

**Anais do 6º Seminário de Inovação e Tecnologia do IFSul**

**Proceedings of sixth Innovation and Technology Seminar IFSul**



**Edição**

**Prof. Dr. Eng. Vinícius Martins  
Prof. Tecgº Paulo Ricardo Böesch Júnior**

**Novembro 2017**

**ISSN 2446-7618**

**ANAIS do 6ª Seminário de Inovação e Tecnologia do IFsul – Brasil/RS**

**Proceedings of fifth Innovation and Technology Seminar IFSul – Brazil/RS**

Os textos que compõem os ANAIS foram impressos conforme os originais enviados pelos autores, portanto todas as informações são de responsabilidade dos autores.

Todos os direitos e autorização para uso das informações contidas nestes Anais pertencem ao **Instituto Federal de Educação, ciência e Tecnologia Sul Rio-grandense.**

Sapucaia do Sul, 07 à 09 de Novembro de 2017.

## PREFÁCIO

O Brasil atravessou o ano de 2016 com sua economia em uma severa recessão. Ainda havia incertezas quanto à recuperação em 2017. No ano de 2017 acredita-se que já passou o olho do furacão da crise econômica brasileira que iniciou no ano de 2015. Claro que a crise sociopolítica não acabou. E a inovação tecnológica é o veículo de mobilidade para a indústria continuar a prosperar e crescer. O Instituto Nacional de Estatística revelou que o PIB não acelerou no segundo trimestre, mantendo o crescimento de 2,8% registrado nos primeiros três meses deste ano. A Crise econômica está passando.

Para crescer e se destacar, uma organização precisa inovar. A inovação permite que a empresa obtenha expressiva vantagem competitiva, principalmente quando se fala em tecnologia. Nas últimas décadas foi possível assistir a um impressionante desenvolvimento de novas tecnologias que transformaram o ambiente de empresas de todos os portes, o que estimulou o investimento em inovação tecnológica. Desenvolver um ambiente favorável à dinamização do processo de inovação tecnológica nas empresas junto a integralização da pesquisa acadêmica visando a expansão do emprego, da renda e do valor agregado nas diversas etapas de produção. E é esta a missão do IFSul de desenvolver tecnologia aplicada ao mundo do trabalho através da nacionalização de tecnologias e produtos. A absorção do conhecimento técnico, científico e a formação de recursos humanos para inovação. Unindo o conhecimento teórico ao aplicado através de pesquisas e inovações entre o mundo acadêmico e a o setor industrial é um das metas que norteiam esta edição do INOVTEC.

A Inovação é a ação ou o ato de inovar, ou seja, modificando antigos costumes, hábitos, legislações, processos e etc.; efeito de renovação ou criação de uma novidade. Inovar sempre é possível com pouco ou mínimo recurso. Porém a inovação tecnológica precisa de investimento para aquisição de equipamentos de ponta, acesso a base de dados e softwares. Precisa da integração dos cérebros pensantes de cooperação entre a indústria e a academia. Diversos países estão investindo em inovação tecnológica. A Comissão Europeia anunciou que investirá €30 bilhões do programa de financiamento à pesquisa e inovação Horizon 2020 nos próximos três anos. O valor equivale a US\$35 bilhões ou R\$114 bilhões. O objetivo do Programa de Trabalho para Pesquisa e Inovação 2018-2020 é apoiar principalmente pesquisas de grande impacto em temas considerados prioritários, tais como segurança, migração, clima, energia limpa e economia digital.

Para atender as demandas do mundo moderno o Brasil terá que investir em inovação tecnológica no seu sentido mais amplo. O Brasil terá de investir R\$ 316 bilhões para cumprir acordo da Conferência das Partes sobre Mudanças Climáticas (COP-21). O acordo de Paris estabelece que o Brasil terá de reduzir em 43% as emissões de gases de efeito estufa até 2030. Para isso, entre outras medidas, o país terá de aumentar em 23% a geração de energia renovável. No entanto, o compromisso firmado não considera as hidrelétricas como uma fonte renovável. Com isso, os investimentos do Brasil em fontes como eólica, solar e biomassa deverão ser R\$ 15 bilhões maiores do que os R\$ 301 bilhões previstos pelo PNE até 2030. Todas estas pesquisas desenvolvidas devem ser apresentadas ao mundo para que haja a transferência desta tecnologia para o crescimento científico e tecnológico humano.

Neste caminho chegamos ao 6º Seminário de Inovação e Tecnologia do IFSul - INOVTEC 2017, com o intuito de unir as instituições de pesquisas com troca de informações e tecnologia para o bem comum da humanidade. A junção da indústria, que move o Brasil e impulsiona as riquezas com a academia onde formamos profissionais de

alta capacidade prontos para o mercado de trabalho é de fundamental importância estratégica para o país que tem interesse em transformar-se em uma grande potência. A força motriz da inovação é o ser humano criativo e determinado em transformar através do trabalho, o mundo conforme as suas aspirações com determinações promovendo um mundo melhor para as próximas gerações e para o meio ambiente.

Bem vindo ao 6º Seminário de Inovação e Tecnologia do IFSul - INOVTEC 2017. Que todos aproveitem as palestras e apresentações de artigos e promovam a expansão intelectual e da rede de trabalho e contatos.

Prof. Dr. Vinícius Martins  
Presidente da Comissão Organizadora  
Sapucaia do Sul, Novembro de 2017.

## PREFACE

Brazil went through 2016 with its economy in a severe recession. There were still uncertainties about the recovery in 2017. In 2017 it is believed that the eye of the hurricane of the Brazilian economic crisis that began in 2015 has already passed. Of course, the socio-political crisis is not over. And technological innovation is the vehicle of mobility for the industry to continue to thrive and grow. The National Statistics Institute showed that PIB did not accelerate in the second quarter, maintaining a growth of 2.8% in the first three months of this year. The economic crisis is passing.

To grow and stand out, an organization needs to innovate. Innovation allows the company to gain an expressive competitive advantage, especially when it comes to technology. In recent decades it has been possible to witness an impressive development of new technologies that transformed the environment of companies of all sizes, which stimulated the investment in technological innovation. To develop an environment conducive to the dynamization of the technological innovation process in companies, together with the payment of academic research aimed at expanding employment, income and added value in the various stages of production. And this is IFSul's mission to develop technology applied to the world of work through the nationalization of technologies and products. The absorption of technical and scientific knowledge and the training of human resources for innovation. Joining theoretical knowledge to applied through research and innovations between the academic world and the industrial sector is one of the goals that guide this edition of INOVTEC.

Innovation is the action or the act of innovating, that is, modifying old habits, habits, legislations, processes and the like; effect of renewal or creation of a novelty. Innovating is always possible with little or minimal recourse. But technological innovation requires investment for the acquisition of state-of-the-art equipment, access to database and software. It needs the integration of the thinking brains of cooperation between industry and academia. Several countries are investing in technological innovation. The European Commission has announced that it will invest € 30 billion in the Horizon 2020 research and innovation funding program over the next three years. The amount is equivalent to US \$ 35 billion or R \$ 114 billion. The objective of the 2018-2020 Research and Innovation Work Program is to support mainly high impact research on priority issues such as security, migration, climate, clean energy and digital economy.

To attend the demands of the modern world, Brazil will have to invest in technological innovation in its broadest sense. Brazil will have to invest R \$ 316 billion to comply with the Conference of the Parties on Climate Change (COP-21). The Paris agreement establishes that Brazil will have to reduce its greenhouse gas emissions by 43% by 2030. For this, among other measures, the country will have to increase renewable energy generation by 23%. However, the commitment made does not consider hydroelectric dams as a renewable source. As a result, Brazil's investments in sources such as wind, solar and biomass should be R \$ 15 billion higher than the R \$ 301 billion forecast by PNE until 2030. All of these developed research should be presented to the world for the transfer of this technology for human scientific and technological growth.

In this way we arrived at the 6th Seminar of Innovation and Technology of IFSul - INOVTEC 2017, with the intention of uniting the research institutions with exchange of information and technology for the common good of humanity. The combination of industry that moves Brazil and boosts wealth with the academy where we train high-capacity professionals

ready for the job market is of fundamental strategic importance for the country that has an interest in becoming a great power. The driving force of innovation is the creative and determined human being to transform through work, the world according to its aspirations with determinations promoting a better world for the next generations and for the environment.

Welcome to the 6th IFSul Innovation and Technology Seminar - INOVTEC 2017. Let everyone take advantage of the lectures and presentations of articles and promote the intellectual and network expansion of work and contacts.

Prof. Dr. Vinícius Martins  
President of Organization Commission  
Sapucaia do Sul, November 2017.

## **Comissão Organizadora Permanente**

Michel Gularte Recondo – Tecnologia da Informação

Patrícia Hammes Strelow – Comunicação

Paulo Ricardo Böesch Júnior – Membro Técnico

Vinícius Martins – Presidente da Comissão

## **Comissão Organizadora**

Carolina Soares

Cláudia Ciceri

Mack Léo Pedroso

Michel Gularte Recondo

Paulo Ricardo Böesch Júnior

Patrícia Hammes Strelow

Sara Massotti Bonin

Vinícius Martins – Coordenação Geral

Virgínia Caetano Baumhardt



## **Comissão Científica Nacional**

Carlos Alberto Mendes Moraes (UNISINOS – Brasil)  
Célia Malfatti (UFRGS – Brasil)  
César Antonio Oropesa Avellaneda (UFPel – Brasil)  
Cristiano Vitorino da Silva (URI – Brasil)  
Daniel Pacheco Lacerda (UNISINOS – Brasil)  
Diego Piazza (UCS – RS)  
Eleani Maria da Costa (PUC-RS – Brasil)  
Eduardo André Perondi (UFRGS – Brasil)  
Guilherme Holsbach Costa (UCS – Brasil)  
Ivan Guerra Machado (UFRGS – Brasil)  
Jarbas André da Rosa (FACCAT – Brasil)  
Joanir Luís Kalnin (UCS – Brasil)  
José Carlos Krause de Verney (ULBRA – Brasil)  
José Lesina César (ULBRA – Brasil)  
Leandro Sosnoski (FTEC – Brasil)  
Lírio Schaeffer (UFRGS – Brasil)  
Maria Luiza Sperb Indrusiak (UNISINOS – Brasil)  
Mauricio Zardo Oliveira (UCS – Brasil)  
Moises de Mattos Dias (FEEVALE – Brasil)  
Nestor Heck (UFRGS – Brasil)  
Patrice Monteiro de Aquim (FEEVALE – Brasil)  
Rejane Maria Candiota Tubino (UFRGS – Brasil)  
Robinson Figueiredo de Camargo (UFSM – Brasil)  
Rodrigo Marques de Figueiredo (UNISINOS – Brasil)  
Ruth Marlene Campomanes Santana (UFRGS – Brasil)  
Sandro Luís Arenhardt (SENAI – Brasil)  
Sandro Rogério dos Santos (UCS – Brasil)  
Sérgio da Silva Kucera (UCS – Brasil)

## **Comissão Científica Internacional**

Professor PHD José R. Marty Delgado (UCLV – Cuba / Angola)

Professor Dr. Germán Abate (INTI - Argentina)

Professor John Strybos (Alamo Colleges – Estados Unidos)

## **Comissão Discente**

Bruna Schneider Dias

Catiele de Araújo Krug

Giulia Fagundes dos Santos

Laura Santos da Silva

Leila do Couto

Matheus Leão Godoy

Matheus Persico Guns

Miriã Marli Rocha

Pablo Duarte Brasil

Victória Mossmann Maldaner

## Apoio



A L A M O  
C O L L E G E S

INTERNATIONAL PROGRAMS

## Realização



## INDICE - SUMMARY

### **231- UMA REVISÃO SOBRE A NITRETAÇÃO A PLASMA DO AÇO RÁPIDO ASTM M2**

*Oliveira, L. F.<sup>1</sup> Munaretti, É.<sup>2</sup> Rocha, A. da S.<sup>3</sup>*

**1 - 15**

### **232- ANÁLISE ESTRUTURAL VIA SOFTWARE (AUTODESK INVENTOR) DO PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA MÓVEL PARA ACESSO E ACESSIBILIDADE DE CADEIRANTES NO PALCO DO AUDITÓRIO DO IFSUL CAMPUS CHARQUEADAS**

*Ferraz, A. D. S.<sup>1</sup>; De Paula, L. <sup>2</sup>; Da Silva, G. N.<sup>3</sup>; Silveira, L. R. <sup>4</sup>; Lima, D. A. S.<sup>5</sup>; Böesch Jr, P. R. <sup>6</sup>*

**16 - 27**

### **233- Análise da Influência de Lubrificantes no Aço Hardox450® durante o Ensaio Erichsen**

*Fabrisio, E.<sup>1</sup>; Ercolani, J. <sup>2</sup>; Ramalho. R.<sup>3</sup>; Lisboa. C.<sup>4</sup>; Shaeffer. L.<sup>5</sup>*

**28 - 34**

### **234- ANÁLISE DE FALHA EM DUTO DE AÇO X-65 ENSAIADOS EM FADIGA POR RESSONÂNCIA**

*Alessandra Regina Machado Schifino<sup>1</sup>; Douglas Martinazz<sup>2</sup>; Telmo Roberto Strohaecker<sup>3</sup>*

**35 - 43**

### **235- APLICAÇÃO DA METODOLOGIA 5S VISANDO A MELHORIA DA ORGANIZAÇÃO EM AMBIENTE ESCOLAR**

*Dos Santos, E. P.<sup>1</sup>; Girardi, K. <sup>2</sup>; Jungthon, T.R.<sup>3</sup>; Linck, C<sup>4</sup>; Abich, D<sup>5</sup>;*

**44 - 57**

### **236- DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO NA CURVA DA BANHEIRA DE UM AGITADOR DE POLPA DE CELULOSE**

*Mallmann, E. F. M. C.<sup>1</sup>; De Barba Junior, D. J.<sup>2</sup>;*

**58 - 71**

**237- DOCENTES ENGENHEIROS E SUA PREPARAÇÃO E PRÁTICA DIDÁTICO-PEDAGÓGICA – UMA REVISÃO**

*de Souza, V. M.<sup>1</sup>; Martins, V. <sup>2</sup>*

72 - 80

**238- CARACTERIZAÇÃO DAS CURVAS DE VIDA DE FERRAMENTAS DE CORTE EM TORNEAMENTO COM FERRAMENTA DE METAL DURO.**

*Fonseca, A. O.<sup>1</sup>*

81 - 90

**239- CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE LOUÇA SANITÁRIA (PITCHER) VISANDO SUA INCORPORAÇÃO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS**

*Zortéa, J.B. <sup>1</sup>; Scienza, L.C. <sup>2</sup>; Martins, V. <sup>3</sup>; Souza, V.M.<sup>4</sup>*

91 - 96

**240- APLICAÇÃO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA PARA A AVALIAÇÃO ENERGÉTICA-AMBIENTAL DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ÁGUA MINERAL: Diagnóstico do processo produtivo**

*Anschau, R.<sup>1</sup>; Moraes, C. A. M. <sup>2</sup>; Curia, A. C.<sup>3</sup>*

97 - 107

**241- ESTUDO SOBRE A EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA E SOBRE O COMPORTAMENTO MECÂNICO DA LIGA DE MAGNÉSIO Mg-Al-La-Ca PRODUZIDA POR REOFUNDIÇÃO**

*Bertoli, P.P.<sup>1</sup>; Bartex, S.L.T.<sup>2</sup>; Barcellos, V.K.<sup>3</sup>*

108 - 115

**242- PNEUMÁTICA INTERATIVA**

*Huff, F. M.<sup>1</sup>; Groth, V. F. <sup>2</sup>*

116 - 127

**243- ESTUDO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL BASEADO EM CÉLULA COMBUSTÍVEL**

*Fett, J.R. <sup>1</sup>, Dias, M.M. <sup>2</sup>, Santos, R.R. <sup>3</sup>, Heldt Jr., R.R. <sup>4</sup>, Klassmann, C.O. <sup>5</sup>, Santos, A.S. <sup>6</sup>, Celso, F. <sup>7</sup>, Rodrigues, M.A.S. <sup>8</sup>, Schneider, E.L. <sup>9</sup>, Martins R.M. <sup>10</sup>*

128 - 140

**244- SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO DESENVOLVIMENTO DE LINGOTEIRA EM ESCALA REDUZIDA PARA AÇOS FUNDIDOS**

*Willian Martins Pasini <sup>1</sup>; Matheus Roberto Bellé <sup>2</sup>; Túlio Sérgio do Nascimento <sup>3</sup>; Régis Fabiano do Amaral <sup>4</sup>; Vinicius Karlinski de Barcellos <sup>5</sup>*

141 - 147

**245- ANÁLISE QUALITATIVA DA RECUPERAÇÃO DE COBRE COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE GALVANIZAÇÃO A FOGO**

*Kanno, R.<sup>1</sup>; Buzin, P. J. W. K. <sup>2</sup>; Tubino, R. M. C.<sup>3</sup>*

148 - 158

**246- E.F.3D - EXTRUSORA DE FILAMENTO PARA IMPRESSORAS 3D**

*de Moraes, S. T.<sup>1</sup>; Cunha, L. E.<sup>2</sup>; Böesch Jr., P. R.<sup>3</sup>; dos Santos, L. G. F.<sup>4</sup>*

159 - 166

**247- MELHORIA DOS RESULTADOS DA ÁREA DE MANUTENÇÃO COM A APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA ANÁLISE E SOLUÇÃO DE FALHAS EM ELEVADORES**

*Silva, J.G.<sup>1</sup>; Santini, B.<sup>2</sup>; De Barba Jr., D.J.<sup>3</sup>*

167 - 180

**248- IMPLANTAÇÃO IÔNICA DE COBRE EM SUBSTRATOS DE AÇO INOXIDÁVEL PARA FINS BACTERICIDAS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

*Canabarro, F. A. F. <sup>1</sup>; Aguzzoli, C. <sup>2</sup>; Malfatti, C. F.<sup>3</sup>*

181 - 195

**249- COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS NYLON 66 E NYLON 66 COM ADIÇÃO DE 5% DE GRAFITE APÓS A EXPOSIÇÃO AS INTEMPÉRIES.**

*Zucolotto, I.<sup>1</sup>, Linck, C.<sup>2</sup>, Santana, R. M. C.<sup>3</sup>*



196 - 206

**250- CARACTERIZAÇÃO DA LIGA SINTERIZADA Fe<sub>0,6</sub>%P PARA APLICAÇÃO EM NÚCLEO DE DISPOSITIVOS ELETROMAGNÉTICOS**

*Ferreira, L.D. <sup>1</sup>, Dias, M.M. <sup>2</sup>, Rodrigues, W.C. <sup>3</sup>, Martins, V. <sup>4</sup>, Cesar, J.L. <sup>5</sup>, Verney, J.C.K. <sup>6</sup>, Martins, R.M. <sup>7</sup>, Aquim, P.M. <sup>8</sup>, Oliveira, C.T. <sup>9</sup>, Callegaro, R.M. <sup>10</sup>, Schaeffer, L. <sup>11</sup>*

207 - 2018

**251- AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UMA BLENDA PEAD/PSAI PÓS CONSUMO PARA APLICAÇÃO EM UM PRODUTO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA**

*Abich, D. <sup>1</sup>; Oliveira, A.M. <sup>2</sup>; Linck, C. <sup>3</sup>; Santana, R. <sup>4</sup>*

219 - 233

**252- ESTUDO DE REVISÃO SOBRE ENERGIA SOLAR: DA CONVERSÃO DA ENERGIA ATÉ A APLICAÇÃO**

*Angrizani, C. C. <sup>1</sup>; Capriolli, C. S. <sup>2</sup>; Bernar, A. M. <sup>3</sup>; Vilemberg, E. <sup>4</sup>; Bos, G. V. <sup>5</sup>; Souza, T. F. <sup>6</sup>*

234 - 241

**253- CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS COM O GRAU DE CRISTALINIDADE DO POLIPROPILENO MOLDADO EM DIFERENTES VELOCIDADES DE INJEÇÃO**

*Linck, C. <sup>1</sup>; Zucolotto, I. <sup>2</sup>; Pereira, E.R. <sup>3</sup>; Abich, D. <sup>4</sup>; Oliveira, J.A.P. <sup>5</sup>; Santana, R. <sup>6</sup>*

242 - 252

**254- PRODUÇÃO DE SUBSTRATOS E FERTILIZANTES ORGÂNICOS À PARTIR DE PODAS DE ÁRVORES PARA A PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E HORTALIÇAS**

*Bastos, C.E. L. <sup>1</sup>; Silva, G. L. <sup>2</sup>; Furtado, Q. S. <sup>3</sup>; Silva, J. B. <sup>4</sup>; Silva, W. S. <sup>5</sup>; Coutinho, É. <sup>6</sup>*

253 - 259

**255- INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE INJEÇÃO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE PEÇAS MOLDADAS EM POLIPROPILENO**

*Linck, C. <sup>1</sup>; Zucolotto, I. <sup>2</sup>; Pereira, E.R. <sup>3</sup>; Abich, D. <sup>4</sup>; Oliveira, J.A.P. <sup>5</sup>; Santana, R. <sup>6</sup>*

260 - 269

**256- INFLUÊNCIA DO USO DE CARBONATO DE CÁLCIO NA SINTERIZAÇÃO DA SÍLICA VERDE**

*Da Rocha, Luana<sup>1</sup>; Paschoal, Andrey F.<sup>2</sup>; Martins, Vinícius<sup>3</sup>; Fagundes, Enio C. M.<sup>4</sup>; Darsie, Francis R. F.<sup>5</sup>; Calcagno, Carmen I. W.<sup>6</sup>*

**270 - 277**

**257- ANÁLISE DA LIGA DE MAGNÉSIO MRI230D OBTIDA POR PROCESSO DE TIXOFUNDIÇÃO UTILIZANDO O MÉTODO SIMA**

*Von Mühlen, M. A. 1; Fraga, C.A.S 2; De Barcellos, V.K. 3;*

**278 - 288**

**258- INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA NA RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO DE PROPANTES**

*Compazzi, Marcelo G. D. 1; da Silva, Cássio G.<sup>2</sup>; Martins, Vinícius. 3; Fagundes, Enio C.M.<sup>4</sup>; Calcagno, Carmen I. W.<sup>5</sup>*

**289 - 298**

**259- INTERFACE PEÇA-FERRAMENTA NA CONFORMAÇÃO MECÂNICA: CONCEITOS REFERENTES AO ATRITO**

*Costa, L. L.<sup>1</sup>; Zottis, J.<sup>2</sup>; Lisboa, C. P<sup>3</sup>; Schaeffer, S. 4*

**299 - 306**

**260- CARACTERIZAÇÃO DE SUCATAS DE COMPUTADORES PORTÁTEIS E APLICAÇÃO DE PROCESSAMENTO MECÂNICO À RECUPERAÇÃO DE METAIS ORIUNDOS DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO**

*Tobolski, E.<sup>1</sup>; Lottici, M. M. <sup>2</sup>; Dorneles, K. E. O.<sup>3</sup>; Silveira, T. A.<sup>4</sup>; Moraes, C. A. M.<sup>5</sup>*

**307 - 320**

**261- A UTILIZAÇÃO DO TETRAEDRO DOS MATERIAIS COMO FERRAMENTA AUXILIAR NA VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E INDUSTRIAIS**

*Kappler, G.<sup>1</sup>; Silveira, T.A.<sup>2</sup>; Garbin, M.<sup>3</sup>; Moraes, C. A. M.<sup>4</sup>; Brehm, F. A. <sup>5</sup>*

**321 - 332**

**262- ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE UMA BOMBA CENTRÍFUGA POR MEIO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO FMECA**

*Maia, J.<sup>1</sup>; De Barba Jr., D.J.<sup>2</sup>;*

**333 - 345**

**263- LEVANTAMENTO DE ESTUDOS SOBRE O ARSENIATO DE COBRE CROMATADO – CCA**

*Chiaramonte, R.<sup>1</sup>; Garbin, M. <sup>2</sup>; Calheiro, D.<sup>3</sup>; Brehm, F. A.<sup>4</sup>*

**346 - 356**

**264- DESGASTE DOS MATERIAIS E REVESTIMENTOS APLICADOS AOS ROTORES DE BOMBAS DE CAVIDADES PROGRESSIVAS COM ESTATOR ELASTOMÉRICO**

*Taparello de Souza, M. A. <sup>1</sup>; Moraes, C. A. M. <sup>2</sup>; Fontana, W. A. <sup>3</sup>*

**357 - 368**

**265- MÉTODOS DE ANÁLISE DA VIDA EM FADIGA DA ARMADURA DE TRAÇÃO DE DUTOS FLEXÍVEIS SUBMETIDOS A MEIOS AGRESSIVOS: RESULTADOS PARCIAIS DE UM ESTUDO COMPARATIVO.**

*Gonçalves, R.<sup>1</sup>; Kwietniewski, C. E. F. <sup>2</sup>; Tagliari, M. R.<sup>3</sup>; Borges, M. F.<sup>4</sup>*

**369 - 380**

**266- ANÁLISE DAS FONTES DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO NO PROCESSO DE FUNDIÇÃO**

*Trevisan, L.<sup>1</sup>; Fabricio, D. A. K. <sup>2</sup>; Paz, V. F.<sup>3</sup>*

**381 - 387**

**267- OTPM - OTIMIZAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA MONOFÁSICOS ESTUDO TERMOGRÁFICO E GEOMÉTRICO**

*Rocha, C.H.T.<sup>1</sup>; Röedel, M.M.<sup>2</sup>; Moehelcke, U.P<sup>3</sup>; Nascimento, V.L.A.<sup>4</sup>*

**388 - 402**

**268- RESFRIAMENTO CONTROLADO: UMA ALTERNATIVA À NORMALIZAÇÃO EM COMPONENTES FORJADOS A QUENTE**

*Diehl, P. D.<sup>1</sup>; Reguly, A.<sup>2</sup>*

403 - 416

**269- USO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS PARA AVALIAÇÃO DOS FATORES MORFOLÓGICOS DE ESFERICIDADE E ARREDONDAMENTO EM PROPANTES**

*Calcagno, C. I. W.<sup>1</sup>; Darsie, F. R. F.<sup>2</sup>*

417 - 425

**270- AERODINÂMICA DE ASSOALHO: REDUÇÃO DO COEFICIENTE DE ARRASTO EM VEÍCULOS DE PASSEIO**

*Heidemann Jr, R.<sup>1</sup>; Bohrer, A.<sup>2</sup>; Rodrigues, A. F. A.<sup>3</sup>; Cervieri, A.<sup>4</sup>; Gertz, L. C.<sup>5</sup>*

426 - 439

**271- SUBSTITUIÇÃO DO METAL DA CARÇAÇA DE UM INTERRUPTOR AUTOMOTIVO: DOS REQUISITOS DO PRODUTO À SELEÇÃO DO POLÍMERO**

*Basso, F.<sup>1</sup>; Calcagno, C. I. W.<sup>2</sup>*

440 - 457

**272- OBTENÇÃO DE SUPERFÍCIES NANOESTRUTURADAS DE Ti6Al4V PARA AVALIAÇÃO DA BIOCMPATIBILIDADE IN VIVO.**

*Elyseu, R.S.<sup>1</sup>; Malfatti, C. F.<sup>2</sup>; Camassola, M.<sup>3</sup>; Antonini, L. M.<sup>4</sup>*

458 - 472

**273- PERFIL TÉRMICO DA CARBONIZAÇÃO DE MADEIRA EM FORNO DE ALVENARIA APLICADO NA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL SIDERÚRGICO**

*Malta, M.V.S.<sup>1</sup>; Garcia, C.<sup>2</sup>; Oliveira, F. F.<sup>3</sup>; Silva, P.L.B.<sup>4</sup>*

473 - 479

**274- APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE P + L EM UMA UNIDADE DE ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO LOCALIZADA EM UMA EMPRESA NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE – ESTUDO DE CASO**

*De Oliveira, A.P.B.<sup>1</sup>; Bizani, D.<sup>2</sup>*

**480 - 494**

**275- CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE AEROGERADOR DE EIXO SAVONIUS**

*Gabriel Petraglia <sup>1</sup>; Edmilson Domanski <sup>2</sup>; Leticia Rech <sup>3</sup>; Fidel Espinoza <sup>4</sup>; Marcos Espinoza <sup>5</sup>*

**495 - 500**

**276- ANÁLISE DA LIGA DE MAGNÉSIO MRI230D OBTIDA POR PROCESSO DE TIXOFUNDIÇÃO UTILIZANDO O MÉTODO SIMA**

*Von Mühlen, M. A.<sup>1</sup>; Fraga, C.A.S<sup>2</sup>; De Barcellos, V.K.<sup>3</sup>*

**501 - 511**

**277- SUBSTITUIÇÃO DE METAL POR POLÍMERO NA FABRICAÇÃO DA CARCAÇA DE UM INTERRUPTOR AUTOMOTIVO: REESTRUTURAÇÃO DO PROJETO, FABRICAÇÃO E TESTE DO PROTÓTIPO**

*Basso, F.<sup>1</sup>; Calcagno, C. I. W.<sup>2</sup>*

**512 - 528**

**278- SISTEMA DE COLETA E ARMAZENAGEM DE ÁGUA DA CHUVA EM UMA EMPRESA DE TRANSFORMAÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS**

*Pereira, J. R. D.<sup>1</sup>; De Barba Junior, D. J.<sup>2</sup>*

**529 - 542**

**279- ESTUDO DA VIABILIDADE DA OBTENÇÃO DE PROPANTES A PARTIR DA CINZA DA CASCA DO ARROZ**

*Figueiró, C.S.<sup>1</sup>; Martins, V.<sup>2</sup>; Fagundes, E.C.M.<sup>3</sup>; Calcagno, C.I.W.<sup>4</sup>*

**543 - 562**

**280- AUSTÊMPERA EM BANHO DE ZAMAC 5: INFLUÊNCIA DO TEMPO DE AUSTÊMPERA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO FERRO FUNDIDO NODULAR**

*Pereira, L.<sup>1</sup>; Seibel, L. F. Jr <sup>2</sup>; Karlinski, V. de B. <sup>3</sup>*

**563 - 570**

**281- ANÁLISE MICROESTRUTURAL E DUREZA DE PEÇAS PÓS FORJAMENTO A QUENTE DO AÇO DIN 20MnCr5 RESFRIADAS EM CÂMARA COM DIFERENTES TAXAS DE RESFRIAMENTO**

*de Rodrigues, D. R.<sup>1</sup>; Aguiar, F.<sup>2</sup>; Rec, M. F.<sup>3</sup>; Amara, R. F.<sup>4</sup>; de Barcellos, V. K.<sup>5</sup>*

**571 - 578**

**282- REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PAPÉIS EM COMPOSIÇÃO COM O AMIDO: UMA OPÇÃO DE MATERIAL PARA O DESIGN SUSTENTÁVEL**

*Cardoso, G.<sup>1</sup>; Angrizani, C.C.<sup>2</sup>; Porto, J.S.<sup>3</sup>; Calcagno, C.I.W.<sup>4</sup>*

**579 - 593**

**283- AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA À TRAÇÃO E COMPRESSÃO EM AREIA VERDE CONTAMINADA COM DIFERENTES QUANTIDADES DE RESÍDUOS DE MACHARIA CURA FRIO**

*Amaral, R. F.<sup>1</sup>; Nascimento, T. S.<sup>2</sup>; Pereira, L.<sup>3</sup>; Pasini, W. M.<sup>4</sup>; Barcellos, V. K.<sup>5</sup>*

**594 - 601**

**284- CARACTERIZAÇÃO DE ACABAMENTO SUPERFICIAL E POROSIDADE DE FUNDIDOS EM ALUMÍNIO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE VAZAMENTO**

*Schmitzhaus, T.E.<sup>1</sup>; Simoni, L.<sup>2</sup>; Schmitzhaus, W.C.<sup>3</sup>; Jesus, L.G.M.<sup>4</sup>; Vargas, E.J.M.V.<sup>5</sup>; Mairinque, W.M.<sup>6</sup>*

**602 - 612**

**285- FABRICAÇÃO SUSTENTÁVEL DE UMA ROUTER CNC**

*Gomes, J.C.<sup>1</sup>; Mendes, O. F.<sup>2</sup>; Da Silva, P. J.<sup>3</sup>*

**613 - 626**

**286- AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA À TRAÇÃO EM AREIA FENÓLICA URETÂNICA APÓS 5 CICLOS DE RECUPERAÇÃO TÉRMICA À 650°C**

*Amaral, R. F.<sup>1</sup>; Nascimento, T. S.<sup>2</sup>; Pereira, L.<sup>3</sup>; Pasini, W. M.<sup>4</sup>; Barcellos, V. K.<sup>5</sup>*

**627 - 634**

**287- ÁREAS IMPACTADAS PELA MINERAÇÃO - USO APÓS O FECHAMENTO DE MINA**

*Schmitzhaus, W.C.<sup>1</sup>; Peroni, R.L.<sup>2</sup>; Schmitzhaus, T.E.<sup>3</sup>; Witt, F.A.R.<sup>4</sup>*

635 - 646

**288- ANÁLISE QUALITATIVA NA RECUPERAÇÃO DE COBRE COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE GALVANIZAÇÃO A FOGO**

*Kanno, R.<sup>1</sup>; Buzin, P. J. W. K. <sup>2</sup>; Tubino, R. M. C.<sup>3</sup>*

647 - 659

**289- PROTÓTIPO DE UM QUADRICICLO URBANO NÃO MOTORIZADO: REQUISITOS DE PROJETO E PESQUISA COM POTENCIAIS CLIENTES**

*Garcia, P. R. L.<sup>1</sup>; De Barba Jr., D. J.<sup>2</sup>*

660 - 678

**290- EFEITOS DOS PARÂMETROS DO PROCESSO SOBRE O DIMENSIONAL DA PEÇA: ANÁLISE DE VARIAÇÕES CONFORME TOLERÂNCIA ESPECIFICADA**

*Reichert, F. A.<sup>1</sup>; Coelho, M. V. F. <sup>2</sup>*

679 - 689

**291- ANÁLISE DA PRESSÃO E VAZÃO DE UM VENTILADOR AXIAL E DETERMINAÇÃO DA MELHOR DISTÂNCIA PARA O CONFORTO TÉRMICO**

*Da Silva, R. M.<sup>1</sup>; Curi, E. I. M.<sup>2</sup>; Castro, R. de M. <sup>3</sup>; Da Silva, L. J. <sup>4</sup>*

690 - 697

**292- AVALIAÇÃO DA TAXA DE DEPOSIÇÃO DE PRATA PELO PROCESSO DE ION PLATING**

*Canabarro, F. A. F. <sup>1</sup>; Canabarro, N. A. F. <sup>2</sup>; Zamboni, T. P. S. <sup>3</sup>; Aguzzoli, C.<sup>4</sup>; Malfatti, C. F.<sup>4</sup>*

698 - 710

**293- DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA ENSAIOS TRIBOLÓGICOS DO TIPO PINO-SOBRE-DISCO**

*Accadrolli, G.<sup>1</sup>; de Verney, J. C. K.<sup>2</sup>*

711 - 723

**294- ANÁLISE DE ACABAMENTO SUPERFICIAL NA USINAGEM DE PEÇAS DE AÇO OBTIDAS POR METALURGIA DO PÓ**

*Machado, R.<sup>1</sup>; Martins, V. F. <sup>2</sup>*

724 - 738

**295- ANÁLISE DO PERFIL DE GÊNERO E DESEMPENHO ACADÊMICO NO CURSO DE FRESADOR MECÂNICO NA MODALIDADE FIC NO IFSUL/CÂMPUS SAPUCAIA DO SUL**

*Martins, V.<sup>1</sup>; Porto, H. M. R. F. <sup>2</sup>; Hernandez. Jr, P. C.<sup>3</sup>; Porto, M. F. <sup>4</sup>;*

739 - 746

**296- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE INEQUAÇÕES: USO DA TECNOLOGIA NA EDUCAÇÃO**

*Diogo, M. A.<sup>1</sup>*

747 - 755

**297- O SMARTPHONE COMO MEDIADOR NA CAPTURA DE IMAGENS EM SALA DE AULA**

*de Almeida, C.S.<sup>1</sup>; Caruso, A. L.M. <sup>2</sup>*

756 - 770

**298- A UTILIZAÇÃO DOS AMBIENTES INFORMATIZADOS NA REDE MUNICIPAL DE ALVORADA/RS**

*Moch, C. G.<sup>1</sup>*

771 - 780



## UMA REVISÃO SOBRE A NITRETAÇÃO A PLASMA DO AÇO RÁPIDO ASTM M2

Oliveira, L. F.<sup>1</sup>  
Munaretti, É.<sup>2</sup>  
Rocha, A. da S.<sup>3</sup>

- <sup>1</sup> *Tecnólogo em Automação Industrial, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M), Leonardo Fonseca Oliveira, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), leonardo.fonseca@ufrgs.br.*
- <sup>2</sup> *Bolsista de Iniciação Tecnológica, estudante do curso de Engenharia Metalúrgica, Érica Munaretti, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ericamunaretti@hotmail.com;*
- <sup>3</sup> *Dr. Em Engenharia, Professor orientador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M), Alexandre da Silva Rocha, alexandre.rocha@ufrgs.br.*

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo

Aços rápidos da categoria ASTM M2 são principalmente utilizados como matéria prima de ferramentas de corte, punções e matrizes de conformação, sendo submetidos a condições severas que provocam falha e desgaste. A nitretação a plasma é um tipo de tratamento termoquímico que visa melhorar as propriedades superficiais dos materiais causando aumento de dureza, melhoria da resistência ao desgaste, à corrosão e à fadiga. O presente artigo é uma revisão geral apresentando diferentes resultados com base em investigações nas quais foram variados os métodos e parâmetros de nitretação a plasma aplicados ao aço ASTM M2.

**Palavras-chave:** Nitretação a plasma; Aço rápido; ASTM M2.

### A REVIEW ABOUT ASTM M2 HIGH SPEED TOOL STEEL PLASMA NITRIDING

#### Abstract

ASTM M2 High Speed Tool Steel (HSS) main application is as base material for cutting tools, punches and forming tools, being subjected to harsh conditions that promotes tool failure and wear. Plasma nitriding is a kind of thermochemical treatment that aims to improve surface properties of materials leading to increase in hardness, wear, corrosion and fatigue resistance. In this paper a general review about different results of several studies are presented. These studies involved different methods and nitriding parameters applied to the ASTM M2 high speed steel.

**Key words:** Plasma Nitriding, HSS, ASTM M2.

## 1 INTRODUÇÃO

Os aços rápidos compreendem a uma categoria de aços desenvolvida tendo em vista sua utilização como ferramentas de corte e conformação. Devido às severas condições de operação as quais estão submetidos eles devem apresentar alta resistência ao desgaste em altas temperaturas, a Figura 1 apresenta uma seleção de ferramentas de corte e usinagem compostas de aço rápido.



**Figura 1.** Seleção de ferramentas de corte e usinagem compostas de aço rápido, são apresentadas brocas: fresas, pastilhas, facas e serra circular.

O aço M2 é uma liga clássica desenvolvida na década de 1950 pertencente a categoria de aços rápidos, possuindo como elemento de liga o Molibdênio (Mo), além de altos teores de Tungstênio (W), Cromo (Cr) e Vanádio (V)<sup>(1)</sup>.

A nitretação a plasma é um processo termoquímico que consiste na introdução de Nitrogênio no material tratado por auxílio da ação da descarga luminescente, sendo um dos primeiros processos a plasma de engenharia de superfícies adotado industrialmente desde a década de 1980<sup>(2)</sup>. O tratamento consiste em submeter o material a ser tratado (substrato) em um ambiente a baixa pressão na presença de mistura gasosa contendo nitrogênio, entre dois eletrodos é aplicada uma diferença de potencial para ionizar o gás e desencadear a descarga luminescente.

Durante a nitretação a plasma o aceleração de espécies ativas de nitrogênio colidem contra o material em tratamento promovendo pulverização de partículas e aquecimento, o aumento de temperatura permite que as espécies ativas de nitrogênio penetrem na matriz do substrato causando modificação superficial formando nitretos com o material base e elementos de liga, alterando propriedades superficiais causando aumento da dureza, resistência ao desgaste e resistência a corrosão<sup>(3)</sup>.

A modificação superficial na nitretação é controlada principalmente pela difusão do nitrogênio no aço, portanto parâmetros de tratamento como temperatura e tempo de tratamento apresentam grande influência com relação a profundidade das camadas formadas, outros parâmetros influenciam diretamente nos resultados obtidos, são, pressão e composição do gás, densidade de potência do plasma, tamanho e formato da câmara de vácuo e até a geometria do substrato<sup>(4)</sup>.

Quando realizada em aços, tratamentos de nitretação geralmente formam duas camadas distintas nos substratos, a camada mais externa, chamada de zona de compostos (também conhecida como camada branca) é constituída principalmente pelos nitretos  $\epsilon$  ( $Fe_{2,3}N$ ) e/ou  $\gamma'$  ( $Fe_4N$ ), apesar de apresentar alta dureza, pode ser frágil e indesejada dependendo da aplicação, abaixo da zona de compostos é formada a zona de difusão, onde estão presentes nitretos formados com elementos de liga e nitrogênio em solução sólida na matriz, esta camada tem papel crucial para o aumento de dureza e da resistência do material nitretado, dependendo da seleção de parâmetros pode-se evitar a formação da zona de compostos, resultando em uma camada nitretada composta apenas pela zona de difusão<sup>(5,6)</sup>.

O presente estudo apresenta uma revisão geral apresentando diferentes resultados com base em estudos variando métodos e parâmetros de nitretação a plasma aplicados ao aço rápido ASTM M2.

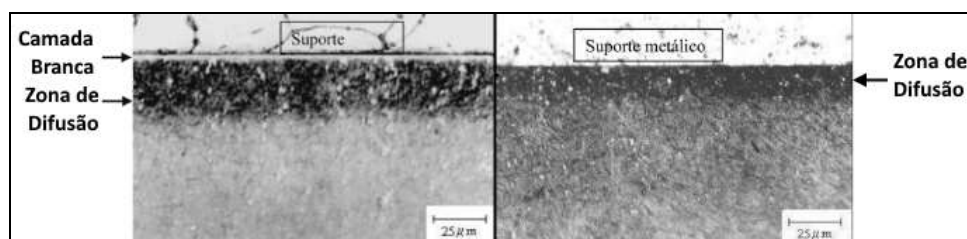
## 2 REVISÃO

As informações aqui contidas estão separadas em partes, focando fenômenos distintos observados na resposta que o aço ASTM M2 apresenta quando submetido aos diferentes parâmetros, métodos e condições de tratamentos reportados em literatura.

### Nitretação a Plasma Convencional

OZBAYSAL, INAL e ROMIG<sup>(4)</sup>, realizaram diversos tratamentos de nitretação a plasma em diferentes aços ferramenta e observaram que os resultados obtidos no aço M2 são sensíveis a concentração parcial de Nitrogênio no gás de tratamento, fenômeno também foi observado por ROCHA<sup>(7)</sup>.

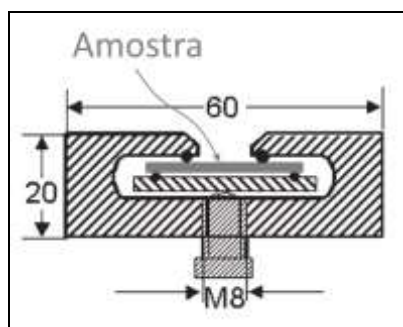
Pode ser visto na Figura 2 que tratamentos realizados utilizando mistura gasosa composta de 76% gás  $N_2$  e 24% gás  $H_2$  resultaram na formação da camada de compostos, enquanto tratamentos utilizando mistura gasosa composta por apenas 5% de gás  $N_2$  e 95% gás  $H_2$  resultaram apenas na formação da zona de difusão. Este comportamento é característico da nitretação do M2, por possuir altas quantidades de diferentes elementos formadores de nitretos, o que leva a ao alto consumo de nitrogênio da atmosfera. Dentre os elementos presentes na composição do M2, o Carbono é um elemento que dificulta a difusão do Nitrogênio, porém a presença de Tungstênio e Molibdênio (que possuem forte interação com o Carbono e baixa com o Nitrogênio) favorecem a formação de carbonetos estáveis enquanto o Nitrogênio se combina com Vanádio que apresenta alta interação com o Nitrogênio.



**Figura 2.** Seção transversal de amostras submetidas a tratamentos de nitretação a plasma. Esquerda: Amostra submetida a tratamento contendo alto teor de gás nitrogênio (76%), onde foi observada formação da camada branca. Direita: Amostra submetida a tratamento contendo baixo teor de gás nitrogênio (5%), onde foi observada formação apenas da zona de difusão, ROCHA<sup>(7)</sup>.

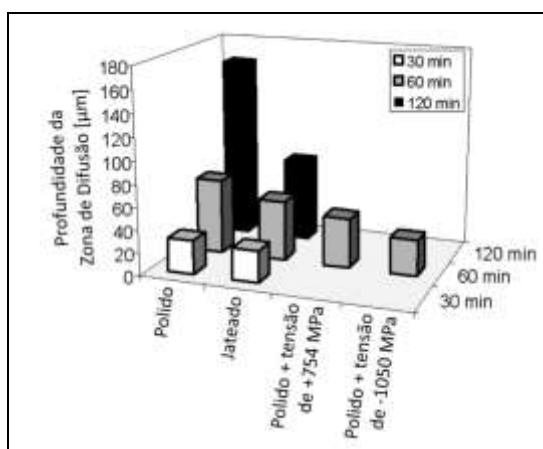
### Efeitos de Tensões Residuais e Acabamento Superficial

Dando continuidade aos estudos de ROCHA, HIRSCH e colaboradores<sup>(8)</sup> investigaram a influência do estado superficial com respeito a tensões residuais na formação de camadas nitretadas no aço M2, para isso foram executados tratamentos de nitretação a plasma por 30, 60 e 120 minutos em 500 °C utilizando mistura gasosa com baixo teor de nitrogênio (5%) a fim de evitar a formação da zona de compostos. As amostras estudadas foram previamente temperadas e preparadas por jateamento de alumina e polimento apresentando diferentes estados superficiais, além disso, foi desenvolvido um aparato para aplicar tensões de dobramento durante a execução dos tratamentos de nitretação a plasma, apresentado na Figura 3.



**Figura 3.** Ilustração do aparato utilizado por Hirsch e colaboradores para execução de experimentos de nitretação sob tensões, adaptado de HIRSCH et al.<sup>(8)</sup>.

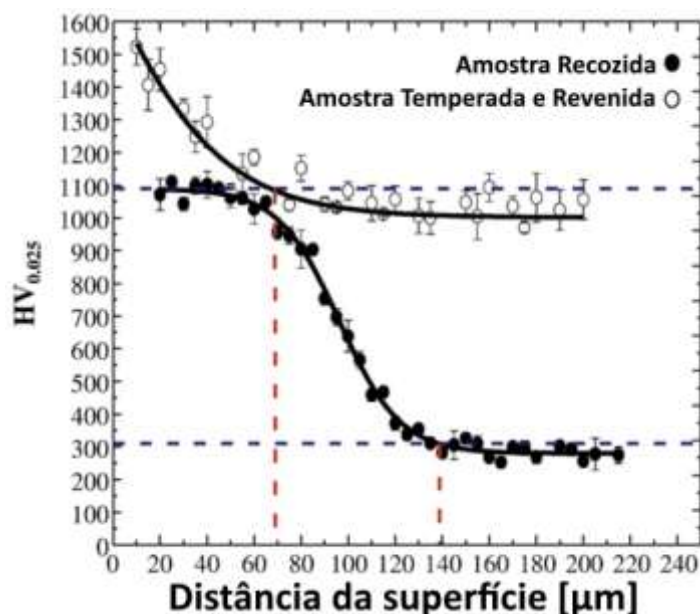
No gráfico da Figura 4 estão apresentados os resultados quando a profundidade de camada formada e pode-se observar que as condições superficiais pré-nitretação afetam a profundidade das camadas nitretadas, sendo que as amostras polidas, que apresentam menores tensões residuais, originaram as camadas mais profundas. Comparando os resultados dos tratamentos executados sob tensão pode-se observar que os substratos submetidos a tensões trativas formaram as camadas mais profundas do que os nitretados sob tensões compressivas. Também foi visualizado que para os parâmetros de tratamentos realizados a dureza da camada superficial foi em média 400 HV<sub>0,25</sub> mais alta que a dureza de núcleo do substrato.



**Figura 4.** Profundidade da zona de difusão obtida pelos tratamentos conduzidos por Hirsch e colaboradores, adaptado de HIRSCH et al.<sup>(8)</sup>.

### Efeitos da Microestrutura Prévia do Substrato

AKBARI e colaboradores <sup>(9)</sup> observaram a resposta de um tratamento de nitretação a plasma no M2 com respeito a microestrutura inicial dos substratos, para isso foram conduzidos experimentos em amostras previamente tratadas termicamente por recozimento e por têmpera e revenimento. A nitretação a plasma foi conduzida em potencial flutuante, utilizando mistura gasosa composta 25% de N<sub>2</sub> e 75% de H<sub>2</sub> sob pressão de 7,5 Pa, utilizando uma fonte RF de 13,56 MHz com potência de 750W e aquecimento externo auxiliar para controle de temperatura independente da potência do plasma. A temperatura de tratamento foi de 450 °C durante 8 horas. Como resultado foi observado que as amostras que passaram por têmpera e revenimento não formaram nitretos típicos de aços nitretados (ou formaram em pouca quantidade não detectada) enquanto em amostras recozidas pôde-se observar por difração de raios-X a formação de picos referentes às fases  $\epsilon$  (Fe<sub>2-3</sub>N) e  $\gamma'$  (Fe<sub>4</sub>N). Com relação a dureza, após nitretação foi observada dureza superficial de 1600 HV<sub>0,025</sub> para a amostra previamente temperada e revenida e 1100 HV<sub>0,025</sub> para amostra recozida, em comparação com a dureza pré-nitretação dos substratos isso representa, respectivamente, aumento de 50% e 330%, a Figura 5 apresenta os perfis de microdureza construídos.



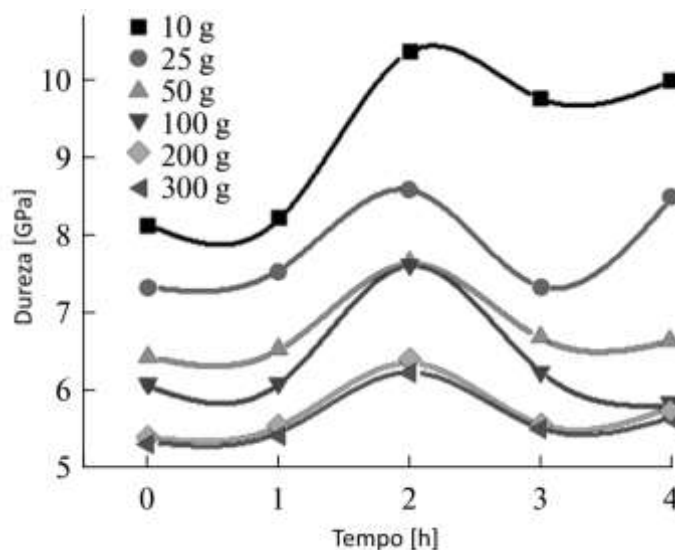
**Figura 5.** Perfis de microdureza de amostras submetidas a diferentes tratamentos térmicos posteriormente nitretadas a plasma, AKBARI, A. *et al.* <sup>(9)</sup>.

A resposta ao tratamento de nitretação com relação a microestrutura do material é atribuída a três principais fatores: Diferença no coeficiente de difusão do nitrogênio, formação de precipitados de nitrogênio na zona de difusão e diferentes estados de tensões residuais (que dificultam a difusão em direção ao núcleo do substrato).

### Nitretação a Plasma com Tela Ativa

NAZ *et al.* <sup>(10)</sup> conduziram tratamentos de nitretação a plasma no aço M2 utilizando a técnica de tela ativa (quando o substrato é nitretado em potencial

flutuante e a descarga luminescente é desencadeada em uma tela metálica posicionada em seu redor), o tempo de tratamento foi variado entre 1 e 4 horas com pressão também variando entre 1 e 4 mbar, a mistura gasosa utilizada foi composta 50% de gás H<sub>2</sub> e 50% de gás N<sub>2</sub>, e os tratamentos foram executados na temperatura de 500 °C. Notou-se que há um tempo de tratamento ideal para que se obtenha os melhores resultados em respeito ao aumento de dureza, sendo que para os experimentos conduzidos as maiores medições de dureza foram obtidas nos tratamentos conduzidos com 2 horas de duração (gráfico apresentado na Figura 6), para tempos acima de 2 horas a redução de dureza observada foi atribuída à fragilização da camada nitretada formada.



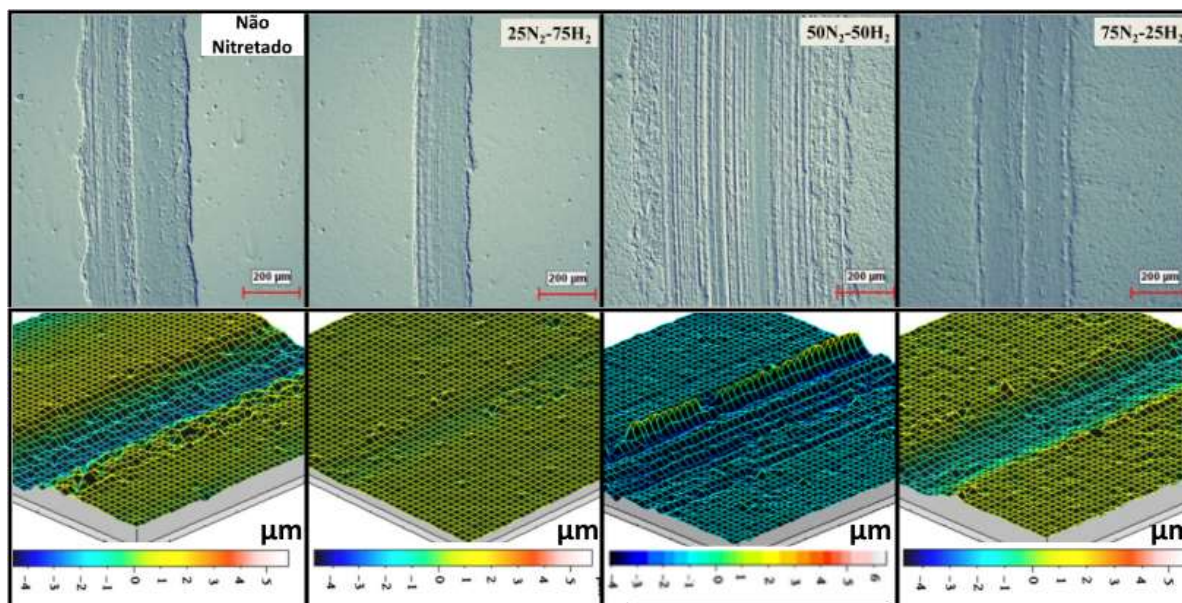
**Figura 6.** Gráfico apresentando o aumento de dureza em relação ao tempo dos experimentos conduzidos por NAZ *et al.*<sup>(10)</sup>, adaptado.

Tratamentos de nitretação a plasma no aço M2 utilizando tela ativa foram conduzidos por Doyle *et al.*<sup>(11)</sup>, o objetivo era obter camadas nitretadas com características próprias para aplicação em ferramentas de corte, restringindo mecanismos de fragilização devido a geometria do gume quando submetido a tratamentos convencionais ao mesmo tempo em que é gerada uma superfície com bom acabamento superficial para reduzir o desgaste de mecanismos dos processo de corte e usinagem. Foram realizados tratamentos de nitretação a plasma com duração de 30 minutos, utilizando mistura gasosa composta de 70%H e 30% N nas temperaturas de 480 e 570 °C. Foi concluído que as condições de tratamento incluindo o potencial de nitrogênio e o design da tela ativa acabou por não permitir a formação de uma camada nitretada de espessura desejada.

### Comportamento Tribológico e em Corrosão

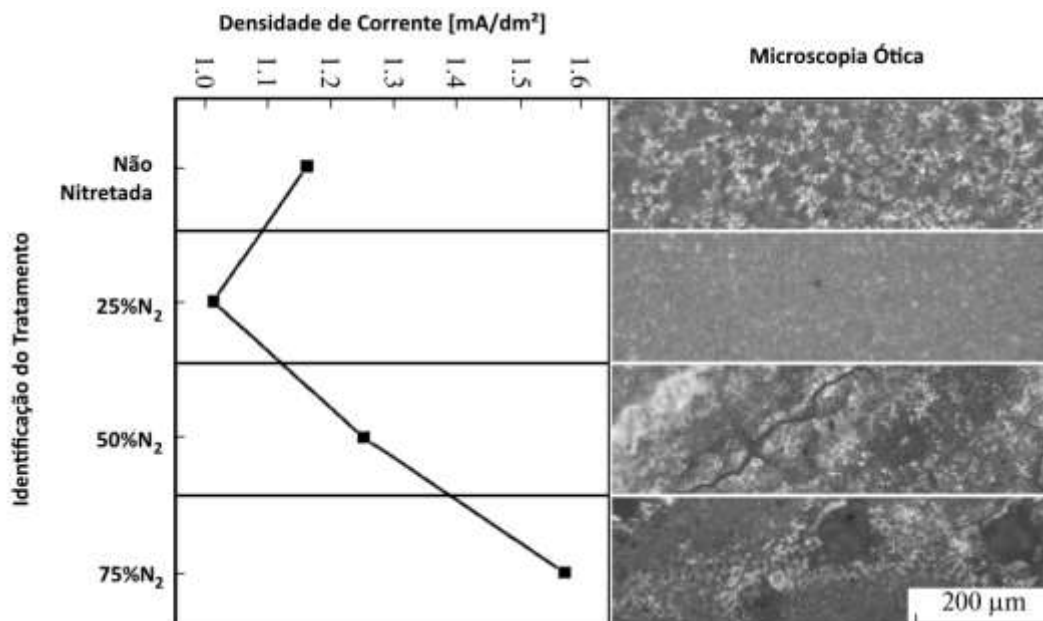
MOHAMMADZADEH, AKBARI e DROUET<sup>(12)</sup> conduziram estudos com relação ao desgaste de amostras de M2 temperadas e revenidas, nitretadas a plasma com diferentes proporções N<sub>2</sub> na mistura gasosa, variando entre 25, 50 e 75 %, com balanço de H<sub>2</sub>, o tempo de tratamento foi de 8 horas, a temperatura de 450 °C com pressão de 7,5 Pa. Ensaio tribológicos foram executados com testes de deslizamento rotatório do tipo esfera-sobre-disco, com carga de 8 N a 30 rpm durante 1000 metros, as trilhas de desgaste podem ser observadas na Figura 7 em

figuras obtidas por microscópio e por perfilômetro, nota-se que a trilha de desgaste é mais profunda na amostra não nitretada, comparando o volume desgastado de todos os ensaios conduzidos, foi observado aumento de resistência ao desgaste entre 20% e 90%, sendo o volume de material desgastado aumentou proporcionalmente a porcentagem de gás  $N_2$  na mistura gasosa do tratamento.



**Figura 7.** Trilhas de desgaste no aço M2 nitretado a plasma com diferentes proporções de  $N_2$  obtidas através de ensaios tribológicos conduzidos por MOHAMMADZADEH, AKBARI e DROUET<sup>(12)</sup>, adaptado.

A aplicação de aços rápidos como ferramentas de corte é executada a velocidades relativamente elevadas e, deste modo, tendo em vista que altas temperaturas são atingidas na região de corte, o processo deve ser conduzido com auxílio de líquidos refrigerantes, o que gera preocupação por danos causados por corrosão e oxidação, assunto abordado por VAKILI, AKBARI, e MOHAMMADZADEH<sup>(13)</sup> com respeito à resistência a corrosão do aço M2 nitretado a plasma, os autores apontam que diversos estudos apresentam que melhores resistência a corrosão são obtidas com ocorre a formação da camada de compostos que atua como uma barreira agindo contra a ação corrosiva do meio, entretanto com relação a resistência ao desgaste, a camada de compostos geralmente é indesejada devido a sua natureza frágil. Os parâmetros de nitretação foram iguais aos estudados por MOHAMMADZADEH, AKBARI e DROUET<sup>(12)</sup>, sendo que a camada branca formada foi removida através de polimento com pasta de diamante, resultando apenas a zona de difusão. Testes de corrosão foram conduzidos utilizando um potenciostato, em uma célula de três eletrodos, sendo um dos eletrodos a amostra investigada, outro um eletrodo de calomel e outro de platina, como eletrólito foi utilizada solução de cloreto de sódio dissolvida em 3,5%, com tensão aplicada variando entre -200 mV a 1150 mV, os resultados estão apresentados na Figura 8 resumidos em valores de densidade de corrente e imagens obtidas por microscopia ótica.

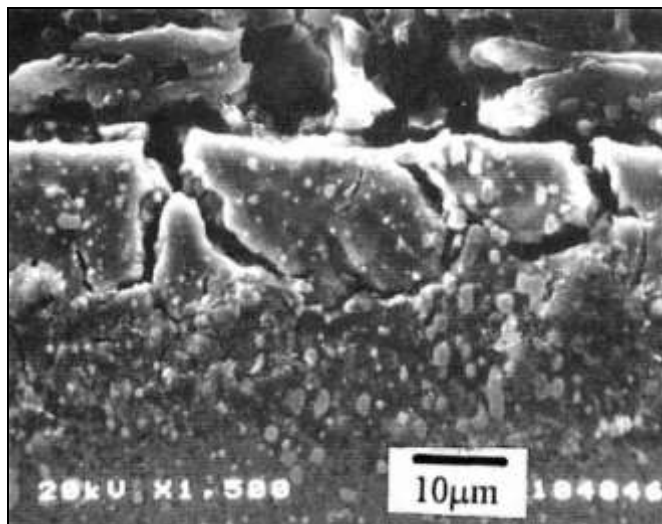


**Figura 8.** Resposta ao ensaio de corrosão, apresentando os valores de densidade de corrente e imagens obtidas por microscopia ótica para os diferentes parâmetros de tratamento investigados por VAKILI, AKBARI e DROUET<sup>(13)</sup>, adaptado.

Pode-se observar que a concentração de nitrogênio afeta a resistência a corrosão da zona de difusão, o ensaio conduzido na amostra oriunda do tratamento com composição gasosa de 25% N<sub>2</sub> apresentou melhoria de resistência a corrosão, entretanto os tratamentos com 50% e 75% de N<sub>2</sub> reduziram a resistência a corrosão apresentando corrosão mais severa do que em comparação com o substrato não nitretado. Como conclusões atribuiu-se a melhoria na resistência a corrosão obtida no tratamento de 25% N<sub>2</sub> devido a formação de nitrogênio em solução sólida na matriz, nos outros tratamentos, com o aumento do fluxo de nitrogênio ocorreu a formação de carbonitretos com elementos de liga da matriz ocasionando empobrecimento da matriz ferrítica em elementos de liga responsáveis por manter a resistência a corrosão.

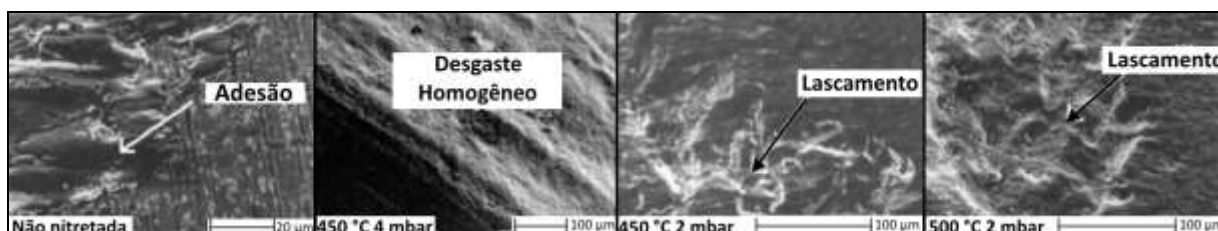
Experimentos conduzidos por Tier e colaboradores <sup>(14)</sup> avaliaram o desgaste em substratos de aço M2 submetidos a diferentes tratamentos de nitretação a plasma utilizando mistura gasosa composta 25% de N<sub>2</sub> e diferentes tempos de tratamento. Os ensaios de desgaste foram conduzidos com uma configuração de roda sobre plano, onde o material da roda era composto de aço AISI 4340 e o plano era o substrato de M2 nitretado. Os resultados foram separados em três categorias. A primeira categoria compreende ao aço não nitretado e aos aços nitretados em baixa temperatura (450 °C) que apresentaram apenas a formação da zona de difusão, sem a formação da camada branca, nestas condições foi observado grande desgaste por adesão do material da roda. A segunda categoria compreende os substratos nitretados em alta temperatura (550 °C) que apresentaram a formação da camada branca frágil apresentada na Figura 9, a fragilização dos contornos de grão promoveu a formação de fraturas que influenciam negativamente no comportamento tribológicos, agravando o desgaste e apresentando grande perda de volume. As amostras do terceiro grupo foram resultantes de tratamentos em média temperatura (500 °C) onde foi obtida a camada branca de forma controlada, mantendo a tenacidade, os resultados de desgaste dos materiais deste grupo reduziram ambos os mecanismos de desgaste por adesão e por lascamento.





**Figura 9.** Fragilização ocorrida nos contornos de grão apresentada por Tier *et al.* <sup>(14)</sup> observada em uma amostra de M2 nitretada a plasma durante 2 horas em 550 °C.

Posteriormente, dando continuidade ao trabalho de Tier *et al.* <sup>(14)</sup>, PESSIN e colaboradores<sup>(15)</sup> investigaram a influência da variação de parâmetros de processo de temperatura e pressão quanto ao desgaste no aço M2 nitretado a plasma. Foram realizados tratamentos utilizando mistura gasosa composta 25% de gás nitrogênio com balanço em hidrogênio, o tempo dos tratamentos foi de 60 minutos, realizados nas temperaturas de 450 e 500 °C com pressões de 3, 4 e 9 mbar. Para verificação do desgaste foram realizados testes tribológicos de disco-contra-superfície. Como resultados foi notado que os tratamentos conduzidos em menor temperatura (450 °C), nas pressões de 4 e 9 mbar ocasionaram a formação da camada branca composta apenas por nitretos de fase  $\epsilon$  (Fe<sub>2</sub>-3N), enquanto nos tratamentos na temperatura de 500 °C apresentaram a formação de ambos nitretos  $\epsilon$  e  $\gamma'$  (Fe<sub>4</sub>N), para os tratamentos em 2 mbar não houve formação da zona de compostos e a maior profundidade das camadas nitretadas foram obtidas nos tratamentos realizados com 4 mbar de pressão. As trilhas de desgaste ensaiadas podem ser visualizadas nas imagens de MEV da Figura 10, na amostra não nitretada foi observado o maior coeficiente de atrito, de 0,95, que pode ser o fator responsável pelo surgimento de partículas desgastadas por adesão, os tratamentos conduzidos em maiores pressões (4 e 9 mbar) apresentaram os melhores comportamentos durante o tratamento, com coeficiente de atrito de 0,25 resultando em desgaste homogêneo, já nas amostras nitretadas com a menor pressão (2 mbar) foi observado coeficiente de atrito de 0,8 apresentando desgaste por lascamento.



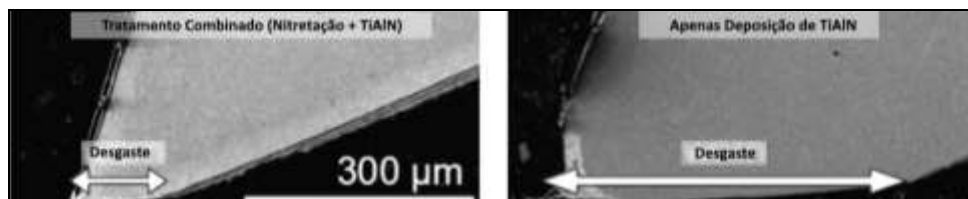
**Figura 10.** Imagens obtidas por microscópio eletrônico de varredura apresentando os mecanismos de desgaste em amostras de M2 nitretadas em diferentes condições, PESSIN *et al.* <sup>(15)</sup>, adaptado.

## Comportamento em Fadiga

Aços rápidos podem ser produzidos por metalurgia do pó, apresentando melhor distribuição dos carbonetos de sua composição, a eficiência na realização do tratamento de nitretação a plasma em ferramentas de aço M2 produzidas por metalurgia do pó foi comprovada por JURČI *et al.*<sup>(16)</sup> que apresentam duas configurações de nitretação a plasma em punções de aço M2, a primeira configuração refere-se a um tratamento a 500 °C conduzido utilizando uma mistura gasosa com proporções N<sub>2</sub>:H<sub>2</sub> de 1:3 durante 60 minutos, a segunda configuração utilizou a mesma mistura gasosa, porém a 530 °C por 120 minutos. Ambos tratamentos resultaram na formação da camada branca, entretanto a segunda configuração resultou em camadas mais profundas e em fases mais ricas em nitrogênio, os punções foram submetidos a ensaios industriais, um punção não nitretado apresentou vida útil para produção de 3100 peças enquanto o punção nitretado pela primeira configuração teve a vida útil estendida capaz de produzir 65000 peças, já o punção submetido a segunda configuração de nitretação foi capaz de produzir 46600 peças antes que houvesse falha. Estudando as falhas foi concluído que a fratura nos punções nitretados iniciou-se abaixo da superfície, já no punção não nitretado as trincas surgiram na superfície e se expandiram, isso ocorreu pois as tensões residuais compressivas resultantes da nitretação a plasma compensaram o carregamento radial do processo, entretanto a presença cíclica de tensões trativas levou ao surgimento de trincas por fadiga abaixo da superfície, na região não afetada pela nitretação.

## Tratamentos Combinados de Nitretação e Deposição de Filmes Finos

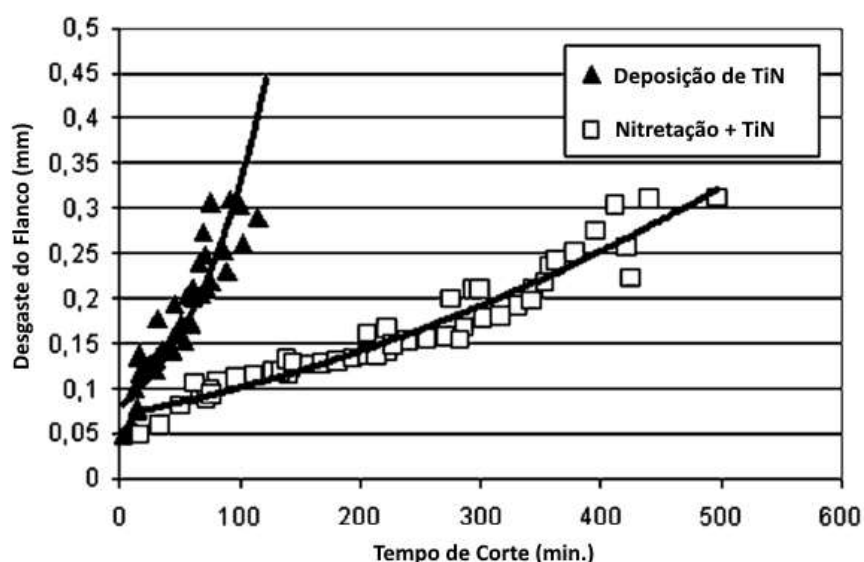
Rousseau <sup>(1,17)</sup> realizou tratamentos de nitretação a plasma em brocas de aço M2, comparando com brocas não tratadas, a vida útil das brocas foi pouco afetada, porém com a nitretação combinada com deposição por PVD (deposição física por vapor) de TiAlN gerando um tratamento combinado (Duplex), aliou a alta dureza e resistência ao desgaste de um revestimento PVD com a resistência a fadiga e capacidade de sustentação de carga providenciado pelo material nitretado. Comparando os resultados dos substratos somente nitretados ou somente revestidos, a vida útil das brocas que foram submetidas ao tratamento combinado mais que dobrou, este tipo de comportamento é devido a nitretação a plasma providenciar uma superfície menos propensa a deformações plásticas durante a operação de corte melhorando o suporte para a camada depositada, na Figura 11 é apresentada a seção transversal da aresta de corte de ferramentas ensaiadas comparando o desgaste nos casos de tratamento combinado e com apenas deposição.



**Figura 11.** Seção transversal da aresta de corte de ferramentas ensaiadas por Rousseau e colaboradores<sup>(17)</sup>, pode-se observar que o desgaste na ferramenta com tratamento combinado de nitretação com deposição de TiAlN (esquerda) é bem menor que o desgaste da ferramenta apenas com deposição de TiAlN (direita).

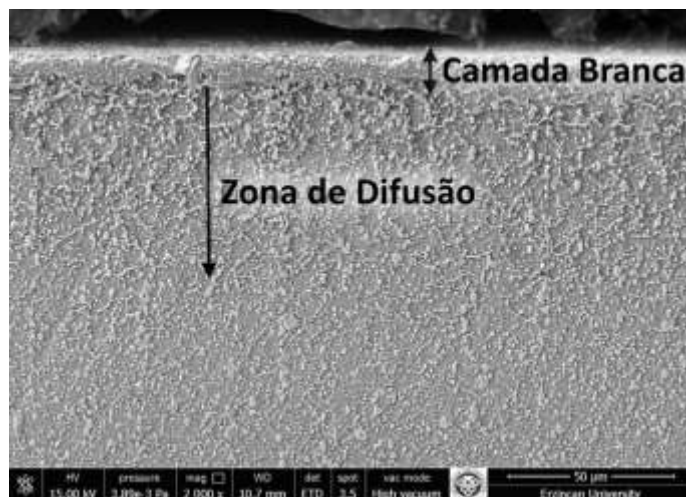
Experimentos semelhantes foram conduzidos por KWIETNIEWSKI *et al.* (2004)<sup>(18)</sup> combinando nitretação a plasma convencional com revestimento PVD de TiN, os tratamentos foram conduzidos utilizando mistura gasosa composta 95% de H<sub>2</sub> e 5% de N<sub>2</sub> a 500 °C por 90 minutos, gerando uma camada nitretada composta apenas pela zona de difusão (sem a formação da camada branca). Apesar de em amostras planas ter sido gerada uma camada que providencia boa adesão para deposição por PVD, quando aplicado o tratamento em brocas, a região do gume apresentou a formação de uma zona nitretada mais profunda devido ao efeito de borda causado pela a maior exposição ao plasma e conseqüentemente maior temperatura localizada. Mesmo com a posterior deposição do revestimento, as brocas apresentaram falha prematura devido a fragilização da região de sustentação da camada depositada, a formação de precipitados em contornos de grão ocasionou na redução da vida útil da ferramenta, para evitar estes problemas os autores sugerem a realização de nitretação a plasma em condições menos agressivas, reduzindo a temperatura, menor tempo de tratamento e menor potência aplicada.

Os autores apresentaram que uma seleção específica de parâmetros de tratamento resultou em uma camada nitretada capaz de melhorar a adesão da camada depositada em ferramentas de corte, apresentado na Figura 12



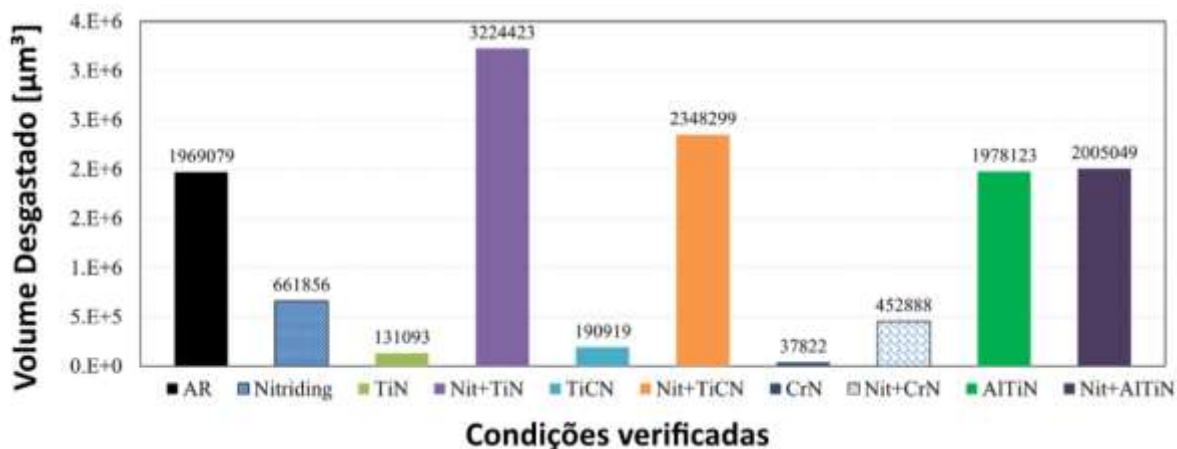
**Figura 12.** Comparação do desempenho de ferramentas de corte apenas com camada depositada de TiN e com o tratamento combinado de Nitretação a plasma com parâmetros adequados e posterior deposição de TiN, pode-se observar a redução de desgaste e aumento da vida útil da ferramenta submetida ao tratamento combinado, KWIETNIEWSKI *et al.*<sup>(18)</sup>, adaptado.

HACISALIHOGU, YILDIZ e ALSARAN<sup>(19)</sup> realizaram em um estudo recente sobre a aplicação de diferentes tipos de revestimentos combinados com nitretação a plasma no aço M2 a fim de verificar a resistência ao desgaste. As amostras investigadas foram previamente nitretadas a plasma utilizando mistura gasosa de 50% N<sub>2</sub> e 50% H<sub>2</sub>, por 2 horas a 500 °C com pressão de 5 mbar, a seção transversal de uma amostra nitretada pode ser visualizada na Figura 13, foram obtidas camadas nitretadas com 10 µm de zona de compostos e 170 µm de zona de difusão.



**Figura 13.** MEV da seção transversal de uma amostra nitretada a plasma presente no estudo de HACISALIHOGU, YILDIZ e ALSARAN<sup>(19)</sup>, adaptado.

Os revestimentos foram aplicados utilizando a técnica de deposição física por vapor assistida por arco catódico, foram investigados diferentes revestimentos: TiN, AlTiN, TiCN e CrN, aplicados em substratos com e sem nitretação prévia. Foram executados ensaios para verificação da resistência ao desgaste, conduzidos em equipamento de deslizamento de esfera recíproco (*ball-on-flat*), utilizando esfera de alumina, em condições a seco e lubrificado, a Figura 14 apresenta um gráfico comparativo do volume desgastado para os diferentes tipos de superfícies.



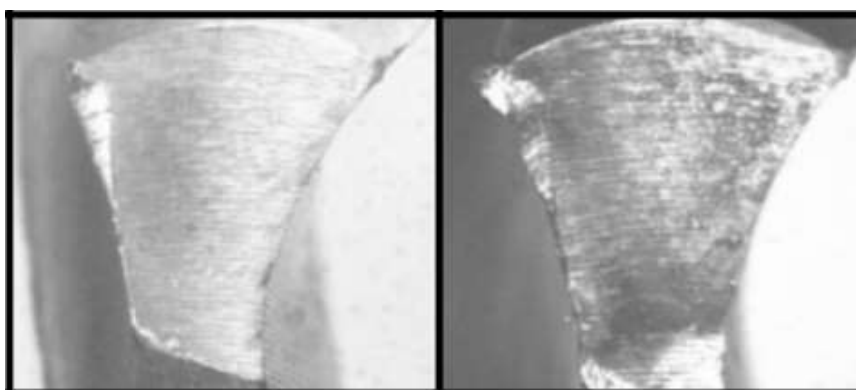
**Figura 14.** Volume desgastado calculado após ensaios de desgaste conduzidos a seco para diferentes condições superficiais envolvendo combinação de nitretação a plasma com deposições de revestimentos variados no M2, apresentado por Hacisalihoglu, Yildiz e Alsaran<sup>(19)</sup>, adaptado.

Pode-se observar que para os casos investigados a realização de um tratamento duplex ocasionou em efeitos negativos com respeito à resistência ao desgaste, mesmo apresentando maiores leituras de dureza que os tratamentos simples. As amostras onde apenas o revestimento foi depositado, sem a prévia nitretação do substrato, resultaram em menor desgaste, isto pode ser devido a formação da camada branca, que resultou em baixa adesão dos revestimentos ao substrato pois nas trilhas de desgaste nos casos duplex foi observada descamação dos revestimentos.

## Desempenho Aplicado em Ferramentas

ROCHA, STROHAECKER e HIRSCH<sup>(20)</sup> apresentaram resultados da aplicação da nitretação a plasma com relação ao comportamento em usinagem do aço M2, observando também a influência de diferentes acabamentos superficiais prévios. Amostras circulares e brocas de centro de aço M2 temperadas e revenidas foram preparadas por lixamento, polimento e por jateamento de areia. Os tratamentos de nitretação a plasma utilizaram como parâmetros misturas gasosas com 5% e 76% em volume de gás N<sub>2</sub> com balanço de gás H<sub>2</sub>, pressão de trabalho de 5 mbar, tempo de tratamento de 30 minutos nas temperaturas de 400 e 500 °C. Como resultado os tratamentos com gás rico em nitrogênio resultaram na formação de zona de compostos formada por nitretos  $\epsilon$  enquanto nos tratamentos conduzidos com a mistura pobre em nitrogênio não foi verificada formação de zona de compostos.

Foram realizados testes de furação com as brocas contra material de aço 1050, realizando 600 furações com cada broca, medindo o desgaste das arestas de corte a cada 100 furações, na Figura 15 pode-se observar uma face de corte de uma broca, antes e depois da realização de testes de furação. O maior desgaste observado ocorreu nos primeiros 100 furos, sendo que as brocas sem preparação (como recebidas), nitretadas com gás de 76% N<sub>2</sub> e temperatura de 500°C apresentaram o maior desgaste e as amostras jateadas e nitretadas com mistura gasosa de 5% N<sub>2</sub> resultaram a menor taxa de desgaste.



**Figura 15.** Arestas de corte de brocas não-jateadas, nitretadas a 500 °C, por 30 minutos com gás 5% N<sub>2</sub>. Antes (esquerda) e depois (direita) a realização de 100 perfurações, ROCHA, STROHAECKER e HIRSCH<sup>(20)</sup>.

Nas amostras nitretadas com mistura gasosa de 76% de N<sub>2</sub> ocorreu a formação de redes de precipitações nos contornos de grão, que levaram a maiores taxas de desgaste. A formação de uma fina camada de compostos reduziu a força necessária para realização dos furos. Foi concluído que a realização de jateamento de areia antes da submissão dos substratos para o tratamento de nitretação a plasma, apesar da formação de camadas nitretadas menos profundas, mostrou-se benéfico para a redução do desgaste por promover na superfície a ocorrência de tensões residuais compressivas que reduzem a formação e crescimento de trincas, além disso, o jateamento de areia em brocas promove remoção de material sobreposto resultante de deformações plásticas nas arestas de corte, resultando em aumento de vida útil.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se observar que é possível a realização do tratamento de nitretação a plasma do aço rápido M2 com ganho efetivo de desempenho em serviço das ferramentas tratadas.

Nota-se que o estado prévio do material a ser submetido ao tratamento de nitretação a plasma têm grande influência nas camadas formadas e no desempenho das ferramentas.

Deve-se escolher com cuidado os parâmetros de tratamento, pois é possível que determinadas combinações de parâmetros venham a formar camadas frágeis indesejadas. Além disso, deve-se considerar cada aplicação, geometria de ferramenta e condições de serviço nesta seleção de parâmetros.

A nitretação a plasma tem o potencial de melhorar o desempenho de revestimentos de filmes finos devido ao aumento da capacidade de suporte de carga. No entanto, deve-se evitar a formação de camada branca, zona de difusão pouco profunda e bom acabamento pós-nitretação antes da aplicação do revestimento.

#### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a CAPES pelo auxílio em bolsa de mestrado e ao CNPq o apoio no âmbito do Processo 311348/2015-7, Produtividade em Pesquisa - PQ 2015.

#### REFERÊNCIAS

1. Rousseau AF. Metallurgical Characterization and Performance of High Speed Steel Tool Materials used in Metal Cutting Applications. 2016.
2. Zhao C, Li CX, Dong H, Bell T. Study on the active screen plasma nitriding and its nitriding mechanism. Surf Coatings Technol. 2006;201(6):2320–5.
3. Almeida EA dos S de, Costa CE da, Milan JCG. Study of the nitrided layer obtained by different nitriding methods. Rev Matéria. 2015;20(2):460–5.
4. Ozbaysal K, Inal OT, Romig AD. Ion-nitriding Behavior of Several Tool Steels. 1986;78:179–91.
5. Aghajani H, Behrangi S. Plasma nitriding of steels. Springer International Publishing; 2017.
6. Rembges W, Oppel W. Process control of plasma nitriding and plasma nitrocarburizing in industry. Surf Coatings Technol. 1993;59(1–3):129–34.
7. Rocha A da S. INFLUÊNCIA DO ESTADO SUPERFICIAL PRÉVIO NA NITRETAÇÃO A PLASMA DO AÇO AISI M2 [Tese de Doutorado]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2000.
8. Hirsch T, Rocha A, Ramos F, Strohaecker T. Residual stress-affected diffusion during plasma nitriding of tool steels. Metall Mater Trans A [Internet]. 2004;35(11):3523–30. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s11661-004-0189-2> DO - 10.1007/s11661-004-0189-2
9. Akbari A, Mohammadzadeh R, Templier C, Riviere JP. Effect of the initial

- microstructure on the plasma nitriding behavior of AISI M2 high speed steel. Surf Coatings Technol [Internet]. 2010;204(24):4114–20. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.05.042>
10. Naz MY, Shukrullah S, Ghaffar A, Shakir I, Ullah S, Sagir M, et al. Surface Morphology and Mechanical Strength of AISI M2 Tool Steel Treated in Abnormal Glow Region of Plasma 1. 2015;51(1):58–64.
  11. Doyle ED, Pagon AM, Hubbard P, Dowey SJ, Pilkington A, McCulloch DG, et al. Nitriding of high speed steel. Int Heat Treat Surf Eng [Internet]. 2011;5(2):69–72. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/174951411X12956208225348>
  12. Mohammadzadeh R, Akbari A, Drouet M. Microstructure and wear properties of AISI M2 tool steel on RF plasma nitriding at different N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> gas compositions. Surf Coatings Technol [Internet]. 2014;258:566–73. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.08.036>
  13. Vakili S, Akbari A, Mohammadzadeh R. Corrosion resistance of plasma nitrided AISI M2 high speed steel. Prot Met Phys Chem Surfaces [Internet]. 2015;51(4):630–6. Available from: <http://link.springer.com/10.1134/S2070205115040334>
  14. Tier M, Bloyce A, Bell T, Strohaecker T. Wear of plasma nitrided high speed steel. Surf Eng. 1998;14(3):223–7.
  15. Pessin M a, Tier MD, Strohaecker TR, Bloyce a, Sun Y, Bell T. The effects of plasma nitriding process parameters on the wear characteristics of AISI M2 tool steel. Tribol Lett. 2000;8:223–8.
  16. Jurči P, Stolař P, Hnilica F, Blaštík T. Plasma Nitriding of P / M M2 Tool Steel - Structure and Properties. Mater Technol [Internet]. 2003;37(3–4):145–8. Available from: <http://mit.imt.si/Revija/izvodi/mit0334/jurci.pdf>
  17. Rousseau AF, Partridge JG, Mayes ELH, Toton JT, Kracica M, McCulloch DG, et al. Microstructural and tribological characterisation of a nitriding/TiAlN PVD coating duplex treatment applied to M2 High Speed Steel tools. Surf Coatings Technol [Internet]. 2015;272:403–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.03.034>
  18. Kwietniewski C, Fontana W, Moraes C, Rocha A da S, Hirsch T, Reguly A. Nitrided layer embrittlement due to edge effect on duplex treated AISI M2 high-speed steel. Surf Coatings Technol. 2004;179(1):27–32.
  19. Hacısalihoglu I, Yildiz F, Alsaran A. Wear performance of different nitride-based coatings on plasma nitrided AISI M2 tool steel in dry and lubricated conditions. Wear [Internet]. 2017;384–385:159–68. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2017.01.117>
  20. Rocha A Das, Strohaecker T, Hirsch T. Effect of different surface states before plasma nitriding on properties and machining behavior of M2 high-speed steel. Surf Coatings Technol. 2003;165:176–85.

# ANÁLISE ESTRUTURAL VIA SOFTWARE (AUTODESK INVENTOR) DO PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA MÓVEL PARA ACESSO E ACESSIBILIDADE DE CADEIRANTES NO PALCO DO AUDITÓRIO DO IFSUL CAMPUS CHARQUEADAS

Ferraz, A. D. S.<sup>1</sup>

De Paula, L.<sup>2</sup>

Da Silva, G. N.<sup>3</sup>

Silveira, L. R.<sup>4</sup>

Lima, D. A. S.<sup>5</sup>

Böesch Jr, P. R.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Técnico, Árion Douglas Ferraz, Instituto Federal Sul Rio-Grandense, arionferraz@gmail.com.

<sup>2</sup> Técnico, Ligiane de Paula, Instituto Federal Sul Rio-Grandense, ligianedepaula@gmail.com.

<sup>3</sup> Técnico, Grazielle Nogueira da Silva, Instituto Federal Sul Rio-Grandense, grazinogsilva@gmail.com.

<sup>4</sup> Técnico, Luís Ricardo Silveira, Instituto Federal Sul Rio-Grandense, Isricardo.silveira@gmail.com.

<sup>5</sup> Mestre, Diego Afonso da Silva Lima, Instituto Federal Sul Rio-Grandense, diegolima@charqueadas.ifsul.edu.br

<sup>6</sup> Graduado, Paulo Ricardo Böesch Júnior, Instituto Federal Sul Rio-Grandense, pauloboesch@charqueadas.ifsul.edu.br.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

## Resumo

Atualmente existem leis e normas regulamentadoras, como NBR 13994 (Elevadores de Passageiros – Elevadores para Transportes de Pessoa Portadora de Deficiência), NBR 9050 (Acessibilidade a Edificações, Mobiliário, Espaços e Equipamentos Urbanos), a fim de padronizar meios de forma a possibilitar o acesso e interação de deficientes físicos aos serviços e ambientes básicos. No palco do auditório do campus Charqueadas existe a impossibilidade do acesso de cadeirantes, bem como de pessoas com dificuldades temporárias de locomoção dos membros inferiores. Para tornar isto possível, este projeto propõe o desenvolvimento de uma Plataforma Elevatória, que é um tipo de elevador industrial, um equipamento útil para se utilizar no acesso de pessoas que não tem mobilidade de acesso em escadas, degraus, cordões e etc. Segundo os termos do Art. 2º da Lei n.º 10.098/2000, acessibilidade é a: Possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, dos espaços, mobiliários e equipamentos urbanos, das edificações, dos transportes e dos sistemas e meios de comunicação, por pessoa portadora de deficiência ou com mobilidade reduzida. As plataformas elevatórias são equipamentos extremamente importantes para locomoção vertical de pessoas com problemas de mobilidade (especialmente para cadeirantes), destinado a vencer elevações em shoppings, prédios comerciais e todas as atividades que envolvam atendimento e serviços dirigidos ao público. O equipamento está sendo desenvolvido e fabricado para facilitar o acesso de pessoas com mobilidade reduzida, em ambientes internos e externos, o que resulta na melhoria da mobilidade e não exige grande volume de obras para sua instalação devido a sua portabilidade.



**Palavras-chave:** Acessibilidade; Mobilidade; Plataforma; IFSul.

## **STRUCTURAL ANALYSIS WITH SOFTWARE (AUTODESK INVENTOR) OF THE DESIGN FOR THE DEVELOPMENT OF A MOBILE PLATFORM FOR ACCESSIBILITY OF CADEIRANTS IN THE STAGE OF AUDITORIUM OF THE IFSUL CAMPUS CHARQUEADAS**

### **Abstract**

Laws and regulatory standards, such as NBR 13994 (Passenger Elevators - Elevators for Disabled Person Transport), NBR 9050 (Accessibility to Buildings, Furniture, Spaces and Urban Equipment) are available, in order to standardize access and interaction of the disabled to services and environments. On the Campus Charqueadas Auditorium Stage is not possible the access to wheelchair users, as well as people with temporary difficulties of locomotion of the inferiors. In order to make this possible, this project proposes the construction of a Lift Platform, which is a type of industrial elevator, useful equipment for the access of people who do not have access mobility on stairs, steps, cords and so on. According to the terms of Art. 2º of Law no. 10.098 / 2000, accessibility is: Possibility and condition for the use, security and autonomy, of spaces, furniture and urban equipment, buildings, transport and communication systems and methods, by person with a disability or with reduced mobility. The lift platforms are extremely important equipment for the vertical mobility of people with mobility problems (especially for wheelchair users), they are designed for climb elevation places in shoppings, commercial buildings and all activities involving public interaction or services aimed at the public. The equipment is developed and manufactured to facilitate the access of people with reduced mobility, in internal and external environments, which results in the improvement of the mobility and does not require large volume of works for its installation due to its portability.

**Key words:** Accessibility; Mobility; Platform; IFSul.

### **1 INTRODUÇÃO**

Atualmente existem leis e normas regulamentadoras, como NBR 13994 (Elevadores de Passageiros – Elevadores para Transportes de Pessoa Portadora de Deficiência), NBR 9050 (Acessibilidade a Edificações, Mobiliário, Espaços e Equipamentos Urbanos), a fim de padronizar meios de forma a possibilitar o acesso e interação de deficientes físicos aos serviços e ambientes básicos.

Do fato que, no palco do auditório do campus Charqueadas não existe a possibilidade do acesso de cadeirantes, bem como de pessoas com dificuldades temporárias de locomoção dos membros inferiores, vem a necessidade de elaborar uma solução para o problema. Este projeto propõe o desenvolvimento de uma Plataforma Elevatória para tal. A ideia surgiu por termos percebido a dificuldade de pessoas que não tem mobilidade para acessarem os espaços de uso no campus

Charqueadas, aliado ao processo de inclusão que deve ser desenvolvido na Rede Federal. A plataforma elevatória é um tipo de elevador industrial, um equipamento útil para se utilizar no acesso de pessoas que não tem mobilidade de acesso em escadas, degraus, cordões e etc. “Acessibilidade é uma das principais questões que contribuem para a qualidade de vida e o pleno exercício da cidadania pelas pessoas portadoras de deficiências (LIMA, 2006).”

Segundo os termos do art. 2º da Lei n.º 10.098/2000 acessibilidade é: Possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, dos espaços, mobiliários e equipamentos urbanos, das edificações, dos transportes e dos sistemas e meios de comunicação, por pessoa portadora de deficiência ou com mobilidade reduzida.

Acessibilidade significa não apenas permitir que pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida consigam participar de atividades que incluam o uso de produtos, serviços e informação, mas a inclusão e extensão do uso destes por todas as parcelas presentes em uma determinada população, visando sua adaptação e locomoção, eliminando as barreiras.

Portanto o equipamento é desenvolvido para facilitar o acesso de pessoas com mobilidade reduzida, atendendo ambientes internos e externos, o que resulta na elevação da autoestima da pessoa, sua percepção como indivíduo com igualdade de oportunidades, estabelecendo sua dignidade perante a sociedade e ainda oferece o diferencial de não exigir grande volume de obras para sua instalação devido a sua portabilidade.

Como base teórica para o projeto, fizemos uma revisão bibliográfica sobre convenções e normas regulamentadoras referentes a elevação de passageiros e acessibilidade como um todo. Revisamos também os conceitos técnicos em mecânica que foram necessários para o desenvolvimento e construção da plataforma.

## 1.1 Acessibilidade:

A acessibilidade é um dos temas mais abordados nos dias de hoje. Atualmente, a verticalização das residências é de certa forma inevitável. Verticalização é a construção destinada à residência ou concentração de escritórios, composta de vários pavimentos, capaz de revolucionar a paisagem urbana (Ramirez in Töws, 2007). Essa verticalização ocorre, muitas vezes, a partir da demolição e substituição de edificações antigas, se materializando através da anulação de referenciais históricos. É nesse embate constante entre o novo e o moderno, entre a conservação e a ampliação que os edifícios verticais vão ocupando a cidade em detrimento das residências horizontais.

Com base nestas referências, tornou-se de extrema importância permitir que as pessoas com deficiência, definitiva ou temporária, e ainda o grupo da terceira idade, tenham a possibilidade de executar atividades em todos os lugares, tanto nos ambientes públicos como nos residenciais.

A deficiência física pode ser designada como a perda ou redução da capacidade motora, e engloba vários tipos de limitações, tendo como as principais, de acordo com Borba (2001, p.11).

“Deficiência física ambulatória total – independente de causas ou manifestações, confinam o indivíduo à cadeira de rodas; Deficiência física semi-ambulatória – impõe aos indivíduos amputados, artríticos, espasmódicos e aqueles males cardíacos ou pulmonares, andar com dificuldade ou insegurança, usando ou não aparelhos ortopédicos; Paraplegia – paralisia total ou parcial da metade inferior do corpo, comprometendo as funções das pernas e, é geralmente causada por lesões traumáticas ou doenças; Deficiência de coordenação motora – ocasiona falta de coordenação motora, decorrente de perturbações cerebrais (desde leves até paralisia cerebral), traumática ou neurológicas-periféricas; Deficiências reumáticas – ocasionam mobilidade restrita, decorrente de febre reumática, reumatismo articular, paralisia da espinha dorsal, artrose, dores na coluna, vertebral e/ou reumáticas musculares; Velhice – reduz efetivamente a mobilidade, flexibilidade, coordenação motora e percepção, em indivíduos em idade avançada e que não se enquadram nos casos anteriores; (...) Hemiplegia – paralisia total ou parcial das funções do corpo, como consequência de lesões cerebrais causadas em geral por derrame. Amputação – falta total ou parcial de um ou mais membros do corpo; (...)”

A inclusão é um movimento onde respeitamos as diferenças de cada ser humano propondo respostas às suas necessidades fazendo com que elas se sintam acolhidas nos mais diversos ambientes.

## 1.2 Mecânica e Resistência dos materiais:

Para realizar o desenvolvimento mecânico da plataforma, foi necessário uma revisão dos conceitos de análise estrutural e mecânica. Para tal, utilizamos como referência o livro Tecnologia Mecânica (CHIAVERINI, Vicente), e o manual do projetista de máquinas PROTEC (PROVENZA, Francesco).

Este trabalho tem como objetivo apresentar os cálculos e análise estrutural via software (Autodesk Inventor) do projeto de desenvolvimento de uma plataforma móvel para acesso e acessibilidade de cadeirantes no auditório do IFSul Campus Charqueadas. Focamos nos conceitos de resistência de materiais para o dimensionamento estrutural da plataforma, e em opções de mecanismos para nos basear.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar este projeto, nosso primeiro passo foi fazer uma breve análise sobre o assunto, conversando com os professores escolhidos para orientação do projeto, Coordenador e Orientador. Primeiramente apresentamos nossa proposta de desenvolver uma plataforma de acessibilidade para o auditório do campus. Logo começamos a discutir alguns aspectos chave, tais como:

### 2.1 Ambiente de instalação

Sendo um ambiente civil voltado para apresentações públicas e com boa repetitividade de uso, nosso projeto tinha que focar em algo com o portátil, que pudesse ser movido com facilidade a fim de facilitar a organização de eventos e ser instalado com rapidez sempre que necessário.

## 2.2 Recursos de energia disponíveis

Um aspecto muito importante é quanto ao tipo de acionamento a ser utilizado. Em função do custo, complexidade de execução, ruído e sujeira, logo descartamos algumas possibilidades. Por ser um ambiente civil, não dispunha de uma rede de ar comprimido para um acionamento pneumático e também não se tornaria viável anexar um compressor ao elevador pelo fato de ser muito volumoso, ruidoso e de alto custo. Um sistema hidráulico também não seria viável, pois, necessitaria anexar uma central hidráulica ao elevador (dispositivo que bombeia o fluido hidráulico, gerando pressão para mover o sistema), que geraria um alto ruído. Sistemas hidráulicos para elevação de carga geralmente utilizam óleo hidráulico como fluido para o acionamento devido à propriedades como resistência à compressão, boa fluidez e capacidade de proteger o sistema de corrosão por oxidação, logo, se tivéssemos a inconveniência de algum vazamento produziria muita sujeira. Sendo assim, a melhor opção é um acionamento elétrico, pois, além de o auditório dispor de rede monofásica, um acionamento elétrico é limpo, silencioso e de baixo custo.

## 2.3 Sistema mecânico conceitual

Definido o tipo de acionamento, já limitam consideravelmente as possibilidades de sistemas mecânicos a disposição. As opções a disposição seriam:

- O sistema de elevação por corrente/polias que demandaria grande espaço físico e uma perfeita sincronização com entre as polias motoras de ambos os lados da plataforma para evitar desalinhamento na subida.
- O sistema de duplo fuso vertical que, além de apresentar as mesmas duas desvantagens do sistema anterior, também demanda uma grande qualidade na usinagem que garanta uma baixa rugosidade na superfície de contato, dos dois fusos, a fim de reduzir o esforço de atrito pois a carga incidiria diretamente em sentido colinear sobre o eixo do fuso. Neste caso também seria necessário um sistema de guias lineares verticais que evitariam o desalinhamento da estrutura na subida.
- Por fim, o sistema de fuso único horizontal no centro, não só reduziria consideravelmente o espaço ocupado na armazenagem mas também o custo

(descartando a necessidade de pelo menos seis mancais) e tempo de usinagem pela metade. Para efetivar este sistema, temos um mecanismo secundário pantográfico para a elevação, tal mecanismo possibilita um grande avanço de saída, com cerca de pouco menos da metade do curso de saída na entrada. Ou seja, o fuso se atuaria linearmente por cerca de 300 mm para um avanço de saída de 750 mm.

## 2.4 Projeto, Modelagem (CAD) e Simulações (CAE)

Com os itens acima definidos, partimos para a execução do projeto mecânico propriamente dito. Fizemos alguns croquis para esboçar os esforços e solicitações nas estruturas e articulações principais. Manualmente, focamos em analisar principalmente as principais forças de solicitação e reação disposta no sistema para posteriormente avaliar a coerência dos resultados nas simulações. Como carga de trabalho definimos 300Kg.

Realizamos o cálculo das verticais nos pantógrafos Rya e Ryb, que estão disposta simetricamente em relação a carga F.

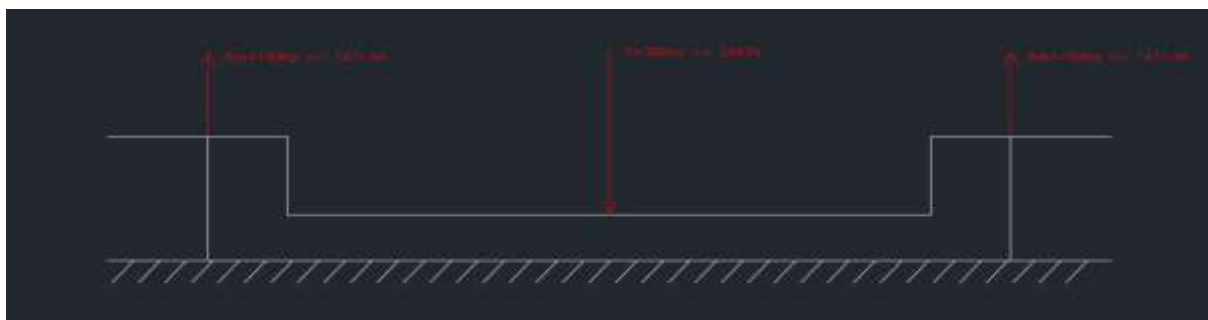


Figura 1. Cálculo das verticais nos pantógrafos Rya e Ryb

$$F = 300\text{Kg} = 2943\text{N}$$

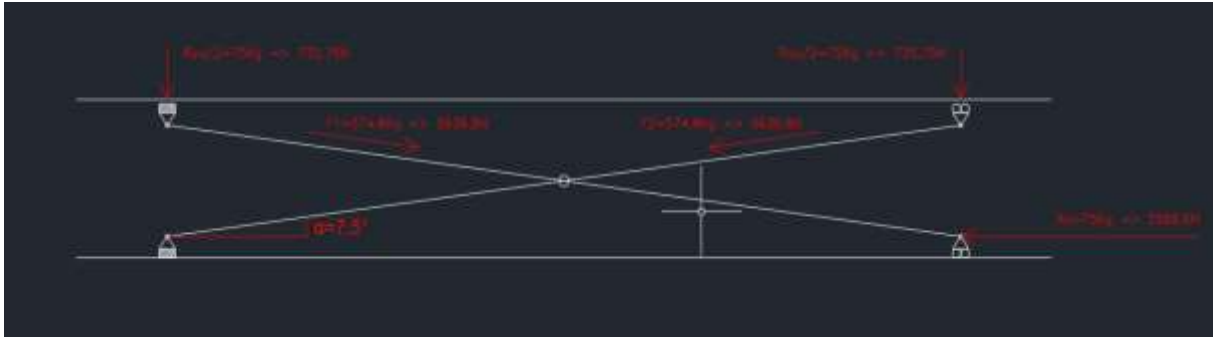
$$\Sigma F_y = 0$$

$$\Sigma F_y = F - R_{ya} - R_{yb} \Rightarrow R_{ya} = R_{yb}$$

$$R_{ya} = F / 2$$

$$R_{ya} = -1471\text{N} \text{ e } R_{yb} = -1471\text{N}$$

Em seguida, quantificamos as reações nos braços do pantógrafo para definir o esforço de acionamento que será utilizado posteriormente para cálculo de potência do motoredutor. Partindo de que a carga e cada pantógrafo é Rya, e que tem dois apoios simetricamente dispostos em relação a carga, decompomos Rya em Rya/2 para cada apoio.



**Figura 2.** Reações quantificadas nos braços do pantógrafo

Definimos a força atuante nos braços como F1 e F2. calculamos primeiro Fe por ter um ângulo mais favorável para os cálculos.

$$F2 = (Rya/2) / \text{sen}(7.5^\circ)$$

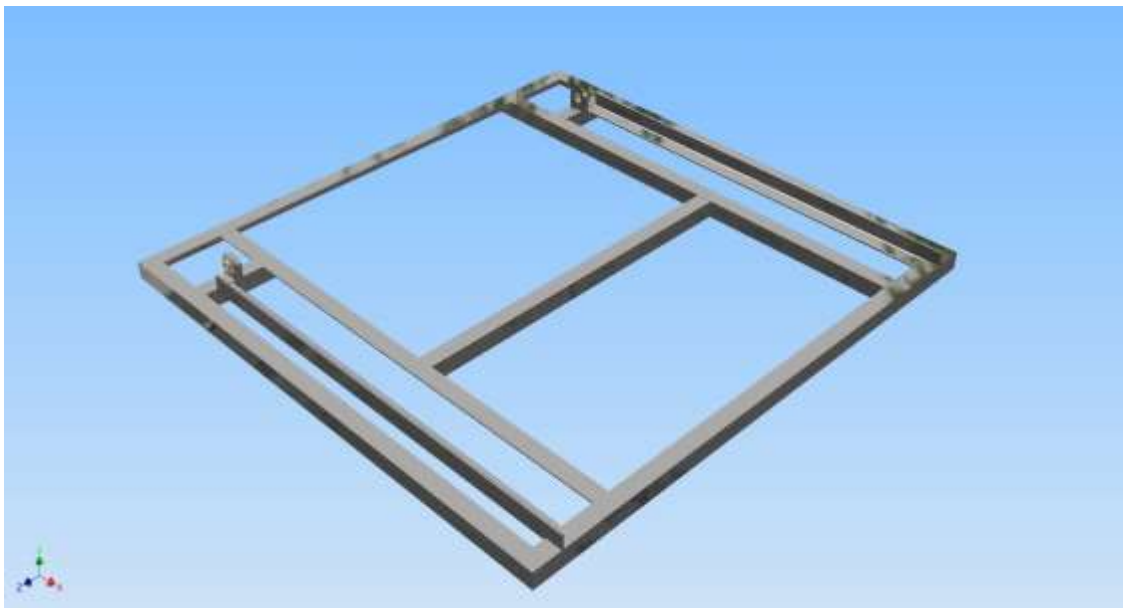
$$F2 = 5636,8\text{N}$$

$$Rx = F2 * \text{cos}(7,5^\circ)$$

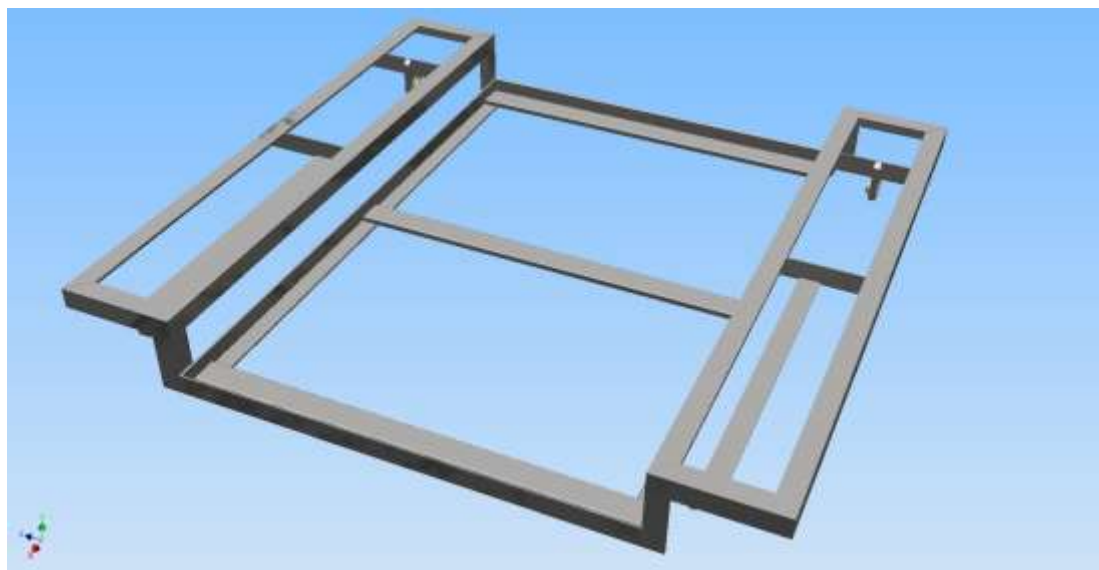
$$Rx = 5588,6\text{N}$$

Para modelagem 3D e simulações utilizamos o software CAD Autodesk Inventor 2017.

Primeiramente, modelamos as estruturas principais, conforme as imagens abaixo:

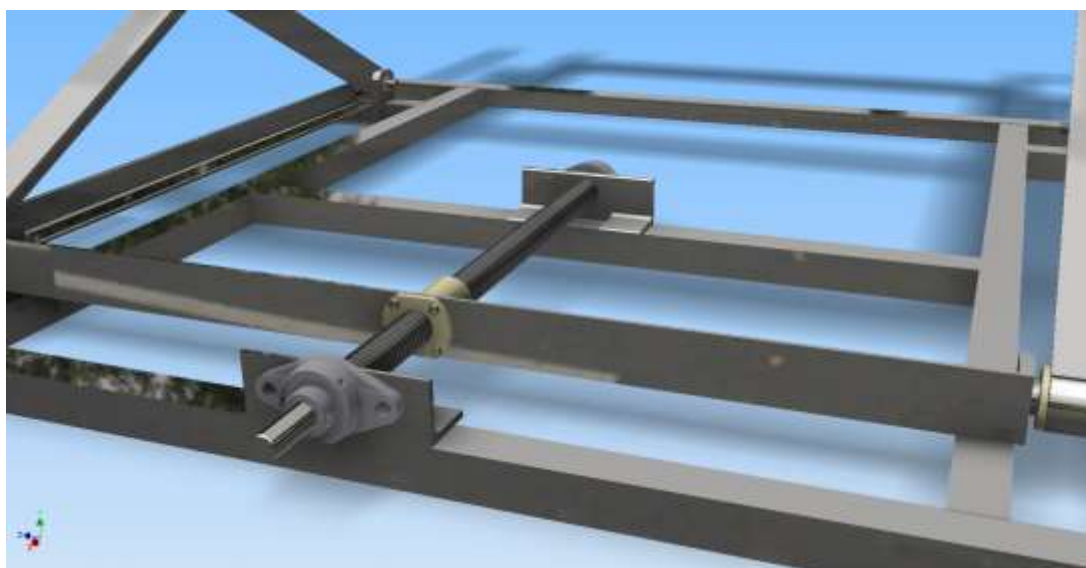


**Figura 3.** Modelagem de Estruturas (1)



**Figura 4.** Modelagem de Estruturas (2)

Em seguida passamos aos mecanismos de acionamento e articulação, conforme a imagem a baixo.



**Figura 5.** Mecanismo de acionamento e articulação

Com o mecanismo desenhado, e com suas restrições de movimento devidamente inseridas. Passamos para uma análise estrutural mais aprofundada utilizando a ferramenta de análise por elementos finitos do Autodesk Inventor.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analizamos primeiramente o comportamento em corpo livre da estrutura superior, dos braços e posteriormente da estrutura como um todo. Ambas as simulações foram feitas tendo como referência a posição inferior da plataforma, cujos esforços estão em nível crítico.

A análise da estrutura superior foi feita com a ferramenta de análise estrutural do Autodesk Inventor (Frame Analysis) para melhor visualização do comportamento estrutural do conjunto. Aplicamos a carga de 2943 N distribuída onde passageiro ficará, e a força gravitacional atuando em toda a estrutura. Constatamos uma flexão desprezível de 0,56mm nas vigas inferiores longitudinais da estrutura, pode-se visualizar o acúmulo de deformação na imagem abaixo em escala de cores.

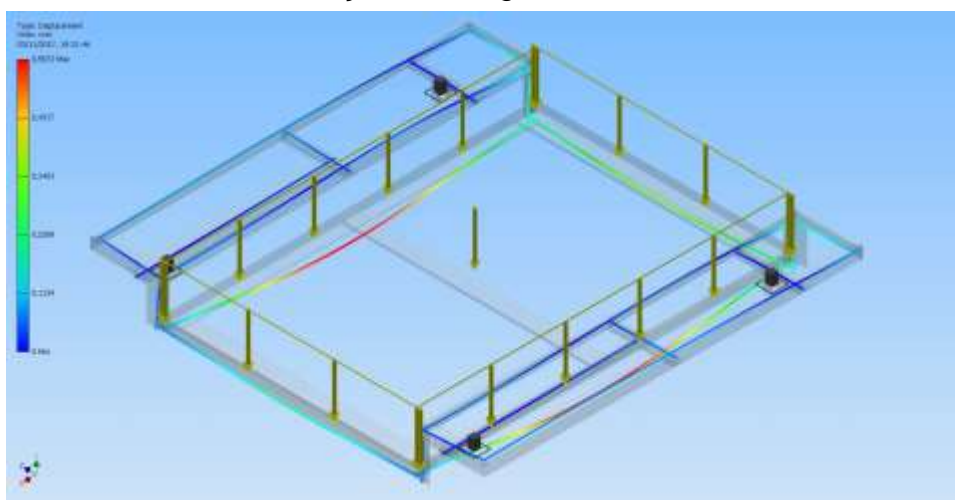


Figura 6. Frame Analysis – Autodesk Inventor (1)

Quanto aos braços do pantógrafo, apresentaremos os resultados de apenas um pois os dados são idênticos em módulo por estarem disposto de forma simétrica na estrutura. Simulamos as condições em corpo livre, com as forças arranjadas conforme os diagramas de reações apresentados na metodologia.

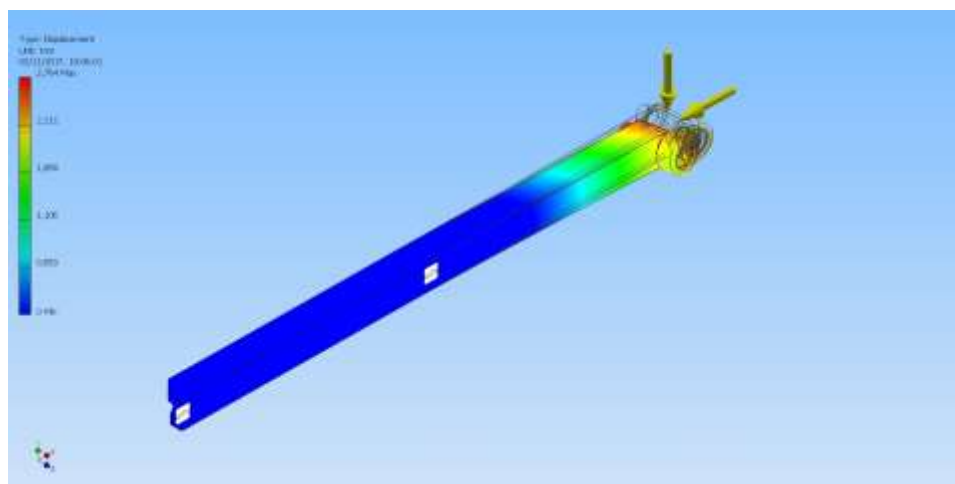


Figura 7. Frame Analysis – Autodesk Inventor (2)



Para o estudo dos braços utilizamos a ferramenta de análise de tensões, por se tratar de um conjunto constituído de apenas um componente estrutural. Como resultado obtemos uma deformação de aproximadamente 2mm em flexão. Considerando que a tensão de ruptura do aço estrutural é de 450 MPa e o braço trabalha em cerca de 200 MPa, podemos considerar a deformação como segura e aceitável. Podemos conferir na imagem abaixo a distribuição de tensões no conjunto.

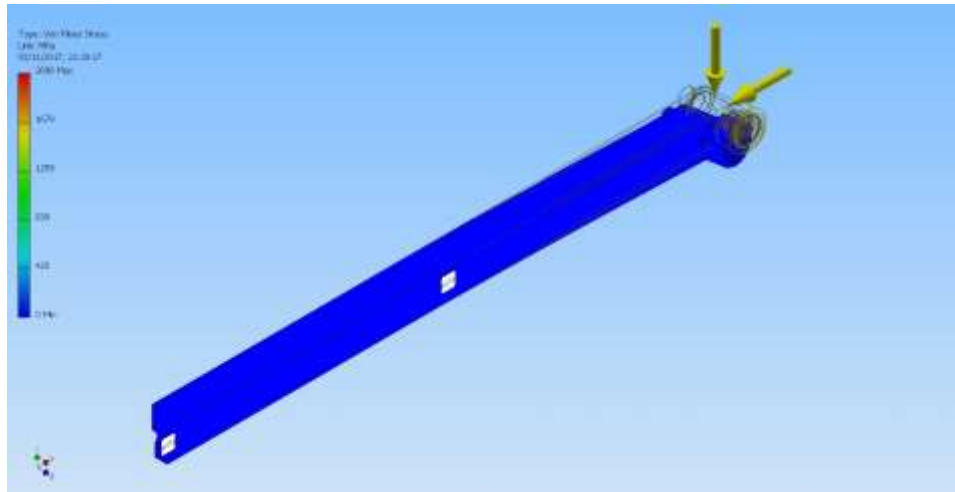


Figura 8. Frame Analysis – Autodesk Inventor (3)

E por fim analisamos a estrutura geral, também pela ferramenta de análise de tensões e com as solicitações conforme os diagramas citados anteriormente.

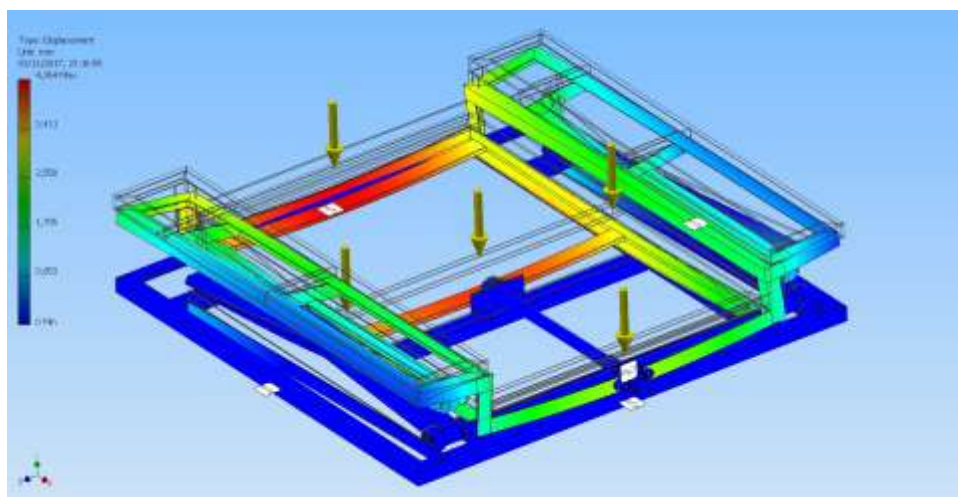


Figura 9. Frame Analysis – Autodesk Inventor (4)

Como podemos observar na imagem acima, de acordo com as simulações, obtemos uma deformação resultante em flexão de 4mm em condições de carregamento crítico. O que é aceitável considerando que a maior concentração de tensões ainda muito abaixo da tensão de ruptura, que fica em torno de 90 MPa. Na imagem a seguir pode-se conferir a distribuição de tensões na estrutura.

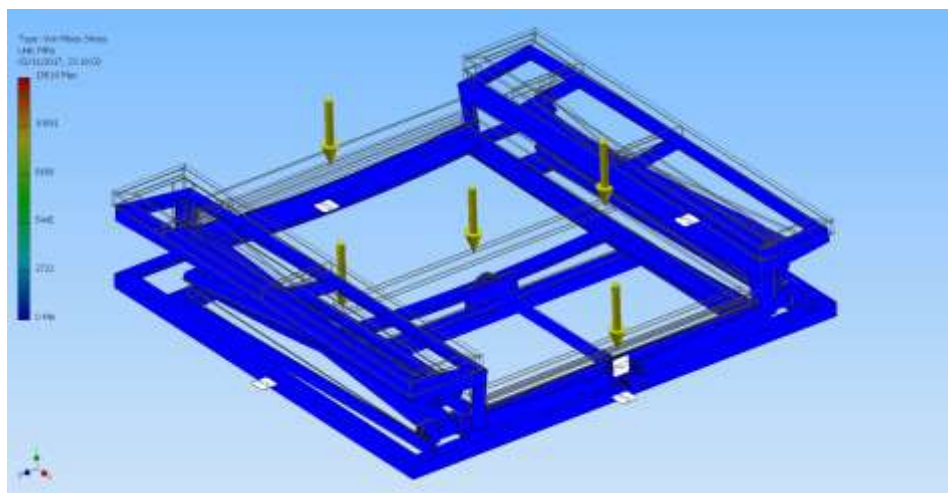


Figura 10. Frame Analysis – Autodesk Inventor (5)

Após as simulações e os resultados avaliados, partimos para um refinamento estético e adicionamos alguns itens de segurança para o usuário.

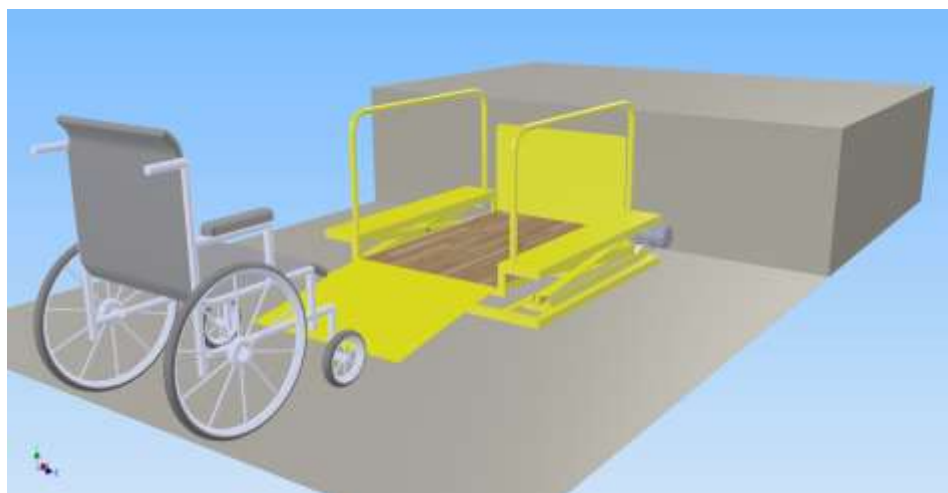


Figura 11. Modelagem do protótipo completo (ilustrativo)

## 4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos na simulação, temos uma condição de trabalho favorável para um regime de trabalho pouco repetitivo, devido às pequenas deformações que constatamos. O uso no auditório do campus será esporádico, e não proporcionará grande fadiga a estrutura que trabalha com boa margem de segurança.

Dito isto, podemos considerar o objetivo de projetar uma plataforma para o auditório do campus alcançado com sucesso.

## **Agradecimentos**

Ao decorrer do desenvolvimento deste projeto tivemos a contribuição de vários professores, gostaríamos de destacar nossos orientadores Diego Lima, Leandro Noronha e Paulo Böesch que foram de suma importância sempre nos auxiliando e incentivando nos momentos de dificuldade.

Aos membros da nossa equipe, Árion Ferraz, Ligiane de Paula, Grazielle Nogueira e Luis Ricardo, pois, sem a contribuição e empenho de todos não teríamos alcançado o objetivo.

Por fim a equipe do IFSul Campus Charqueadas que nos proporcionou toda a estrutura necessária.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 SONZA, Andréa Poletto (org.) *Acessibilidade e Tecnologia Assistiva: Pensando A Inclusão Sociodigital de Pessoas com Necessidades Especiais*. Bento Gonçalves, 2013.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9050: *Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. Rio de Janeiro, 2004. 97p.
- 3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13994: *Elevadores de passageiros - Elevadores para transporte de pessoa portadora de deficiência*. Rio de Janeiro, 2000. 15p.
- 4 BRAZIL. Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 – NR10, NR12, NR17. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília.
- 5 CHIAVERINI, Vicente. *Tecnologia Mecânica: V.1 Estrutura e Propriedade dos Materiais*. 2.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986. 266p.
- 6 PEOVENZA, Francesco. *PROTEC: Projetista de Máquinas*. 71.ed. São Paulo, 1996. 962p.

## **Análise da Influência de Lubrificantes no Aço Hardox450® durante o Ensaio Erichsen**

*Fabrisio, E.<sup>1</sup>*

*Ercolani, J.<sup>2</sup>*

*Ramalho, R.<sup>3</sup>*

*Lisboa, C.<sup>4</sup>*

*Shaeffer, L.<sup>5</sup>*

<sup>1</sup> *Eng. Mecânico, Evandro Fabrisio, UFRGS, evandrofabrisio@ufrgs.br.*

<sup>2</sup> *Eng. Mecânico, Juliano Ercolani, UFRGS, julianoercolani@ufrgs.br*

<sup>3</sup> *Eng. Mecânico, Renan Ramalho, UFRGS, renan.ramalho@ufrgs.br.*

<sup>4</sup> *Eng. Mecânica, Camila Lisboa, UFRGS, camila.lisboa@ufrgs.br*

<sup>5</sup> *Prof. Dr. Ing, Lirio Schaeffer, UFRGS, schaefer@ufrgs.br.*

### **Resumo**

O ensaio Erichsen é um dos ensaios mais empregados na indústria para verificar as condições de ductilidade e estiramento de chapas. Um dos fatores determinante para este uso é a sua simplicidade e baixo custo. Entretanto, durante os ensaios algumas situações têm sido utilizadas para verificar tais características, como o emprego de lubrificantes. O aço Hardox450® tem sido estudado para analisar o seu comportamento em determinadas situações, e dentre os ensaios utilizados nestes estudos está o ensaio Erichsen. O objetivo deste estudo é avaliar o comportamento do aço Hardox450® para algumas situações (com e sem lubrificação) que podem ser utilizadas na indústria. O método de análise utilizado foi o Ensaio Erichsen, onde o material foi ensaiado conforme as normas na condição sem lubrificante e com lubrificante, sendo estes a Vaseline Industrial e o Rocol Ultraform 2806. Os experimentos realizados mostraram que a condição onde foi empregado o lubrificante Vaseline apresentou o maior índice de estiramento.

**Palavras-chave:** Hardox450®; Ensaio Erichsen; Vaseline.

### **Analysis of the Hardox450® Lubricant Influence on Steel during the Erichsen Test**

#### **Abstract**

The Erichsen test is one of the most used tests in the industry to verify the ductility and stretching conditions of plates. One of the determining factors for this use is its simplicity and low cost. However, during the tests some situations have been used to verify such characteristics, such as the use of lubricants. Hardox450® steel has been studied to analyze its behavior in certain situations, and among the tests used in these studies is the Erichsen test. The objective of this study is to evaluate the behavior of Hardox450® steel for some situations (with and without lubrication) that can be used in the industry. The method of analysis used was the Erichsen Test, where the material was tested according to the standards in the condition without lubricant and with lubricant, these being Industrial Vaseline and Rocol Ultraform 2806. Experiments carried out showed that the condition where the lubricant Vaseline presented the highest stretching index.

**Key words:** Hardox450®; Erichsen test; Vaseline.

## 1 INTRODUÇÃO

A busca por materiais alternativos para a substituição dos chamados convencionais pode ser uma opção inovadora. Entretanto, estes materiais sempre devem ser analisados e caracterizados para que, diante dos resultados, sua empregabilidade em diversas situações sempre atinjam padrões satisfatórios de qualidade.

A partir destas análises, o aço de alta resistência Hardox450®, surge como uma alternativa, podendo representar avanço em qualidade para diversas aplicações da indústria. Contudo, suas características mecânicas, sempre devem ser analisadas. O ensaio de estiramento biaxial Erichsen é um dos ensaios mais empregados para observar a ductilidade de um material em uma escala industrial.

Diante destas observações, o artigo se propôs a estudar a capacidade de estiramento em um estado de tensão biaxial do Aço Hardox450®, analisando seu comportamento no que diz respeito à ductilidade, utilizando três situações de ensaio (sem lubrificante, com vaselina industrial e Rocol Ultraform 2806 P).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 HARDOX450®

O Hardox450® é aço fabricado pela empresa sueca SSAB, sendo este material uma liga resistente à abrasão que possui alta resistência, sendo orientado para aplicações em máquinas de grande porte <sup>(1)</sup>. Na Tabela 1 pode-se visualizar os percentuais de elementos químicos <sup>(2)</sup>.

**Tabela 1.** Composição Química Hardox450® - SSAB (2017)

C (max. %)	Si (max. %)	Mn (max. %)	P (max. %)	S (max. %)	Cr (max. %)	Ni (max. %)	Mo (max. %)	B (max. %)
0,18	0,25	1,3	0,015	0,004	0,10	0,10	0,04	0,003

Este material possui boas características de dureza (na escala Brinell entre 420-475 HBW), resistência ao escoamento (em torno de 1550 MPa), alongamento (em torno de 1550 MPa) e soldabilidade <sup>(1)</sup>. Sua microestrutura é composta de martensita revenida e grãos refinados <sup>(3)</sup>.

### 2.2 ENSAIO ERICHSEN

O Ensaio Erichsen é um dos ensaios mais utilizados na indústria para determinar a ductilidade de chapas, sendo característico ocorrer deformações bidirecionais trativas, podendo ser realizado em condições de lubrificações controladas. O corpo de prova deforma-se igualmente em módulo e direção, configurando assim o estiramento <sup>(4)</sup>.

Durante o ensaio o prensa chapas fixa o corpo de prova na matriz, e este sofre deformação através da atuação de um punção esférico, sendo finalizado após a ruptura <sup>(4)</sup>. O Índice Erichsen de Embutimento (IE) é a altura do copo após a atuação do punção <sup>(5)</sup>.

Um resultado elevado do Índice Erichsen de Embutimento (IE) representará uma boa estampabilidade do material, sendo que o IE possui uma relação positiva com o índice de encruamento ( $n$ ) do material, assim, o aumento do IE resulta no aumento do índice de encruamento ( $n$ ) e vice-versa <sup>(6)</sup>.

Para a realização do ensaio Erichsen é necessário aplicar uma carga de fixação do corpo de prova entre a matriz e o anel de fixação que deve ser de 9.806N. A deformação do corpo de prova deve ser realizada sem choques e vibrações, com velocidade de deslocamento entre 5 mm/min e 20 mm/min <sup>(7)</sup>.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do ensaio Erichsen, utilizou-se uma Máquina Universal de Ensaio Mecânicos com capacidade de 60 kN a uma velocidade de 5mm/min. Os corpos de prova (Figura 1) utilizados no ensaio seguem as orientações da NBR 16281(2014), onde foram ensaiados três corpos de prova e posteriormente realizado a verificação da média destes ensaios.

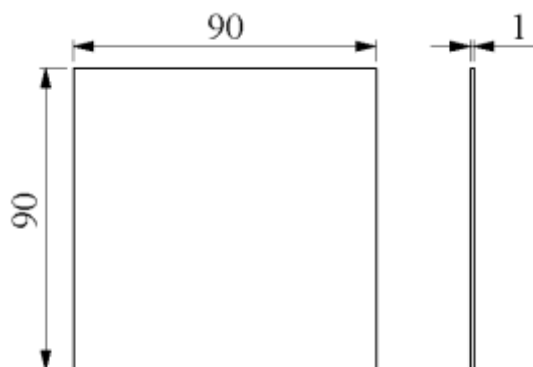


Figura 1. Corpo de Prova para o Ensaio Erichsen.

Após a finalização do ensaio, o corpo de prova é retirado da matriz (Figura 2), onde é medida a máxima altura alcançada até a fratura do corpo de prova, efetuada através da atuação do punção de  $\varnothing 20$ mm.

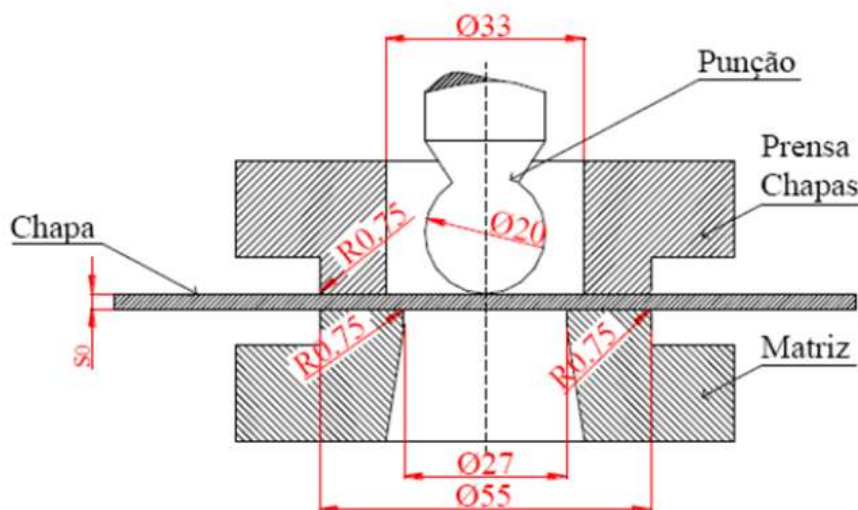


Figura 2. Matriz para Ensaio Erichsen [4].

Para os experimentos optou-se em realizar os mesmos com dois tipos de lubrificantes e sem lubrificante, para averiguar a diferença de IE. Os lubrificantes utilizados no ensaio foram a Vaselina Industrial e o Rocol Ultraform 2806 P.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

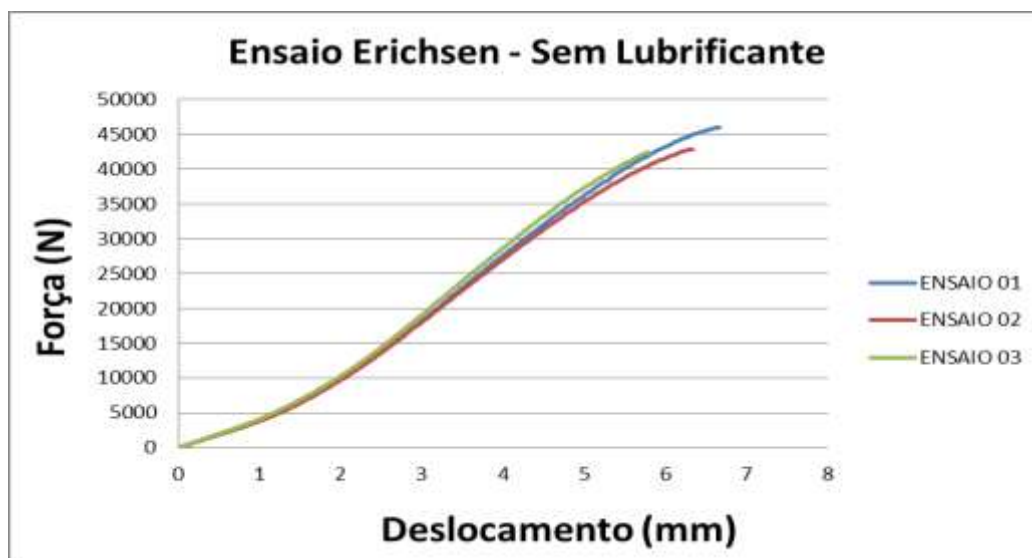
Com os ensaios finalizados e os dados gerados averiguou-se o comportamento da chapa para as solicitações realizadas na mesma.

A Tabela 2 apresenta os resultados de deslocamento máximo alcançado para a condição de ensaio sem lubrificante e a força máxima que causou a ruptura no corpo de prova.

**Tabela 1.** Ensaio Erichsen realizado sem Lubrificante

Ensaio	Força (N)	Deslocamento (mm)
1	45997	6,67
2	42866	6,33
3	42441	5,81
Média	43768	6,27

A Figura 3 apresenta o comportamento da curva força (N) versus deslocamento máximo alcançado até o momento da ruptura para a condição sem lubrificante.



**Figura 3.** Ensaio Erichsen realizado sem Lubrificante

A Tabela 3 apresenta os resultados encontrados com a utilização da Vaselina Industrial.

**Tabela 3.** Ensaio Erichsen realizado com Vaselina Industrial

Ensaio	Força (N)	Deslocamento (mm)
1	48850	7,39
2	47232	6,87
3	48318	7,58
Média	48133	7,28

Na Figura 4 avaliou-se o comportamento da curva para a condição com

Vaselina Industrial, até o momento da ruptura do corpo de prova.

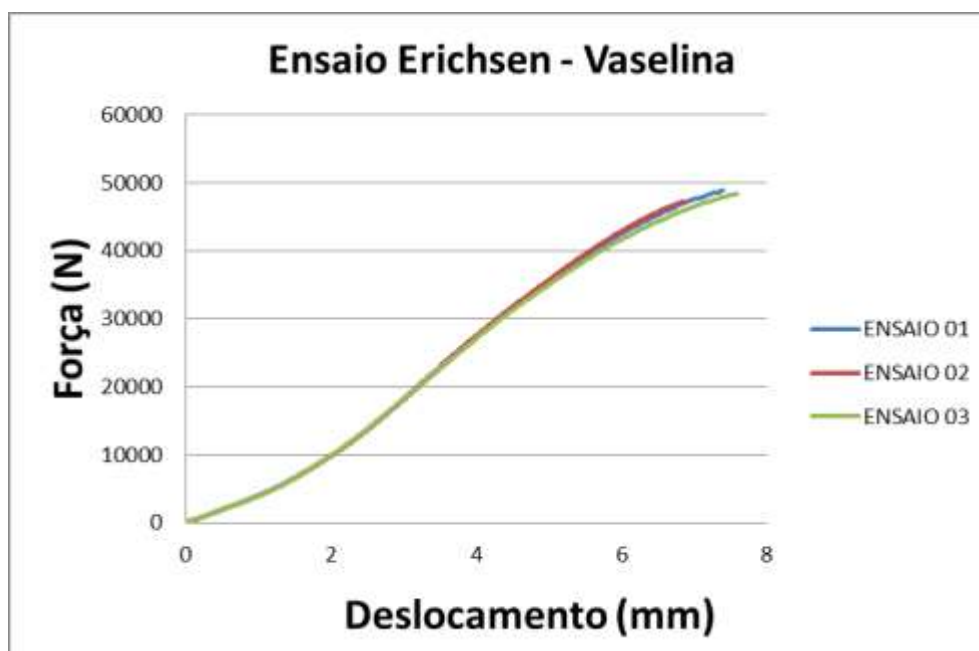


Figura 4. Ensaio Erichsen realizado com Vaselina Industrial

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos com Rocol Ultraform 2806 P.

**Tabela 4.** Ensaio Erichsen realizado com Rocol Ultraform 2806 P

Ensaio	Força (N)	Deslocamento (mm)
1	43889	6,57
2	45102	6,66
3	45592	6,47
Média	44861	6,57

A Figura 5 apresenta o comportamento da curva para o experimento realizado utilizando o lubrificante Rocol Ultraform 2806 P, até o momento que ocorre a ruptura.

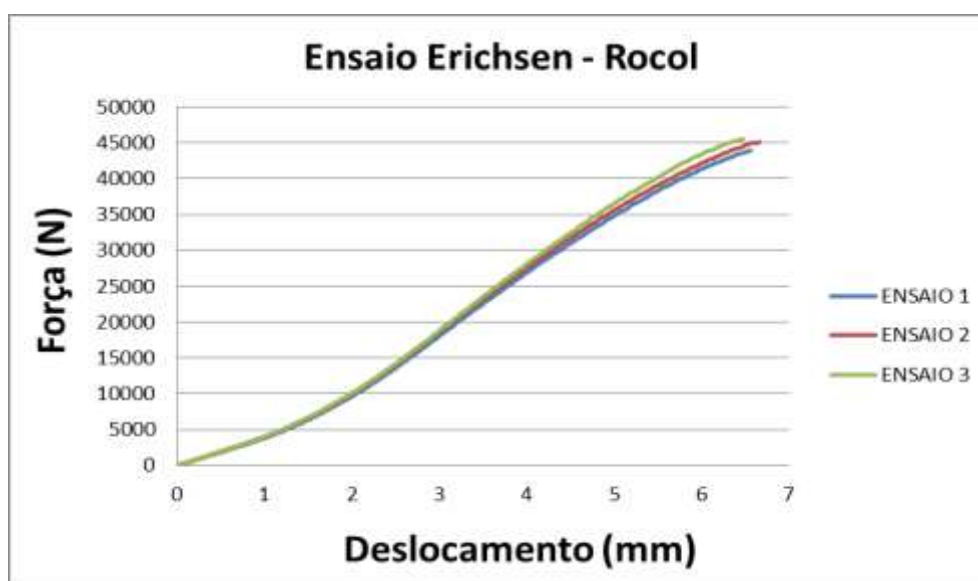


Figura 5. Ensaio Erichsen realizado com Rocol Ultraform 2806 P



Com os experimentos finalizados e a média definida (Tabelas 2, 3 e 4), observou-se que o Hardox450®, apresentou um maior índice Erichsen na condição onde foi empregado o lubrificante Vaselina Industrial (Figura 6).

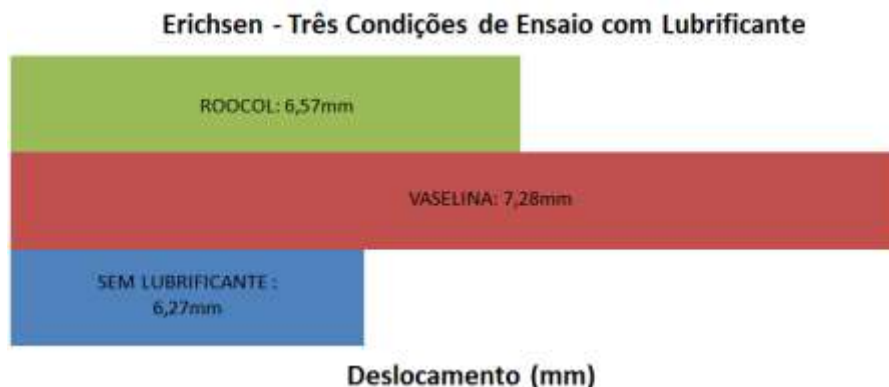


Figura 6. Avaliação das condições do Ensaio Erichsen

#### 4 CONCLUSÃO

Os ensaios realizados apontam que a utilização de lubrificantes diminuem o atrito e aumentam o estiramento do material. O material em estudo (Hardox450®) apresentou melhores resultados no ensaio onde foi empregado o lubrificante Vaselina. Com o estudo também observa-se que o lubrificante Rocol Ultraform 2806 P apresentou resultados inferiores (Figura 7) em relação ao lubrificante Vaselina. E na condição sem lubrificante, observou-se que o estiramento foi inferior as condições onde os lubrificantes foram empregados.

#### Agradecimentos

Agradecemos ao LTDM da UFRGS por nos oferecer sua estrutura para a realização dos experimentos.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Resistance of Steel Plate Hardox upon Impact of Non-Penetrating Projectiles, Department of Aerospace and Rocket Technologies, University of Defence, Brno, Czech Republic, 2009.
- 2 SSAB. Hardox 450 CR Sheet. 2017. Disponível em: <<http://www.ssab.com>>. Acesso em: 20 Agosto 2017.
- 3 LESSA C. R. L. Soldagem FHPP - Processo e Metalurgia nas Transformações das Fases de um aço C-Mn, 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.
- 4 SCHAEFFER, L., Conformação de Chapas Metálicas, Porto Alegre: Imprensa Livre, 2004.

- 5 SOUZA, S. A. de, Ensaios mecânicos de materiais metálicos: fundamentos teóricos e práticos. 5. ed. São Paulo: Editora Blücher, 1982.
- 6 OLIVEIRA, A. F. de, Caracterização de um Aço IF após Relaminação no Laminador de Encruamento, 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2010.
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16281: Determinação do índice de embutimento em chapas de aço pelo método Erichsen modificado. ABNT, 2014.

# ANÁLISE DE FALHA EM DUTO DE AÇO X-65 ENSAIADOS EM FADIGA POR RESSONÂNCIA

Alessandra Regina Machado Schifino<sup>1</sup>

Douglas Martinazzi<sup>2</sup>

Telmo Roberto Strohaecker<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Bacharel em Engenharia Metalúrgica, Bolsista de Mestrado, Laboratório de Metalurgia Física – LAMEF Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul Brasil, alessandraschifino@gmail.com.*

<sup>2</sup> *Mestrando em Engenharia Metalúrgica, Engenheiro Metalúrgico, Laboratório de Metalurgia Física – LAMEF, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, martinazzi.douglas@gmail.com.*

<sup>3</sup> *Doutor, Professor de Engenharia Metalúrgica, Engenheiro Metalúrgico, Laboratório de Metalurgia Física – LAMEF, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.*

## Resumo

O presente trabalho aborda a análise de falha de um duto rígido de aço API 5L X-65, ensaiado em fadiga por ressonância. A análise de falha foi realizada com o objetivo de avaliar o comportamento microestrutural e as razões pelas quais a trinca se originou. Os ensaios realizados para a caracterização da trinca foram: líquidos penetrantes, fractografia, metalografia, análise química e microdureza. As análises indicaram que provavelmente a trinca iniciou na superfície de um pite de corrosão localizado na face externa do tubo. Pelo tipo de carregamento que o tubo foi exposto, pode-se dizer que a nucleação da trinca foi incentivada por processo de corrosão prévia, gerando concentração de tensão neste ponto e permitindo, assim, que a trinca nucleasse e propagasse em direção a superfície interna da amostra, ocasionando a falha.

**Palavras-chave:** Fadiga; Ressonância; Trinca; Análise de Falha.

## FAILURE ANALYSIS OF X-65 STEEL PIPE TESTED SUBMITTED TO RESONANCE FATIGUE TESTING

### Abstract

This paper discusses about the failure analysis of an API 5L X-65 steel rigid pipeline submitted to resonance fatigue testing. Failure analysis performed in order to evaluate the microstructural behavior and the reasons why the crack originated. The tests performed to characterize the crack were penetrant, fractography, metallography, chemical analysis and hardness. Analyses indicated that the likely crack initiated on the surface of pitting corrosion on the outside of the tube. For the type of loading the tube has been exposed, it was found that the nucleation of cracks was encouraged by previous corrosion process, causing stress concentration at this point and thus allowing the both crack initiation and propagation toward the inner surface of the sample causing the failure.

**Keywords:** Fatigue, Resonance, Crack; Failure Analysis.

## 1 INTRODUÇÃO

Os desafios encontrados na exploração do petróleo e no transporte de óleo e gás exigem a fabricação de componentes certificados e de alto nível tecnológico. Ensaio de flexão rotativa por ressonância podem ser vistos como uma opção atrativa dentro o escopo referente a ensaios mecânicos de dutos, uma vez que

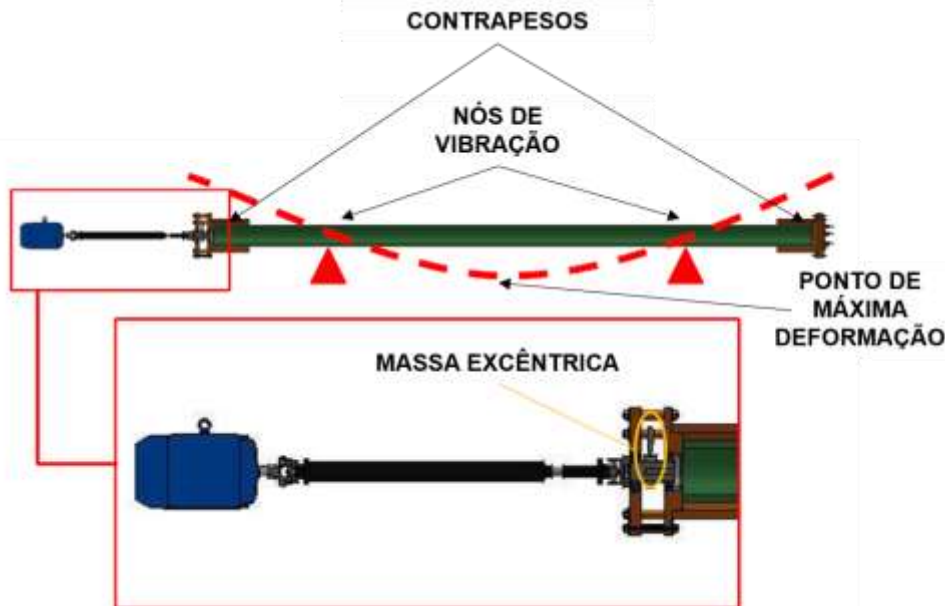
podem ser realizados em equipamentos menores e de baixo investimento, além de demandarem menor quantidade de energia e de tempo de operação <sup>(1)</sup>.

Análises de falha são geralmente empregadas na caracterização de trincas. Uma das principais razões pelas quais ocorrem falhas de componentes mecânicos em serviço através da formação e posterior propagação de trincas é o processo de corrosão-fadiga, que pode ser entendido como um fenômeno de degradação do material causada pela sinergia entre as solicitações mecânicas cíclicas e a natureza corrosiva do meio <sup>(2)</sup>. Essa condição pode reduzir a vida operacional dos equipamentos e componentes expostos a este <sup>(3)</sup>. O dano causado pela ação conjunta desses fatores é normalmente maior do que a soma dos danos causados por cada um dos fatores agindo separadamente. Yarema <sup>(4)</sup> fez considerações, baseadas em dados experimentais, sobre corrosão-fadiga, tais como: a superfície de fratura por corrosão-fadiga apresenta uma quantidade bem maior de pontos de nucleação de trincas do que em fadiga pura. A fratura por corrosão-fadiga tem caráter misto em função de depender da intensidade da corrosão e do nível de carregamento cíclico. A ação combinada de concentradores de tensões em meios corrosivos reduz ainda mais a resistência do material em fadiga.

O presente trabalho mostra a análise da falha causada em um trecho de duto de aço API X-65 através de ensaio de fadiga por ressonância. Para a caracterização da falha foram realizadas análises de líquidos penetrantes, fractografia, metalografia, análise química e microdureza do corpo de prova retirado do tubo após o ensaio. Com este trabalho, será possível, além da obtenção das características do material de base do tubo e sua identificação microestrutural, a identificação das razões pelas quais ocorreu a falha do componente

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio de fadiga por ressonância consiste em submeter a amostra, geralmente composta por um trecho de duto rígido, a um carregamento cíclico de flexão alternada. Esse carregamento é originado por uma vibração mecânica gerada pela rotação de uma massa excêntrica acoplada a uma das extremidades do corpo de prova. A frequência de teste é situada em torno de 90 a 95% do primeiro modo flexural de vibração da amostra, dependendo do carregamento a ser aplicado. No equipamento de teste, o duto é apoiado mecanicamente nos dois nós de vibração – pontos nos quais o deslocamento é nulo – sendo o ponto de máxima deformação coincidente com o centro da amostra, na superfície externa. Contrapesos são adicionados nas extremidades da amostra para reduzir a frequência de ressonância do duto, permitindo que o teste seja realizado utilizando dutos de menores comprimentos. A Figura 1 mostra um esquema do teste (vista em corte), elucidando os principais componentes do ensaio.



**Figura 1.** Ensaio de fadiga por ressonância

Fonte: PINTO O, MOSQUEN A, NUNES C, BORGES M, STROHAECKER T. Resonant Bending Fatigue Test. In: 10<sup>th</sup> Rio Pipeline Conference & Exposition; 22-24 set. 2015; Rio de Janeiro, 2015.

O teste foi realizado em um tubo de aço API X-65 com seis metros de comprimento, diâmetro externo de 219,1 mm e 22 mm de parede. O carregamento médio foi aplicado através de pressão interna correspondente a 200 bar. O carregamento alternado, gerado pela vibração do teste, foi correspondente a uma deformação longitudinal variando entre -750 e +750  $\mu\text{m/m}$ . Os dois carregamentos, quando combinados, correspondem a uma tensão longitudinal máxima de aproximadamente 200 MPa no centro do duto. A amostra foi ensaiada durante 905000 ciclos até a falha, identificada pela queda de pressão interna ocasionada pelo surgimento de uma trinca passante no ponto de máximo carregamento.

## 2.1 Ensaios de Líquidos Penetrantes

O ensaio de líquidos penetrantes (LP) baseia-se na capacidade que o líquido tem de penetrar em pequenas aberturas na superfície de uma peça, fluindo sobre a superfície de uma forma contínua e razoavelmente uniforme, e em seguida, migrar pelas cavidades que estão abertas para a superfície. Após o processo de remoção do excesso da superfície, a saída de líquido de dentro é estimulada pelo uso do revelador. O resultado é o aparecimento de manchas coloridas na superfície <sup>(5)</sup>. A principal vantagem do método é a sua simplicidade e a fácil interpretação dos resultados, requerendo pouco tempo de treinamento do inspetor. A limpeza anterior a aplicação deve ser feita de maneira rigorosa <sup>(6)</sup>. Nesse trabalho, o ensaio de LP é realizado logo após o final do ensaio, com o objetivo de identificar a localização bem como o aspecto externo e a direção de propagação da trinca.

## 2.2 Ensaios Fractográficos

A fractografia é uma ferramenta utilizada na metalurgia para analisar a superfície de fratura a fim de se obter a orientação de início da trinca. Geralmente, as fractografias são feitas previamente aos ensaios metalográficos. Nesse trabalho, a abertura da trinca foi realizada em morsa manual e após analisada em lupa de baixo aumento da marca Stemi SV11.

### 2.3 Ensaios Metalográficos

Ensaios metalográficos são realizados para avaliar as características microestruturais do material. Nesse trabalho, os corpos de prova foram preparados, utilizando-se as amostras embutidas e lixadas com lixas de granulometria 200, 400 e 600, sendo posteriormente polidas com pasta de diamante. A obtenção das micrografias foi feita no microscópio ótico da marca Olympus, modelo BX 51, através da câmera digital acoplada ao microscópio.

### 2.4 Análise Química

A análise química é realizada com o objetivo de identificar a composição química do material. Nesse trabalho, a análise química foi realizada por espectroscopia utilizando-se um espectrômetro da marca Spectro modelo Spectrolab.

### 2.5 Ensaios de Dureza

A medição de dureza permite a avaliação da resistência mecânica do material. As medições foram feitas em um microdurômetro da marca Instron modelo Tuckon 2100b, com carga HV 0,5.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico são apresentados os resultados obtidos em cada etapa de análise da falha observada no duto após a realização do ensaio.

### 3.1 Ensaios de Líquidos Penetrantes

A amostra foi submetida ao ensaio para localizar a posição e o comprimento aproximado da trinca. A inspeção foi realizada no centro do tubo ou próxima a ele. A Figura 2 (a) mostra a trinca identificada após o ensaio de LP, com aparência não fibrosa e fina, em detalhe na Figura 2 (b).

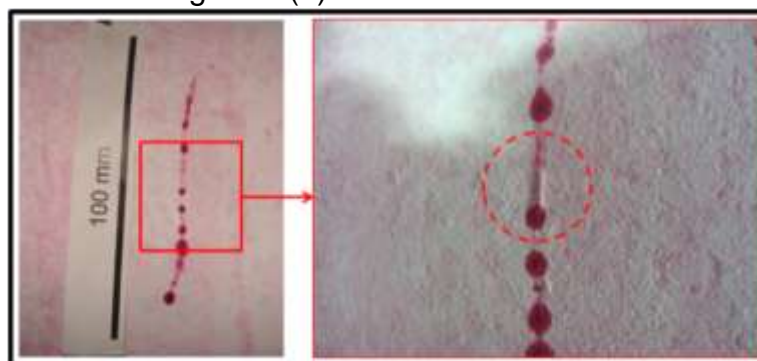
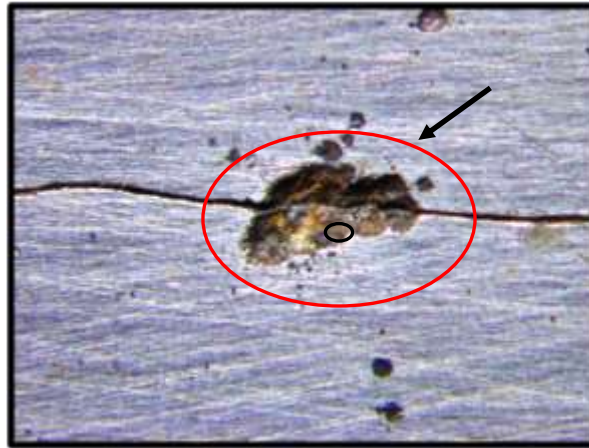


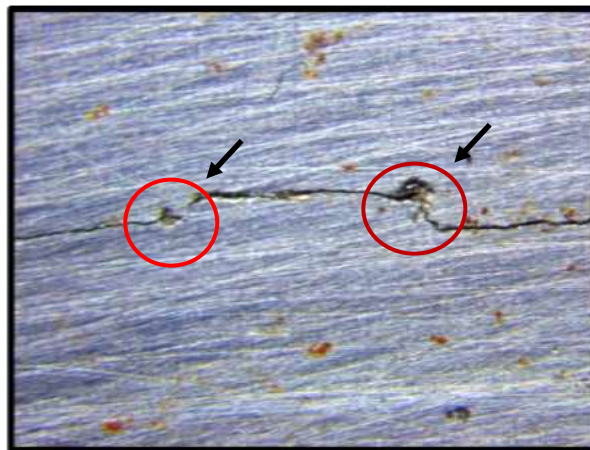
Figura 2. a) Trinca após ensaio de líquido penetrante; b) Região de propagação da trinca mostrada detalhadamente.

### 3.2 Ensaios Fractográficos

Na Figura 3 observa-se a cavidade onde se iniciou a trinca. A Figura 4 mostra a superfície externa, na qual ocorre a mudança de planos de propagação de acordo com que a trinca encontra novos pites de corrosão.

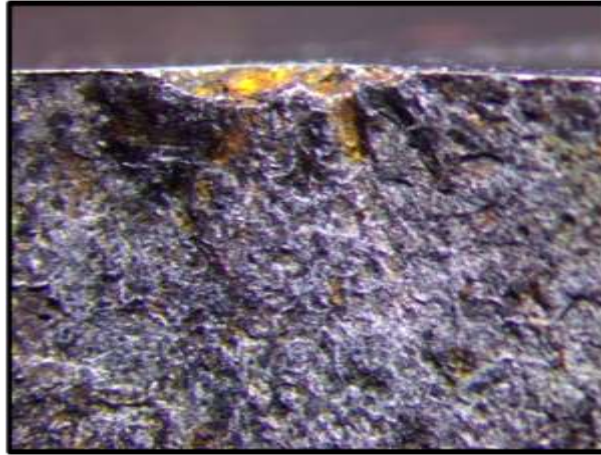


**Figura 3.** Superfície da parede externa do tubo com presença de pites de corrosão, onde a seta mostra a cavidade onde iniciou a trinca de fadiga.

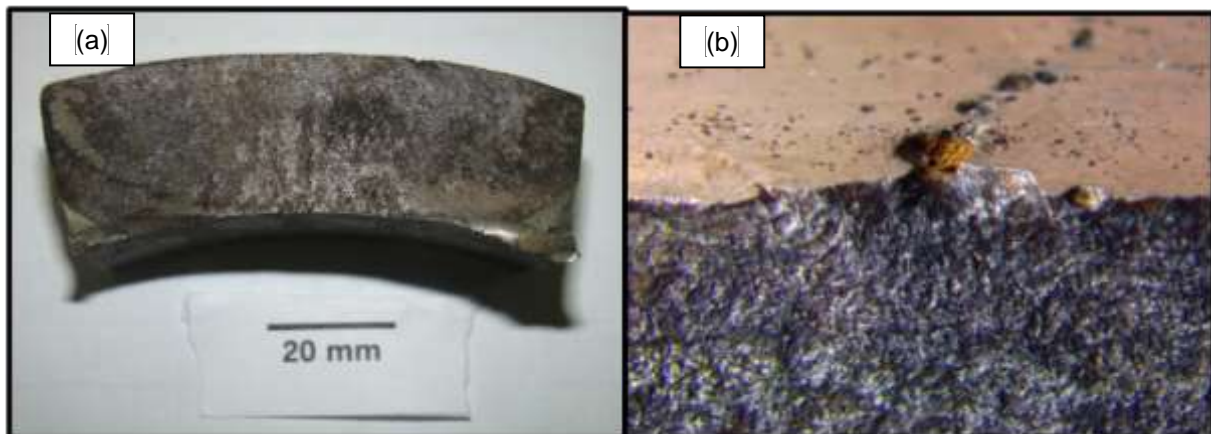


**Figura 4.** Superfície da parede externa do tubo onde os planos de propagação se modificam conforme transpassam os pites de corrosão.

Após as fractografias iniciais, o tubo foi cortado a fim de facilitar a abertura da trinca. Na Figura 5 se observa a parte interna do tubo, mostrando o pite de corrosão inicial. Na Figura 6 (a) pode ser observado o plano de fratura em corte mostrando o pite de corrosão inicial e a propagação da trinca em direção à superfície interna do tubo. A Figura 6 (b) mostra a superfície da parede interna do tubo, exposta após o corte. Nota-se a presença de cavidades, provavelmente oriundas dos processos de corrosão.



**Figura 5.** Superfície de fratura interna, observando-se o ponto de início da trinca de fadiga ocasionada por pite de corrosão associado à fadiga.



**Figura 6.** a) Superfície interna de fratura. A seta vermelha indica o ponto de início da trinca de fadiga e a seta preta indica pite de corrosão por onde se propagou a trinca. b) Superfície interna de fratura indicando a propagação da mesma, através dos pites de corrosão.

### 3.3 Ensaios Metalográficos

Para a análise metalográfica, foi retirada uma amostra no sentido transversal ao ponto de início da falha. A Figura 7 mostra o ponto de início da falha, localizado no fundo da cavidade mostrada na Figura 3. A Figura 8 mostra a microestrutura, composta essencialmente por matriz ferrítica e agregados de perlita.





Figura 7. Micrografia mostrando ponto de início da falha.



Figura 8. Micrografia mostrando a microestrutura do tubo, matriz ferrítica e agregados de perlita.

### 3.4 Análise Química Material Base

A Tabela 1 mostra a média de três medições realizadas por espectroscopia, confirmando a composição de acordo com a literatura [7], garantindo baixa porcentagem de carbono e alta porcentagem de Manganês, ambas as porcentagens não ultrapassam o limite máximo sugerido pela norma API SPECIFICATION 5L, conferindo a alta tenacidade exigida para tubos utilizados no transporte de óleo e gás.

Tabela 1. Resultado da análise química do tubo (% peso)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu
0,12	0,30	1,48	<0,001	<0,001	0,065	0,0076	0,052	0,034	0,0166

Obs.: Média de três medições.

**Tabela 2.** Composição química de acordo com a literatura. (% peso). (OGATA, 2008)

C	Si	Mn	P	S	Al
0,095	0,23	1,49	<0,001	<0,002	0,044

*Obs.: Média de três medições.*

### 3.5 Ensaios de Microdureza Vickers

Foram realizados ensaios de microdureza Vickers (HV) com carga de 0,5 kg. As medições, mostradas na Tabela 3, foram realizadas em cinco pontos aleatórios próximos à região de início da falha. A média encontrada foi de  $179 \pm 3,2$  (HV 0,5). Estando de acordo com a literatura <sup>(7)</sup>.

**Tabela 3.** Medições de Microdureza Vickers

Medições	Dureza HV 0,5
1	181 HV
2	179 HV
3	175 HV
4	177 HV
5	183 HV
<b>Média - Desvio Padrão</b>	<b>179± 3,2 HV</b>
<b>Média Literatura</b>	<b>175-195 HV</b>

## 4 CONCLUSÃO

As análises realizadas na fratura do duto, ocasionada após o ensaio de fadiga, permitem concluir que a trinca se iniciou na superfície de um pite de corrosão localizado na parede externa do tubo. Essa cavidade, localizada na região de maior deformação, em função do carregamento aplicado durante o teste, gerou um concentrador de tensão que propiciou a nucleação da trinca neste ponto e posterior propagação em direção à superfície interna do duto até a falha catastrófica caracterizada pela trinca passante.

Em outras palavras, pelas características observadas pela análise de falha, pode-se dizer que a nucleação da trinca foi incentivada por processo de corrosão, e posteriormente a trinca propagou por fadiga em função do carregamento aplicado associado à concentração de tensão presente no ponto de falha.

## REFERÊNCIAS

- 1 Pinto O, Mosquen A, Nunes C, Borges M, Strohaecker T. Resonant Bending Fatigue Test. In: 10<sup>th</sup> Rio Pipeline Conference & Exposition; 22-24 set. 2015; Rio de Janeiro, 2015.
- 2 Tada E. Detection of Corrosion Fatigue Cracking through Current Responses Induced by Cyclic Stress. Corrosion Science. 2007; 49: 248-254.
- 3 Jivkov AP. Evolution of Fatigue Crack Corrosion from Surface Irregularities. Theoretical and Applied Fracture Mechanics. 2003; 40: 45-54.
- 4 Yarema SY. Formation of Science of Fatigue of Metals. Material Science. 2007; 43: 1879-1940.

5 Ogata PH, Gonzalez M, Goldenstein H, Gorni AA, Landgraf F. Caracterização Microestrutural de aço API 5L X65, austenitizado e resfriado a diferentes taxas de resfriamento. In: 18 Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais; 24-28 nov. 2008; Porto de Galinhas, Brasil.

6 Petrobras. N-1594: Ensaio não Destrutivo – Ultra-som. 22 f. Rio de Janeiro, 2004.

7 Monte RI. Caracterização Microestrutural do Aço API 5L X65 por Feixe de Elétrons com Diferentes Aportes Térmicos [Dissertação de Mestrado]. Lorena: Universidade de São Paulo; 2013.

## **APLICAÇÃO DA METODOLOGIA 5S VISANDO A MELHORIA DA ORGANIZAÇÃO EM AMBIENTE ESCOLAR**

*Dos Santos, E. P.<sup>1</sup>*

*Girardi, K.<sup>2</sup>*

*Jungthon, T.R.<sup>3</sup>*

*Linck, C.<sup>4</sup>*

*Abich, D.<sup>5</sup>*

<sup>1</sup> *Estudante do Curso Técnico em Eletromecânica, Emanuelle Pedroso dos Santos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Sapiranga, manusanttos2016@gmail.com.*

<sup>2</sup> *Estudante do Curso Técnico em Eletromecânica, Kevin Girardi, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Sapiranga, kevingirardi815@gmail.com.*

<sup>3</sup> *Estudante do Curso Técnico em Eletromecânica, Tales Rafael Jungthon, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Sapiranga, talesjungthon21082000@gmail.com.*

<sup>4</sup> *Mestre em Engenharia de Materiais, Cristiano Linck, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Sapiranga, cristianolinck@ifsul.edu.br.*

<sup>5</sup> *Mestre em Engenharia de Materiais, Diego Abich Rodrigues, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Sapiranga, diegoabich@ifsul.edu.br.*

### **Resumo**

A metodologia 5S, desenvolvida no Japão em meados de 1950, visa a organização de ambientes e a mudança comportamental das pessoas envolvidas. Neste trabalho objetivou-se aplicar a metodologia 5S em um ambiente escolar. A ideia de implementar os 5 sentidos surgiu de um propósito avaliativo da disciplina de Manutenção Industrial do curso de Eletromecânica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense Câmpus Sapiranga, e da necessidade de uma organização do ambiente para fins de um maior rendimento das aulas e facilidade da organização dos materiais utilizados por alunos e funcionários. Em um primeiro momento foi realizado uma divisão das tarefas, definição de um plano de trabalho e em seguida foi realizado o processo de aplicação da metodologia no Laboratório de Eletroeletrônica da instituição. Em cada senso efetuou-se o registro fotográfico e elaboração de procedimentos realizados, com o objetivo da construção de um relatório técnico. Após a aplicação da metodologia, foi efetuado uma consulta junto aos professores e funcionários que utilizam o espaço com intuito de verificar se houve melhora na organização do ambiente e, se a aplicação do 5S foi efetiva. Como resultado, obtivemos melhor aproveitamento do espaço, melhor organização do ambiente, melhor rendimento nas aulas e organização dos materiais. Como conclusão, observamos que os objetivos foram atingidos e que a aplicação desta metodologia é eficiente mesmo quando aplicada fora do ambiente industrial.

**Palavras-chave:** 5S; Metodologia; Ambiente Escolar; Organização.

# **APPLICATION OF METHODOLOGY 5S AIMING AT IMPROVING THE ORGANIZATION OF THE SCHOOL ENVIRONMENT**

## **Abstract**

The 5S methodology, developed in Japan in the mid-1950s, aims at the organization of environments and the behavioral change of the people involved. In this work we aimed to apply the 5S methodology in a school environment. The idea of implementing the 5 senses arose from an evaluation purpose of the Industrial Maintenance discipline of the Electromechanical course of the Federal Institute of Education, Science and Technology Sul-rio-grandense Câmpus Sapiranga, and of the need for an organization of the environment for the purpose of a greater performance of classes and ease of organization of the materials used by students and employees. At first, a division of tasks was carried out, the definition of a work plan and then the process of application of the methodology was carried out in the Electro-Electron Laboratory of the institution. In each sense, photographic registration and elaboration of procedures were performed, with the objective of constructing a technical report. After the application of the methodology, a consultation was made with the teachers and employees who use the space in order to verify if there was improvement in the organization of the environment and if the application of 5S was effective. As a result, we obtained better use of space, better organization of the environment, better classroom performance and materials organization. As a conclusion, we observed that the objectives were achieved and that the application of this methodology is efficient even when applied outside the industrial environment.

**Key words:** 5S; Methodology; School environment; Organization.

## **1 INTRODUÇÃO**

O programa 5S surgiu no Japão na década de 1950 e foi aplicado após a 2ª Guerra Mundial com a finalidade de reorganizar o país, que vivia a chamada crise de competitividade. [1], [2], [3]. Formado por cinco palavras japonesas iniciadas pela letra S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu e Shitsuke) e tem por objetivo promover melhorias nas instituições e no relacionamento entre as pessoas, além de propiciar mudança de hábitos e atitudes.

### **1.1 SEIRI**

Nesse senso de organização ou utilização, todo material do ambiente de trabalho é examinado (papéis, ferramentas, máquinas), observando e verificando a sua importância para a execução do trabalho, de tal modo que as que são mais utilizadas fiquem mais próximas do trabalhador e do trabalho a ser feito. O principal objetivo é realizar o mínimo de movimentos desnecessários possíveis no local de trabalho. [2]

### **1.2 SEITON**

Neste senso o objetivo é organizar e arrumar. Para Osada (1992) “[...] arrumar significa guardar, tendo em mente a eficiência, agilidade e a segurança, ou seja, procurar a forma ideal de se guardar as coisas”. [2].

### **1.3 SEISO**

Depois de eliminar o desnecessário e organizar o necessário em locais apropriados, é imprescindível a limpeza do ambiente. “Limpar significa muito mais que manter as coisas limpas. É mais uma filosofia, um compromisso de se responsabilizar por todos os aspectos das coisas que você usa e garantir que sejam mantidas em perfeitas condições”. [2], [3].

### **1.4 SEIKETSU**

Conhecido por senso de saúde, bem-estar, asseio ou ainda senso de padronização. Ele é o resultado dos três primeiros sentidos e é responsável pelas mudanças físicas e comportamentais que ocorrem nas empresas. Após a execução dos 3 sentidos iniciais, o seiketsu é executado com o objetivo de padronizar as tarefas e promover melhorias constantes daquilo que já foi alcançado. [1], [3], [4].

### **1.5 SHITSUKE**

Nesse senso deve-se cumprir rigorosamente o que foi adquirido nos outros sentidos. “Disciplina é praticar e praticar para que as pessoas façam a coisa certa naturalmente. É uma forma de transformar maus hábitos e criar bons hábitos. E os 5 sentidos não podem ter sucesso sem disciplina”. [2], [3].

### **1.6 O Programa 5S na Qualidade Total**

O objetivo primordial do modelo de Gestão da Qualidade é a sobrevivência da organização, partindo da satisfação total dos clientes e/ou usuários, por meio da prestação de bens e serviços que atendam às suas necessidades e, preferencialmente, que excedam as expectativas. Satisfação total implica em ser atendido com garantia de qualidade total. [3], [5].

Profundas mudanças de atitudes e de comportamento são exigidas, focando melhorias nos processos organizacionais que ocorrerão somente com a efetiva participação de todos os funcionários da organização. [6], [7].

Há muitas ferramentas que podem ser utilizadas na implantação e consolidação da Qualidade Total no processo de gestão da qualidade e produtividade de uma instituição, tais como: Metodologia do Programa 5S, Método PDCA, Diagrama de Pareto, Fluxograma, Diagrama de Ishikawa (Espinha de peixe), Histograma, Formulário de Dados, etc. [6], [8].

O Programa 5S trata da arrumação, da ordem, da limpeza, do asseio e da autodisciplina dos funcionários de uma organização. Este programa foca a melhoria do desempenho global da organização, promovendo a alteração do comportamento das pessoas, proporcionando total reorganização da empresa através da eliminação de materiais obsoletos, identificação dos materiais, execução constante de limpeza no local de trabalho, construção de um ambiente que proporcione saúde física e mental e manutenção da ordem implantada. [6].

Sabe-se que a maior dificuldade da implantação efetiva de um programa de qualidade é a mudança cultural das pessoas que compõem a organização, em todos os níveis hierárquicos, barreira imposta que foi caracterizada como paradigma a ser rompido com o tempo e com a persistência. [6], [7], [8].

É importante destacar que o Programa 5S não assegura qualidade à organização, apenas auxilia na criação de condições necessárias à implantação de projetos de melhoria contínua. É um sistema que organiza, mobiliza e transforma pessoas e organizações. [6], [7].

### **1.7 O programa 5S nas escolas**

“O Programa começou a ser desenvolvido em instituições educacionais brasileiras a partir de 1992, quando algumas escolas ingressaram no movimento pela Qualidade Total na educação.” [9].

Além de extremamente necessário à formação dos alunos, o 5S revela-se um instrumento eficaz de incentivo à criatividade e a participação de todos na gestão escolar, propiciando um ambiente favorável ao bom desempenho no trabalho [9], [10].

A implantação do Programa 5S na escola possibilita a internalização gradual de conceitos éticos profundos e essenciais à vida em sociedade, começando pela organização do ambiente exterior e culminando com a organização e disciplina em comunidade. Através da implantação do Programa 5S no ambiente escolar, obtém-se um rico instrumento para se trabalhar hábitos, atitudes e valores positivos e essenciais à formação integral do aluno, além de auxiliar na redução de perdas e conservação das instalações e promove uma maior conscientização dos alunos, que resultará em comportamentos positivos dentro e fora da escola. [9], [10].

No Brasil, o Programa é conhecido com acréscimo da palavra “Senso” antes de cada expressão, que tenta representar o conteúdo daquele termo específico: Senso de Utilização; Senso de Organização; Senso de Limpeza; Senso de Saúde e Higiene; Senso de Autodisciplina. O objetivo deste artigo é descrever a implantação desses 5 sentidos em ambiente escolar.

## **OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste trabalho é implementar a metodologia 5S em um ambiente escolar, visando melhorias na organização do local para maior rendimento das aulas e organização dos materiais utilizados por alunos e funcionários.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Descrever a aplicação dos 5 sentidos em um laboratório de eletroeletrônica;
- Melhorar o rendimento das aulas através da aplicação do 5S;
- Otimizar o espaço;
- Melhorar a organização dos materiais utilizados em aula;
- Identificar e etiquetar os materiais;
- Construir um relatório técnico sobre a aplicação do programa 5S.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho se caracteriza como uma pesquisa descritiva, através de abordagem direta, e faz opção pelo método dedutivo e hipotético-dedutivo. O projeto foi desenvolvido a partir da proposta de um trabalho escolar, visando a aplicação correta da metodologia de organização 5S em um local de estudo.

As ferramentas utilizadas para a construção teórica do trabalho, como artigos para referência, foram disponibilizadas pelo professor da disciplina, Manutenção Industrial.

Já na construção da parte prática, foi realizado a aplicação dos 5 sentidos, Seiri (Utilização), Seiton (Organização), Seiso (limpeza), Shitsuke (Disciplina) Seiketsu (Bem estar e saúde). A aplicação desses sentidos possibilitou uma organização no ambiente, isso foi realizado através da identificação e numeração dos equipamentos utilizados no espaço, além da realização de uma limpeza geral no local.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da aplicação de cada um dos sentidos, pode-se observar uma melhora no ambiente e no rendimento das aulas, que eram os principais objetivos do trabalho. A descrição da aplicação do programa 5S, além dos resultados obtidos, serão apresentados abaixo.

#### 3.1 APLICAÇÃO DO SEIRI- SENSO DE UTILIZAÇÃO

No processo de aplicação do primeiro Senso, SEIRI, ou senso de utilização, foram realizados processos de seleção dos materiais, ou objetos, úteis para o ambiente. A seleção desses objetos foi realizada com a supervisão da funcionária responsável pelos laboratórios.

No primeiro momento, o local foi analisado e foram constatados focos de objetos sem nenhuma utilização aparente, ou com utilização pouco frequente. Logo em seguida, foram realizadas separações dos objetos: entre útil ou não, muito utilizado ou pouco utilizado.

Nos armários, 1 e 2, na parte superior, foram identificados caixas e restos de componentes eletrônicos aparentemente sem utilidade. Os objetos que possuíam utilidade, ou que eram mais utilizados, foram organizados na própria parte superior dos armários. Na Figura 1 é possível observar como estava organizado antes da ação e na Figura 2 como ficou organizado após o grupo atuar.



Figura 1: componentes eletrônicos na parte superior dos armários.



Figura 2: organização dos objetos após a aplicação do SEIRI.

No segundo momento, foram retirados os objetos que não eram utilizados. Os objetos não foram direcionados ao lixo, pois eles, ou seus componentes, podem ser utilizados em algum projeto futuro, junto a caixa foi adicionado uma lista dos componentes em questão para facilitar a escolha do componente que será utilizado.



Estes objetos foram colocados em uma caixa com identificação como mostra a figura 3.



Figura 3: caixa com objetos que não são utilizados, ou que estão danificados.

Além disso, foi realizada a seleção dos fios para protoboard, que são placas onde são montadas circuitos elétricos, organizando-os por cores, tamanho, e eliminando os fios que estavam desgastados ou eram inutilizáveis. Na Figura 4 pode-se observar que estes fios não tinham uma organização prática. Após a intervenção do grupo os fios para protoboard foram colocados em uma caixa com divisórias como pode ser observado na Figura 5.



Figura 4: caixa danificada com fios para protoboard e materiais utilizados em circuitos.



Figura 5: caixa com divisórias e materiais e fios organizados por tamanho e cor.

### 3.2 APLICAÇÃO DO SEITON- SENSO DE ORDENAÇÃO

No segundo Senso, SEITON, ou Senso de ordenação, foram realizados procedimentos de organização dos materiais e objetos usuais do laboratório.

No primeiro momento, foi realizada a separação dos objetos por utilização, e tamanho. Também, foi realizada a confecção de caixas com divisórias, para otimizar espaço e melhor organização dos objetos. Houve também, uma identificação nas caixas que foram utilizadas para organizar os componentes. As Figuras 6 e 7 mostram o antes e depois de caixas que estavam localizadas dentro dos armários.



Figura 6: caixa degradada com fios e pinos banana.



Figura 7: caixa com divisórias e materiais organizados, e com identificação.

Os armários, 1 e 2, foram organizados na parte inferior, tendo seus componentes ordenados e dispostos de uma maneira mais acessível para o uso em aula. Além disso, todas as caixas que estavam no armário, foram trocadas e etiquetadas. As Figuras 8 e 9 mostram o antes e depois da parte interna do armário 2.



Figura 8: parte interna do armário 2 desordenada.



Figura 9: parte interna do armário 2 ordenada e com equipamentos organizados.

As mesas foram enumeradas, e as fontes de alimentação receberam um número correspondente ao da mesa em que se encontram, assim como os geradores de meia onda (equipamentos utilizados nas aulas de eletroeletrônica), visando assim a organização e melhor aproveitamento do espaço utilizado nas

aulas. Apesar da tentativa de padronização dos objetos sobrepostos sobre as mesas, a quantidade de fontes, ou geradores, não atendiam a quantidade equivalente das mesas. As Figuras 10 e 11 mostram fotos do antes e depois das mesas com as fontes de alimentação e geradores de meia onda.



Figura 10: mesas com os equipamentos sobrepostos de forma desorganizada.



Figura 11: mesas com os equipamentos distribuídos e enumerados proporcionalmente.

As Figuras 12 e 13 apresentam a organização do espaço com os equipamentos enumerados na respectiva mesa ao qual estava sobreposto.



Figura 12: fonte de alimentação e gerador de meia onda enumerados.



Figura 13: mesa enumerada.

Em relação às bancadas eletrotécnicas, que são equipamentos didáticos utilizados no ensino eletrotécnico, foram realizadas substituições das etiquetas utilizadas nas chaves e nas próprias bancadas, que auxiliam no reconhecimento visual quando se é necessário abrir as gavetas e portas. As Figuras 14 e 15 mostram o antes e depois das chaves das bancadas.



Figura 14: chaves das bancadas com identificação degradada.



Figura 15: chaves das bancadas com identificação renovada.

A identificação da parte externa das bancadas podem ser observadas nas Figuras 16 e 17.



Figura 16: parte externa das bancadas com identificação degradada.



Figura 17: parte externa das bancadas com identificação refeita.

Além disso, os componentes armazenados na parte interna das bancadas foram reorganizados e igualmente distribuídos entre elas, após a sua catalogação e organização em caixas com identificação. Essa ordenação no materiais foi realizada com o objetivo de melhorar a distribuição dos equipamentos e auxiliar no rendimento da aula, pois os componentes estarão cada um em seu lugar e com a mesma quantidade em cada uma das 4 bancadas.

As Figuras 18 e 19 mostram as partes internas das bancadas antes da reorganização dos componentes.



Figura 18: parte interior do armário de uma das bancadas.



Figura 19: parte interior da gaveta de uma das bancadas.

Já a Figura 20, mostra o processo de retirada dos componentes para catalogação e distribuição nas bancadas.



Figura 20: componentes das bancadas sendo catalogados.

As Figuras 21 e 22, mostram as partes internas das bancadas após serem catalogadas e organizadas.



Figura 21: parte interior do armário da bancada organizado.



Figura 22: gaveta da bancada organizada.

Os motores, que antes estavam inadequadamente distribuídos em locais inapropriados e perigosos, foram agrupados em um único espaço, facilitando o seu

uso em aulas, e evitando acidentes. As Figuras 23 e 24 mostram o antes e depois da distribuição dos motores.



Figura 23: motores localizados em local inapropriado e distribuídos de forma irregular.



Figura 24: motores agrupados e organizados.

Já os cabos, que são utilizados nas bancadas e antes estavam agrupados em uma única local, foram separados por cor e tamanho, e postos em um caixa com identificação e divisórias, para facilitar sua utilização. As Figuras 25 e 26 mostram o antes e depois dos cabos das bancadas.



Figura 25: cabos das bancadas em uma caixa degradada.



Figura 26: cabos das bancadas organizados e identificados.

### 3.3 APLICAÇÃO DO SEISO- SENSO DE LIMPEZA

No terceiro Senso, SEISO, ou Senso de limpeza, foram realizadas a retirada da sujeira, e poeira, do ambiente ao qual a metodologia foi aplicada. No primeiro momento, foram retirados os detritos depositados abaixo das cadeiras. As Figuras 27 e 28 mostram as cadeiras presentes na sala e as ações tomadas para limpá-las.



Figura 27: cadeira com detritos.



Figura 28: cadeira sem detritos.

Logo, a poeira das fontes, geradores, mesas, e a parte interna e externa das bancadas eletrotécnicas, foi retirada.

As Figuras 29 e 30 mostram o antes e depois da poeira localizada na parte inferior das mesas.



Figura 29: parte inferior de uma mesa com poeira e detritos.



Figura 30: parte inferior de uma mesa após sua limpeza e higienização.

As mesas, logo em seguida, foram higienizadas com álcool, e o restante dos materiais espalhados pelo chão, foram recolhidos e levados ao lixo. Por fim, o chão do laboratório foi varrido como mostra as Figuras 31 e 32.



Figura 31: lixo acumulado no laboratório.



Figura 32: lixeiras etiquetadas e laboratório limpo.

### **3.4 APLICAÇÃO DO SEIKETSU- SENSO DE BEM ESTAR E SAÚDE**

O senso de Bem Estar e Saúde está diretamente ligada ao Senso de Limpeza, pois se este for bem aplicado a sensação de conforto será natural. Através da limpeza do ambiente, pode-se observar que os locais onde se encontravam poeira e outros males à saúde foram eliminados, trazendo assim maior segurança para aqueles que utilizam o espaço e sofrem de algum tipo de doença respiratória.

Além disso, a organização do laboratório em si proporciona uma sensação de conforto aos olhos, pois a distribuição dos materiais e equipamentos foram feitas de forma equivalente, visando uma padronização no local. Essa organização do local pode ser observada nas Figuras 33 e 34.



Figura 33: laboratório antes da aplicação dos sensores.



Figura 34: laboratório após a aplicação dos sensores.

### 3.4 APLICAÇÃO DO SHITSUKE - SENSO DE AUTODISCIPLINA

Neste senso, o foco principal foi conscientizar todos os alunos e professores do Câmpus sobre a aplicação do programa 5S no laboratório, e pedir a colaboração para a manutenção desta organização. Tudo isso, através da utilização de materiais impressos e comunicação verbal.

Esse é o único senso que se estendeu após o término do trabalho, e é o senso com maior dificuldade de implantação, pois não envolve apenas os integrantes deste trabalho, mas sim a participação e colaboração de todo um grupo que utiliza esse espaço.

### 3.5 CONSTRUÇÃO DO RELATÓRIO TÉCNICO

Após a aplicação dos sensores, se iniciou a construção de um relatório técnico que foi o principal quesito na avaliação do trabalho da disciplina Manutenção Industrial. O relatório foi construído através da descrição das atividades realizadas, e da apresentação dos resultados através de registros fotográficos. Além disso, se realizou uma apresentação sobre a aplicação do programa 5S, que foi exibida para um grupo de alunos e seu professor.

## 4 CONCLUSÃO

Com o término do trabalho, verificamos que houve a obtenção de um melhor aproveitamento do espaço, organização do ambiente e organização dos materiais que são utilizados nas aulas, e que antes estavam desorganizados e atrapalhando o fluxo e o andamento das aulas.

Por consequência dessa organização do espaço do laboratório de eletroeletrônica, obtivemos uma melhora visual no local, proporcionando maior conforto durante as aulas. Também obtivemos um melhor rendimento do tempo de aula, visto que os materiais estão mais acessíveis, por conta da distribuição e identificação ao qual foram submetidos, assim utiliza-se melhor o tempo de aula, pois não há necessidade de procurá-los.

Apesar da Metodologia 5S normalmente ser aplicada em empresas e indústrias, pode-se verificar seu êxito em um ambiente escolar, e concluir que esta ferramenta utilizada em Manutenção Industrial possui flexibilidade para ser aplicada em diferentes locais, mas continuar cumprindo seus objetivos e funções.



## Agradecimentos

Agradecemos ao IFSul Câmpus Sapiranga por disponibilizar o espaço para aplicação do programa, e, ao Professor Leandro Marchionni e a Técnica Fernanda Velleda pelo auxílio durante a realização do processo dos 5 sentidos.

## REFERÊNCIAS

- 1 ABRANTES, J. Gestão da Qualidade. Rio de Janeiro: Interciência, 2009
- 2 OSADA, T. Housekeeping, 5S's: seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke. 3º Ed. São Paulo: Instituto IMAM, 1992.
- 3 NERY, M.D., De MORAES, D. G. S. V. M. Proposta de Implantação da metodologia 5s em uma empresa de inspeção e manutenção de extintores de incêndio no estado do espírito santo. XXXVI encontro nacional de engenharia de produção, João Pessoa/PB, Brasil, de 03 a 06 de outubro de 2016.
- 4 CARVALHO, P. C. O programa 5S e a qualidade total. Campinas, SP: Editora Alínea, 5º edição, 2011.
- 5 LONGO, R. M. J.; VERGUEIRO, W. Gestão da qualidade em serviços de informação no setor público: Características e dificuldades para sua implantação. Revista Digital Bibliotecon. Ci. Inf., Campinas, v. 1, n. 1, p. 39-59, 2003.
- 6 REBELLO, M. A. de F. R. Implantação do programa 5S para a conquista de um ambiente de qualidade na biblioteca do Hospital Universitário da Universidade de São Paulo. Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação, Campinas, v. 3, n. 1, p. 165-182, jul./dez. 2005.
- 7 SILVA, J. (1996). O Ambiente da Qualidade na Prática 5S. 3a edição. Belo Horizonte, Fundação Christiano Ottoni.
- 8 RIOS, A. I. R. A implementação do programa de qualidade 5s na empresa Wayne Fuelling Systems: Uma abordagem das atividades dos departamentos de inspeção de recebimento e metrologia. Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Rio de Janeiro, RJ, 29 e 30 de Setembro de 2016.
- 9 COSTA, Rosane Marques Crespo. Como praticar o 5S na escola/ Rosane M. Crespo Costa, Solange Mara do Nascimento Pena, Celisa Mirtes Boschi. Belo Horizonte: UFMG, Escola de Engenharia, Fundação Christiano Ottoni, 1996.
- 10 SCHMIDT, Alberto Souza; SILVA, Claudete Trevisan Almeida; SARTORI, Cláudia Sarzi; TESSELE, Faltemara Forsin; GOULART Melissa de Melo; NUNES, Pauleana Martins; PAVEZI, Neiva. A implantação do Programa 5S na Escola Padre Nóbrega. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa, PB, 03 a 06 de Outubro de 2016.

## DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO NA CURVA DA BANHEIRA DE UM AGITADOR DE POLPA DE CELULOSE

Mallmann, E. F. M. C.<sup>1</sup>

De Barba Junior, D. J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, Eduardo Francisco M. C. Mallmann, IFSUL, RS. [duduchicomail@gmail.com](mailto:duduchicomail@gmail.com)

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico, Durval João De Barba Jr, IFSUL, RS. [durvaljunior@sapucaia.ifsul.edu.br](mailto:durvaljunior@sapucaia.ifsul.edu.br)

### Resumo

Artigo elaborado com o objetivo principal de definir a região na curva da banheira em que se encontra um agitador de polpa de celulose. Este trabalho se justifica pelo fato da indústria de celulose operar em campanhas anuais e, para tal, necessita da confiabilidade em seus ativos para garantir a continuidade operacional e atender as demandas de mercado e dos acionistas. Desta forma, mapeando o ciclo de vida dos equipamentos e identificando sua fase atual, é possível prever uma eventual falha que possa ocorrer no sistema. Para isto, elas precisam ser classificadas, além de identificar os tempos entre falhas e os tempos para reparo, para calcular a disponibilidade e determinar o ponto do ciclo de vida com o uso do software modelador ProConf 2000. As simulações foram efetuadas com um nível de confiança de 95%, onde se chegou em uma Disponibilidade de 99,8% do tempo de operação do agitador. Além disso, por meio da análise de Weibull, obteve-se um fator de forma ( $\gamma$ ) de 0,798 para o agitador, considerando o equipamento ainda dentro da fase de juventude.

**Palavras-chave:** Manutenção. Confiabilidade. Curva da Banheira. Disponibilidade.

### DETERMINATION OF POSITION IN CURVE FAILURES RATE OF A CELLULOSE PULP AGITATOR

#### Abstract

Article elaborated with the main objective of defining which region in the curve failures rate in which there is a cellulose pulp agitator. This work is justified by the fact that the cellulose industry operates in annual campaigns and, for this, it requires the reliability of its assets to guarantee the operational continuity and to meet the demands of the market and the shareholders. In this way, by mapping the life cycle of the equipment and identifying its current phase, it is possible to predict a possible failure that may occur in the system. To do this, they need to be classified, in addition to identifying the times between failures and the times for repair, to calculate the availability and to determine the point of the life cycle using the ProConf 2000 modeling software. The simulations were carried out with a level of 95% confidence level, where it arrived at a 99.8% availability of the agitator's operating time. In addition, by means of the Weibull analysis, a form factor ( $\gamma$ ) of 0.798 was obtained for the agitator, considering the equipment still within the youth phase.

**Key words:** Maintenance. Reliability. Curve failures rate. Availability.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de celulose é governada por escala de produção, tendo o seu produto um comportamento de *commodity* em relação ao preço de mercado. Desta forma, um dos principais fatores que caracteriza este tipo de negócio é a continuidade operacional. Por se tratar de um processo industrial de grande complexidade, que envolve uma série de sistemas e equipamentos, apresenta um sistema contínuo de produção, onde os equipamentos de processo operam em campanhas de produção que geralmente são anuais<sup>(1)</sup>.

Neste processo existe uma grande exigência dos equipamentos, para se atingir a maior disponibilidade possível, sendo necessário, aplicar uma série de metodologias e estudos para obter a confiabilidade no sistema. Um dos métodos que se pode aplicar é o da análise de falhas para se calcular a disponibilidade do equipamento e definir o melhor plano de manutenção que deve ser aplicado em determinado sistema ou equipamento<sup>(2)</sup>.

Desta forma, este trabalho pretende responder a seguinte questão: quais são as etapas e/ou ferramentas para determinar em qual fase da vida útil um agitador, que faz parte do processo de fabricação em uma indústria de celulose, se encontra?

Para resolver isso, será efetuado um levantamento do histórico de intervenções em um equipamento, para depois, com a ajuda de distribuição estatística, determinar em qual região da curva da vida útil o equipamento está, assim como uma classificação dos tipos de falha que ocorrem ao longo deste período.

O trabalho se justifica pelo fato da indústria de celulose operar em campanhas anuais e, para tal, necessita da confiabilidade em seus ativos para garantir a continuidade operacional e atender as demandas de mercado e dos acionistas. Desta forma, mapeando o ciclo de vida dos equipamentos e identificando sua fase atual, é possível prever uma eventual falha que possa ocorrer no sistema.

Dias<sup>(3)</sup> enfatiza que os sistemas falham e que não existe uma receita que previna ou evite que todas as falhas ocorram. Assim como não existe um tipo de manutenção melhor do que outro, pois cada um possui uma aplicação e o grande desafio é determinar qual política de manutenção aplicar para cada caso. Os principais benefícios que se tem em aplicar a confiabilidade vão desde as questões de aumento de lucros (diminuição de paradas não planejadas, redução dos custos operacionais, redução na possibilidade de acidentes), fornecimento de novas soluções as atuais necessidades (possibilidade de utilizar variados tipos de cargas, aumento da produtividade, atendimento da legislação ambiental, segurança e higiene), espaço para investir em segurança, continuidade operacional e meio ambiente, com base em informações quantitativas, e a redução das causas básicas de parada, atuando diretamente nos problemas e não nas consequências (histórico de falhas, prevenção de falhas nos equipamentos similares)<sup>(4)</sup>.

### 1.1 Manutenções Empregadas

A manutenção basicamente significa garantir que os equipamentos continuem executando as funções requeridas quando foram projetados e quando se fala em MCC, pode-se classificar como um processo utilizado para determinar o que fazer para assegurar que um equipamento continue a executar o que se espera no seu contexto operacional<sup>(2)</sup>.

A Manutenção Centrada em Confiabilidade engloba uma série de ferramentas da Engenharia para garantir que os equipamentos continuem exercendo sua principal função no sistema, com uma abordagem sistemática e lógica, esta metodologia é bastante eficaz, sendo possível garantir a confiança no equipamento e um aumento da disponibilidade. Evitando assim, quebras e paradas inesperadas<sup>(5)</sup>.

Já a Manutenção Preditiva é o modelo aplicado no equipamento de estudo. Neste tipo de manutenção, também conhecida como Manutenção de Condição, é baseada na situação em que o equipamento se encontra. Ela é feita por meio de monitoramento remoto por sensores, por análise de vibrações, termografia, além de outras técnicas, onde é possível obter informações do estado operacional do equipamento. Por meio de análise dos dados obtidos é possível verificar se existe algum modo de falha no equipamento, sendo ainda possível identificar o início de uma provável falha, não sendo aplicada a regra da degradação do ativo. A decisão de intervir no equipamento é baseada nos dados obtidos e é viável continuar com o monitoramento até que o equipamento chegue a um patamar de falha predeterminado para execução da manutenção<sup>(5)(6)(7)</sup>.

A manutenção preditiva nada mais é do que uma manutenção preventiva baseada na condição em que o equipamento se encontra e no momento em que ocorre uma intervenção planejada, para corrigir a falha de algum componente que vinha sendo monitorado. Esta intervenção pode ser considerada como uma manutenção corretiva programada<sup>(8)</sup>.

Uma das principais ferramentas utilizadas na Manutenção Preditiva é a análise de vibração dos equipamentos rotativos. Ela é efetuada por meio de um dispositivo portátil que coleta as oscilações produzidas pelo equipamento a ser monitorado por meio de um acelerômetro. O sistema de coleta de dados possui uma interface com um software de computador, onde é possível processar os dados e analisar graficamente os valores encontrados no momento da coleta<sup>(9)(10)</sup>.

## 1.2 Disponibilidade

A Disponibilidade é a capacidade de um equipamento/sistema de executar a função requerida, durante um intervalo de tempo determinado. Também pode ser expressa como a probabilidade de que um componente que passou por uma manutenção, exerça sua função com sucesso em um período de tempo t. Ela é expressa pela razão entre o tempo médio entre falhas (TMEF), do inglês MTBF – *Mean Time Between Failures*, e o somatório do TMEF com o tempo médio para reparos (TMPR), do inglês MTTR – *Mean Time to Repair*, representada pela Equação 1<sup>(4)(11)</sup>.

$$D = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \quad (1)$$

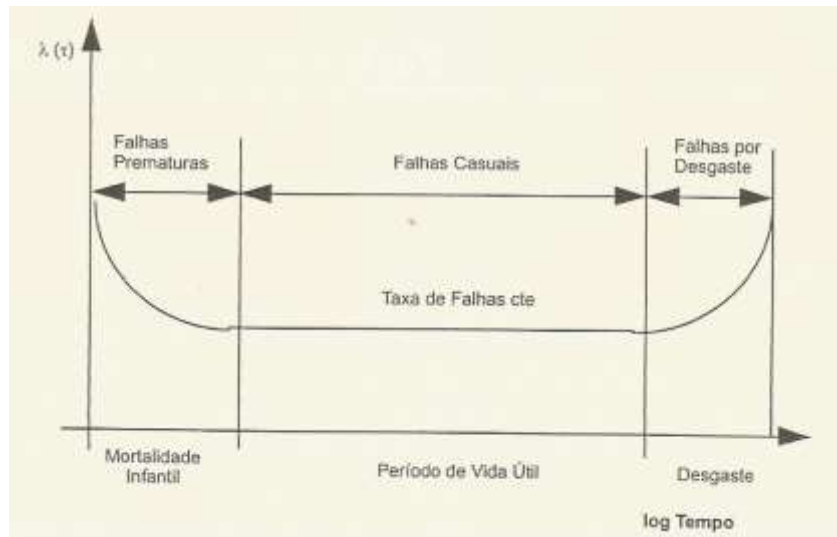
O tempo médio entre falhas e o tempo médio para reparos são medidas referenciais e são calculados por meio da média aritmética de um conjunto de tempos até a falha e até o reparo. Elas são expressas pelas Equações 2 e 3<sup>(4)</sup>.

$$TMEF = \frac{\sum_{i=1}^N TEF_i}{N} \quad (2)$$

$$TMPR = \frac{\sum_{i=1}^N TPR_i}{N} \quad (3)$$

### 1.3 Curva da Banheira

A curva da banheira (Figura 1) apresenta de uma forma genérica as fases de vida de um determinado componente. É dividida em três fases distintas que são a mortalidade infantil, período de vida útil e período de desgaste. Com esta curva é possível analisar o comportamento da taxa de falha de um equipamento ao longo do tempo<sup>(4)</sup>.



**Figura 1.** Curva da banheira<sup>(4)</sup>.

Na primeira fase, chamada de período de **mortalidade infantil** ou fase de juventude, ocorrem as falhas prematuras no equipamento. As taxas de falha iniciam em altos valores e vão decrescendo na medida em que o tempo passa. As principais causas, para que ocorram as falhas neste período, são por deficiências no processo de fabricação, no controle de qualidade, mão de obra sem qualificação, insuficiência de testes operacionais, especificação de materiais inadequados e erros de dimensionamento na fase de projeto, entre outros<sup>(4)</sup>.

Sellitto<sup>(13)</sup> aponta que nesta fase a melhor opção de manutenção é a corretiva, onde se deve trocar o componente que falhou e definir uma correção no mesmo para que a falha não venha a ocorrer novamente.

Na segunda fase da curva, chamado de **período de vida útil** ou período de maturidade do equipamento, a taxa de falha fica praticamente constante e atinge os menores patamares da curva. Nesta fase, as falhas são imprevisíveis e aleatórias dependendo principalmente de fatores externos ao sistema<sup>(3)</sup>.

As principais causas são acidentais, como uma sobrecarga no equipamento, erros operacionais, falhas humanas, impactos mecânicos, variações de temperatura, vibrações, entre outros<sup>(12)</sup>.

O último período chamado de fase da fadiga, **desgaste**, ou fase de envelhecimento é onde a taxa de falha novamente cresce continuamente. A falha é causada pelo fato do equipamento já apresentar desgastes nos componentes que surgem devido ao tempo de operação, como: atrito, fadiga e trincas, ao ambiente, como corrosão, deterioração mecânica ou química, assim como uma manutenção insuficiente ou deficiente. Dentro desta fase é possível fazer uma estimativa da vida deste equipamento em termos de confiabilidade, sendo possível fazer um comparativo econômico da viabilização de recuperação ou descarte do ativo<sup>(13)</sup>.

## 1.4 Métricas da Confiabilidade

A confiabilidade é a probabilidade de que um equipamento, ou sistema, operar dentro de um determinado período de tempo e condições operacionais definidas sem que ocorram falhas. Pode ser representada com o emprego de funções matemáticas<sup>(4)</sup>.

Dias<sup>(3)</sup> comenta que a confiabilidade tem uma associação antiga com as leis de degradação física do objeto de estudo, porém ela é recente quando levada em consideração sua teoria específica, conseguindo ficar bem integrada aos programas de manutenção. Lewis<sup>(14)</sup> cita que como a confiabilidade é a probabilidade de um sistema sobreviver em um determinado período, a função que a expressa tem como principal variável o tempo e ela é sustentada com a taxa de falha, onde se entende grande parte dos fenômenos de confiabilidade.

As distribuições de probabilidade usadas em estudos de confiabilidade podem apresentar até três parâmetros, classificados em parâmetros de localização, escala e forma. Parâmetros de localização são usados para deslocar a distribuição de probabilidade ao longo do eixo do tempo, sendo também conhecidos como parâmetros de vida mínima ou de garantia. Parâmetros de escala são usados para expandir ou contrair o eixo do tempo. Um exemplo conhecido é o parâmetro  $\lambda$  da distribuição exponencial; a função de densidade possui sempre a mesma forma, mas as unidades no eixo do tempo são determinadas por  $\lambda$ . Os parâmetros de forma são assim designados por afetarem a forma da função de densidade. Um exemplo conhecido é o parâmetro  $\gamma$  da distribuição de Weibull<sup>(5)</sup>.

A taxa de falha  $\lambda(t)$  é a outra função que apoia a análise de confiabilidade, pois com ela é possível examinar os comportamentos de falha. Ela também é conhecida como taxa de risco e pode ser interpretada como a quantidade de risco associada a uma unidade de tempo  $t$ , sendo representada pela Equação 4<sup>(5)(14)</sup>.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (4)$$

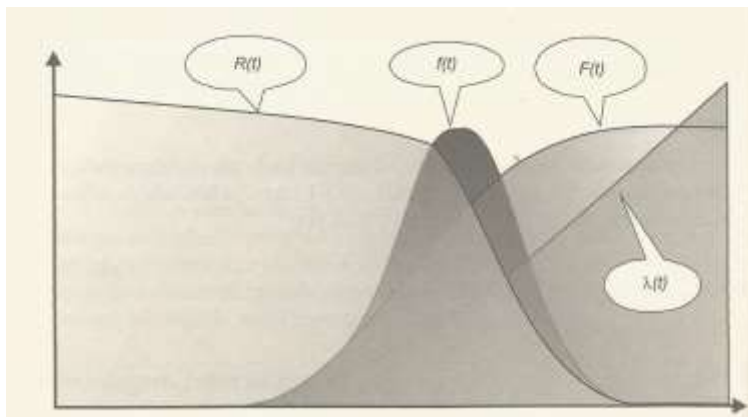
A Equação 5 que representa a confiabilidade em razão da taxa de falha  $\lambda$ . A função de confiabilidade  $R(t)$  informa a probabilidade de a unidade apresentar sucesso na operação, em um intervalo de tempo e ainda estar funcionando no tempo  $t$ . Esta equação também é conhecida como função de sobrevivência.<sup>(14)</sup>

$$R(t) = \exp \left[ - \int_0^t \lambda(t') dt' \right] \quad (5)$$

Em tese, com base no equacionamento apresentado por Lewis<sup>(14)</sup>, a análise de confiabilidade é sustentada por quatro funções, a confiabilidade  $R(t)$ , a densidade de falha  $F(t)$ , a probabilidade de falha  $f(t)$  e a taxa de falha  $\lambda(t)$ .

A Figura 2 representa de forma gráfica como é o comportamento da curva das funções para um sistema com taxa de falha crescente<sup>(6)</sup>.

A distribuição de Weibull é uma das mais utilizadas nos cálculos de confiabilidade, pois com uma escolha adequada de parâmetros, é possível modelar uma variedade de comportamentos de taxa de falha. Neste modelo inclui também a taxa de falha constante, além de oferecer informações para classificar os tipos de falha, modelando o desgaste.



**Figura 2.** Modelagem matemática<sup>(6)</sup>.

A função de distribuição de Weibull possui três parâmetros para determinar distribuição de falhas (Equação 6), a probabilidade acumulada de falhas (Equação 7) e taxa de falha instantânea (Equação 8)<sup>(4)(14)</sup>

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\gamma} \quad (6)$$

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^\gamma\right] \quad (7)$$

$$\lambda(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^{\gamma-1} \quad (8)$$

A Tabela 1 apresenta o comportamento da função de distribuição de Weibull.

**Tabela 1.** Comportamento da função da distribuição de Weibull.<sup>(4)</sup>

$\gamma$	Comportamento da Função de Taxa de Falhas
<1	Taxa de falha decrescente com o tempo: fase de mortalidade infantil.
1	Taxa de falha constante: Falhas aleatórias (função exponencial).
>1	Taxa de falha crescente com o tempo.
2	Taxa de falha linearmente crescente.
>2	Taxa de falha cresce a uma taxa proporcional a potência (-1); distribuição de frequência tornando-se mais simétrica à medida que $m$ cresce.
3,2	Distribuição de frequência aproxima-se da distribuição normal, tornando-se menos dispersa à medida que $m$ cresce.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia neste trabalho compreendeu:

(1) Revisão bibliográfica na área da manutenção, com o foco nos conceitos de confiabilidade e as estratégias de manutenção e um levantamento do histórico de falhas do equipamento com base no banco de dados do software de gestão, utilizado pela empresa, para uma compilação desses dados por meio de tabelas e do Excel;

(2) Classificação das falhas encontradas por meio de uma tabela para facilitar a identificação dos tempos entre falhas e o tempo para reparo;

(3) Análise dos dados encontrados, por distribuição estatística, para calcular a disponibilidade e para identificar o ponto do ciclo de vida do equipamento. Para as análises foi utilizada a versão de estudante do software ProConf 2000, obtida gratuitamente no site da UFRGS;

(4) Por meio de uma comparação com a bibliografia encontrada, foi validado o método utilizado para chegar ao resultado encontrado.

O equipamento escolhido para a realização do estudo de caso foi um agitador de uma torre de estocagem de celulose de alta consistência, responsável por não deixar que a polpa de celulose se solidifique no reservatório, ficando então homogênea para que o sistema possa alimentar a máquina de secagem por um sistema de bombeamento. Este agitador opera 24 horas por dia, sete dias por semana em uma campanha de operação anual. A importância deste equipamento ocorre da necessidade da polpa de celulose estar em condições, principalmente, de homogeneidade e viscosidade adequadas à alimentação no sistema de secagem.

Este equipamento possui um conjunto rotativo composto basicamente de um eixo instalado em um mancal monobloco, com um sistema de pás acoplado na extremidade oposta ao acionamento. Este conjunto é composto por luvas de desgaste, que mantém a integridade do eixo, e um sistema de vedação de caixa de gaxetas, onde são instaladas gaxetas quadradas. O acionamento do sistema é feito por meio de polias que transmitem o movimento de um motor elétrico a 900 rpm, com oito correias de transmissão. O mancal monobloco possui um par de rolamentos auto compensadores de rolos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do software de gestão da empresa (SAP) foi efetuado o levantamento do histórico de falhas. Nele existe um banco de dados de todos os ativos instalados na fábrica e assim foi efetuada uma pesquisa do histórico de ordens de manutenção criadas para o mesmo, sendo encontradas intervenções desde 2008.

No histórico deste equipamento foram localizadas 15 ordens de manutenção por falha de algum componente e, baseado nesse histórico foi criada a Tabela 2, onde estão contabilizados os tempos de manutenção e o tempo entre as falhas que acarretaram em manutenção com base nas datas base de cada ordem.

**Tabela 2.** Tempo entre falhas e tempo de reparo, em horas.

Tempo entre falhas (h)	1.608	288	1.632	4.440	12.264	9.000	24.888	72	7.320	2.544	3.672	5.448	1.344	4.512	
Tempo de reparo (h)	4	4	8	16	4	2	4	8	2	16	4	4	4	16	8

#### 3.1 Análise do tempo entre falhas

Primeiramente foi simulado no software distribuições para o tempo entre falhas oriundos da Tabela 2, onde a simulação foi efetuada com um nível de confiança de 95%. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

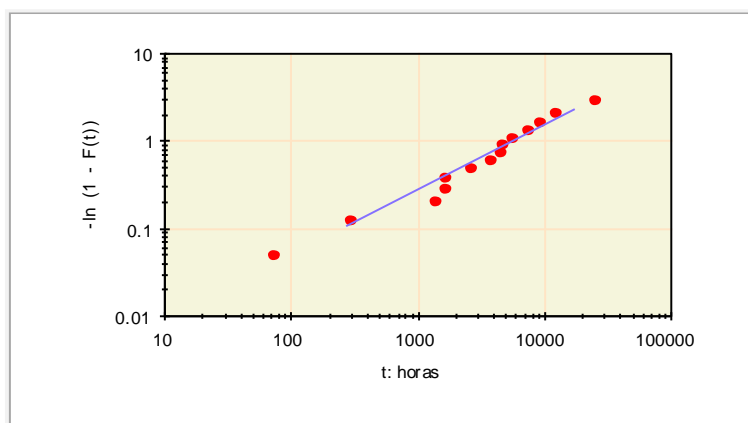


**Tabela 3.** Resumo dos testes de distribuição para os Tempos entre falhas.

Distribuição	TMEF (h)	Dados significativos	Faixa TMEF (h)
Weibull	5.759	Fator de forma ( $\gamma$ ) = 0,798	2.183 até 10.825
Exponencial	5.645	Taxa de falha ( $\lambda$ ) = 1,77E-04	3.557 até 10.324
Lognormal	8.038	Média do logaritmo ( $\mu$ ) = 7,9	2.872 até 26.510
Normal	Rejeitada		

Pelo fato do agitador ser um equipamento composto por subsistemas, onde seus componentes quando entram em modo de falha podem levar todo o sistema a falhar, por meio de uma falha sistêmica, a distribuição que melhor representa este comportamento é a de Weibull. Neste modelo, o tempo até a falha é uma variável aleatória, onde se os modos de falha atuarem em série, competindo pela falha, no primeiro que ocorrer a falha, todo o sistema virá a falhar<sup>(4)(12)(13)</sup>.

Na Figura 3 está representado o papel de probabilidade para o modelo de Weibull, sendo possível verificar que este modelo descreve bem a distribuição dos dados pesquisados.



**Figura 3.** Papel de probabilidade Weibull para tempos entre em falhas.

No teste analítico efetuado pelo software, o resultado de Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ficou a igual a 1,14 com um grau de liberdade, abaixo do valor crítico de 3,84 e um nível de significância de 0,2848, e o resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) foi igual a 0,1947, com um nível de significância de 0,2508.

Comprovando que a hipótese de que a população, que segue o modelo de Weibull, não pode ser rejeitada (Tabela 4). Nesta tabela também estão informados os parâmetros de ajuste do tempo entre falhas, onde  $t_{10}$  é o valor do tempo de operação em que o equipamento terá 90% de confiabilidade e  $t_{50}$  é o provável tempo de vida em que o equipamento estará operando com 50% de confiabilidade<sup>(15)</sup>.

**Tabela 4.** Parâmetros de ajuste do TMEF em horas.

Distribuição	$t_{10}$	$t_{50}$	$\chi^2$	KS
Weibull	303	3.027	1,14	0,1947

A função confiabilidade do agitador está apresentada na Figura 4. Nela é possível verificar os valores de  $t_{10}$  e  $t_{50}$ .

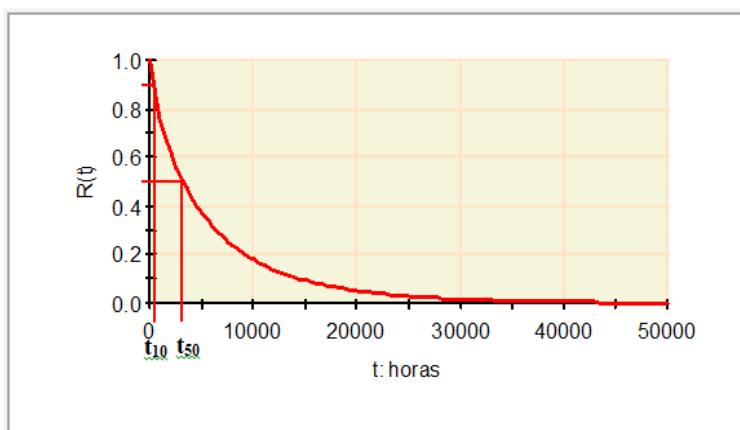


Figura 4. Função (Rt) de confiabilidade.

### 3.2 Análise do Tempo médio para reparos

Para calcular o Tempo Médio Para Reparos (TMPR) foram lançados os tempos de execução dos reparos para ser calculada a distribuição dos valores. Com base nos testes de aderência, apenas os modelos de Weibull e Lognormal foram aceitos, os demais modelos foram rejeitados por não atingirem um nível de significância satisfatório, conforme apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Resumo dos testes de distribuição para os Tempos para reparos.

Distribuição	TMPR (h)	Dados significativos	Faixa TMPR (h)
Weibull	7,2	Fator de forma ( $\gamma$ ) = 1,68	5,3 até 11,8
Lognormal	7,3	Média do logaritmo ( $\mu$ ) = 1,78	5,01 até 11,05
Exponencial	Rejeitada		
Normal	Rejeitada		

Na Figura 5 está representado o papel de probabilidade para o modelo de Weibull.

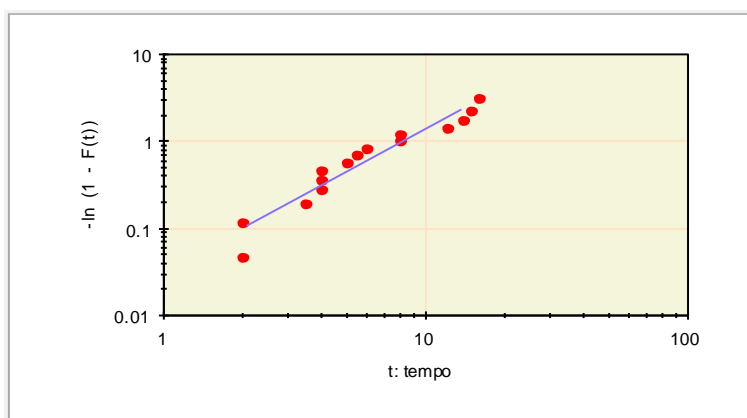


Figura 5. Papel de probabilidade de Weibull dos tempos para reparos.

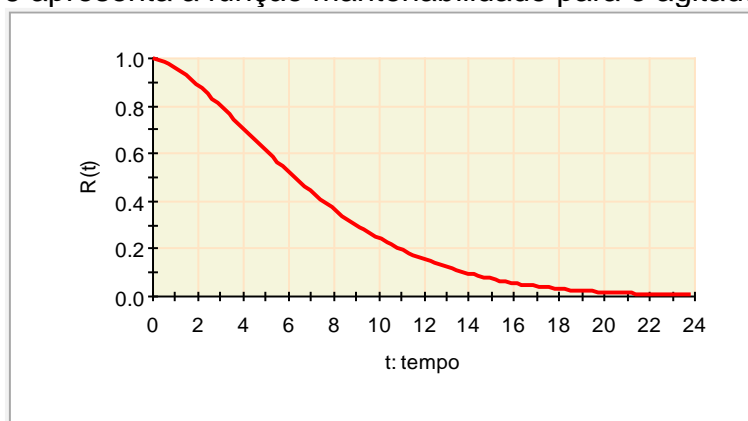
O teste analítico efetuado pelo software o resultado de  $\chi^2$  ficou em 1,85, com um grau de liberdade, abaixo do valor crítico de 3,84 e um nível de significância de 0,1736, e o resultado do teste de KS foi igual a 0,1239, com um nível de significância

de 0,3074 (Tabela 6). Corroborando com a hipótese de que a população, que segue o modelo de Weibull, não pode ser rejeitada. O Tempo médio para reparo encontrado ficou em 7,3 horas e com 95% do intervalo de confiança, o tempo médio entre falhas assume valores entre 5,3 até 11,8 horas.

**Tabela 6.** Parâmetros de ajuste do TMPR em horas.

Distribuição	$t_{10}$	$t_{50}$	$\chi^2$	KS	Intervalo (95% confiança)
Lognormal	1,83	6,28	1,85	0,1239	5,3 até 11,8

A Figura 6 apresenta a função manutenibilidade para o agitador em horas.



**Figura 6.** Função manutenibilidade de confiabilidade.

### 3.3 Cálculo da Disponibilidade

Para se calcular a disponibilidade do equipamento, foi utilizada a Equação 1 e, para obter os termos dela, foram utilizados os dados da Tabela 2. Estes foram aplicados no software de modelagem para se obter os parâmetros.

Com os valores de TMEF e TMPR encontrados pode-se calcular a Disponibilidade (D) do agitador, utilizando a Equação (1) obtendo o resultado de 0,9987. Desta forma, pode-se dizer que em 99,87% do tempo, o equipamento esteve disponível para produção, sobre a perspectiva de manutenção.

### 3.4 Localização na Curva da Banheira

Pela análise de Weibull, obteve-se um fator de forma ( $\gamma$ ) de 0,798 para o agitador.

Com base no valor do fator de forma ( $\gamma$ ) é possível relacionar a região da vida útil que o se encontra. Conforme citado na Tabela 1, para valores de  $\gamma$  menores que 1, a taxa de falha é decrescente com o tempo, e a área na curva da banheira em que se encontra é na fase de mortalidade infantil<sup>(13)</sup>.

Na Figura 7, está ilustrada a posição mais provável que o equipamento ocupa na curva da banheira.

Observa-se que o agitador se encontra ainda na seção de Mortalidade Infantil e que ainda pode apresentar falhas prematuras referentes a erros de projetos e/ou instalação

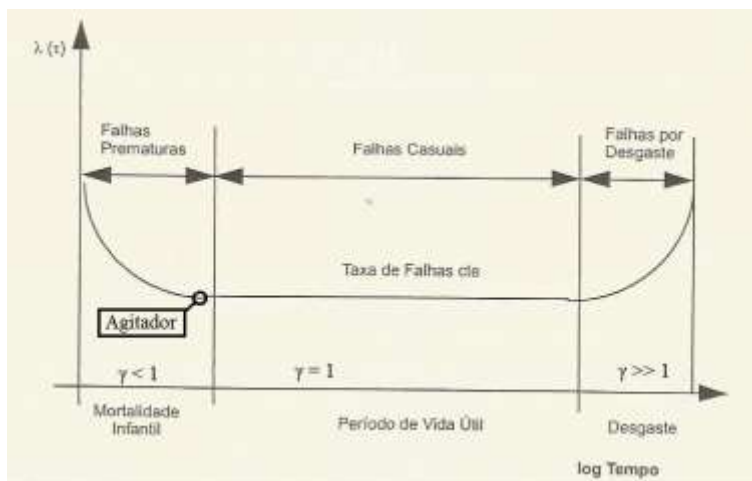


Figura 7. Possível localização do agitador na curva da banheira (modificado a partir de Lafraia<sup>(4)</sup>).

### 3.5 Análise de vibração do agitador

Atualmente este agitador está contemplado na lista de equipamentos que são monitorados dinamicamente pela equipe de inspeção, por meio da análise de espectros. O principal método de manutenção que o agitador é submetido é a preditiva. Porém pelo histórico de falhas do equipamento, já ocorreram manutenções corretivas também.

Para efeitos de comparação foi obtida a última análise de dados efetuada neste equipamento, que ocorreu no dia 06 de março de 2017. Na Figura 8 está apresentado o espectro em mm/s, nela consta a série de vibrações produzidas pelos diversos componentes do agitador. Com base na informação de frequência do equipamento (432 rpm) é possível identificar a maior amplitude no valor de 0,6541 mm/s. Esta amplitude de espectro é considerada normal com base na ISO 10816-3, que considera valores abaixo de 3,0 mm/s normais e aceitáveis<sup>(16)</sup>.

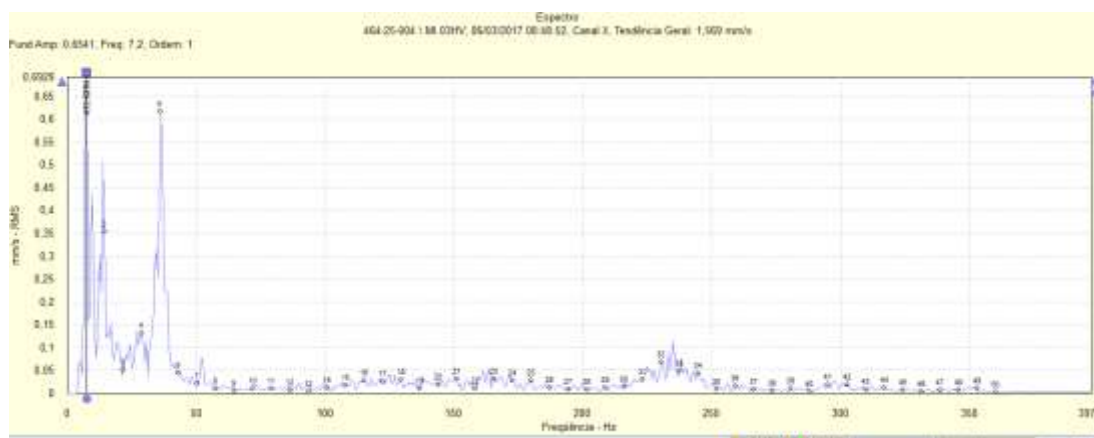
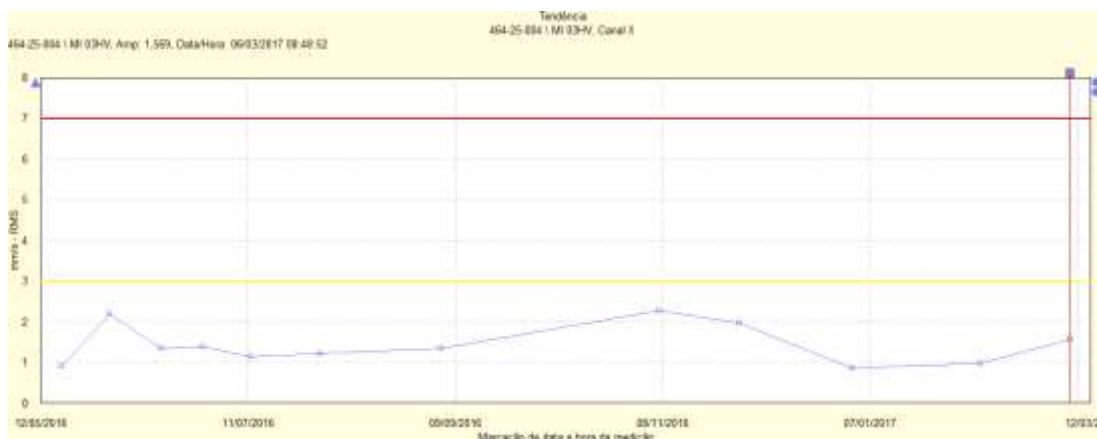


Figura 8. Gráfico de Espectro de vibração.

A Figura 9 apresenta a tendência geral do agitador em mm/s. A faixa de tempo coletada vai de maio de 2016 até março de 2017. É possível constatar que na última coleta de dados, foi mensurado o valor de 1,569 mm/s, conforme citado anteriormente, sendo este valor bem aceitável para valores de vibração; a tendência de vibração está abaixo da linha horizontal amarela, que representa o alarme 1.

Quando um equipamento atinge níveis de vibração em valores acima de 3,0

mm/s, ele entra em alarme 1. Nesta zona, a operação do equipamento, normalmente, é considerada insatisfatória a longo prazo, tendo um período limitado nesta condição até que se tenha uma oportunidade para uma ação corretiva. Acima, existe a linha vermelha, quando o equipamento atinge este patamar de vibração, ele entra em alarme 2, onde é necessário que seja efetuada uma intervenção imediata no equipamento, pois podem ocorrer danos severos no equipamento<sup>(16)</sup>.



**Figura 9.** Tendência de vibração do agitador.

### 3.6 Discussão

Com base nos dados coletados, constata-se que o equipamento está dentro da normalidade operacional e que o valor do parâmetro de forma ( $\gamma$ ), de 0,798, encontrado no cálculo do Tempo Médio Entre Falhas utilizando o modelo de Weibull, indica como aceitável a região dentro da fase de juventude. Sellitto<sup>(13)</sup> considera que a melhor estratégia de manutenção, para equipamentos que estão dentro da fase de juventude, é a manutenção corretiva, porém, como já existe um plano de manutenção preditiva neste equipamento, muitas falhas que poderiam vir a ocorrer na fase de maturidade já estão sendo monitoradas por meio da análise de vibração.

Mengue e Sellitto<sup>(17)</sup>, que realizaram um estudo em uma bomba centrífuga para identificar a localização na curva da banheira, chegaram a um fator de forma similar ao encontrado no agitador estudado neste trabalho, localizando o equipamento na fase de mortalidade infantil. Conforme relatado, a melhor estratégia de manutenção é a corretiva, porém o equipamento de estudo deles também possuía monitoramento dinâmico, se caracterizando assim, com um plano de manutenção preditiva.

Sellitto<sup>(13)</sup>, afirma que uma estratégia de manutenção, que não seja a corretiva para os equipamentos que se encontram na fase de mortalidade infantil, podem trazer prejuízos, ou gastos desnecessários para a companhia. Pois as outras estratégias de manutenção não seriam tão eficientes, pelo fato das principais falhas que ocorrem nestes equipamentos serem por defeito em materiais, falhas de projeto, sobrecargas etc., porém, para alguns casos em que existe uma maior criticidade, é preciso ter a confiabilidade operacional do equipamento, sendo preciso prever as possíveis falhas quando elas ainda são incipientes. Desta forma, no caso do agitador abordado neste artigo, o custo de uma manutenção preditiva acaba ficando viável, pois o custo da fábrica parada, ou por algum risco ambiental, é muito superior a qualquer custo de manutenção.

A Disponibilidade calculada, com base nas informações obtidas, no valor de 99,8%, salienta que a Manutenção Preditiva, efetuada neste equipamento, tem se mostrado eficaz e, quando ocorreu alguma intervenção para manutenção, ela pôde ter sido planejada e executada em um menor tempo possível, garantido assim, o resultado apresentado.

#### **4 CONCLUSÃO**

A partir do software de gestão da empresa (SAP) foi efetuado o levantamento do histórico de falhas. No histórico deste equipamento foram localizadas 15 ordens de manutenção por falha de algum componente. Estas ordens foram listadas, e contabilizados os tempos de manutenção e o tempo entre as falhas, com base nas datas base de cada ordem. Para a realização das distribuições de probabilidade de tempo entre falhas e tempo para reparo, foi utilizada a versão de estudante do software modelador ProConf 2000. As simulações foram efetuadas com um nível de confiança de 95%.

No teste analítico efetuado pelo software, o resultado do teste de Qui-quadrado e de Kolmogorov-Smirnov, foram aceitáveis para a distribuição de Weibull, corroborando que este modelo não pôde ser rejeitado. O valor encontrado para o Tempo Médio Entre Falha (TMEF) foi de 5.759 horas e o Tempo Médio Para Reparo (TMPR) foi de 7,3 horas, chegando a um valor de Disponibilidade de 99,8% do tempo de operação do agitador. Este valor de Disponibilidade comprova que a Manutenção Preditiva, efetuada neste equipamento, tem se mostrado eficaz e, quando ocorreu alguma intervenção para manutenção, ela pôde ter sido planejada e executada em um menor tempo possível, garantido assim, o resultado apresentado.

Na análise de vibração do equipamento, foi mensurado o valor de 1,569 mm/s, sendo considerado um valor aceitável. Por meio da análise de Weibull, obteve-se um fator de forma ( $\gamma$ ) de 0,798 para o agitador, considerando o equipamento ainda dentro da fase de mortalidade infantil.

#### **REFERÊNCIAS**

- 1 FOELKEL, C. E. B. Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. IUFRO, Salvador, 1997.
- 2 MOUBRAY, J. RCM II Manutenção Centrada em Confiabilidade. São Paulo: Edição Brasileira, 2000.
- 3 DIAS, Ac. Confiabilidade na manutenção industrial. II Encontro de Manutenção, São João Del Rei: Fundação de Ensino Superior de São João Del Rei, 2001.
- 4 LAFRAIA, J. Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2011.
- 5 FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. Confiabilidade e Manutenção Industrial. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- 6 SIQUEIRA, I. Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2014.
- 7 MONCHY, F. A Função Manutenção. Formação para a Gerência da Manutenção Industrial. Durbal/Ebras : São Paulo, 1989.

- 8 NOGUEIRA, C. F.; GUIMARÃES, L. M.; SILVA, M. D. B. Manutenção industrial: Implementação da Manutenção Produtiva Total (TPM), E-xacta, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 175-197. Editora UniBH. 2012.
- 9 MARÇAL, R. F. M.; SUSIN, A. A. Detectando falhas incipientes em máquina rotativas. Revista Gestão Industrial, v. 01, n. 021: pp. 083-092, 2005.
- 10 GARCIA, M. S. Análise de defeitos em sistemas mecânicos rotativos a partir da monitoração de vibrações. Rio de Janeiro. 2005. 130f. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- 11 PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. Manutenção: Função Estratégica. Rio de Janeiro : Qualitymark, 2010.
- 12 WUTTKE, R. A.; SELBITTO, M. A. Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico. Revista Produção On-line. ABEPRO/UFSC. v. 8, n. 4, 23p., 2008.
- 13 SELBITTO, M. A. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. Produção, v.15, n.1, p.44-59, 2005.
- 14 LEWIS, E. E. Introduction to Reliability Engineering. Evanston: John Wiley & Sons Inc, 1994.
- 15 FRITSCH, C., RIBEIRO, J.L.D. PROCONF: um software orientado para análises de confiabilidade. XVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Piracicaba, 1996.
- 16 ISO STANDARD ISO 10816-3:1998 - Mechanical Vibration: Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts - Part 3, pp.1-20, 1998.
- 17 MENGUE, D. C.; SELBITTO, M. A. Estratégia de manutenção baseada em funções de confiabilidade para uma bomba centrífuga petrolífera. Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.13, n. 2, p. 759-783, 2013.

# DOCENTES ENGENHEIROS E SUA PREPARAÇÃO E PRÁTICA DIDÁTICO-PEDAGÓGICA – UMA REVISÃO

de Souza, V. M.<sup>1</sup>  
Martins, V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia, Vanessa Moura de Souza, UFRGS, [vanessamouradesouza@gmail.com](mailto:vanessamouradesouza@gmail.com).

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia, Vinicius Martins, IFSUL, [vmartins@sapucaia.ifsul.edu.br](mailto:vmartins@sapucaia.ifsul.edu.br).

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

## Resumo

A preparação específica para a docência de nível superior tem sido objeto de estudos da pedagogia universitária, mobilizando de forma crescente os pesquisadores. A problematização dessa questão parte da premissa de que os professores universitários não possuem formação específica para as atividades docentes nesse nível de ensino. Essa questão é ainda mais crítica para o engenheiro-docente, que na própria graduação de bacharel não estuda as técnicas e metodologias de ensino que um graduado em licenciatura estuda. A partir da pesquisa bibliográfica, centrada em parâmetros de linguagem, temático e temporal, realizou-se a discussão sobre a docência universitária, no contexto atual, destacando a preparação didático-pedagógica de docentes engenheiros e o ensino utilizado nas engenharias.

**Palavras-chave:** Docentes-engenheiros; Prática pedagógica; Formação docente.

## ENGINEERING PROFESSORS AND THEIR PREPARATION AND DIDACTIC-PEDAGOGICAL PRACTICES

### Abstract

The specific preparation for higher education teaching has been the subject of study of the university pedagogy, increasing the interest of researchers. The problematization of this question assumes that college professors do not have specific training to the teaching activities of this level of education. This issue is even more critical for the engineering professors, who in their own bachelor's degree did not study the techniques and methodologies of teaching that a graduate of any licentiate course studies. Based on the literature, focusing on language, thematic and temporal parameters, was held a discussion of university teaching, in the current context, highlighting the didactic-pedagogical preparation of engineering professors and the teaching used in engineering.

**Key words:** Engineering professor; Pedagogical practice; Teacher training.

## 1 INTRODUÇÃO

Na chamada sociedade da tecnologia, a atitude do professor especialista tem dado lugar a um profissional da aprendizagem que incentiva o aprendiz, o que aponta para a necessidade de se repensar e sistematizar novas formas e outras interfaces no processo da aprendizagem. Este artigo remete, pois, à compreensão,



pelo docente universitário, de exigências e desafios impostos pelo acelerado mundo contemporâneo que têm mudado o exercício profissional da docência, exigindo do professor a convivência com uma estratégia de didática e ensino. São novas experiências, novo contexto, novo tempo de demandas para uma profissão essencial. Desse modo, aos professores já não cabe repetir a mesma prática pedagógica recebida em sua formação<sup>(1)</sup>.

Entretanto, há grande dificuldade em encontrar novos materiais e pesquisas que auxiliem em alternativas de ensino para áreas específicas das Exatas. Essa dificuldade pode estar relacionada ao fato de que o requisito para o exercício da docência restringe-se à especialização em sua área (graduação e pós-graduação *stricto sensu*) e ao desenvolvimento de investigação no respectivo campo científico, ou seja, não é necessário do professor de engenharia o conhecimento em pedagogia. Esse, que por diversas vezes é um profissional liberal e leciona algumas aulas esporádicas, não prepara suas aulas com os recursos pensados em seus alunos, e por isso, acaba sendo apenas um transmissor do conhecimento. Apenas em alguns dos casos, a falta de conhecimentos em pedagogia é compensada por seu entusiasmo profissional<sup>(2)</sup>.

A formação pedagógica tem sido vista como supérflua ou desnecessária para a atividade de ensino do docente-engenheiro<sup>(3)</sup>. Em seu estudo, Masetto<sup>(4)</sup> assume a mesma postura quando afirma que o docente universitário precisa ter clareza de que a docência, assim como a pesquisa, ou qualquer outra atividade profissional, exigem capacitação específica. Para isso, são necessárias competências pedagógicas, além de diplomas e títulos que possibilitem a aquisição de novos conhecimentos e facilitem a análise de situações vivenciadas na ação docente.

Pesquisadores consideram fundamental a pesquisa, produção em torno dos estudos sobre os saberes dos docentes engenheiros, para a melhoria da qualidade do ensino nessa área, constituída para superar o modelo conservador de ensino, em descompasso com as exigências do mundo atual<sup>(5)(6)</sup>. Porém prevalece ainda a ideia de que, para ensinar na área de engenharia basta ter o título de engenheiro, e que, para lidar com adultos não deve haver preocupação com o aspecto didático. Reforça essa ideia a complexidade inerente à área: a base do seu ensino é pautada em princípios científicos e matemáticos, trabalho com conteúdo voltado para cálculos complexos, análise e criação de estruturas e modelos, resolução de problemas, pesquisas de ponta e grandes descobertas, em que o processo ensino-aprendizagem é pouco prazeroso<sup>(6)</sup>.

Nessa perspectiva, Bazzo<sup>(7)</sup> afirma que o ensino das engenharias precisa se reestruturar, no sentido de acompanhar os múltiplos impactos das mudanças sociais nos novos tempos. A permanência e a inclusão de disciplinas estanques, sem ligação com o contexto social, não têm contribuído para a mudança efetivamente necessária. Considera o autor que o ensino das engenharias tem mudado muito pouco, sendo necessária, talvez, uma mudança no eixo das discussões sobre o ensino, pois é saliente a resistência de inúmeros docentes em atualizar seus conteúdos e procedimentos didáticos.

Através do apresentado acima, o objetivo do presente trabalho é avaliar a didática e experiências docentes nas áreas da Engenharia a partir de uma pesquisa no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e com isso, propor uma reflexão acerca do papel da pedagogia para docentes das engenharias e sua importância.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O levantamento do conteúdo foi realizado a partir da utilização do método científico de pesquisa bibliográfica. A pesquisa bibliográfica é definida por Gerhardt e Silveira<sup>(8)</sup> como: “o levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites”. Isto é, a pesquisa bibliográfica utiliza das teorias e conhecimentos disponíveis com intuito de saber ou explicar algum tema. O resultado da pesquisa bibliográfica é um levantamento de materiais que serve como referencial para a pesquisa científica. A lógica estrutural que delimita o universo de pesquisa está norteadada por quatro parâmetros: linguístico, temático, tipos de fontes e cronológico<sup>(9)</sup>.

O parâmetro linguístico está na decisão da língua utilizada na construção dos conceitos a serem utilizados nos parâmetros temáticos, portanto, os idiomas a serem utilizados na construção dos termos dessa pesquisa foram inglês e português. A escolha pela língua portuguesa se dá pela localidade e relevância da pesquisa ser no Brasil, já a língua inglesa foi utilizada também para garantir maior abrangência da pesquisa, uma vez que grande parte do material científico encontra-se neste formato. No parâmetro temático se estabelece os temas que cercam o problema de pesquisa, que neste caso, utilizou-se as seguintes palavras-chave: prática pedagógica (*pedagogical practice*) e engenharia (*engineering*) com operador booleano “e”. O tipo de fonte que foi utilizada para o trabalho é “periódicos”, os quais estão disponibilizados no Portal de Periódicos da CAPES, canal de pesquisa utilizado neste trabalho. O parâmetro cronológico utilizado para realizar o recorte temporal ao corpus em português foi do ano de 1996 a 2016, ou seja, um período de tempo de 20 anos. Já o parâmetro cronológico utilizado para realizar o recorte temporal ao corpus em inglês foi do ano de 2014 a 2016, ou seja, um período de tempo de 2 anos.

Além disso, para a compreensão do objetivo proposto neste estudo, apoia-se no conceito de “percepção”, significando a forma como os docentes engenheiros dão sentido à sua prática de ensino com o intuito de captar a percepção desses profissionais no seu contexto de trabalho através da análise dos periódicos encontrados na pesquisa.



Figura 1. Resultado da pesquisa no Portal de Periódicos da CAPES em português.



Figura 2. Resultado da pesquisa no Portal de Periódicos da CAPES em inglês.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento resultante da pesquisa bibliográfica foi de 112 (cento e doze) resultados entre artigos científicos, dissertações e teses para a língua inglesa e de 17 (dezessete) entre artigos científicos, dissertações e teses para a língua portuguesa, conforme disposto nas Figuras 1 e 2. A partir destes, foi realizado a seleção dos artigos relevantes para a pesquisa através da leitura dos resumos dispostos online, resultando em apenas 10 artigos utilizados para discussão. Seis dos 10 artigos (60%) são publicações na língua portuguesa. Apenas quatro dos dez artigos (40%) é escrito em língua inglesa. Na sequência serão apresentados um breve resumo dos artigos e os respectivos resultados mais relevantes.

O artigo *Implementação de aprendizagem colaborativa na Engenharia Elétrica: uma proposta para inovar a prática pedagógica* de Paulo Roberto Alcantara e Lilia Maria Marques Siqueira<sup>(10)</sup> apresentou uma proposta de implementar a aprendizagem colaborativa como uma alternativa metodológica no curso de Engenharia Elétrica. Descreve que o método tradicional, predominante no ensino de disciplinas de graduação, e baseado na concepção cartesiana, necessita de atualização, de movimento, de dinamicidade. A colaboração foi uma das alternativas utilizadas para inovar a prática pedagógica fundamentando-se na habilidade de comunicação entre os pares e entre os colegas. Com o preparo adequado, a proposição de uma atividade, e um aprofundamento na teoria da aprendizagem colaborativa, o docente pode usufruir da interação entre os alunos, e utilizá-la no sentido de aprimorar a aprendizagem.

Loder e Becker<sup>(11)</sup> partiram do pressuposto de que as concepções epistemológicas do professor norteiam a sua ação docente, a pesquisa apresentada nessa Dissertação foi realizada objetivando explicitar essas concepções e identificar e descrever as suas consequências na pedagogia empregada pelo professor de engenharia. O corpus dessa pesquisa constituiu-se de um grupo de professores, na quase totalidade engenheiros de formação, e de alunos da etapa profissionalizante do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, o que representa um recorte do universo de professores e alunos dos cursos de engenharia no Brasil. Os dados foram coletados a partir de falas de professores e de falas de alunos desses professores, cujos depoimentos foram registrados em áudio. A complementação desses dados deu-se através da observação e do acompanhamento das aulas desses mesmos docentes. Como

resultado dessas análises, ao final, é apresentado um diagnóstico da situação atual em termos de concepções epistemológicas e das estratégias pedagógicas utilizadas pelos professores-engenheiros. Ao final também, são feitas sugestões que visam a subsidiar a implantação de uma proposta pedagógica de cunho construtivista, em cursos de engenharia.

Costa e Creus<sup>(12)</sup> na pesquisa *A avaliação da aprendizagem no ensino de estruturas: epistemologia, tecnologia e educação a distância* nos traz que o ensino e a aprendizagem a partir de ambientes informatizados e a educação a distância têm sido amplamente difundidos tanto em meios profissionais quanto acadêmicos. Porém as aplicações em diferentes áreas de conhecimento nem sempre têm sido sensíveis às especificidades de cada área, representando muitas vezes uma mera digitalização dos conteúdos didáticos tradicionalmente trabalhados, sem que haja uma ressignificação da prática pedagógica. A partir de uma abordagem interdisciplinar, este trabalho investigou como os recursos informáticos contribuem para uma melhoria nas relações pedagógicas, numa proposta de avaliação da aprendizagem no ensino de Engenharia Estrutural. Inserido nesse contexto, utilizou-se o GPAREDE, um ambiente virtual de avaliação da aprendizagem no ensino de Engenharia Estrutural, concebido para uma proposta de educação a distância. O gerenciamento de informação, via formulários e transferência de arquivos, e o desenvolvimento de webfólios foram recursos empregados para prover um ambiente propício à construção do conhecimento, no âmbito de uma avaliação integrada ao processo ensino aprendizagem. Os resultados obtidos indicaram que o uso de ambientes virtuais para a avaliação da aprendizagem no ensino de Estruturas permite mediações pedagógicas construtivistas, contribuindo para a consolidação de um paradigma pedagógico para a educação a distância.

A pesquisa que fundamenta esta dissertação, Compromisso social e formação pessoal no ensino de ciências exatas (re) pensando a ação docente de Hoss, Grassi e Pizzato<sup>(13)</sup> teve como objetivo perceber se o professor universitário está preocupado com a qualidade do seu trabalho e se tem compreensão do papel social que desempenha. A natureza do tema remeteu a uma pesquisa qualitativa de cunho descritivo-interpretativa. As informações foram obtidas através de entrevistas semi-estruturadas e realizadas com oito (8) professores que atuam no curso de graduação e de pós-graduação do Centro Universitário. A escolha dos professores partiu da ideia de dispor de entrevistas de profissionais da área de Ciências Exatas e que atuam em diferentes áreas e diferentes cursos de graduação. Para elaborar o roteiro das entrevistas refletiu-se muito sobre a questão norteadora da pesquisa: Como professores do ensino superior percebem sua função no contexto atual? O foco central da entrevista foi a epistemologia que orienta a prática pedagógica dos professores, identificando nesse referencial as perspectivas sobre o ensino e sobre as diferentes aprendizagens esperadas dos cursos de graduação para um competente exercício profissional no atual contexto. A entrevista foi um momento de diálogo e de reflexão e fez emergir a discussão sobre as dimensões pessoais, relacionais e sociais da docência. O encontro proporcionado pela entrevista constituiu uma aprendizagem para a pesquisadora e, segundo os entrevistados, um (re) pensar da sua prática no curso de Ciências Exatas. A análise das informações permitiu o agrupamento em torno de três eixos: - o reconhecimento do significado e da importância da formação continuada; - a importância do relacionamento interpessoal para um melhor aproveitamento da formação; - a emergência de compromisso do aprender universitário. Os resultados do processo investigativo indicaram que os professores entrevistados têm participado e valorizam a formação

continuada, têm presente o compromisso social da sua função, desejam contribuir para a formação de profissionais autônomos e competentes no exercício profissional e social mas enfrentam os desafios sociais, culturais, tecnológicos, culturais e epistemológicos de um mundo em constante transformação. Em trabalho sobre essa temática, Isaia e Bolzan<sup>(14)</sup> observam também a ausência de espaços institucionais voltados para a construção de uma identidade coletiva desse professor. A ausência desses espaços para a construção de conhecimento pedagógico compartilhado leva a um “sentimento de solidão pedagógica” que, muitas vezes, impossibilita a construção e o aperfeiçoamento de boas estratégias educativas.

Na tese de Timm e Schnaid<sup>(15)</sup> buscou-se analisar criticamente as necessidades do ensino contemporâneo de Engenharia, identificando a estratégia didático pedagógica compatível com as características e necessidades da sociedade atual. A elaboração didática de projetos foi a estratégia escolhida, por apresentar a mesma estrutura cognitiva (raciocínios, operações mentais, comportamentos, atitudes e posturas) da atividade profissional, bem como por caracterizar um contexto integrado de conceitos teóricos, atividades práticas, tomadas de decisão e vivências que deverão constituir um apoio à consolidação da memória de longa duração dos alunos, e, por conseguinte, de seu aprendizado. O trabalho se desenvolveu com a escolha de um modelo de curso à distância estruturado a partir do mesmo paradigma, para aplicar a estratégia escolhida. Trata-se do modelo *e-learning-by-doing*, apresentado por Roger Schank na obra *Designing world-class e-learning*. A experiência teve excelente receptividade e aproveitamento dos alunos. O *framework* teórico-conceitual multidisciplinar mostrou-se enriquecedor ao uso didático-pedagógico de projetos e ao modelo *e-learning-by-doing*, todos eles com aplicação na prática docente e na formação de professores.

Santana, Abdalla e Dias<sup>(16)</sup> em *Metodologia para a aplicação da aprendizagem orientada por projetos (AOPj), nos cursos de engenharia, com foco nas competências transversais*, propôs o desenvolvimento de uma metodologia para a implementação da aprendizagem orientada por projetos, buscando contribuir com outros enfoques para o aprimoramento contínuo do ensino de graduação em engenharia elétrica na Universidade Federal de Brasília. A elaboração didática de projetos foi a estratégia escolhida, por apresentar a mesma estrutura cognitiva (raciocínios, operações mentais, comportamentos, atitudes e posturas) da atividade profissional, bem como por caracterizar um contexto integrado de conceitos teóricos, atividades práticas, tomadas de decisão e vivências que deverão constituir o aprendizado dos estudantes. A Aprendizagem Orientada por Projetos (AOPj) permite que os estudantes tenham articulação com a realidade profissional, relacionamento entre teoria e prática, desenvolvimento das competências transversais, como realização de atividades colaborativas, apresentação de ideias e problemas de forma adequada, comunicação oral e escrita, condução de reuniões, tomada de decisão, gerenciamento de conflitos e projetos. Foram realizadas 3 (três) experimentações da metodologia proposta, neste trabalho, as quais aconteceram em 2007/2, 2008/1 e 2008/2. Os resultados coletados foram satisfatórios, uma vez que os estudantes se mostraram motivados, empenhados, responsáveis e assertivos nas tomadas de decisões nos projetos.

No artigo intitulado *Os efeitos da experiência pedagógica na qualidade da formação de professores* de Mojsovska e Bancotovska<sup>(17)</sup> nos mostra que há uma necessidade de incluir os alunos, que estão se preparando para serem professores, no processo de experiência pedagógica durante o curso. Através de uma pesquisa

com alunos do curso superior de Pedagogia da Universidade de Skopje, Macedônia constatou-se que a desenvoltura do professor e o aprendizado dos alunos ocorreram de maneira mais eficaz quando o docente tinha experiência pedagógica como uma parte integral dos estudos. Por isso, as universidades devem garantir a integração da ciência, do ensino e da experiência prática do ensino: a ciência evolui constantemente acompanhando as mudanças no pensamento científico e de ensino e essas mudanças devem ser incorporadas nas instituições de formação. A experiência pedagógica deve abranger a aplicação dos conhecimentos teóricos na prática em atividades que envolvam o processo educacional. Ou seja, os estudantes, aspirantes a professores, devem estar preparados e instruídos e a prática pedagógica tem demonstrado efeitos positivos na qualidade da formação inicial de professores e educadores. Isso mostra que há uma necessidade de redefinir a estrutura, objetivos, conteúdos e organização de cursos direcionados para a formação de professores.

Este estudo, Houseal, Abd e Destefano<sup>(18)</sup>, abordou o método STSPs (*Student-Teacher-Scientist Partnerships*), ou seja parceria entre professor, aluno e cientista com o objetivo de mostrar a necessidade de uma reforma na educação científica. O STSPs tem como base o aprendizado através de experiências práticas científicas. Através da análise dos dados, este artigo mostrou que ocorreram mudanças positivas nas atitudes dos professores em relação a exposição prática de conteúdos, ou seja, mudanças em suas escolhas pedagógicas. Já os alunos mostraram significativos ganhos de conhecimento do conteúdo e de suas percepções. Os resultados indicam que STSPs pode servir como um contexto promissor para fornecer professores e alunos com o tipo de experiências que melhoram a sua compreensão e incentivam a investigação científica.

O artigo de Gatén<sup>(19)</sup> considera o problema de criar um sistema eficaz para formação de professores de engenharia. Nesta pesquisa é analisado os principais desafios da atividade profissional de um engenheiro-docente em termos de mudanças inovadoras no sistema de ensino de engenharia. Além disso, é traçado um perfil deste docente, é identificado as principais tendências e características de seu desenvolvimento em universidades técnicas, bem como os princípios e as condições de formação de competência profissional e pedagógica.

O artigo de Chen e Wei<sup>(20)</sup>, teve como objetivo explorar como o conhecimento pedagógico dos professores é influenciado pelas adaptações dos materiais curriculares exigidos por determinadas instituições de ensino. Esta pesquisa baseou-se na premissa de que a interação do professor com os materiais curriculares determina o que acontece na sala de aula. Uma abordagem interpretativa foi adotada e cinco professores de química experientes em quatro escolas secundárias participaram deste estudo, observações em sala de aula e entrevistas foram usadas como métodos de pesquisa. A análise dos dados revelou que a interação entre aluno, professor e material didático auxiliou em uma melhor compreensão do conteúdo.

A partir dos artigos resultantes da pesquisa bibliográfica, é possível perceber que diferentes métodos de ensino estão sendo desenvolvidos e aplicados em salas de aula, em busca de eficácia no processo de ensino e aprendizagem nas áreas Exatas. Mesmo que estas metodologias sejam bastante distintas entre si e ainda, que abranjam diferentes estilos de aprendizagem, é possível constatar que em todos os artigos analisados há uma preocupação iminente com a preparação dos docentes para a aplicação dessas metodologias de ensino, principalmente pela quebra de

paradigmas da educação tradicional e do papel do professor-pesquisador no Ensino Superior.

#### **4 CONCLUSÃO**

Muitos autores destacaram que o uso de novas metodologias de ensino para a Engenharia é essencial para a motivação dos alunos, na transmissão de conhecimento e na criação de saberes. Nesse sentido, a partir da pesquisa bibliográfica, foi possível acessar alguns exemplos práticos dessas metodologias e relacioná-los com a necessidade de preparação pedagógica dos professores universitários atuantes no Ensino Superior dos cursos de Engenharia em geral. Com isso, é possível concluir que muito ainda precisa ser feito para a quebra de paradigmas herdados dos métodos tradicionais de ensino, para que as aulas de engenharia sejam transformadas em ensino ativo, dinâmico, democrático e construtivo ao invés de apenas uma exposição de conhecimento do professor para o aluno.

Este artigo teve como proposta trazer a luz considerações pertinentes a falta da prática pedagógica nos Cursos de Engenharia, procurando servir de subsídio teórico em futuras pesquisas nesta área. Todavia, um vasto caminho ainda deve ser percorrido pelos docentes das engenharias, na busca constante de aprimoramento pedagógico e na compreensão de que ensinar é se envolver num processo mútuo de relacionamento entre agentes, onde a sala de aula assume uma nova conjectura, um espaço de novos conhecimentos e novas possibilidades.

Diante das questões aqui levantadas, é notória a necessidade da preparação pedagógica dos docentes-engenheiros do magistério superior, com ênfase nos métodos de ensino e na abordagem de conceitos acerca do papel do professor em relação à formação profissional do aluno, ao ambiente institucional, ao destino do homem e à ciência.

#### **REFERÊNCIAS**

- 1 DANTAS, C. M. M. Docentes Engenheiros e sua preparação didático-pedagógica. Campina Grande: Ensino de Engenharia, 2014.
- 2 FELDER, R. M.; SILVERMAN, L. K. Learning and teaching styles in engineering education. Eng.Education. V.78, n. 7, p. 674-681, 1988.
- 3 ZABALZA, M. A. O ensino universitário: seu cenário e seus protagonistas. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- 4 MASETTO, M. T. Competência pedagógica do professor do universitário. São Paulo: Summus, 2003.
- 5 BAZZO, W. A. Ensino de engenharia: novos desafios para formação docente. 1998. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências Naturais). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.
- 6 MASETTO, M. T. Ensino de engenharia: técnica para otimização das aulas. São Paulo: Avercamp, 2007.
- 7 BAZZO, W. A. Qualidade de ensino e sistema de avaliação. Disponível em: <<http://www.engenheiros2001.org.br/artigos/Bazzo3.htm#masetto>> [2001]. Acesso em: 27 mai. 2016.

- 8 GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. Métodos de Pesquisa. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2009. 120 p.
- 9 LIMA, T. C. S.; MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. Rev. katálysis, Florianópolis, v.10, n.esp., 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1414-49802007000300004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-49802007000300004&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 28 mai. 2016.
- 10 ALCANTARA, P. R.; SIQUEIRA, L. M. M. Implementação de aprendizagem colaborativa na Engenharia Elétrica: uma proposta para inovar a prática pedagógica. Acta Scientiarum: Language and Culture, 01 June 2003, Vol.25(1), pp.123-126.
- 11 LODER, L. L.; BECKER, F. Epistemologia versus pedagogia : o locus do professor de engenharia. Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD/IBICT), 2007.
- 12 COSTA, L. A. C.; CREUS, G. J. A avaliação da aprendizagem no ensino de estruturas : epistemologia, tecnologia e educação a distância. Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD/IBICT) 2007.
- 13 HOSS, L. B.; GRASSI, M. H.; PIZZATO, M. C. Compromisso social e formação pessoal no ensino de ciências exatas (re) pensando a ação docente. Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD/IBICT) 2009.
- 14 ISAIA, S. M. A.; BOLZAN, D. P. V. Aprendizagem docente na educação superior: construções e tessituras da professoralidade. Educação, Porto Alegre, ano 29, v. 60, n. 3. set./dez. 2006.
- 15 TIMM, M. I.; SCHNAID, F. Elaboração de projetos como estratégia pedagógica para o ensino de Engenharia (curso à distância de projeto no modelo e-learning-by-doing). Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD/IBICT) 2008.
- 16 SANTANA, A. C.; ABDALLA Júnior, H.; DIAS Júnior, T. Metodologia para a aplicação da aprendizagem orientada por projetos (aopj), nos cursos de engenharia, com foco nas competências transversais. Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD/IBICT) 2010.
- 17 MOJSOVSKA, T. K.; BANCOTOVSKA, S. N. The effects of the pedagogical experience on the quality of teacher education. International Journal of Cognitive Research in Science: Engineering and Education, 2015, Vol. 3, Nº. 2, pp. 41-46
- 18 HOUSEAL, A. K.; ABD - EI - Khalick, F.; DESTEFANO, L. Impact of a student-teacher-scientist partnership on students' and teachers' content knowledge, attitudes toward science, and pedagogical practices. Journal of Research in Science Teaching, Jan, 2014, Vol.51(1), pp.84.
- 19 GATEN J. V. Development of a system of professional and pedagogical training of teachers of engineering universities. Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University, 01 Novembro 2014(103), pp.712-728.
- 20 CHEN, B.; WEI, B. C. Examining chemistry teachers' use of curriculum materials: in view of teachers' pedagogical content knowledge. Chemistry Education Research and Practice in Europe, Abril 2015, Vol.16(2), pp.260-272.



# CARACTERIZAÇÃO DAS CURVAS DE VIDA DE FERRAMENTAS DE CORTE EM TORNEAMENTO COM FERRAMENTA DE METAL DURO.

Fonseca, A. O.<sup>1</sup>

1 Engenheiro Mecânico, Adriano Oliveira Fonseca, Ulbra, [adriano.fonseca@senairs.org.br](mailto:adriano.fonseca@senairs.org.br)

## Resumo

O objetivo desse trabalho foi apresentar e analisar o rendimento e o comportamento de insertos fabricados para grandes velocidades de corte em máquinas com limitações de velocidade rotacional. Esse estudo se deu através da realização de teste prático, realizados em torno CNC (Comando Numérico Computadorizado), com material e ferramenta conhecidos e com variáveis pré-definidas. Foram coletadas informações, referentes a rugosidade superficial onde foi avaliado o tempo de vida útil da ferramenta através de medições do desgaste originado e avaliado o desempenho da ferramenta. Com essas informações foi montada a curva de vida da ferramenta inicial. Os resultados obtidos mostraram que com o aumento da velocidade de 188 m/min até 282 m/min aumenta a durabilidade da ferramenta e, conseqüentemente, o aumento do comprimento de usinagem útil da ferramenta e diminui a aresta postiça. Portanto, não se comporta como a curva de vida no trecho *c*. De forma geral, não é adequado assumir a equação de Taylor para qualquer velocidade de corte. Através dos ensaios foi possível definir uma equação análoga à equação de Taylor para definir o comportamento no trecho *b*. A influência da velocidade de corte sobre a vida da ferramenta ficou evidenciada nos resultados obtidos com os testes realizados.

**Palavras-chave:** Equação Taylor; Velocidade de Corte; Desgaste de Ferramenta.

## CHARACTERIZATION OF LIFE CURVES OF CUTTING TOOLS IN TURNING WITH HARD METAL TOOL

### Abstract

The purpose of this study is to show and analyze the performance of inserts made for high cutting speed in limited RPM machines. The study was made through machining

tests carried out in a CNC lathe with defined material and tool, using predefined variables. The collected surface finishing data defined the evaluation of tool life according to tool wear. The initial tool life curve was established using those data. The results obtained showed that according we increase the cutting speed (from 188 to 282 m/min) the tool durability is also increased therefore the linear length of machining is increased and the built-up edge is reduced. This behavior does not follow the life curve on the *c* segment. It is a mistake to assume Taylor equation for any given cutting speed. Through machining tests, it has been possible to define a related equation to Taylor equation to describe the tool behavior on *b* segment. The cutting speed influence on tool life was exposed through the results of the tests.

Key Words: Taylor equation; Cutting speed; Tool wear.

## 1 INTRODUÇÃO

Com a evolução das ferramentas de usinagem, é esperado que as máquinas também acompanhem esta evolução. A propriedade dos materiais para ferramentas tem recebido melhorias por seus fabricantes. Assim, as ferramentas estão se renovando e apresentando melhor desempenho, o que significa que estas podem ter um maior tempo ativo de trabalho gerando uma possível redução nos custos do processo<sup>(1)</sup>. Entretanto, o que se encontra em geral são cenários nos quais empresas não possuem máquinas que acompanham esta evolução. Segundo Marcondes<sup>(2)</sup>, os fabricantes atuais de ferramenta publicam em seus catálogos a recomendação de condições operacionais de trabalho, para que a ferramenta tenha uma vida aproximadamente de 15 minutos, porém não é difícil encontrar situações em que vida da ferramenta, mesmo utilizando as recomendações do fabricante, apresenta valores diferentes desse especificado. Isto provavelmente está associado à diferença existente entre as considerações recomendadas pelos fabricantes e os dados reais obtidos em um ambiente fabril. Em muitos casos a ferramenta é submetida a processos que não são adequados para sua função, também às vezes por falta de conhecimento do operador, a ferramenta não trabalha até o seu fim de vida ou até mesmo não são aproveitadas todas as arestas da ferramenta. São poucos os relatos de indústrias se adequando às condições de corte respeitando limites técnicos e econômicos<sup>(2)</sup>.

Esse trabalho consiste na determinação da curva de vida de uma ferramenta, em operações de torneamento, que poderá, posteriormente, ser utilizada na validação dos modelos de otimização. Segundo Diniz et al<sup>(1)</sup>, para a elaboração da curva deve-se geralmente, construir gráficos auxiliares que forneçam o desgaste da ferramenta para diferentes velocidades de corte e tempos de trabalho, em determinadas condições de usinagem do par ferramenta-peça (condições de avanço, profundidade de usinagem, geometria da ferramenta).

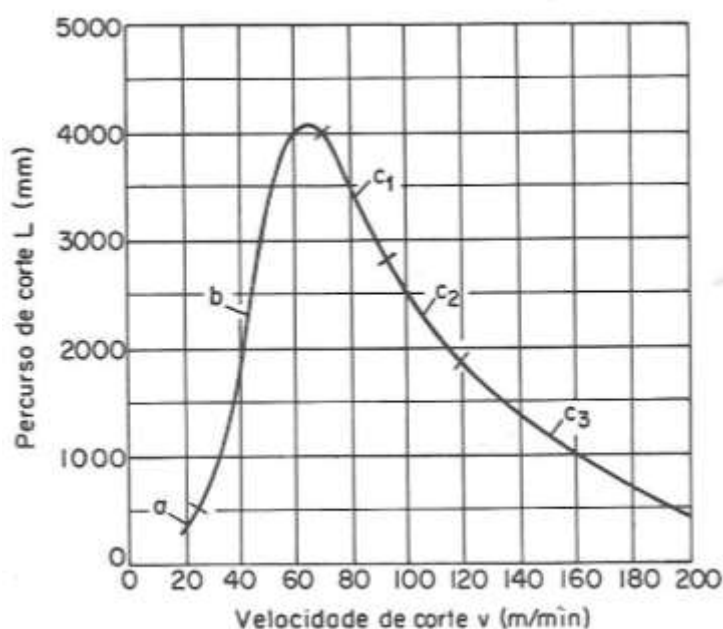
A curva de vida da ferramenta foi definida pela primeira vez por Taylor em 1907 que elaborou uma equação que descreve o comportamento da vida da ferramenta em função da Velocidade de Corte para operações de torneamento. Esta equação ficou conhecida como a equação de vida de Taylor, a qual pode ser determinada em ambiente fabril para o sistema máquina-ferramenta-peça envolvidos. Considera-se vida de uma ferramenta o tempo em que esta trabalha efetivamente (deduzido os tempos passivos) até que a sua capacidade de corte seja comprometida ou atinja um critério previamente estabelecido, como um determinado nível de desgaste. Assim sendo, ela deve ser reafiada ou substituída<sup>(3)</sup>. Diniz et al<sup>(1)</sup>, estabelece alguns fatores que determinam até quando uma ferramenta deve ser substituída e que podem ser utilizados como uma referência para o fim de vida de uma ferramenta: valores elevados de desgastes podendo levar à quebra da ferramenta; temperaturas excessivas atingidas pela ferramenta; as tolerâncias dimensionais fogem do controle; acabamento superficial deixa de ser satisfatório; as componentes da força de usinagem aumentam excessivamente.

A seguir, são descritos alguns tipos de desgaste que podem ser utilizados para determinar o fim de vida da aresta da ferramenta<sup>(2)</sup>: Desgaste Frontal ou de Flanco (VB); Desgaste de Cratera; Deformação plástica da aresta de corte; Aresta postiça; Lascamento. As operações de usinagem dividem-se em vários processos, destacando-se dentre eles o torneamento devido ao uso frequente na maioria das indústrias brasileiras e também por ser mais fácil demonstrar os conceitos da teoria da usinagem<sup>(3)</sup>. Com base nesses motivos, este foi o processo selecionado na execução dos testes de usinagem deste trabalho.

Usou-se como referência para definir o tempo de vida útil da ferramenta a rugosidade superficial. A metodologia que foi adotada nos ensaios para encontrar os valores de  $x$  e  $k$ , da equação de vida de Taylor para os trechos  $b$  e  $c$  da curva de

vida da ferramenta com variação da velocidade de corte, como mostra a Figura 1, principalmente no trecho *b* que não é utilizado na indústria<sup>(3)</sup>. Após a realização da usinagem obtêm-se os valores das vidas das ferramentas expressas em minutos *T* que são dados de entrada nos cálculos para a equação de Taylor na escala logarítmica para depois encontrar a equação linear no gráfico para em seguida os cálculos da constante *K* e do coeficiente *x* da equação de vida de Taylor.

O objetivo desse trabalho é elaborar a curva de vida de uma ferramenta em um processo de torneamento em forma de gráfico através de testes práticos, possibilitando assim resultados que possam otimizar o processo e a utilização de diversos tipos de ferramentas.

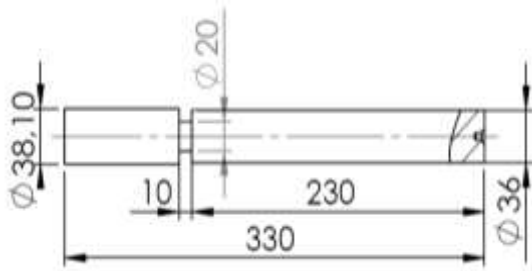


**Figura 1.** Percurso de corte da ferramenta em função da  $V_c$ .

(Fonte: Ferraresi. 1970)

## 2 MATERIAL E MÉTODO

Para este estudo foi utilizado um torno CNC (comando numérico computadorizado) da marca Romi, modelo GL 240, do laboratório de usinagem do SENAI Visconde de Mauá; o ensaio consistiu na realização do torneamento cilíndrico externo de corpos de prova de aço ABNT 8640 (foi utilizado este material por ter uma dureza média e portanto exigindo da ferramenta um desgaste maior que um material ABNT 1020 por exemplo) com diâmetro ( $\varnothing$ ) 36 mm, e 230 mm de comprimento útil para usinagem, como mostra a Figura 2a e 2b.



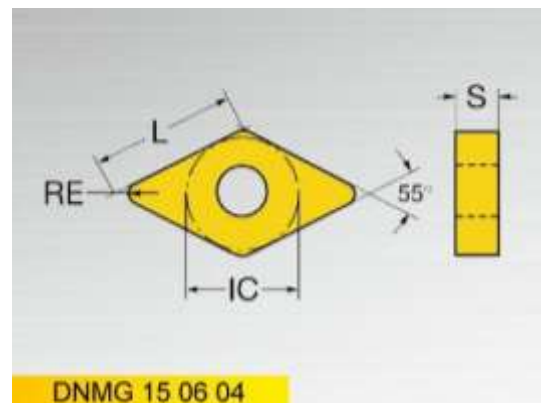
**Figura 2a.** Desenho Corpo Prova.



**Figura 2b.** Usinagem do Corpo de Prova.

**Figura 2.** Corpo prova.

As ferramentas de corte de metal-duro utilizadas são fabricadas pela empresa Sandvik Coromant, classificadas como rômbricas de 55° tipo DNMG150608PM GC 4325 P15 com raio de ponta de 0,8 mm<sup>(4)</sup>, como mostra a Figura 3.



**Figura 3.** Ferramenta de corte utilizada.

(Fonte: Catálogo Sandvik, 2013).

A velocidade de corte selecionada como referência para este ensaio foi de 375 m/min. O avanço de 0,15 (mm por volta) e a profundidade de corte de 1 mm por passe sem refrigeração. As velocidades de corte ( $V_c$ ) foram definidas primeiramente como equivalentes a 25 %, 50 %, 75%, 100 % e 125 % da  $V_c$  referência para construção do gráfico. Depois de definidos os trechos *b* e *c* foram feitos novos ensaios com  $V_c$  equivalentes a 55%, 60 %, 65 % e 70 % que pertencem ao trecho *b*, trecho de análise deste trabalho. Foi definido o diâmetro mínimo do corpo de prova como sendo 16 mm, para não ocorrerem problemas de flexão e definido um intervalo

de 3 passes para a realização das medições de rugosidade e 3 medições em pontos diferentes, sendo apresentada a média como resultado final. As medições foram realizadas com rugosímetro da marca Mitutoyo modelo SurfTest 301. O critério adotado para definir o fim da vida útil do inserto foi a rugosidade superficial do corpo de prova. Neste caso foi determinado como 5  $\mu\text{m}$  a rugosidade superficial máxima, que está dentro do campo tolerável para torneamento, para elaboração dos gráficos<sup>(5)</sup>, como mostram as figuras 4a e 4b.



**Figura 4a.** Rugosímetro.



**Figura 4b.** Medição da rugosidade superficial.

### 3 RESULTADO E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos nos ensaios para a elaboração da curva de vida do trecho *b* da ferramenta estão conforme a Tabela 1.

**Tabela 1.** Tabela de resultados do comprimento usinado.

Vc (m/min)	188 (50 %)	206 (55 %)	225 (60 %)	244 (65 %)	262 (70%)	282 (75 %)
T (min)	2,37	5,30	12,53	16,58	23,08	28,40
Comprimento usinado (m)	445	924	4286	5465	6345	8008

Com base nos resultados da Tabela 1, foi desenvolvido um gráfico ilustrado na Figura 5 para correlacionar os resultados obtidos das Vc entre 188 a 282 m/min.

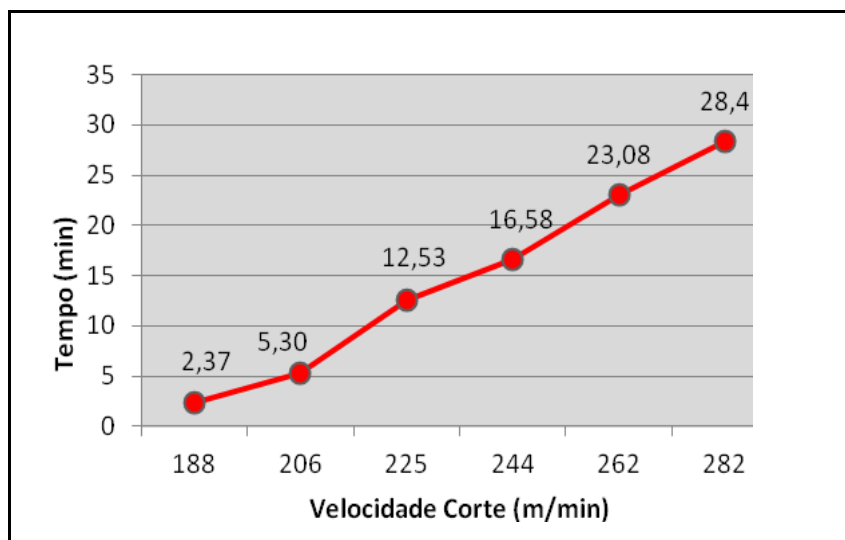


Figura 5. Gráfico com resultados do tempo usado no trecho b.

Utilizou-se a equação logarítmica<sup>(3)</sup> para correlacionar os tempos de usinagem conforme Tabela 2. A equação foi desenvolvida utilizando uma linha de tendência linear.

$$\text{Log } T = \text{log } K - x \cdot \text{log } v$$

ou ainda

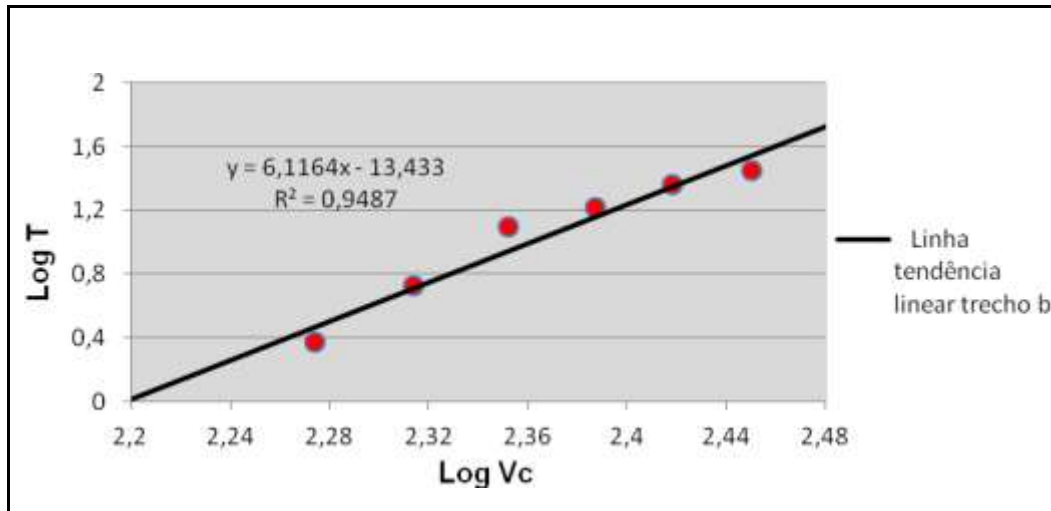
$$T = K \cdot V_c^{-x}$$

Também foi usado o valor de  $R^2$ , que é a medida de qualidade do ajuste, isto é, de como a linha de tendência se ajusta aos dados. Em que um ajuste ideal é igual a  $R^2 = 1$  e o pior ajuste é igual a  $R^2 = 0$ .

Tabela 2. Dados trecho b.

Vc (m/min)	log vc	T (min)	log T
188	2,274158	2,37	0,374748
206	2,313867	5,30	0,724276
225	2,352183	12,53	1,097951
244	2,38739	16,58	1,219585
262	2,418301	23,08	1,363236
282	2,450249	28,4	1,453318

Com esses dados foi elaborado o gráfico com uma linha tendência linear, mostrado na figura 6.



**Figura 6.** Linha Tendência trecho b.

Foi necessário encontrar a constante  $K$  e o coeficiente  $x$ , que são variáveis da equação. Neste caso, tem-se a expressão:

$$y = 6,1164x - 13,433$$

Sendo:

$$\text{Log } T = \text{log } K - x \cdot \text{log } v_c$$

$$\text{Log } T = \text{log } (-13,433) + 6,1164 x \cdot \text{log } V_c$$

$$\text{Log } K = - 13,433$$

$$K = 3,39 \cdot 10^{-14}$$

$$x = 6,1164$$

Nesse caso, tem-se a equação de Taylor:

$$T = K \cdot V_c^{-x}$$

$$\boxed{T = 3,69 \cdot 10^{-14} \cdot V_c^{6,1164}}$$



É possível perceber, ao analisar a Figura 5, que a vida da ferramenta sofre, como já descrito na literatura, grande influência da  $V_c$ . Em função do aumento do valor da  $V_c$  no trecho *b* acontece o aumento do tempo de vida da ferramenta. Portanto, a curva de vida da ferramenta, para o material testado, foi obtida com sucesso. Com velocidades de corte acima de 258 m/min aumenta o desgaste da ferramenta por causa da abrasão mecânica.

#### **4 CONCLUSÃO**

Com a realização desse trabalho foi possível observar e identificar que as velocidades de corte ( $V_c$ ) influenciam no acabamento superficial, onde foi possível através dos resultados obtidos, definir a curva de fim de vida da ferramenta. Observou-se que com a velocidade de corte de 188 m/min à 282 m/min há um aumento no tempo de vida útil da ferramenta e um comportamento diferente da equação de Taylor. De forma geral não é adequado assumir a equação de Taylor para qualquer velocidade de corte. Depois de conhecidos parâmetros iniciais foram realizados mais testes com o sistema máquina-ferramenta-peça do segundo trecho da curva de vida da ferramenta e então foi montada a equação de Taylor para este trecho.

A influência da velocidade de corte sobre a vida da ferramenta ficou evidenciada no resultado dos testes realizados.

Existe o trecho da curva de vida da ferramenta (trecho *b*) que não se comporta conforme Taylor (trecho *c*) como previsto em bibliografia;

Através de ensaios foi possível definir uma equação análoga a equação de Taylor para definir o trecho *b*.

Velocidades de corte usuais estão contempladas nos dois trechos da curva de vida da ferramenta.

#### **Agradecimentos**

Agradeço a todos que, de uma forma ou de outra, ajudaram na execução deste trabalho, seja através do apoio técnico, logístico ou mesmo proporcionando ajuda motivacional para que este trabalho pudesse ser realizado. Agradeço:

Ao professor José Lesina César, Dr. Eng., orientador deste trabalho. Ao professor Leonardo H. Santos, Me. Eng.

A todos os amigos e colegas do SENAI Visconde de Mauá que de alguma forma ajudaram para elaboração deste trabalho.

A minha família por me proporcionar o apoio e a paciência necessária para a realização deste trabalho.

Ao SENAI Visconde de Mauá pelo auxílio à pesquisa realizada neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- 1 Diniz, A. E., Marcondes, F. C., Coppini, N. L., 2000. **“Tecnologia da Usinagem dos Metais”**, Ed.: Artliber, 2º Ed., São Paulo.
- 2 MARCONDES, F. C. **“Alternativas para a maximização da usinagem sob a ótica da análise ou engenharia de valor”**. Campinas: FEM, UNICAMP, 2001. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001.
- 3 Ferraresi, D., 1970. **“Fundamentos da usinagem dos metais”**, Editora Edgard Blücher, São Paulo.
- 4 **SANDVIK COROMANT ACADEMY, 2012.** “Metal Cutting Technology - Training Handbook”. Disponível em: <<http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/downloads/>>. Acesso em: 10 de jan. de 2017.
- 5 MITUTOYO, 2016. **“Surface Roughness Measurement”**. Printed in USA. Disponível em: < <http://www.mitutoyo.com/literature/>>. Acesso em: 18 de jan. de 2017).

## CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE LOUÇA SANITÁRIA (PITCHER) VISANDO SUA INCORPORAÇÃO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Zortéa, J.B. <sup>1</sup>  
Scienza, L.C. <sup>2</sup>  
Martins, V. <sup>3</sup>  
Souza, V.M. <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Engenharia mecânica, Jéssica Balbinot Zortéa, PPGE3M- UFRGS, [jessica.zortea@gmail.com](mailto:jessica.zortea@gmail.com).

<sup>2</sup> PhD, Lisete Cristine Scienza, PPGE3M- UFRGS, [lisete.scienza@ufrgs.br](mailto:lisete.scienza@ufrgs.br).

<sup>3</sup> Dr, Vinícius Martins, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense/Sapucaia do Sul (IFSUL),  
[vmartins@sapucaia.ifsul.edu.br](mailto:vmartins@sapucaia.ifsul.edu.br).

<sup>4</sup> Mestre em Engenharia, Vanessa Moura de Souza, LeaMet – UFRGS, [vanessamouradesouza@gmail.com](mailto:vanessamouradesouza@gmail.com).

### Resumo

A reutilização de resíduos industriais em produtos de maior valor agregado tem se tornado uma prática comum nas indústrias preocupadas com a questão ambiental. Na indústria de louças sanitárias as peças defeituosas são submetidas a um processamento de moagem antes de serem descartadas. Atualmente cerca de 8% deste resíduo, denominado de *pitcher*, é reincorporado na lama de produção original, integrando a massa para fabricação dos produtos. Este material é vai para o aterro sanitário ou é doado para a indústria cimenteira e de tijolos refratários, cabendo à empresa geradora do resíduo arcar com os custos de transporte e outros. O objetivo do presente estudo consiste na caracterização deste material por análise granulométrica, fluorescência de raios X (FRX) e difração de raios X (DRX), visando a sua incorporação em um produto de maior valor agregado, como compósitos poliméricos. A análise granulométrica de uma amostra recolhida em diferentes pontos do montante oriundo da moagem das louças defeituosas demonstrou maior fração percentual material de tamanho médio entre #60 (28%) e #25 (15%). A FRX revelou composição predominantemente composta por óxidos metálicos tais como SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. A análise por DRX revelou ser um material de estrutura cristalina composto principalmente por sílica, alumina e mistura de óxidos. Posteriormente será avaliada a viabilidade da obtenção de compósitos poliméricos empregando este material como carga em polietileno verde de alta densidade.

**Palavras-chave:** *Pitcher*; Resíduo; Caracterização; Sustentabilidade.

### CHARACTERIZATION OF CERAMIC SANITARY WARE WASTE, AIMING ITS INCORPORATION IN POLYMERIC COMPOSITES

#### Abstract

The reuse of industrial waste in products with higher added value has become a common practice in industries concerned with the environmental issue. In the sanitary ware industry the defective parts are subjected to a milling process before being discarded. Currently about 8% of this waste, called as *pitcher*, is reincorporated into the original production sludge, integrating the mass for the manufacture of the new products. This material is destined to the landfill or is donated to the cement industry and refractory bricks, it being incumbent on the

company generating the waste to support the cost of transportation and others. The aim of the present study is to characterize this material by particle size analysis, X - ray fluorescence (XRF) and X - ray diffraction (XRD), aiming at its incorporation into a higher value product as polymer composites. The granulometric analysis of a sample collected at different points from the milling defective sanitary ware showed a larger percentage of medium material between #60 (28%) and #25 (15%). The FRX revealed a composition predominantly composed of metallic oxides such as  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . XRD analysis comproved to be a crystalline structure material mainly constituted by silica, alumina and a mixture of diferente oxides. After that the feasibility of obtaining polymeric composites using this material as filler in high density green polyethylene will be evaluated.

**Key words:** *Pitcher*; Waste materials; Characterization; Sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos grandes desafios do setor industrial é o descarte adequado dos resíduos sólidos gerados nos mais variados processos. Destinar esses resíduos para aterros sanitários licenciados é uma forma regulamentada de descarte, porém não é a maneira mais eficiente ambientalmente e economicamente. A possibilidade de reutilização de resíduos industriais em produtos de maior valor agregado vem se tornando uma prática comum e necessária nas indústrias com políticas sustentáveis.

As indústrias de louças sanitárias têm ampliado sua produção em função do aumento populacional e da demanda da construção civil. O Brasil está entre os quatro maiores produtores de cerâmica tradicional no atual panorama mundial<sup>(1)</sup>. Consequentemente, a quantidade de resíduos gerados por esse setor também vem aumentando.

Um dos principais resíduos da produção de louças sanitárias é a própria louça que apresenta algum tipo de imperfeição. Devido à natureza artesanal do processo de fabricação e do alto rigor nas inspeções de qualidade desses produtos, a geração de louça a ser descartada é considerável. Quando essas louças não passam nos testes de qualidade, as peças seguem para um britador para serem trituradas até a formação de um pó, chamado *pitcher*, como pode ser visto na Figura 1.



**Figura 1.** Peças defeituosas sendo quebradas e o depósito de *pitcher* em uma empresa de louças sanitárias (Fonte: Acervo pessoal).

As características das peças cerâmicas prontas, ou seja, as louças pós queima, tornam a reciclagem deste resíduo de alta complexidade e o reaproveitamento em concentrações elevadas pode afetar parâmetros como a resistência, textura, durabilidade, maleabilidade da lama de produção, dentre outros aspectos fundamentais na qualidade do produto. Atualmente, entre 8 e 15% deste resíduo é reincorporado na lama dependendo da empresa, integrando a massa para fabricação de novos produtos.

Em média uma empresa que produz 1,4 milhão de peças/ano de louças sanitárias gera 250 t/mês de *pitcher* e em torno de 130 t/mês é reaproveitado no processo de fabricação de novas louças <sup>(2)</sup>. O restante do material vai para o aterro sanitário ou é doado para a indústria cimenteira e de tijolos refratários, cabendo à empresa geradora do resíduo arcar com os custos de transporte e outros. Atualmente, não existem outras opções de destino para esse resíduo de tão alta geração.

Esses resíduos das louças sanitárias apresentam danos ao ambiente e à saúde da população, pois demoram de 1000 a 2000 anos para se decompor e quando não moídos servem como locais propícios para o desenvolvimento de insetos transmissores de doenças <sup>(3)</sup>.

As propriedades do *pitcher* são consequência da sua composição química que provém dos materiais cerâmicos contendo sílica, feldspato e argila. A sílica aumenta a resistência mecânica dos cerâmicos, o feldspato reduz a temperatura de fusão da mistura e a argila é responsável pelas características plásticas do material necessárias para ocorrer a sua moldagem <sup>(4)</sup>.

Muitas aplicações tecnológicas exigem materiais com combinações de propriedades incomuns, que não podem ser alcançadas por materiais puros. Dessa forma, é possível modificar as propriedades de um material já existente através da combinação e incorporação de outros componentes, isso é, através da produção de compósitos.

O objetivo do presente estudo consiste na caracterização do *pitcher* por análise granulométrica, fluorescência de raios X (FRX) e difração de raios X (DRX), visando a sua incorporação em um produto de maior valor agregado, como compósitos poliméricos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho é proposto a caracterização do *pitcher*, obtido na empresa Deca localizada em São Leopoldo – RS. Essa amostra foi retirada de diferentes pontos do montante oriundo da moagem das louças defeituosas.

Para análise granulométrica, foi realizado um processo de peneiramento em uma máquina vibratória modelo “T” da marca Produtest e peneiras da série Tyler, localizada no laboratório de Química do IFSUL – Sapucaia do Sul –RS. Na pesagem do material foi empregado balança digital da marca Marte com resolução de 0,01g e capacidade de pesagem de 3100 g.

Foi peneirado cerca de 2,5 Kg de *pitcher* utilizando um conjunto composto por seis peneiras - 18, 25, 30, 60, 120 e 400 Mesh - sendo a inferior sem perfuração (fundo cego). O tamanho respectivo do diâmetro da abertura da malha da peneira pode ser visto na tabela 1 abaixo. O tempo de peneiramento foi de 20 minutos para todos os ensaios realizados. A frequência de vibração utilizada foi correspondente à posição seis do potenciômetro da máquina vibratória. Decorrido o tempo de peneiramento, o material retido em cada peneira foi pesado e os valores resultantes

foram anotados e analisados. As definições de tempo de peneiramento e da frequência de vibração foram definidas em função dos resultados obtidos em testes preliminares.

**Tabela 1.** Relação Malha x Abertura (mm) das peneiras.

Malha	Abertura (mm)	Malha	Abertura (mm)
#18	1,000	#60	0,250
#25	0,707	#120	0,125
#30	0,595	#400	0,037

A análise de fluorescência de raios X (FRX) foi realizada na amostra de *pitcher* para a determinação da composição predominantemente do material a partir de seus elementos químicos. Essa análise foi realizada pela empresa Saint Gobain.

Para a determinação da estrutura do *pitcher* foi realizado difração de raios X (DRX) em uma amostra da material. A DRX é a análise mais indicada na determinação das fases cristalinas presentes em materiais cerâmicos. A análise de difração de raios X foi realizada no laboratório de materiais cerâmicos (LACER) da UFRGS. O difratômetro de raios X utilizado é da marca Phillips, modelo X'Pert MDP (tubo de raios X com radiação Cu K $\alpha$ ) e as condições de análise foram padrões ( $2\theta = 5-75^\circ$ ,  $0,05^\circ/1s$ , fendas de  $1/2^\circ$  e janela de 20mm).

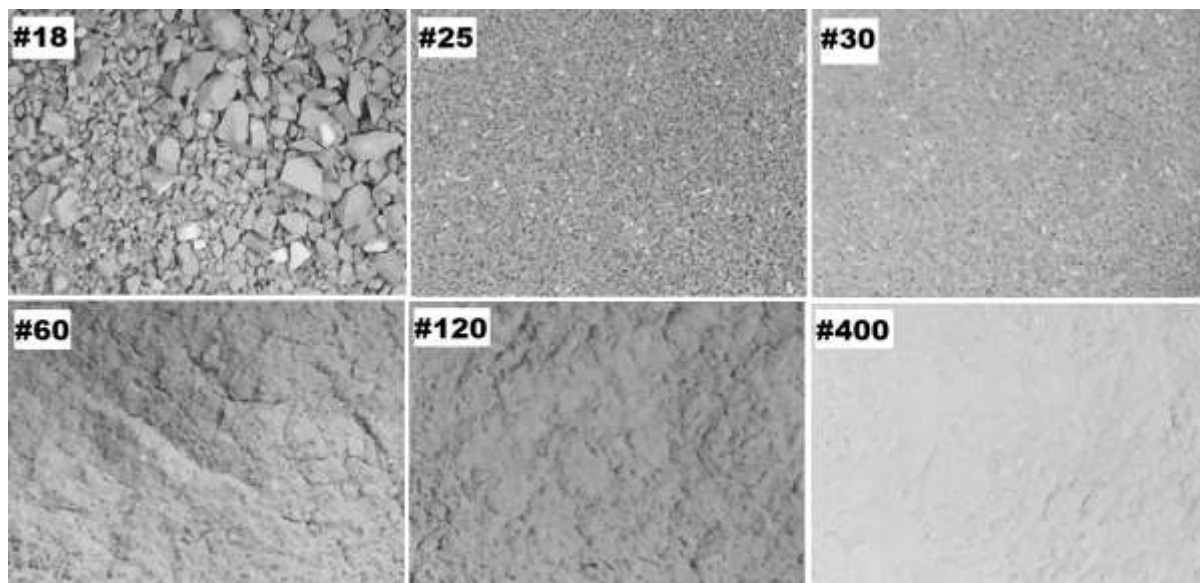
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da distribuição granulométrica da amostra recolhida em diferentes pontos do montante de *pitcher* pode ser vista na tabela 2 abaixo.

**Tabela 2.** Resultado do processo de peneiração.

Malha	Peso (g)
#18	864
#25	380
#30	262
#60	700
#120	286
#400	20

Como o *pitcher* é composto pelos mais variados tamanhos de cacos de louças, na primeira peneira utilizada na máquina vibratória ficou retido grãos de tamanhos maiores que o 18. Por apresentar grãos de variados tamanhos sem ser viável a identificação, foi definido que essa fração do material seria descartada da análise. A figura 2 mostra essas diferenças granulométricas após o processo de peneiração. É possível verificar que amostra apresentou maior fração percentual de tamanho médio entre # 60 (28%) e # 25 (15%).



**Figura 2.** Distribuição granulométrica de uma amostra do *pitcher*.

A análise de fluorescência de Raio-X, realizada em abril de 2017, apresentou o seguinte resultado conforme tabela 3.

**Tabela 3.** Resultado análise de FRX.

<b>Composto químico</b>	<b>% em massa</b>
SiO <sub>2</sub>	67,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,67
MgO	0,23
CaO	0,86
Na <sub>2</sub> O	1,97
K <sub>2</sub> O	2,98
TiO <sub>2</sub>	0,49
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,06
ZrO <sub>2</sub>	0,57
ZnO	0,33
BaO	0,20
PF	0,32

Dessa forma, a FRX revelou composição predominantemente composta por óxidos metálicos tais como SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

A análise por DRX (Figura 3) revelou ser um material de estrutura cristalina. O difratograma apresentou vários picos característicos de minerais como sílica, alumina e hematita, e uma mistura de diferentes óxidos, corroborando com os resultados obtidos na análise de FRX.

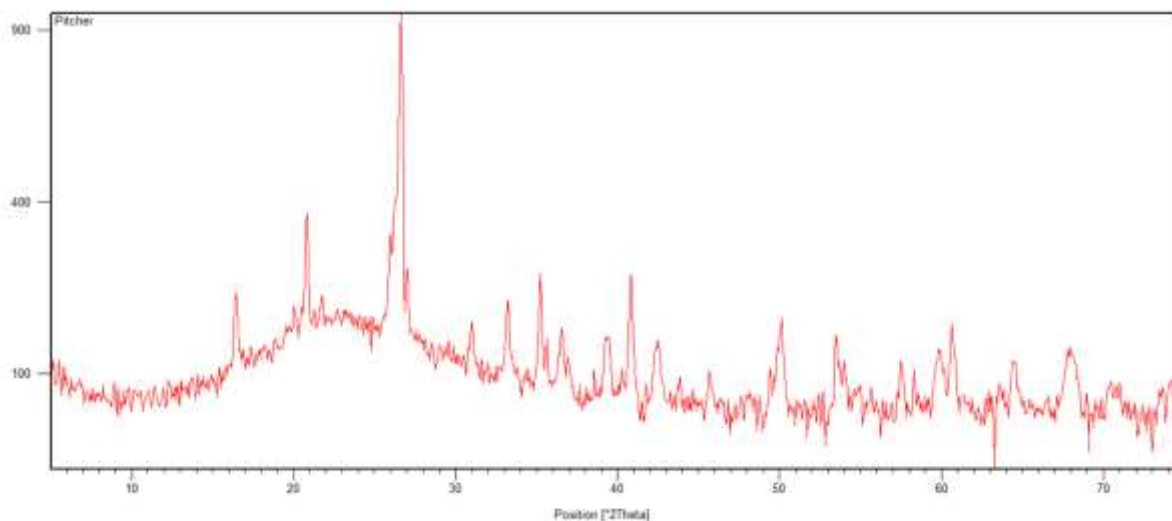


Figura 3. Difratograma do *Pitcher*.

#### 4 CONCLUSÃO

O presente trabalho pode constatar que o resíduo sólido *pitcher*, proveniente de uma indústria de louças sanitárias, apresentou resultados condizentes com um material sólido inorgânico, principalmente constituído por sílica e alumina, entre vários outros óxidos. Na continuidade deste estudo será avaliada a viabilidade da obtenção de compósitos poliméricos, empregando este material como carga em polietileno verde de alta densidade, a fim de destinar este resíduo na obtenção de um produto com maior valor agregado.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a UFRGS, IFSUL e Duratex – Divisão DECA pelo apoio dado a este estudo.

#### REFERÊNCIAS

- 1 CAVALCANTE, W. F. V. Aproveitamento de resíduos cerâmicos da indústria de louça sanitária para produção de massas para revestimento cerâmico. Vol1, p.56-61, 2005.
- 2 BALLICO, C. Informação verbal concedida aos autores do artigo. São Leopoldo. Empresa Duratex – Divisão DECA. Junho de 2017.
- 3 JUAN, A.; MEDINA, C.; MORÁN, J. M.; GUERRA, M.I.; AGUADO, P. J.; ROJAS, M. I. S.; FRÍAS, M.; RODRÍGUEZ, O. Re-use of ceramic wastes in construction. INTECH Open Access Publisher, 2010.
- 4 AMIN, S. K.; SIBAK, H. A.; EL-SHERBINY, S. A.; ABADIR, M. F. An Overview of Ceramic Wastes Management in Construction. International Journal of Applied Engineering Research, v.11, n.4, p.2680-2685, 2016.



# APLICAÇÃO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA PARA A AVALIAÇÃO ENERGÉTICA-AMBIENTAL DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ÁGUA MINERAL: DIAGNÓSTICO DO PROCESSO PRODUTIVO

Anschau, R.<sup>1</sup>  
Moraes, C. A. M.<sup>2</sup>  
Curia, A. C.<sup>3</sup>

- <sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, Ramon Anschau, UNISINOS, [ramonanschau@gmail.com](mailto:ramonanschau@gmail.com).  
<sup>2</sup> Doutor em Ciências dos Materiais, Carlos Alberto Mendes de Moraes, UNISINOS, [cmoraes@unisinios.br](mailto:cmoraes@unisinios.br).  
<sup>3</sup> Doutora em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Ana Cristina Curia, UNISINOS, [anacuria@terra.com.br](mailto:anacuria@terra.com.br).

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

## Resumo

A maioria das águas minerais engarrafadas no mundo são produzidas em garrafas PET e seu consumo aumenta de forma acelerada. Devido à pequena exigência do consumidor quanto à marca e pouca margem financeira das empresas com a venda de água mineral engarrafada, as empresas são obrigadas a tornar o produto mais competitivo, diminuindo os custos de fabricação. O Brasil é o 5º maior consumidor de água engarrafada no mundo e o consumo de energia é ainda maior do que a média mundial, uma vez que o maior consumo de energia ocorre na fabricação da embalagem. As garrafas PET brasileiras são mais densas se comparadas com a média mundial. O objetivo deste trabalho foi aplicar a Produção Mais Limpa para avaliar o consumo de energia dos processos de fabricação de água mineral engarrafada, seus impactos econômicos e ambientais e propor melhorias incrementar a sua eficiência e eficácia. Como resultados, confirmou-se que o maior consumo de energia ocorreu na fabricação da embalagem, cujos processos sofreram algumas alterações. Tornar as embalagens mais leves, além de gerar uma economia em matéria prima e energia elétrica na etapa da injeção do PET traria outra oportunidade para uma segunda melhoria no processo de fabricação de embalagens: a redução na pressão de sopro. Esta ação faria com que os compressores de ar de alta pressão também consumissem menos energia.

**Palavras-chave:** Energia; Água Mineral; Produção Mais Limpa.

## APPLICATION OF THE CLEANER PRODUCTION FOR ENERGY - ENVIRONMENTAL EVALUATION OF THE MINERAL WATER MANUFACTURING PROCESS

### Abstract

Most of the bottled mineral water in the world are produced in PET bottles and their consumption increases in an accelerated way. Due to the low consumer demanding for the brand and low financial margin of companies selling bottled mineral water, companies are forced to make the product more competitive, reducing manufacturing costs. Brazil is the 5th largest consumer of bottled water in the world and the energy

consumption is even higher than the world average, since the highest consumption of energy occurs in the manufacture of packaging. Brazilian PET bottles are heavier compared to the world average. The objective of this work was to apply Cleaner Production to understand the energy consumption of bottled mineral water production processes, their economic and environmental impacts and also propose improvements to increase its efficiency and effectiveness. As a result, it was confirmed that the highest energy consumption occurred in the bottle manufacturing whose processes have undergone some changes. Making the packaging lighter, besides generating an economy in raw material and electric energy in the step of PET injection would bring an opportunity for a second improvement in the process of packaging production: the reduction in the blowing pressure. This action would make high-pressure air compressors also consume less energy.

**Key words:** Energy; Mineral Water; Cleaner Production.

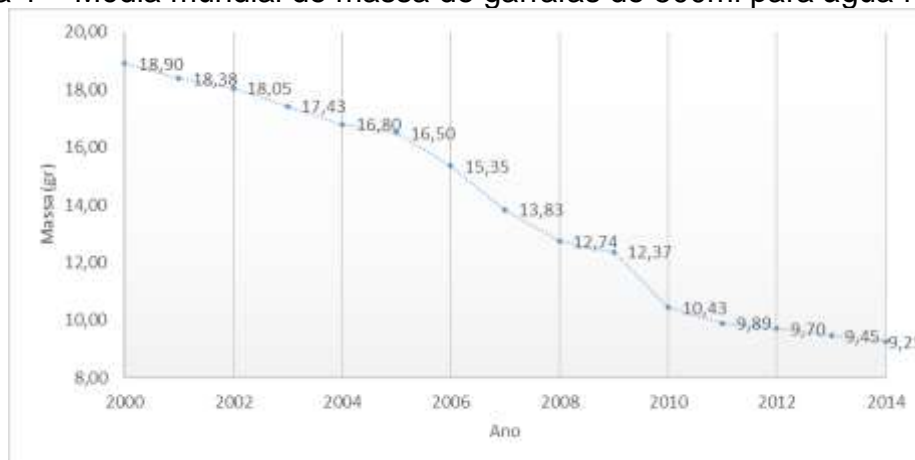
## 1 INTRODUÇÃO

A produção de água mineral engarrafada gera maiores impactos ambientais se comparado com a produção de água da torneira, segundo Garfí et al. (2016)<sup>(1)</sup> e Gleick e Cooley (2009)<sup>(2)</sup>. Isto ocorre principalmente devido ao alto consumo de energia e matéria prima.

A revista Engarrafador Moderno (2016)<sup>(3)</sup> fala que os maiores consumos estão na produção da embalagem. Isso justifica o trabalho que as empresas estão fazendo para reduzir a massa das garrafas PET, conforme dados da IBWA (2015)<sup>(4)</sup>. A redução de massa nas embalagens impacta não somente no valor da matéria prima, mas também no uso da energia nos processos.

Gleick e Cooley (2009)<sup>(2)</sup> mostram que há um grande potencial de redução no consumo de energia, tornando os processos mais eficientes. Somente com a produção de embalagens mais leves, os custos podem ficar até 30% menores. No Brasil, os custos de fabricação são ainda maiores, levando em consideração que as embalagens produzidas são mais pesadas se comparadas com a média mundial, segundo dados da revista Engarrafador Moderno (2016)<sup>(5)</sup>. A Fig. (1) mostra a média mundial de massa de garrafas PET de 500ml para água mineral.

Figura 1 – Média mundial de massa de garrafas de 500ml para água mineral.



Fonte: IBWA (2015).

Conforme dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), apresentados através do Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2015, a média do consumo de energia das empresas brasileiras cresceu 32.187GWh no período entre 2011 e 2015 (EPE, 2016)<sup>(8)</sup>. As regiões que tiveram o maior crescimento foram as regiões Nordeste e Sul, com aumento no consumo em 25% e 23%, respectivamente. Nas tarifas de energia elétrica, conforme Tab. (1), a região Sul do Brasil teve o maior aumento entre as médias das demais regiões do país no período, 53,47% e o custo médio da tarifa em 2015 foi de 409,28 R\$/MWh (EPE, 2016)<sup>(8)</sup>.

Tabela 1 - Tarifas médias no Brasil por região (R\$/MWh).

	2011	2012	2013	2014	2015	2015 x 2011
Norte	294,96	321,17	276,68	303,53	372,93	77,97
Nordeste	278,79	297,09	250,52	269,05	340,00	61,21
Sudeste	281,90	294,78	260,24	282,22	413,04	131,14
Sul	266,68	277,23	235,15	264,27	409,28	142,60
Centro-Oeste	274,37	290,41	257,74	273,63	398,07	123,70
<b>Brasil</b>	<b>278,47</b>	<b>292,85</b>	<b>254,45</b>	<b>276,97</b>	<b>395,00</b>	-

Fonte: EPE (2016).

Esta pesquisa sugere a aplicação do programa de Produção mais Limpa (P+L) para o estudo do uso da energia no processo de fabricação de água mineral. Diferentemente dos programas com visão fim-de-tubo, a metodologia P+L consiste em identificar e tratar os resíduos durante o processo de fabricação, não somente no final do processo produtivo (CEBDS, 2005)<sup>(6)</sup>. Guimarães, Severo e Vieira (2017)<sup>(7)</sup> afirmam que o conceito da Produção mais Limpa se diferencia da visão “fim de tubo” por integrar os processos de fabricação com os objetivos ambientais, reduzindo os desperdícios e as emissões.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada na empresa Bebidas Fruki S.A. Empresa familiar de bebidas, localizada no estado Brasileiro do Rio Grande do Sul e composta atualmente por, aproximadamente, 900 profissionais. A empresa possui uma capacidade produtiva anual de 420 milhões de litros de bebidas e tem seu foco de atuação no mercado gaúcho. Com um parque industrial de 25.000 m<sup>2</sup>, a Fruki é líder de mercado no estado em venda de água mineral.

Neste artigo, a pesquisa não foi focada na implantação do programa P+L, mas no uso do seu conceito e de suas ferramentas para a identificação de não conformidades do processo de produção de água mineral.

O programa P+L foi implantado em 2011 na empresa onde a pesquisa foi realizada. No início da implantação do programa, foram eleitos 20 estudos potenciais. Dentre os estudos listados, a análise de energia foi um dos itens que mostraram grande potencial para a pesquisa. Porém, na época, foram escolhidos outros 3 itens a serem estudados na implantação do P+L, tendo como base um potencial de redução de custos e de impacto ambiental. Foram eles: Produto trocado por vencimento, troca de chapas separadoras e descarte de produto no processo produtivo. O estudo sobre o uso da energia nos processos ficou para um segundo momento em função da necessidade de investimento em instrumentos de medição, apesar do potencial de benefícios. A energia elétrica é um dos principais insumos da indústria, em função

disso, este estudo sobre o consumo de energia foi escolhido, tendo em vista boas oportunidades de melhoria e melhor aplicação do recurso no processo.

## 2.2 PROCESSO PRODUTIVO

O processo de fabricação da embalagem inicia-se com a fabricação da preforma. O início do processo de injeção ocorre com a secagem da resina, processo necessário para retirar a umidade absorvida pelo material durante o armazenamento. Após a secagem da resina PET, o processamento da matéria prima é realizado em uma injetora da marca Netstal, fabricada em 1999. A injetora possui 48 cavidades e uma produção média mensal de 5,5 milhões de preformas. As preformas para as garrafas de 500ml de água mineral possuem massa de 16gr.

A água mineral envasada em garrafas PET descartáveis é produzida em apenas uma linha de produção com capacidade de 20.000 garrafas/hora na embalagem de 500ml. A linha, chamada de Água PET, é um dos principais setores produtivos da indústria, responsável por envasar aproximadamente 3 milhões litros de água em garrafas 500ml por mês. A Fig. (2) mostra o layout da linha de produção de água mineral, identificando os processos através dos números de 1 a 7.



Fonte: Autor (2017).

O início da produção da linha Água PET ocorre no sopro das garrafas (1), processo realizado pela máquina sopradora de marca KHS, modelo Blomax IV, com velocidade de produção de 20.000 garrafas / hora na embalagem de 500ml. Assim que são formadas, as garrafas são transportadas até a enchedora por meio do transporte aéreo, assim denominado devido à maneira que transporta as garrafas entre as duas máquinas. As garrafas são seguradas pelo gargalo e conduzidas através de uma corrente de ar formada por turbinas. No final do transporte aéreo, as garrafas entram na enchedora (2), máquina que realiza uma limpeza no interior das embalagens através de um jato de água mineral para eliminar as chances de entrada de impurezas. Na mesma máquina, as garrafas são envasadas e lacradas para que possam ser transportadas até o próximo equipamento. A etapa de aplicação de rótulos de papel é realizada pela máquina denominada rotuladora (3). Após a aplicação, as garrafas são conduzidas pelo transporte de esteiras até a inspeção de nível de produto na embalagem e de aplicação de tampa (4). Em seguida, as garrafas recebem a impressão de data de validade e lote de fabricação (5) até chegarem na envolvedora (6), máquina que forma os pacotes com 12 garrafas. Por fim, os pacotes são transportados por esteiras (7) até a paletizadora, deixando os pacotes organizados em paletes com 125 unidades.

Para o funcionamento da linha de produção, é fundamental o setor de Central de Utilidades, o qual é responsável pelo fornecimento de insumos para toda a indústria (vapor, ar comprimido de alta e de baixa pressão, água gelada, gases como nitrogênio e gás carbônico).

O ar comprimido é um dos insumos mais importantes no processo produtivo. Utiliza-se ar de alta pressão para a fabricação da embalagem e ar comprimido de baixa pressão para os atuadores pneumáticos dos equipamentos da linha de produção. Os compressores de ar estão dispostos em duas redes de distribuição, uma para cada pressão de trabalho, como mostra a Fig. (3). Os compressores de alta pressão estão ligados em paralelo, onde são utilizados de acordo com o consumo das sopradoras de PET, nas linhas de produção. A linha de baixa pressão é abastecida por um único compressor, o qual fornece ar de processo para todo o maquinário da indústria.

Figura 3 – Sistema de ar comprimido de alta pressão.

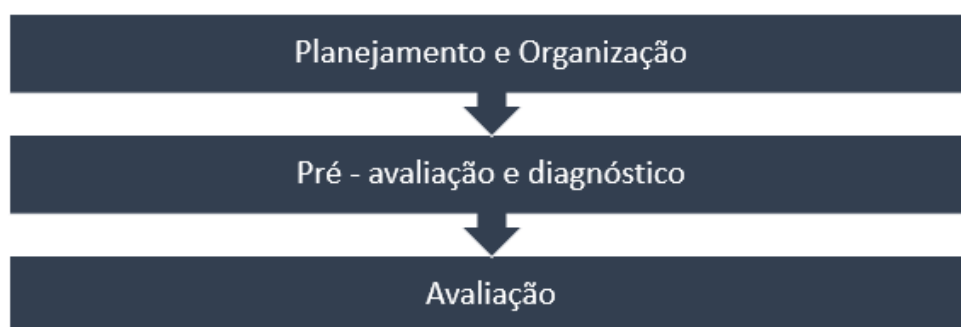


Fonte: Autor (2017).

### 2.3 – PLANEJAMENTO E ORGANIZAÇÃO

Todo o processo de fabricação da água mineral foi analisado, desde a fabricação da preforma até o armazenamento da garrafa acabada no estoque. As etapas da pesquisa seguiram a metodologia de aplicação do P+L, definida por CEBDS (2005)<sup>(6)</sup>. As etapas são detalhadas na Fig. (4).

Figura 4 – Metodologia P+L para diagnóstico do processo.



Fonte: CEBDS (2005).

*Etapa 1 – Planejamento e organização:* Necessário o comprometimento da alta direção da empresa para disponibilizar um ambiente propício para o estudo. A formação de um grupo multidisciplinar com vistas a analisar os processos com pontos de vistas diferentes é de grande importância para disseminar os conceitos do programa e ajudar no entendimento da metodologia em toda a empresa. (HUANG; LUO; XIA, 2013) <sup>(9)</sup>. Para iniciar o planejamento e organização da pesquisa, o processo de fabricação de água mineral sem gás na embalagem de 500ml foi organizado em etapas principais, as quais são listadas a seguir:

- Injeção da preforma;
- Sopro da garrafa;
- Envase e aplicação de tampa;
- Transporte de garrafas;
- Rotulagem;
- Inspeção;
- Impressão de data e lote;
- Envolvimento;
- Paletização;

*Etapa 2 – Pré-avaliação e diagnóstico:* Nesta etapa, os processos produtivos são detalhados, listando suas entradas e saídas afim de identificar as principais fontes de consumo de recursos e emissões. A elaboração de um fluxograma, mostrando as entradas e saídas de cada etapa do processo mostra claramente os recursos consumidos, resíduos gerados e as fontes de perdas. (RAHIM; RAMAN, 2015) <sup>(10)</sup>.

O consumo de energia elétrica da linha de produção foi coletado através de transdutores de energia com memória de massa, modelo CCK4400M, cuja informação foi registrada no software de gerenciamento de energia CCK. Segundo o fabricante, o transdutor de energia é um equipamento que possui uma classe de exatidão de 0,5%. As informações medidas pelos transdutores de energia foram processadas no software gerenciador de energia CCK, versão 7.0. Este software processou as informações do consumo de energia (em kWh), em forma de relatórios e gráficos. Para a medição do consumo de ar de alta, foi realizado um levantamento dos consumos de energia dos compressores de alta pressão e dividido pelo volume total de garrafas PET produzidas na empresa, para se conhecer o consumo para se produzir uma garrafa de 1 litro.

*Etapa 3 – Avaliação:* Visa o levantamento de dados concretos e atualizados para serem analisados com o intuito de se determinar as opções de Produção Mais Limpa. (MEDEIROS et al., 2007) <sup>(11)</sup>.

Ainda existem duas etapas para implantação do P+L: análise de viabilidade e implementação das melhorias nos processos. Essas duas etapas não foram detalhadas nessa pesquisa, mas poderão ser abordadas em trabalhos futuros.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A seguir, são apresentados e discutidos os principais resultados da pesquisa.

### 3.1 AVALIAÇÃO

Após o detalhamento das etapas do processo produtivo, a avaliação dos resultados da pesquisa iniciou-se através de uma análise de entradas e saídas dos processos principais e secundários. Após a análise dos processos, foram analisados os resultados do consumo de energia, os quais foram discutidos afim de identificar oportunidades de P+L.

#### 3.1.1 ANÁLISE DE ENTRADAS E SAÍDAS DOS PROCESSOS PRINCIPAIS

Todas as entradas e saídas dos processos foram detalhadas através de um fluxograma, conforme mostra a Tab. (4). Nele, percebe-se que a energia elétrica é o principal insumo. O uso da energia nos processos foi o principal insumo a ser estudado, devido à sua representatividade e oportunidades de melhoria.

Tabela 2 – Fluxograma de entradas e saídas dos processos principais.

ENTRADAS	PROCESSO	SAÍDAS
<b>Matéria prima:</b> Resina PET <b>Insumo:</b> Energia elétrica, ar comprimido, água gelada.	➡ Injeção da preforma	➡ <b>Resíduo sólido:</b> Resíduo de PET <b>Produto:</b> Preforma.
<b>Matéria prima:</b> Preforma <b>Insumo:</b> Energia elétrica, ar comprimido, água gelada, embalagem plástica	➡ Sopro da garrafa	➡ <b>Resíduo sólido:</b> Resíduo de PEBD, resíduo de papelão, resíduo de PET <b>Produto:</b> Garrafa PET
<b>Matéria prima:</b> Garrafa PET, água mineral, tampa plástica, garrafa envasada. <b>Insumo:</b> Energia elétrica, ar comprimido.	➡ Envase e aplicação da tampa	➡ <b>Resíduo Sólido:</b> Resíduo de PET, resíduo de papelão, resíduo de PP, <b>Produto:</b> Garrafa envasada e lacrada.
<b>Matéria prima:</b> Garrafa lacrada <b>Insumo:</b> Energia elétrica, lubrificante de esteiras.	➡ Transporte de garrafas	➡ <b>Efluente:</b> Lubrificante de esteira <b>Produto:</b> Garrafa transportada.
<b>Matéria Prima:</b> Garrafa lacrada, rótulo de papel, cola do rótulo. <b>Insumo:</b> Energia elétrica, ar comprimido.	➡ Rotulagem	➡ <b>Resíduo Sólido:</b> Resíduo de papel, resíduo de cola, resíduo de papelão. <b>Produto:</b> Garrafa rotulada.
<b>Matéria Prima:</b> Garrafa rotulada. <b>Insumo:</b> Energia elétrica, ar comprimido.	➡ Inspeção	➡ <b>Resíduo Sólido:</b> Papel, resíduo de PET, resíduo de PP. <b>Produto:</b> Garrafa inspecionada.
<b>Matéria Prima:</b> Garrafa inspecionada. <b>Insumo:</b> Tinta, solvente, ar comprimido, energia elétrica, solução de limpeza.	➡ Impressão de data e lote	➡ <b>Resíduo Sólido:</b> Solvente de limpeza. <b>Produto:</b> Garrafas com data e lote impressos.
<b>Matéria Prima:</b> Garrafa com data e lote impressos, plástico termoencolhível. <b>Insumo:</b> Ar comprimido, energia elétrica.	➡ Envolvimento	➡ <b>Resíduo Sólido:</b> Resíduo de PEBD, resíduo de papelão, palete de madeira. <b>Produto:</b> Garrafas empacotadas.
<b>Matéria Prima:</b> Garrafas empacotadas. <b>Insumo:</b> Energia elétrica, ar comprimido, palete de madeira, chapas separadoras, filme plástico.	➡ Paletização	➡ <b>Resíduo Sólido:</b> Resíduo de PEBD, resíduo de madeira, resíduo de papelão. <b>Produto:</b> Pacotes paletizados.

Fonte: Autor (2017).

### 3.1.1 ANÁLISE DE ENTRADAS E SAÍDAS DOS PROCESSOS AUXILIARES

Na pesquisa, definiu-se processos auxiliares aqueles que não fazem parte do processo produtivo, ou seja, não produzem matéria prima mas produzem os insumos que são fundamentais para as etapas produtivas. Na empresa, os processos auxiliares acontecem no setor de Central de Utilidades, com exceção do Clean in Place (CIP), que ocorre na linha de produção, sempre antes do início do envase. Foram considerados processos auxiliares a geração de ar comprimido de alta e de



baixa pressão e o processo de CIP e preparação para o envase. A Tab. (5) mostra o fluxograma de entradas e saídas dos processos auxiliares.

Tabela 3 – Fluxograma de entradas e saídas dos processos auxiliares.

ENTRADAS	PROCESSO / PRODUTO	SAÍDAS
<b>Insumo:</b> Energia elétrica.	➔ Geração de ar comprimido de alta	➔ <b>Efluente:</b> Água. <b>Produto:</b> Ar comprimido de alta pressão.
<b>Insumo:</b> Energia elétrica.	➔ Geração de ar comprimido de baixa	➔ <b>Efluente:</b> Água. <b>Produto:</b> Ar comprimido de baixa pressão.
<b>Matéria Prima:</b> Água de reuso. <b>Insumo:</b> Energia elétrica.	➔ Geração de vapor	➔ <b>Emissão:</b> Gases de combustão. <b>Produto:</b> Vapor saturado.
<b>Insumo:</b> Energia elétrica, soda cáustica, ar comprimido, água industrial, vapor saturado.	➔ CIP e preparação para o envase	➔ <b>Efluente:</b> Água, soda cáustica. <b>Produto:</b> Máquina higienizada.

Fonte: Autor (2017).

### 3.2 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO PROCESSO

Após a análise do processo produtivo, os consumos de energia foram levantados e tabelados, pela sua representatividade nos processos principais e auxiliares, a fim de identificar os processos responsáveis pelo maior consumo. O consumo de energia foi medido no período de janeiro a junho de 2017 e são apresentados na Tab. (6).

Tabela 4 – Consumo de energia no processo.

PROCESSO	Consumo de energia no processo – kWh / unidade						
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	MÉDIA
Sopro até paletização	0,0094	0,0090	0,0096	0,0104	0,0090	0,0104	0,0096
Injeção de preformas	0,0112	0,0135	0,0101	0,0118	0,0125	0,0111	0,0117
Ar comprimido (alta)	0,0048	0,0048	0,0049	0,0051	0,0013	0,0047	0,0043
<b>TOTAL</b>	<b>0,0254</b>	<b>0,0273</b>	<b>0,0246</b>	<b>0,0272</b>	<b>0,0228</b>	<b>0,0262</b>	<b>0,0256</b>

Fonte: Autor (2017).

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta da pesquisa foi a aplicação do conceito de P+L para estudar os impactos econômicos e ambientais do uso da energia no processo de fabricação de água mineral em garrafas PET 500ml. A pesquisa mostrou que os maiores consumos de energia estão realmente associados à fabricação da embalagem, como tem

mostrado a literatura internacional. As ações para tornar o processo mais eficiente ambiental e energeticamente devem iniciar nos processos de fabricação da embalagem.

Inicialmente, comparando a massa da embalagem fabricada pela empresa com a média mundial de garrafas para água mineral, fica evidente que existe uma oportunidade de uma redução no consumo de resina e, conseqüentemente, energia elétrica para o processamento da matéria prima. Deve-se trabalhar no desenho da embalagem para que a redução de massa não gere uma diminuição da resistência mecânica da garrafa. Isso poderá gerar uma insatisfação do cliente final.

A redução de massa nas embalagens, além de gerar uma economia em matéria prima e energia elétrica na etapa da injeção do PET daria margem para uma segunda melhoria no processo: a redução na pressão de sopro. Esta ação faria com que os compressores de ar de alta consumissem menos energia. Isso traria um impacto positivo não somente na linha de produção Água PET, mas em todo o processo produtivo de garrafas PET da empresa.

Com base nas considerações realizadas, pode-se inferir que a aplicação da P+L pode trazer ótimos impactos na eficiência energética das empresas, uma vez que exige o comprometimento de todos os níveis hierárquicos da empresa, possibilitando também a opção de melhorias sem grandes investimentos.

## REFERÊNCIAS

- 1 GARFÍ, Marianna; CADENA, Erasmo; SANCHEZ-RAMOS, David; FERRER, Ivet. Life cycle assessment of drinking water: comparing conventional water treatment, reverse osmosis and mineral water in glass and plastic bottles. **Journal of Cleaner Production**, Estados Unidos, n. 137, p. 997-1003, 2016.
- 2 GLEICK, Peter H.; COOLEY, Heather S. Energy implications of bottled water. **Environmental Research Letters**, Oakley, v. 4, n. 1, p. 1-6, 2009.
- 3 ENGARRAFADOR MODERNO. **Garrafas PET Lightweight estreiam na América do Sul**. Disponível em: <<http://engarrafadormoderno.com.br/embalagens/garrafas-pet-lightweight-estreiam-na-america-do-sul>>. Acesso em 01 maio 2017.
- 4 INTERNATIONAL BOTTLED WATER ASSOCIATION (IBWA). **IBWA 2015 - Progress Report**. Estados Unidos, 2015. Disponível em: [http://www.bottledwater.org/public/IBWA\\_2015\\_ProgressReport\\_final\\_lowres\\_0.pdf](http://www.bottledwater.org/public/IBWA_2015_ProgressReport_final_lowres_0.pdf). Acesso em: 14 abr. 2017.
- 5 SOARES, Nani. Vale quanto pesa? **Engarrafador Moderno**, São Paulo, 3 dez 2014. Disponível em: < <http://engarrafadormoderno.com.br/embalagens/vale-quanto-pesa>>. Acesso em: 02 maio 2017.
- 6 CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS). **Guia da Produção Mais Limpa: Faça Você Mesmo**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://cebds.org/publicacoes/guia-para-producao-mais-limpa-faca-voce-mesmo/#.WRJYEOXyviU>>. Acesso em: 09 maio 2017.
- 7 GUIMARÃES, Julio Cesar Ferro; SEVERO, Eliane Andrea; VIEIRA, Pedri Senna. Cleaner production, project management and Strategic Drivers: An empirical study. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 881–890, 2017.

- 8 EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016**. Brasília, DF. Set 2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>. Acesso em: 14 abr 2017.
- 9 HUANG, Yi; LUO, Jiwen; XIA, Bin. Application of cleaner production as an important sustainable strategy in the ceramic tile plant-a case study in Guangzhou, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 43, p. 113–121, 2013.
- 10 RAHIM, Razuana; RAMAN, Abdul Aziz Abdul. Cleaner production implementation in a fruit juice production plant. **Journal of Cleaner Production**, Malásia, v. 101, p. 215–221, 2015.
- 11 MEDEIROS, Denise Dumke; CALÁBRIA, Felipe Alves; SILVA, Gisele Cristina Sena; FILHO, Julio Cesar Gomes. Aplicação da Produção mais Limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua. **Produção**, v. 17, n. 1, p. 109–128, 2007.

# ESTUDO SOBRE A EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA E SOBRE O COMPORTAMENTO MECÂNICO DA LIGA DE MAGNÉSIO Mg-Al-La-Ca PRODUZIDA POR REOFUNDIÇÃO

Bertoli, P.P.<sup>1</sup>  
Bartex, S.L.T.<sup>2</sup>  
Barcellos, V.K.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Metalúrgica, Paloma Porcher Bertoli, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Departamento de Metalurgia, Laboratório de Fundição. Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil, telefone 051 3308 6142, e-mail: lomabertoli@hotmail.com.

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia, Sérgio Luiz Telles Bartex, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Departamento de Metalurgia, Laboratório de Fundição. Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil, telefone 051 3308 6142, e-mail: bartex@ufrgs.br.

<sup>3</sup> Dr., Vinicius Karlinski de Barcellos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Departamento de Metalurgia, Laboratório de Fundição. Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil, telefone 051 3308 6142, e-mail: vinicius.karlinski@ufrgs.br.

## Resumo

O objetivo do presente trabalho é analisar a influência da agitação mecânica na morfologia e nas propriedades mecânicas da liga de magnésio Mg-Al-La-Ca pelo método de Reofundição. Para isso, lingotes comerciais de Mg-6Al-3La-1Ca foram fundidos em fornos resistivos a temperatura de 650°C e após foram resfriados a uma taxa de 10°C/minuto até a temperatura de 605°C, encontrando-se no estado semissólido. Em seguida foram agitados através de um agitador mecânico durante 10min. Avaliou-se o comportamento mecânica e a morfologia da liga reofundida, através de ensaios mecânicos e micrográficos dos corpos de prova. Os resultados estão de acordo como encontrado na literatura. As amostras apresentaram estruturas refinadas, globulares e um aumento de aproximadamente 20% na resistência mecânica, mostrando que é possível a utilização do equipamento proposto quando o material está no estado semissólido.

**Palavras-chave:** Reofundido, Magnésio, Terras raras, Semissólido.

## STUDY ON THE MORPHOLOGICAL EVOLUTION AND ON THE MECHANICAL BEHAVIOR OF THE MAGNESIUM LEAGUE Mg-Al-La-Ca PRODUCED BY RHEOCASTING

### Abstract

The main goal to this work is to analyze the influence of mechanical stirring on both the morphology and mechanical properties of magnesium alloy Mg-Al-La-Ca by the rheocasting method. Thus, commercial ingots of Mg-6Al-3La-1Ca were melted in resistive furnaces at a temperature of 650 ° C and after being cooled at a rate of 10 ° C / min to 605 ° C, in semi-solid state. They were then stirred by a mechanical stirrer for 10 min. The mechanical behavior and the morphology of the rheocast alloy was

evaluated through mechanical and micrographical tests of the specimens. The samples showed refined, globular structures and an increase of approximately 20% in the mechanical resistance, showing that it is possible to use the proposed equipment when the material is in semi-solid state.

**Key words:** rheocast , magnesium, rare Earth, semi-solid.

## 1 INTRODUÇÃO

A busca por materiais mais leves que os tradicionais, como o aço e o alumínio, vem aumentando na indústria mundial, a fim de desenvolver produtos mais sustentáveis e com maior eficiência para atender às necessidades da população. O magnésio aparece como uma das boas alternativas para resultar na redução de peso sem comprometer a qualidade dos produtos. Possui características como baixo peso, boa precisão dimensional e a possibilidade de processamento em larga escala explicando o aumento da demanda dessa liga no mercado mundial nos últimos anos <sup>(1)</sup>.

Nesse contexto, as ligas de magnésio possuem uma elevada razão entre resistência mecânica e peso, superior à de muitos metais e suas ligas. Porém, as ligas de magnésio apresentam baixa ductilidade e baixa resistência a fluência, limitando o uso em altas temperaturas.

A aplicação de elementos terras raras nas ligas de magnésio tende, de forma geral, a ser uma forma efetiva de aumentar a dureza e a resistência mecânica não só em temperatura ambiente, como também em temperaturas elevadas <sup>(2) (3) (4)</sup>. Apesar da adição de elementos terras raras propiciar a formação de intermetálicos de alta dureza ao longo da matriz reforçando-a, esses intermetálicos tendem a formar-se de forma grosseira e irregular, tornando as propriedades mecânicas insatisfatórias <sup>(5)</sup>.

Com o objetivo de resolver esse problema, estudos têm indicado a adoção de uma deformação plástica para quebrar esses compostos intermetálicos <sup>(6)</sup>.

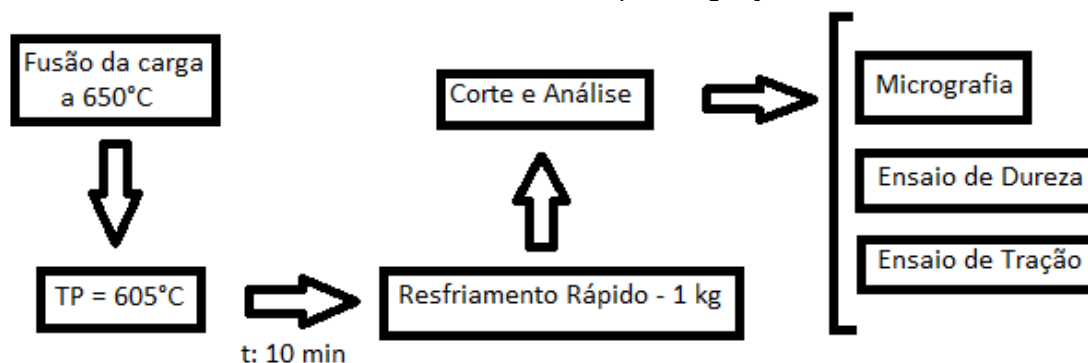
Porém a deformação em ligas de magnésio não é uma tarefa simples, uma vez que o magnésio apresenta estrutura cristalina hexagonal compacta o que dificulta a deformação. Outra forma proposta é modificação da estrutura básica de solidificação da matriz, que normalmente apresenta-se de forma dendrítica, através do processamento em estado semissólido <sup>(7)</sup>, conhecido como reofundição. A Reofundição é um processo de obtenção de reofundidos (materiais com maior conformidade).

Assim, esse trabalho tem o objetivo de comparar a morfologia e propriedades mecânicas da liga de Magnésio contendo Lantânio em sua composição quando submetida ao processo de agitação mecânica (Reofundição), com lingotes comerciais no estado bruto de fusão.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A obtenção do lingote procedeu-se aos ensaios descritos na Figura 1. O detalhamento da temperatura e procedimentos experimentais será detalhado na tabela 1.

**Figura 1** – Planejamento experimental. TP representa a temperatura de processamento (agitação) em estado semissólido; “t” é o tempo de agitação utilizado.

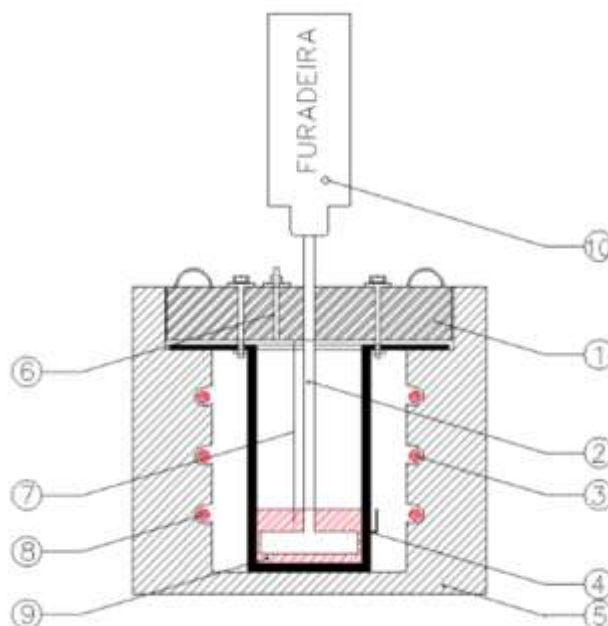


**Tabela 1** – Valores dos dados experimentais utilizadas nesse trabalho.

	Temperatura de Vazamento (°C)	Tempo de Agitação (min.)	Rotação (rpm)	Temperatura de Processamento (°C)	Quantidade Extraída (g)
E1	650	10	950	605	1000

Os lingotes brutos de fusão de magnésio utilizados para o experimento foram produzidos pela empresa RIMA com a composição química nominal de Mg-6%Al-3%La-1%Ca, esses lingotes foram seccionados em pedaços. Após foram colocados no cadinho e o forno ligado. O forno utilizado é resistivo e o cadinho de aço inoxidável SAE 420 permanecendo no interior do forno. A evolução térmica do banho é acompanhada por termopares tipo K e as informações são registradas por um conversor analógico digital da National Instruments, como mostrado na figura 2.

**Figura 2** - Aparato experimental utilizado para obtenção das estruturas reologicamente alteradas. (1) Tampa do forno acoplada ao cadinho; (2) Ferramenta utilizada para a agitação; (3) Resistências; (4) Termopar externo; (5) Isolamento térmico do forno; (6) Entrada de argônio; (7) Termopar interno; (8) Resistências; (9) Banho de Magnésio; (10) Furadeira acoplada à tampa para agitação.



Fonte: BARTEX<sup>(8)</sup>

A evolução térmica do banho é acompanhada por termopares tipo K e as informações são registradas por um conversor analógico digital da National Instruments.

O experimento iniciou-se a temperatura ambiente ( $T_a=25^\circ\text{C}$ ) e essa foi elevada a uma taxa de  $5^\circ\text{C}$  por minuto até a obtenção da completa fusão da carga. Após a temperatura atingir  $450^\circ\text{C}$ , uma corrente de argônio foi introduzida através do orifício da tampa do forno com uma vazão de 5 litros por minuto, criando uma atmosfera protetora e evitando a oxidação catastrófica do banho.

Após atingir o patamar de  $650^\circ\text{C}$  a liga permaneceu nessa temperatura por cinco minutos e foi realizada uma agitação prévia, por um minuto, para a completa homogeneização do banho. Passados os cinco minutos a carga foi resfriada a uma taxa de,  $10^\circ\text{C}$  por minuto até a temperatura de processamento igual a  $605^\circ\text{C}$ . Atingindo a temperatura de processamento, iniciou-se a agitação mecânica. O sistema de agitação foi composto por uma furadeira de bancada com um motor de  $\frac{3}{4}$  de cv de potência (aproximadamente 565 W), 220 V monofásica e rotação nominal de 950 rpm (99,5 rad/s) acoplada à tampa do forno para realizar a movimentação do banho quando em estado semissólido causando a quebra das estruturas recém-formadas do banho. Durante essa etapa as amostras foram mantidas a  $605^\circ\text{C}$  de forma isotérmica por 10 minutos, com agitação constante. Após finalizar o processo, o conjunto cadinho e tampa é retirado do interior do forno e imerso imediatamente em água na temperatura ambiente com finalidade de congelar as estruturas recém-formadas.

Após a obtenção dos lingotes reologicamente alterados partiu-se para a análise e estudo das propriedades mecânicas e metalúrgicas da liga.

As amostras para o procedimento metalográfico foram cortadas dos lingotes e embutidas em resina para cura a frio com tempo de cura de 45 minutos. A preparação da superfície da amostra para análise passou por uma sequência de lixas utilizando as granas: # 100, #200, #400, #600, #1200 e #2400. Após foram polidas em feltro metalográfico e foi utilizado pasta de diamante  $1\ \mu\text{m}$  como abrasivo e como diluente foi utilizado água deionizada. Para a revelação da microestrutura foi feito um ataque químico com reagente Nital 3% com uma duração de ataque de 3 segundos para cada corpo de prova, finalizando o ataque com uma limpeza da amostra em água corrente. Após as amostras foram limpas com álcool etílico 95% e secas com um soprador térmico para evitar oxidação ou manchas de secagem. As amostras preparadas pelo procedimento metalográfico foram visualizadas e analisadas em microscópio óptico marca OLYMPUS com capacidade de aumento de até 1000 vezes.

Os testes de microdureza foram realizados seguindo a recomendação estabelecida pela norma ABNT NBR NM ISO 65071:2008 em um microdurômetro universal marca MITUTOYO, com ampliação de 400 vezes. Foi utilizada uma carga de 100g e o método Vickers com indentador piramidal com ponteira de diamante. Seis medidas em cada amostra foram realizadas a fim de extrair a média e o desvio padrão dos valores de microdureza dos corpos de prova.

Os ensaios de tração foram realizados seguindo a norma americana ASTM B557 em uma máquina Emic 23. A deformação do corpo de prova foi medida através da variação entre o comprimento útil inicial e o comprimento útil final (após a ruptura). Os dados de força foram capturados através da célula de carga com capacidade para 2 toneladas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

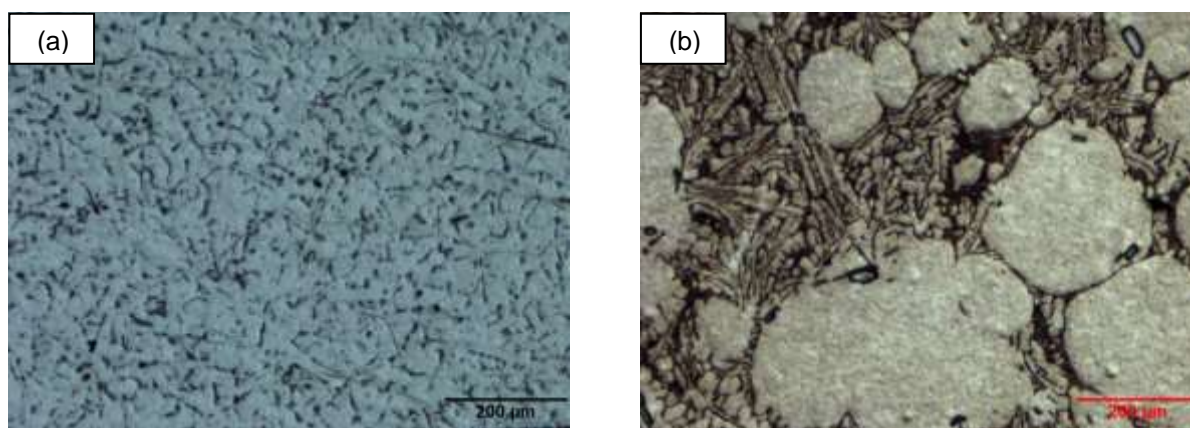
A composição química dos lingotes utilizados é mostrada na Tabela 2.

**Tabela 2** – Composição química dos lingotes das ligas de magnésio Mg-Al-Ca-La, % em peso.

Liga	Composição química – Valores percentuais						
	Mg	Al	Mn	Si	Fe	Ca	La
Mg-Al-Ca-La	90,60	5,90	0,30	0,02	0,01	0,98	2,77

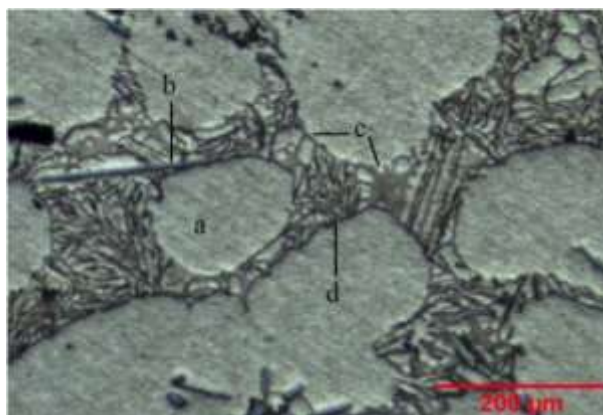
As micrografias obtidas no experimento são mostradas a seguir.

**Figura 2** – Micrografias com aumento de 50 x: (a) bruto de fusão e (b) refundido.



Pelas micrografias é possível notar uma grande diferença entre elas: uma dendrítica e a outra globular, devido ao processo de agitação no estado semissólido. A figura 3 mostra a formação e a dispersão das fases devido ao processo de agitação em estado semissólido, onde é possível notar a presença de três fases distintas. A parte mais clara é a matriz rica em magnésio com átomos de outros elementos dissolvidos em estado sólido. Também, observou-se a presença do composto globular formada por Alumínio-Lântanio e a presença de dois eutéticos: o grosseiro ( $Al_2Ca$ ) e o refinado ( $Mg_2Ca$ ).

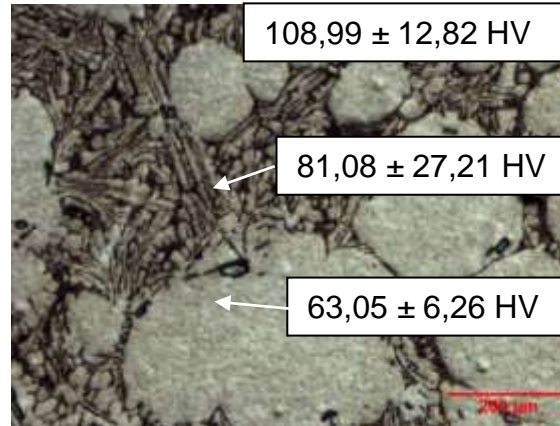
**Figura 3** – Micrografia mostrando as fases formadas: (a) matriz  $\alpha$ -Mg; (b) fase acicular  $Al_{11}La_3$ ; (c) Eutético refinado  $Mg_2Ca$ ; (d) Eutético grosseiro  $Al_2Ca$ .





Na figura 4 mostra o valor médio de dureza apresentado pelas diferentes fases citadas acima.

**Figura 4** – Valores de microdureza apresentados pelos diferentes precipitados do refundido.



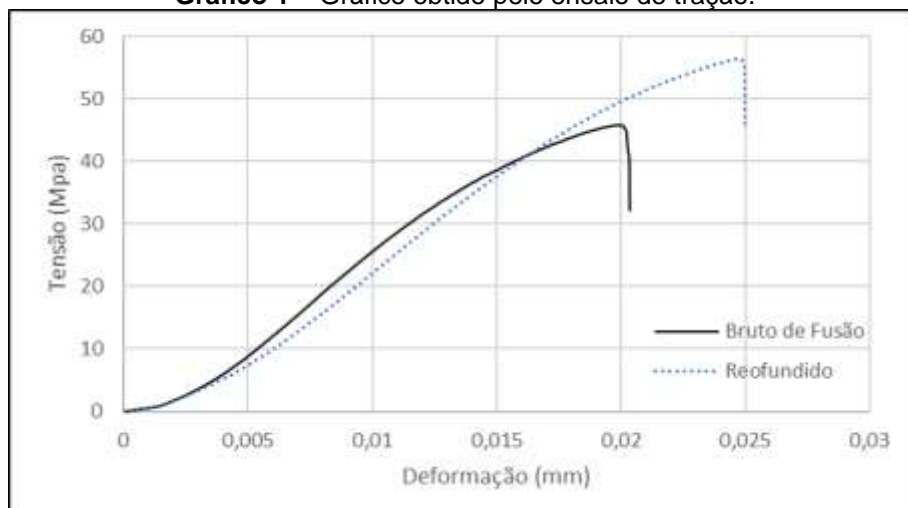
A dureza global da amostra do refundido foi extraída com a aplicação da carga de 1000 g pelo tempo de 10 segundos pelo método Vickers. Ou seja, fez-se uma média ponderada de todos os microconstituintes presentes ao longo da matriz.

Já para a medição de dureza na fase primária (composto pela matriz de magnésio com átomos de outros elementos dissolvidos em estado sólido) e também da região interglobular utilizou-se uma carga de 100 g pelo tempo de 10 segundos pelo método Vickers.

Na figura 4 pode-se observar que a matriz possui uma média de 63,05 HV com um desvio de 6,26, esse desvio é menor que na região interglobular. Isso indica que houve uma segregação de elementos químicos durante a solidificação dos glóbulos e estes foram formados exclusivamente por átomos de magnésio com elementos em solução sólida. Já a região interglobular que possui média 81,08 HV com um desvio de 27,21, mostrando que há outras fases (eutéticos  $Al_2Ca$  e  $Mg_2Ca$  e agulhas de  $Al_{11}La_3$ ) e por isso resultando no aumento do desvio.

Abaixo está o gráfico obtido pelo ensaio de tração onde pode-se comparar o material bruto de fusão (sem agitação) pelo refundido.

**Gráfico 1** – Gráfico obtido pelo ensaio de tração.



Observar-se pelo gráfico que o reofundido teve uma maior resistência mecânica, apresentando um comportamento mais dúctil que o bruto de fusão.

Pode-se observar no Gráfico 1 duas curvas características do ensaio de tração mostrando uma amostra de cada condição: sem agitação e com agitação.

Na tabela 3 são mostrados os valores médios de resistência à tração dos corpos de prova ensaiados.

**Tabela 3** – Resultados do ensaio de tração.

<b>Material</b>	<b>Limite de Resistência à Tração (MPa)</b>	<b>Limite de escoamento (MPa)</b>	<b>Deformação (mm/mm)</b>
Reofundido	55,92 ± 3,83	47,55 ± 3,65	0,0248 ± 0,0025
Bruto de Fusão	45,31 ± 5,56	38,87 ± 2,71	0,0203 ± 0,0034

Analisando a tabela 3 e o gráfico 1, pode-se notar que o limite de resistência à tração da amostra agitada foi 20% maior do que a amostra sem agitação. Também é possível notar que a tensão de escoamento foi 18% maior em comparação a amostra sem agitação. Por fim a deformação da amostra agitada foi 19% maior em comparação com a amostra sem agitação.

Esse comportamento de melhor resistência mecânica da amostra deve-se a dois mecanismos: taxa de resfriamento mais elevada e agitação mecânica. A taxa de resfriamento mais elevada propicia refinamento dos microconstituintes e o conseqüente aumento da resistência mecânica. Já a deformabilidade maior deve-se a agitação mecânica que quebrou as estruturas aciculares (Al<sub>11</sub>La<sub>3</sub>) propiciando maior capacidade de deslocamento dos planos cristalinos.

## **4 CONCLUSÃO**

A produção de lingotes pelo método de reofundição de uma liga de magnésio foi realizada. Foi identificada a formação da matriz de magnésio e a formação de dois eutéticos Al<sub>2</sub>Ca e Mg<sub>2</sub>Ca além da precipitação da fase acicular Al<sub>11</sub>La<sub>3</sub>. A agitação mecânica do banho aliada a maior taxa de resfriamento propiciou um aumento da tensão de escoamento, da tensão de ruptura e da deformação, respectivamente, de 20, 18 e 19%, mostrando que o processo é viável e pode melhorar as propriedades do magnésio.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao apoio do Cnpq e da CAPES pelas bolsas que propiciaram essa pesquisa, além do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGE3M/UFRGS)

## REFERÊNCIAS

- 1 MEKONEN, M. N. et al. Mechanical characterization and constitutive modeling of Mg alloy sheets. *Materials Science & Engineering A*, v. 540, p. 174–186, 2012.
- 2 FANG, X. et al. Microstructure and mechanical properties of a novel Mg–RE–Zn–Y alloy fabricated by rheo-squeeze casting. *JMADE*, v. 94, p. 353–359, 2016.
- 3 ZHU, S. M. et al. The relationship between microstructure and creep resistance in die-cast magnesium-rare earth alloys. *Scripta Materialia*, v. 63, n. 7, p. 698–703, 2010.
- 4 CHEN, Y. et al. Preparation of Mg–Nd–Zn–(Zr) alloys semisolid slurry by electromagnetic stirring. *Materials & Design*, v. 95, p. 398–409, 2016
- 5 FERRI, T. V. et al. Mechanical properties as a function of microstructure in the new MgAl-Ca-La alloy solidified under different conditions. *Materials Science and Engineering A*, v. 527, n. 18-19, p. 4624–4632, 2010.
- 6 CHO, J. et al. Texture and microstructure evolution during the symmetric and asymmetric rolling of AZ31B magnesium alloys. *Materials Science & Engineering A*, v. 566, p. 40–46, 2013
- 7 FERRI, T. V. et al. Mechanical properties as a function of microstructure in the new MgAl-Ca-La alloy solidified under different conditions. *Materials Science and Engineering A*, v. 527, n. 18-19, p. 4624–4632, 2010.
- 8 BARTEX, S.L.T. Influência do Superaquecimento na Formação de Fases de uma Liga de Magnésio Contendo Elemento Terras Raras. 2012, 106 p. Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS/PPGE3M, Porto Alegre.

## PNEUMÁTICA INTERATIVA

Huff, F. M.<sup>1</sup>

Groth, V. F.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Fernanda Malacarne Huff, curso técnico de eletrotécnica, Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, Novo Hamburgo-RS, mhfernanda@hotmail.com.*

<sup>2</sup> *Victória Farias Groth, curso técnico de eletrotécnica, Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, Novo Hamburgo-RS, victoria-groth@hotmail.com.*

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo

O projeto “Pneumática Interativa” tem como objetivo facilitar o aprendizado da pneumática básica para alunos da área de eletrotécnica através de material interativo. Percebe-se certa dificuldade por parte dos estudantes em compreender a pneumática e, para isso, foi criado um conjunto composto por uma maleta pneumática, uma apostila educativa e um painel interativo. Com o auxílio desses materiais, os alunos podem compreender a pneumática, criar aptidão para efetuar questões práticas e teóricas, envolvendo circuitos reais pneumáticos, além de compreender sua funcionalidade. A criação do kit Pneumática Interativa iniciou-se com o recolhimento de componentes pneumáticos, adquiridos em depósito e doações, resultando na criação da maleta pneumática, seguido da criação da apostila e do painel. Foi feita uma pesquisa qualitativa, por meio de aplicações do conjunto a alunos do quarto e terceiro anos do curso de Eletrotécnica da Fundação Liberato. Os resultados foram o esperado. Os alunos tiveram um desempenho acima de 80% de acertos nas questões aplicadas, além de terem demonstrado interesse pelo conteúdo abordado. Além disso, afirmaram que tanto o painel interativo quanto a maleta pneumática facilitaram a visualização do funcionamento dos circuitos abordados em aula. Uma aplicação final pretende ser realizada em outra turma do curso de eletrotécnica.

**Palavras-chave:** Pneumática. Aprendizagem. Visualização. Ensino técnico.

### INTERACTIVE PNEUMATICS

#### Abstract

The project "Interactive Pneumatics" aims to facilitate the learning of basic pneumatics for students in the area of electrotechnology through interactive material. It is noticed a certain difficulty on the part of the students to understand the pneumatics and, for this, was created a set composed by a pneumatic case, an educative booklet and an interactive panel. With the help of these materials, students can understand pneumatics, create aptitude for practical and theoretical questions involving real pneumatic circuits, and understand their functionality. The creation of the Interactive Pneumatic Kit began with the collection of pneumatic components, purchased in storage and donations, resulting in the creation of the pneumatic case, followed by the creation of the handout and the panel. A qualitative research was done, by means of applications of the set to students of the fourth and third years of the electrotechnical course of Fundação Liberato. The results were as expected. The

students had a performance above 80% of correct answers in the applied questions, besides showing an interest in the content addressed. In addition, they affirmed that both the interactive panel and the pneumatic case facilitated the visualization of the operation of the circuits approached in class. A final application is intended to be performed in another class of the electrotechnical course.

**Key words:** Pneumatics. Learning. Visualization. Technical education.

## 1 INTRODUÇÃO

O ar comprimido é uma das mais antigas formas de transmissão de energia utilizada durante a história da humanidade. Atualmente, suas maiores utilizações estão no ramo da automação pneumática. Ela possui diversos benefícios, como, por exemplo: diminuir a fadiga e liberar o funcionário de operações repetitivas; os componentes utilizados são de fácil manutenção e de fácil implementação e, além de tudo isso, evita acidentes que poderiam ser causados com a utilização de energia elétrica<sup>1</sup>.

Um fato sobre essa técnica é que a maioria das pessoas não a conhece ou conhece muito pouco a respeito, fazendo com que seja rejeitada em algumas situações em que sua utilização seria a melhor escolha, visando a segurança e bom funcionamento do sistema. Uma das melhores formas de propagar esse conhecimento é através da prática, educação e recursos visuais, uma vez que a aprendizagem torna-se mais eficaz quando há interação entre textos e imagens<sup>2</sup>.

Observa-se também certa dificuldade no aprendizado da matéria entre os alunos que a têm. A dificuldade de visualização dos componentes e princípios pneumáticos é provavelmente um dos maiores empecilhos na aprendizagem do conteúdo por estudantes de ensino técnico. A Aprendizagem Significativa é um método de ensino foi criado pelo pesquisador norte-americano David Paul Ausubel (1918-2008), onde quanto mais sabemos mais aprendemos. Essa base nos leva a conclusão que para ele, “aprender significativamente é ampliar e reconfigurar ideias já existentes na estrutura mental e com isso ser capaz de relacionar e acessar novos conteúdos”. “Quanto maior o número de links feitos, mais consolidado estará o conhecimento”, diz Evelyse Lemos<sup>3</sup>, pesquisadora do ensino de Ciências e Biologia da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), no Rio de Janeiro<sup>3</sup>. Outro ponto seria que a “aprendizagem torna-se potencialmente mais efetiva quando a transmissão da informação acontece através dos canais verbal e visual”<sup>2</sup>. Sendo assim, as “imagens são importantes recursos para a comunicação de ideias científicas [...] desempenham um papel fundamental na constituição das ideias científicas e na sua conceitualização”<sup>4</sup>.

Levando esses dados em consideração, o presente trabalho tem como objetivo proporcionar aos estudantes de ensino técnico um meio alternativo de estudo, de forma interativa e criativa. Para isso, pretende-se auxiliar na visualização dos circuitos pneumáticos e seu funcionamento, a partir de componentes reais, adquiridos por meio de doações, e materiais reutilizados, como papelão e cartolina. Além disso, também criar um meio de fácil entendimento, que sirva de suporte para que o aluno compreenda facilmente os princípios da pneumática.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Baseando-se nos princípios da Aprendizagem Significativa, o trabalho foi dividido em 10 fases:

1. Pesquisas bibliográficas
2. Seleção de equipamentos
3. Elaboração do protótipo
4. Pesquisas bibliográficas sobre pneumática
5. Elaboração da apostila e painel interativo
6. Aplicação do resumo da apostila e protótipo (teste)
7. Ajustes finais
8. Conclusão da apostila
9. Aplicação da apostila e portfólio
10. Conclusões e análise dos resultados.

Na primeira fase foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre o funcionamento de dispositivos pneumáticos e seu emprego no dia a dia, a fim de ampliar o conhecimento sobre ar comprimido e sua utilização. Além de pesquisar métodos de ensino e recursos que podem ser considerados para uma rápida absorção do conteúdo abordado.

Na fase seguinte, foram selecionados objetos pneumáticos que seriam utilizados nas montagens realizadas pelos alunos na maleta. Ao passo em que foi montada e estruturada a maleta pneumática (terceira fase) com os equipamentos fixados nele, foram realizadas pesquisas bibliográficas (quarta fase) mais aprofundadas sobre a pneumática e elaborada a apostila (quinta fase) utilizando diversas fontes e ilustrações como referência para melhor compreensão e também foi elaborado o painel interativo.

Na sexta fase, foi aplicado o painel e a apostila para verificar se seriam benéficos ao aprendizado. Foram realizadas duas aulas com os alunos da turma 2422 do curso de Eletrotécnica da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha (Novo Hamburgo/RS) que estavam em sua segunda semana de aula de Pneumática. Além de duas aulas aplicadas com a turma 2312 do curso de Eletrotécnica também da Fundação. Essas aplicações foram consideradas como um teste, pois o material necessitava de ajustes e não estava totalmente completo. Sendo considerada para conferir o resultado da apostila em estudantes do curso técnico e avaliar possíveis melhorias. A aplicação oficial será realizada na fase nove.

Na sétima fase, foi feito ajustes na apostila e no portfólio conforme apontado pelos entrevistados e visualizado pelos pesquisadores. Na oitava fase, foi feita a conclusão da apostila com todas as informações necessárias para o aprendizado e compreensão da pneumática. Na nona fase, será aplicado o projeto já concluído com alunos da ETEP (Escola Técnica Estadual de Portão, Portão-RS), levando o projeto a outras instituições. E por fim, na décima fase, serão feitas as conclusões finais sobre o projeto e sua aplicabilidade. Serão avaliados o problema e hipóteses e concluir a eficiência do projeto realizado.

## 2.1 Materiais utilizados

### 2.1.1 Materiais pneumáticos contidos na maleta

- 1 x Cilindro de dupla ação curso 12 cm x 3 cm de diâmetro, rosca 1/8
- 1 x cilindro de dupla ação curso 1,5cm x 2,5cm de diâmetro, rosca M5
- 1 x válvula 3/2 vias, NF, acionamento por botão trava, rosca ¼
- 1 x válvula 3/2 vias, NA, acionamento por botão e retorno por mola, rosca ¼
- 1 x válvula 5/3 vias, centro fechado, acionamento por alavanca e retorno por mola, rosca ¼
- 1x válvula 5/2 vias, acionamento por piloto simples (rosca 1/8) e retorno por mola, rosca ¼
- 1 x válvula 5/2 vias, acionamento por alavanca-trava, rosca ¼
- 1 x válvula 3/2 vias, NF, acionamento por alavanca-trava, rosca 1/8
- 1 x válvula 5/2 vias, duplo piloto, rosca ¼
- 2 x Válvula reguladora de fluxo unidirecional, rosca M5
- 1 x válvula seletora (função tipo "OU"), rosca 1/8
- 3 x válvula 3/2 vias, NF, acionamento por rolete simples e retorno por mola
- 2 x válvula 3/2 vias, NF, acionamento por rolete escamoteável e retorno por mola, rosca M5
- 2 x União tipo T
- 13 x Conexão tipo cotovelo, rosca ¼
- 10 x Conexão tipo cotovelo, rosca 1/8
- 14 x Conexão tipo cotovelo, rosca M5
- 13 x Conexão tipo reta, rosca ¼
- 1 x Conexão tipo reta, rosca 1/8
- Tubos de poliuretano (PU) 6 mm
  - 3 x corte de 30 cm
  - 1 x corte de 65 cm
  - 3 x corte de 61 cm
  - 1 x corte de 1m e 10 cm

### 2.1.2 Revestimento do protótipo

- Madeira Mdf
  - 4 x peça de 20x40x1,5 cm
  - x peça de 20x55x1,5 cm
  - 2x peça de 38x54x1,5 cm
  - 1 x peça de 16x54x1,5 cm

## 2.2 Custos

Os equipamentos pneumáticos, em sua maioria, foram doados pela empresa Pecroll Automação Pneumática, Novo Hamburgo, RS e os demais, foram obtidos no depósito da empresa Verli Metalúrgica, São Leopoldo, RS, também como doação.

Os equipamentos pneumáticos necessários podem ser obtidos facilmente como doação de empresas ou usufruir de equipamentos fora de linha. Não sendo necessária a compra dos equipamentos. Para conseguir isso, deve-se pesquisar e buscar informações, encontrando onde se localizam esses depósitos, a seguir, pedir autorização para utilizar os equipamentos que lá se encontram.

Caso não seja necessário obter os equipamentos antigos ou por meio de doação, é possível comprar os equipamentos nas lojas de pneumática espalhadas pelo país. Para realizar o levantamento do valor necessário para elaborar o projeto, foram consultadas três empresas da região metropolitana de Porto Alegre, são elas: Bel Air Pneumática, PNX e Hidrotec – Sistemas Hidráulicos. Podendo ser conferido os valores de cada peça através do anexo A.

A seguir, estão dispostos os valores totais dos equipamentos segundo as três empresas e logo após, o custo do painel de esquemas, sendo esse o único custo real obtido na realização do projeto.

**Tabela 1 – Custo de todos os materiais pneumáticos utilizados**

Empresa	Preço (R\$)
Bel Air	1.760,18
PNX	1.502,25
Hidrotec	2.980,24

Fonte: os autores (2017)

**Tabela 2 – Custo dos materiais do painel de esquemas (cartolina)**

Objeto	Quantidade	Preço (R\$)
Cartolina	4 unidades	5,55
Papel contact	2 m	9,90
Velcro	1 m	4,50
<b>Total</b>	-	<b>19,95</b>

Fonte: os autores (2017)

### 2.3 Passos para a elaboração da maleta pneumática

1º - Foi realizada uma lista dos componentes pneumáticos desejados para realização das práticas (item 2.1);

2º - Uma busca desses componentes foi feita no depósito da empresa Verli Metalúrgica;

3º - Foi realizada uma pesquisa em busca das empresas que poderiam vender ou doar os componentes faltantes para pessoas físicas, na região metropolitana de Porto Alegre;

4º - O grupo se deslocou a algumas dessas empresas, buscando orçamento dos materiais, bem como a doação. A empresa Pecroll doou os componentes faltantes para a elaboração do projeto;

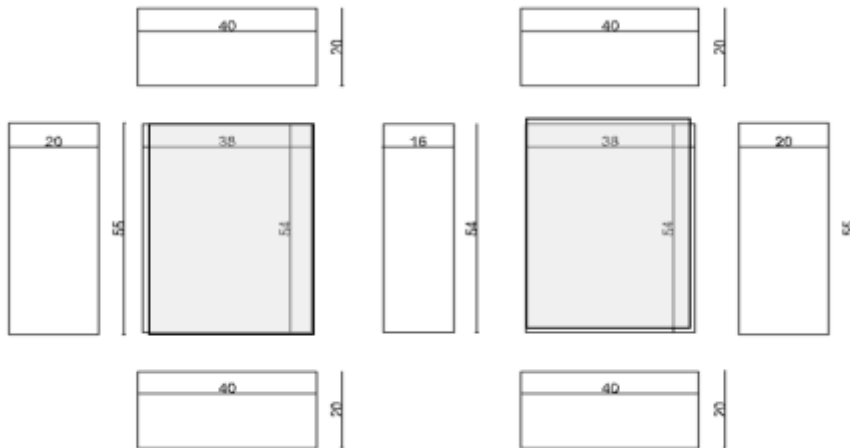


5º - Para a execução da maleta feita de madeira, um pedaço, reutilizado, de madeira tipo MDF, de tamanho 11 m<sup>2</sup> foi obtido.

6º - Os componentes foram posicionados sobre a madeira, com todas as conexões (tipo cotovelo) já inseridas, a fim da melhor visualização do tamanho da maleta. Os principais componentes levados em consideração foram os cilindros e as válvulas acionadas por rolete, pelo fato de que seriam fixadas na madeira.

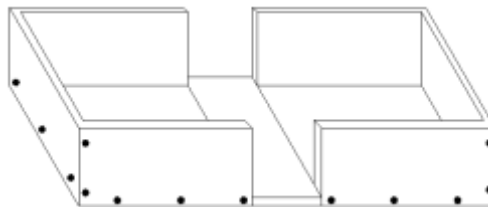
7º - Foi realizado um esquema com as dimensões da maleta:

**Figura 1 – Cortes da maleta**



Fonte: os autores (2017)

**Figura 2 – Locais para fixação**



Fonte: os autores (2017)

8º - Foi fixado as partes de madeira conforme a imagem acima;

9º - Finalização da maleta e resultado final.

**Figura 3 – Maleta pneumática**



Fonte: os autores (2017)

**Figura 4 – Maleta pneumática 2**



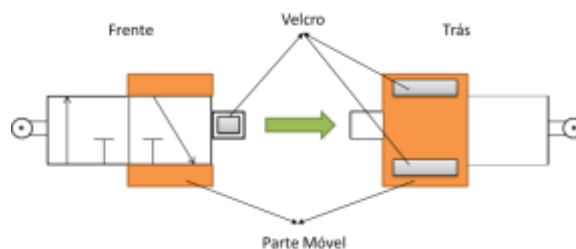
Fonte: os autores (2017)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Aplicação com quarto ano da Fundação Liberato

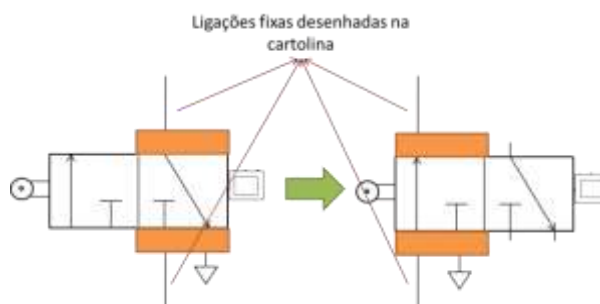
Foram realizadas duas aulas nos dias 9 de agosto de 2017 e 16 de agosto de 2017 e cada aula durou cerca de 1h 40 min (100 min). Contou com a presença de 13 estudantes da turma 2422 do curso de Eletrotécnica da Fundação Liberato. Os alunos foram divididos em 5 grupos (3x3 e 2x2). Na primeira aula, os alunos leram a apostila e a seguir, realizaram os exercícios de identificação de válvulas contidos na apostila. Na segunda aula, os alunos leram a apostila, seguido da montagem do esquema de um circuito direto e outro indireto no painel interativo e, além disso, tiveram a oportunidade de testar um dos esquemas montado no painel, na maleta pneumática.

**Figura 5 – Esquema de funcionamento do painel de cartolina**



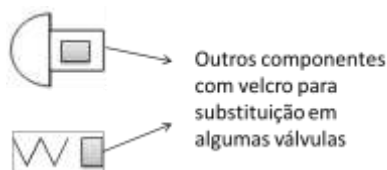
Fonte: os autores (2017)

**Figura 6 – Esquema de funcionamento do painel de cartolina 2**



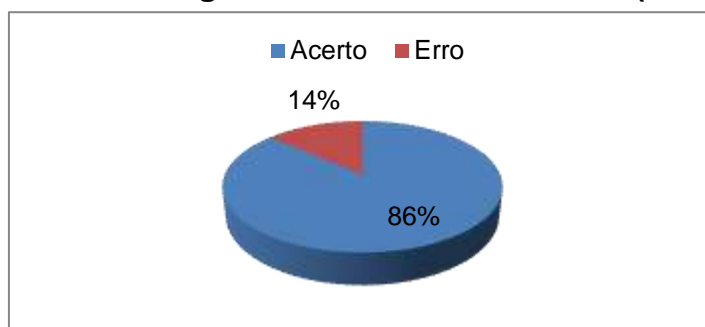
Fonte: os autores (2017)

**Figura 7 – Componentes adicionais do painel**



Fonte: os autores (2017)

**Figura 8 – Porcentagem total de acertos e erros (duas aulas)**



Fonte: os autores (2017)

Somando-se as duas aulas empregadas a essa turma, os alunos obtiveram acerto de 86%. Em ambas as aulas se pôde notar que mesmo sem quase nenhuma intervenção do grupo na resolução dos exercícios, os grupos conseguiram realizar as atividades discutindo as respostas entre os mesmos e achando a solução.

Além disso, quatro dos cinco grupos realizaram mais questões além das solicitadas pelo grupo, mostrando o interesse dos alunos perante o conteúdo exposto e exercícios solicitados.

Através dos dados, podemos deduzir que houve compreensão quanto à assimilação dos conteúdos estudados nas duas aulas, permitindo assim os estudantes a realizarem corretamente os exercícios empregados.

**Figura 9- Alunos trabalhando para resolução das questões**



Fonte: os autores (2017)

**Figura 10 – Painel de esquemas 1**



Fonte: os autores (2017)

**Figura 11 – Alunos testando o painel pneumático 1**



Fonte: os autores (2017)

Além das questões sobre o conteúdo, foram empregadas questões sobre o projeto a fim de aplicar melhorias ao material. 100% dos estudantes disseram que as aulas foram interessantes e que as aulas auxiliaram na compreensão da pneumática. Em uma questão que perguntava a nota que o estudante atribuiria ao material disposto, houveram cinco estudantes que responderam nota 10, quatro responderam nota 9, dois nota 8 e um nota 7. Diversos alunos justificaram que o conteúdo apresentado na apostila e nas práticas era muito bem explicado e prendia a atenção. Alguns disseram que o conteúdo poderia ser mais completo, outros que poderia ser mais resumido. Além de alguns dizerem para revisar a apostila por terem encontrados alguns erros.

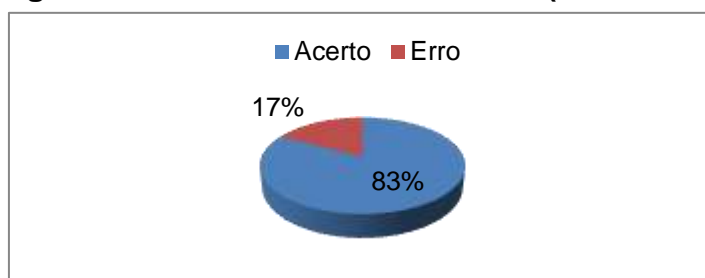
Analisando o conjunto de respostas, podemos notar que o conteúdo foi atraente para os estudantes. A disposição das aulas e dos conteúdos agradou os estudantes e, apesar dos problemas com a formatação da apostila, a apostila e o conteúdo prendeu a atenção dos alunos e foi eficaz.

### **3.2 Aplicação com terceiro ano da Fundação Liberato**

Foram realizadas duas aulas nos dias 13 de setembro de 2017 e 15 de setembro de 2017 e cada aula durou cerca de 40 min. Contou com a presença de 28

estudantes da turma 2312 do curso de Eletrotécnica da Fundação Liberato. Os alunos foram divididos em 13 grupos para facilitar na leitura da apostila. Na primeira aula, os estudantes leram a apostila e após isso, foram desafiados a responder algumas questões realizadas pelo grupo, a respeito do conteúdo recém lido: introdução à pneumática, curiosidades, aplicações, compressores e introdução a válvulas. Na segunda aula, os alunos leram a apostila e a seguir, realizaram os exercícios de identificação de válvulas contidos na apostila.

**Figura 12 – Total de acertos e erros (duas aulas)**



Fonte: os autores (2017)

Somando-se as duas aulas empregadas, os alunos obtiveram resultado positivo de 83% nas questões. Sendo um resultado considerável, tendo em vista que os alunos nunca tiveram contato com a pneumática e seus princípios. Pode-se notar que os alunos possuíam a habilidade de integrar os conhecimentos adquiridos previamente com os conhecimentos da pneumática, o que foi um resultado satisfatório, sendo este, dentro da média esperada. Além disso, houveram questões em que pôde-se notar falta de atenção no conteúdo exposto, pois em nenhum momento a apostila citou a presença da resposta escolhida pela maioria da turma. Porém, a questão 4: “podemos observar o uso da pneumática nas seguintes atividades exceto”, não possuía a resposta clara na apostila, os alunos tiveram que refletir sobre o conteúdo exposto e sobre suas experiências e conhecimentos gerais. Levando isso em consideração, teve-se um ótimo resultado. Em ambas as aulas se pôde notar que mesmo sem quase nenhuma intervenção do grupo na resolução dos exercícios, os grupos conseguiram realizar as atividades discutindo as respostas entre os mesmos e achando a solução.

**Figura 13 – Turma durante a realização da atividade**



Fonte: os autores (2017)

## 4 CONCLUSÃO

Após a análise dos dados obtidos a partir da pesquisa qualitativa realizada na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, pôde-se concluir que o problema inicial foi resolvido. A partir do kit Pneumática Interativa, os alunos obtiveram os resultados esperados, mostrando que é possível facilitar o aprendizado no ramo da pneumática. Ao todo, revelaram um rendimento médio de 86,49% de acertos nas questões empregadas, entre as duas aplicações na turma de quarto ano e 82,83% de acertos entre as duas aulas aplicadas com a turma de terceiro ano da Fundação.

As hipóteses também foram confirmadas, partindo dos resultados das avaliações dos pesquisados para com as aplicações. Segundo dados obtidos, 100% dos alunos acreditam que as aulas foram interessantes e as práticas satisfatórias, além de afirmarem que o material ajudou na compreensão da matéria. As notas atribuídas (de 0 a 10) ao projeto, por parte dos alunos, levaram a uma média de 8,38. Isso devido aos quesitos de formatação e falta de revisão da apostila.

A metodologia utilizada, no geral, cumpriu as expectativas. Os procedimentos foram úteis e eficientes, tornando o projeto viável e eficaz.

## Agradecimentos

Primeiramente, agradecemos a todos que nos auxiliaram no desenvolvimento desse projeto. Amigos, professores, orientadores, pais, familiares e avaliadores. Em específico, gostaríamos de agradecer a nosso orientador, Leandro Lima, professor da disciplina de Pneumática do curso de Eletrotécnica da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, por ter nos despertado o interesse para com o ramo da pneumática e ter nos cedido períodos de sua aula para a realização de nosso teste. Agradecemos a nossa coorientadora, Fabiana de Oliveira Machado, supervisora pedagógica do curso de Eletrotécnica integrado, por ter-nos avaliado no seminário de projetos e ter-nos auxiliado com as características pedagógicas do projeto. Agradecemos também a professora Vanessa Moura de Souza, professora da Escola Técnica Estadual Portão (ETEP) por ter se interessado pelo projeto e autorizado a aplicação do conjunto com seus alunos.

Além dos professores da Fundação e ETEP, desejamos agradecer ao Sr. Lionardo Groth, pai de Victória Farias Groth, por ter nos auxiliado no desenvolvimento da maleta. Sem ele, não seria possível a realização da maleta pneumática.

Há, ainda, pessoas que não foram diretamente envolvidas no projeto, mas que auxiliaram muito o desenvolvimento dessa pesquisa, como o professor Marco Aurélio Weschenfelder, coordenador do curso de Eletrotécnica da Fundação Liberato, por ter-nos dado dicas sobre o desenvolvimento do projeto.

## REFERÊNCIAS

- 1 LIMA, Leandro. **Pneumática Básica**. Rio Grande do Sul, 40 p. Trabalho não publicado.

- 2 TAVARES, Romero. **Aprendizagem significativa e o ensino de ciências.** Departamento de Física, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, Paraíba. 7 p. Disponível em: <<http://www.cienciasecognicao.org/revista/index.php/cec/article/download/687/464>>. Acesso em: 20 de set. 2017.
- 3 FERNANDES, Elisângela. **David Ausubel e a Aprendizagem Significativa.** Disponível em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/262/david-ausubel-e-a-aprendizagem-significativa>>. Acesso em: 17 de set. 2017.
- 4 GOUVÊA, Guaracira; MARTINS, Isabel; PICCININI, Cláudia. **Aprendendo com imagens.** Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, UFRJ. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v57n4/a21v57n4.pdf>>. Acesso em: 20 de set. de 2017.

## ESTUDO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL BASEADO EM CÉLULA COMBUSTÍVEL

Fett, J.R.<sup>1</sup>, Dias, M.M.<sup>2</sup>, Santos, R.R.<sup>3</sup>, Heldt Jr., R.R.<sup>4</sup>, Klassmann, C.O.<sup>5</sup>, Santos, A.S.<sup>6</sup>, Celso, F.<sup>7</sup>,  
Rodrigues, M.A.S.<sup>8</sup>, Schneider, E.L.<sup>9</sup>, Martins R.M.<sup>10</sup>

<sup>1</sup> Graduando Eng. Eletrônica, Jonata Rocha Fett, Universidade Feevale

<sup>2</sup> Dr. Eng, Metalúrgica, Moisés de Mattos Dias, Prof. Eng. Eletrônica e Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais, ICET, Universidade Feevale.

<sup>3</sup> Eng. Eletrônico, Rafael Rosa dos Santos, Universidade Feevale;

<sup>4</sup> Eng. Eletrônico, Rafael Ramão Heldt Jr, Universidade Feevale;

<sup>5</sup> Eng. Eletrônico, Carlos Omar Klassmann, Universidade Feevale

<sup>6</sup> Eng. Eletrotécnico, Alessandro Sarmento dos Santos, JSA Engenharia;

<sup>7</sup> Dr. Eng, Química, Fabrício Celso, Prof. Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais, ICET, Universidade Feevale;

<sup>8</sup> Dr. Eng, Química, Marco Antônio Siqueira Rodrigues, Prof. Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais, ICET, Universidade Feevale;

<sup>9</sup> Dr. Eng, Materiais, Eduardo Luis Schneider, Prof. Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais, ICET, Universidade Feevale;

<sup>10</sup> Dr. Química, Ricardo Martins de Martins, Prof. Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais, ICET, Universidade Feevale;

### Resumo

Este trabalho tem por objetivo um estudo para implantação de um Sistema de Geração de Energia Renovável, a partir de um Aerogerador Vertical de 1,5 kW e um Tracker Solar (Painel) também de 1,5 kW, gerando uma potência de 3 kW. A energia gerada pelo Aerogerador e Painel irá alimentar um banco de quatro baterias de 12 V totalizando um sistema de 48 Vcc. Esta tensão irá alimentar um Eletrolisador que irá gerar Hidrogênio que por sua vez irá alimentar uma célula combustível de 1 kW em nível de corrente contínua também em 48 V. A partir de um Inversor será gerada uma tensão alternada de 220 V, que irá alimentar um conjunto de luminárias. Uma estação meteorológica irá monitorar os ventos e a irradiação solar, possibilitando assim medir a eficiência da geração de energia (Solar e Eólica). Um Sistema de monitoração e Aquisição de Dados (WebBox) irá captar e armazenar todos os dados do sistema, como tensões e correntes geradas no Aerogerador e Paineis, carga das baterias, tensão e corrente gerada na saída da Célula Combustível, e tensão e corrente nas luminárias. Estas medidas de tensão e corrente permitem obter as potências, tanto de entrada e saída como as intermediárias, possibilitando, portanto, a monitoração de todo o sistema, desde a geração até o consumo. Desta maneira será possível fazer um estudo aprofundado dos processos envolvidos, possibilitando assim, definir a eficiência do sistema. O custo total estimado resultou em 735.000,00 reais.

**Palavras-chave:** Energias Renováveis, Célula Combustível, Eletrolisador,



## STUDY OF A GENERATION SYSTEM OF RENEWABLE ENERGY BASED ON FUEL CELL

### Abstract

The purpose of this work is to implement a Renewable Energy Generation System from a 1.5 kW Vertical Wind Turbine and a 1.5 kW Solar Tracker (Panel) in order to generate 3 kW. The energy generated by the Wind Turbine and the Panel will supply four 12-volt batteries, resulting in a 48 Vcc system. This voltage will feed an electrolyzer that will generate hydrogen gas that, in turn, will feed a 1 kW fuel cell operating at continuous current (also in 48 V). From an inverter it will be generated an alternating voltage of 220 V, that will feed a set of lamps. A weather station will monitor the winds and the solar irradiation, enabling to measure the efficiency of the solar and wind energy generation. A Data Monitoring and Acquisition System (WebBox) will capture and store all system data, such as voltages and currents generated in the wind turbine and panels, battery charge, voltage and current generated at the fuel cell output, and voltage and current in the lamps. These voltage and current measurements allow obtaining both the input and output power as well as the intermediate power. Thus, the monitoring of the entire system (from generation to consumption) is promising. In this meaning, it will be possible to carry out an in-depth study of the involved processes, thus, defining the efficiency of the system. The estimated total cost was R\$ 735,000.00.

**Keywords:** Renewable Energy, fuel cell, electrolyzer, Electric Machines

### 1. INTRODUÇÃO

#### 1.1. SISTEMA HÍBRIDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA E ARMAZENAMENTO

Sistemas Híbridos São modos de obtenção de energia elétrica a partir de duas ou mais fontes, como solar-eólica, solar-diesel, entre outros. Estes sistemas estão sendo bastante utilizados por causa da eficiência em integrar sistemas novos ou já utilizados. A complementação é um dos pontos principais, pois no sistema eólico/solar, por exemplo, nos dias em que o céu estiver nublado e a obtenção de energia da placa fotovoltaica for reduzida o aerogerador continua sua produção sem interferência e sustenta o sistema [1].

Um sistema híbrido pode operar diretamente conectado à carga, que pode ser utilizada para bombeamento de água e aplicações que não exijam estabilidade e eficiência, por exemplo. Novamente citando o sistema eólico/solar não se pode armazenar ventos e luz, por isso durante os períodos de baixa geração e para a utilização posterior, o método convencional de armazenamento são as baterias. Utilizando baterias estacionárias de ciclo profundo tem-se o melhor desempenho com 4 a 5 anos de vida útil, já, as baterias de chumbo ácido, nestas aplicações, tem sua vida útil limitada a 2 anos. A figura 1 mostra um esquema de um sistema híbrido. Sistemas conectados a rede são conhecidos por On-Grid e não conectados como Off-Grid. [1].



**Figura 1 – Esquema de um Sistema Híbrido para Geração de Energia [1]**

## 1.2. AEROGERADORES

Os aerogeradores são classificados em dois tipos, saber, Aerogerador Horizontal (figura 2), no qual o eixo onde as pás estão acopladas está na horizontal, e o Aerogerador Vertical (figura 3) no qual o eixo está no plano vertical. Os aerogeradores horizontais são utilizados em ambientes onde existe um fluxo constante e contínuo de ventos, como em regiões de pradaria ou praias. Os verticais, embora possuam um desempenho inferior ao horizontal, podem ser utilizados em ambientes urbanos onde o vento não é uniforme devido as edificações.



**Figura 2 – Aerogeradores Horizontais [2]**

A figura 4 mostra os principais marcos do desenvolvimento da Energia Eólica no período do Século XI ao Século XIX, e a figura 5 mostra os principais marcos do desenvolvimento da Energia Eólica no Século XX.

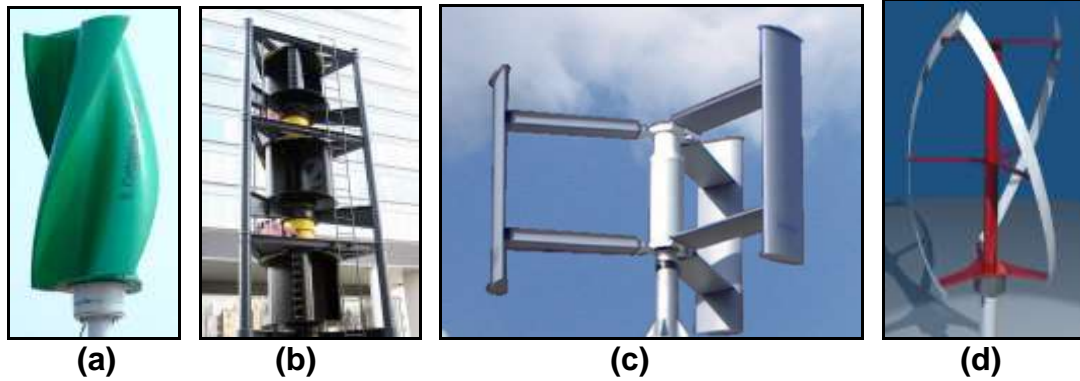


Figura 3 – Aero geradores Verticais [3]



Figura 4 – Principais marcos do desenvolvimento da Energia Eólica no período do Século XI ao Século XIX [4]

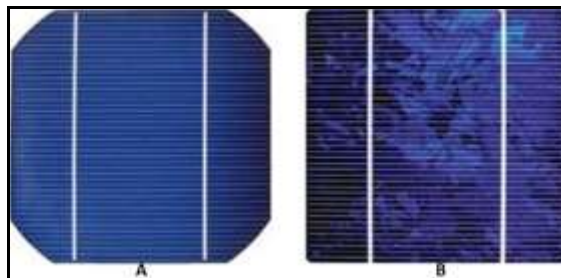


Figura 5 – Principais marcos do desenvolvimento da Energia Eólica no Século XX [4]

### 1.3. PAINEL E RASTREADOR SOLAR (TRACKER)

A energia solar é produzida em células fotovoltaicas quando sobre esta incide luminosidade. As principais tecnologias aplicadas na produção de células fotovoltaicas são classificadas em três gerações. A primeira geração é dividida em duas cadeias produtivas: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), que representam mais de 85% do mercado (figura 6), por ser uma tecnologia

consolidada e confiável, e por possuir a melhor eficiência comercialmente disponível [5].



**Figura 6 - (a) Célula silício monocristalino m-Si - (b) célula silício policristalino p-Si**

Segundo a norma NBR10899, o módulo é o menor conjunto ambientalmente protegido de células solares interligadas, com o objetivo de gerar energia elétrica em corrente contínua. Um painel, é um ou mais módulos montados de modo a formar uma única estrutura, é uma característica física de montagem. Arranjo é qualquer número de módulos, interligados eletricamente, de tal modo a prover uma única saída de corrente elétrica contínua, é uma característica elétrica. Sistema fotovoltaico é o conjunto de elementos necessários ao aproveitamento da energia radiante solar para uma dada aplicação, através da conversão fotovoltaica, além do arranjo fotovoltaico, podem ser necessários os elementos para controle supervisão, proteção, armazenamento de energia elétrica, fundação e suporte de estrutura (ABNT-NBR10899) [5].

A figura 7-a mostra um tracker (rastreador solar) o qual possui movimentos que acompanham o percurso do sol ao longo do dia. A figura 7-b mostra um parque fotovoltaico.



**Figura 7 – Sistemas Solar – (a) Tracker [6] – (b) Parque Fotovoltaico [7]**

#### 1.4. ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

Uma estação meteorológica é um conjunto de instrumentos ou sensores que recolhem dados para análise do tempo meteorológico. Esses sensores são capazes de registrar, por exemplo, a temperatura do ar, velocidade e direção do vento,

umidade do ar, radiação solar, chuva e pressão atmosférica. Existem dois tipos de estação meteorológica [8]:

- **Estações automáticas:** coleta de dados totalmente automatizada. Nesse tipo de estação os sensores emitem sinais elétricos, que são captados por um sistema de aquisição de dados (Datalogger), possibilitando que o armazenamento e o processamento dos dados sejam informatizados.
- **Estações convencionais:** exigem a presença diária de uma pessoa para coletar os dados medidos. Os instrumentos que compõe esse tipo de estação são normalmente de leitura direta, como os termômetros, ou com sistema mecânico de registro, como o termohigrógrafo, o pluviógrafo, o anemógrafo. Estas se dividem em classes de acordo com a finalidade e o número de variáveis observadas:
  - Primeira classe: são aquelas que medem todos os elementos meteorológicos.
  - Segunda classe: não realizam as medidas de pressão atmosférica, radiação solar e vento.
  - Terceira classe: medem apenas a temperatura máxima, mínima e a chuva.

Devido a sua maior praticidade, atualmente a estação meteorológica automática (figura 8) é a mais utilizada, além disso, com esse tipo de estação também é possível verificar pela internet os dados em tempo real [8].



**Figura 8 – Componentes de uma estação meteorológica automática [8]**

As estações automáticas possuem 4 sensores essenciais (figura 8): o anemômetro, piranômetro, o sensor de temperatura e umidade e o pluviômetro [8]:

- **Anemômetro:** é um instrumento que mede a velocidade e a direção do vento. Esse instrumento deve ser instalado a 2 metros de altura em relação ao solo.

- **Piranômetro:** registra a radiação solar global e deve ser instalado entre 1,5 e 2 metros de altura.
- **Sensor de temperatura e umidade:** geralmente são termistores que medem a temperatura e a umidade do ar. Esse sensor deve ficar no abrigo meteorológico para não ser danificado e a altura de sua instalação é aproximadamente 1,5 metros.
- **Pluviômetro:** mede a precipitação e o tipo de pluviômetro mais utilizado é o de balsa. A área de captação de água (bocal) do pluviômetro deve ficar a 1,5 metros do solo.

### 1.5. WEB BOX

A WebBox, basicamente, é um dispositivo utilizado para armazenar dados, e em consequência monitorar grandezas físicas obtidas a partir de sensores ou outros dispositivos que geram algum tipo de sinal em tensão ou corrente elétrica. Uma vez que existe uma gama muito grande de tipos e variedades, algumas podem monitorar exclusivamente um dispositivo, como um painel solar por exemplo, ou possuírem várias entradas para uma diversidade maior. Os dados podem ser compartilhados com um computador, e assim podem ficar registrados no mesmo, ou também serem compartilhados via wireless. A figura 9 mostra uma **SMA Web Box – RS485**.



Figura 9 – Webbox SMA (RS485) [9]

### 1.6. ELETROLISADOR

A **Eletrólise da água** é a decomposição de água (H<sub>2</sub>O) em oxigênio (O<sub>2</sub>) e hidrogênio (2H<sub>2</sub>) por efeito da circulação de corrente elétrica. Eletrolisador, basicamente, é um dispositivo capaz de “quebrar” a molécula de água, utilizando para isto energia elétrica, gerando, portanto, hidrogênio e oxigênio. A figura 10 mostra um sistema de eletrólise hidrogênica em Falkenhagen, na Alemanha, a qual

absorve dois megawatts de energia renovável excedente e a armazena na forma de hidrogênio [10].



**Figura 10 – Sistema de eletrólise em Falkenhagen, na Alemanha [10]**

### 1.7. CÉLULA COMBUSTÍVEL

A **Célula Combustível** é um dispositivo eletroquímico que combina hidrogênio (H) e oxigênio (O) para produzir eletricidade (corrente elétrica), que é o movimento ordenado de elétrons (e), tendo água e calor como subprodutos. A corrente elétrica produzida é o produto principal a ser aproveitado a qual pode ser usada para alimentar dispositivos elétricos, normalmente referidos como a carga ou consumidores elétricos mas, o calor produzido também costuma ser aproveitado. Em geral, esta corrente elétrica gerada não alimenta diretamente um consumidor do tipo atuador como motores ou lâmpadas, mas é usada para carregar elementos armazenadores de energia (tais como: supercapacitores, baterias recarregáveis, entre outros), de modo que ela é pré-armazenada para uso posterior [11].

Uma célula elementar gera cerca de 0,7 volts mas, assim como ocorre com as células de baterias, as Célula de Combustível também podem ser empilhadas em série, ou associadas em paralelo, o que aumenta a tensão e a potência de saída, resultando, conforme a necessidade da aplicação, em Célula de Combustível desde algumas dezenas de Watts, até vários Megawatts. Há muitos tipos diferentes de células de combustível, cada um com suas próprias características operacionais específicas mas a maioria das células de combustível são alimentados com gás de hidrogênio. Células combustíveis, encontram atualmente aplicação na indústria automobilística, no qual o hidrogênio é utilizado como combustível, cabendo a célula combustível gerar eletricidade, a qual alimenta os motores elétricos que tracionam o veículo [11]. A figura 11 mostra a pilha de células combustível para o veículo Honda FCX Clarity.



Figura 11 - Pilha de Células de Combustível do Honda FCX Clarity [11]

## 1.8. INVERSOR

Os inversores, basicamente transformam energia elétrica na forma de corrente contínua, em corrente alternada, a partir de dispositivos semicondutores como transistores e algum tipo de oscilador. Já os conversores, convertem energia elétrica na forma de corrente alternada de certa frequência, em corrente alternada de frequências diversas. Portanto, um conversor possui em seu interior, um retificador e um inversor. Contudo, costuma-se denominar os conversores simplesmente de Inversores. Portanto, para a aplicação que se deseja neste projeto, o que realmente é necessário é um Inversor, ou seja, um dispositivo capaz de converter tensão contínua em alternada, e assim, os inversores ditos convencionais, não poderiam ser utilizados, devendo-se, portanto, ter este cuidado. Contudo, salienta-se que alguns inversores convencionais, é possível acessar a entrada em nível CC (corrente contínua), e assim este tipo poderia ser utilizado.

## 1.9. BANCO DE BATERIAS

Apesar de possuírem a mesma tecnologia, as baterias automotiva e estacionária são recomendadas para aplicações distintas [12]:

- As baterias automotivas são feitas para estarem sempre carregadas (função exercida pelo alternador dos veículos) e fornecer uma grande quantidade de corrente em um curto período de tempo, necessário para dar partida no motor. Uma vez que o motor esteja funcionando, o alternador encarrega-se de mantê-la sempre carregada.
- As baterias estacionárias são projetadas para ciclos de descarga profundos, com materiais internos nobres, e placas de chumbo mais espessas, feitas para durarem mais tempo. Elas podem sofrer até 80% de descarga sem



prejudicar sua vida útil, além de suportarem quantidade maiores de ciclos de carga e descarga.

A figura 12 mostra uma bateria estacionária Freedom DF 3000 de 12 V, a qual possui variação de carga de acordo com as especificações: C100 para 185 Ah, C20 para 170 Ah e C10 para 156 Ah. Dependendo das tensões e correntes que se deseja, pode-se criar bancos de baterias, colocando-as em série ou paralelo, dependendo das necessidades.



**Figura 12 – Bateria estacionária da Freedom DF 3000 tensão nominal de 12 V**  
[13]

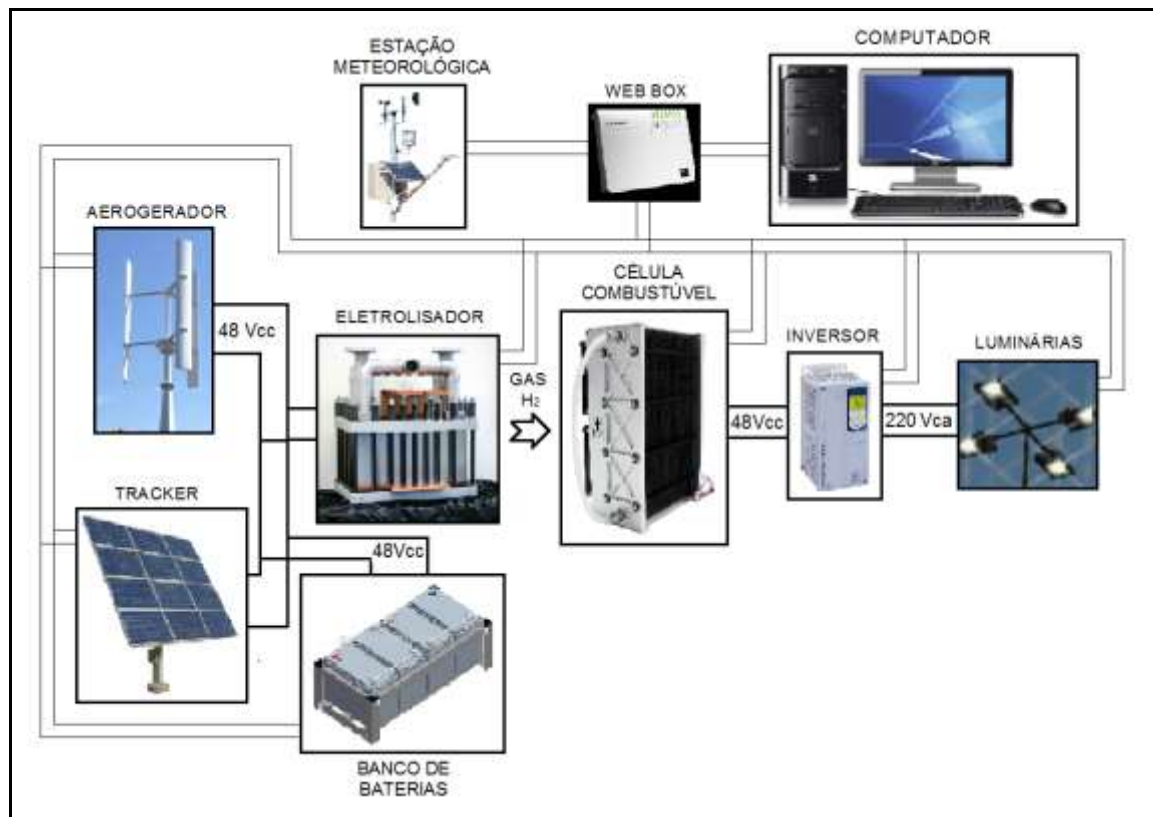
## 2. METODOLOGIA

Este trabalho tem por objetivos um estudo preliminar para futura implantação de um Sistema de Geração de Energia Renovável, a partir de um Aerogerador Vertical de 1,5 kW e um Tracker Solar (Painel) também de 1,5 kW, gerando uma potência de 3 kW.

A energia gerada pelo Aerogerador e Painel irá alimentar um banco de quatro baterias de 12 V totalizando um sistema de 48 Vcc. Esta tensão irá alimentar um Eletrolisador que irá gerar Hidrogênio que por sua vez irá alimentar uma célula combustível de 1 kW em nível de corrente contínua também em 48 V. A partir de um Inversor será gerada uma tensão alternada de 220 V, que irá alimentar um conjunto de luminárias, a serem instaladas no estacionamento do prédio do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Limpas da Universidade Feevale.

Uma estação meteorológica irá monitorar os ventos e a irradiação solar, possibilitando assim medir a eficiência da geração (Solar e Eólica). Um Sistema de monitoração e Aquisição de Dados (Web Box) irá captar e armazenar todos os dados do sistema, como tensões e correntes geradas no Aerogerador e Painéis, carga das baterias, tensão e corrente gerada na saída da Célula Combustível, e tensão e corrente nas luminárias. Estas medidas de tensão e corrente permitem obter as potências, tanto de entrada e saída como as intermediárias, possibilitando, portanto, a monitoração de todo o sistema, desde a geração até o consumo. Desta maneira será possível fazer um estudo aprofundado do sistema, possibilitando

assim, definir a eficiência do sistema. A figura 13 mostra um diagrama esquemático do sistema.



**Figura 13 – Sistema proposto para avaliação da eficiência de um sistema híbrido com armazenagem de energia na forma de hidrogênio e célula combustível**

Além do estudo dos processos também foram analisados os custos para implantação do sistema, conforme tabelas 1 e 2.

**Tabela 1 – Custos estimado dos equipamentos**

<b>Especificação</b>	<b>Valor R\$</b>
Aerogerador de 1,5 kW com Torre (já Instalado)	53.730,00
Tracker 1,5 kW com Torre (já Instalado)	21.300,00
Banco de Baterias – 4 unidades	5.470,00
Eletrolisador	464.000,00
Célula Combustível (com inversor de frequência)	125.000,00
Estação Meteorológica (Anemometro e Sensor de Radiação)	18.300,00
Web Box	9.700,00
Computador	2.500,00
<b>Total</b>	<b>700.000,00</b>

**Tabela 2 – Custos de Material de Consumo e Serviços Implantação**

<b>Especificação</b>	<b>Valor R\$</b>
Componentes Elétricos (fio e cabos e outros componentes)	10.000,00
Aços e outros Metais	10.000,00
Serviços de Preparação de Estrutura (bases de Concreto para Instalações/fixação das torres do Aerogerador e Tracker)	15.000,00
<b>Total</b>	<b>35.000,00</b>

Assim, o total de recursos para implantação de todo o sistema fica estimado em aproximadamente R\$ 735.000,00, valor este considerando valores comerciais em maio de 2017. Salienta-se que foram consultados somente um fornecedor por equipamento, contudo, devido a experiência de alguns pesquisadores da Universidade Feevale, estes seriam os de menor custo. Salienta-se também os custos de material de consumo e serviços foram estimados tendo em vista outros projetos executados na Universidade Feevale.

### **3. CONCLUSÕES**

Este projeto tem por objetivo um estudo preliminar sobre a implantação de um sistema de geração de energia a partir de fontes renováveis e armazenamento na forma de hidrogênio. Cita-se que a universidade Feevale já executou ou está em fase de execução de vários projetos na área de energias renováveis, como solar, eólica e biomassa, controladores e inversores, bem como sensores e monitoramento, além de estudos preliminares em células combustíveis. Assim, considera-se que o sistema, caso seja implantado, irá gerar uma grande quantidade de dados, bem como a absorção de tecnologias nestas áreas de atuação, complementando os estudos já realizados e sendo realizados atualmente.

Cita-se também que o projeto é completamente exequível, pois foram realizados extensos estudos preliminares

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradem a Secretaria do Desenvolvimento Econômico, Ciência e Tecnologia do Estado do RS pela patrocínio e apoio neste projeto, ao CNPq, Capes, FINEP e FAPERGS.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1]. <http://energiahibrida.blogspot.com.br/> - Acessado em 04/2017

[2]. <http://www.movitrom.pt/areasolar/produtos/aerogeradores.html> - Acessado em 04/2017

- [3]. <http://termometroglobalcom.blogspot.com.br/2010/07/aerogeradores-verticais-vawt-alguns.html> - Acessado em 04/2017
- [4] <http://www.cresesb.cepel.br/content.php?cid=201> - Acessado em 04/2017
- [5]. RIO DE JANEIRO. João Tavares Pinho. Cepel – Cresesb (Org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014. 530 p.
- [6]. <http://www.solarpowerworldonline.com/2013/04/how-does-a-solar-tracker-work/> - Acessado em 04/2017
- [7]. <http://energiadeactivacion.blogspot.com.br/2015/05/optimizar-perdidas-en-parque-solares.html> - Acessado em 04/2017
- [8]. <https://www.agrosmart.com.br/blog/estacao-meteorologica-funciona-importancia-agricultura/> - Acessado em 09/2017
- [9]. <http://solarwalas.com/product/sma-web-box-rs485/> - Acessado em 09/2017
- [10]. [http://www.technologyreview.com.br/read\\_article.aspx?id=45964](http://www.technologyreview.com.br/read_article.aspx?id=45964) - Acessado em 09/2017
- [11]. <http://automoveiseletricos.blogspot.com.br/2013/06/como-uma-celula-combustivel-e-o.html> - Acessado em 09/2017
- [12]. <http://www.moura.com.br/dicas/diferencas-entre-baterias-automotiva-e-estacionarias/> - Acessado em 09/2017
- [13]. <http://www.powersafe.com.br/portfolio/bateria-estacionaria-freedom-df3000/> - Acessado em 09/2017

# SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO DESENVOLVIMENTO DE LINGOTEIRA EM ESCALA REDUZIDA PARA AÇOS FUNDIDOS

Willian Martins Pasini<sup>1</sup>  
Matheus Roberto Bellé<sup>2</sup>  
Túlio Sérgio do Nascimento<sup>3</sup>  
Régis Fabiano do Amaral<sup>4</sup>  
Vinicius Karlinski de Barcellos<sup>5</sup>

- <sup>1</sup> Engenheiro Metalúrgico, Willian Martins Pasini, Laboratório de Fundição, UFRGS, willian.pasini@ufrgs.br.
- <sup>2</sup> Acadêmico de Engenharia Metalúrgica, Matheus Roberto Belle, Laboratório de Fundição, UFRGS, matheus.belle@ufrgs.br
- <sup>3</sup> Acadêmico de Tecnologia em Processos Metalúrgicos, Túlio Sérgio do Nascimento, IFRS – Caxias do Sul, tulio.nascimento@caxias.ifrs.edu.br.
- <sup>4</sup> Mestre, Régis Fabiano do Amaral, Laboratório de Fundição, UFRGS, regis.amaral@ufrgs.br
- <sup>5</sup> Prof. Doutor, Vinicius Karlinski de Barcellos, Laboratório de Fundição, UFRGS, vinicius.karlinski@ufrgs.br

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

## Resumo

O lingotamento convencional representa uma menor fração da quantidade de aço produzido atualmente, cuja produção majoritária é através do processo de lingotamento contínuo. Entretanto, é o processo adequado na rota de fabricação de aços de difícil lingotabilidade e lingotes de grande seção. Os lingotes devem satisfazer diferentes requisitos de qualidade, como controle de inclusões, homogeneidade de composição química e controle sobre defeitos de solidificação. Sobre estes requisitos, a geometria/projeto da lingoteira, o preenchimento do lingote e a solidificação direcional desempenham papel fundamental na qualidade final do produto. Avaliou-se a formação de porosidades centrais em lingotes através de simulação computacional e investigou-se as influências dos parâmetros de projeto, como a relação Altura/Diâmetro médio ( $H/D_m$ ), a conicidade do molde, dimensionamento e influência da cabeça quente, vazão e homogeneidade do fluxo de metal líquido durante o preenchimento da lingoteira. A correta adequação da geometria do molde e os parâmetros de preenchimento possibilitou o projeto de um lingote, livre de porosidades centrais, utilizado como base para a confecção de um modelo físico em menor escala.

**Palavras-chave:** Simulação computacional; Lingotamento convencional, Lingoteira.

## USE OF COMPUTER SIMULATION ON THE DEVELOPMENT OF LABORATORIAL SCALE INGOT MOULD

### Abstract

Ingot Casting represents a minor fraction of the steel amount produced nowadays, which majority production is through Continuous Casting process. However, it is the adequate process on the manufacturing route of hard-casting steels and large section ingots. The ingots must satisfy diverse quality requirements,

such as inclusions control, chemical composition homogeneity and solidification defects control. Regarding those requirements, the ingot mould project/geometry, the ingot filling and the directional solidification perform a fundamental role on the product final quality. Middle porosities formation in ingots were evaluated through computer simulation and project parameters influence was investigated, such as average Height/Diameter (H/Dm) relation, mould conicity, hot top scaling and influence, flow rate and liquid metal flow homogeneity during the ingot mould filling. The correct fit of the mold geometry and the filling parameters allowed the design of a ingot, free of central porosity, used as the basis for the creation of a physical model on a smaller scale.

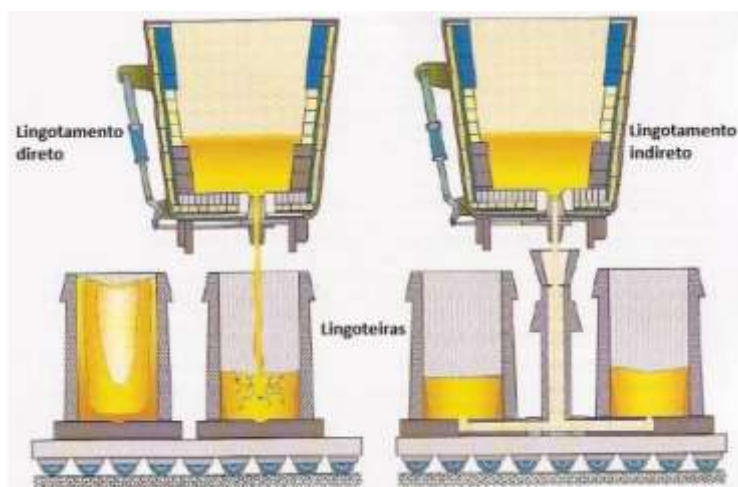
**Keywords:** Computer Simulation, Steel Ingot Casting, Ingot Mould.

## 1 INTRODUÇÃO

Embora a porcentagem de aço produzido no mundo através do processo de lingotamento convencional represente valores correspondentes a 10% do total de aço produzido nas últimas décadas, algumas classes de aço de baixa liga e aço alta liga para aplicações especiais e lingotes de grande seção só podem ser produzidas por este processo <sup>(1,2)</sup>.

O processo de lingotamento convencional é caracterizado pela solidificação progressiva do aço das paredes laterais da lingoteira em direção ao centro e a cabeça quente. Os fenômenos durante este processo devem ser controlados para obter uma boa qualidade do produto final. Isso é influenciado por inúmeros fatores, tais como a composição química do aço, o superaquecimento do banho metálico, as dimensões do molde e tipo de vazamento <sup>(3)</sup>.

O vazamento pode ser realizado de duas maneiras, direto e indireto, o primeiro, mais simples, ocorre com a abertura da panela de vazamento sobre o topo da lingoteira, porém, não é adequado para a produção de aços de alta qualidade, pois gera defeitos superficiais e internos. O vazamento indireto, o mais adequado para obtenção de lingotes com menores quantidades de defeitos, ocorre com o preenchimento da lingoteira através de um canal central, dividindo o fluxo de metal líquido em canais de distribuição e preenchimento ascendente do molde, conforme ilustrado na Figura 1 <sup>(2)</sup>.



**Figura 1** Representação dos métodos de vazamento direto e indireto do lingotamento convencional.  
 Fonte: Adaptado de RIZZO, 2005.

Fatores dimensionais e de projeto do molde tais como, razão altura/diâmetro médio, conicidade, correto dimensionamento de canais, utilização de filtros cerâmicos e uso de cabeça quente são fundamentais para obtenção de um lingote de qualidade, com grande redução no percentual de porosidades e controle de inclusões não metálicas<sup>(2-4)</sup>.

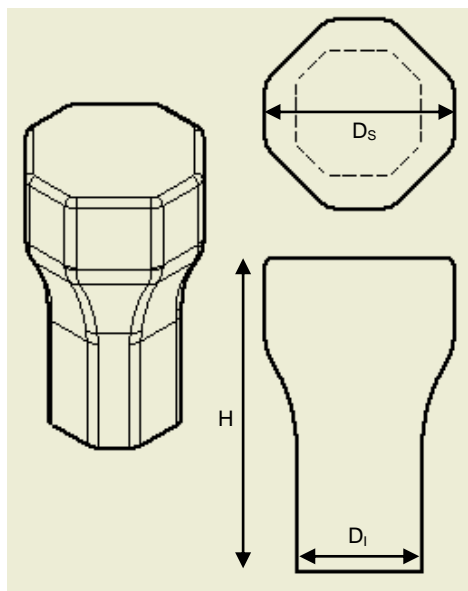
Sabe-se que um controle de qualidade apropriado e uma redução de custos através da produção são fatores chave num ambiente competitivo como o setor siderúrgico. A ferramenta diferencial para a investigação e predição da qualidade do produto final é a simulação computacional. Desta maneira, pode-se simular o vazamento, a solidificação e o resfriamento do lingote para prever defeitos de solidificação<sup>(1,3)</sup>.

Este artigo mostra como a simulação computacional pode ser utilizada como ferramenta para o projeto de uma lingoteira em escala reduzida com o uso de materiais de fácil acesso no mercado de fundição, tais como areia cura-frio, para estruturar o corpo da lingoteira, e luvas iso/exotérmicas, para desempenhar a função de cabeça quente. Utilizou-se o software de simulação Click2Cast<sup>®</sup> no desenvolvimento deste projeto.

## 2 METOLOGIA

### 2.1 – Dimensionamento do lingote

No presente estudo, foi utilizado um lingote, representado na Figura 2, com dimensões:  $D_s = 60$  mm,  $D_l = 40$  mm,  $H = 90$  mm e conicidade positiva, para padrão de solidificação em V, de acordo com as relações geométricas sugeridas pela patente US3254867<sup>(5)</sup>. Apresentando razão entre  $H/D_m$  igual a 1,8 valor mínimo sugerido pela patente ( $1,8 < H/D_m < 2,15$ ).

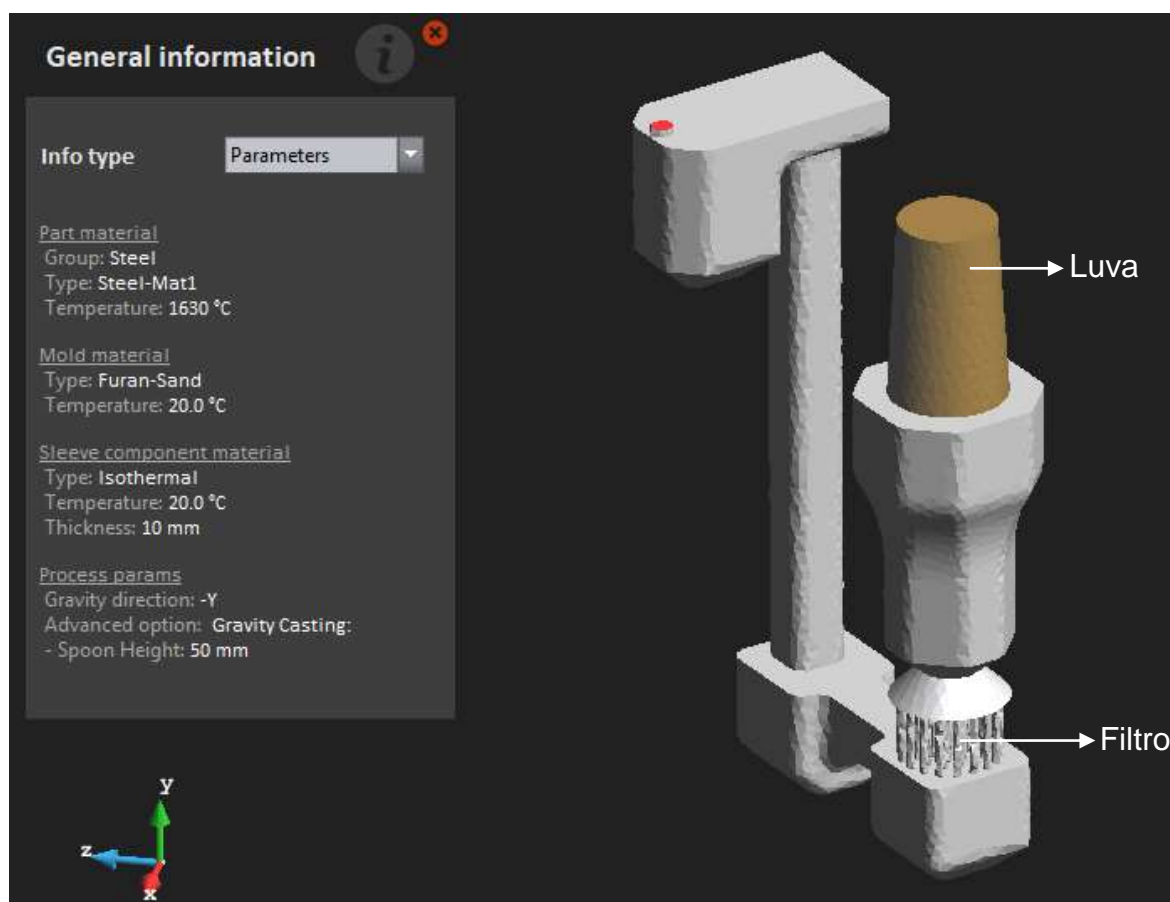


**Figura 2** Representação gráfica do lingote

## 2.2 – Parâmetros utilizados

Considerou-se a utilização de filtro cerâmico na parte inferior do lingote para controle efetivo de inclusões e obtenção de fluxo laminar ascendente. Já para a cabeça quente, considerou-se a utilização de luvas iso/exotérmica para o direcionamento da frente de solidificação, em concordância com o método dos módulos parciais de Wlodawer <sup>(6)</sup>.

Para a simulação utilizou-se os valores de referência da liga ASTM-217 C12A<sup>(7)</sup> adicionados ao banco de dados do programa (Steel-Mat1). Os parâmetros referentes ao corpo do molde em areia cura frio (resina furânica) e luva isotérmica tratam-se de valores fixos do banco de dados do software, o conjunto simulado está representado na Figura 3.



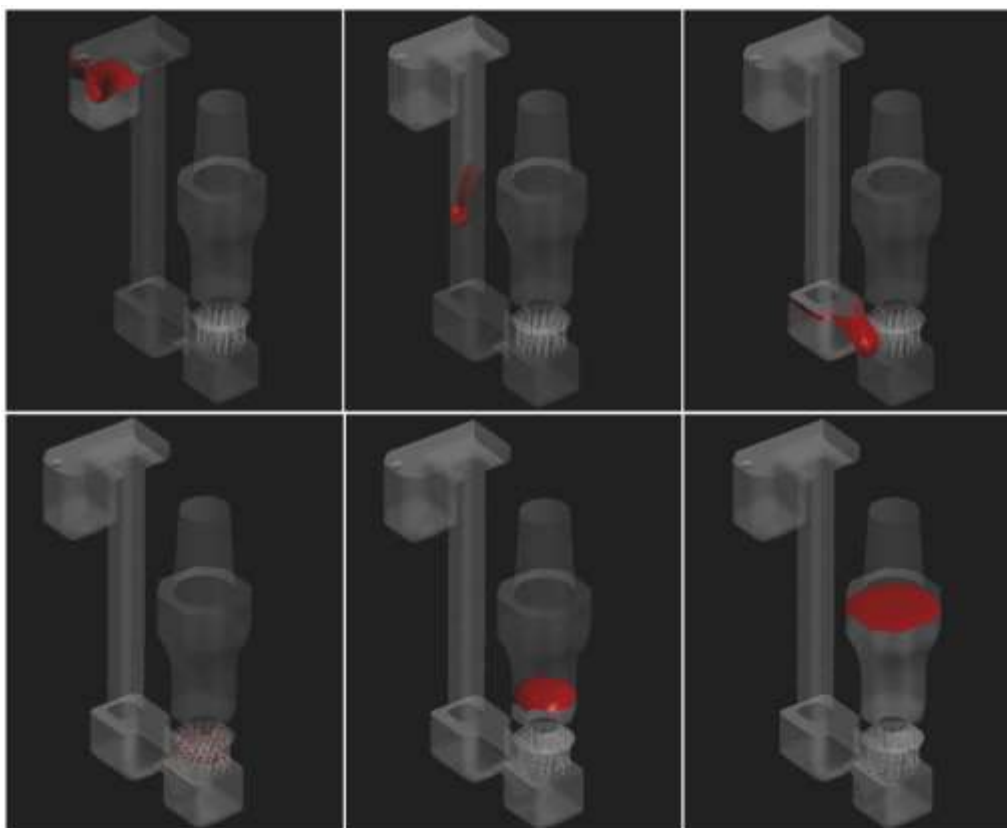
**Figura 3** Representação gráfica do modelo projetado e descrição dos parâmetros de simulação

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Preenchimento

Os resultados apresentados pelo software indicam que o correto dimensionamento de bacias e canais de alimentação levou ao preenchimento homogêneo de baixa turbulência, evitando a quebra do filme de óxidos e prevenindo a geração de inclusões. O posicionamento do filtro cerâmico na parte inferior do lingote colabora para a homogeneidade do fluxo e controle da taxa de preenchimento, conforme ilustrado na Figura 4.

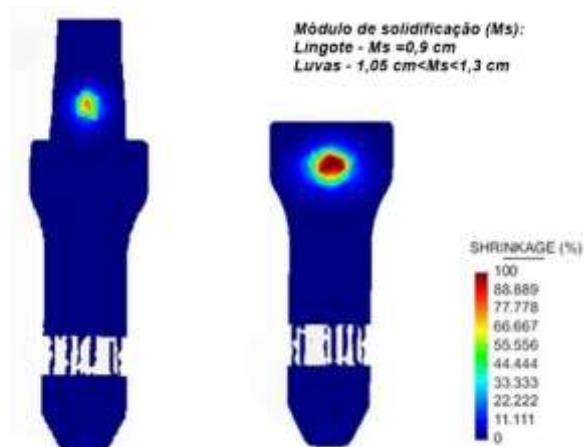




**Figura 4** Representação da evolução de preenchimento do molde

### 3.2 Solidificação e Resfriamento

O modelo avaliado apresentou um padrão de solidificação em V devido à conicidade positiva e influência da cabeça quente, praticamente isentando o lingote de porosidades, evolução da frente de solidificação representada na Figura 6. Uma vez que o módulo de solidificação da luva utilizada na simulação é superior ao módulo de solidificação do lingote, o modelo respeita o método de solidificação de Wlodawer<sup>(6)</sup>, direcionando as rechupe/porosidades para a cabeça quente, representado na Figura 5.



**Figura 5** Representação gráfica do seccionamento do lingote para comparação da localização do rechupe no lingote com a presença de cabeça quente e em sua ausência

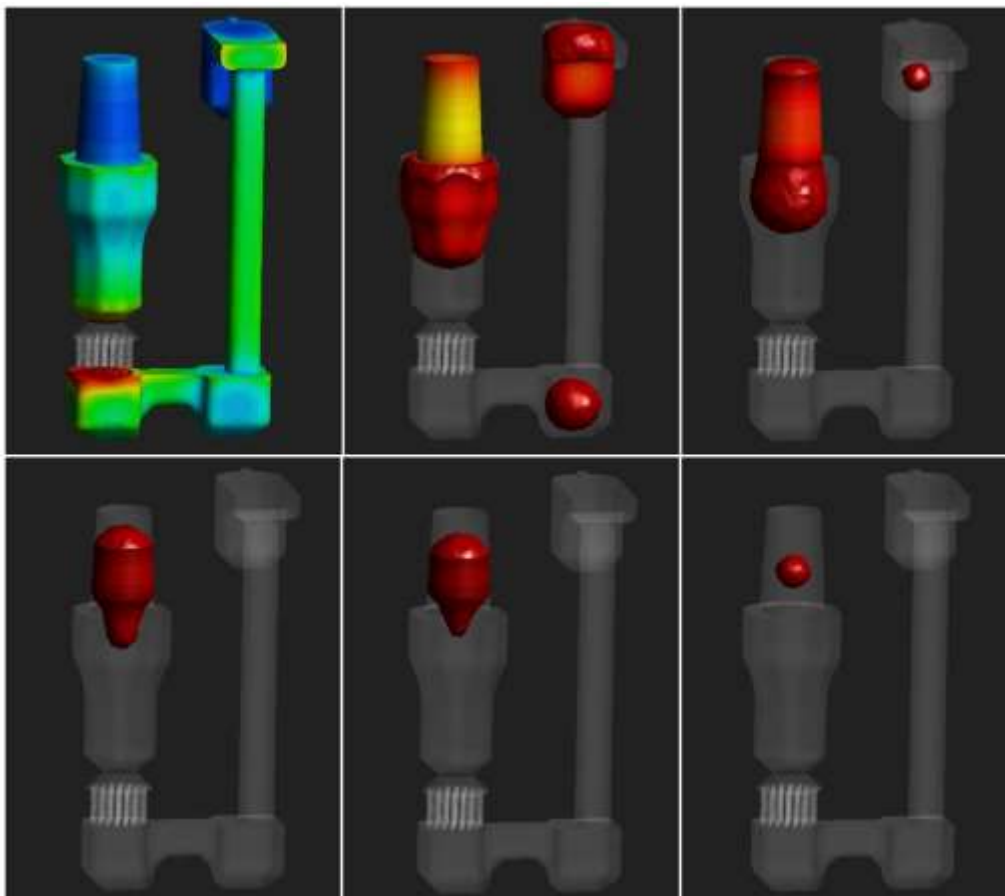


Figura 6 Representação gráfica do avanço da frente de solidificação para o modelo avaliado

### 3.3 Modelo ferramental em madeira

Os resultados das simulações fornecidas pelo software Click2Cast® confirmou as hipóteses levantadas sobre a geometria da peça e dimensionando de canais de alimentação, desta maneira foi fabricado o ferramental para a obtenção dos bolos de areia, tipo cura a frio, para a lingoteira em escala laboratorial, conforme ilustrado na Figura 7.



Figura 7 Ferramental em madeira para obtenção dos moldes e moldes em areia cura frio prontos para vazamento

## 4 CONCLUSÃO

O software se mostrou uma ferramenta útil na previsão de defeitos causados pela solidificação da liga em questão. O uso da cabeça quente e o dimensionamento apropriado da lingoteira foram fundamentais, principalmente, para a obtenção de um lingote livre de porosidades.

Os resultados obtidos foram satisfatórios no âmbito do projeto o que motivou a fabricação de um modelo físico em madeira e de mesma escala, que será utilizado como padrão nos próximos experimentos para avaliação real da liga em questão.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Fundação Luiz Englert, pelo apoio financeiro e a Technik Industria Metalúrgica Ltda pela fabricação do ferramental em madeira.

## REFERÊNCIAS

1. Hahn, I., Schneider M., Terhaar J., Jarolimeck, J., Sauermann, R., Quality Prediction of Cast Ingots, In: International Conference on Ingot Casting, Rolling and Forging; 2012; Aachen, Germany 2012.
2. Zhang, L. & Thomas, B.G. Metall and Materi Trans B (2006) 37: 733. <https://doi.org/10.1007/s11663-006-0057-0e>
3. Hahn I., Hepp E., Improved ingot casting by using numerical simulation, In: International Conference on Ingot Casting, Rolling and Forging; 2012; Aachen, Germany 2012
4. Zhang C., Bao Y., Wang M., Influence of casting parameters on shrinkage porosity of a 19 ton steel ingot, La Metallurgia Italiana (2016) 1: 38-46
5. RICHARD F. HARVEY and CARL H. BRYANT Attorneys United States Patent 01 3,254,867 INGOT MOLD.
6. Wlodawer, R. Directional Solidification os Steel Castings, 1st edition, Pergamon Press Ltd, 1966, 242

# ANÁLISE QUALITATIVA DA RECUPERAÇÃO DE COBRE COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE GALVANIZAÇÃO A FOGO

Kanno, R.<sup>1</sup>

Buzin, P. J. W. K.<sup>2</sup>

Tubino, R. M. C.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eng. Rodrigo Kanno, UFRGS, (rodrigokanno@hotmail.com)

<sup>2</sup> Eng. Dr. Pedro Jorge Walburga Keglevich de Buzin, UFRGS, (pedrobuzin@gmail.com).

<sup>3</sup> Eng. Dra. Rejane Maria Candiota Tubino, UFRGS, (rejane.tubino@ufrgs.br)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo avaliar qualitativamente a recuperação de cobre a partir de uma solução sintética, similar à obtida pela dissolução em meio sulfúrico de placas de circuito impresso descartadas. Esta recuperação é feita com auxílio de resíduos da indústria de galvanização a fogo. Inicialmente, os resíduos são descritos e avaliados para selecionar aqueles que apresentam as condições mais favoráveis para recuperar cobre através de cementação. Esta avaliação se realiza com auxílio de uma solução de acetato de chumbo, visando estimar o teor de zinco metálico dos resíduos de galvanização. Os resultados mostraram o potencial de utilização de alguns resíduos proveniente da indústria de galvanização para a produção de cobre metálico na forma de pó. Como coproduto é produzido uma solução de sulfato de zinco, de onde este sal pode ser recuperado, caracterizando uma recuperação cruzada de metais a partir de dois resíduos.

**Palavras-chave:** Recuperação de cobre; Galvanização a fogo; Resíduo de zinco.

## QUALITATIVE ANALYSIS OF COPPER RECOVERY WITH USE OF HOT-DIP GALVANIZATION INDUSTRY WASTES

### Abstract

This work aims to qualitatively evaluate the copper recovery from a synthetic solution, similar to obtained by dissolution of discarded printed circuit boards in a sulfuric medium. This recovery is done with aid of wastes from the galvanizing industry. Initially, the residues are described and evaluated to select those that present the most favorable conditions to recover copper through cementation. This evaluation is carried out with the aid of lead acetate solution, in order to estimate the metallic zinc content in galvanizing wastes. The results showed the potential use of some residues from galvanizing industry to produce metallic powder copper. A zinc sulfate solution is produced as a by-product from which this salt can be recovered, characterizing a cross-recovery of metals from two residues.

**Key words:** Copper recovery; Hot-dip galvanizing; Zinc waste.

## 1 INTRODUÇÃO

A reciclagem ou recuperação de metais que constituem recursos não renováveis ou escassos na natureza vem sendo estudada com objetivo de buscar soluções para seu reaproveitamento. Estes metais podem ser encontrados em alguns tipos de resíduos industriais e domésticos que muitas vezes são descartados, sem a preocupação de reciclagem. Esta atividade, principalmente no que se refere a metais preciosos, tem recebido o termo de mineração urbana. Os metais encontrados em computadores, em especial nas placas de circuito impresso (PCI) descartadas por obsolescência e resíduos da galvanização a fogo são exemplos de resíduos dos quais é possível a recuperação de metais através de tratamentos específicos. Muitas vezes estes resíduos contêm concentrações metálicas superiores aos minerais comumente obtidos em uma mina de onde são extraídos tais elementos <sup>(1) (2)</sup>.

### 1.1 Resíduos de placas de circuito impresso – PCI

As placas de circuito impresso descartadas são fonte de diversos metais. Seu conteúdo metálico apresenta em torno de 40% de sua massa, sendo o restante composto de polímeros, 30% e os outros 30% na forma de componentes cerâmicos, em PCI de microcomputadores <sup>(3)</sup>.

O ouro é um metal cuja recuperação das PCI é bastante estudada devido ao fato de que seu valor de mercado é superior ao de outros metais, estando também presente em concentrações superiores às encontradas em depósitos minerais <sup>(4) (5)</sup>. Por outro lado, o cobre é o metal que apresenta o maior teor em relação a outros metais das placas de circuito impresso, representando em torno de 20% em massa das PCI provenientes de computadores <sup>(6)</sup>, podendo alcançar valor superior a 34% em massa de cobre nas PCI originadas de aparelhos de celular <sup>(7)</sup>. O cobre e ouro são os metais que apresentam maior quantidade de estudos <sup>(4) (5) (6) (7) (8) (9)</sup>.

A recuperação de metais de placas de circuito impresso apresenta três rotas mais desenvolvidas: (i) hidrometalúrgica; (ii) pirometalúrgica e (iii) biometalúrgica. Na Figura 1 podem ser visualizados os aspectos de placas de PCI descartadas.



Figura 1. Placas de circuito impresso descartadas.  
Fonte: OCAMPO

Em geral, o processo hidrometalúrgico segue uma etapa de pré-tratamento que inclui a cominuição, classificação e separação. A cominuição facilita a exposição do metal e permite a classificação granulométrica e posterior separação da parte metálica da não metálica, por processos eletromagnéticos <sup>(9) (10)</sup>, gravimétrica <sup>(9) (11)</sup> e

eletrostática <sup>(10)</sup>. Após a separação é feito a lixiviação, onde ocorre a solubilização dos metais em meio aquoso com o uso de um ácido <sup>(8)</sup> <sup>(12)</sup> ou uma base <sup>(13)</sup>, sucedida pela precipitação dos metais <sup>(11)</sup>.

O processo pirometalúrgico se caracteriza pela utilização da energia, geralmente proveniente da combustão de combustíveis fósseis. As PCIs para o procedimento não necessitam de um pré-tratamento, mas podem emitir gases tóxicos como dioxinas, furanos e organoclorados <sup>(11)</sup> <sup>(14)</sup>.

O processo biometalúrgico se caracteriza pela utilização de micro-organismos para a lixiviação dos metais das placas de circuitos impressos. A biolixiviação tem sido utilizada em sulfetos metálicos e para recuperar os metais presentes em resíduos eletroeletrônicos <sup>(11)</sup> <sup>(14)</sup> <sup>(15)</sup>.

## 1.2 Resíduos da indústria de galvanização a fogo

Outra fonte produtora de grandes quantidades de resíduos é a indústria de revestimento de zinco à quente, conhecida como galvanização a fogo, onde o zinco é depositado na parte exterior de uma peça metálica de aço, fornecendo uma proteção galvânica e assim evitando sua corrosão <sup>(16)</sup> <sup>(17)</sup>.

A galvanização a fogo é uma das técnicas utilizadas para colocação de uma camada protetora de zinco sobre o aço. Esta técnica é bastante utilizada para recobrimento com zinco de estruturas metálicas que ficarão ao ar livre em razão da possibilidade de colocação de um recobrimento mais espesso de zinco com esta técnica e com boa aderência. O processo, após etapas preparatórias (decapagem, desengraxe, etc...) é efetivado em uma cuba onde o zinco se encontra fundido, em uma temperatura de aproximadamente 450°C. A peça metálica a ser galvanizada é imersa, por um tempo médio de 4 a 5 minutos, ocorrendo o recobrimento da superfície com uma fina camada de zinco, de aproximadamente 0,15 mm, fornecendo uma camada protetiva contra corrosão <sup>(18)</sup> <sup>(19)</sup> <sup>(20)</sup>. Um fluxograma resumido do processo é apresentado na figura 2.



Figura 2. Fluxograma do processo de galvanização.

Esse processo gera resíduos com conteúdo variável de zinco, os quais podem ser recuperados. Os principais resíduos encontrados em estudos são o lodo/lama e as cinzas <sup>(21)</sup> <sup>(22)</sup> <sup>(23)</sup>.

Vários estudos têm sido efetuados para efetivar a recuperação de zinco destes resíduos, também podendo abordar processos piro e hidrometalúrgicos. Na rota hidrometalúrgica verificou-se que soluções de ácido sulfúrico são mais eficientes para recuperação de metais contidos no lodo de galvanização e nos

resíduos de galvanização a fogo, se comparado com o uso da amônia ou carbonato de amônia <sup>(21)</sup> <sup>(22)</sup>.

Considerando a recuperação do cobre das PCI e do zinco dos resíduos de zincagem, verifica-se que os estudos existentes abordam esta reciclagem de forma isolada, considerando os resíduos separadamente. Neste trabalho o objetivo é verificar qualitativamente a possibilidade de utilização de alguns tipos de resíduos da indústria de galvanização a fogo na recuperação de cobre sob a forma metálica a partir de PCIs descartadas.

O processo a ser desenvolvido caracteriza-se por ser uma recuperação cruzada de metais, partindo de dois resíduos. Esta abordagem torna a recuperação ambientalmente mais amigável já que reduz a utilização de produtos químicos e energia. Assim, no caso apresentado, além do cobre na forma de pó metálico, será também gerado um coproduto representado por uma solução de sulfato de zinco, da qual o sulfato sólido pode ser produzido. O sulfato de zinco possui ampla utilização na agricultura como suplementador do micronutriente zinco e também em produtos de alimentação animal, com a mesma função.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar os diversos tipos de resíduos gerados pela indústria de galvanização a fogo, foi feita uma visita a uma indústria deste ramo de atividade, verificando-se as seguintes etapas para o procedimento da galvanização à quente, conforme figura 3.



**Figura 3.** Fluxograma do processo de galvanização da indústria visitada.

Deste processo de galvanização a fogo são produzidos os seguintes resíduos de zinco descritos a seguir:

- Zinco Tipo 1 (figura 4 – A) → advindo do soprador, em processo posterior à imersão da peça;
- Zinco Tipo 2 (figura 4 – B) → originado na coifa localizada acima da galvanização a fogo onde, segundo a literatura, é composto de óxido de zinco, zinco metálico, hidroxocloreto de zinco ( $Zn_5(OH)_8Cl_2 \cdot H_2O$ ) e outros metais <sup>(24)</sup>;

- Zinco Tipo 3 (figura 4 – C) → ocorre do contato da peça com a amônia, na fluxagem, para melhor aderência do zinco;
- Zinco Tipo 4 (figura 4 – D) → decorrente do sobrenadante da cuba de imersão da peça de aço em zinco fundido;
- Zinco Duro (Figura 5 – E) → proveniente do lodo que se forma no fundo da cuba, onde é realizada a imersão do aço para a galvanização a fogo.



**Figura 4.** Resíduos da galvanização a fogo. A – Zinco Tipo 1, B – Zinco Tipo 2, C – Zinco Tipo 3 e D – Zinco Tipo 4.



**Figura 5.** Resíduos da galvanização a fogo. E – Zinco Duro.

O resíduo denominado pela empresa de “Zinco Duro” cuja composição indicada pela literatura contém 90 a 95% de massa de zinco <sup>(25)</sup> não foi considerado devido ao seu significativo valor de revenda e amplo mercado em empresas recicladoras de zinco. Considerando o objetivo desse trabalho que é a recuperação de cobre metálico, foram efetuados testes qualitativos, buscando identificar aqueles com maior potencial de utilização na recuperação de cobre, conforme adiante descrito.

## 2.1 Avaliação dos resíduos

Inicialmente, todos os resíduos (1 a 4) foram cominuídos e classificados em peneira, aproveitando-se a fração passante de 0,25 mm (60 mesh). Em seguida uma massa de 0,5 grama de cada resíduo foi colocado em um copo becker de 50mL. Na sequência foi adicionado 10mL de uma solução de 5% em massa de sulfato de cobre, aquecendo sob agitação por 30 minutos a 50°C. Após o resfriamento das



soluções verificou-se o aspecto visual das amostras, identificando-se a presença de precipitado metálico. Em seguida foi adicionado 20mL de solução 10% de ácido sulfúrico em cada amostra, buscando eliminar óxidos metálicos e salientar a geração de cobre metálico, o qual apresenta coloração característica (cor de tijolo). Neste experimento os resíduos que apresentaram visualmente maior produção de cobre foram escolhidos para os testes posteriores.

## **2.2 Avaliação do teor de zinco metálico no resíduo**

Outro experimento realizado determinou a concentração aproximada de zinco metálico presente nos resíduos mais promissores. Esta avaliação foi feita com utilização de uma solução de acetato de chumbo trihidratado -  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  a 10%, a qual precipita chumbo em contato com zinco metálico, na razão de uma parte de chumbo por uma parte de zinco metálico, em termos de massas atômicas.

Uma amostra de 1 grama dos resíduos de zinco tipo 1 e 2 foi adicionada a 60mL da solução de acetato de chumbo e aquecida por 1 hora em temperatura de 50°C. Após o aquecimento a amostra foi drenada e lavada diversas vezes com água destilada, objetivando a remoção de qualquer contaminante e solução residual de acetato de chumbo. Após, realizou-se outra lavagem com ácido sulfúrico a 10%. Novamente se aqueceu a solução para dissolução de óxidos metálicos residuais que não reagiram. O precipitado de chumbo metálico foi lavado, filtrado e colocado para secar em estufa, sendo ao final pesado.

## **2.3 Ensaio de recuperação de cobre**

Nos resíduos que apresentaram resultados mais promissores uma análise em maior escala foi realizada, estudando a recuperação do cobre com a utilização de resíduos da galvanização a fogo. Usou-se uma massa de 5 gramas do resíduo com adição de 400mL de solução a 10% de  $\text{CuSO}_4$ , sob aquecimento (50°C) e agitação, pelo período de 1 hora. Após esse período, resfriou-se a solução e adicionou-se 10mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , sob agitação. Posteriormente filtrou-se a solução e lavou-se o filtro com uso de água destilada. Em seguida, com a remoção da solução de sulfato de zinco e o ácido residual, realizou-se a lavagem com utilização de água com um tensoativo, objetivando que o cobre não sofresse corrosão. Após, transferiu-se o material do filtro para uma placa de petri e secou-se as amostras. Finalmente a massa de cobre seco foi pesada.

# **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

## **3.1 Escolha dos resíduos mais promissores**

No primeiro experimento realizado com 0,5 grama de cada resíduo de zinco com adição de 10mL de sulfato de cobre a 5% e 20mL de ácido sulfúrico a 10%, verificou-se que os resíduos do Tipo 1 e 2 apresentaram uma maior reação em contato com o sulfato de cobre, depositando cobre no fundo do copo de becker, conforme figura 6. Com a adição de ácido sulfúrico foram eliminadas impurezas. (figura 7). Conforme as figuras 6 e 7, é possível observar que o cobre está presente nas amostras do Tipo 1 e 2. A amostra 3 apresentou um pouco de cobre depositado. Na amostra do Tipo 4 não foi verificada nenhum cobre. Por essa razão os resíduos

de Zinco do Tipo 1 e 2 foram utilizados para os experimentos posteriores, não sendo utilizados os resíduos de Zinco do Tipo 3 e 4 na sequência do estudo.

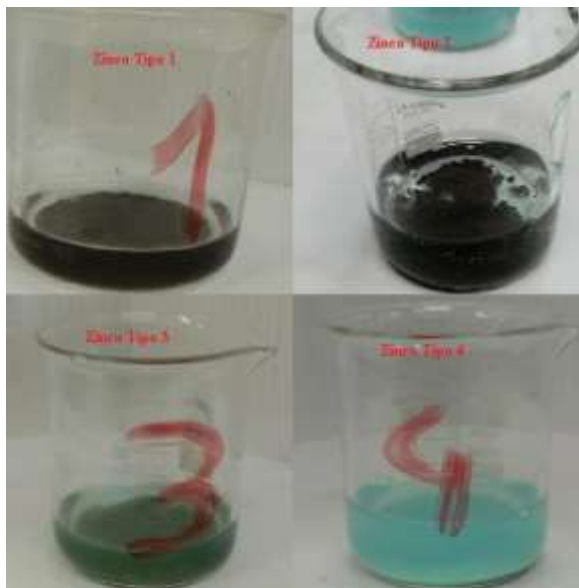


Figura 6. Amostras de Resíduos com adição de 10 mL de Sulfato de Cobre.

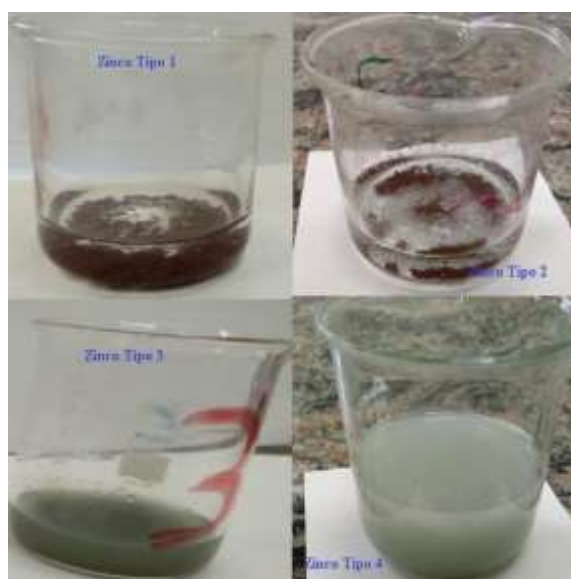
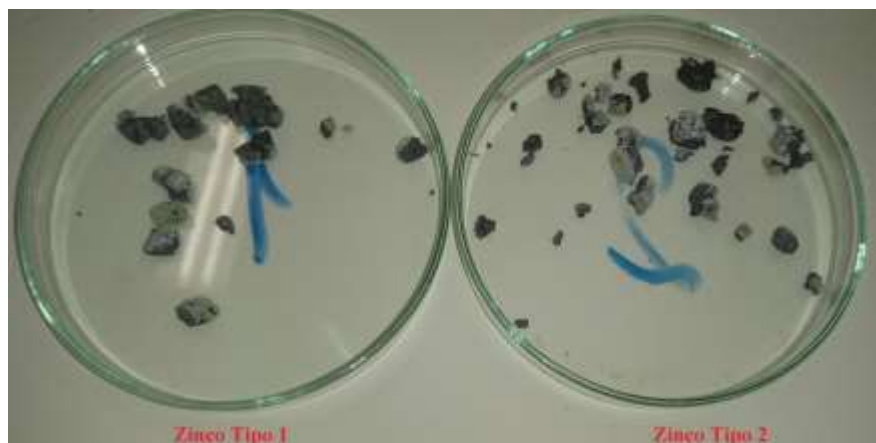


Figura 7. Amostras após adição de ácido sulfúrico.

### 3.2 Avaliação do teor de zinco metálico com solução de acetato de chumbo

Após a secagem dos produtos das reações dos resíduos de zinco do Tipo 1 e 2 com a solução de acetato de chumbo, respectivamente (figura 8), efetuando os cálculos, observou-se os percentuais aproximados de zinco metálico para o resíduo de zinco do Tipo 1 e do Tipo 2 (Tabela 1). Os erros desta aferição são devidos principalmente à pequena oxidação do chumbo durante a secagem.



**Figura 8.** Chumbo precipitado pela reação de cementação.

**Tabela 1.** Massa de chumbo precipitada e percentual equivalente de zinco metálico.

	<b>Massa de chumbo</b>	<b>% de zinco metálico</b>
Resíduo tipo 1	2,844	89,7
Resíduo tipo 2	2,753	86,9

Avaliando-se os resultados obtidos, verifica-se o percentual significativo de zinco metálico nos resíduos do Tipo 1 e 2, tornando-os potencialmente aptos à sua utilização em reações de cementação em meio aquoso de metais mais nobres que o zinco.

### 3.3 Resultado do ensaio de recuperação de cobre

O resultado visual da recuperação de cobre pode ser observado na Figura 9, onde é mostrado a reação dos resíduos com a solução de sulfato de cobre e na Figura 10, onde se observa mais nitidamente o cobre na forma de pó, após a remoção de impurezas e óxidos não reagidos pela solução de ácido sulfúrico. Na parte líquida encontra-se dissolvido o sulfato de zinco proveniente da reação de cementação, onde o cobre se deposita e o zinco passa à solução na forma de sulfato.



**Figura 9.** Reação dos resíduos de zinco tipo 1 e 2 com solução a 10% de sulfato de cobre.

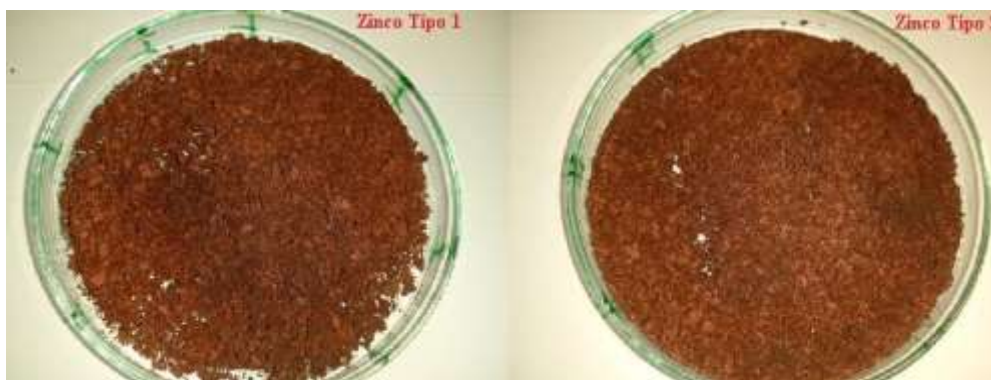


**Figura 10.** Cobre depositado com resíduo de zinco após ataque com ácido sulfúrico.

Na Tabela 2 encontra-se os dados de recuperação de cobre correspondente aos resíduos do Tipo 1 e Tipo 2. Na Figura 11 observa-se o aspecto do cobre recuperado com o procedimento. Com esses resultados observou-se a possibilidade de utilização de resíduos da indústria da galvanização a fogo para recuperação de cobre.

**Tabela 2.** Massa de chumbo precipitada e percentual equivalente de zinco metálico.

	<b>Cobre recuperado (g)</b>
Resíduo tipo 1	4,133
Resíduo tipo 2	4,255



**Figura 11.** Aspecto do cobre recuperado por cementação a partir dos resíduos Tipo 1 e Tipo 2.

#### **4 CONCLUSÃO**

De acordo com os resultados obtidos nas análises foi possível observar que:

- Os resíduos da indústria da galvanização a fogo advindos do soprador (Tipo1) e da coifa (Tipo 2), apresentaram melhores resultados, determinando sua utilização nos experimentos;
- Na análise da fração metálica de zinco com acetato de chumbo o valor encontrado foi superior a 86% de zinco metálico presente nos resíduos Tipo 1 e Tipo 2, originados da galvanização a fogo;

- A recuperação de cobre a partir da solução sintética foi possível com a utilização das duas amostras escolhidas. Sendo o resíduo do Tipo 2 o que apresentou maior quantidade de cobre recuperado.

Em um segundo momento, esse experimento deve ser realizado com soluções contendo cobre originadas de placas de circuito impresso obsoletas para comprovar a eficácia do modelo adotado, visando a recuperação de cobre e produção de sulfato de zinco.

## REFERÊNCIAS

1. BONIFAZI, G.; COSSU, R. The Urban Mining concept. Waste Management, 2013.
2. COSSU, R.; WILLIAMS, I. D. Urban mining: Concepts, terminology, challenges. Waste Management , n. 45, p. 1-3, 2015.
3. GRECO, N. R. et al. Recuperação dos metais presentes em placas de circuito impresso. São José dos Campos – SP: 6º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. 2015.
4. IMRE-LUCACI, Á. et al. Technical and environmental assessment of gold recovery from secondary streams obtained in the processing of waste printed circuit boards. Chemical Engineering Journal, 2016.
5. LEKKA, M. et al. Gold recovery from Waste Electrical and Electronic Equipment by electrodeposition: A feasibility study. Hydrometallurgy, 2015.
6. XUA, Y.; LIA, J.; LILILUA. Current status and future perspective of recycling copper by hydrometallurgy from waste printed circuit boards. The Tenth International Conference on Waste Management and Technology (ICWMT). [S.I.]: Procedia Environmental Sciences 31. p. 162 – 170, 2016.
7. SCHLEMMER, D. F. et al. Recuperação de cobre de placas de circuito impresso esgotadas a partir de extração com co2 supercrítico. XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Campinas - SP: [s.n.]. 2015.
8. OCAMPO, E. J. M. F. Produção de pó de cobre eletrolítico a partir de resíduos de placas de circuito impresso. [S.I.]. 2017.
9. VENTURA, E. A. C. C. Tese Mestrado - Estudo de Processos Físicos para Recuperação de Metais de Placas de Circuito Impresso. [S.I.]. 2014.
10. VEIT, H. M. et al. Recovery of copper from printed circuit boards scraps by mechanical processing and electrometallurgy. Journal of Hazardous Materials B137. p. 1704–1709 , 2006.
11. GERBASE, A. E.; OLIVEIRA, C. R. D. RECICLAGEM DO LIXO DE INFORMÁTICA: UMA OPORTUNIDADE PARA A QUÍMICA. Quimica Nova, v. 35, n. 7, p. 1486-1492, 2012.
12. HANAFIA, J. et al. Material Recovery and Characterization of PCB from Electronic Waste. International Conference on Asia Pacific Business Innovation and Technology Management, 2012.
13. GUO, X. et al. Recovery of metal values from waste printed circuit boards using an alkali fusion–leaching–separation process. Hydrometallurgy , v. 156, p. 199- 205, 2015.
14. CUI, J.; ZHANG, L. Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review. Journal of Hazardous Materials, p228–256, 2008.
15. SIMONE DI PIAZZA A, G. C. et al. Penicillium expansum Link strain for a biometallurgical method to recover REEs from WEEE. Waste Management, 2016.
16. GENTIL, V. Corrosão. 3ª. ed. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996.

17. MAAß, P.; PEIßKER, P. Handbook of Hot-Dip Galvanization. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2011.
18. VINTER, S. et al. Stabilization/solidification of hot dip galvanizing ash using different binders. Journal of Hazardous Materials, p. 105–113, 2016.
19. SHIBLI, S. M. A.; MEENA, B. N.; REMYA, R. A review on recent approaches in the field of hot dip zinc galvanizing process. Surface & Coatings Technology, 2014.
20. SHIBLI, S. M. A.; MEENA, B. N.; REMYA, R. A review on recent approaches in the field of hot dip zinc galvanizing process. Surface & Coatings Technology, 2015.
21. SILVA, J. E. et al. Leaching behaviour of a galvanic sludge in sulphuric acid and ammoniacal media. Journal of Hazardous Materials, n. B121 , p. 195–202, 2005.
22. HUYEN, P. T. et al. Electrochemical copper recovery from galvanic sludge. Hydrometallurgy, n. 164, p. 295–303, 2016.
23. NG, K. S. et al. A multilevel sustainability analysis of zinc recovery from wastes. Resources, Conservation and Recycling, 2016.
24. DVORČ, P.; JANDOVA, J. Hydrometallurgical recovery of zinc from hot dip galvanizing ash. Hydrometallurgy 77, 2005.
25. PINTO, F. M. - Resíduo de Lodo Galvânico: Caracterização, Tratamento, Recuperação e Reuso. Tese (Mestrado), 2012.

## E.F.3D - EXTRUSORA DE FILAMENTO PARA IMPRESSORAS 3D

de Moraes, S. T.<sup>1</sup>

Cunha, L. E.<sup>2</sup>

Böesch Jr., P. R.<sup>3</sup>

dos Santos, L. G. F.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Estudante do Curso de Mecatrônica em nível Técnico, Samuel Toillier de Moraes, IFSul Charqueadas, samuca366@gmail.com

<sup>2</sup> Estudante do Curso de Mecatrônica em nível Técnico, Lucas Esteves Cunha, IFSul Charqueadas, lucas.esteves4589@gmail.com

<sup>3</sup> Professor Tecq<sup>o</sup> Paulo Ricardo Böesch Júnior, IFSul Charqueadas, pauloboesch@charqueadas.ifsul.edu.br

<sup>4</sup> Professor Msc. em Ensino de Ciências Exatas, Luís Gustavo Fernandes dos Santos, IFSul Charqueadas, gustavofs@charqueadas.ifsul.edu.br

### Resumo

O projeto visa o desenvolvimento/construção de um protótipo referente a uma extrusora de polímeros de pequeno porte, para ser usada no processamento de pellets de polímero virgem de Ácido Polilático (PLA) e/ou Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) na forma de filamentos com propriedades e características similares aos vendidos comercialmente, para o uso em impressoras de prototipagem 3D. O desenvolvimento do protótipo apresenta duas vertentes - mecânica e eletroeletrônica - à mecânica prevê a modelagem por meio de software CAD (*Computer Aided Design*) e a fabricação de componentes por processos de usinagem; a eletroeletrônica preconiza a utilização de um controlador universal de processos (Novus - 1100), responsável por gerenciar a temperatura e tornar o processo de injetar filamento automatizado. Ademais, considerando a tecnologia de manufatura aditiva (AM - *Additive Manufacturing*) aplicada pelo processo denominado Modelagem por Fusão e Deposição (FDM - *Fused Deposition Modeling*), na impressão 3D, possuem relevância na prototipagem e posteriormente pode ser utilizado em pesquisa e inovação, principalmente no meio acadêmico, portanto espera-se que o protótipo seja capaz de produzir filamentos com boa qualidade e com custo reduzido, tornando possível que o processo possa ser aplicado amplamente.

**Palavras-Chave:** Extrusora; Filamento; Polímeros; Impressora 3D.

### E.F.3D - FILAMENT EXTRUDER FOR 3D PRINTERS

#### Abstract

The project aims at the development/construction of a prototype for a small polymers extruder, to be used in the processing of virgin Polymic Acid (PLA) and/or Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) pellets in the form of filaments with similar properties and characteristics of commercially sold products, for use in 3D prototyping printers. The development of the prototype presents two aspects -

mechanical and electronic - the mechanical provides a modeling through CAD software (Computer Aided Design) and the manufacturing of components by machining processes; the electronic advocates the use of an universal process controller (Novus - 1100), responsible for managing the temperature and making the injection process automated. In addition, considering the additive manufacturing technology (AM) applied to the process called Fusion Modeling and Deposition (FDM), in 3D printing, make possible insofar as the technology is used in research and innovation, mainly in the academic middle, then, it is expected that the prototype be capable of producing filaments of good quality and with reduced cost, making possible the process to be applied broadly.

**Key words:** Extruder; Filament; Polymers; 3D Printer.

## 1 INTRODUÇÃO

A idealização do projeto denominado de “E.F.3D – Extrusora de Filamento” se originou no momento em que as impressoras 3D entraram em funcionamento no Câmpus Charqueadas. Logo, na aquisição destas, houve a necessidade de comprar cartuchos com filamentos extras para manter trabalhos e pesquisas no Câmpus. Nesse sentido, foi idealizado construir uma extrusora de pequeno porte, capaz de produzir filamentos com propriedades e características similares às dos cartuchos comerciais, refletindo na possibilidade de redução do orçamento dos Câmpus na aquisição deste material de consumo.

Para tanto, a indústria de impressão 3D está cada vez mais presente na vida de todos. Esta tecnologia tem sido adotada não só pela indústria, mas também pelo mercado doméstico e pelo meio acadêmico. Trata-se de uma tecnologia de produção relativamente recente, com cerca de 30 anos, que utiliza um processo de manufatura aditiva (AM - *Additive Manufacturing*), por meio da deposição de material para a fabricação de peças (PEDROSA, 2015).

O processo de AM foi concebido e empregado na fabricação de protótipos para visualização, sem grandes exigências de precisão e resistência. Desta aplicação surgiu o termo prototipagem rápida (RP - *Rapid Prototyping*). Com a popularização do processo surgiram, no entanto, novas aplicações e novas exigências às peças fabricadas por AM. Estas passaram a ser empregados também pela engenharia para testes funcionais, devendo suas propriedades se assemelhar às peças que seriam posteriormente produzidas pelo processo definitivo de fabricação. Da necessidade de maior quantidade de peças protótipo, surgiu a aplicação da AM para a fabricação de ferramental, conhecida como Ferramental Rápido (RT - *Rapid Tooling*). Posteriormente, a aplicação da AM como processo definitivo de fabricação das peças deu origem ao termo manufatura rápida (RM - *Rapid Manufacturing*), (VOLPATO e CARVALHO, 2007).

Um dos processos populares de AM, denominado Modelagem por Fusão e Deposição (FDM - *Fused Deposition Modeling*), tornou-se objeto frequente de pesquisa e desenvolvimento. Neste, a fabricação do modelo é feito pela extrusão de um filamento polimérico fundido preenchendo as camadas e formando a peça (KRETSCHKE, 2013). O material fundido é distribuído sobre a plataforma de impressão de acordo com o desenho introduzido no sistema. Após completar a primeira camada, a cabeça de extrusão sobe a distância correspondente à altura da camada depositada e repete o processo até a peça estar concluída (PUPO e CELANI, 2008).



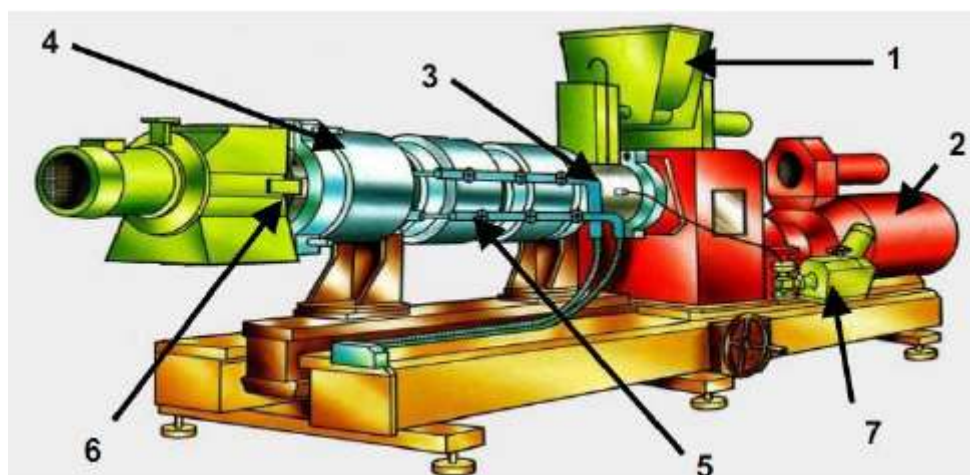
Conforme ilustrado, no processo FDM a alimentação do material no equipamento é feita em forma de um filamento, o que torna esta forma de alimentação difícil quanto à aquisição de matéria-prima pela exigência do pré-processamento do material para um filamento. Além disso, o Brasil, por ser importador desses equipamentos, está sujeito aos altos custos de aquisição e manutenção, o que acaba onerando sua operação e, por consequência, limitando seu emprego (BELLINI e GÜÇERI, 2003 ; PETRUSCH et al., 2007).

As impressoras 3D disponíveis no mercado tem seu funcionamento baseado no processo FMD que utiliza filamentos, estes são produzidos pelo processo de extrusão de termopolímeros (matéria prima semiacabada).

De acordo com Abdel-Bary (2003), a extrusão de termoplásticos é um processo de transformação plástica com função de fundir e bombear o polímero através de um orifício para uma posterior fase de processo, normalmente uma moldagem do material.

As máquinas de extrusão utilizam uma matriz vazada para moldar produtos acabados ou semiacabados, diferindo de outros processos por este ser contínuo. O objetivo final da extrusão, mencionado por Faria et al. (2007) visa à fabricação de produtos com dimensões controladas (tubos, fios, filmes, chapas, etc.)

Logo, a Extrusora deve ser composta por sistema de alimentação, que fornece energia mecânica ao sistema (necessário para transportar o polímero fundido e viscoso e bombeá-lo até a matriz); um sistema redutor, que diminui a alta rotação do motor e sistema de alimentação (pois a alta rotação impede o uso da rosca diretamente com o motor, o que causaria um aquecimento excessivo ao polímero, além de uma pressão muito alta no canhão); um sistema de alimentação composto por funil e boca de alimentação; um barril e uma rosca (CANTOR, 2006). A Figura 1 ilustra uma extrusora e seus componentes.



**Figura 1** - Uma extrusora normalmente usada no bombeamento e fusão de polímeros com seus componentes principais: (1) Funil de Alimentação; (2) Motor de acionamento da rosca; (3) Barril; (4) Aquecedores do barril; (5) Sistema de refrigeração; (6) Matriz da extrusora; (7) Bomba de Água. (VIGNOL, 2006).

Dentre os componentes apresentados que compõe uma extrusora, a rosca apresenta relevância por ser responsável por transportar, amolecer, homogeneizar e plastificar o polímero (ABDEL-BARY, 2003). Logo, seu movimento e cisalhamento sobre o material, gera cerca de 80% da energia térmica e mecânica necessária para transformar os polímeros, no entanto a outra parcela da energia é obtida por meio de mantas aquecedoras externas. Ademais, dependendo do processo envolvido, a

extrusora necessita de entradas para líquidos e saídas para os gases (WIEBECK e HARADA, 2005; FARIA et al., 2007).

Outrossim, existem máquinas extrusoras de rosca única, mencionadas por Richart (2013) como monorosca e máquinas com dupla rosca, que devem ser projetadas de tal maneira que sua geometria e elementos de rosca promovam a máxima eficiência, vazão constante, plastificação e homogeneização adequadas sem danos ao polímero, alinhadas com a durabilidade da mesma.

As roscas são divididas em três seções: a seção de alimentação, a seção de transição e a de dosagem. A compressão da rosca é quantificada em função da taxa de compressão, que depende do tipo de polímero e da densidade aparente (MANRICH, 2005). A taxa de compressão é igual à profundidade do canal de alimentação dividido pela profundidade do canal de dosagem. Outra relação geométrica importante é a taxa L/D (do inglês, "*length*" e "*diameter*"), comprimento da rosca dividido por seu diâmetro (BAIRD ; COLLIAS, 1998).

A matriz ou bocal de extrusão determina a forma e o tamanho do filamento extrudado. Um bocal de diâmetro maior permite que o material flua rapidamente e com facilidade, porém resulta em um produto final com menor precisão, já que a precisão da peça está diretamente relacionada com o diâmetro do filamento extrudado. É importante ressaltar que o filamento não possui exatamente a geometria do bocal. Devido, principalmente, aos efeitos de viscoelasticidade dos polímeros, ocorre um efeito chamado de Inchamento do Extrudado, no qual o polímero aumenta de tamanho devido às relaxações de tensões. Assim, o tamanho do filamento pode ser função da geometria do bocal, da vazão, da pressão, da temperatura de processamento, dentre outros fatores (MANRICH, 2005).

Qual a forma de baratear a impressão 3D? Uma das formas seria produzir filamento próprio. Nesse sentido, o presente projeto visa a elaboração e construção de uma extrusora, capaz de produzir filamentos para a utilização na prototipagem 3D. Utilizar-se-á pellets de polímero virgem de Ácido Polilático (PLA) e/ou Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS).

O objetivo deste projeto é construir um protótipo de extrusora de polímeros de pequeno porte, capaz de produzir filamento polimérico, para ser utilizado em impressoras de prototipagem 3D. Possibilitando que a prototipagem seja aplicada como ferramenta tecnológica beneficiando o ensino e a pesquisa dentro da instituição. Tem-se como objetivos específicos:

- Desenvolvimento e construção de uma matriz de extrusão capaz de produzir filamentos com o dimensional adequado;
- Projetar e construir a estrutura mecânica do equipamento, observando proteção de partes móveis e aquecidas;
- Construir um sistema de redução mecânico, responsável por diminuir a rotação do motor;
- Projetar e construir um controlador de velocidade eletrônico para o motor, para obter ajuste preciso tornando possível o processamento do termoplástico;
- Parametrizar adequadamente o controlador de temperatura, levando-se em conta as informações de processamento do material;

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os processos de extrusão serão constantemente revisitados ao longo de todo o projeto, haja vista a utilização dos materiais ABS e PLA e conseqüentemente o desenvolvimento dos componentes que irão compor o protótipo da extrusora. Os processos serão guiados pelos docentes com formação na área de Tecnologia em Fabricação Mecânica que possuem conhecimento em processos de transformação de polímeros e construção de moldes e matrizes, e pelos docentes com pós-graduação em Ciências dos Materiais.

O projeto da rosca plastificadora será realizado em *software* de Desenho Assistido por Computador (CAD), com base nas informações coletadas na pesquisa realizada anteriormente, considerando-se os materiais que serão processados pela extrusora e capacidade de carga exigida pelo processo.

A matriz de extrusão será projetada observando o dimensional do filamento a ser produzido, considerando os efeitos de viscoelasticidade dos polímeros, que causam o Inchamento do Extrudado, processo no qual o polímero aumenta de tamanho devido às relaxações de tensões, tornando necessários testes posteriores para adequação das dimensões finais.

Será modelada em *software* CAD a estrutura mecânica que dará suporte a montagem do equipamento, bem como as peças necessárias para funcionamento deste, além do funil de alimentação. Na modelagem serão planejadas as proteções necessárias para as partes aquecidas e móveis do equipamento.

Após a finalização do projeto no *software* CAD, o mesmo será detalhado para a produção dos componentes mecânicos. O método de fabricação dos componentes mecânicos será principalmente a usinagem, e os materiais utilizados serão aço ABNT1020, ABNT1045, ligas de alumínio, ligas de latão, aço inoxidável e aço ferramenta. O funil de alimentação da matéria prima será confeccionado com chapa de aço calandradas e soldadas.

O sistema de redução mecânica do motor terá sua dimensão calculada com relação a rotação do motor a ser utilizado (índice de redução), ainda será estudado se serão usados o sistema de polias e correias, correntes e rodas dentadas ou polias e correia sincronizada.

O sistema de refrigeração será desenvolvido, de forma a manter uma boa precisão dimensional do filamento extrusado, inicialmente será testado o resfriamento por convecção forçada.

Uma listagem dos materiais será elaborada e os mesmos serão separados caso sejam itens de mercado e preparados para a confecção dos componentes caso estes sejam usinados por exemplo.

Os sistemas elétricos serão simulados por meio de *software* a fim de dimensionar o circuito elétrico destinado ao controle de velocidade do motor de corrente contínua (CC). Posteriormente este controle eletrônico, será desenvolvido para o motor por meio de modulação por largura de pulso (PWM). Este controle poderá se utilizar o circuito integrado 555, ou mesmo a plataforma Arduino. Porém na etapa de desenvolvimento da parte de eletrônica de potência poderá ser utilizado um transistor de potência para melhor satisfazer esta finalidade. Os testes serão feitos em uma matriz de contatos e conseqüentemente a montagem será feita de forma permanente em placa cobreada.

O controle de temperatura será realizado por meio de um controlador universal de processos, que é um equipamento parametrizável que tem como uma das funções a de controlar a temperatura (forno, câmara fria entre outros), este equipamento permite utilizar técnicas de controle liga/desliga (*ON/OFF*) ou mesmo Proporcional Integral Derivativo (PID). Neste equipamento será ligado o sensor de

temperatura termopar Tipo K (Cromel/Alumel) ou mesmo a termorresistência PT-100. Após testes com estes dois sensores, será verificada a eficácia e então se escolherá um destes. Este ficará no ponto de junta quente, ou seja, em contato com a resistência elétrica responsável por manter o material que foi plastificado pela rosca na temperatura de processamento do polímero.

Ainda referindo-se ao controlador universal de temperatura, neste serão feitas as conexões do sensor de temperatura, porém o resistor deveria ser ligado neste equipamento também, como a corrente de saída poderá ser alta, foi prevista a possibilidade de não colocá-lo diretamente nele, mas será ligada por meio de um componente eletrônico denominado de Relé de Estado Sólido (SSR). Este componente traz consigo a característica de comutar correntes elétricas sem que haja picos de tensão.

Serão usinados a rosca plastificadora, a matriz de extrusão e o barril, sendo estes confeccionados por meio de torneamento, enquanto os demais componentes serão obtidos por meio dos processos de serramento, fresagem, soldagem e calandragem.

Após a usinagem dos componentes será possível realizar a montagem mecânica dos componentes, fixação do motor, sistema de redução e sistema de refrigeração. Posteriormente será realizada a montagem dos componentes referentes a parte elétrica, bem como dos sensores de controle, após isso, serão realizados testes preliminares do funcionamento da extrusora ainda sem o material. Somente então serão realizados os primeiros testes com os polímeros ABS e PLA, partindo dos parâmetros informados pelo fabricante da matéria prima, também será avaliada a dimensão do filamento, e sua variação dimensional.

Com base nos resultados dos primeiros testes serão ajustadas as dimensões da matriz de extrusão, podendo ser necessária à confecção de nova matriz, e também adequação dos parâmetros de processo com base nos defeitos de processamento que possam vir a ser percebidos nos testes.

Após redefinição dos parâmetros de trabalho será produzida uma pequena quantidade de filamento para ser usada em teste na impressora 3D. Caso seja necessário serão realizados novos ajustes no processo de extrusão.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A partir do desenvolvimento da Extrusora de filamentos, espera-se potencializar a produção de protótipos feitos com as impressoras 3D do Câmpus, visando relação custo-benefício. Tornando a impressão 3D acessível aos projetos dos alunos. Tornando o processo de impressão 3D uma das principais atividades realizadas no Câmpus, principalmente na confecção de peças, devido ao fato de se ter a matéria-prima acessível de uma forma mais econômica para a instituição, além de alavancar a produção de peças complexas, as quais não seriam possíveis nos processos de fabricação mecânica tradicionais. Outro fato importante, é que a popularização da impressão 3D no Câmpus vai ser mais um estímulo para o aprimoramento do aprendizado de ferramentas CAD, visto que o uso destas ferramentas é um dos pilares para a fabricação de peças em impressoras 3D.

### **4 CONCLUSÃO**

Tendo em vista o desenvolvimento e desempenho do projeto, se faz possível concluir que a máquina confeccionada beneficia o campus no qual ela está inclusa,

no meio financeiro e didático, de maneira a facilitar a compra de material para confecção de peças impressas em PLA ou ABS nas impressoras 3D, que por consequência beneficia os alunos que desfrutam da tecnologia, aprimorando seus conhecimentos em CAD para exportar peças para a impressão de mais fácil acesso. A Extrusora por trabalhar com polímeros acrescenta bagagem de conhecimento para os alunos envolvidos, tanto na confecção, no uso e na criação de projetos a partir da mesma, por envolver os discentes na modelagem e conformação de materiais não metálicos usados em escala, no qual atualmente não se encontra sendo o foco do curso. A possibilidade de trabalhar-se com polímeros recicláveis não é descartada, com exemplo do PET, podendo ser foco de aprimoramento da Extrusora para futuros trabalho de pesquisa do campus.

## **Agradecimentos**

Agradecemos à PROPESP IFSul.

## **REFERÊNCIAS**

1. PEDROSA, T. F.S. **Conceção e desenvolvimento de equipamento de extrusão de filamento para impressora 3D**. Dissertação (Engenharia Mecânica) – FEUP - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto - Portugal, 2015
2. VOLPATO, N.; CARVALHO, J. **Capítulo 1 – Prototipagem Rápida como processo de Fabricação**, in VOLPATO, N. (Ed.); **Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2007.
3. KRETSCHKE, D.; VOLPATO, N.; FORGIATTO, J. A.; GANDELMAN, A. D. B. **Estudo do princípio de extrusão por êmbolo com alimentação granulada para manufatura aditiva**. 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – 7º COBEF. Penedo, Itatiaia-RJ. 2013.
4. PUPO, R.; CELANI, G. **Implementando a fabricação digital e a prototipagem rápida em cursos de arquitetura: dificuldades e realidades**, XIV Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura - CCIA. Havana - Cuba, 2008.
5. BELLINI, A.; GÜÇERI, S. **Mechanical characterization of parts fabricated using fused deposition modeling**, Rapid Prototyping Journal, v.9, n.4, p.252-264, 2003.
6. PETRUSCH, G.; SILVA, J. V. L.; VOLPATO, N.; AHRENS, C. H.; CARVALHO, J. **Capítulo 7 – Realidade, desafios e perspectivas**, in VOLPATO, N. (Ed.); **Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2007.
7. ABDEL-BARY, E. M. **Handbook of Plastic Films**. Shrewsbury: Rapra Technology Limited, 2003.
8. FARIA, T. D. M.; BARTOLI, J. R.; ITO, E. N.; NUNES, C. C. **Preparação e caracterização morfológica de nanocompósitos a base de copolímeros estireno-isopreno-estireno (SIS) e argilas montmorilonitas organofílicas**. Anais do 9º Congresso Brasileiro de Polímeros, Campina Grande, Paraíba, 2007.

9. CANTOR, K. **Blown film extrusion: an introduction**. Munique: Carl Hanser Verlag, 2006.
10. VIGNOL, L. de C. **Desenvolvimento de modelos simplificados para o estudo da extrusão de polímeros**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
11. WIEBECK, H.; HARADA, J. **Plásticos de engenharia: tecnologia e aplicações**. ed. Artliber, São Paulo, 2005.
12. RICHART, F. S. **Influência do processamento na preparação de composto PEAD/PEBDL/Argila organofílica para utilização em equipamentos para o setor elétrico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais - PIPE. Setor de Tecnologia Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
13. MANRICH, S. **Processamento de termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. São Paulo: Ed. Artliber, 2005.
14. BAIRD, D. G.; COLLIAS, D. I. **Polymer processing: principles and desing**. New York: Wiley & Sons, 1998.

## MELHORIA DOS RESULTADOS DA ÁREA DE MANUTENÇÃO COM A APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA ANÁLISE E SOLUÇÃO DE FALHAS EM ELEVADORES

Silva, J.G.<sup>1</sup>

Santini, B.<sup>2</sup>

De Barba Jr., D.J.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, Jadir Gedoz da Silva, IFSul, [jadirdgs@gmail.com](mailto:jadirdgs@gmail.com)

<sup>2</sup> Doutora, Berenice Santini, IFSul, [bsantini@sapucaia.ifsul.edu.br](mailto:bsantini@sapucaia.ifsul.edu.br).

<sup>3</sup> Doutor, Durval João De Barba Jr., IFSul, [debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br](mailto:debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br).

### Resumo

As empresas do ramo de elevadores precisam investir na qualidade dos serviços de assistência técnica para que, no momento da venda do equipamento, este seja um fator diferencial na escolha da marca pelo cliente. Com resultados insatisfatórios do departamento de manutenção da empresa estudada, novas estratégias de gestão foram pensadas para melhorar os resultados, aumentar a satisfação dos clientes e garantir a competitividade comercial. O objetivo deste estudo é aplicar algumas ferramentas da qualidade para analisar e eliminar falhas nos elevadores, provendo soluções efetivas na redução do número de manutenções corretivas e na melhoria dos indicadores. A metodologia utilizada seguiu o ciclo PDCA e as principais ferramentas utilizadas foram o diagrama de Pareto, os cinco porquês e o plano de ação. Após a aplicação das ferramentas da qualidade, o número de chamados de manutenção corretiva reduziu em aproximadamente 53% e as metas estabelecidas foram atingidas. Com isso, a metodologia proposta foi padronizada oficialmente nos procedimentos da área da manutenção da empresa, para garantir a continuidade das melhorias, o atingimento de metas futuras mais arrojadas e o fortalecimento das relações comerciais com os clientes.

**Palavras-chave:** Manutenção. Ferramentas da qualidade. Elevadores.

### Abstrac

*The elevator industry companies need to invest on technical services quality so that, at the time of the sale of the equipment, it is a differential factor for the customer's brand choice. With unsatisfactory results from the maintenance department of the company studied, new management strategies were developed in order to generate results, increase customer satisfaction and ensure commercial competitiveness. The objective of this study is to apply some quality tools to analyze and eliminate elevators failures, providing effective solutions to reduce the number of corrective maintenance and improve the indicators. The methodology used was the PDCA method and the main tools were the Pareto Diagram, the Five Whys and the Plan of Action. After the implantation of the quality management tools, the number of corrective maintenance needed was reduced by approximately 53%, and the goals were achieved. Thereby, the methodology suggested was officially inserted into the maintenance procedures of the company, to ensure the continuity of the improvements, the achievement of more daring future goals and the strengthening of the commercial relations with the clients.*

**Key words:** Maintenance. Quality tools. Elevators.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a lei 12.002, de 21 de janeiro de 2016, que estabelece normas para a instalação, a conservação e o uso de elevadores, escadas rolantes e outros equipamentos de transporte instalados de forma permanente, em edificações no município de Porto Alegre, a pessoa física ou jurídica que possuir um elevador de passageiros deve assinar um contrato de manutenção do equipamento com uma empresa especializada no serviço de manutenção preventiva e corretiva (PORTO ALEGRE, 2016).

No estado do RS o setor de elevadores conta com aproximadamente seis empresas fabricantes, cuja interface com os clientes ocorre pela venda, instalação e manutenção desses equipamentos. A experiência dos autores mostra que, nesse ramo, a competitividade passa pela compreensão de que a qualidade dos serviços de assistência técnica é um fator diferencial na escolha da marca pelos clientes. O presente estudo foi realizado em uma dessas empresas, na qual os resultados, em termos de reclamações de clientes pelo mau funcionamento dos equipamentos, foram insatisfatórios para o departamento de manutenção em 2016. A perpetuação desses resultados poderia tornar-se um transtorno, gerando desgastes danosos às relações comerciais. Em uma análise prévia, percebeu-se que havia chegado o momento decisivo de mudança na dinâmica dos serviços prestados.

Buscando assegurar um progressivo alinhamento da empresa com as necessidades dos clientes, a empresa deparou-se com a seguinte questão: qual sistemática de gestão dos serviços prestados poderia melhorar continuamente seus resultados, aumentar a satisfação dos clientes e garantir a competitividade comercial da empresa?

Para a empresa do estudo, melhorar os resultados significava reduzir o número de atendimentos aos clientes necessário para manter os equipamentos em bom funcionamento. Estava implícito rever a sistemática de trabalho de modo a produzir melhorias que otimizassem os recursos humanos e materiais, e que levassem a empresa a mover-se à frente na escala da sustentabilidade econômica, ambiental e social. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo delinear um método capaz de implementar melhorias progressivas nos processos de manutenção de uma empresa de elevadores a fim de atingir as metas de desempenho estipuladas pela direção. A busca por esse objetivo foi realizada com base na aplicação das ferramentas da qualidade, seguindo a metodologia do PDCA (*Plan, Do, Check, Action*).

### 1.1 Manutenção de Elevadores

De acordo com ABNT (1994), “Manutenção é a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”. O gerenciamento de manutenção é o conjunto de ações necessárias para que a equipe de manutenção tenha conhecimento dos objetivos e das metas estabelecidas para o departamento e, principalmente, para que todos estejam bem instruídos sobre os procedimentos que devem seguir para que essas metas sejam atingidas com a menor utilização de recursos, sempre observando a política da empresa e as normas aplicáveis (BRANCO FILHO, 2008).

Por tratar de um tema de caráter tecnológico, os conceitos normativos são referências importantes, neste caso, faz-se destaque às normas de manutenção



ABNT NBR 5462 (ABNT, 1994) e ABNT NBR 16083 (ABNT, 2012). Segundo ABNT (1994), os tipos de manutenção empregados atualmente são a Preventiva, a Corretiva, a Preditiva, a Programada e a Não-programada (categorias não-excludentes).

Como qualquer outro processo, o controle do desempenho da manutenção deve ser feito com base em métricas aplicáveis à empresa, face às metas estabelecidas. Branco Filho (2008) recomenda, no mínimo, a utilização do Tempo Médio entre Falhas (MTBF), do Tempo Médio para o Reparo (MTTR) e da Disponibilidade de máquina.

O MTBF mede o tempo entre uma falha e outra no mesmo equipamento e serve para avaliar a efetividade da ação corretiva; o MTTR é o tempo médio de duração do reparo, corresponde ao tempo que o técnico de manutenção levará para corrigir a falha e liberar o equipamento para a produção e é utilizado para medir a capacidade da manutenção corretiva em solucionar as falhas; a Disponibilidade é a condição de uma máquina ou equipamento de estar em prontidão para a execução da função, a qual foi projetada, de maneira plena, em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado (ABNT, 1994).

## **1.2 Qualidade em serviços**

Serviço é o resultado gerado por atividades na interface entre fornecedor e cliente e por atividades internas do fornecedor para atender as necessidades do cliente (ABNT, 2010).

O setor de serviços vem crescendo nas últimas décadas de forma positiva impactando no PIB mundial. Pode-se atribuir a esse setor um número maior de empregos gerados em relação aos demais segmentos da economia no Brasil e no mundo. É uma particularidade dos serviços a interface direta com o cliente, fazendo com que a confiança, a cordialidade, a presteza e o relacionamento sejam fatores fundamentais para satisfazer as suas necessidades (CARVALHO e PALADINI, 2012).

Existem três grandes categorias para classificar os tipos de serviços, de acordo com o volume e a variedade, serviços profissionais, lojas de serviços e serviços de massa. Caracterizam-se por serviços profissionais as atividades onde há grande interface entre a organização e os clientes, os atendimentos são personalizados e destinados a um número limitado de clientes. Oferecem alto grau de customização para atender necessidades individuais dos clientes. A maior parte da execução do serviço pode ser realizada nas instalações e dependências do cliente (CARVALHO e PALADINI, 2012).

Para assegurar que os serviços sejam realizados com qualidade, é necessário utilizar ferramentas para selecionar, analisar, verificar, implementar ou avaliar alterações em processos ou produtos por meio de análises objetivas com o intuito de gerar melhorias. Essas ferramentas são implementadas com o apoio de um método geral, constituído de etapas previamente estabelecidas, de acordo com as metas definidas em seu planejamento. Por seu grau de precisão e abrangência o método mais utilizado é o PDCA (CARVALHO e PALADINI, 2012).

O ciclo PDCA (Figura 1) é um método gerencial para tomada de decisões utilizado para garantir o atingimento das metas estipuladas pelas organizações. É uma ferramenta seccionada em etapas, que busca a melhoria contínua de processos e produtos e que pode ser utilizada nas mais diferentes aplicações. As etapas são Planejamento (P), Execução (D), Verificação (C) e Ação Corretiva (A) (CARVALHO e PALADINI, 2012; CAMPOS, 1998; WERKEMA, 1995).

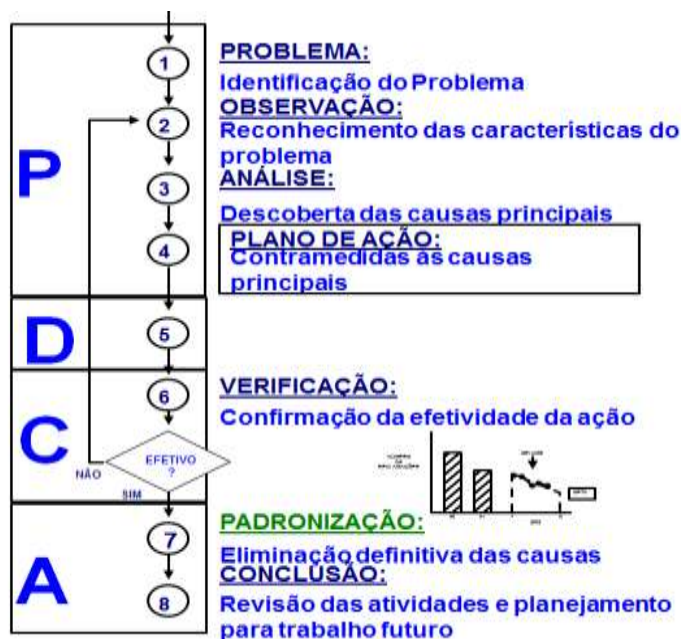


Figura 1 - Sequência de operações do ciclo PDCA (WERKEMA, 1995).

A primeira fase é a de planejamento da melhoria. Nela o problema é identificado, observado e analisado, possibilitando o estabelecimento de uma meta e a estruturação de um plano de ação. A fase de execução representa o cumprimento do Plano de Ação, e em geral requer treinamento e educação das pessoas quanto aos métodos propostos. A verificação compreende nova coleta de dados para que se realize nova análise e verificação dos resultados alcançados, e sua comparação com a meta planejada. Por fim, a atuação corretiva compreende padronizar o plano proposto, caso as metas tenham sido atingidas, ou agir sobre as causas relacionadas ao não-atingimento das metas, caso o plano não tenha sido eficaz (WERKEMA, 1995).

A aplicação do ciclo PDCA pressupõe o uso de ferramentas da qualidade, tais como Diagrama de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito, Plano de Ação, Os Cinco Porquês, Diagrama de Dispersão, entre outras (CARVALHO e PALADINI, 2012; SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009; CAMPOS, 2004; WERKEMA, 1995).

## 2 METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se por ser um estudo de caso (YIN, 2001) e a metodologia utilizada segue as etapas do ciclo PDCA. Os procedimentos metodológicos que culminaram neste artigo foram realizados no período de janeiro a maio de 2017.

Os procedimentos relatados, que incluem a execução do PDCA com a utilização das ferramentas da qualidade, foram realizados quase sempre em equipe, nas reuniões do departamento de manutenção com a presença da gerência. Os dados de entrada para as análises são informações sobre chamados de manutenção corretiva, desde os fatos relatados pelo cliente, quando solicita um atendimento, até as ações necessárias para restabelecer os equipamentos descritas pelos técnicos no encerramento dos chamados.

## 2.1 Etapas e atividades do estudo

O diagrama de blocos, apresentado na Figura 2, demonstra as etapas que foram seguidas neste estudo em sua ordem cronológica e de acordo com as fases do ciclo PDCA.

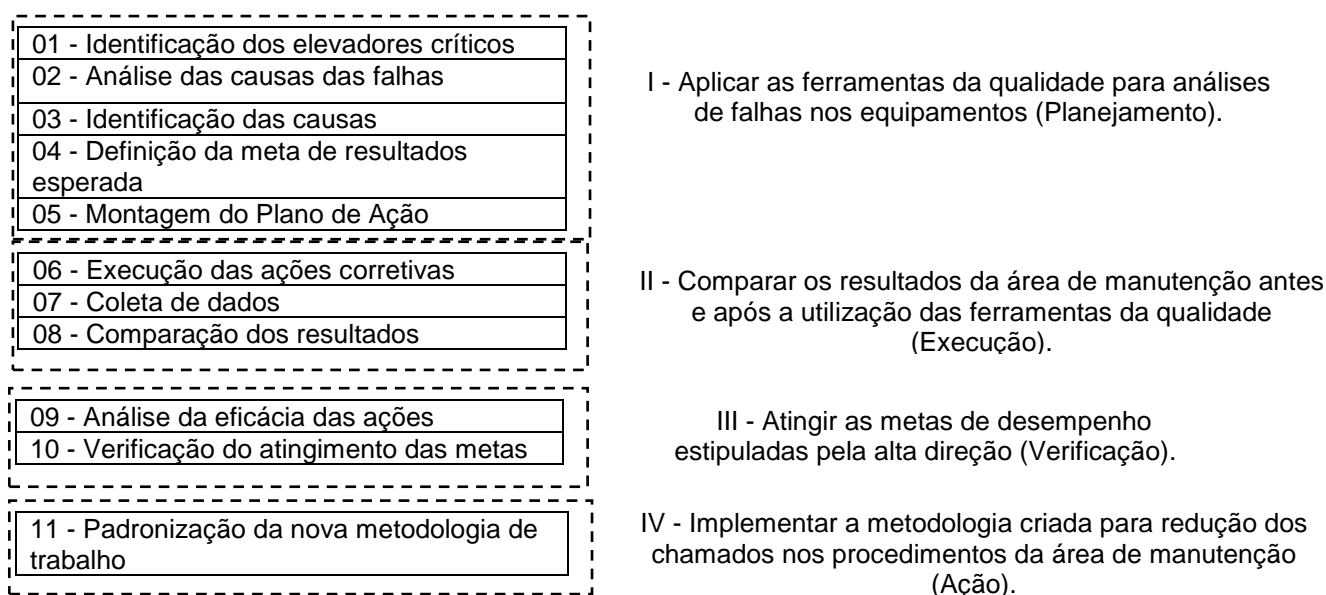


Figura 2 - Diagrama de Blocos da metodologia aplicada

Como demonstra o diagrama, o estudo de caso envolveu onze atividades, que foram organizadas em blocos delimitados pelas linhas tracejadas. Cada bloco representou uma etapa do ciclo PDCA e propiciou resultados parciais, que podem ser identificados como objetivos específicos da pesquisa. Esses objetivos estão descritos à direita da Figura 2.

A etapa de Planejamento, que inicia com observação do problema e termina com a definição de ações de melhoria, suscitou o uso das ferramentas Diagrama de Pareto, Cinco porquês e Plano de ação. Em seguida, as ações foram executadas, e logo após, verificou-se os resultados por meio de análise comparativa entre os resultados do indicador utilizado pela manutenção, antes e após a execução, para avaliar se as metas planejadas foram alcançadas. Essa foi a etapa de Verificação. Como o resultado foi favorável e a meta atingida, a nova sistemática de utilização das ferramentas da qualidade foi implementada, tendo sido padronizada sua utilização no departamento de manutenção.

## 2.2 Indicador de manutenção CBS

O indicador de manutenção mais significativo para a empresa é o CBS (*Call Back Service* - Serviço de chamada de retorno). Semelhante ao MTBF, tem como objetivo medir o tempo entre as falhas dos equipamentos. O CBS é calculado dividindo o número de chamados de manutenção corretiva no mês pelo número total de elevadores da carteira de clientes. Este indicador é utilizado para controle do desempenho da manutenção, pela empresa, de maneira global em todas as filiais, espalhadas por diferentes países. Sua importância está na capacidade de identificação da qualidade, tanto da manutenção preventiva quanto da manutenção corretiva. Assim, todo o processo de aplicação das ferramentas da qualidade guiadas pelo ciclo PDCA, descrito neste estudo, foi parametrizado pelo CBS. A meta

geral estabelecida pela empresa é de 30% para esse indicador. No presente estudo, a meta estabelecida foi de reduzir o resultado mensal do CBS de 35% para 25%.

### 2.3 Coleta e análise de dados quantitativos

A coleta de dados quantitativos para a realização dos estudos ocorreu pelo emprego dos registros de chamados de manutenção corretiva. Esses registros são documentos de consumo interno da empresa que foram analisados de forma a manter a confidencialidade dos nomes de clientes e endereços onde os equipamentos estão instalados.

Os dados para obtenção do CBS (Item 1 do diagrama de blocos da Figura 2) foram coletados em dois momentos, antes e depois da execução do Plano de ação. No primeiro momento (Planejamento), eles serviram para a projeção das metas que se pretendia atingir com a aplicação das ferramentas da qualidade. No segundo momento, na fase de Verificação, foram coletados dados (atividade 7 do diagrama de blocos da Figura 2) após a aplicação das ferramentas de qualidade com o intuito de identificar se existiu evolução para tomada de decisão sobre a padronização da nova metodologia de trabalho do setor de manutenção.

Os recursos utilizados pela empresa para preenchimento e armazenamento dos dados foram pranchetas de preenchimento manual e planilhas do MS Excel.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Identificação dos elevadores críticos

Para identificação dos elevadores críticos para priorização dos estudos, foi feita análise do resultado do CBS da área de manutenção, da filial RS, no ano de 2016, uma vez que as ações propostas neste estudo de caso iniciaram em janeiro de 2017. Conforme o gráfico da Figura 3, a média do CBS, considerando todo o ano de 2016, foi de 31,7 %, com grandes oscilações durante esse período, apresentando seu pico máximo, no mês de março, com 56,1% e o pico mínimo, no mês de setembro, com 17,2%, resultado alcançado com a contribuição do aumento da carteira para 239 elevadores.

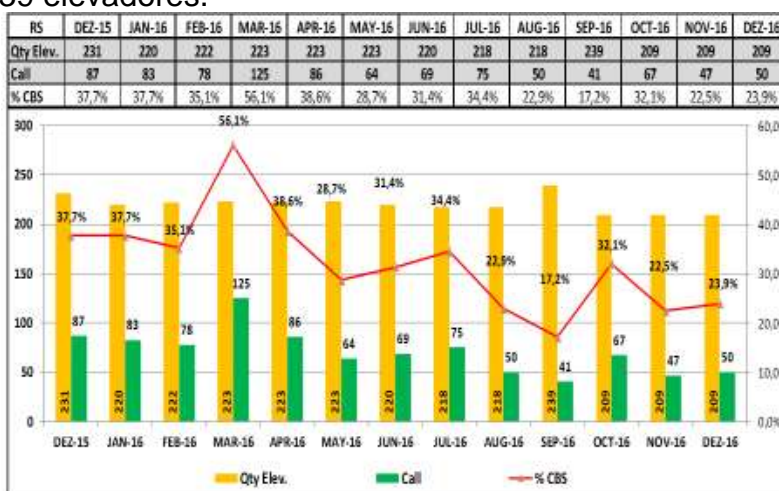


Figura 3 - Resultado do CBS de dezembro de 2015 a dezembro de 2016

As barras amarelas representam o número de elevadores na carteira, sendo atualizado todo mês, de acordo com as movimentações entre assinaturas de novos contratos e o cancelamento de contratos vigentes. As barras verdes o número de

chamados de manutenção corretiva, que é quando o cliente entra em contato com a central de 0800, da empresa, para registrar uma solicitação de atendimento para um elevador. A linha vermelha exibe a variação do CBS ao longo dos meses.

Com base neste cenário, foi realizada análise dos elevadores mais críticos que impactavam negativamente nos resultados. Este estudo, foi feito com o auxílio do diagrama de Pareto, tendo como classificação falhas por motivos relacionados ao produto, à instalação ou à manutenção, excluindo apenas as falhas geradas pelo cliente que são aquelas falhas onde o equipamento foi forçado a falhar por alguma ação do cliente como, por exemplo, uma batida na porta do elevador durante um procedimento de carregamento de mudanças, fazendo com que o equipamento fique inoperante (CARVALHO e PALADINI, 2012).

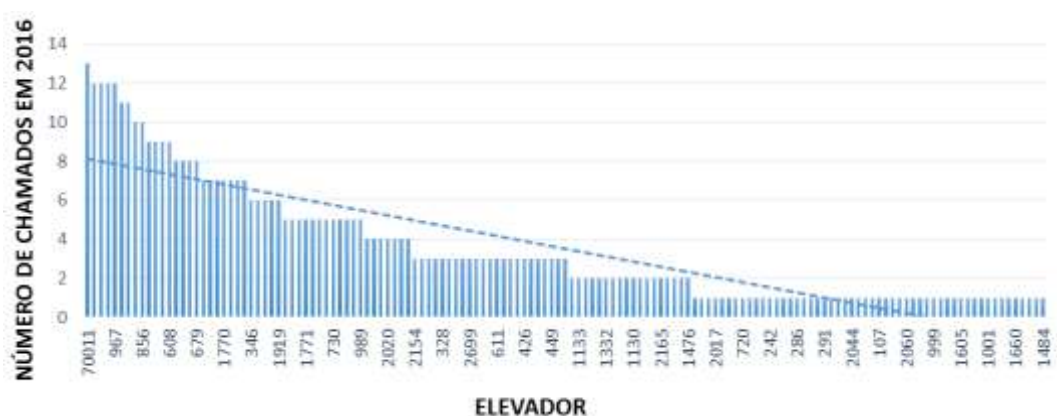


Figura 4 - Diagrama de Pareto - Número de chamados x elevador em 2016

Com a ajuda do diagrama de Pareto, construído de acordo com as orientações de Werkema (1995), foi possível observar que 80% dos chamados ocorridos em 2016 estavam concentrados em 67 dos 209 elevadores da carteira. Esta amostra foi responsável por 396 dos 495 chamados de manutenção corretiva que ocorreram no ano.

Dentre os elevadores que apresentaram maior incidência de chamados, devido ao alto número de dados para análise, foram selecionados, para sequência dos estudos, todos os elevadores que apresentaram 6 ou mais chamados no ano, totalizando 29 equipamentos. Esta amostra foi responsável por 295 chamados representando 60% do total de chamados de manutenção corretiva no ano de 2016. (Figura 5).

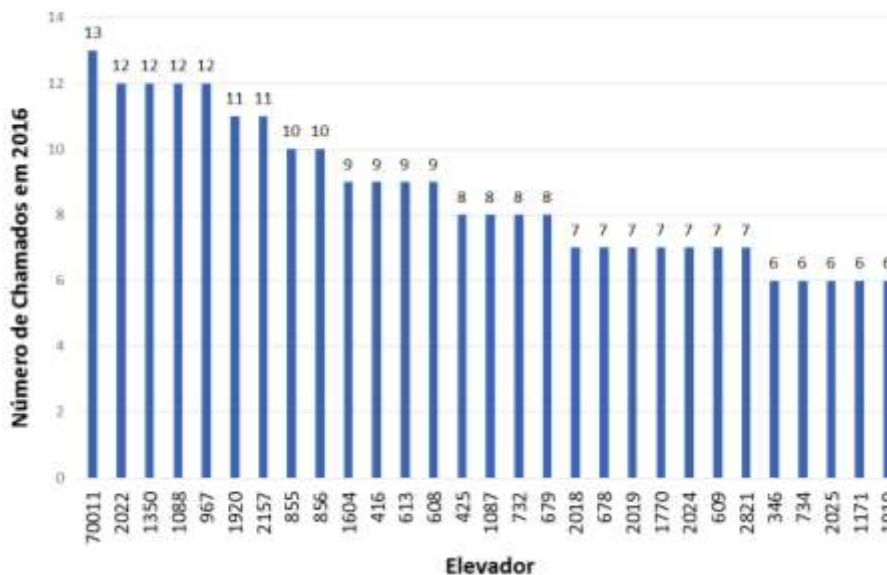


Figura 9 - Elevadores que tiveram seis ou mais chamados em 2016

Esta análise foi realizada com base nos registros de chamados no ano de 2016 entre os meses de Janeiro à Dezembro. Os registros de todos os chamados abertos pelos clientes são feitos pelo setor de atendimento ao cliente. Os dados são alimentados em uma planilha, com as informações relatadas pelo cliente, no momento da solicitação de atendimento e as ações relatadas pelos técnicos, no momento do encerramento dos chamados.

Neste estudo de caso foram realizadas análises de causa e tomadas ações corretivas para cada um dos elevadores selecionados, com o objetivo de reduzir o número de chamados e, conseqüentemente, o CBS para a faixa de 25% considerada como meta.

### 3.2 Análise e identificação das causas das falhas

Após a definição dos elevadores críticos, foram realizadas as análises de causa para cada equipamento com o auxílio dos cinco porquês pela equipe de manutenção, que analisou os dados dos chamados e informações relatadas no encerramento dos mesmos.

A seguir é apresentada uma dessas análises de causa, referente ao elevador n. 2157. Pode-se perceber que as questões são seguidas das ações indicadas para a solução das referidas falhas.

#### 1 - Por que o elevador apresentou falhas excessivas?

R: Porque havia uma falha na leitura de posição dos andares.

#### 2 - Por que havia uma falha na leitura de posição dos andares?

Porque o sensor de leitura não conseguia ler as placas na sequência correta.

#### 3 - Por que o sensor de leitura não conseguia ler as placas na sequência correta?

R: Porque a posição das placas de redução e parada do décimo andar estava errada

#### 4 - Por que a posição das placas de redução e parada do décimo andar estava errada?

R: Porque a equipe de instalação posicionou as placas de redução e parada do décimo andar fora de posição.

#### 5 - Por que a equipe de instalação posicionou as placas de redução e parada do décimo andar fora de posição?

R: Porque a distância entre as placas de redução e parada especificada no projeto executivo estava incorreta.

- \*Ação 1: Corrigir a distância entre as placas de redução e parada do décimo andar.
- \*Ação 2: Informar o departamento de engenharia para a correção da especificação da distância entre placas de redução e parada do décimo andar no projeto executivo.
- \*Ação 3: Informar aos técnicos do departamento de instalação sobre o cálculo para distância das placas de redução e parada de acordo com o pé direito de cada andar.

Na análise exposta, foi utilizada a metodologia dos cinco porquês (WERKEMA, 1995). A pergunta inicial foi a mesma para todos os casos, uma vez que todos os elevadores envolvidos nas análises, apresentaram um número elevado de chamados, no período de um ano. A partir da primeira resposta, uma nova pergunta era feita, com base na resposta anterior, e assim sucessivamente até que a causa raiz fosse encontrada. As palavras chave das respostas a cada pergunta, serviam como base para formular a próxima pergunta, mantendo assim a coerência da análise.

De acordo com Campos (2004), para cada causa encontrada, uma ou mais ações foram definidas e inseridas num plano de ação geral, contendo ações específicas para um equipamento e também ações aplicáveis a todos elevadores. Essas ações tinham um responsável pela execução, que era definido de acordo com o tipo de atividade. A evolução do plano era atualizada semanalmente.

Nesta fase dos estudos, a metodologia dos cinco porquês foi bastante útil e eficaz na identificação das causas das falhas, mostrando que, independentemente do tipo de falha, o método utilizado auxilia e facilita as análises seja qual for o ambiente onde o problema está inserido (WERKEMA, 1995).

### **3.3 Definição da meta de resultados esperados**

A meta definida na etapa de planejamento, referente ao resultado esperado do CBS mensal, foi de 25%. Esse valor foi estipulado tendo como bases, a meta de CBS indicada pela direção, para todo o Brasil em 2017, que foi de 30% e o resultado médio, do ano de 2016 da filial RS que foi de 31,7%. A partir desses dados, sabendo o que a direção desejava e o resultado alcançado no último ano, com a participação dos técnicos, foi definida a meta que se esperava alcançar após as ações propostas neste estudo de caso, conforme orientações de Carvalho e Paladini (2012), tendo em vista a capacidade de mão de obra e de recursos disponíveis para a execução das atividades propostas.

### **3.4 Montagem do plano de ação**

Após analisadas e identificadas as causas das falhas nos elevadores críticos, um plano de ação foi montado contemplando todas as ações oriundas das análises de causa, respeitando os requisitos abordados por Campos (2004), para criação de um plano de ação eficaz.

O plano de ações inicial (Figura 6), foi criado contendo 36 ações para os 29 equipamentos considerados críticos. Algumas ações aplicaram-se a mais de um elevador. As ações do plano inicial foram colocadas com um prazo menor de execução para tentar um resultado mais imediato possível, sempre respeitando a capacidade de mão de obra e de recursos disponíveis.

Plano de Ação - Departamento de Manutenção da Filial RS					
Elevador	Ação	Responsável	Prazo	Prioridade	Status
70011	Apresentar ao cliente uma proposta comercial para modernização do equipamento	Supervisor de manutenção	05/jan	Alta	Pendente
70011	Definir estratégia de manutenção apenas para equipamentos aos quais a empresa x é fabricante podendo oferecer material técnico e mão de obra especializada	Gerente de Manutenção	30/jan	Média	Pendente
2022	Exigir que no momento da entrega de cada elevador, a manutenção seja chamada para realizar uma auditoria geral para verificação de possíveis pendências de instalação para evitar falhas futuras	Supervisor de manutenção	10/jan	Média	Pendente
2022	Informar a supervisão da equipe de instalação sobre o ocorrido para evitar reincidência de pendências de ajustes	Supervisor de manutenção	05/jan	Média	Pendente
1350	Aumentar o tempo de porta de cabina aberta no programa do elevador de 5 para 10 segundos	Engenharia	05/jan	Alta	Pendente
1350	Orientar o cliente, para que tome cuidado com a colisão do carrinho na porta do elevador evitando falhas	Supervisor de manutenção	05/jan	Média	Pendente
1088	Realizar atualização do programa	Engenharia	05/jan	Alta	Pendente
1088	Realizar a instalação do novo sistema de comando em grupo	Engenharia	10/jan	Média	Pendente
967	Comprar uma IHM para cada técnico ter acesso aos códigos de erro do inversor de frequência	Supervisor de manutenção	05/jan	Média	Pendente
967	Distribuir aos técnicos uma relação de todos os códigos de erros do inversor de frequência para consulta nos atendimentos de manutenção corretiva	Engenharia	10/jan	Média	Pendente
1920	Substituir suporte do contato elétrico da polia tensora	Técnico de manutenção da rota 1	05/jan	Alta	Pendente
1920	Posicionar o contato da polia tensora na distância padrão conforme manual de manutenção	Técnico de manutenção da rota 1	05/jan	Alta	Pendente

Figura 6 - Esboço do plano de ação inicial

Durante as reuniões semanais com a equipe técnica, o plano de ação era atualizado, o responsável pela ação era indicado e ele mesmo sugeria o prazo necessário para a conclusão da ação. Nesta ocasião as ações que não foram executadas dentro do prazo foram reprogramadas e eram aceitas no máximo duas postergações de prazo para não prejudicar o andamento do trabalho, atendendo as orientações de Campos (2004), sobre a utilização de prazos justos e plenamente praticáveis.

### 3.5 Execução das ações corretivas

Com o andamento do trabalho, cada vez mais ações eram executadas e o plano de ação era atualizado, até o ponto onde todas as ações do plano inicial referente aos 29 equipamentos críticos foram concluídas.

Desta forma, como o objetivo dos estudos era utilizar as ferramentas de forma contínua, decidiu-se que ao final de cada mês seriam selecionados os 5 elevadores que apresentaram maior número de chamados para nova rodada de análises de causa e sequência do plano de ação. Com isso, novas ações surgiram para novos equipamentos, sendo acrescentadas ao plano e monitoradas semanalmente durante as reuniões, nesta etapa, a metodologia já havia maturado e as análises eram mais objetivas, tornando as reuniões mais produtivas (WERKEMA, 1995).

Com o passar do tempo, o número de ações do plano crescia e para que se tivesse um controle, os prazos eram dados com o objetivo de concluir todas as ações até 30 de abril, período este delimitado no planejamento dos estudos.

No início de fevereiro as ações com prazos que expiravam dentro do mês de janeiro já estavam praticamente concluídas, somando um total de 43 ações executadas. Ao final de abril todas as ações corretivas contidas no plano estavam concluídas totalizando 92 ações executadas em 38 elevadores, resultado considerado excelente, tendo em vista a capacidade de recursos e de mão de obra disponíveis para as atividades.

### 3.6 Coleta de dados e Comparação dos resultados

Seguindo as orientações expostas por Werkema (1995), após a execução do plano de ação, foram coletados os dados de chamados de manutenção corretiva entre janeiro e abril de 2017 para fornecimento de dados para análise. O gráfico de



CBS mensal (Figura 7), ilustra o número de chamados e o resultado do CBS durante o período dos estudos.

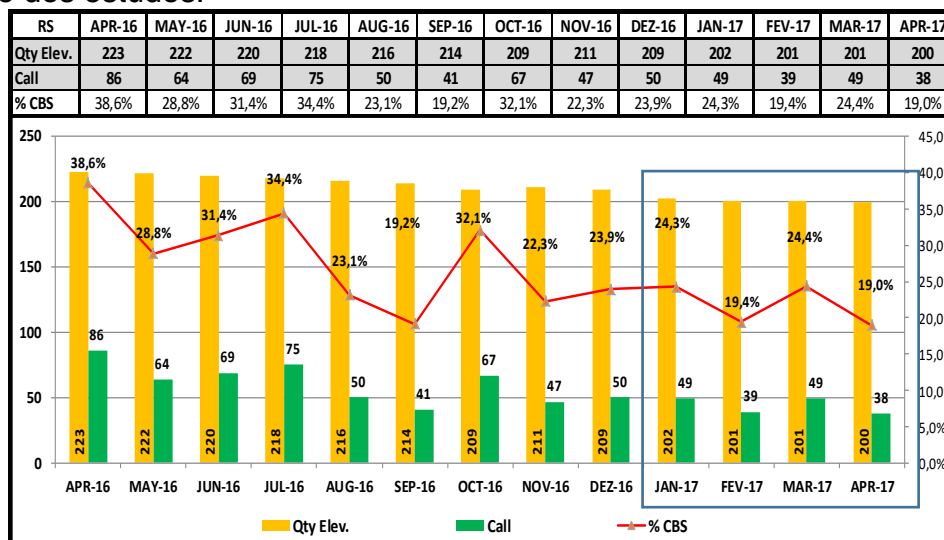


Figura 7 - Resultado CBS de janeiro a abril de 2017

Desta forma é possível observar que de janeiro a abril de 2017 ocorreram 175 chamados de manutenção corretiva, gerando uma média parcial deste período de 21,7% para o CBS.

Comparando com o mesmo período em 2016 (ver Figura 8), foram 372 chamados com média parcial de CBS de 41,9%. Com esta análise é possível verificar que em 2017 ocorreram 197 chamados a menos e a média parcial do CBS foi 20,2% menor que 2016 considerando o período de janeiro a abril.

Além disso a linha de tendência de CBS é mais estável variando de 19% a 24,4% entre janeiro e abril de 2017, contrastando com uma variação considerável de 35,1% a 56,1% no mesmo período de 2016.

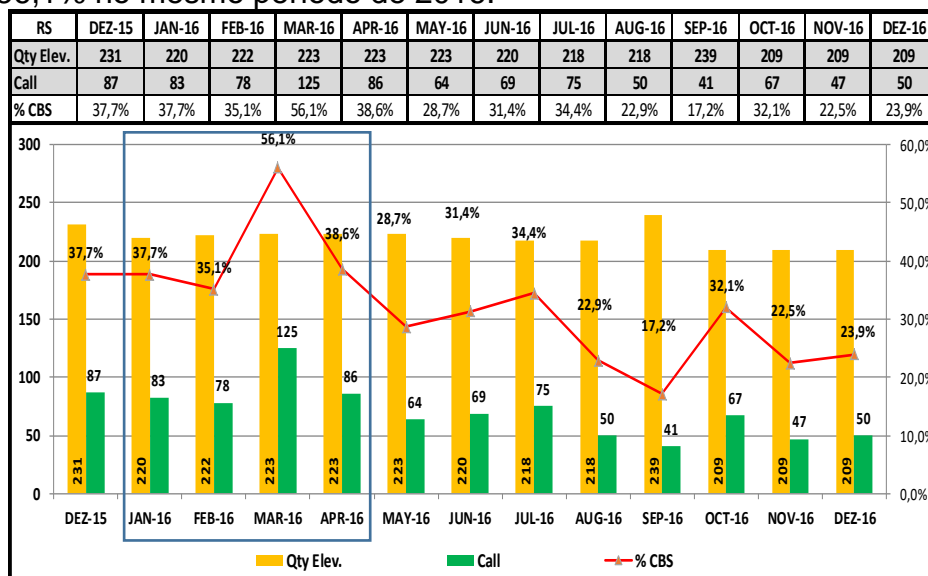


Figura 8 - Resultado CBS de janeiro a abril de 2016

Outro fator, que é perceptível observar uma grande diferença, é a variação do número de chamados mensais, que de janeiro a abril de 2016, foi de 78 a 125 chamados, enquanto que, no mesmo período de 2017, foi de 38 a 49 chamados,

demonstrando uma evolução considerável em 2017 e apresentando um quadro mais estável quando comparado com o mesmo período de 2016.

A sazonalidade é também fator importante para considerar na análise dos resultados, pois, historicamente na filial RS, o mês de março é sempre o pior do ano em relação ao número de chamados e CBS. Analisando o resultado de março de 2016, o CBS foi de 56,1% sendo o pior resultado do ano. Dando sequência na análise, no mês de março de 2017 o CBS foi de 24,4%, sabendo que este, tende a ser o pior resultado no ano, o cenário futuro para 2017 em termos de tendência é bastante animador.

### 3.7 Análise da eficácia das ações

Todas as ações referidas no plano, foram executadas e não houve retrabalho do serviço, o que indica precisão nas tarefas realizadas. Após a execução das ações não ocorreram novas falhas com os mesmos defeitos identificados nas análises de causa, o que evidencia que as ações corretivas foram precisas em eliminar as causas identificadas, validando o conceito de causa raiz segundo Werkema (1995) e contribuindo para a redução do CBS.

### 3.8 Verificação do atingimento das metas

As metas estabelecidas para este estudo de caso basicamente dizem respeito à redução do número de chamados de manutenção corretiva e redução do CBS. Foi estabelecido um valor de 25% como meta para o CBS e, analisando a Figura 7, é possível observar que o resultado esperado foi atingido, pois no período estabelecido para aplicação da metodologia, o CBS ficou em 21,7%, sendo o melhor desempenho entre todas as filiais do país, gerando grande satisfação a todos os envolvidos nesse trabalho e, também, a alta direção que reconheceu a melhora nos indicadores e recomendou a padronização da metodologia (WERKEMA, 1995).

### 3.9 Padronização da nova metodologia de trabalho

A partir dos resultados obtidos, ficou definido que a metodologia de aplicação das ferramentas da qualidade seria implementada oficialmente aos procedimentos de manutenção. A sistemática de aplicação será mantida conforme citado anteriormente, onde a cada final de mês, serão selecionados os cinco elevadores com maior número de chamados para realização de análises de causa e inserção de ações no plano para controle.

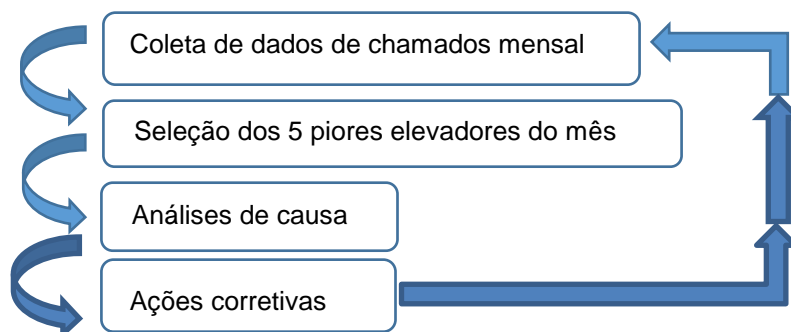


Figura 9 - Diagrama de fluxo da nova metodologia

De acordo com Werkema (1995), analisando o diagrama da Figura 9, é possível observar que o estudo de caso chegou até a fase de padronização, concluindo o ciclo do PDCA. Também é possível identificar que um novo ciclo se

inicia a partir de cada fechamento de mês, pois ao coletar novos dados, além de se verificar os resultados do mês anterior, também se estabelece o ponto de partida para a etapa de planejamento do novo ciclo.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com a aplicação da nova metodologia proposta, utilizando as ferramentas da qualidade, melhorias substanciais no processo foram geradas, causas raízes dos problemas foram sendo descobertas e o número de chamados foi drasticamente reduzido, já na primeira rodada. No período do estudo, foi possível observar um crescimento da motivação, da capacidade analítica e da interação da equipe que se demonstrou engajada a alcançar um patamar de resultados que não havia sido possível até então. O efeito positivo causado pela estabilização do ambiente produtivo foi percebido tanto pela equipe quanto pelos clientes.

As ferramentas utilizadas (PDCA, Diagrama de Pareto, Cinco Porquês e Plano de Ação), apesar de simples, causaram um efeito extremamente positivo quando aplicadas no contexto dos estudos, tendo grande contribuição para a melhoria dos resultados do departamento de manutenção.

Foi possível realizar as análises comparativas evidenciando a melhora no CBS após a aplicação das ferramentas da qualidade em todos os cenários simulados. Em números, o resultado atingido em 2017 foi de 197 chamados a menos e média de CBS 20,2% menor que 2016, considerando o período de janeiro a abril. O que mais chamou a atenção ao analisar os resultados dos estudos, é a linha de tendência do CBS para o restante do ano de 2017, pois, nos quatro primeiros meses, houve pouca oscilação e sempre superando a meta estabelecida de 25%, ficando em 21,7%.

Com a padronização da metodologia de aplicação das ferramentas da qualidade (Figura 9) nos procedimentos de manutenção da filial estudada e sua recomendação às demais filiais da empresa no Brasil, intensifica-se o uso dessas técnicas. Com o apoio delas, a cada nova reunião o ciclo de melhoria contínua avança em direção a otimização dos recursos, aumento da qualidade do serviço, redução dos chamados de manutenção corretiva e principalmente o aumento da satisfação do cliente.

A principal limitação encontrada na realização do estudo de caso, foi a pouca experiência dos técnicos da empresa com o uso de técnicas tais como as ferramentas da qualidade. Sendo suas atividades cotidianas essencialmente operacionais e sua capacidade analítica para contribuir com equipes era até então pouco explorada. Outra limitação encontrada foi o fato dos registros de chamados de manutenção serem feitos em planilhas de Excel, e não em um software específico para esse fim, de modo que a preparação dos dados para análise foi mais trabalhosa e sua visualização menos precisa.

#### **REFERÊNCIAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5462**: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16083**: Manutenção de Elevadores, Escadas Rolantes e Esteiras Rolantes: Requisitos para instruções de manutenção. Rio de Janeiro, 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16042**: Elevadores Elétricos de Passageiros – Requisitos de segurança para construção e instalação de elevadores sem casa de máquinas. Rio de Janeiro, 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 207**: Elevadores Elétricos de Passageiros – Requisitos de segurança para construção e instalação. Rio de Janeiro, 1999

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 313**: Elevadores Elétricos de Passageiros – Requisitos de segurança para construção e instalação – Requisitos particulares para a acessibilidade das pessoas, incluindo pessoas com deficiência. Rio de Janeiro, 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 9004**: Gestão para o Sucesso Sustentado de uma Organização: Uma abordagem da gestão da qualidade. Rio de Janeiro, 2010

BRANCO (Filho), Gil. **A Organização o Planejamento e o Controle da Manutenção**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda., 2008

CAMPOS, Vicente Falconi, **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-a-Dia**, 7ª Edição, Belo Horizonte: Desenvolvimento Gerencial, 1998

CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-Dia**. 9.ed.Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004

CARVALHO, M. M.; PALADINI, E.P. (Org.) **Gestão da Qualidade: Teoria e Casos**. 2ª Edição, Rio de Janeiro: Campus, 2012

PORTO ALEGRE. Lei n.12.002, de 21 de janeiro de 2016. Estabelece normas para a instalação, a conservação e o uso de elevadores, escadas rolantes e outros equipamentos de transporte instalados, de forma permanente, em edificações no Município de Porto Alegre. **Prefeitura Municipal de Porto Alegre**. Porto Alegre, RS. 2016. Disponível em: <[www.legisweb.com.br/legislacao/?id=315749](http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=315749)> Acesso em: 16 mai. 2017

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 3ª edição, São Paulo: Atlas, 2009

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Ferramentas Estatísticas Básicas Para o Gerenciamento de Processos**. Belo Horizonte: Série Ferramentas da Qualidade, 1995

YIN, Robert K. **Estudo de Caso: Planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

# IMPLANTAÇÃO IÔNICA DE COBRE EM SUBSTRATOS DE AÇO INOXIDÁVEL PARA FINS BACTERICIDAS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Canabarro, F. A. F. <sup>1</sup>

Aguzzoli, C. <sup>2</sup>

Malfatti, C. F. <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Felipe Ariel Furlan Canabarro, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - felipe.canabarro@outlook.com.

<sup>2</sup> Cesar Aguzzoli, doutor, Universidade de Caxias do Sul (UCS) - caguzzol@ucs.br.

<sup>3</sup> Célia de Fraga Malfatti, doutora, LAPEC/PPGE3M - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - celia.malfatti@ufrgs.com.

## Resumo

O objetivo desta revisão foi identificar as principais linhas de pesquisa relacionadas com a implantação de íons de cobre em substratos de aço inoxidável para fins bactericidas, assim como, buscar parâmetros, métodos e aplicações diferenciadas. Sendo um processo largamente utilizado, os resultados sugerem que a manipulação de materiais é benéfica e extremamente valiosa, onde há um incremento das propriedades do substrato. A característica bactericida é alcançada e demonstra ser eficaz quando doses a partir da ordem de  $10^{16}$  íons.cm<sup>-2</sup> são ministradas. Todavia, em algumas aplicações em meios agressivos ou com diferentes bactérias envolvidas, outros íons podem ser indicados, como por exemplo, a prata. Por apresentar excelente reprodutibilidade, a abrangência das áreas de aplicação são virtualmente inimagináveis, onde sua gama compreende desde a indústria pesada até setores do ramo médico, farmacêutico e alimentício. Pelo fato da implantação iônica apresentar diversas variações operacionais, está em constante aprimoramento, exigindo um estudo constante de seu potencial para compreender, aprimorar e mapear alguns de seus mecanismos, visando tangenciar a exploração desta técnica em sua totalidade.

**Palavras-chave:** Implantação iônica; Aço inoxidável; Cobre.

## ANTIBACTERIAL ION IMPLANTATION OF COPPER IN STAINLESS STEEL SUBSTRATES: A REVIEW

### Abstract

The aim of this review was to identify the main lines of research related to the implantation of copper ions in stainless steel substrates for bactericidal purposes, as well as to search for different parameters, methods and applications. Being a widely used process, the results suggest that the manipulation of materials is beneficial and extremely valuable, whereas there is an increase of the properties of the substrate. The bactericidal characteristic is achieved and is shown to be effective when doses of  $10^{16}$  ions.cm<sup>-2</sup> are administered. However, some applications in aggressive media or different bacteria involved, other ions may be indicated, for example, silver. Because of its excellent reproducibility, the range of application areas is virtually unimaginable, ranging from heavy industry to medical, pharmaceutical and food industries. Since ion implantation presents several operational variations, it is constantly improving, demanding a constant study of its potential to understand,

improve and map some of its mechanisms, aiming to tune the exploration of this technique entirety.

**Key words:** Ion implantation; Stainless steel; Copper.

## 1 INTRODUÇÃO

A busca incessante pelo desenvolvimento de novos materiais é dada pela necessidade de aprimorar suas propriedades unitárias, onde para dada aplicação, pode ser praticamente impossível obter um material elementar capaz de suprir todos os requisitos de um meio. Melhorias em termos de vida útil, dureza, compatibilidade com tecidos vivos, alterações de condutividade elétrica são apenas exemplos práticos que utilizam dessa ação combinatória de elementos. Ferramentas de corte, biomateriais, catalisadores, até mesmo a adaptação de amostras para habilitar sua utilização em técnicas analíticas são exemplos de aplicações diretas no setor industrial. <sup>(1,2)</sup>

Na linha dos biomateriais, pode-se dizer que um material eleito para próteses, pode apresentar excelente característica mecânica e ótima biocompatibilidade com o receptor, porém apresenta déficit no quesito bactericida. Uma solução para contornar essa carência é através de técnicas de implantação iônica, pelo bombardeamento do material alvo por íons elementares, apresentando características nocivas às bactérias. Uma vez que haja o contato direto, o íon auxilia na assepsia de efeito oligodinâmico para prevenção de infecções, dessa forma a engenharia de superfícies adiciona uma nova propriedade as que já existiam anteriormente. <sup>(2-3)</sup> Nesses termos, o objetivo desta revisão é fazer o levantamento de parâmetros relacionados à implantação de íons, principalmente os de cobre, adaptando-as aos equipamentos disponíveis na Universidade Federal do Rio Grande do Sul e na Universidade de Caxias do Sul, as quais possuem equipamentos disponíveis para reproduzir algumas das técnicas ramificadas da implantação iônica. Este trabalho também tem como objetivo, identificar os campos de aplicação direta do produto formado e suas possíveis vantagens.

## 2 IMPLANTAÇÃO IÔNICA

A implantação pode ser vista como uma técnica alternativa aos métodos metalúrgicos convencionais onde as ligas são comumente obtidas. Uma das maiores vantagens da metalurgia iônica sobre a convencional é o emprego de minúsculas quantidades de matéria que podem ser adicionadas nas camadas mais superficiais do substrato, de forma controlada e estável, mantendo características semelhantes às ligas com um gasto consideravelmente menor de material. <sup>(6)</sup> A modificação superficial pelo bombardeamento iônico, de diversos elementos, tem sido extensivamente explorada, assim como seus efeitos. Estudos indicam tendências de alterações no mecanismo de difusão do substrato. <sup>(7)</sup>

A implantação iônica, ou qualquer outra técnica ramificada nesse processo, incluindo as analíticas, ocorre a partir da incidência de um feixe iônico com possível alteração de um substrato por resultado de interações energéticas dos íons com colisões elásticas e inelásticas no seu interior. Por sua energia envolvida, visa adicionar propriedades extras com apenas ínfima adição de um novo elemento, como é o caso de íons dopantes. Sucintamente, os átomos do elemento dopante são volatizados, ionizados e acelerados para o substrato. Quando o contato ocorre,

há uma perda de energia devido às colisões atômicas, alocando os íons logo abaixo da camada superficial. O bombardeamento pode ocorrer através do impacto de íons inertes ou reativos, sendo que ao ocorrer de forma controlada, durante a deposição, pode-se modificar as propriedades do filme tais como: a) morfologia, b) densidade, c) condutividade elétrica, d) tensão de filme residual e e) índice de refração. <sup>(1)</sup> Outras propriedades sensíveis a implantação iônica são: a) adesão, b) dureza, c) desgaste, d) fricção, e) resistência a oxidação, f) propriedades eletroquímicas, g) propriedades magnéticas, h) propriedades catalíticas, i) lubrificação, j) refletância, h) condutividade. <sup>(2)</sup>

O comportamento do composto gerado depende não só das propriedades inerentes de cada elemento, mas também da interação entre as duas espécies e das energias envolvidas no processo, geralmente na faixa de 100 eV a MeV. A importância do desenvolvimento constante deste método e a grande procura de aplicações dá-se porque: a) a concentração de átomos implantados pode ser controlada por medidas de corrente elétrica de forma precisa; b) o perfil de profundidade é ajustável pelas faixas de energia aplicadas e c) grande variedade de átomos e substratos disponíveis para utilização da técnica. <sup>(2,1)</sup>

Ao aplicar certas faixas de energia de interação entre superfície do substrato e íons é dada a seguinte classificação: <sup>(8,9)</sup>

- a) regime térmico (< 1 eV);
- b) regime hipotérmico (1 eV – 100 eV);
- c) regime de baixa energia (0,1 keV – 10 keV);
- d) regime de média energia (10 keV – 500 keV);
- e) regime de alta energia (> 500 keV).

A implantação iônica pode ser considerada, dentre os métodos difusionais ou de deposição de camadas, como um caso especial de revestimento, onde as profundidades envolvidas são estritamente rasas, comumente na ordem de nanômetros (nm) da superfície incidente. <sup>(1)</sup> Por ser um método físico, a implantação de íons apresenta um benefício adicional, no quesito bactericida, por não envolver adição de descontaminantes convencionais em meio líquido, baseados em agentes químicos como o cloro e seus subprodutos. <sup>(10,11)</sup> Essa atividade inibitória depende diretamente da concentração de íons encontrados no material base, que deve ser controlada, pois a saturação do mesmo pode causar toxicidade à saúde humana. <sup>(11,12)</sup>

Um fator de interesse do processo é a possibilidade de mudança da estrutura superficial de diversos compostos metálicos à temperatura ambiente, onde o princípio da nucleação e crescimento do filme deve ser derivado da energia cinética do feixe de íons ao invés do método convencional de aquecer o substrato sem causar danos ao substrato, sendo quase exclusividade da técnica. <sup>(13)</sup> Processos de implantação efetuados sob presença de vácuo tendem a apresentar compatibilidade com a área médica, pois trata-se de um processo limpo que não altera as dimensões perspectivas do produto. A utilização de vácuo torna-se conveniente devido ao fato de haver um aumento do livre caminho médio das moléculas e átomos, possibilitando que a maioria dos átomos vaporizados provenientes do material base seja depositada na superfície exposta do substrato. Assim como também é essencial para a limpeza do sistema, eliminando o oxigênio no interior da câmara. Diminuindo a interação entre superfície do substrato e átomos de oxigênio, diminui-se a probabilidade de oxidações indesejadas. <sup>(1)</sup>

A Universidade de Caxias do Sul dispõe de uma técnica de implantação iônica e de deposição de filmes finos chamada de *ion plating*, conforme ilustra Figura 1. Nesse processo, ainda há duas variações predominantes conforme a Figura 2. A primeira é regida através do *plasma-based ion plating*, onde o substrato, em contato com o plasma, é carregado negativamente e são acelerados íons de alta energia carregados positivamente em sua camada superficial. Sendo que o substrato pode atuar como um eletrodo catódico no estabelecimento do plasma do sistema. Na segunda variação denominada *vacuum-based ion plating*, ou também conhecida como *Ion Beam Assisted Deposition (IBAD)*, o filme é depositado no vácuo e bombardeado realizado através de um canhão de íons. Nessa etapa a fonte energética da emissão dos íons pode ser separada. Geralmente o feixe de íons é neutralizado pela adição de elétrons tornando o feixe volumetricamente neutro ou uma combinação íon/elétron em formato plasmônico prevenindo a repulsão coulombiana. <sup>(1,8)</sup>



Figura 1. Câmara e sistema de controle do *ion plating* da UCS

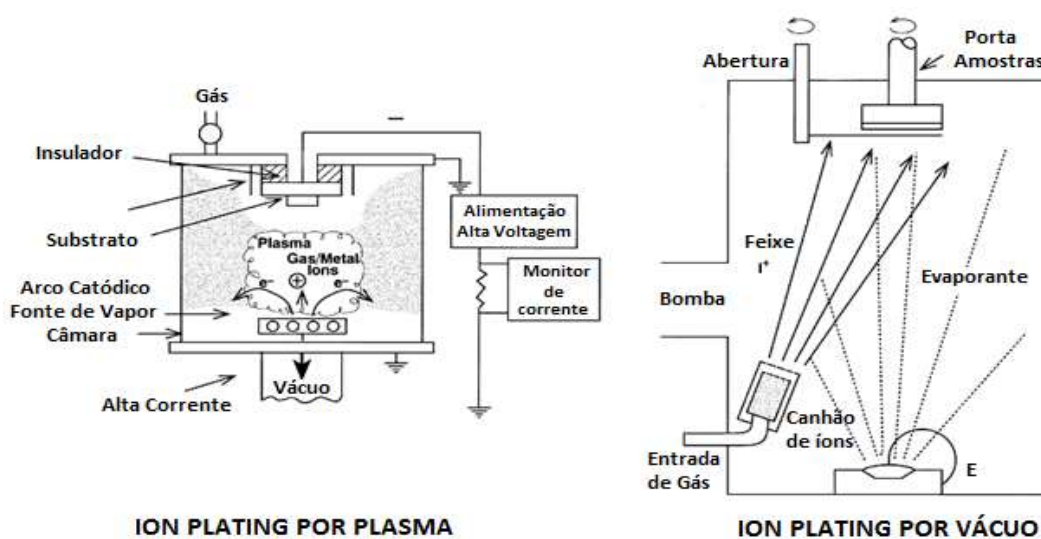
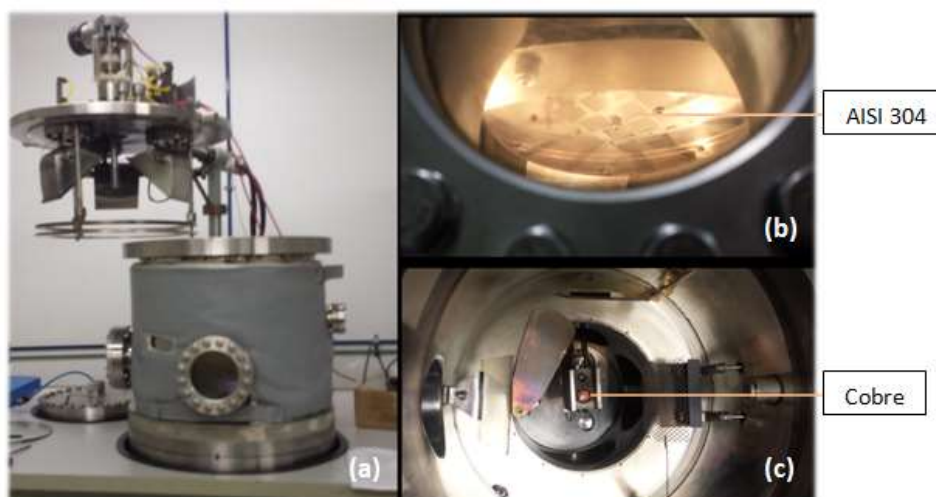


Figura 2. Sistemas de *ion plating*. <sup>(8)</sup>



O material selecionado como substrato na presente pesquisa para futura reprodução dos dados coletados é o aço inoxidável com composição dentro das especificações da norma ASTM designação A240/A240M. O cobre utilizado deve ser de elevada pureza com padrões eletrolíticos. A limpeza superficial, preparação prévia ao processo de implantação, geralmente é dada por polimento e limpeza por ultrassom para remoção de sujidades e átomos adsorvidos na superfície. Na literatura, há relatos que o polimento mecânico pode acarretar mudanças superficiais na microestrutura, onde a fase austenítica do aço tende a sofrer transformações para a fase martensítica. Sugere-se que esse efeito seja proveniente da soma entre a ação mecânica com a incidência direta de íons, preferencialmente os pesados, associados aos defeitos existentes do corpo. <sup>(14)</sup> Todavia com o polimento fino, a textura do material base provida no processo, pode minimizar efeitos corrosivos. <sup>(15)</sup> O cobre não necessita de tratamentos prévios, pois depende somente de sua alta pureza. Para minimizar a presença de átomos indesejados e manter sua qualidade, o elemento é alocado em um recipiente isolado a vácuo até ser inserido diretamente no repositório inferior do equipamento conforme ilustra a Figura 3.



**Figura 3.** (a) Câmara do implantador de íons; (b) Porta amostras localizado na parte superior do implantador com substrato AISI 304; (c) Vista interna da câmara onde é alocado o cobre.

Dependendo o equipamento, existe a possibilidade das amostras, limitadas pelo seu dimensional, serem alocadas no equipamento e implantadas no mesmo instante. Para manter toda a área do substrato exposta de maneira uniforme, a rotação do porta amostras é primordial e constante. Pode-se manter a homogeneidade da área de cobertura de bombardeamento das amostras, com conseqüente redução dos possíveis pontos cegos e diferenças entre posicionamento das amostras perante o cone formado pela evaporação do cobre, todavia essa hipótese está em processo de validação quanto ao equipamento disponível na universidade. Esse procedimento visa manter a quantidade de íons implantados o mais regular possível, propiciando a reprodutibilidade e qualidade. O dispositivo opera no vácuo, assim existe a necessidade de um tempo de latência para a estabilização do sistema e pressão de base recomendadas para seu início.

A Figura 4 ilustra a excitação do cobre pelo efeito termiônico propiciado pelo canhão de elétrons. Para ocorrer esse efeito térmico, existe um filamento de tungstênio-tório acoplado a uma bobina defletora na parte inferior do equipamento de *ion plating*, por onde passa alta corrente. A corrente fornecida incide no aumento

da energia cinética dos elétrons livres que são atraídos pelos íons positivos da rede cristalina do material metálico e formam uma nuvem eletrônica. Quando sua energia for suficiente para superar o potencial da superfície do material então ocorre a emissão dos elétrons no canhão colidindo com o cobre provocando sua evaporação. A tensão aplicada no BIAS, parte superior do equipamento, cria uma diferença de potencial e atrai os íons bombardeando o substrato. Os parâmetros previamente ajustados são o determinante que delimitam se o material sofrerá uma deposição superficial com nucleação de ilhas ou ocorrerá, de fato, a implantação iônica.



Figura 4. Incidência do canhão de elétrons no material a ser implantado

A primeira vista, após a implantação e retirada das amostras, pode não haver constatação de alterações visuais nos substratos. Uma vez que os materiais envolvidos no processo apresentam colorações distintas, a não visualização não exclui o fato do filme não existir. Isso ocorre pelo fato do íon adentrar no material pelas energias envolvidas no processo e não aderindo apenas superficialmente quando aplicado com energias menores. Claramente, análises de quantidade de íons implantados devem ser realizadas para verificação da validade do processo.

Existem modelos que preveem as interações entre íons e matéria convertendo-as em perfis de profundidade. Alguns exemplos são o TRIM, SRIM e CORTEO, programas de simulação computacional que estimam a profundidade dos íons implantados. Como alguns softwares são *open source*, existe algoritmos adicionais com modelos matemáticos diferenciados que alteram algumas considerações mais complexas entre colisões simultâneas de bilhões de partículas para dados estatísticos de amostragem ou de padrões de repetição, onde que o principal objetivo é a possibilidade de realizar os cálculos num computador doméstico, não apenas em grandes instalações. <sup>(16,17)</sup>

Essa estimativa é baseada na aproximação Gaussiana e no método de Monte Carlo, fundamentada na teoria das colisões binárias do contato íon-alvo e alvo-alvo, onde cálculos complexos de transferência de momentum são aplicados. O método de Monte Carlo é utilizado extensivamente em diversos setores industriais e governamentais para estudar o comportamento de sistemas complexos de qualquer natureza, até mesmo programas do cotidiano como o *Excel*. Sua ideia geral dá-se por repetição de modelos de amostras randômicas com variáveis aleatórias, logo, armazenando os diferentes resultados e projetando padrões em cima dos dados. <sup>(18)</sup>

A análise de perfis de profundidade não é trivial, todavia, levando em consideração a profundidade ínfima, essas técnicas de aproximação são

extremamente relevantes e válidas. Os melhores resultados são esperados quando se trabalha com baixas fluências na ordem de  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ . Para altas fluências, o choque entre mais partículas e desvios do reticulado cristalino criados nessas interações, incrementa a dificuldade da precisão adequada do software. <sup>(17,18,2)</sup>

Um método convencional para análise de profundidade é através da técnica de caracterização denominada *Rutherford Backscattering Spectrometry* (RBS). Tem sido amplamente utilizada na análise da composição química de filmes finos concomitantemente com a medição de sua espessura. A técnica de RBS consiste na análise da energia dos íons que são retroespalhados numa superfície. A aplicação envolve uso de feixes colimados e monoenergéticos de partículas leves como prótons  $\text{H}^+$ ,  $\text{He}^+$  ou partículas alfa  $\text{He}^{++}$  que são aceleradas para a amostra a ser analisada, geralmente com um potencial energético de 0,5 a 2,0 MeV. A profundidade de análise da maioria dos equipamentos disponíveis é estimada na faixa de 10 a 100 nanômetros dependendo da diferença de massa e energia do feixe de íons utilizados, porém é possível refinar ainda mais essa técnica e conseguir faixas de 1 nm. Esse é considerado um método analítico direto, não destrutivo e quantitativamente preciso. <sup>(8,19,20)</sup>

O ensaio de RBS, por ser não destrutiva, é frequentemente utilizada para calibrar outras técnicas havendo, por exemplo, um limite de sensibilidade de aproximadamente  $10^{18} \text{ átomos.cm}^{-3}$  em uma matriz de silício, sendo comparada com a sensibilidade limite de outras técnicas como a espectroscopia de emissão atômica (AES) e espectroscopia de fotoelétrons induzidos por raio X (XPS), porém muito menos que a espectrometria de massa de íons secundários (SIMS). <sup>(19)</sup>

### 3 COBRE

Cobre e suas ligas têm sido amplamente utilizados para aplicações que requerem resistência à corrosão por um custo moderado. Em condições de temperatura 290 a 400 °C, as ligas de cobre são superiores aos aços inoxidáveis e suas derivações. Apresentam resistência a incrustações biológicas, soluções salinas, neutras ou soluções levemente alcalinas e químicos orgânicos. <sup>(21)</sup>

O cobre ainda é indicado para uso em ambientes que prezam pela higiene, como é o caso de hospitais e indústrias alimentícias, Figura 5. <sup>(22)</sup> Sua característica natural bactericida pode ser de grande valia contra micro-organismos patogênicos. Sob certas condições de operação, concentração, umidade, temperatura e tipo de micro-organismo envolvido, o cobre pode evitar o crescimento do biofilme prevenindo maiores complicações. Todavia a concentração de cobre deve ser dosada para não atingir níveis tóxicos para saúde humana. <sup>(23)</sup>

Pertence ao grupo de metais nobres sendo quase quimicamente inerte, como indica sua presença no solo em estado nativo. O cobre e suas ligas são catódicos em relação maioria dos metais industriais. Ligas com alto teor de cobre apresentam resistência análoga à do cobre não ligado. Nas ligas mais ricas em elementos de adição, como Ni, Al e Sn, estes aumentam consideravelmente a resistência do cobre a diferentes formas de corrosão, enquanto o zinco e ferro podem alterar em certas condições. <sup>(24)</sup> Sendo estáveis em diversos ambientes, as ligas de cobre também apresentam resistência à bioincrustação. <sup>(23)</sup>



**Figura 5.** Aplicações do cobre bactericida. <sup>(22)</sup>

O cobre e suas ligas são resistentes à corrosão em contato com alimentos e bebidas. No entanto, deve-se ter em mente que pode haver traços de cobre no produto final, alterando coloração e paladar. Em alguns casos, recomenda-se utilizar revestimento de estanho para contornar prováveis percalços. <sup>(21)</sup> Wan et al. <sup>(25)</sup> estudaram os efeitos de íons de cobre e prata em materiais biomédicos relacionando características bactericidas e corrosivas. A implantação foi realizada em substratos de titânio, Ti-Al-Nb e aço inoxidável 317L. Os autores obtiveram sucesso com os íons de prata, porém o cobre apresentou indícios de redução da proteção contra corrosão do substrato nos meios analisados. Em outros estudos, a adição de Cu nos aços inoxidáveis austeníticos, ferríticos e martensíticos melhorou a resistência a corrosão em meio H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> apresentando supressão da dissolução ativa. <sup>(26)</sup>

## 2 INTERAÇÕES COM ÍONS

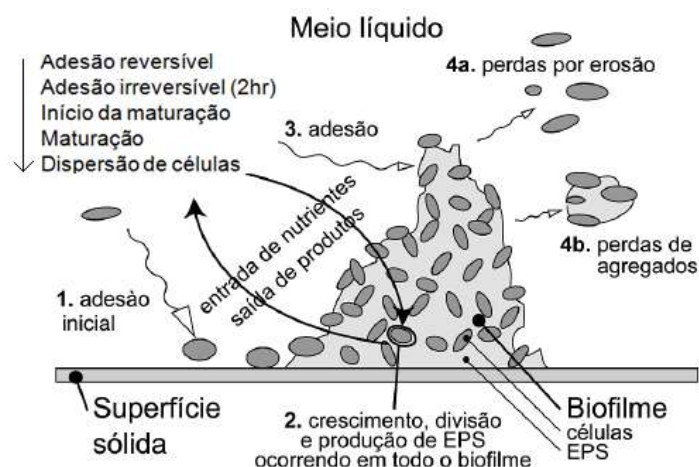
Alguns metais, em quantidade mínima, apresentam aceitável compatibilidade com o corpo humano e não são rejeitados, porém estudos periódicos devem ser realizados para minimizar inconvenientes. Atualmente são utilizados mais de 40 tipos diferentes de materiais e composições na indústria médica. <sup>(4)</sup> Os mais utilizados são derivados de ligas de titânio e cobalto juntamente com aços inoxidáveis. O aço inoxidável ainda é intensamente utilizado, além de apresentar um custo menor e com melhor usinabilidade, ele pode ser mais indicado do que o próprio titânio para certas aplicações. Um dos motivos é por apresentar módulo de elasticidade mais compatível com alguns tecidos do corpo humano e onde a integração óssea do titânio não seja desejada. <sup>(27)</sup> Os metais com propriedades de toxicidade contra microorganismos, conhecida atualmente, obedecem à seguinte progressão por ordem decrescente de eficácia: Ag, Hg, Cu, Cd, Pb, Co, Au, Zn, Fe, Mn, Mo e Sn. Sendo importante ressaltar que a prata apresenta a menor toxicidade para as células animais. <sup>(9,28)</sup>

Sabe-se que o efeito antimicrobiano de alguns íons é verídico, porém o mecanismo exato de ação ainda é obscuro. Especialistas afirmam que é dado pela desnaturação e condensação das moléculas de DNA suprimindo sua atividade de reprodução, como também há interação com o grupo tiol das proteínas, o que induz

a desativação de bactérias como é o caso da *E. coli* e *S. aureus*. Onde essa atividade inibitória depende diretamente da concentração de íons de prata encontrada no substrato, que deve ser controlada, pois a saturação do mesmo pode causar toxicidade à saúde humana. (11,12,28)

Antibióticos de uso tópico e sistêmico são geralmente utilizados para amenizar alguns problemas de infecção causados pela contaminação de biomateriais, porém não combatem a proliferação de bactérias na superfície do mesmo, onde micro-organismos se enraízam. Uma das soluções proeminentes é a prevenção pela implantação direta de uma superfície com característica antimicrobiana formada através da prata, sendo segura, efetiva e com tempo prolongado de vida. (3,29)

Esse enraizamento por parte dos microrganismos é a criação do biofilme na superfície do material. Quanto mais irregular o substrato, mais complexa é a prevenção de sua formação. Alguns biofilmes podem ser benéficos, por exemplo, em estações de tratamento de efluentes por contato direto, onde organismos patogênicos são removidos, assim como a quantidade de matéria orgânica do fluido. (29) Ainda é relatado o impacto dessa película, agindo negativamente para o processo, pode levar a biocorrosão e contaminação de produtos ou seres humanos. Na Figura 6 é esquematizada a formação e proliferação do biofilme.



**Figura 6.** Formação e proliferação do biofilme. (29)

Análises por AFM denotam que as paredes celulares externas de bactérias foram significativamente alteradas ao entrar em contato com o material bactericida. O dano permanente ocasiona graves avarias ao organismo. Isso leva a diferenças na pressão osmótica com vazamento do conteúdo celular e conseqüentemente sua inativação. Um fator interessante é a melhor adesão aparente da bactéria na superfície do material que apresenta íons de cobre em sua composição em comparação a superfície natural do aço inoxidável. Leva a crer que a força eletrostática proveniente da adição do  $\text{Cu}^{2+}$  é um fator considerável na ação bactericida. Com o contato prolongado, a concentração de Cu na interface metal / bactéria tem um incremento diminuindo a atividade celular do organismo. (30)

Através da implantação iônica, doses iniciais de  $10^{16}$  íons. $\text{cm}^{-2}$  provem certa inativação do biofilme e na ordem de  $10^{17}$  íons. $\text{cm}^{-2}$  conseguem atingir capacidades bactericidas constatadas de 99 a 100 % contra a *S. aureus* e *E. coli*. Onde a

variação de eficiência entre espécimes é dada não só pela quantidade de íons implantados, mas também pela estrutura e espessura da parede celular. Quanto mais espessa a parede, maior é a dificuldade do íon de cobre penetrar e desnaturar a bactéria. Um artifício utilizado para manter a capacidade máxima de desnaturação dessas bactérias é o tratamento de recozimento do aço inoxidável após implantação, traduzido como um aumento na profundidade de acomodação dos íons de cobre. (31,32)

Através da análise por ICP-OES - *inductively coupled plasma optical emission spectrometry* da liberação de íons do cobre implantado, trabalhos reportados na literatura constataram a baixa liberação com forma constante, na ordem de 0,8 ppb/dia/cm<sup>2</sup>, mantendo intensa capacidade bactericida. Ainda é ressaltado que outros elementos contidos no interior do aço também podem ter participação nessa ação coordenada de efeitos bactericidas, principalmente Fe, Cr, e Ni. (33)

Como foi mencionado anteriormente, outro íon usualmente empregado é a prata devido a sua eficiência na desnaturação de bactérias. Mais precisamente com doses a partir da ordem de 10<sup>15</sup> íons.cm<sup>-2</sup> é possível constatar sua ação bactericida. Onde os íons livres propagam a atividade bactericida em taxas superiores a 90 % de funcionalidade, mesmo após exposição a ambientes externos como o próprio ar ou imersão em água canalizada por mais de 1 ano de contato. (34) Dose de íons na ordem de 10<sup>15</sup> íons.cm<sup>-2</sup> de Si e Ni como elementos dopantes no AISI 304 tem sido avaliados quanto ao efeito na resistência à corrosão em solução de NaCl. (35) Cada elemento inserido unitariamente melhora as propriedades anticorrosivas. As colisões entre os átomos são responsáveis pelas alterações da microestrutura, não somente pela resposta química dos elementos envolvidos. Pode-se dizer que quanto maior o átomo incidente, maior o efeito na estrutura. (34, 35)

Ao se tratar de materiais biológicos, uma das grandes fontes de estudo é o sangue. Sendo um fluido móvel de coloração vermelha, com gravidade específica de 1.058, considerado viscoso, aproximadamente 5 vezes mais do que a água a mesma temperatura. Sob condições normais, o pH do sangue varia de 7,35 a 7,45 e circula a 38°C. Apresenta vasta gama de componentes gerando uma estrutura complexa. Muitas dessas substâncias encontram-se em suspensão sólida. As que se destoam são: a) adenosina; b) ácido ascórbico; c) dióxido de carbono; d) gordura; e) glicose. Entre outros diversos compostos com propriedades diferentes. (21)

Havendo influências de reações adversas do corpo como inflamações pós operatórias, o pH do fluido corpóreo sofre bruscas alterações, variando entre propriedades ácidas e básicas que muitas vezes é capaz de acelerar a degradação do material. As reações de interesse ocorrem na interface do material com os tecidos ou fluidos do meio, determinando sua viabilidade. (36) O material deve suportar o ambiente agressivo com o mínimo de dano possível. Geralmente os materiais são testados empregando-se técnicas eletroquímicas como, por exemplo, polarização cíclica em um fluido corpóreo simulado ou solução de Hanks a 37 °C por determinado tempo. (37,38)

Materiais distintos ainda podem ser beneficiados com a técnica de implantação iônica previamente citada, sendo aplicáveis a materiais não metálicos. Como a gama de aplicações é vasta, estudos têm sido relatados na literatura para alteração superficial em materiais poliméricos causando efeitos de cross linking e modificação de propriedades semelhantes às realizadas com metais. (39,2) Variações de processos para utilização de íons dopantes também são utilizadas concomitantes a técnicas de eletrodeposição, visando criar novas combinações de materiais, como é o caso da conversão de CO<sub>2</sub> em etanol exaltam a participação benéfica do cobre

como elemento depositante, onde nanoaglomerados superficiais podem ser utilizados como catalisadores de reação provendo um incremento considerável na eficiência do processo. <sup>(40)</sup>

#### 4 DEGRADAÇÃO

Na implantação há obtenção de soluções sólidas que são praticamente impossíveis de se obter na metalurgia convencional. <sup>(6)</sup> O processo de degradação de materiais metálicos é um ataque destrutivo caracterizado por interações químicas e eletroquímicas baseados no balanço de elétrons. Metais que liberam seus íons em solução e emitem os elétrons, onde ocorre a oxidação, é denominado anodo. Os metais que sofrem redução são denominados catodos. O acúmulo líquido de cargas elétricas dos elétrons e íons não é possível, uma vez que a taxa de redução deve ser equivalente a taxa de oxidação. <sup>(41)</sup> Qualquer precipitado que extraia elementos importantes para resistência à corrosão da solução sólida ou gere fases que são mais catódicas ou anódicas à matriz, tem o potencial de reduzir a resistência à corrosão de metais como o aço inoxidável. <sup>(21)</sup>

Quando se iniciou a busca por matérias com resistência à corrosão, em 1936, o primeiro material desenvolvido e projetado para implantes cirúrgicos na ortopedia foi uma liga de cromo cobalto. Seguido por variações nos teores de elementos das ligas para acrescentar propriedades ou até mesmo para favorecer a industrialização de componentes metálicos. <sup>(42)</sup> Os principais elementos que se destacam na proteção à corrosão nos aços inoxidáveis são: a) Cromo; b) Níquel; c) Manganês e d) Molibdênio. <sup>(21)</sup> Na literatura é reportado que o molibdênio, em dadas condições de operação e meio, diminui tanto o potencial de passivação quanto a densidade de corrente de passivação do material, que facilitaria o crescimento da camada passiva e beneficiaria na prevenção contra a corrosão. <sup>(43)</sup>

Um método para contornar a corrosão do aço inoxidável em certos ambientes, como o caso do  $H_2SO_4$ , seria a deposição de filmes, que permitissem reduzir o potencial do hidrogênio, favorecendo a formação parcial da camada passiva. A camada oxidada pode ser composta principalmente por  $Cr_2O_3$ ,  $Cu_8$ ,  $CuSO_4$ ,  $Fe_2O_3$  e  $FeSO_4$ . <sup>(44)</sup> O cobre pode ser estável como cobre metálico,  $CuCl_2$  solúvel,  $CuCl$  insolúvel e íons  $Cu^{2+}$ , dependendo do potencial aplicado. Em meios sulfurosos, há formação benéfica de compostos insolúveis de que inibem o efeito danoso do enxofre. <sup>(45)</sup>

Na literatura, também existe a possibilidade de resultados negativos relacionado ao efeito protetivo do aço inoxidável. No tratamento térmico de envelhecimento do aço inoxidável austenítico, surge à formação da fase  $\epsilon$ -Cu que são pequenos aglomerados na matriz austenítica. Quando precipita na camada passiva do material, cria-se um par galvânico do contato entre fases e a superfície reativa do metal que resulta na descontinuidade do filme passivo com pontos mais suscetíveis ao ataque corrosivo. Em solução de NaCl fica evidenciado o aumento do dano causado ao material, pois tal fase possui baixa resistência a cloretos e a consequente diminuição da resistência à corrosão por pite. <sup>(46)</sup>

Estudos realizados com quantidades de cobre em até 3% em peso na composição da liga, afirmam que o potencial de pite diminui em meio NaCl deaerado. Contudo, não foi verificada a influência sobre o início ou propagação do processo de corrosão, mas sim na cinética de repassivação. Tende a aumentar o valor de corrente retardando a habilidade de repassivação do material. <sup>(45)</sup> Outro

estudo relata que com adições semelhantes de cobre no AISI 304 e no AISI 316 observou-se o favorecimento da nucleação do pite com inibição do seu crescimento, em solução de NaCl 3,5 %. Adição de Cu reduziu o potencial de pite, no entanto, potenciais de corrosão e de repassivação não apresentaram variações significativas com a adição do elemento. <sup>(47)</sup>

No processo de corrosão localizada por pite do aço inoxidável com adição de cobre, o fundo da cavidade do pite é considerado uma zona catódica, onde naturalmente, espera-se que a concentração de cobre metálico nessa área cresça aderindo-se as paredes da cavidade. Assim supõe-se que o cobre metálico retarda a formação do filme passivo, pois permanece na superfície como um invólucro, impedindo que os átomos de ferro e cromo se oxidem. Fato que diminui a resistência a corrosão por pites. <sup>(45)</sup> Outra teoria sugere que o filme passivo do aço inoxidável pode se tornar instável com a adição do cobre, promovendo a estabilização do pite em si. <sup>(48)</sup>

Visto que o potencial de dissolução depende da concentração do meio, temperatura, sinergia dos elementos envolvidos e composição do material proveniente da indústria, ainda existe a dificuldade de adaptar um mecanismo genérico para esse efeito. Dificultando prever resultados em um ambiente industrial com diferenças bruscas nas variáveis e erros humanos, diferindo das laboratoriais. <sup>(45)</sup> Aparentemente, ainda falta um entendimento completo do comportamento corrosivo do cobre. Todavia, cada caso é relativo a um meio específico e concentração do material dopante na matriz, nesse caso, do aço inoxidável. O que ressalta a importância de estudos voltados para materiais e seu comportamento. <sup>(49)</sup>

#### **4 CONCLUSÃO**

Os estudos sugerem que a manipulação de materiais é benéfica e extremamente valiosa, onde há um incremento das propriedades de substratos metálicos. A característica bactericida é alcançada e demonstra ser eficaz quando doses a partir da ordem de  $10^{16}$  íons.cm<sup>-2</sup> são ministradas. Apresentando excelente reprodutibilidade, a abrangência das áreas de aplicação são virtualmente inimagináveis, onde sua gama compreende desde a indústria pesada até setores do ramo médico, farmacêutico e alimentício. Pelo fato da implantação iônica apresentar diversas variações operacionais, faz-se necessário o estudo constante de seu potencial para compreender, aprimorar e mapear alguns de seus mecanismos, visando tangenciar a exploração desta técnica em sua totalidade

#### **Agradecimentos**

Ao Laboratório de Pesquisa em Corrosão (LAPEC) e ao Instituto de Física e Implantação Iônica da UFRGS, ao Laboratório de Engenharia de Superfícies e Tratamentos Térmicos (LESTT) da UCS e à empresa Canamor Metalúrgica Ltda pelo incentivo à pesquisa.



## REFERÊNCIAS

- 1 MATTOX, D. M. Handbook of physical vapor deposition (PVD) processing. 2. ed. Elsevier, 2010
- 2 SCHMIDT, B; WETZIG, K. Ion beams in materials processing and analysis. 1. ed. New York: Springer, 2013.
- 3 SIOSHANSI, P; TOBIN, E. J. Surface treatment of biomaterials by ion beam processes, Surface and Coatings Technology 83 (1996) 175-182.
- 4 RODRIGUES, L. B. Aplicação de biomateriais em ortopedia. Estudos Tecnológicos em Engenharia 9 2 (2013) 63-76.
- 5 LALLEY, Jacob et al. Silver-based antibacterial surfaces for drinking water disinfection: an overview, Current Opinion in Chemical Engineering 2014 3 (2014) 25–29.
- 6 RADJABOV, T. D Improvement of the corrosion properties of metals by ion implantation, Vacuum 38 (1988) 979-985.
- 7 PEREZ, F. J. Surface modification of ion-implanted AISI 304 stainless steel after oxidation process: X-ray absorption spectroscopy analysis, Thin Solid Films 415 (2002) 258-2655.
- 8 MATTOX, D. M. Handbook of physical vapor deposition (PVD) processing: film formation, adhesion, surface preparation, and contamination control. Society of Vacuum Coaters. New Mexico: Noyes Publications, 1998.
- 9 NOVELLO, Junia C. de Lima. Implantação de íons de prata em aço inoxidável e infecção fágica para o controle de adesão e formação de biofilmes bacterianos na indústria de alimentos. 2012. 112 f. Tese (Doutorado em ciência e tecnologia de alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- 10 HILDEBRAND, H. F. et al. Surface coatings for biological activation and functionalization of medical devices, Surface and Coatings Technology 200 (2006) 6318-6324.
- 11 FENG, Q. L. et al. A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on Escherichia coli and Staphylococcus aureus, Journal of Biomedical Materials Research 52 4 (2001) 662-668.
- 12 SÁNCHEZ-LÓPEZ, J. C. et al. Influence of silver content on the tribomechanical behavior on Ag-TiCN bioactive coatings, Surface and Coatings Technology 206 (2012) 2192-2198.
- 13 TECHNOLOGY UTILIZATION CONFERENCE, 1972, Washington. Proceedings... Washington: National Aeronautical and Space Administration, 1972.
- 14 CHAYAHARA, A. et al. Martensitic transformation of type 304 stainless steel by high-energy ion implantation, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research 59/60 (1991) 893-896.
- 15 KUMAR, B. R. et al. Effect of texture on corrosion behavior of AISI 304L stainless steel, Materials Characterization 54 (2005) 141– 147.
- 16 ZIEGLER J. F. SRIM - The Stopping and Range of Ions in Matter. Disponível em: <<http://www.srim.org>>. Acesso em: 10/07/2017.
- 17 Schiettekatte, F. Fast Monte Carlo for ion beam analysis simulations, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 266 (2008) 1880–1885.
- 18 THOMOPOULOS, N. Essentials of monte carlo: statistical methods for building simulation models. 1. ed. New York: Springer, 2013.
- 19 BUNSHAH, Rontan F. Handbook of deposition technologies for films and coatings: science, technology e applications. 2. ed. New Jersey: Noyes Publications, 1994.

- 20 MARCONDES, T. L. Formação de nanopartículas de Sn e PbSe via implantação iônica em Si(100). 2009. 133 f. Tese (Doutorado em microeletrônica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- 21 CRAIG, B. D; ANDERSON, D. B. Handbook of Corrosion Data. ASM International: USA, 2002. 990 p.
- 22 Cobre saúde, meio ambiente e novas tecnologias. Disponível em: <[http://procobre.org/media-center/pt-br/component/jdownloads/send/2-publicacoes/66-cobre-saude-meio-ambien te-e-novas-tecnologias.html?option=com\\_jdownloads](http://procobre.org/media-center/pt-br/component/jdownloads/send/2-publicacoes/66-cobre-saude-meio-ambien-te-e-novas-tecnologias.html?option=com_jdownloads)>. Acesso em: 01/06/2017.
- 23 GRONEMEYER, F. G. Propriedades antimicrobianas do cobre. Procobre Brasil, [201-]. Disponível em: <<http://procobre.org/pt/?ddownload=5516>>. Acesso em: 01/05/2016.
- 24 SENAI. Metalurgia das ligas de cobre. 5 ed. belo horizonte, DFP/DAT - departamento regional de minas gerais, 1987. 118 p.
- 25 WAN, Y.Z.; RAMAN S.; HE, F.; HUANG, Y. Surface modification of medical metals by ion implantation of silver and copper, Vacuum, 81 (2006) 1114-1118.
- 26 EMEKA, E. O. et al. The effect of Cu addition on the electrochemical corrosion and passivation behavior of stainless steels, Electrochimica Acta 55 (2010) 5028–5035.
- 27 CALDERON, V. et al. Ag+ release and corrosion behavior of zirconium carbonitride coatings with silver nanoparticles for biomedical devices, Surface and Coatings Technology 222 (2013) 104-111.
- 28 NETO, E. A. B; RIBEIRO, C; ZUCULOTTO, V. Síntese de nanopartículas de prata para aplicação na sanitização de embalagens. Embrapa, 2008. Disponível em: <<http://www.clickciencia.ufscar.br/portal/edicao19/Artigo.pdf>>. Acesso em: 12/04/2014.
- 29 XAVIER, J. B. et al. Monitorização e modelação da estrutura de biofilmes. Biomatemática - Boletim de Biotecnologia. Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2002.
- 30 NAN, L. et al. Study on antibacterial mechanism of copper-bearing austenitic antibacterial stainless steel by atomic force microscopy, J Mater Sci: Mater Med (2008) 19 3057–3062.
- 31 XIONG, J; XU, B; NI, H. Antibacterial and corrosive properties of copper implanted austenitic stainless steel, International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials 16 3 (2009) 293
- 32 DAN, Z. G. et al. Microstructure and antibacterial properties of AISI 420 stainless steel implanted by copper ions, Corrosion Science 49 (2007) 510–525.
- 33 REN, L. et al. Determination of Cu<sup>2+</sup> ions release rate from antimicrobial copper bearing stainless steel by joint analysis using ICP-OES and XPS, Materials Technology: Advanced Biomaterials 30 (2015) B2 B86-B89.
- 34 RONGSHENG, C. et al. A preliminary study on antibacterial mechanisms of silver ions implanted stainless steel, Vacuum, 89 (2013) 249-253.
- 35 MARTINEZ, L; GOMEZ, G; PEREZ, F. L. Sinergistic effect of ion implantation as a surface modification technique to improve localised corrosion of AISI 304 austenitic stainless steel, Surface & Coatings Technology 195 (2005) 70– 80.
- 36 CHU, P. K. Surface engineering and modification of biomaterials, Thin Solid Films 528 (2013) 93–105.
- 37 BIDHENDI, H. R A.; POURANVARI, M. Corrosion study of metallic biomaterials in simulated body fluid, Association of Metallurgical Engineers of Serbia, Metalurgija - MJoM 17 (2011) 13-22.
- 38 DE ASSIS, S.L.; WOLYNEC, S.; COSTA I. Corrosion characterization of titanium alloys by electrochemical techniques, Electrochimica Acta 51 (2005) 1815-1819.

- 39 GARCIA, J. A; RODRIGUEZ, R. J. Ion implantation techniques for non-electronic applications, *Vacuum* 85 (2011) 1125-1129.
- 40 SONG, Y. et al. High-selectivity electrochemical conversion of CO<sub>2</sub> to ethanol using a copper nanoparticle/n-doped graphene electrode, *ChemistrySelect* 1 (2016) 6055–6061.
- 41 CALLISTER, W. D. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 7. ed. Rio de Janeiro: GEN, 2008.
- 42 DORF, R. C. *The Engineering Handbook*. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 2000.
- 43 GEMELLI, E. *Corrosão de Materiais Metálicos e sua Caracterização*. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 183 p.
- 44 PARDO, A. et al. Corrosion behaviour of AISI 304 stainless steel with Cu coatings in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, *Applied Surface Science* 253 (2007) 9164–9176.
- 45 SOURISSEAU, T; CHAUVEAU, E; BAROUX; B. Mechanism of copper action on pitting phenomena observed on stainless steels in chloride media, *Corrosion Science* 47 (2005) 1097–1117.
- 46 HONG, I. T; KOO, C. H. Antibacterial properties, corrosion resistance and mechanical properties of Cu-modified SUS 304 stainless steel, *Materials Science and Engineering A* 393 (2005) 213–222.
- 47 PARDO, M. C. et al. Pitting corrosion behaviour of austenitic stainless steels with Cu and Sn additions, *Corrosion Science* 49 (2007) 510–525.
- 48 UJIRO, T. et al. Effect of alloying Cu on the corrosion resistance of stainless steels in chloride media, *Corrosion Science* 43 11 (2001) 2185-2200
- 49 TONG, X. et al. Effect of copper addition on mechanical properties, corrosion resistance and antibacterial property of 316L stainless steel. *Materials Science and Engineering C* 71 (2017) 1079-1085.

## COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS NYLON 66 E NYLON 66 COM ADIÇÃO DE 5% DE GRAFITE APÓS A EXPOSIÇÃO AS INTEMPÉRIES.

Zucolotto, I.<sup>1</sup>, Linck, C.<sup>2</sup>, Santana, R. M. C.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> de Produção (Ênfase em Mecânica), Igor Zucolotto Gonzaga, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), igor\_zucoloto@hotmail.com

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia de Materiais, Cristiano Linck, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Sapiranga, cristianolinck@ifsul.edu.br

<sup>3</sup> Pós-Doutora em Engenharia de Materiais, Ruth Marlene Campomanes Santana, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ruth.santana@ufrgs.br.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo

A poliamida - Nylon 6.6 (PA) é um polímero higroscópico, ou seja, tem a capacidade de absorver umidade do ambiente onde está exposto. Essa característica torna a poliamida um material com alta instabilidade dimensional, podendo comprometer tolerâncias de projetos de engenharia, dependendo o local onde o componente está exposto, gerando assim um alto custo de qualidade e garantia para as companhias, já que o mesmo é amplamente utilizado na indústria Automotiva e Agrícola. Este estudo consiste em expor o material - Nylon 6.6 virgem e Nylon 6.6 com adição de 5% de grafite a intemperismo natural durante um período de 6 meses após ser injetado e resfriado em diferentes temperaturas no molde (60°C e 90°C), sendo analisado em 3 momentos: material sem exposição, com exposição de 3 meses e com exposição de 6 meses. Busca-se com o trabalho proposto, verificar o comportamento dos dois materiais a fim de definir um material mais estável com base nos resultados dimensionais e de massa encontrados, ampliando assim sua aplicabilidade. Verificou-se no período definido que os materiais nylon 66 Virgem e com adição de 5% de grafite obteve um aumento na massa e dimensional entre o 1º mês (sem exposição) e o 3º mês (exposto). No 6º mês os materiais não apresentaram variação significativa de massa e dimensional.

**Palavras-chave:** Injeção, Nylon 6.6, Instabilidade Dimensional, Massa, Intemperismo.

**Comparison of the physical properties of the materials Nylon 66 and nylon 66 with the addition of 5% graphite after exposure to the weatherproof.**

### Abstract

Nylon 6.6 polyamide (PA) is a hygroscopic polymer, has the ability to absorb moisture from the environment where he is exposed. This feature makes the polyamide material with high dimensional instability, potentially compromising tolerances of engineering projects, depending on the location where the component is exposed, thus creating a high cost of quality and guarantee for companies, since it is widely used in the automotive industry and agriculture. This study consists in exposing the material Nylon Virgin 6.6 and 6.6 with addition of 5% of graphite to the

weather (temperature and humidity) during a period of 6 months after being injected and cooled at different temperatures in injection molding, 60°C and 90°C, being analyzed in 3 moments: material without exposure, with exhibition of 3 months and 6 months of exposure to the weather. Search with the proposed work, verify the behavior of the two materials in order to define a more stable material based on the dimensions and mass results found, extending its applicability. It was found in the defined period material nylon 66 Virgin and with addition of 5% graphite obtained an increase in mass and dimensional between the 1st month (without exposing the elements) and the 3rd month (exposed to bad weather). In the sixth month the materials did not present significant variation of mass and dimensional.

**Key words:** Injection, Nylon 66, Dimensional Instability and Mass, Weathering.

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de injeção é um dos mais utilizados para a moldagem de peças e artefatos poliméricos. Consiste em plastificar o material polimérico, geralmente particulada na forma de grãos ou pó, utilizando-se uma máquina injetora. O material entra por um funil de alimentação e por ação da gravidade é conduzido para uma rosca sem fim dentro de um canhão aquecido por resistências elétricas que plastificam o material previamente sólido. Outra forma de geração de calor no processo é a dissipação viscosa proveniente do espaço mínimo entre rosca e canhão que gera atrito e, conseqüente, aquecimento e plastificação do material. <sup>(1)</sup>

Após plastificado, o material por sua vez deve adquirir a forma do produto pretendido. O molde é a ferramenta que dá forma ao produto, ou seja, a massa plastificada é injetada para dentro desta ferramenta onde após o resfriamento e solidificação recebe a geometria da cavidade do molde que possui as características do produto. O processo de injeção não é constante, mas sim alternado, repetindo de tempos em tempos seu ciclo de trabalho. <sup>(1)</sup>

As poliamidas constituem uma classe de polímeros bastante desejável para aplicações de engenharia devido à combinação de propriedades, tem uma boa resistência química e a abrasão, elevada resistência à tração e a impacto, estabilidade dimensional e de fácil processamento conforme descrito por diversos autores. <sup>(2) (3) (4)</sup> Além disso, devido ao sua característica higroscópica, propriedades como estabilidade dimensional, geométrica, densidade e resistência mecânica dos componentes gerados no processo de injeção, variam de acordo com sua umidade.

<sup>(2) (5) (6)</sup>

A alta resistência mecânica que estes materiais possuem se deve às ligações do tipo pontes de hidrogênio, formadas entre as carbonilas de uma cadeia e o hidrogênio da ligação amida da outra cadeia. Por outro lado, a presença desta ligação facilita a permeação de moléculas de água, difundindo entre as cadeias e se posicionando na ponte de hidrogênio. Em função do número de pontes de hidrogênio por grupos CH, que é diferente segundo o tipo do nylon, têm-se diferentes níveis nominais (em equilíbrio) de absorção de água, variando entre 0,5 e 2% ou atingindo a saturação (nível máximo de absorção) de 2 a 9%.<sup>(8)</sup>

O Nylon 6,6 é um tipo de poliamida, que será apresentado neste estudo e que apresenta problemas de estabilidade dimensional durante o processo de resfriamento de peças moldadas por injeção. Este efeito pode ser corrigido com a adição de cargas à base de silicatos.<sup>(7)</sup>

As cargas são aditivos sólidos, geralmente inorgânicos, que são incorporados em uma matriz polimérica e podem ser classificados de acordo com o efeito nas propriedades mecânicas da mistura resultante. Além de proporcionar redução de custo estas cargas podem proporcionar o aumento da densidade do composto, reduzir a estabilidade dimensional, além de melhorar as propriedades mecânicas e a temperatura de deflexão sob carga.<sup>(9) (10)</sup>

O objetivo deste trabalho foi de comparar dois materiais (Pa 66 virgem e Pa com carregamento de 5% de grafite) quanto sua variabilidade dimensional e de massa no processo de moldagem por injeção assim como após sua exposição ao intemperismo natural por um período de 6 meses, assim direcionando-o para uma aplicação mais apropriada na indústria.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Foram utilizados dois matérias nesta pesquisa, a poliamida PA 6,6 virgem e a PA 6,6 com adição de 5% de grafite.

Os materiais foram disponibilizados por dois fabricantes distintos, o fabricante RADILON *Engineering Plastics* forneceu o material PA 66 virgem (Grade - A HS 100 L NT), para moldagem de injeção, lubrificado. O 2º fabricante, a Empresa Pepasa Plásticos de Engenharia, forneceu o material PA 66 (Grade -RL- 4310-Cinza), carregado com 5% de grafite, na cor cinza.

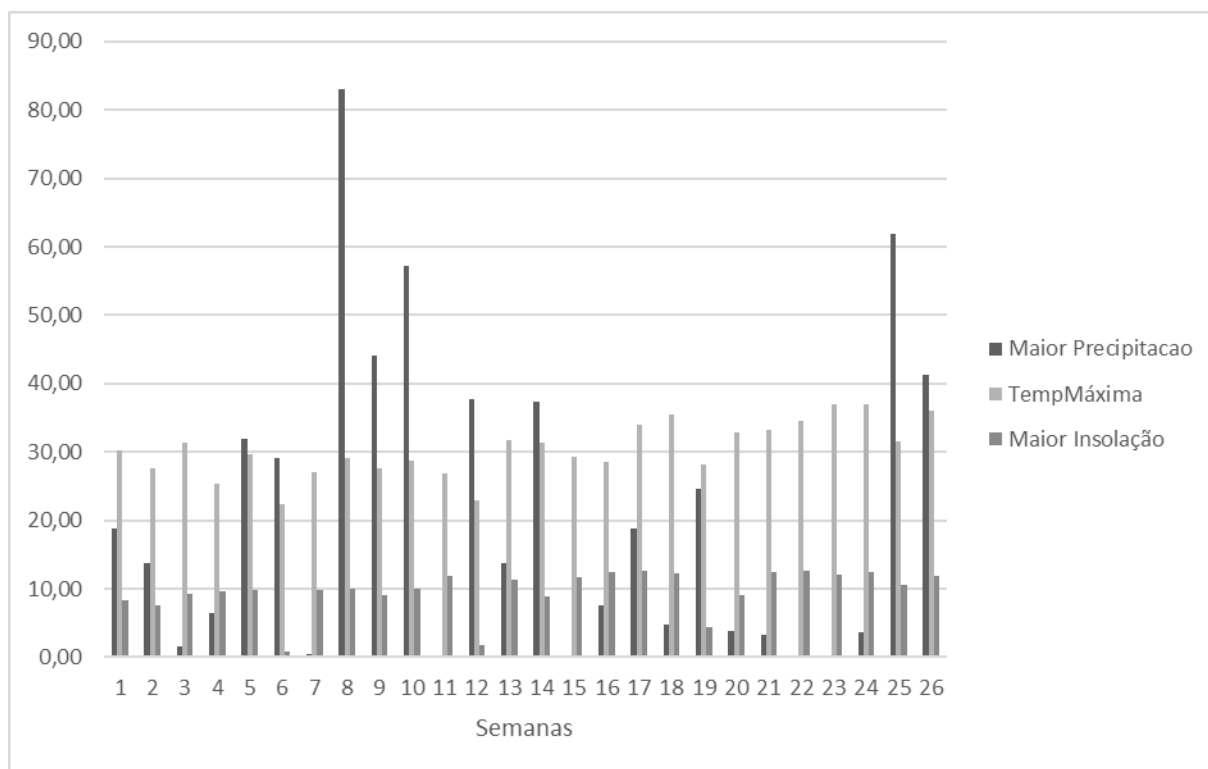
As mesmas foram divididas em quatro grupos de 30 unidades cada, sendo o primeiro e o segundo grupo representado pelo material nylon 66 virgem injetado e resfriado no molde a 90°C e 60°C respectivamente. As amostras referentes aos grupos 1 e 2 foram representadas pelas siglas 6.6V.90 e 6.6V.60. O terceiro e o quarto grupo são representados pelo material nylon 6.6 carregado com 5% de grafite e injetados e resfriados no molde a 90°C e 60°C respectivamente. As amostras referentes aos grupos 3 e 4 foram representadas pelas siglas 6.6 G.90 e 6.6G.60. Os grupos estão representados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Composição das amostras avaliadas

Amostra	PA 6.6 (%m/m)	Grafite (%m/m)	T molde (°C)
6.6V.90	100	0	90
6.6V.60	100	0	60
6.6G.90	95	5	90
6.6G.60	95	5	60

Para o processamento destes materiais foi utilizado uma injetora Battenfeld TM 110/210.

Amostras injetadas de cada grupo foram expostas a intemperismo natural na cidade de Canoas por um período total de 6 meses. Os dados foram coletados e considerados o maior valor de precipitação, maior temperatura e maior insolação respectivamente. Os dados foram representados por semana, conforme Figura 1.



**Figura 1** – Valores de máxima precipitação, máxima temperatura e máxima insolação/semana. Fonte própria.

Os primeiros dados foram coletados a partir de amostras injetadas e resfriadas após um período de 48 horas, as mesmas não tiveram a influência do intemperismo natural. Logo após, foram coletados resultados das amostras expostas em um período de 3 e 6 meses, ambas expostas as intempéries.

O período de exposição das amostras ao intemperismo natural ocorreu entre os dias 15/08/15 à 15/02/2016, conforme apresentado na Figura 2.



**Figura 2** – Peças expostas ao intemperismo natural - Fonte: Própria



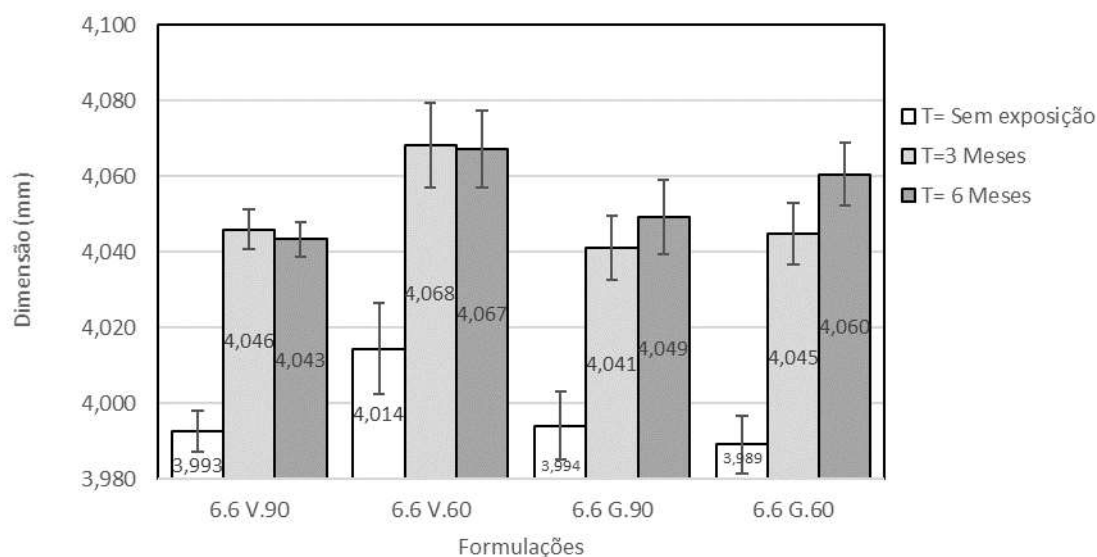
Para o controle dimensional das amostras, foi utilizado o instrumento convencional micrômetro, com resolução de 0,001 mm da marca DIGIMESS. A posição das medições das amostras ocorreu no centro, sendo verificada a espessura do corpo-de-prova. As medições foram realizadas conforme norma ABNT NBR NM ISO 1:1997.

Para o controle de massa foi utilizado uma balança de precisão modelo AY220-Marte, conforme orientado na norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Análise Dimensional

A Figura 3 representa os valores de média e desvio padrão da espessura dos corpos de prova para ensaio de impacto das amostras nylon 66 virgem e nylon 66 com adição de 5% de grafite, injetadas e resfriadas a 90°C e 60°C, sem exposição e expostas nos períodos de 3 e 6 meses respectivamente.



**Figura 3** – Média e desvio padrão dimensional dos corpos-de-prova de impacto nos tempos zero, 3 meses e 6 meses expostas as intempéries. Fonte própria.

No grupo de amostras de nylon virgem, a diferença dimensional entre o material resfriado a 90°C e 60°C no tempo zero foi de 0,021mm, já o grupo do nylon com 5% de adição de grafite apresentou uma variação menor, de apenas 0,005mm entre as amostras resfriadas a 90°C e 60°C, estas, representadas pelo grupo de

materiais que não foram expostos a intemperismo natural. Desta maneira percebemos que o percentual de grafite proporciona uma menor variação independente da temperatura utilizada no resfriamento das amostras, o que indica que atua como carga reforçante; enquanto o material virgem está susceptível a maiores variações, neste caso, conforme as temperaturas em que foi realizado o resfriamento.

Observou-se que tanto o material 6.6V.90 e o 6.6V.60 demonstraram do momento zero (sem exposição) para os 3 meses de exposição, uma variação dimensional de 0,053mm e 0,054mm respectivamente, de uma forma uniforme as duas amostras absorveram umidade do ambiente. Nas amostras de nylon com adição de 5% de grafite, notou-se que o resultado da amostra 6.6G.60 apresentou uma variação dimensional maior (0,056mm), comparado ao 6.6G.90 (0,047mm).

Verificou-se que no período de 6 meses de exposição a intemperismo natural, as amostras de nylon com adição de 5% de grafite continuaram a absorver a umidade; a amostra 6.6G.60 aumentou sua média para 4,060, um ganho de 0,015mm comparado a amostra do 3º mês. A amostra 6.6G.90 também elevou sua média para 4,049mm, sendo 0,008mm de incremento. Já nas amostras de nylon virgem do 6º mês, comparado ao 3º, foi percebido a redução da média dimensional, as amostras 6.6V.90 e 6.6V.60 apresentaram uma redução de 0,003 e 0,001mm respectivamente. É importante ressaltar que neste período dos 6 últimos meses de exposição, foi muito quente, com elevadas temperaturas (mês de janeiro).

Na Figura 6 é possível observar pequenas mudanças de cor das amostras após um período de 6 meses de exposição as intempéries, as mesmas foram removidas do local para a coleta dos últimos dados.



**Figura 4** – Peças retiradas no dia 03/02/2016 Fonte: Própria

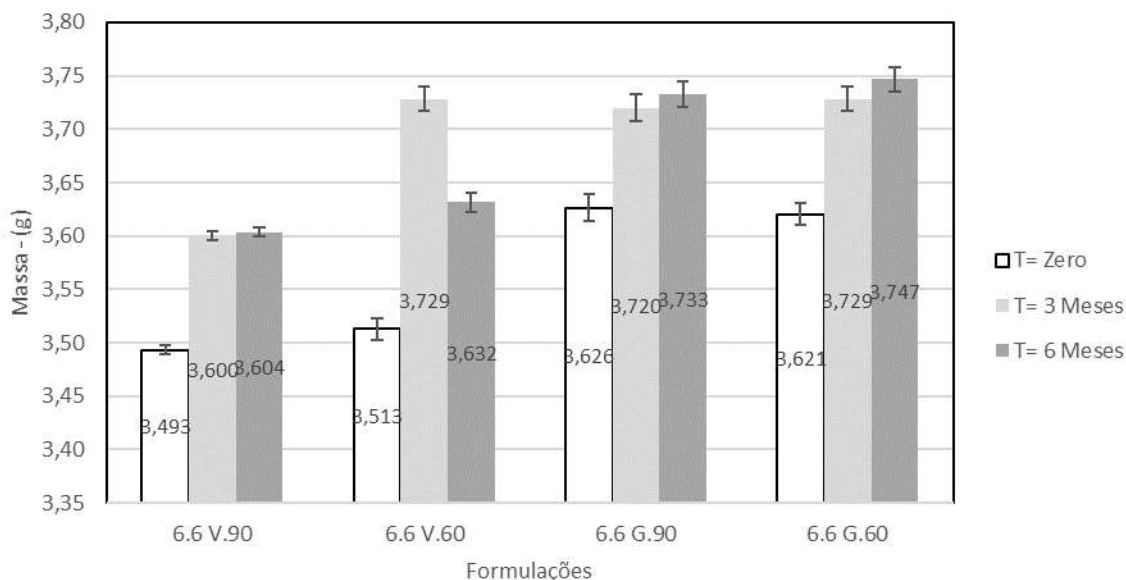
Nas amostras 6.6G.60 e 6.6G.90 ocorreu a maior absorção de umidade do ambiente onde estavam inseridas, comparado ao material virgem, e ainda, não reduziram seu dimensional conforme demonstrou as amostras 6.6V.90 e 6.6V.60 até o 6º mês de exposição. Esse comportamento já era esperado diante da característica higroscópica destes materiais, conforme MURASE (2002). Pode-se perceber ainda, que embora num primeiro momento, a variação do processamento não tenha influenciado no dimensional do material injetado, os parâmetros analisados tiveram influência posterior a exposição, como foi observado no caso do material injetado com reforço de 5% de grafite, resfriado a 60°C, que apresentou a maior variação “crescente” após os 6 meses de exposição as intempéries. Devido a carga de aditivo, as amostras com grafite mantiveram-se mais estáveis tanto no dimensional quanto na massa, conforme descrito por HARPER (2002).

Avaliando comparativamente os resultados, verifica-se que as amostras de PA 66 virgem e carregada com 5% de grafite moldadas com a temperatura maior do molde (90°C) apresentaram menor variação dimensional do que as moldadas a 60°C, fato que pode estar relacionado ao maior tempo de resfriamento que tomará o que influenciará no rearranjo das macromoléculas, facilitando a formação de fases cristalinas, sendas estas fases que aumentaram a estabilidade dimensional.

O ganho de massa da mostra V60 pode estar influenciado a maior fase amorfa, que pode ter influenciado na maior absorção de água, aumentando a suas dimensões.

### **Análise de Massa**

A análise da variação da massa das amostras estudadas ajudam a comprovar a característica higroscópica do material, desta forma os resultados de média e desvio padrão são apresentados na Figura 5.



**Figura 5** – Média e Desvio Padrão de Massa dos corpos-de-prova de impacto no Tempo Zero, 3 e 6 Meses. Fonte própria.

Observa-se que o material nylon com adição de 5% de grafite apresentou maior massa dos corpos-de-prova, indicando serem mais denso que o material virgem; a maior diferença apresentada entre as amostras foi de 0,133g entre as amostras 6.6G.90 e o 6.6V.90. Os resultados de massa destas amostras, no primeiro momento, não são representativas para analisar a absorção da umidade e o ganho de massa. A relevância nos resultados ocorre na comparação entre o tempo zero (sem exposição) e o 3º mês.

Neste período, pode-se observar que o material 6.6V.60 apresentou uma absorção de umidade mais acentuada que as demais amostras, um aumento de 0,277g na média. O 6.6V.90 apresentou um ganho de 0,107g na sua média e as amostras 6.6G.60 e 6.6G.90 tiveram um acréscimo de 0,108g e 0,094g respectivamente. No 6º mês de exposição das amostras, é possível evidenciar uma perda mais acentuada de massa na amostra 6.6V60 (0,097g) e um pequeno aumento de massa na amostra 6.6V.90 (0,004g), que podem ser atribuídas a influência dos parâmetros de processamento, uma vez que o aumento de massa comprova essa absorção.

As amostras de nylon (6.6G.60 e 6.6G.90) apresentaram um ganho de massa de 0,018g e 0,013g respectivamente, o que demonstra que as amostras de nylon continuam absorvendo umidade do ambiente onde estão inseridos, ao contrário das amostras de nylon virgem, que saturarão do 3º para o 6º mês de exposição.

## 4 CONCLUSÃO

O nylon 6.6 é um material higroscópico e nos ensaios realizados se comportou conforme esperado, absorvendo umidade do ambiente onde estava inserido, tanto nas amostras virgens como nas com adição de 5% de grafite em sua composição.

As amostras 6.6V.60 e 6.6V.90 apresentaram um aumento das dimensões do tempo zero para o 3º mês, porém do 3º para o 6º mês, ocorreu a saturação deste material, apresentado uma redução no dimensional e massa, com exceção da amostra 6.6V.90. O ganho de massa da mostra V60 pode estar relacionado a maior fase amorfa, que pode ter influenciado na maior absorção de água, inchando (aumentando as suas dimensões).

A partir dos resultados das análises, o material PA 66 com adição de grafite absorveu umidade, elevando sua dimensão e massa ao longo dos 6 meses de exposição. Demonstrou ainda, uma maior estabilidade comparado ao material virgem, pois em nenhum momento reduziu sua dimensão e massa. Com base nestas informações, recomenda-se a utilização do nylon 6.6G.90 (resfriado a 90°C) para componentes que fiquem expostos as intempéries, pois o mesmo apresentou uma maior estabilidade dimensional, variando 0,107mm no período de 6 meses de exposição. O grafite contribuiu com a estabilidade dimensional do material.

## AGRADECIMENTOS

**Os autores agradecem ao Laboratório de Materiais Poliméricos (LAPOL) da UFRGS, a ULBRA, ao Instituto Senai de Inovação em Polímeros, ao IFSUL e ao Inovtec pela infraestrutura para realização deste trabalho.**

## REFERÊNCIAS

- 1) MANRICH, S. (2005). **Processamento de Termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. São Paulo. Artliber Editora, 2005.
- 2) MURASE, S.; INOUE, A.; MYASHITA, Y.; KIMURA, N.: **Structural characteristics and moisture sorption behavior of nylon 6/Clay hybrid films**. Journal of polymer science, part B: polymer physics, vol. 40, p. 479-487, 2002.

- 3) BASSANI, A.; PESSAN, L. A.; HAGE JR., E.: **Propriedades Mecânicas de Blendas de Nylon-6/ Acrilonitrila-EPDM-Estireno (AES) Compatibilizadas com Copolímero Acrílico Reativo (MMA-MA)**. Polímeros: ciência e tecnologia, vol. 12, nº2, p. 102-108, 2002.
- 4) HUANG, X.; LI, B.; SHI, B.; LI, L. : **Investigation on interfacial interaction of flame retarded and glass fiber reinforced PA 66 composites by IGC/DSC/SEM**. Polymer, 49, p 1049-1055, 2008.
- 5) MITSUBISHI GAS CHEMICAL COMPANY, INC. K. Tanaka. **Solid-phase drying and solid-phase polymerization of polyamide**. EP 1 347 007 A1, 24 sept. 2003.
- 6) AGUIAR, G. I. L.; YOSHIDA, I. V. P.: **Modificação da poliamida 6.6 com amino silicone**. Anais do 7º congresso brasileiro de polímeros, 9-13 novembro, 2003, Belo Horizonte, MG, 1 CD-ROM.
- 7) CAMPOS, L. E. G.; **Talco e Pirofilita**. Balanço Mineral Brasileiro, 2001.
- 8) Canevarolo Jr., Sebastião V. Ciência dos polímeros. SP, Brasil: Artiber, 2006.
- 9) CIMINELLI, R. R. Critério para a formulação de cargas e reforços minerais em termoplásticos. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DO PLÁSTICO REFORÇADO**, 5., 1988, São Paulo. Anais. São Paulo: Associação Brasileira de Plástico Reforçado, 1988. p.71-73.
- 10) HARPER, C. A. Handbook of plastics, elastomers and composites. 4 ed. New York, McGraw- Hill Companies Ltd, 884p, 2002.

## CARACTERIZAÇÃO DA LIGA SINTERIZADA Fe<sub>0,6</sub>%P PARA APLICAÇÃO EM NÚCLEO DE DISPOSITIVOS ELETROMAGNÉTICOS

Ferreira, L.D.<sup>1</sup>, Dias, M.M.<sup>2</sup>, Rodrigues, W.C.<sup>3</sup>, Martins, V.<sup>4</sup>, Cesar, J.L.<sup>5</sup>, Verney, J.C.K.<sup>6</sup>, Martins, R.M.<sup>7</sup>, Aquim, P.M.<sup>8</sup>, Oliveira, C.T.<sup>9</sup>, Callegaro, R.M.<sup>10</sup>, Schaeffer, L.<sup>11</sup>

- <sup>1</sup> Graduando em Engenharia Eletrônica, Lucas Dariel Ferreira, Universidade Feevale.
- <sup>2</sup> Dr. Eng, Metalúrgica, Moisés de Mattos Dias, Prof. Eng. Eletrônica e Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais, ICET, Universidade Feevale;
- <sup>3</sup> Doutorando Eng. Metalúrgica, Wilson Correa Rodrigues, LdTM / UFRGS;
- <sup>4</sup> Dr. Eng, Metalúrgica, Vinicius Martins, Prof. IFSul. Campus Sapucaia do Sul;.
- <sup>5</sup> Dr. Eng, Metalúrgica, José Lesina Cesar, Prof. Eng. Mecânica e Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Sustentáveis, ULBRA;
- <sup>6</sup> Dr. Eng, Metalúrgica, José Carlos Krause de Verney, Prof. Eng. Mecânica e Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Sustentáveis, ULBRA;
- <sup>7</sup> Dr. Química, Ricardo Martins de Martins, Prof. Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais, ICET, Universidade Feevale;
- <sup>8</sup> Dra. Eng, Química, Patrice Monteiro de Aquim, Profa. Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais, ICET, Universidade Feevale;
- <sup>9</sup> Dra. Eng, de Materiais, Cláudia Trindade Oliveira, Profa. Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais, ICET, Universidade Feevale;
- <sup>10</sup> Dr. Eng, Metalúrgica, Renato Mazzini Callegaro, Prof. IFSul. Campus Sapucaia do Sul;
- <sup>11</sup> Dr. Ing. Mecânica, Lirio Schaeffer, LdTM / UFRGS.

### Resumo

Este trabalho teve por objetivo o estudo da liga Fe-0,6%P (PASC60-BR). obtido a partir da M/P (Metalurgia do Pó) comparativamente ao ferro-puro ABC100.30, possível de ser utilizado em núcleo de Máquinas Elétricas Rotativas, como Motores e Geradores Elétricos, e alto-falante. O estudo compreendeu a obtenção (Misturas do Pós, Compactação e Sinterização), análise de propriedades físicas de interesse, como propriedades magnéticas, resistividade elétrica e dureza. A adição de fósforo ao ferro, aumentou a a densidade (1,78%) , dureza (41,7%) e resistividade elétrica (59,5%), contudo houve uma redução nas perdas magnéticas de 18,5%. A permeabilidade magnética resultou praticamente igual, ficando em 1.310 para a liga Fe-0,6%P contra 1.299 para o ferro-puro.

**Palavras-chave:** Liga Sinterizada Fe-0,6%P, Metalurgia do Pó, Propriedades Físicas, Máquinas Elétricas

### CHARACTERIZATION OF THE SINTERIZED ALLOY Fe<sub>0.6</sub>%P FOR APPLICATION IN CORES OF ELECTROMAGNETIC DEVICES

### Abstract

This study aimed to study OF Fe-0.6%P alloy (PASC60-BR). obtained from the P/M (Powder Metallurgy) compared to the pure iron ABC100.30, possible to be used in rotating electrical machines, such as Electric Motors and Generators, and loudspeaker. The study comprised obtaining (Post Mixing, Compaction and

Sintering), analysis of physical properties of interest, such as magnetic properties, electrical resistivity and hardness. The addition of phosphorus to iron increased the density (1.78%), hardness (41.7%) and electrical resistivity (59.5%), however there was a reduction in magnetic losses of 18.5%. The magnetic permeability was practically the same, remaining at 1,310 for the Fe-0.6%P alloy versus 1,299 for the pure iron.

**Keywords:** Fe-0.6%P Sintered Alloy, Powder Metallurgy, Physical Properties, Electric Machines

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. MATERIAIS MAGNÉTICOS MACIOS

Os materiais magnéticos macios são utilizados em dispositivos eletromagneto-mecânicos como motores e geradores elétricos, transformadores, alto-falantes, contadores, solenoides e eletroímãs, e são acionados na medida em que circula corrente elétrica em suas bobinas [1,2]. Os principais materiais magnéticos macios estão relacionados a seguir.

- **Aços magnéticos** [3,4].
  - Aço baixo carbono
  - Aço-Silício não orientado
  - Aço-silício com grãos orientados
- **Ligas fundidas a partir do Fe-Ni** [3]
- **Ferritas Macias** [3,5,6]
- **Materiais Microencapsulados** [7]
- **Ligas Sinterizadas** [4,8,9]
  - Ferro puro;
  - Ligas ferro-fósforo;
  - Ligas ferro-silício e ligas ferro-fósforo-silício;
  - Ligas ferro-níquel;
  - Ligas ferro-cobalto;
  - Aços inoxidáveis ferríticos.

### 1.2. LIGA FERRO-FÓSFORO:

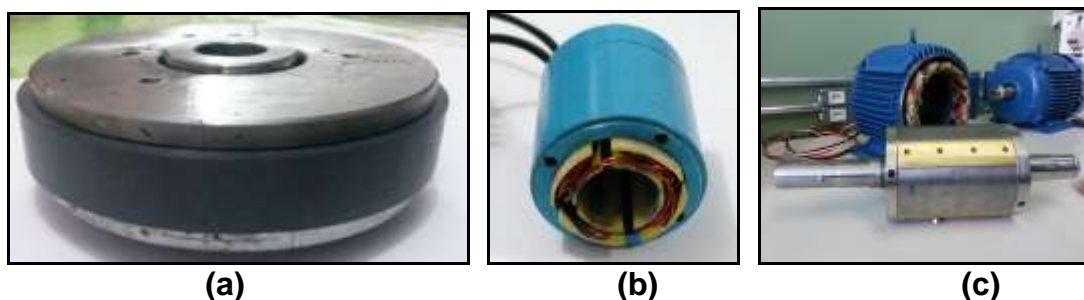
Os materiais sinterizados de ferro-fósforo (com teores de fósforo na faixa de 0,45 a 0,80%) mantêm as vantagens econômicas do ferro puro, adicionando ainda características magnéticas superiores. Basicamente, a força coercitiva é reduzida, enquanto se mantém uma alta indução máxima [9]. Estas ligas são utilizadas principalmente quando se deseja uma boa resposta magnética aliada a boas propriedades mecânicas. A tabela 1 mostra as propriedades físicas de interesse destas ligas.



**Tabela 1 - Propriedades físicas das ligas sinterizadas de ferro-fósforo [4]**

Liga	$\rho_s$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$B_m$ [T]	$B_m$ [kG]	$B_r$ [T]	$B_r$ [kG]	$H_c$ [A/m]	$H_c$ [Oe]	$\mu_r$ [Ad.]	$\rho_e$ [ $\mu\Omega.m$ ]
ASTM A-839	6,80	1,07	10,7	0,87	8,7	135	1,70	2.400	-
	7,10	1,19	11,9	0,99	9,9	135	1,70	2.800	-
	7,20	1,27	12,7	1,08	10,8	135	1,70	3.100	-
Lall & Baum 1260 °C-AD 45 min. H=1990 A/m	7,00	1,23	12,3	0,99	9,9	96	1,21	4.800	0,23
	7,20	1,34	13,4	1,12	11,2	80	1,00		0,21
	7,40	1,46	14,6	1,26	12,6	60	0,75		0,20
McDermott 1260 °C,AD 30 min. H=1194 A/m	6,84	1,11	11,1	0,97	9,7	139	1,75	2.831	-
	7,12	1,24	12,4	1,10	11,0	139	1,75	3.286	-
	7,27	1,32	13,2	1,18	11,8	163	2,05	3.701	-
Moyer 1121 °C- H <sub>2</sub> +N <sub>2</sub>	7,10	1,22	12,2	1,19	11,9	119	1,49	3.600	-
Mossner 1121 °C 1288 °C	7,2	1,02	10,2	0,87	8,7	143	1,80	2.250	-
	7,4	1,31	13,1	1,15	11,5	72	0,90	5.550	-

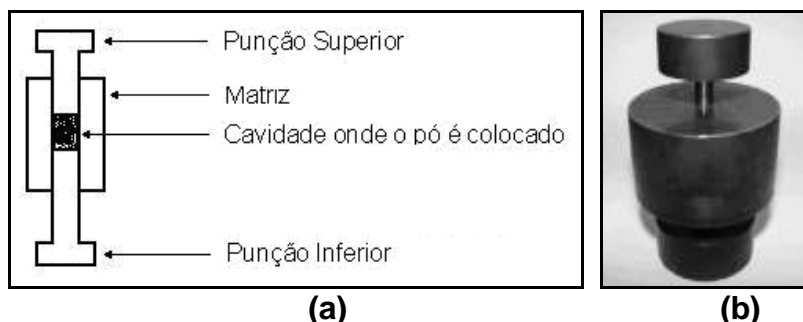
A figura 1-a mostra o núcleo de um alto-falante construído a partir da liga Fe-1%P [10], a figura 1-b mostra um motor de passo no qual todas as partes foram construídas a partir da liga Fe-2%P [11], e a figura 1-c mostra o núcleo do rotor de um gerador trifásico construído a partir de Ferro puro [12], todos os materiais obtidos a partir da Metalurgia do Pó, ou seja, sinterizados.



**Figura 1 – Dispositivos construídos a partir de materiais sinterizados – (a) Núcleo de alto-falante – (b) Motor de Passo – (c) Núcleo do rotor de um gerador trifásico**

### 1.3. METALURGIA DO PÓ

A Metalurgia do Pó (M/P) é um processo relativamente recente da metalurgia de transformação, no qual as peças são obtidas a partir dos pós constituintes. Os processos básicos da M/P são: obtenção dos pós, mistura, compactação e sinterização. Na M/P os pós depois de serem misturados são compactados em matrizes onde adquirem a forma da sua cavidade. Após, são colocados em fornos para sinterização onde adquirem consistência e resistência mecânica. A figura 2-a mostra o desenho esquemático e a figura 2-b mostra a matriz de duplo efeito, utilizada para compactação de pós metálicos [13,14].



**Figura 2 – Matriz de duplo efeito utilizada para compactação de materiais magnéticos – (a) Desenho esquemático – (b) Matriz de compactação**

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. CARACTERÍSTICAS E MISTURA DOS PÓS

Os pós utilizados neste estudo foram fornecidos pela empresa Höganäs do Brasil, denominado para o ferro puro, ABC100.30, assim como para o pó de ferro-fósforo, PASC60-BR. Conforme especificação, o pó de ferro ABC100.30, possui teor de carbono de 0,004% e oxigênio total de 0,05%, densidade aparente de 3,00 g/cm<sup>3</sup>, escoabilidade de 26s/50g, e compressibilidade a 600MPa de 7,26 g/cm<sup>3</sup>. O pó denominado PASC60-BR apresenta como especificação o teor de fósforo na faixa de 0,54 a 0,66%, sendo 0,57% o teor apresentado nos testes, o carbono de 0,03% e oxigênio total de 0,11%, apresentando como propriedades físicas a densidade aparente de 3,15 g/cm<sup>3</sup>, escoabilidade de 27s/50g, e compressibilidade a 600MPa, de 7,12 g/cm<sup>3</sup>.

### 2.2. MATRIZ E CORPOS DE PROVA

Utilizou-se a matriz da figura 3-a para obtenção dos corpos de prova na forma de anéis (figura 3-b), para posterior caracterização da densidade, dureza, resistividade elétrica e propriedades magnéticas. A pressão de compactação utilizada foi de 500MPa.

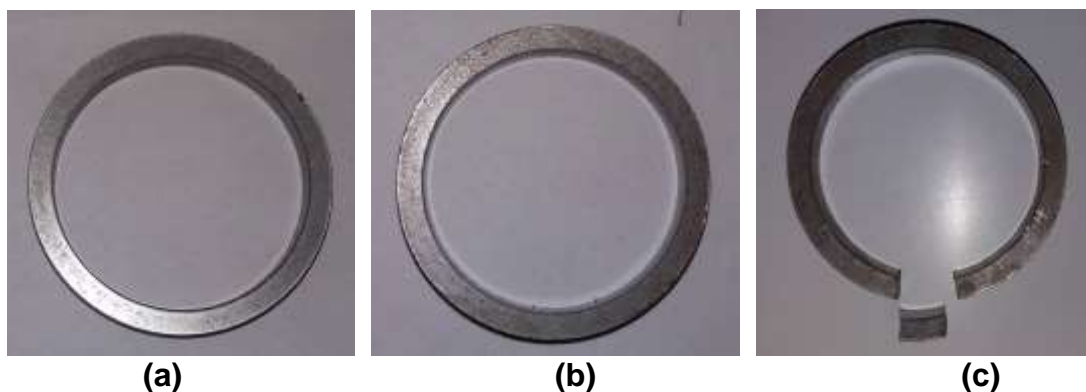


**Figura 3 – Matriz e amostras na forma de anel – (a) Matriz – (b) Amostra**

A sinterização dos corpos de prova foi realizada em forno tubular tipo mufla, com atmosfera controlada de  $N_2-H_2$ , na relação 90-10. Utilizou-se uma taxa de aquecimento de  $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ , até a temperatura de  $500^\circ\text{C}$ , permanecendo as peças nesta temperatura durante 30 minutos para retirada do lubrificante sólido (estearato de zinco). A seguir, a temperatura foi elevada para  $1.150^\circ\text{C}$ , com um novo patamar isotérmico nesta temperatura por 60 minutos, ocorrendo a sinterização [13,14]. Após, as peças permaneceram no forno para resfriamento lento até a temperatura ambiente.

### 2.3. OBTENÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS

Foram obtidos corpos de prova da liga Fe-0,6%P (figura 4-a) e do ferro puro (figura 4-b), compactados e sinterizados. A partir do anel segmentado (figura 4-c) foi determinada a resistividade, e a partir do segmento, mesma figura, determinou-se a dureza e densidade.



**Figura 4 – Peças sinterizadas - (a) Fe-0,6%P – (b) ferro puro – (c) anel segmentado**

Os ensaios de dureza foram realizados em um Durômetro de Bancada para Rockwell Normal (HRA - HRB - HRC) e Brinell (HB 2,5/187,5 - HB 5/250), marca Digimess, segundo a norma ASTM E10 [15]. A resistividade do material (corpos de prova) foi determinada a partir do cálculo da resistência elétrica. Para medição utiliza-se um dispositivo denominado de multímetro ou multiteste, que mede diretamente a resistência elétrica do corpo. Entretanto, para valores de resistência elétrica muito baixa, aplica-se uma tensão no corpo de prova e mede-se a corrente elétrica. Portanto, o corpo de prova para determinação da resistividade deve ter a forma de uma barra fina e comprida. Um artifício é a utilização de um anel, cortando-se um segmento do mesmo, fazendo que este tenha a forma de uma barra curvada,

ou seja, de grande comprimento e pequena área de seção transversal. A Lei de Ohm estabelece que [16]:

$$R = \frac{V}{I} \Rightarrow \rho = R \frac{A}{l} = \frac{V}{I} \cdot \frac{A}{l} \quad [1]$$

Onde,  $\rho$  é a resistividade elétrica [ $\mu\Omega \cdot m$ ];  $R$ , a resistência elétrica [ $\Omega$ ];  $V$ , a tensão elétrica aplicada [ $V$ ];  $I$ , a corrente elétrica aplicada [ $A$ ];  $A$ , a área da seção transversal da barra [ $m^2$ ] e  $l$  representa o comprimento da barra (ou segmento de um anel) [ $m$ ].

A figura 5 mostra um dos anéis sem o segmento, com fios soldados, conectados a uma fonte de tensão contínua ajustável, no qual se pode observar que a fonte está fornecendo 3,6A, contudo a indicação de tensão da fonte, por se tratar de níveis de tensão muito baixo, (mV), motivo este que foi utilizado um milivoltímetro (à esquerda) para uma indicação mais exata da tensão.



**Figura 5 – Anel segmentado conectado a fonte de tensão e milivoltímetro.**

As propriedades magnéticas foram obtidas a partir das curvas magnéticas (laço de histerese e curva de magnetização) que relacionam campo magnético  $H$  aplicado a um material com a indução magnética  $B$  resultante. A partir do laço de histerese, foram obtidas a retentividade (magnetismo remanente) e a coercitividade (campo desmagnetizante). Através da análise da curva de magnetização, obtiveram-se a permeabilidade magnética e a indução de saturação ou indução máxima (que também pode ser visualizada a partir do laço de histerese) [6]. A determinação das propriedades magnéticas básicas dos materiais na forma de anel (toróide) segue a norma ASTM A773 [17].

Para aplicação deste método de análise, é necessária a preparação de amostras, que consiste na bobinagem (enrolamento de fios de cobre) de espiras primárias e secundárias no anel, conhecidas como Anel de Rowland (figura 7). O procedimento consiste em isolar o anel com filme plástico para evitar descascamento do fio esmaltado (figura 6-a), enrolamento de espiras secundárias (figura 6-b) e novo isolamento (figura 6-c) seguido do enrolamento das espiras primárias (figura 6-d). As curvas magnéticas foram obtidas a partir de um dispositivo modelo *TLMP-TCH-14* (figura 7).



Figura 6 – Etapas de preparação das amostras: (a) isolamento, (b) enrolamento secundário, (c) isolamento e (d) enrolamento do primário

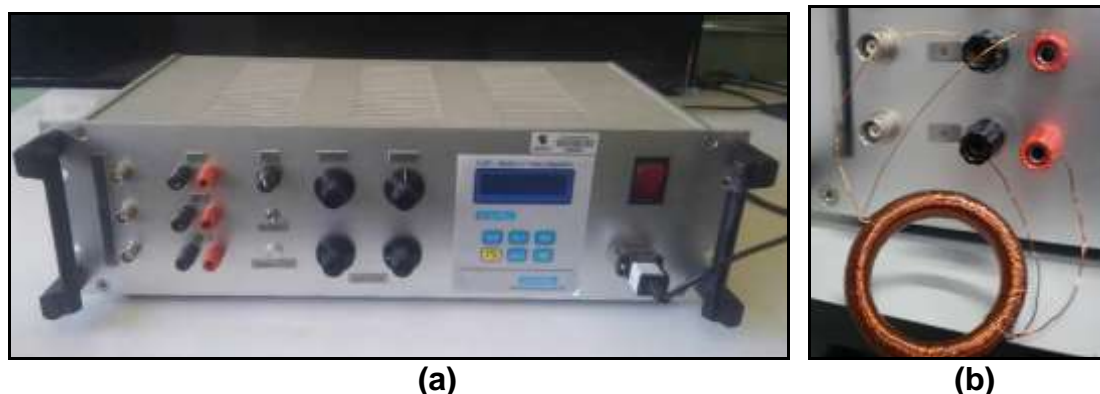


Figura 7 – Traçador de Curvas Magnéticas – (a) Vista frontal – (b) Conectado ao anel bobinado

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 2 mostra os dados para determinação da densidade dos corpos de prova.

Tabela 2 –Determinação da densidade dos corpos de prova

Material	Altura [cm]	Diâmetro Externo [cm]	Diâmetro Interno [cm]	Volume [cm <sup>3</sup> ]	Massa [g]	Densidade [g/cm <sup>3</sup> ]
Ferro puro	0,625	5,010	4,185	3,724	25,07	6,73
Fe-0,6%P	0,505	4,990	4,190	2,913	19,96	6,85

A partir da tabela 1, observa-se que o ferro puro (ABC100.30) apresentou a densidade de 6.73 g/cm<sup>3</sup>, e o ferro sinterizado, ASTM A811-87, apresenta densidade entre 6,6 a 7,2 g/cm<sup>3</sup>. A liga Fe-0,6%P (PASC60-BR) apresentou a densidade de 6.85 g/cm<sup>3</sup>, e a liga Fe-P, ASTM A-839, 0,45 a 0,8% de fósforo, apresenta densidade entre 6,8 a 7,2 g/cm<sup>3</sup>, ou seja, ambos os materiais sinterizados neste trabalho apresentaram valores de densidade dentro das referências bibliográficas [4]. A maior densidade da liga Fe-P se deve ao preenchimento dos poros e portando maior contração, a partir da fusão do fósforo na liga [13,14].

A tabela 3 mostra a dureza na escala Brinell dos corpos de prova.

**Tabela 3 – Dureza dos corpos de prova na escala Brinell**

Material	Dureza – HB 2,5 mm 187,5 kgf
Ferro puro (ABC-100.30)	60 ± 2
Fe-0,6%P (PASC60-BR)	85 ± 2

Uma análise da tabela 3 confirma o aparecimento de microestrutura mais dura na amostra que contém fósforo na sua composição.

O acréscimo de fósforo permite obter as propriedades mecânicas desejadas, utilizando-se temperaturas de sinterização menores, devido à formação de fase líquida transiente. O fósforo, em percentuais inferiores a 1%, não confere ao ferro sinterizado diminuição do limite de escoamento. Por outro lado, sua presença promove o aumento da dureza [18,19].

A tabela 4 mostra os dados para determinação da resistividade elétrica dos corpos de prova.

**Tabela 4 – Determinação da resistividade elétrica dos corpos de prova**

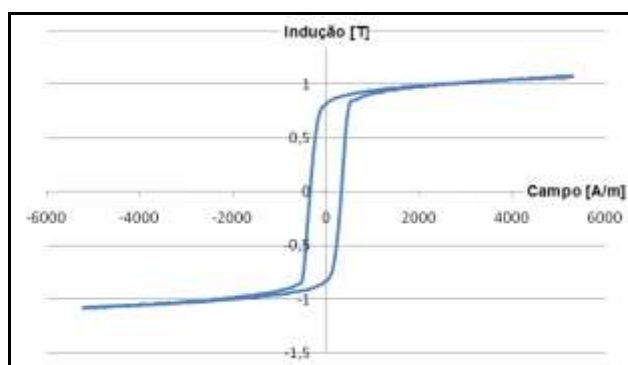
Material	Comprimento [m]	Área [m <sup>2</sup> ]	Tensão [V]	Corrente [A]	Resistividade [μΩ.m]
Ferro puro	0,134	2,58x10 <sup>-5</sup>	0,00275	3,45	0,153
Fe-0,6%P	0,134	2,02x10 <sup>-5</sup>	0,00560	3,45	0,244

A partir da tabela 4, observa-se que o ferro puro (ABC-100.30) apresentou uma resistividade de 0,153μΩ.m, e o ferro sinterizado, Lall & Baum 1260 °C-45 min H=1990 A/m, apresenta resistividade elétrica entre 0,11 a 0,14 μΩ.m. A liga Fe – 0,6%P (PASC60-BR) apresentou resistividade elétrica de 0,244 μΩ.m, e a liga Fe-P, Lall & Baum 1260°C, 45 min, H=1990A/m (entre 0,45 a 0,8% de fósforo) apresenta resistividade entre 0,20 a 0,23μΩ.m, ou seja, ambos materiais sinterizados neste trabalho apresentaram valores de resistividade elétrica dentro das referências bibliográficas [4].

A tabela 5 mostra os dados do ensaio para obtenção da curva de histerese para o ferro puro (ABC-100.30), e a figura 8 mostra a curva de histerese obtida. A tabela 6 mostra os dados do ensaio para obtenção da curva de histerese para o Fe-0,6%P (PASC60-BR), e a figura 9 mostra a curva de histerese obtida.

**Tabela 5 – Dados do ensaio para obtenção da curva de histerese para o ferro puro**

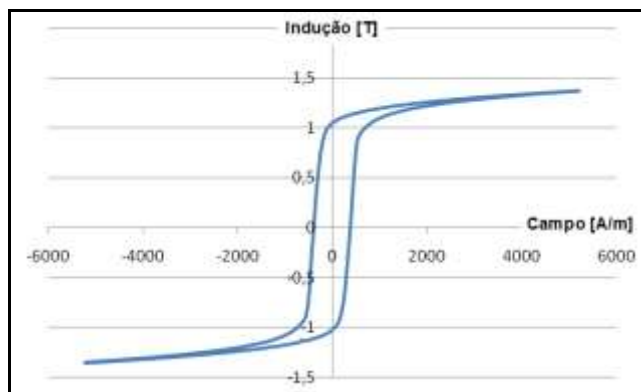
Densidade de espiras no primário (N/m)	1207,58
Número de espiras no secundário (N)	259
Seção Transversal (m <sup>2</sup> )	0,000034
Densidade (kg/m <sup>3</sup> ):	6764,60
Escala de corrente (A)	5
Escala do fluxímetro (Wb)	0,03
Frequência (Hz)	0,05
Número total de pontos	738
Número de pontos p/ perdas	738
Perdas (J/m <sup>3</sup> )	248,21
Perdas (W/kg)	0,00183



**Figura 8 – Curva de histerese para o ferro puro (ABC-100.30)**

**Tabela 6 – Dados do ensaio para obtenção da curva de histerese para o Fe-0,6%P**

Densidade de espiras no primário (N/m)	1207,59
Número de espiras no secundário (N)	259
Seção Transversal (m <sup>2</sup> )	0,000034
Densidade (kg/m <sup>3</sup> ):	6590,66
Escala de corrente (A)	5
Escala do fluxímetro (Wb)	0,03
Frequência (Hz)	0,05
Número total de pontos	740
Número de pontos p/ perdas	740
Perdas (J/m <sup>3</sup> )	196,35
Perdas (W/kg)	0,00149



**Figura 9 – Curva de histerese para o Fe-0,6%P (PASC60-BR)**

A tabela 7 mostra as propriedades magnéticas obtidas a partir das curvas de histerese, na qual se pode observar que a permeabilidade e a coercitividade dos materiais estudados resultaram em valores praticamente iguais (1.299 e 340 A/m para o ferro-puro contra 1.310 e 370 A/m para a liga Fe-0,6%P). Com relação a Indução Máxima e Retentividade a liga Fe-0,6%P apresentou valores maiores (1,35 T e 1,02 T respectivamente) comparativamente ao ferro-puro (1,11 T e 0,82 T respectivamente). Estes resultados estão, dentro de certos limites, de acordo com os valores das tabelas 3 e 4, conforme dados de literatura [4]. Já as perdas magnéticas resultaram menores para a liga Fe-0,6%P (0,00149 W/kg) contra 0,00183 W/kg para o ferro-puro.

**Tabela 7 – Propriedades Magnéticas para o ferro puro e para o Fe-0,6%P**

Material	$\mu_r$	$B_{max}$ [T]	$H_c$ [A/m]	$B_r$ [T]	$P_d$ [W/kg]
Ferro puro	1.299	1,11	340	0,82	0,00183
Fe-0,6%P	1.310	1,35	370	1,02	0,00149

onde  $\mu_r$  é a Permeabilidade Magnética Relativa,  $B_{max}$  a Indução Máxima ( $H = 5,2$  kA/m),  $H_c$  a Coercitividade,  $B_r$  a Retentividade, e  $P_d$  as Perdas Magnéticas.

O fósforo adicionado ao ferro aumenta sua dureza, densidade e resistividade elétrica. De fato impurezas geram distorções no reticulado cristalino de metais, e tal aumenta estas grandezas físicas [20,21]. No caso dos dispositivos eletromagnético-mecânicos, o aumento da resistividade elétrica diminui as correntes parasitas sendo bastante importante nestas aplicações, pois aumenta o rendimento destes dispositivos, conforme se pode observar da tabela 7 na qual a liga Fe-0,6%P apresentou menor perdas magnéticas [1,2].

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho mostra que os materiais (ABC-100.30) e (PASC60-BR), apresentaram valores de grandezas físicas de acordo com a bibliografia, como: densidade e dureza. A adição do fósforo ao ferro aumentou sua densidade e dureza,



ocorrendo também o aumento na resistividade elétrica. Esse aumento é de grande importância no uso destes materiais em dispositivos eletromagnéticos-mecânicos, como os motores e geradores elétricos, uma vez que, o aumento da resistividade, diminui as perdas magnéticas por correntes parasitas.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradem a Secretaria do Desenvolvimento Econômico, Ciência e Tecnologia do Estado do RS pela patrocínio e apoio neste projeto, ao CNPq, Capes, FINEP e FAPERGS.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1]. FITZGERALD, A.E, KINGSLEY, Jr. C, UMANS, S.D. **Electric Machinery**. New York, McGraw-Hill Inc, 1990. 599p.
- [2]. NASAR, S.A. **Handbook of Electric Machines**. New York, McGraw-Hill, 1987.
- [3]. CULLITY, B.D. **Introduction to Magnetic Materials**. Adison. Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1967. 514p.
- [4]. LALL, C. **Soft Magnetism, Fundamentals of Powder Metallurgy and Metal Injection Molding**, Princeton, New Jersey. Metal Powder Industries Federation, 1992. 139p.
- [5]. SLICK, P.I. **Ferro Magnetic Materials**. Amsterdam. North - Holland Publishing Company
- [6]. JILES, D. **Introduction to Magnetism and Magnetic Materials**. London, Chapman and Hall, 1991.440p.
- [7]. Mats Persson, SMC Update, Vol1. No. 1, April 1997.
- [8]. LENEL, F.V. **Magnetic Applications**. Metals Hadbook, v.7, 1984. p.638-641.
- [9]. BAS, J. A., PUIG, J., MOLINS, C.B. **Soft Magnetic Materials in P/M: Current Applications and State-of-the-Art. Modern Developments in Powder Metallurgy**, Princeton, New Jersey. Metal Powder Industries Federation, v.18, 1988. p.745-756.
- [10]. SOARES, A.R. **Desenvolvimento de um Alto-Falante com Núcleos a partir da Liga Sinterizada Fe1%P** – Dissertação Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais – Universidade FEEVALE. 2015
- [11]. LOPES, A.L.A. **Desenvolvimento de um Motor de Passo com Núcleos do Rotor e Estator obtidos a partir dos Processos da Metalurgia do Pó** – Dissertação Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais – Universidade FEEVALE. 2016

- [12]. JACOBY, G.G. **Desenvolvimento de uma Máquina Elétrica Rotativa Trifásica por Metalurgia do Pó a ser utilizada em Gerador Eólico de 5 kW** – Dissertação Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais – Universidade FEEVALE. 2016
- [13]. BRADBURY, S. **Powder Metallurgy Equipment Manual**. New Jersey, USA, MPIF, 1986. 199p.
- [14]. GERMAN, R.M. **Powder Metallurgy Science**. New Jersey, Metal Powder Industries Federation, 1984, 279p.
- [15] – ASTM E10 (**Standard Test Methods for Brinell Hardness of Metallic Materials**)
- [16] – BOYLESTAD, R.L., NASHELSKY, L. **Electronic Devices and Circuit Theory**. New Jersey, Prentice Hall, 894p, 2009.
- [17] – ASTM A773/A773M **American Standard Test Method for DC Magnetic Properties of Materials Using Ring and Permeameter Procedures with DC Electronic Hysteresigraphs**.
- [18]. VERMA, N.; UPADHYAYA, A. **Effect of Phosphorus addition as sintering activator in Sinter-Hardened alloy steels**. Department of Materials and Metallurgical Engg, Indian Institute of Technology, 2007. 26 pp.
- [19]. HANEJKO, F.G.; ELLIS, G.W.; HALE, T.J. **Application of high performance material processing: electromagnetic products**. Las Vegas: Hoeganaes Corporation, Presented at PM2TEC, 1998. p.16.
- [20]. KHRAISAT, W.; NYBORG, L. Liquid phase sintering of ferrous powder by carbon and phosphorus control. **Powder Metallurgy**, v.46, n.3, 2003, p. 265-270.
- [21]. VLACK, L.H.V. **Princípio de Ciência dos Materiais**, S. Paulo, Edgard Blücher Ltda, 1970. 427p.

# AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UMA BLENDA PEAD/PSAI PÓS CONSUMO PARA APLICAÇÃO EM UM PRODUTO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA

Abich, D.<sup>1</sup>,  
Oliveira, A.M.<sup>2</sup>,  
Linck, C.<sup>3</sup>,  
Santana, R.<sup>4</sup>

- <sup>1</sup> Mestre em Engenharia de Materiais, Diego Abich Rodrigues, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Sapiranga, [diegoabich@ifsul.edu.br](mailto:diegoabich@ifsul.edu.br).
- <sup>2</sup> Mestre em Processos de Fabricação Mecânica, Alex Sandro Matos de Oliveira, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná (IFPR) – Câmpus Paranaguá. [alex.deoliveira@ifpr.edu.br](mailto:alex.deoliveira@ifpr.edu.br)
- <sup>3</sup> Mestre em Engenharia de Materiais, Cristiano Linck, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Sapiranga, [cristianolinck@ifsul.edu.br](mailto:cristianolinck@ifsul.edu.br).
- <sup>4</sup> Pós-Doutoura em Engenharia de Materiais, Ruth Marlene Campomanes Santana, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), [ruth.santana@ufrgs.br](mailto:ruth.santana@ufrgs.br).

## Resumo

Neste trabalho uma blenda foi criada utilizando poliestireno de alto impacto (PSAI) e polietileno de alta densidade (PEAD), ambos pós consumo, com o intuito de empregar esta blenda na fabricação de um produto de Tecnologia Assistiva para deficientes visuais.

Blendas foram preparadas variando a concentração de cada polímero, em massa, e compatibilizadas utilizando copolímero de estireno-(etileno-butileno)-estireno (SEBS) com o intuito de avaliar sua miscibilidade, propriedades mecânicas e térmicas, além de demonstrar a viabilidade da utilização de uma destas para fabricação do produto desenvolvido. Ficou evidenciado a imiscibilidade dos polímeros utilizados devido à redução das propriedades após a mistura, no entanto os resultados se mostraram adequados ao produto em questão.

A blenda PSAI/PEAD/SEBS contendo 25/75/2 %, em massa, apresentou melhores resultados para resistência ao impacto e dureza e foi escolhida para fabricação do produto final. Este trabalho demonstrou a viabilidade da utilização de resíduos poliméricos pós-consumo para a fabricação de um produto de tecnologia Assistiva, contribuindo, simultaneamente, para a inclusão social e sustentabilidade.

**Palavras-chave:** Tecnologia Assistiva, Blendas poliméricas, propriedades mecânicas, PSAI/PEAD.

## EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF A PEAD/PSAI BLEND POST-CONSUME FOR APPLICATION IN AN ASSISTIVE TECHNOLOGY PRODUCT

### Abstract

In this work, a blend was created using HIPS and HDPE, both post-consume, with the intent of using this blend in the creation of an assistive technologic product for visually impaired subjects.

Blends were prepared by varying the concentration of each polymer by weight and compatibilized using SEBS in order to evaluate their miscibility, mechanical properties and thermal ones, apart from demonstrating the feasibility of using one of these for the manufacture of the developed product. It was evidenced immiscible polymers used due to the reduction of properties after mixing, nevertheless the results were suitable for the product.

The HIPS/HDPE/SEBS blend containing 25 /75/ 2%, in weight, showed the best results for resistance of impact and hardness and it was chosen to produce the final product. This work demonstrated the feasibility of using post-consume polymer waste to manufacture an assistive technology product while contributing to social inclusion and sustainability.

**Keywords:** Assistive Technology, Polymeric Blends, Mechanical properties, HIPS/HDPE blends.

## INTRODUÇÃO

A necessidade de inclusão social é um sinal da presença de excluídos, ou seja, pessoas que não possuem acesso aos direitos que pertencem a todos – educação, saúde, trabalho, transporte, esporte, cultura e lazer. Apesar de leis que os garantam (BRASIL, 1999), excluem-se pessoas consideradas diferentes por meio de ações sociais que impedem o desenvolvimento do universo de direitos e deveres desses cidadãos. Dentre os indivíduos excluídos podemos citar as pessoas com deficiência (NERI, 2003).

De acordo com o decreto de nº 3.298, de dezembro de 1999, deficiência pode ser definida como perda ou anormalidade de uma estrutura ou função psicológica, fisiológica ou anatômica que gere incapacidade para o desempenho de atividade, dentro do padrão considerado normal para o ser humano. Desta forma, de acordo com a legislação brasileira, todos farão parte desta classificação em algum momento de suas vidas, a maioria na velhice.

Os dados sobre deficiência em nível global são difíceis de serem agrupados devido às variações nas abordagens, objetivos, métodos empregados, bem como os critérios estabelecidos por cada país (OMS, 2011) (MONT 2007). No Brasil, as políticas públicas de inclusão e acessibilidade são baseadas nos dados obtidos através do Censo realizado pelo IBGE a cada 4 anos. O último Censo realizado no ano de 2010 apontou uma população de 45.606.048 brasileiros, mais de 24% da população total, com algum tipo de deficiência dentre as anteriormente citadas, sendo a maior ocorrência referente à deficiência visual, que afeta 18,6% da população brasileira (SEDH-PR/SNPD, 2012).

O que fica evidente é a necessidade de prover recursos tecnológicos e de aprendizagem para que estas pessoas possam usufruir todos os seus direitos. O termo Tecnologia Assistiva (TA) surge no Brasil como uma possibilidade de aliar recursos tecnológicos a produtos, serviços, técnicas e metodologias, visando facilitar o desenvolvimento de pessoas com deficiência, além de promover a inclusão social (BRASIL, 2008). Surge, assim, a necessidade de geração de recursos, que se transforma em uma oportunidade para a criação de novos produtos e uma possibilidade de agregar recursos tecnológicos ao compromisso social.

Um fator importante quanto à elaboração de produtos de TA é que os mesmos devem prover, sempre que possível, a interação entre o deficiente e o ambiente em que o mesmo se encontra, isto para que se possa realizar o processo de inclusão. Outro fator de grande relevância na atualidade, quando se refere a desenvolvimento de produtos, é a necessidade de redução dos impactos destes sobre o meio ambiente, visto que toda atividade humana impacta sobre o mesmo (ASHBY, 2012). Desta forma as etapas de desenvolvimento devem ser elaboradas observando os impactos gerados no processo, a redução dos insumos, a reutilização de matéria-prima, bem como a reciclagem. Além disso, de acordo com Shibao et al. (2010), para que uma organização obtenha sucesso deve oferecer um produto com valor mais perceptível ao cliente, e isto pode estar relacionado a diversos fatores que incluem sustentabilidade e compromisso social.

Uma boa alternativa para aliar compromisso social e sustentabilidade, e desta forma agregar valor ao produto, é a utilização de material reciclado na fabricação de produtos de TA. Alguns materiais termoplásticos são os mais utilizados, devido a processos de reciclagem simples e baratos, além de grandes volumes de descarte. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo utilizar polímero reciclado para fabricação de um produto de TA, de forma a apresentar um caminho para aliar inclusão social à sustentabilidade, além de agregar valor à matéria-prima, anteriormente descartada de forma inadequada.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste capítulo serão descritos os materiais e a metodologia empregada na realização deste estudo. A Figura 1 representa o fluxograma de trabalho.

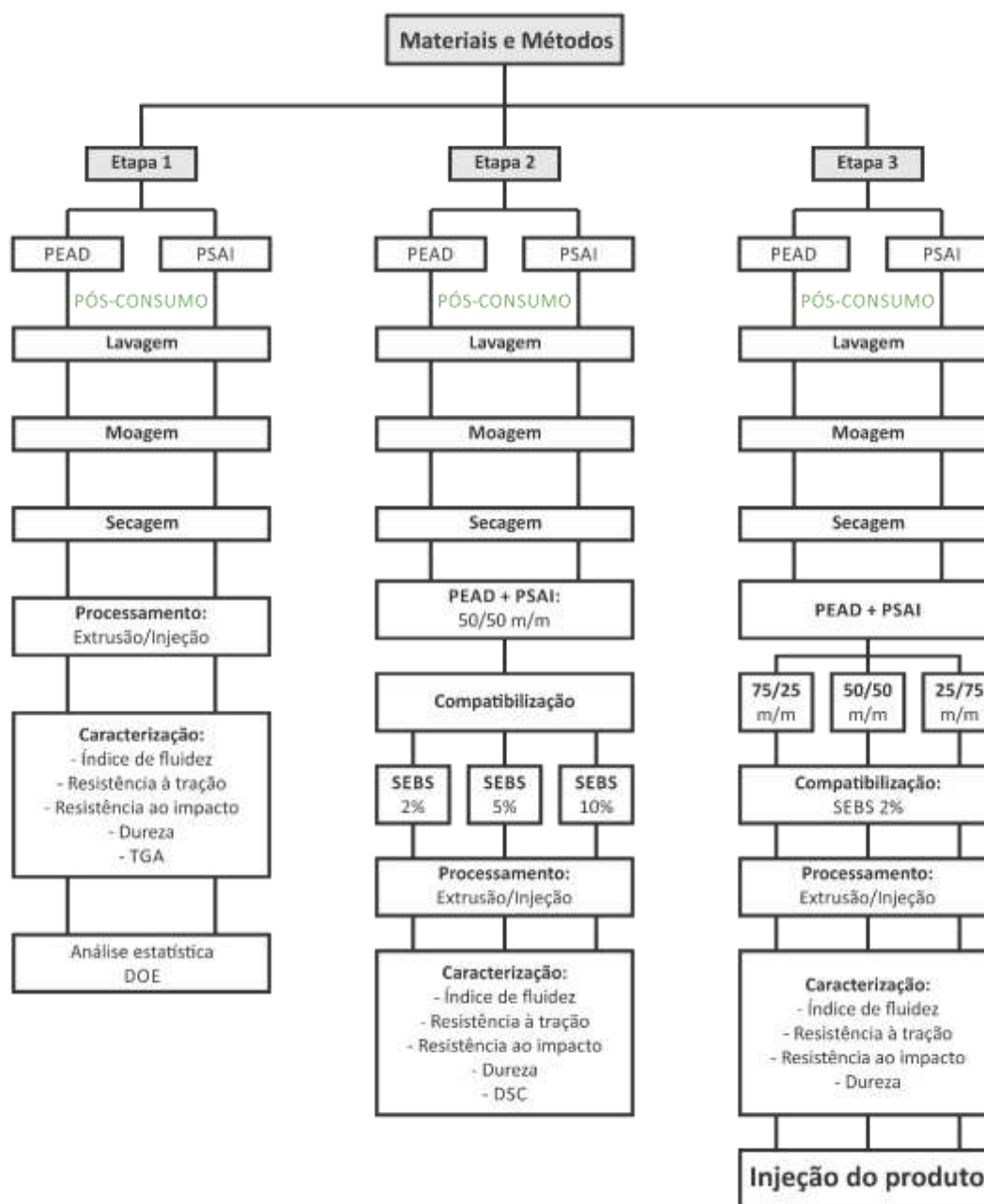


Figura 1. Fluxograma dos materiais e metodologia utilizada.

Os materiais utilizados nesta etapa foram: Polietileno de alta densidade (PEAD) pós-consumo, proveniente de embalagens diversas de produtos de limpeza, obtidos por coleta na UFRGS, Campus do Vale. Poliestireno de alto impacto (PSAI) pós-consumo, proveniente de copos descartáveis, obtidos por coleta no restaurante universitário da UFRGS, Campus do Vale. Copolímero de estireno butadieno (SEBS), como agente de compatibilização.

**Etapa 1:** O PEAD utilizado neste estudo é proveniente de embalagens de produtos de limpeza (pós-consumo) conforme Figura 2-a. A preparação das amostras

consistiu na retirada das tampas e rótulos, seguida de lavagem das embalagens, com água, para retirada do excesso de resíduos. Na sequência foram secas a temperatura ambiente por 24 horas. Os resíduos plásticos de PEAD foram então moídos e triturados para redução de tamanho em um moinho de facas Retsch SM 200, na forma de flakes, conforme figura 2-b.



Figura 2 - Embalagens de PEAD de produtos de limpeza pós consumo após a limpeza (a) e na forma de *flakes* após a moagem (b).

O PSAI utilizado neste trabalho é proveniente de copos descartáveis recolhidos no restaurante universitário da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Campus do Vale, e passou por um processo similar ao do PEAD. No entanto, devido à grande contaminação por resíduos orgânicos, teve um processo de lavagem mais rigoroso. A Figura 3 apresenta parte do resíduo recolhido, bem como o resultado após a moagem.



Figura 3 - a) Resíduo de PSAI recolhido no RU da UFRGS; b) Resultado após lavagem e moagem.

A coleta e preparação das amostras da etapa 1 pode, ainda, ser descrita através da figura 4, que apresenta um fluxograma detalhada das operações realizadas.

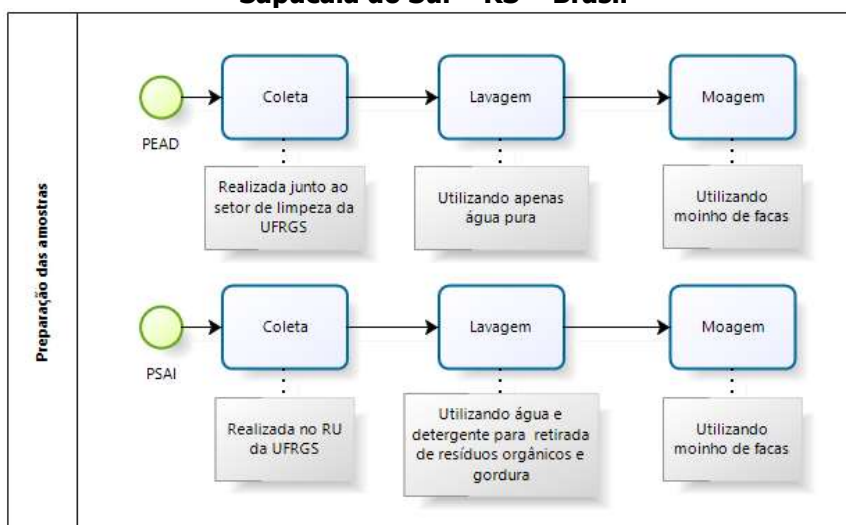


Figura 4. Fluxograma preparação das amostras etapa 1.

As misturas foram processadas em uma extrusora de rosca simples (L/D: 22) da marca Ciola. Após passarem pela extrusora, as amostras foram picotadas no picotador Seibt – PS 50 em uma frequência de 4 Hz.

Para avaliação das propriedades dos materiais (PSAl e PEAD) em função dos parâmetros de processamento, foram definidas duas temperaturas de processamento ( $T_p$ ), bem como dois valores de velocidade da rosca ( $V_r$ ) para cada um dos materiais. Estes valores receberam o símbolo L (low) para baixo e H (high) para alto, desta forma quatro combinações de processamento puderam ser utilizadas para cada material, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de processo utilizados na etapa 1.

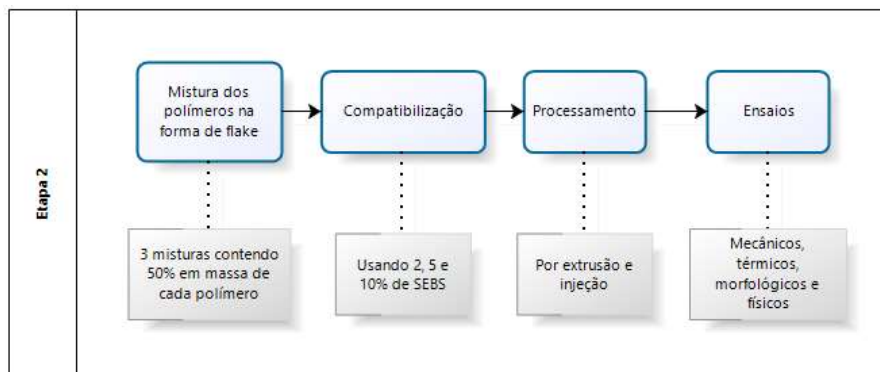
	Condição de processamento	$T_p$ (°C)	$V_r$ (RPM)		Condição de processamento	$T_p$ (°C)	$V_r$ (RPM)
PSAl	LL	180	40	PEAD	LL	220	40
	LH	180	80		LH	220	80
	HL	200	40		HL	240	40
	HH	200	80		HH	240	80

Os corpos de prova para os ensaios mecânicos foram obtidos através do processo de injeção (Mini injetora *Thermo Scientific Haake Minijet II*), à temperatura de 190°C (PEAD) e 200°C (PSAl). A pressão utilizada foi de 600 bar.

**Etapa 2:** Nesta etapa foram formuladas três blendas utilizando PEAD/PSAl, mantendo a proporção de 50/50 em massa e foram compatibilizadas utilizando SEBS à 2, 5 e 10% m/m. As propriedades das blendas foram avaliadas através de ensaios mecânicos, térmicos, reológicos e morfológicos. As misturadas foram realizadas de forma manual, sem auxílio de misturadores, com os polímeros na forma de flakes.



Após a compatibilização, a blenda foi processada por extrusão, para obtenção dos pellets, e por injeção, para obtenção dos corpos de prova. O fluxograma desta etapa pode ser observado na Figura 5.



**Figura 5. Fluxograma de preparação das amostras na etapa 2.**

**Etapa 3:** Após escolhida a concentração ótima de agente compatibilizante (Etapa 2), de acordo com as propriedades desejadas para o produto final, duas novas blendas foram geradas: A primeira de PEAD/PSAI com concentração de 25/75 em massa, e a segunda utilizando PEAD/PSAI 75/25 em massa. Ambas as blendas foram compatibilizadas utilizando SEBS a 2%.

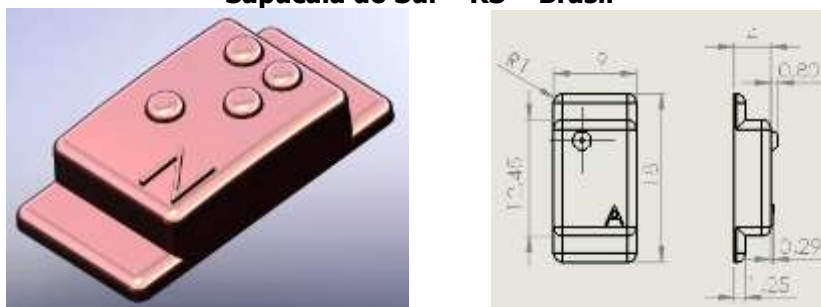
A caracterização das amostras foi realizada, através de ensaios mecânicos, térmicos, reológicos e morfológicos, os quais serão descritos neste capítulo.

Foram realizados ensaios mecânicos de tração, impacto e dureza, térmicos de DSC e TGA e Físicos como o Índice de fluidez. Após foram realizados modelamentos estatísticos a fim de avaliar a influência das condições de processamento e da formulação das blendas nos resultados obtidos para cada ensaio. Ao final foram injetadas algumas peças do produto final aplicando as condições ótimas.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Concepção e modelamento do produto

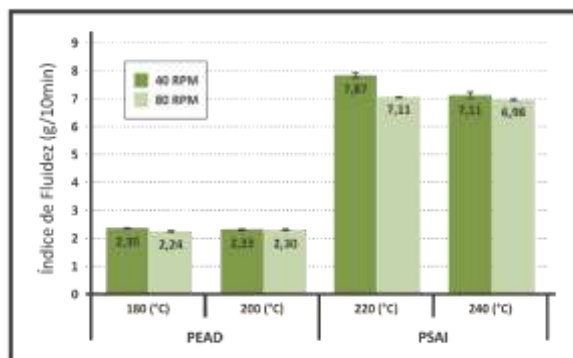
Abich e Molon (2011) constataram a eficiência de um produto criado para auxiliar no aprendizado Braille. O produto criado está representado na figura 6. O produto fabricado em polipropileno apresenta uma cela Braille e seu respectivo símbolo ou letra, isto para que qualquer pessoa pudesse formar palavras, frases ou textos, mesmo não conhecendo a linguagem Braille.



**Figura 6. Tecla Braille. Abich & Molon (2011)**

### Etapa 1

**Índice de fluidez:** O índice de fluidez foi avaliado após a matéria-prima passar pelo processo de extrusão, levando em consideração a variação dos parâmetros de processamento (velocidade da rosca e temperatura de processamento), os resultados obtidos foram comparados entre si e estão representados na figura 7.



**Figura7. Comparativo IF após processamento por extrusão.**

Pode-se observar uma pequena redução nos valores do IF quando submetidos a maiores velocidades da rosca, este resultado pode estar relacionado ao menor tempo de residência. Quanto a temperatura, seu aumento também influenciou para a diminuição do IF, fato que pode estar relacionado com o maior esforço mecânico encontrado à baixa temperatura, Vogt et. al (2006) já haviam encontrado resultados similares em seus estudos realizados com os mesmos resíduos.

Após o processamento por injeção, as amostras foram novamente moídas para análise do IF, o comparativo do resultado está representado na figura 8.

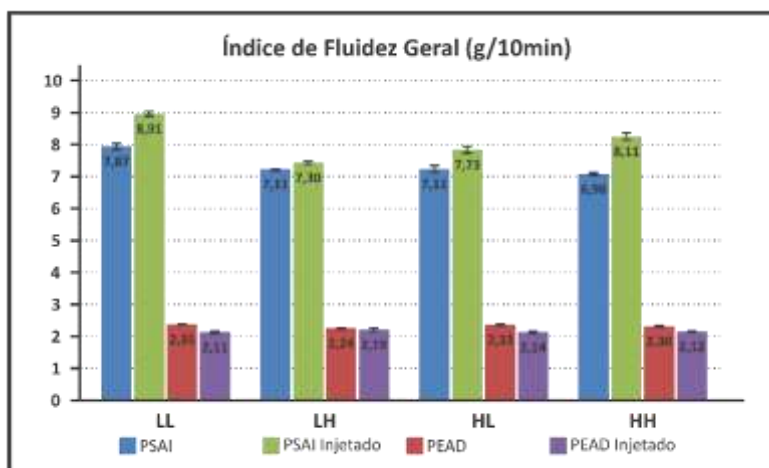


Figura 8. Índice de Fluidez Geral.

Após o processamento por injeção as amostras de PSAI apresentaram um aumento no índice de fluidez, já as amostras de PEAD apresentaram um leve decréscimo nesta propriedade. Esta variação nos resultados pode estar relacionada a dois meios de degradação, enquanto a diminuição da viscosidade do PSAI sugere uma predominância de cisão da cadeia polimérica, um aumento da viscosidade nas amostras de PEAD demonstra a predominância de uma degradação por reticulação (*cross linking*) (REMÉDIO et. al, 1999).

**Ensaio de Impacto:** As amostras foram submetidas ao ensaio de impacto e os dados obtidos foram agrupados conforme mostrado na figura 9.

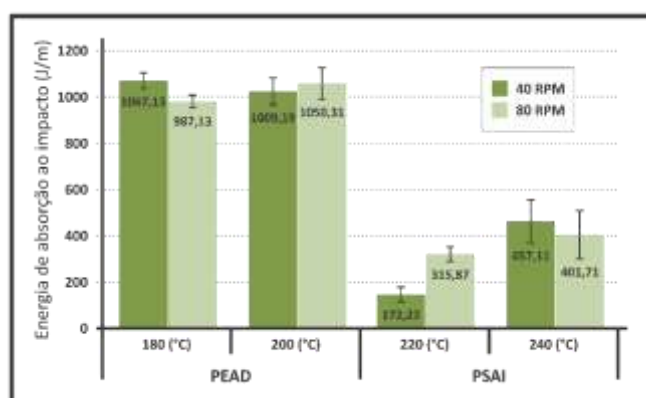


Figura9. Comparativo dos resultados do ensaio de Impacto para PSAI e PEAD.

Pode-se observar que o comportamento de PEAD e PSAI não se mostraram análogos. Para o PEAD, processado à baixa temperatura, o aumento da velocidade da rosca influenciou negativamente na energia de absorção ao impacto, já na condição de alta temperatura o aumento da velocidade da rosca aumentou a

resistência ao impacto. As amostras de PSAI demonstraram comportamento contrário. Estes resultados podem estar relacionados a influência destes parâmetros sobre o grau de cristalinidade de ambos polímeros, segundo Canevarolo (2002) o aumento do grau de cristalinidade é responsável pela redução da resistência ao impacto.

**Ensaio de tração:** A partir dos dados gerados, um gráfico foi elaborado para um melhor entendimento da variação da resistência à tração, bem como do módulo de elasticidade em função dos parâmetros de processamento. Os resultados podem ser observados na figura 10.

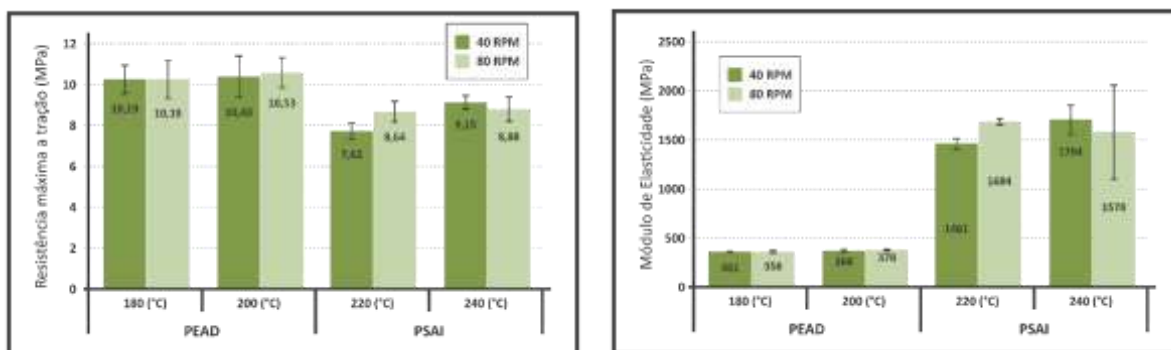


Figura 106. Comparação resultados do ensaio de tração.

Os resultados encontrados para o PEAD apontam para uma maior estabilidade térmica, enquanto os resultados para o PSAI evidenciam a degradação por ação termomecânica, cisão de cadeia, que leva a diminuição da massa molar (ZBOROWSKI, 2011).

**Dureza:** A variação na dureza, de acordo com as condições de processamento, pode ser observada na figura 11.

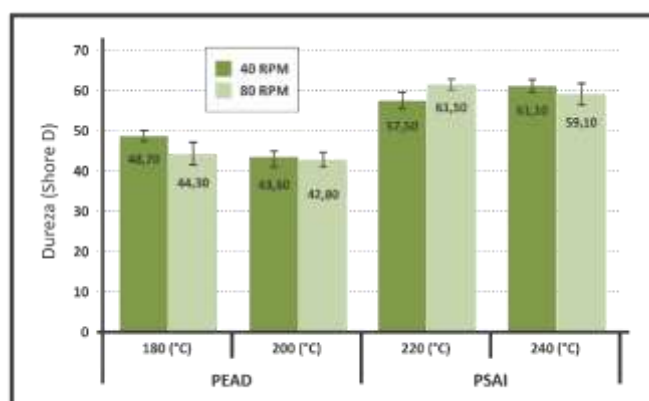


Figura 11. Comparação dureza Shore D

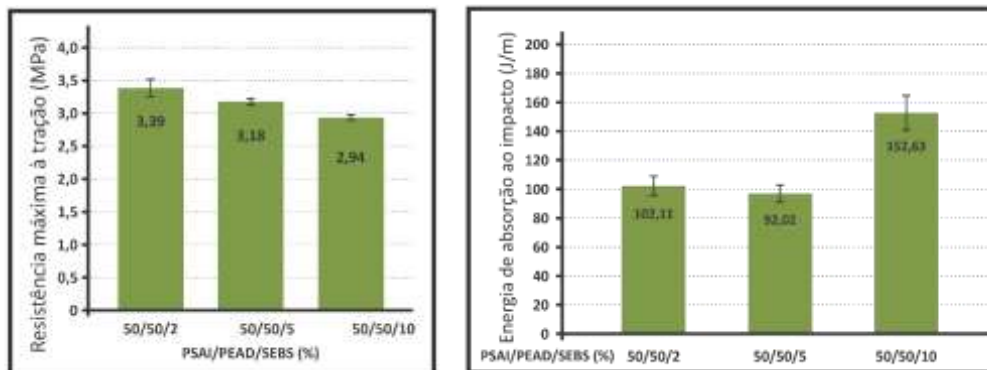
Para as amostras de PEAD o aumento da temperatura, bem como, da velocidade da rosca acarretou em diminuição da dureza, já para as amostras de PSAI os maiores

valores de dureza foram obtidos utilizando baixa temperatura e alta velocidade da rosca.

### Etapa 2

Nesta etapa uma blenda foi produzida utilizando 50% em massa de cada polímero (PSAI/PEAD), foram geradas três combinações utilizando 2, 5 e 10% em massa de SEBS. Após as etapas de mistura, processamento por extrusão e injeção, os corpos de prova foram testados quanto à resistência ao impacto, resistência à tração e dureza.

De forma geral as blendas com maior concentração de SEBS tiveram uma redução no Índice de fluidez devido ao aumento da quantidade de agente compatibilizante sugere uma maior adesão entre as fases, demonstrando que a variação do IF depende da compatibilidade da blenda e não apenas das propriedades físicas de seus constituintes (MELLO, 2010). A resistência ao impacto também apresentou aumento significativo com maiores concentrações do agente compatibilizante, o contrário aconteceu com a resistência à tração, tais fatos podem ser observados na figura 12.



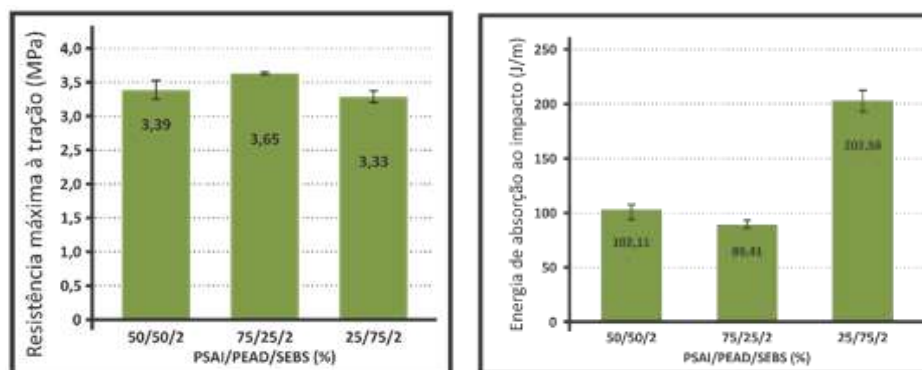
**Figura 12. Resistência à tração e impacto das blendas PSAl/PEAD/SEBS contendo SEBS.**

Para dureza não foram encontradas variações significativas.

**Etapa 3:** Após análise e interpretação dos resultados obtidos na etapa anterior foram formuladas duas novas blendas PSAl/PEAD, uma com 75/25% em massa e outra com 25/75%, ambas utilizaram 2% em massa de SEBS e tiveram suas propriedades comparadas a blenda 50/50% que utilizou, também, 2% de SEBS.

A escolha pela compatibilização utilizando 2% se dá, principalmente, pelo fato de representar um menor custo para matéria-prima, já que PSAl e PEAD são materiais pós-consumo e o agente compatibilizante virgem.

**Resistência à tração e impacto:** A figura 13 apresenta os resultados de resistência à tração e impacto para as blendas compatibilizadas.



**Figura 13. Resistência à tração e impacto das blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2% de SEBS.**

A resistência ao impacto sofreu significativa variação com relação à quantidade de cada polímero, resultando em uma maior resistência na blenda que continha 75%, em massa, de PEAD. Este resultado já era esperado visto que o PEAD apresenta maior resistência ao impacto, além do fato de blendas PSAI/PEAD serem imiscíveis. (MUNARO, 2007; MACAÚBAS & DEMARQUETTE, 1999). Pode-se observar que os maiores valores para a resistência máxima à tração e módulo de elasticidade foram obtidos nas blendas que continham 75%, em massa, de PSAI. Este resultado reflete a predominância da fase PSAI, que apresenta maior rigidez. Ambos os resultados encontrados para as blendas foram menores que aqueles obtidos por cada polímero individualmente. (XANTHOS & DAGLI, 1991; MUNARO, 2007).

**Dureza:** Os resultados do ensaio de dureza apontaram uma maior dureza para a blenda com 75% de PSAI. Estes resultados permaneceram mais próximos aos encontrados com os polímeros puros, possivelmente devido à dureza estar relacionada às propriedades de superfície dos polímeros e não diretamente com a adesão entre as fases (FEITOSA, 2008).

**Injeção:** Após avaliação das propriedades obtidas, o produto desenvolvido por Abich e Molon (2011) foi injetado utilizando como matéria-prima a blenda PSAI/PEAD/SEBS 25/75/2 e os mesmos parâmetros de processamento da etapa 3. Essa blenda foi escolhida principalmente pelos resultados de resistência ao impacto, maiores que as demais blendas, além da menor dureza.

## **CONCLUSÕES**

A variação dos parâmetros de processamento influenciou os resultados obtidos para os polímeros puros (pós-consumo), justificando a necessidade de um estudo aprofundado das relações existentes entre parâmetros de processamento e propriedades obtidas.

Para as amostras de PSAI a variação na temperatura de processamento influenciou significativamente, de forma positiva, na resistência ao impacto, resistência à tração e dureza e, de forma negativa, no índice de fluidez. Já a velocidade da rosca influenciou significativamente, de forma positiva, na resistência ao impacto e à tração e, de forma negativa, no índice de fluidez.

Para as amostras de PEAD a variação na temperatura de processamento influenciou significativamente, de forma positiva, no índice de fluidez e, de forma negativa na resistência à tração e dureza. Já a velocidade da rosca influenciou significativamente, de forma positiva, na resistência à tração e, de forma negativa, no índice de fluidez, resistência ao impacto e dureza. Em ambos os materiais, levando em consideração apenas os valores utilizados neste trabalho.

O aumento da concentração de agente compatibilizante em blendas que utilizaram 50%, em massa, de cada polímero influenciou de forma positiva na maioria das propriedades avaliadas, comprovando a imiscibilidade destes polímeros e a necessidade de compatibilização.

Nas blendas processadas com uma relação de PSAI/PEAD 25/75%, em massa, utilizando 2% de SEBS, as propriedades mecânicas foram inferiores àquelas encontradas nos polímeros puros, no entanto, satisfatórias para utilização no produto deste trabalho.

Este trabalho apresentou uma proposta viável que visa utilização de resíduos pós consumo para a fabricação de um produto de Tecnologia Assistiva, desta forma, contribuindo para sustentabilidade e inclusão social. Os dados apresentados no referencial teórico apontam uma necessidade de investimentos nessas duas áreas.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Laboratório de Materiais Poliméricos-LAPOL da UFRGS pela infraestrutura para realização de este trabalho.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. **Decreto nº 3.298**, de 20 de dezembro de 1999.

NERI, M. **Retratos da deficiência no Brasil**. Rio de Janeiro: FGV/IBRE, CPS, 2003.

OMS. **Relatório mundial sobre a deficiência**. ISBN - 978-85-64047-02-0, 2011.

MONT, D. **Measuring Disability Prevalence**. SP Discussion Paper. N°0706, 2007.

BRASIL. **Cartilha do Censo 2010 – Pessoas com Deficiência**. Coordenação-Geral do Sistema de Informações sobre a Pessoa com Deficiência. Brasília: SDH-PR/SNPD, 2012. 32 p.

BRASIL. **Tecnologia Assistiva nas escolas: Recursos básicos de acessibilidade sócio digital para pessoas com deficiência**. ITS Brasil, 2008. 62p.

ASHBY, M. F. **Seleção de Materiais no Projeto Mecânico**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 596pág. ISBN 978-85-352-4521-9

SHIBAO, F. Y.; MOORI, R. G.; SANTOS, M. R. **A logística reversa e a sustentabilidade empresarial**. XXX SEMEAD, Setembro-2010. ISSN 2177-3866

ABICH, D. & MOLON, N. R. **Criação de um produto baseado nos conceitos de Tecnologia Assistiva para auxiliar na inclusão de pessoas com deficiência visual**. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Sul-rio-grandense de Educação, Ciência e Tecnologia (IFSUL) para obtenção do título do Tecnólogo em Fabricação Mecânica. Sapucaia do Sul/RS, 2011.

VOGT, F.; DELFINO, G.P.; RORATTO, A. V. G.; HERTER, F. F.; SANTANA, R. M. C. **Resíduo plástico Universitário: Um estudo de caso para o Campus da UFRGS**. 17º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais - Foz do Iguaçu/PR, 2006. Pág. 9098 – 9107.

REMÉDIO, M. V. P.; ZANIN, M.; TEIXEIRA, B. A. N. **Caracterização do efluente de lavagem de filmes plásticos pós-consumo e determinação das propriedades**



**reológicas do material reciclado.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, 1999. Pág. 177-183.

CANEVAROLO Jr, S. V. **Ciência dos Polímeros: Um texto básico para Tecnólogos e Engenheiros.** São Paulo, Artliber Editora, 2002.

ZBOROWSKI, L. S. **Deformação da fase dispersa e degradação de blendas poliméricas em extrusora dupla-rosca aberta e fechada.** Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais da Universidade Federal de São Carlos para obtenção do título de Doutor, São Carlos/SP, 2011.

MELLO, F. B. **Blenda PP/HIPS: Compatibilização, propriedades e processamento por rotomoldagem.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Minas, Materiais e Metalurgia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do título de Mestre, Porto Alegre/RS, 2010.

MUNARO, M. **Desenvolvimento de blendas de polietileno com desempenho aperfeiçoado para utilização no setor elétrico.** Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Paraná (UFPR) para obtenção do título de Doutor(a). Curitiba, 2007.

MACAÚBAS, P. H. P. & DEMARQUETTE, N. R. **Interfacial Tension, Morphology and Linear Viscoelasticity Behavior of PP/PS Blends.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, 1999. Pág. 71-79.

XANTHOS, M.; DAGLI, S. S. **Compatibilization of polymers blends by reactive processing.** Polymer Engineering and Science, vol. 31, n°13, 1991.

FEITOSA, M. A. F. **Compatibilização de blenda polimérica de poliamida 6,6/polietileno de baixa densidade utilizando radiação ionizante de feixe de elétrons.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências na área de Tecnologia Nuclear do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/USP, para obtenção do título do Mestre. São Paulo/SP, 2008.

## ESTUDO DE REVISÃO SOBRE ENERGIA SOLAR: DA CONVERSÃO DA ENERGIA ATÉ A APLICAÇÃO

Angrizani, C. C.<sup>1</sup>

Capriolli, C. S.<sup>2</sup>

Bernar, A. M.<sup>3</sup>

Vilemberg, E.<sup>4</sup>

Bos, G. V.<sup>5</sup>

Souza, T. F.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Doutora em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Clarissa Coussirat Angrizani, IFSUL/Sapucaia do Sul, [cangrizani@gmail.com](mailto:cangrizani@gmail.com).

<sup>2</sup> Graduanda em Engenharia Mecânica, Caroline da Silva Capriolli, IFSUL/Sapucaia do Sul, [carolscapri@gmail.com](mailto:carolscapri@gmail.com)

<sup>3</sup> Graduanda em Engenharia Mecânica, Amanda da Mota Bernar, IFSUL/Sapucaia do Sul, [amandabernar@rocketmail.com](mailto:amandabernar@rocketmail.com)

<sup>4</sup> Graduanda em Engenharia Mecânica, Elisa Vilemberg, IFSUL/Sapucaia do Sul, [elisav.vilemberg@gmail.com](mailto:elisav.vilemberg@gmail.com)

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, Gilmar Valendorf Bos, IFSUL/Sapucaia do Sul, [gilmarbos@hotmail.com](mailto:gilmarbos@hotmail.com)

<sup>6</sup> Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Tomaz Fantin de Souza, IFSUL/Sapucaia do Sul, [tomazsouza@sapucaia.ifsul.edu.br](mailto:tomazsouza@sapucaia.ifsul.edu.br)

### Resumo

Entre as fontes de energia, a fonte de energia solar tem atraído bastante interesse do homem, primeiro por se tratar de uma fonte de energia renovável e o impacto ambiental ser mínimo, sendo inexistente durante o seu uso, e pelo fato do sol produzir 4 milhões de vezes mais energia do que consumimos e esta fonte de energia ser gratuita <sup>(1)</sup>. A energia solar pode ser usada para produzir energia de forma direta (conversão da energia solar em eletricidade) ou indireta (sistemas que controlam automaticamente cortinas, de acordo com a disponibilidade de luz do sol). Este trabalho trata de um estudo de revisão sobre os dois tipos de energia solar, como acontece a conversão da energia solar em mecânica para o uso em máquinas de fluxo, vantagens e desvantagens da energia solar, e aplicações destes sistemas de energia solar pensando na redução do impacto ambiental ou locais que seria inacessível o uso da energia de fontes não renováveis.

**Palavras-chave:** Energia solar; Renovável; Impacto ambiental.

### REVIEW STUDY ON SOLAR ENERGY: FROM THE CONVERSION OF ENERGY TO THE APPLICATION.

### Abstract

Between sources of energy, a source of solar energy has attracted a lot of interest from man, first because it is a source of renewable energy and environmental impact is minimal, nonexistent during its use, and because the sun produces 4 million times more energy than we consume and this energy source is free <sup>(1)</sup>. Solar energy can be used for direct energy (conversion solar energy to electricity) or indirect (systems that automatically control curtains, depending on the availability of sunlight). This work

deals about a review study on the two types of solar energy, as the conversion of solar energy into mechanics for use in flow machines, advantages and disadvantages of solar energy, and applications of these solar systems thinking in reducing the environmental impact or place that would be inaccessible the using energy from non-renewable sources.

**Key words:** Solar energy; Renewable; Environmental impact.

## 1 INTRODUÇÃO

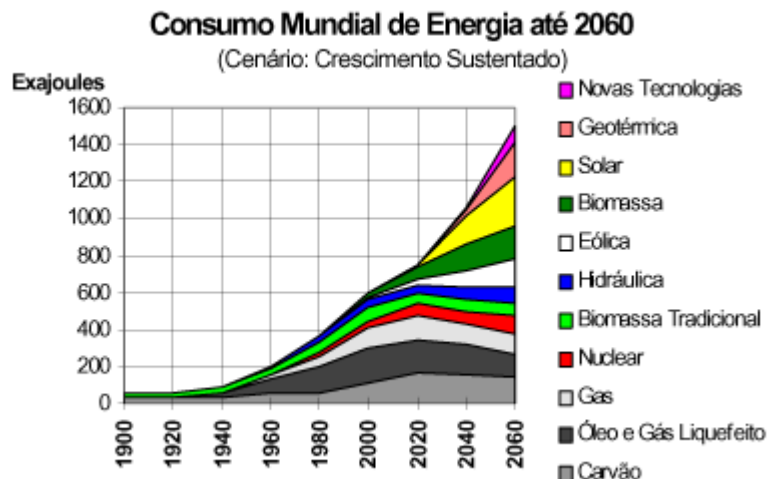
Os seres humanos sempre necessitaram de energia para desenvolver suas atividades. Desde suas primeiras necessidades que eram basicamente a alimentação, uma fonte de iluminação noturna e aquecimento. O homem apropriou-se do uso do fogo e desenvolveu a agricultura e a pecuária, armazenando energia excedente nos animais e alimentos.

A partir de então, cada vez mais, pode-se dedicar a outras atividades para potencializar seu trabalho. A diversificação do trabalho, visando à otimização das tarefas e aumento do conforto demandou novas formas de utilização de energia, que foram sendo descobertas e aprimoradas, através do desenvolvimento das ciências como a matemática, física e engenharia, que proporcionaram a criação de dispositivos mecânicos complexos, empregados para o aproveitamento da energia contida nos ventos e no vapor <sup>(2)</sup>. Ainda na era do vapor surge o carvão mineral empregado na combustão direta para produzir energia, sendo considerado o primeiro combustível fóssil usado em larga escala, e assim surge uma nova era, caracterizada pela revolução industrial, o surgimento do automóvel e a exploração do petróleo <sup>(2)</sup>.

As fontes de energia na terra podem ser divididas em cinco: o sol, a energia geotérmica, o movimento e o potencial gravitacional da terra, do sol e da lua, reações nucleares induzidas pelo homem, e as reações químicas das fontes minerais <sup>(3)</sup>.

A demanda de energia no mundo aumenta significativamente devido ao crescimento da população e a evolução industrial. É importante notar que a população tem crescido 2 bilhões somente na última geração e a maior contribuição tem sido dada pelos países em desenvolvimento. Prevenir uma crise energética é um dos temas mais discutidos no século 21 <sup>(4)</sup>. Neste contexto, existe uma necessidade urgente que é substituir a queima tradicional de combustíveis fósseis que está causando uma série de problemas ambientais, tais como mudança climática, aquecimento global, poluição do ar e chuva ácida <sup>(5)</sup>.

Entre as fontes de energia citadas anteriormente, as renováveis são: a solar, a energia geotérmica da terra e a energia da movimentação planetária. Entre estas a solar é a dominante. Mesmo depois de excluir a energia hidráulica, biomassa e a energia eólica como formas indiretas de energia solar, a quantidade da radiação solar incidente é ainda enorme. Por esta razão, a utilização de energia solar baseada nas tecnologias tem atraído grande interesse nos últimos tempos para satisfazer as diferentes demandas de energia da nossa sociedade. A Figura 1 apresenta a tendência de consumo dos tipos de energia nos próximos anos <sup>(6)</sup>. Pela Figura 1 pode-se dizer que haverá um aumento significativo no uso da energia solar.



**Figura 1.** Demanda global de fornecimento de energia <sup>(6)</sup>.

Entre as aplicações da energia solar pode-se citar: eletricidade e aquecimento, fonte de alimentação para máquinas de fluxo, refrigeração e resfriamento, aquecimento do processo industrial, eletrificação rural, produção de metanol, produção de hidrogênio, e dessalinização, entre outras <sup>(3)</sup>.

Devido à crescente importância do uso da energia solar no nosso dia a dia este trabalho tem o objetivo de fazer uma revisão sobre o uso da energia solar na alimentação de máquinas de fluxo. O trabalho é dividido em: introdução, tipos de energia solar, sistema de bombeamento, aplicações e vantagens e desvantagens.

## 2 TIPOS DE ENERGIA SOLAR

### 2.1 ENERGIA SOLAR FOTOTÉRMICA

Na energia solar fototérmica o interesse é na quantidade de energia que um determinado corpo é capaz de absorver, sob a forma de calor, a partir da radiação que incide sobre esse corpo. Para fazer uso desse tipo de energia é necessário saber captá-la e armazená-la. Os equipamentos mais usuais para isso são os coletores solares <sup>(7)</sup>.

Coletores solares consistem em aquecedores de fluidos (na forma líquida ou gasosa), e podem ser classificados em coletores concentradores e coletores planos em função da existência ou não de dispositivos de concentração de radiação solar. O fluido aquecido é mantido em reservatórios termicamente isolados até o seu uso final.

Os coletores solares planos são utilizados em maior proporção para aquecimentos de água (até 100 °C) em uso doméstico e no setor de serviços/industrial (hotéis, lavagem de peças mecânica, entre outros), devido a economia de energia elétrica e ao conforto proporcionado aos usuários. Eles apresentam uma estrutura mecânica relativamente simples (basicamente uma superfície coletora composta por pente de tubos e um isolamento térmico <sup>(8)</sup>, o que representa sua grande vantagem em relação aos coletores concentradores <sup>(7)</sup>.

A energia solar concentrada é uma tecnologia para aproveitamento, que apresenta um fundamento básico de usar superfícies espelhadas para captar a energia solar incidente sobre uma área maior, concentrando-a em uma área menor,

o foco, possibilitando um aumento de temperatura (superior aos coletores planos) para ser usada na geração de energia térmica ou elétrica.

## 2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade. O efeito fotovoltaico foi relatado por Edmond Becquerel (1839) e é o surgimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. Para a conversão se utiliza uma célula fotovoltaica <sup>(7)</sup>. A potência que um painel (célula) fotovoltaico fornece pode variar conforme as condições de irradiação e temperatura a qual está submetido.

A maioria das células fotovoltaicas incorporam a junção PN em um semicondutor (geralmente silício<sup>(9)</sup>). A junção PN é a principal parte da célula, a recepção do sol ocorre no material tipo-N e abaixo deste material fica o tipo-P, conforme a Figura 2 <sup>(7)</sup>. Quando a radiação solar incide sobre uma célula fotovoltaica os elétrons do material semicondutor são postos em movimento gerando eletricidade <sup>(9)</sup>.

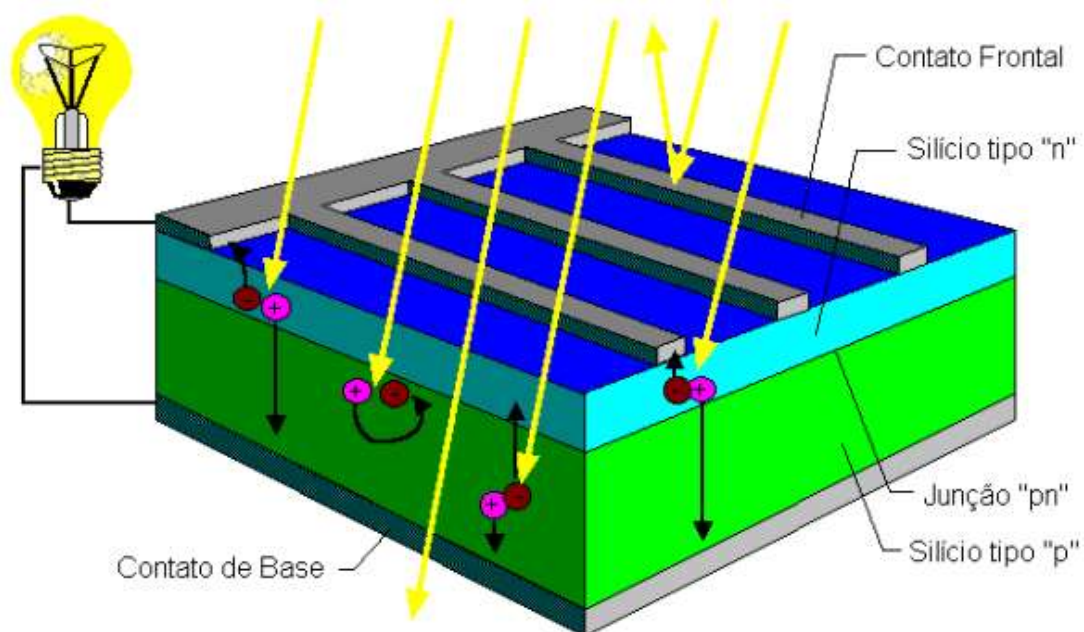


Figura 2. Desenho representativo de uma célula fotovoltaica <sup>(7)</sup>.

A energia solar fotovoltaica teve sua aplicação impulsionada pela necessidade de desenvolver uma fonte de energia capaz de fornecer energia para satélites. O segundo agente impulsionador desta tecnologia foi a “corrida espacial”, onde esse foi o meio mais adequado para o fornecimento de energia necessária para longos períodos de permanência no espaço devido ao seu menor custo e peso <sup>(7)</sup>.

Em 1973, a crise energética do petróleo renovou o interesse em aplicações terrestres, porém para a viabilidade econômica do uso dessa energia era necessário reduzir em 100 vezes o custo de produção das células solares em relação as células

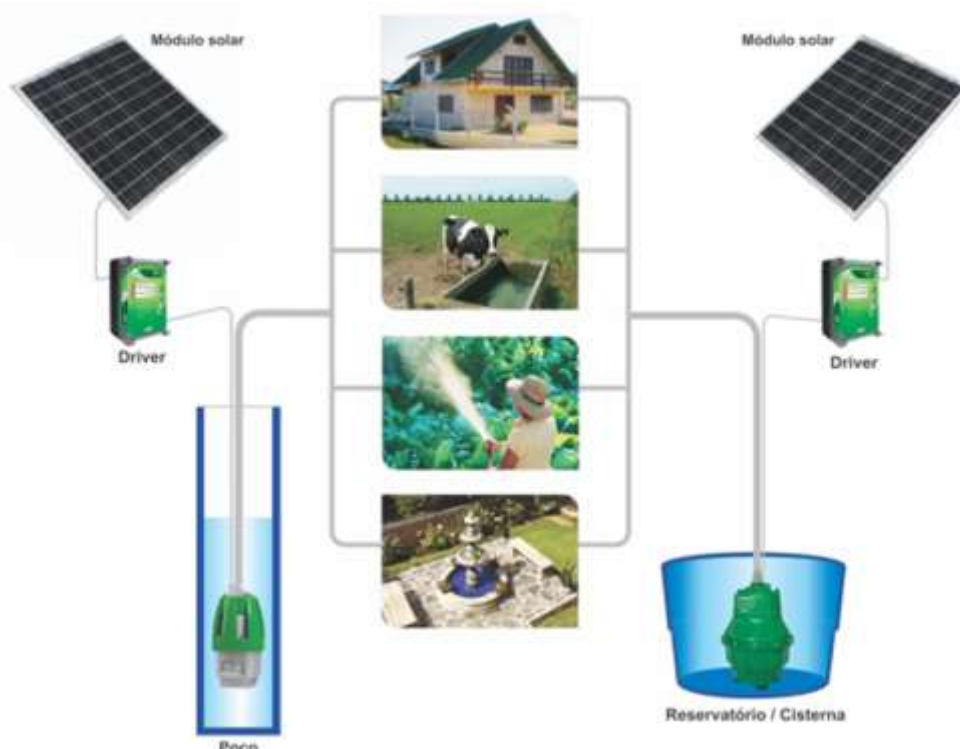
utilizadas em explorações espaciais <sup>(7)</sup>. Em razão do alto custo o desenvolvimento desta tecnologia foi muito lento, mas em 1978 a produção era de 1 Mwp/ano (mega watt pico/ano), e quinze após já estava em 60 Mwp/ano <sup>(10)</sup>.

A década de 90 marca o desenvolvimento acelerado da indústria fotovoltaica. Visando ampliar os horizontes para utilização em massa da energia solar como opção energética, inúmeros programas mundiais foram lançados para a demonstração da viabilidade técnica-comercial da energia solar fotovoltaica em projetos de eletrificação rural nos países em desenvolvimento <sup>(10)</sup>.

Cessada a crise do petróleo, muitas empresas petrolíferas pararam de investir nesta tecnologia, no entanto fatores relacionados à defesa do meio ambiente e o desenvolvimento do grande mercado da eletrificação rural continuaram impulsionando esta fonte energética <sup>(10)</sup>.

### 3 SISTEMA DE BOMBEAMENTO

O sistema de bombeamento é composto basicamente por um gerador solar, constituído de módulos fotovoltaicos que geram eletricidade em corrente contínua que alimenta o motor que está diretamente ligado a bomba de água conforme a Figura 3 <sup>(11)(12)</sup>.



**Figura 3.** Sistema de bombeamento de uma bomba movida à energia solar <sup>(12)</sup>.

A vazão bombeada varia de acordo com o nível de insolação <sup>(11)</sup>, a altura manométrica e a capacidade de geração dos módulos fotovoltaicos <sup>(13)</sup>. Em um sistema de bombeamento fotovoltaico, o painel fotovoltaico converte energia solar em corrente elétrica que alimenta o motor, o qual é acoplado à bomba d'água. Quando o painel supre o motor com potência elétrica suficiente, ele produz torque mecânico e a bomba começa a trabalhar <sup>(13)</sup>.

## 4 APLICAÇÕES

A água é um fator de saúde e de progresso. Permite a fixação do homem no campo ao dispor dela para seu consumo próprio, de suas culturas e de seus animais. Entretanto, muitas comunidades não dispõem de acesso à água potável, apesar de frequentemente estarem sobre lençóis subterrâneos com água de alta qualidade. Muitas vezes, a causa desta situação é a falta de energia elétrica para o bombeamento da água destes lençóis.

Com o objetivo de resolver esta situação, uma das principais soluções seria a aplicação de bombas solares ou bombas acionadas com motor diesel, com o intuito de bombear água para o abastecimento de bebedouro de animais, irrigação, tanques e caixa d'água para uso doméstico.

As bombas acionadas com motor diesel, usualmente, têm grande capacidade de bombeamento, mas trazem problemas de suprimento além das despesas com o combustível necessário à sua operação. Sua manutenção é frequente e nem sempre feita de forma adequada, reduzindo sua vida útil. A poluição sonora e do ar que produzem é outro fator negativo <sup>(11)</sup>.

Ao compararmos a bomba movida a diesel com a solar, esta última é mais eficiente, confiável, necessita de pouca manutenção e resolve o problema de abastecimento de água com um custo relativamente baixo. Outra característica favorável ao uso dessa tecnologia refere-se ao casamento perfeito entre a fonte energética, a radiação solar e a necessidade de água gerando um mínimo impacto ambiental. Geralmente, as regiões mais secas e carentes de água são as que possuem insolação em abundância. E em épocas de maior nebulosidade, a necessidade de água normalmente é menor <sup>(11)</sup>.

Quando a bomba movida a energia solar é utilizada em bebedouros de animais o conjunto permite o bombeamento de água mais eficaz para os reservatórios. É uma opção segura e que acarreta em uma maior economia, além disso, também garante que o abastecimento de água aos animais estará sendo realizado.

Quando aplicada em sistemas de irrigação, o bombeamento garante o fornecimento controlado de água para as plantas em quantidade suficiente e no momento certo, assegurando a produtividade e a sobrevivência da plantação.

### 4.1 CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS

É muito importante que as considerações econômicas sejam criteriosamente avaliadas ao se projetar um sistema de bombeamento para uma aplicação específica. O custo do bombeamento fotovoltaico deve ser confrontado com o custo da extensão de uma rede elétrica convencional e com o uso de um sistema de bombeamento convencional elétrico. Também deve ser comparado com o sistema a diesel e, mesmo, com o sistema manual <sup>(11)</sup>.

Essa comparação deve levar em conta não apenas o investimento inicial, mas também os gastos de operação e manutenção e também as Bombeamento de água com energia solar fotovoltaica e características específicas do local, do poço e da comunidade. É importante também que seja avaliada a infraestrutura necessária para manter o poço em funcionamento sem que o projeto se torne inviável com o tempo. Outro fator limitante no uso da energia solar está na necessidade de uma

autoridade responsável para equilibrar a oferta e a demanda em uma zona geográfica determinada (redes inteligentes) <sup>(14)</sup>.

## **5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ENERGIA SOLAR**

Existem muitas vantagens a se considerar quando se trata de energia solar, mas, algumas considerações importantes devem ser feitas no momento da escolha por este tipo de energia.

A principal vantagem da energia solar é ser um recurso totalmente renovável, o que significa que mesmo que não possamos fazer uso do recurso durante a noite, no dia seguinte poderemos contar com ele novamente. Aliás, esta é a fonte de energia renovável mais consistente e previsível <sup>(15)</sup>. Por outro lado, essa segurança demanda um alto custo de aquisição, mas, se considerarmos o tempo de vida útil e o benefício para o meio ambiente, o investimento se paga durante o tempo.

A desvantagem mais expressiva da energia fotovoltaica, por sua vez, é a impossibilidade de utilizar o recurso durante a noite e durante dias chuvosos o que faz com que seja necessária a aquisição de baterias ou, outra solução seria ter em paralelo acesso à rede convencional de energia elétrica. Devido à esta questão, pode não se tornar rentável em locais muito chuvosos e com grande frequência de dias nublados.

Em contrapartida, a energia solar é muito importante ambientalmente, uma vez que se trata de uma energia limpa. Pelos dados demonstrados no Portal Solar <sup>(15)</sup>, por mais que se gaste uma quantidade expressiva de energia para a fabricação dos equipamentos utilizados na captação, eles podem gerar, durante a sua vida útil, mais de 20 vezes a quantidade de energia gasta. Além disso, os equipamentos para captação da energia solar necessitam da mínima manutenção, sendo necessária apenas uma limpeza anual. Para complementar, estes painéis são de muito fácil instalação.

A energia solar é flexível, uma vez que pode ser utilizada em áreas isoladas de rede elétrica. Isto torna o custo dos equipamentos mais baratos do que geradores a diesel ou óleo combustível <sup>(15)</sup>.

Além disso, pode-se afirmar que existem muitas vantagens e que a única desvantagem expressiva é o custo dos equipamentos. Uma estratégia de melhoria seria mais incentivo governamental para energias limpas. Além de aumentar a saúde do meio ambiente, poder-se-ia possibilitar o alcance de energia elétrica em lugares de difícil acesso, melhorando muito a qualidade de vida das pessoas locais.

## **4 CONCLUSÃO**

Neste estudo observou-se que existem inúmeras aplicações de equipamentos utilizando energia solar, o que é um fator positivo visto que a mesma é renovável, sustentável e limpa.

Por se tratar de uma fonte renovável de energia, é cada vez mais importante a exploração desse tipo de energia, visto que o alto custo pode ser devido à baixa procura desta tecnologia e, se a mesma for produzida em larga escala pode ser tornar mais barata. Além disso, o uso, principalmente da energia solar fotovoltaica que é obtida através dos coletores, em locais remotos até torna mais barato o custo de se levar energia as famílias que necessitam, visto que isso é uma necessidade de saneamento básico.



Na região Nordeste do Brasil a energia solar poderia abranger grande parte da demanda necessária, sendo possível desativar pelos períodos de verão as usinas térmicas que tem um custo muito mais alto após a instalação.

Também é possível concluir que apesar do alto custo de instalação, após essa ser realizada, o custo de operação de uma usina solar é menor que os outros tipos de energia não-renováveis.

## REFERÊNCIAS

- 1 Portal Energia. Vantagens e desvantagens da energia solar. Artigo online disponível em: < <http://riosvivos.org.br/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar/> >. Acesso em:12/10/2017.
- 2 L.M. Farias, M.A. Sellitto, Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras, Revista Liberato, Novo Hamburgo, 12(17) (2011) 7-16.
- 3 A. Modi, F. Bühler, J.G. Andreasen, F. Haglind, A review of solar energy based heat and power generation systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67 (2017) 1047–1064.
- 4 N. Kannan, D. Vakeesan, Solar energy for future world: - A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62 (2016) 1092-1105.
- 5 P.G.V. Sampaio, M.O.A. González, Photovoltaic solar energy: Conceptual framework, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74 (2017) 590-601.
- 6 M.S.C. Dias, Shell Solar: eletrificação rural e desenvolvimento sustentável, In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3, 2003, Campinas.
- 7 CEPEL.Sistema Eletrobrás. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_solar\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf)>. Acesso em 01/05/2017.
- 8 FERREIRA, M.J.G. Inserção da energia solar Fotovoltaica no Brasil, Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Energia), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1993.
- 9 Portal Solar. Energia Fotovoltaica. Artigo online disponível em: <[portalsolar.com.br](http://portalsolar.com.br)>. Acesso em: 12/10/2017.
- 10 NASCIMENTO, C.A. Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica, Monografia de Especialização (Pós-Graduação Lato-Sensu em Fontes alternativas de energia), Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2004.
- 11 Alvarenga, C.A., Bombeamento de água com energia solar fotovoltaica. Artigo online disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/files/Bombeamento-de-agua-com-energia%20solar-Solenerg-Engenharia.pdf>>. Acesso em: 13/10/2017.
- 12 Anauger, Folheto da bomba solar Anauger. Disponível em: <[https://www.neosolar.com.br/media/pdf/manuais/Folheto\\_Bomba\\_Solar\\_Anauger\\_01\\_pt.pdf](https://www.neosolar.com.br/media/pdf/manuais/Folheto_Bomba_Solar_Anauger_01_pt.pdf)>. Acesso em: 12/10/2017.
- 13 E.M. Kolling, S.N.M. Souza, R.P. Ricieri, S.C. Sampaio, R. Dallacort, Análise operacional de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água, Engenharia Agrícola, 24(3) (2004) 527 – 535.
- 14 A. Beltrán-Telles, M. Morera-Hernández, F. E. López-Monteagudo, R. Villela-Varela, Prospectiva de las energías eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía eléctrica, CienciaUAT, 11(2) (2017) 105 – 117.
- 15 Portal Solar. Vantagens e Desvantagens da Energia Solar. Artigo online disponível em: <[portalsolar.com.br](http://portalsolar.com.br)>. Acesso em:10/06/2017.

# CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS COM O GRAU DE CRISTALINIDADE DO POLIPROPILENO MOLDADO EM DIFERENTES VELOCIDADES DE INJEÇÃO

Linck, C.<sup>1</sup>,  
Zucolotto, I.<sup>2</sup>,  
Pereira, E.R.<sup>3</sup>,  
Abich, D.<sup>4</sup>,  
Oliveira, J.A.P.<sup>5</sup>,  
Santana, R.<sup>6</sup>.

- <sup>1</sup> Mestre em Engenharia de Materiais, Cristiano Linck, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Sapiranga, cristianolinck@ifsul.edu.br.
- <sup>2</sup> Engº de Produção (Enfâse em Mecânica), Igor Zucolotto Gonzaga, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), igor\_zucoloto@hotmail.com
- <sup>3</sup> Mestre em Engenharia de Materiais, Eveline Raquel Pereira, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Sapucaia do Sul, eveline.pereira@sapucaia.ifsul.edu.br
- <sup>4</sup> Mestre em Engenharia de Materiais, Diego Abich Rodrigues, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Sapiranga, diegoabich@ifsul.edu.br.
- <sup>5</sup> Doutor em Engenharia Química, João Antônio Pinto de Oliveira, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Sapucaia do Sul, japo@sapucaia.ifsul.edu.br
- <sup>6</sup> Pós-Doutora em Engenharia de Materiais, Ruth Marlene Campomanes Santana, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ruth.santana@ufrgs.br.

## Resumo

Os parâmetros de processamento de moldagem por injeção de polímeros semicristalinos são muito importantes e o domínio destes poderá influenciar a produção seriada de peças, especialmente na variação de sua estrutura cristalina. Esta variação pode ser avaliada por meio da determinação do grau de cristalinidade. O Grau de Cristalinidade pode ser afetado por diversos fatores que influenciam o comportamento mecânico de peças obtidas por este processo. Neste trabalho buscou-se correlacionar o grau de cristalinidade do polipropileno com base na densidade medida de diferentes amostras injetadas sob variação das velocidades de injeção. Posteriormente buscou-se verificar como este parâmetro de processamento influencia nesta propriedade e conseqüentemente na resistência mecânica de absorção de impacto e dureza. Resultados comprovam que o grau de cristalinidade tem uma pequena variação em função do acréscimo da velocidade de injeção e que, conseqüentemente, influencia proporcionalmente a resistência ao impacto e a dureza.

**Palavras-chave:** Injeção, Cristalinidade, Processo, Polipropileno, Propriedades.

## CORRELATION OF MECHANICAL PROPERTIES WITH POLYPROPYLENE CRYSTALLINITY DEGREE OBTAINED BY PROCESSING IN DIFFERENT INJECTION SPEED RATES

### Abstract

The molding processing parameters for semi-crystalline polymers injection are very important and the domain of these can influence the mass production of parts, especially in the range of its crystalline structure. This variation can be evaluated by determining the crystallinity degree. The crystallinity degree can be affected by several factors that influence the mechanical behavior of parts obtained by this process. In this study we attempted to correlate the degree of crystallinity polypropylene based on the density measured in different samples injected under variation of the injection speeds. Later he tried to figure out how this process parameter influence on this property and consequently the strength of impact absorption and hardness. Preliminary results show that the degree of crystallinity has a small variation due to the addition of injection speed and, consequently, the degree of crystallinity proportionally affects the impact resistance and hardness.

**Keywords:** Injection, process, Polypropylene, Properties.

### INTRODUÇÃO

O processo de injeção consiste na moldagem de peças ou artefatos plásticos a partir da plastificação de uma matéria-prima, O material entra por um funil de alimentação e por ação da gravidade é transportado para uma rosca sem fim dentro de um canhão aquecido por resistências elétricas que plastificam o material previamente sólido, após isto o material é injetado dentro de um molde onde passará por um resfriamento e tomará a forma do produto final. <sup>(1)</sup>

Algumas das características mecânicas e térmicas dos polímeros são dadas em função da habilidade dos segmentos da cadeia em sofrer rotação em resposta a tensões aplicadas ou a vibrações térmicas. Outros aspectos que influenciam na estrutura química dos polímeros, são as temperaturas de transição, podendo passar de um estado termodinâmico e térmico para outro, dependendo das condições a que for submetido, tais como: variações na temperatura, tensões externas e internas e taxas de variação dessas variáveis. São estas temperaturas que vão determinar a cristalinidade dos polímeros e suas estruturas, ocorrendo as mudanças de fases, podendo ter polímeros com regiões amorfas e cristalinas ou somente amorfas. <sup>(1), (2)</sup>

As propriedades e comportamento mecânico dos polímeros são especificados a partir do módulo de elasticidade, tensão de escoamento e resistência a tração, os mesmo usados nos metais. <sup>(3)</sup>

O grau de resistência de um material polimérico a uma carga de impacto pode ser relevante em algumas aplicações. <sup>(3)</sup> <sup>(4)</sup>

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi correlacionar o grau de cristalinidade do polipropileno com base na densidade medida de diferentes peças moldadas em função da variação das velocidades de injeção e qual sua influência nas propriedades mecânicas destas peças.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O material utilizado para injeção foi o H103 da Braskem, uma resina de polipropileno de alto índice de fluidez, aditivada para uso geral. Indicada para moldagem por injeção. Este produto apresenta excelente processabilidade e bom balanço rigidez/impacto. Possui Índice de Fluidez de 40 g /10 min, conforme ASTM D1238.

Para a análise da influência da velocidade de injeção no grau de cristalinidade e no comportamento mecânico de peças injetadas em polipropileno foi utilizada a peça que pode ser visualizada na Figura 1.



**Figura 1. Peça utilizada no estudo. Fonte: Autor**

Foram injetadas 3 grupos de amostras na injetora ROMI Primax 150 do Instituto Federal Sul-rio-grandense campus Sapucaia do Sul (IFSUL) com velocidades de injeção diferentes. Cada grupo de amostra é composto de 60 peças e as velocidades de injeção foram respectivamente 20 mm/s, 52 mm/s e 100 mm/s respectivamente.

Alguns parâmetros se mantiveram constantes como a dosagem em 80 mm, tempo de resfriamento em 10 segundos, a temperatura no molde variou de 25,2°C a 26,8°C. A temperatura do canhão foi programada conforme indicação do fornecedor do material sendo da garganta de alimentação para o bico as seguintes temperaturas: 180°C, 190°C, 200°C, 200° C e 190°C.

A determinação da densidade pelo método de Arquimedes, baseado na ASTM D 792-13, foi realizado no Laboratório de Polímeros (LaPol) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e envolve unicamente medidas de massa. A densidade é então calculada pela Equação A. <sup>(7)</sup>

$$\rho = \frac{a}{(a + w - b)} \times 0,81625145 \text{ (A)}$$

Onde:

$\rho$  é a densidade do material em g/cm<sup>3</sup>

$a$  é a massa do corpo de prova seco

$b$  é a massa do corpo de prova e do arame parcialmente imerso no álcool

$w$  é o peso do arame parcialmente imerso no álcool

0,81625145 é a densidade do álcool em g/cm<sup>3</sup> na temperatura de 23°C

Para aplicação da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** A foram considerados como valores atribuídos à densidades teórica para o polipropileno 100% amorfo ( $\rho_a$ ) 0,850 g/cm<sup>3</sup> <sup>(9)</sup> e 0,950 g/cm<sup>3</sup> <sup>(3)</sup> <sup>(9)</sup> para o polipropileno 100% cristalino ( $\rho_c$ ), visto que a determinação dos valores para o polímero 100% amorfo e 100% cristalino é uma dificuldade que restringe, em muitos casos, o uso dessa técnica <sup>(9)</sup> <sup>(13)</sup>. Os valores utilizados para densidade das amostras ( $\rho$ ) foram obtidos experimentalmente baseados na ASTM D792-13.

Neste estudo, por se tratar de uma peça e não de um corpo de prova específico para realizar ensaios de tração, optou-se por realizar ensaios de impacto e dureza.

O Ensaio de Impacto e o Ensaio de Dureza, utilizando respectivamente as normas ASTM D256-10 e ASTM 2240-15, foram realizados no LaPol na UFRGS utilizando uma parte cortada da peça para avaliação destas características.

Os ensaios Izod e Charpy usados normalmente para determinar a resistência ao impacto. Neste ensaio o corpo de prova foi cortado da peça, foram medidas as dimensões e posteriormente utilizou-se um martelo para realizar o impacto medindo-se a energia absorvida. Para determinar a dureza de polímeros é utilizado um durômetro na escala Shore D, com um penetrador cônico. A leitura da resistência a penetração é realizada diretamente no instrumento. (5) (6)

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Influência da velocidade de injeção na densidade do PP

Na Figura 2 são apresentados os valores médios das densidades das amostras de PP moldadas em função da velocidade de injeção na temperatura média de 190°C. Observa-se que os valores das densidades tiveram um sutil acréscimo, ainda que pouco significativo, quando se aumenta a velocidade de injeção, seguido de um decréscimo para o patamar inicial quando se tem a velocidade mais alta. Desta forma não foi possível observar correlação entre a velocidade de injeção e a densidade do PP para esta temperatura de processamento.

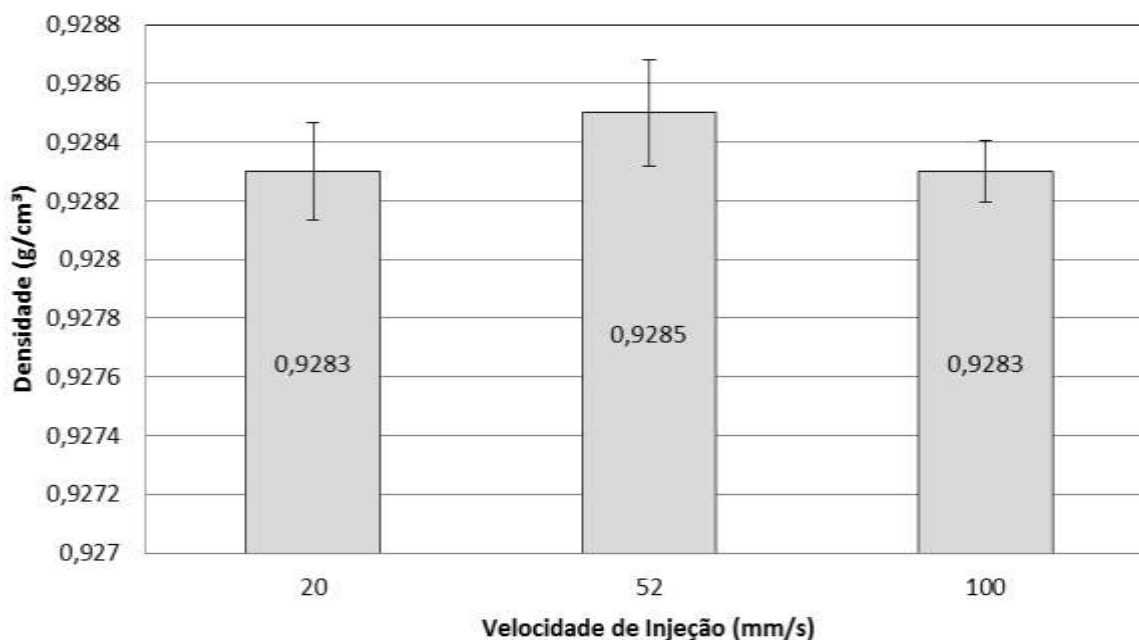


Figura 2 – Densidade das amostras de PP moldadas em função da velocidade de injeção.

Fonte: Própria

A cristalinidade, a história térmica e a porosidade são fatores que podem causar alteração da densidade aparente do material. Desta maneira, acredita-se que a maior velocidade de injeção, provocando uma maior troca térmica possa ter afetado positivamente no aumento da cristalinidade e uma redução da porosidade na peça injetada, uma vez que o material estava mais homogêneo. <sup>(8)</sup>

A densidade é uma propriedade que pode ser utilizada para demonstrar mudanças na estrutura e grau de uniformidade. As mudanças de densidade podem ocorrer devido à cristalinidade, perda de plastificante ou absorção de solvente. <sup>(9)</sup> Neste estudo as amostras não estão relacionadas ao uso ou perda de solventes e/ou plastificantes, podemos dizer que a variação da densidade das amostras poliméricas deve-se principalmente à variação da cristalinidade que é fortemente influenciada pelo tempo de resfriamento e configuração das cadeias poliméricas. <sup>(3)</sup>

#### Grau de cristalinidade de peças de PP moldadas por injeção

Muitas propriedades dos polímeros podem ser estimadas a partir de sua densidade, pois essa é uma consequência na natureza semicristalina dos polímeros. Sabe-se que o empacotamento das cadeias poliméricas é mais efetivo em regiões cristalinas do que em regiões amorfas, podemos relacionar que a densidade global do polipropileno, assim como de outras poliolefinas como o polietileno, aumenta de acordo com o grau de cristalinidade, então a densidade do polipropileno pode ser considerada proporcional ao grau de cristalinidade. <sup>(3)</sup>

O grau de cristalinidade das amostras avaliadas foi calculado a partir da equação B. <sup>(8) (9)</sup>

$$X_c = \frac{\rho_c}{\rho} \times \left( \frac{\rho - \rho_a}{\rho_c - \rho_a} \right) \times 100 \text{ (B)}$$

Onde:

X<sub>c</sub> é % de Cristalinidade

ρ é a densidade da amostra em g/cm<sup>3</sup>

ρ<sub>a</sub> é a Densidade do polímero totalmente amorfo em g/cm<sup>3</sup>

$\rho_c$  é a densidade do polímero totalmente cristalino em  $\text{g/cm}^3$

O Grau de cristalinidade das amostras avaliadas obtido pela equação B são apresentados na Tab. 1, onde é possível verificar que não há mudanças significativas e que o comportamento é similar ao da densidade.

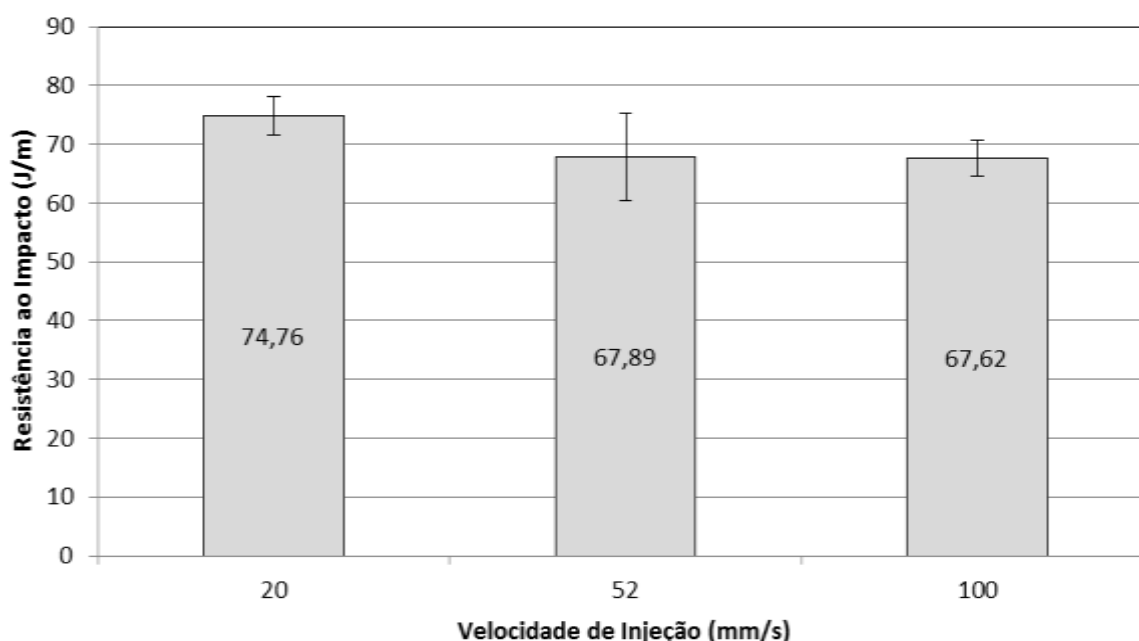
**Tab. 1 – Grau de Cristalinidade das amostras avaliadas**

Velocidade de Injeção (mm/s)	Grau de Cristalinidade (%)
20	80,10
52	80,32
100	80,15

Ressalta-se que os valores obtidos para densidade e grau de cristalinidade estão de acordo com os apresentados por Canevarollo e Mano. <sup>(3)</sup> <sup>(9)</sup>

### Propriedades mecânicas

Os resultados do ensaio de impacto das amostras avaliadas comprovam que a energia absorvida pelo impacto teve um pequeno decréscimo em função do aumento da velocidade de injeção. Os resultados podem ser observados na Figura 3.



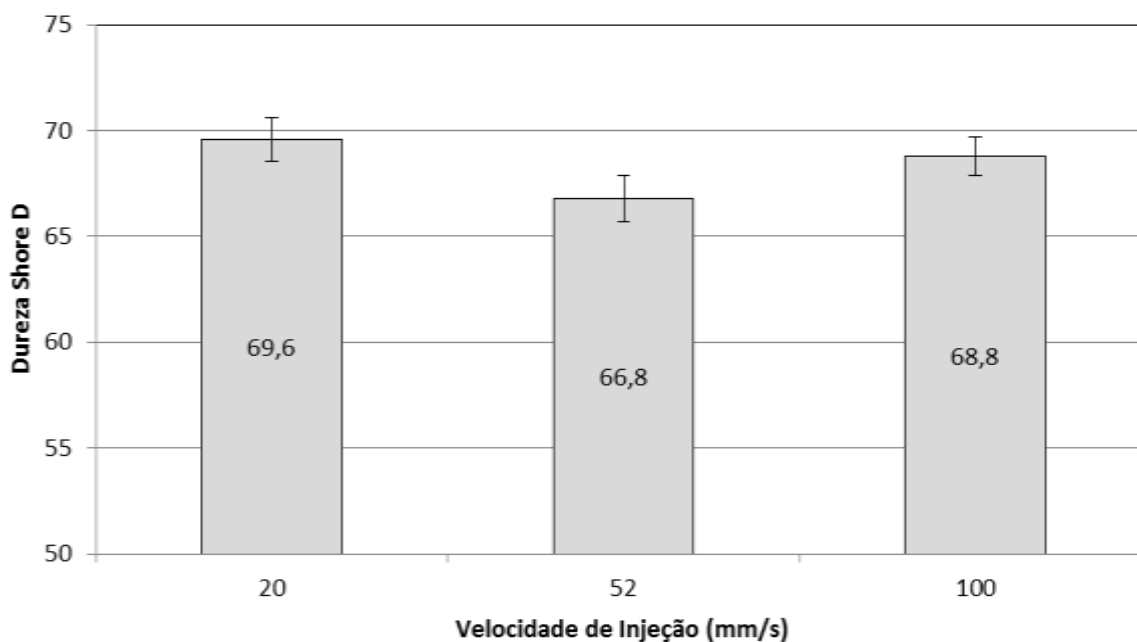


**Figura 3 – Ensaio de Impacto das amostras de PP moldadas em função da velocidade de injeção. Fonte: Própria**

Sabe-se que a resistência ao impacto aumenta com a massa molar e diminui com o aumento da cristalinidade. Como houve um sutil acréscimo da densidade, acredita-se que este fator contribui para o aumento da resistência ao impacto. <sup>(10)</sup>

Os valores encontrados para resistência ao impacto estão de acordo com a faixa descrita na literatura, situada numa faixa de 27 J/m até 120 J/m. O comportamento ficou conforme o esperado, visto que a resistência ao impacto e a cristalinidade estão associados de forma que a resistência ao impacto diminui com o aumento do grau de cristalinidade. <sup>(14) (15)</sup>

Outra propriedade mecânica avaliada foi a dureza das peças, apresentadas na Figura 4, onde observa-se um pequeno decréscimo porém não significativo com o aumento da velocidade de injeção.



**Figura 4 – Dureza das amostras de PP moldadas em função da velocidade de injeção. Fonte: Própria**

Sabe-se que dureza e cristalinidade estão relacionadas de forma que quando a cristalinidade aumenta, aumenta-se também a dureza. Desta maneira regiões não cristalinas e presença de reticulados tendem a reduzir a dureza. <sup>(11) (12)</sup>

Na literatura encontramos a faixa de 80 a 110 Rockwell R para o PP<sup>(16)</sup> que equivale de 70 a 80 Shore D. Na ficha técnica do PP utilizado nesse estudo o resultado apresentado é de 101 Rockwell R que equivale a aproximadamente 77 Shore D, os valores de tolerâncias não são apresentados.

Como discutido anteriormente, sabe-se que dureza e cristalinidade estão relacionadas de forma que à medida que a cristalinidade aumenta, aumenta também a dureza, o módulo elástico e resistência ao escoamento<sup>(12)</sup>.

## CONCLUSÕES

A maior velocidade de injeção provoca uma troca térmica maior, com maiores taxas de cisalhamento e isto influencia a densidade do material. Através do método proposto no trabalho foi possível calcular o grau de cristalinidade com base nas densidades das peças injetadas com essas diferentes velocidades. Os resultados comprovam que o grau de cristalinidade tem influência sobre o comportamento mecânico do material. Assim podemos afirmar que o aumento da velocidade de injeção não produz efeitos significativos no grau de cristalinidade, porém proporciona um decréscimo para resistência ao impacto e dureza para a temperatura de processamento média de 190°C.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Materiais Poliméricos-LAPOL da UFRGS, ao IFSul e ao SIBRATEC pela infraestrutura para realização de este trabalho.

## REFERÊNCIAS

- (1) MANRICH, S. **Processamento de Termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. São Paulo. Artliber Editora, 2005.
- (2) CANEVAROLO, S. V. J. **Ciências dos Polímeros**. São Paulo: Artliber, 2005.
- (3) CALLISTER, W. D. JR, **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

(4) ASTM D 256-10. **Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics**

(5) Tiggeman, H. M. **Desenvolvimento de nanocompósito a partir de um elastômero plástico**. 2012. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Química. Porto Alegre, 2012.

(6) ASTM D 2240-15. **Standard Method for Rubber Property-Durometer Hardness**.

(7) MAZALI, I, O. **Laboratório de Química do Estado Sólido, Métodos Processos e Técnicas – Determinação da Densidade de sólidos pelo Método do Arquimedes**. Disponível em:

[http://lqes.iqm.unicamp.br/images/vivencia\\_lqes\\_meprotec\\_densidade\\_arquimedes.pdf](http://lqes.iqm.unicamp.br/images/vivencia_lqes_meprotec_densidade_arquimedes.pdf). Acesso em Abril de 2016.

(8) Denardin, E. L. G. **Rearranjo Estrutural de PET durante compressão plana**. 2004. 170f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Química. Porto Alegre, 2014.

(9) ACKELRULD, L. **Fundamentos da Ciência dos Polímeros**. 1 Ed. São Paulo: Manole, 2007.

(10) Lampman, S. **Characterization and Failure Analysis of Plastics**. Chicago, ASM International, p482, 2003.

(11) MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a Polímeros**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1999.

(12) National Aeronautics and Space Administration. **Nuclear and Space Radiation Effects on Material**. Disponível em:

<http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19710015558.pdf>, Acesso em : Abril de 2016.

(13) WHITE, J. L.; CHOI, D. **Polyolefins Processing, Structure Development and Properties**. Munich: Hanser Publishers, 2005

(14) INNOVA. Manual de injeção. Disponível em: <[http://www.innova.ind.br/upload/others/files/Manual\\_de\\_Injecao.pdf](http://www.innova.ind.br/upload/others/files/Manual_de_Injecao.pdf)>. Acesso em: 17 Maio de 2016.

(15) FERRO, V. P. **Estudo do efeito da radiação ionizante nas propriedades da poliamida 6,6 com e sem reforço de fibra de vidro.** 2003. 74f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Programa de Pós-Graduação em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear, Instituto de pesquisas energéticas e nucleares associada à universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

(16) ALBUQUERQUE, J.C. **O plástico na prática: Manual de aplicações dirigida a pessoal envolvido em manutenção, projetos, nacionalização e compras.** Editora Sagra, ISBN: 85-241-0260-8 – Porto Alegre, 1990.

## **PRODUÇÃO DE SUBSTRATOS E FERTILIZANTES ORGÂNICOS À PARTIR DE PODAS DE ÁRVORES PARA A PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E HORTALIÇAS**

Bastos, C.E. L.<sup>1</sup>

Silva, G. L.<sup>2</sup>

Furtado, Q. S.<sup>3</sup>

Silva, J. B.<sup>4</sup>

Silva, W. S.<sup>5</sup>

Coutinho, É.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Estudante de Eletrônica, Carlos E.L. Bastos, IFSul campus Pelotas\_ cadubastos71@gmail.com

<sup>2</sup> Estudante de Eletrônica, Gustavo L. Silva, IFSul campus Pelotas\_ gustavols7594@gmail.com

<sup>3</sup> Graduanda de Gestão Ambiental, Queila S. Furtado, IFSul\_ queilafurtado2010@hotmail.com

<sup>4</sup> Graduanda Formação de Professores, Juliana B. Silva, UFSM\_ julianabrit@gmail.com

<sup>5</sup> Co-orientador: Prof. Engº Eletrônico, Willian Silveira da Silva, IFSul\_ will.eletronica@gmail.com

<sup>6</sup> Orientador: Especialista em Química, Éder Coutinho, IFSul\_ ederc@pelotas.ifsul.edu.br

### **Resumo**

O conhecimento dos valores de N, P e K presentes nos resíduos orgânicos constitui a base de fertilização de cada cultura para alcançar a produtividade desejada. Entre tecnologias reciclagem, a compostagem é basicamente uma maneira de estabilizar um resíduo. Compostar resíduos orgânicos disponíveis localmente é uma alternativa para atender a crescente demanda por fertilizantes orgânicos e substratos. Resíduos de poda de árvores e vegetais da cantina e do refeitório dos estudantes são fontes de matéria-prima abundantes no campus Pelotas\_IFSul. Este estudo tem como objetivo desenvolver, aplicar e avaliar tecnologias de processos de compostagem à partir da mistura de poda de árvores, resíduos vegetais da cozinha escolar e serragem para verificar o desempenho do composto obtido na produção de hortaliças cultivadas em sistema orgânico. A segunda fase irá avaliar o desempenho de substratos utilizados na produção de rúcula, milho e *Physalis peruviana* L, comparado com um substrato comercial. O desempenho dos substratos como adubo para a produção de hortaliças também será avaliado, usando o DIANA, um dispositivo simulador de micro-clima. Os resultados analíticos do composto serão obtidos com parâmetros de umidade, densidade, pH, N, C, Ca, Mg, P, K, B, Fe, relação C/N (US EPA, 1976; APHA, 1992), Zn e cobre, bem como uma revisão bibliográfica detalhada na compostagem. Relatório de análise do solo se processará através de métodos de análise utilizados pela Embrapa Agrobiologia, departamento de solos da UFRRJ e laboratório de fertilidade de solo da UFPel. Interpretação será feita através de InfoStat de Software estatístico (Ver.2010)-R2.11.0.

**Palavras-chave:** Automação agrícola; Biota do solo; Compostagem; Germinação.

### **PRODUCTION OF SUBSTRATES AND ORGANIC FERTILIZERS FROM TREE PRUNNING AND THEIR USE IN THE PRODUCTION OF FOOD AND VEGETABLES.**

#### **Abstract**

Knowledge of the N, P and K values present in organic wastes forms the basis of fertilization of each crop to achieve the desired productivity. Composting, among

*recycling technologies, is basically a way of stabilizing a waste. The composting of locally available organic waste and by-products is an alternative to meet growing demand for organic fertilizers and substrates. Tree pruning and vegetable waste from canteen and students' canteens are abundant supply materials at the Pelotas IFSul campus. This study aims to develop, apply and evaluate technologies of composting processes of the pruning mixture of trees and vegetable residues of the school kitchen with sawdust and verify the performance of the compound obtained in the production of vegetables grown in organic system. The second stage will evaluate the performance of the substrates used in the production of arugula, maize and Physalis peruviana L, compared to a commercial substrate. The performance of substrates as a vegetable production will also be evaluated, o DIANA coordination, um microclimate simulation device. The analytical results of the compound will be obtained with parameters of humidity, density, pH, N, C, Ca, Mg, P, K, B, Fe, C/N ratio (US EPA, 1976; APHA, 1992), Zn and Copper, as well as a detailed bibliographic review on composting. Report of Soil Analysis will be carried out through methods of analysis used by Embrapa Agrobiology, Department of Soils of UFRRJ and Laboratory of Soil Fertility of UFPel. Interpretation will be made through Statistical Software InfoStat (Ver.2010)-R2.11.0.*

**Key words:** *Agricultural automation; Soil biota; Composting; Germination.*

## 1 INTRODUÇÃO

*Este trabalho é parte das estratégias didáticas adotadas para o ensino-aprendizado (E/A) do conceito de Compostagem, tecnologia de reciclagem que é basicamente uma forma de estabilização de um resíduo; é conteúdo do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental no IFSul campus Pelotas. Motivou o desenvolvimento desta estratégia o problema de demanda social atual por orientações de destinos de rejeitos e a realidade de que muitos produtores rurais enfrentam problemas relacionados a catástrofes naturais e variações indeterminadas do clima nos processos de produção de culturas. Com o ambiente externo sofrendo variações climáticas, contabilizam-se grandes perdas em todas as etapas do plantio, conseqüentemente aumentando o preço dos produtos. Com base nisto, desenvolveu-se o DIANA (Dispositivo de Análise de Estufas Agrícolas). Sistema atuador que garante um condição climática ideal capaz de proteger a produção de ataques externos e simular um microclima desejado dentro da área da estufa proporcionando ao usuário uma automação eletrônica capaz de demonstrar dados de luminosidade, umidade e temperatura altamente precisos e em tempo real. Com estas informações, o usuário analisa e define os dados desejados em função de que o dispositivo conta com central de monitoramento, no qual o usuário interage com a estufa. A interação pode ser realizada através de um smartphone com Android utilizando sistema Bluetooth. O atual protótipo em escala de bancada (Figura 01), está redimensionado para uso em escala piloto possuindo cerca de 1 m<sup>3</sup> de volume, no qual realizam-se etapas de germinação em ambiente controlado e um comparativo em ambiente sujeito as intempéries, com registros de dados para afirmação de valores comparados, e comprovação do funcionamento da estufa e a qualidade do substrato para germinações de cultivares, como também para elaborar um manual de instrução didático informando valores ideias para algumas culturas serem cultivadas no sistema DIANA, um sistema sustentável que possui baixo consumo de energia elétrica, compatibilidade com energia solar e irrigação de água na medida certa, evitando desperdício.*



**Figura 1.** DIANA\_escala de bancada

As Nações Unidas declararam o ano 2010 como o ano da biodiversidade com o objetivo de estimular ações à proteção do mundo. Com isto muitos países propuseram metas à preservação e conservação da biodiversidade com propostas de uso racional e sustentável de fontes de recursos naturais. O não cumprimento destas metas pode tornar-se um problema para a manutenção dos sistemas produtivos, uma vez que estes dependem da biodiversidade e das relações com os principais mercados consumidores. Fertilizantes orgânicos e substratos são muito utilizados em paisagismo e na produção agrícola. A expansão da agricultura orgânica também tem contribuído para a crescente demanda por insumos orgânicos devidamente certificados. A produção de hortaliças tem se destacado dentro da agricultura orgânica por sua elevada demanda por fertilizantes e substratos orgânicos em função do uso intensivo destes insumos.

A utilização do esterco equino, bovino, da cama de suínos e de aviário, que são adubos orgânicos tradicionalmente utilizados, tem sido dificultada devido ao elevado custo destes produtos e às crescentes restrições para sua utilização “in natura”. Por outro lado, é crescente a produção de resíduos e subprodutos de natureza orgânica procedentes do ambiente urbano e das atividades agropecuária e industrial, cuja destinação adequada é necessária para que não acarretem problemas ambientais. É necessário reciclar estas matérias visando manter a sustentabilidade de nosso modelo de produção e de consumo de alimentos e matérias-primas originárias da agropecuária. A legislação brasileira que dispõe sobre os resíduos orgânicos deixa claro que há a necessidade de reciclar e reaproveitar esses resíduos, dando-os um destino adequado. No entanto, grande parte deste material precisa passar por um tratamento prévio, a fim de adequá-los para uso agrícola. Além disto, a agricultura orgânica restringe o uso de resíduos orgânicos oriundos de sistemas de produção não certificados. O processo de compostagem é uma alternativa de adequação de resíduos e subprodutos de natureza orgânica para o uso agrícola, pois é uma técnica que visa acelerar e direcionar a decomposição de materiais orgânicos que ocorre espontaneamente na natureza com procedimentos que reproduzem as condições ideais para aumentar a

*eficiência do compost e produzir materiais orgânicos humificados, ricos em nutrientes e isentos de contaminação química e biológica. É um processo que requer a mistura de materiais pobres em nitrogênio (N), como palhada de capins e bagaço de cana, com materiais ricos em N, como esterco e tortas. A matéria verde de poda de árvores é uma matéria-prima que pode ser utilizada na compostagem, pois é muito rica em N e também é um material que triturado torna-se de fácil transporte, armazenamento e aplicação. A demanda por alimentos “limpos” tem crescido no Brasil, impulsionada pelo grande interesse de consumidores preocupados com a qualidade dos produtos consumidos, bem como, com as questões ambientais que envolvem todas as cadeias produtivas. Nesse contexto, a agricultura orgânica diretamente atrelada à necessidade de aumento de produção de alimentos orgânicos, está à busca pela produção de adubos orgânicos que possuam como características principais as quantidades ideais de nutrientes para serem fornecidos às plantas, pouca demanda de mão de obra, baixo custo de produção e que não ofereçam riscos ao produtor, ao consumidor e ao meio ambiente. Dentre os mais variados adubos orgânicos conhecidos, o composto orgânico tem sido recomendado como uma boa alternativa para essa demanda. Dada a simplicidade de compostar, essa tem sido uma técnica promissora para produção de adubo orgânico e vem alcançando uma maior escala de produção dos produtores orgânicos brasileiros.*

*Os microrganismos são os responsáveis pelo desenvolvimento do processo de compostagem, pois transformam a matéria orgânica dentro dos seus próprios organismos, em processo metabólico, naquilo que constitui húmus puro. A compostagem é uma sequência de ações de microrganismos sobre a matéria orgânica, que compreende uma primeira etapa de ação exclusiva dos microrganismos (fungos, bactérias e actinomicetos) e a segunda etapa, que inclui também macrorganismos (insetos e outros organismos vivos). Estes organismos fazem a deposição em fases distintas, para obter a bioestabilização do composto (material grosseiro) e a humificação do composto (material na forma de húmus). Para otimizar o processo de compostagem é recomendável inoculação com microrganismos favoráveis bastando tirar uma porção de solo orgânico. Esta porção será polvilhada por cima das camadas durante a confecção da pilha. Depois de feitas as primeiras pilhas, as próximas, receberão ao invés da terra uma porção de composto (inoculante). A distribuição de rejeitos orgânicos com tanques mecanizados representa um investimento de alto custo com limitações de áreas disponíveis, tanto em quantidade como em topografia e eventual risco de compactação do solo. Os sólidos manejados em pilhas estáticas de compostagem exigem equipamento próprio para sua aplicação ao solo.*

*A injeção dos produtos pode ser efetuada utilizando diferentes técnicas e equipamentos (Costa & Brito, 1994), mas, independentemente do método adotado, a qualidade dos resultados obtidos na quimificação depende do cálculo correto de variáveis como a taxa de injeção, quantidade do produto a ser incorporado, volume da tancagem, doses a serem aplicadas à área irrigável, e concentração do produto na água de irrigação, entre outros (Embrapa CNPMS, 1998).*

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 – Metodologia da pesquisa**



O processo de compostagem tem em sua primeira fase a montagem de uma pilha (1m<sup>3</sup>) caracterizada como 1º lote: estrutura de camadas intercaladas de matéria prima de resíduos vegetais alimentares não processados, poda de árvores, serragem e fezes equinas e bovinas como inoculante. O método de aeração do material é por operação manual periódica nas alturas de 10 e 20 cm, linear e planar, com uso de um garfo. De onde coletou-se material para realizar testes de escolha do melhor substrato (Fig. 02). Esse método permite que controle-se a umidade e a temperatura do composto, impedindo a decomposição anaeróbica e proporcionando uma melhor uniformidade do material. O fim da primeira fase, em um período de três meses, dá destino à primeira etapa de ensaios para cultivos de alimentos e vegetais.

A equipe de trabalho formada por alunos bolsistas, e voluntários recebe formação através de instrução on-line, aulas práticas e de momentos formais de estudo de conteúdos das referências bibliográficas do projeto, em um formato de curso que está organizado em 4 (quatro) módulos; no final de cada módulo, os alunos apresentam resultados dos trabalhos práticos e um rascunho de um projeto de aplicação ou otimização de suas vivências na prática de compostagem que será o trabalho final de forma a contribuir para resolver um problema local associado com resíduos sólidos, tendo em todo o período do projeto a Coordenação disponível em diferentes dias e horários para acompanhar a produção e uso dos materiais físicos fornecidos (documentos, bibliografia e vídeos inerentes) sendo as regências de classe presenciais no câmpus Pelotas e as virtuais através da plataforma TIC: [tic.ifsul.edu.br/pelotas/](http://tic.ifsul.edu.br/pelotas/) | Formação Inicial e Continuada (FIC) | .Produção de substratos e fertilizantes orgânicos | Acessar como visitante.

## 2.2 – Métodos analíticos utilizados na pesquisa

Em amostras do composto se escolheu-se realizar análises de: umidade, densidade, pH, teores de N, C, Ca, Mg, P, K, B, Fe, relação C/N (USEPA, 1976; APHA, 1992), Zn e cobre. Laudo de Análises de Solo por métodos do CNPAB, Depto de Solos\_UFRRJ e Laboratórios de Fertilidade do Solo e de Bromatologia\_Zootecnica da UFPel.

## 2.2 – Análises estatísticas



**Figura 2** – Substratos em uso de germinação

Escolheu-se realizar a análise estatística por um Arranjo Fatorial DCA. Os fatores considerados serão de um período com dos níveis (C1 y C2) e composto com cinco níveis. O modelo aplicado será

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Onde:  $\mu$ ,  $\alpha_i$ ,  $\beta_j$  y  $(\alpha\beta)_{ij}$ , representarão a média populacional, o efeito de cada fator, e o efeito interação entre os dois fatores, todos os quais serão constantes desconhecidas e  $\varepsilon_{ijk}$  será uma variável aleatória tal que  $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$ , representará o erro experimental. Em todos os casos se

analisarão os supostos de normalidade e a hipótese de não interação através do teste de Tukey de não Aditividade, com aplicação de análise Posteriori Test de Tukey ( $\alpha = 5\%$ ) (Snedecor and Cochran, 1978; Mosteller and Tukey, 1982, Montgomery, 1991).

### 3 RESULTADOS PRELIMINARES

Como este trabalho está na etapa final de seu primeiro ensaio de germinação, existem resultados preliminares entre os quais o primeiro é a forma de preparo do substrato local (SL = Substrato Composto Local): através de trabalho manual escolhem-se ao azar porções de uma das pilhas de seis meses, para então peneirar por processo manual de tela de areia. Todas as pequenas porções de composto que foram resistentes ao peneiramento nesta etapa denominou-se de rechaço e foram entregues aos jardineiros do IFSul para aplicar em canteiros de flores (Figura 3); o peneirado foi utilizado nas combinações de substrato para germinação, de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1.** Desenho de tratamentos em vasos condutos.

$T_j \rightarrow T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$	$T_1 \rightarrow SL$ $T_2 \rightarrow SL + SL_{Sm}, (5:2)$ $T_3 \rightarrow SL + SE + Sm, (2:2:2)$	$T_4 \rightarrow SE$ $T_5 \rightarrow SE + SE_{Sm}, (5:2)$ $T_6 \rightarrow SL + SE + Sm, (2:2:2)$
<p>S = Substrato   T = Tratamentos   <math>T_j</math> = Tijolo moído (solo construído)  <math>Sm</math> = Serragem de madeira _ marcenaria  SL = Substrato Composto Local  SE = Substrato Composto Externo  <math>SL_{Sm}</math> = Substrato Local + Serragem de madeira _ marcenaria  <math>SE_{Sm}</math> = Substrato Externo + Serragem de madeira _ marcenaria</p>		

### 4 CONCLUSÃO

As observações e os dados registrados dos ensaios de germinação evidenciaram que as produções no substrato  $T_3$  tem melhor desenvolvimento, definindo-se que este substrato será o produto do projeto, entretanto, além dos tratamentos mencionados anteriormente, realizam-se também ensaios de germinação em tijolo moído puro e cinza do processo industrial de produção de cimento (Figura 4), que evidenciam uma germinação de menor tamanho de hastes e folhas, levando-nos planejar novos experimentos visto que abre a possibilidade de investigar cultivo em solos construídos com estes resíduos da construção civil.



**Figura 3.** 1ª entrega de fertilizante orgânico.



**Figura 4** – Cinza pozolânica e Tijolo moído

### **Agradecimentos**

*Agradecemos no campus Pelotas às Áreas de Química, Eletrônica e Tecnologias Ambientais; Manutenção da Estrutura, Edições Gráficas e Grupo Diretivo de Gestão; às Pró-Reitorias de Pesquisa e de Extensão; na UFPel aos Laboratórios de Fertilidade do Solo e de Bromatologia; à WF Equipamentos Laboratoriais; ao Recinto de Leilões Casarão Remates; na UNRC\_Argentina à Drª Claudia Rodriguez e na UFRRJ ao Dr Carlos Andrés Tudela, orientadores do Projeto Desenvolvimento Tecnológico em fertirrigação à partir de compostagem de resíduos orgânicos para cultivo de milho (Zéa Mays L), que é a gênese deste projeto em realização.*

### **REFERÊNCIAS**

- 1 AQUINO, A. M.; CORRÊA, M.E.F. Amostragem da Mesofauna Edáfica utilizando Funis de Berlese-Tüllgren Modificado. Circular Técnica Nº 17, Embrapa, Seropédica, RJ 2006.
- 2 BIGNELL, James W. e DONOVAN, Robert L. Eletrônica Digital – Lógica Combinacional. São Paulo: Ed. Makron Books, Vol. 1, 1995.
- 3 CAPORAL, F. R; COSTABEBER, J. A. Agroecologia: alguns conceitos e princípios, MDA/SAF/DATER-IICA, Brasília/DF, 24 p., 2004..
- 4 JAMSA, Kris Ph.D., KLANDER, Lars. Programando em C/C++. A Bíblia .O melhor guia para programação em C/C++. São Paulo: Makron Books.1999.
- 5 OLTRAMARI, A. C.; ZOLDAN, P.; ALTMANN, R. Agricultura orgânica em Santa Catarina, Instituto Cepa/SC, Florianópolis/SC, 55 p., 2002.
- 6 PIMENTA, S. G.; LIMA, M. S. L. Estágio e Docência. 5. Ed. São Paulo: Cortez, 2010.
- 7 PRIMAVESI, A. Revisão do Conceito de agricultura orgânica: Conservação do Solo e seu efeito sobre a Água. Biológico, São Paulo, v.65, n.1/2, p.69-73, 2003.
- 8 SAMINÊZ, T. C. O.; DIAS, R. P.; NOBRE, F. G. A.; MATTAR, R. G. H.; GONÇALVES, J. R. A. Princípios Norteadores da Produção Orgânica de Hortaliças, Brasília/DF, Embrapa Hortaliças, Circular Técnica Nº 67, 8 p., 2008.
- 9 SANCHEZ, S.; RODRIGUEZ, C. Effect of Eisenia foetida húmus on the biological properties of a Typic Hapludoll soil. Megadrilogica. Canadá. (pp. 49-54) 1999.
- 10 TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. A.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, UFRGS, 174p.(Bol.Téc.,nº 5). 1995.
- 11 <http://diariodamanhapelotas.com.br/site/estudantes-do-ifsul-criam-dispositivo-para-monitoramento-e-controle-climatico-em-estufas/>

# INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE INJEÇÃO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE PEÇAS MOLDADAS EM POLIPROPILENO

Linck, C.<sup>1</sup>,  
Zucolotto, I.<sup>2</sup>,  
Pereira, E.R.<sup>3</sup>,  
Abich, D.<sup>4</sup>,  
Oliveira, J.A.P.<sup>5</sup>,  
Santana, R.<sup>6</sup>.

- <sup>1</sup> Mestre em Engenharia de Materiais, Cristiano Linck, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Sapiranga, cristianolinck@ifsul.edu.br.
- <sup>2</sup> Engº de Produção (Enfâse em Mecânica), Igor Zucolotto Gonzaga, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), igor\_zucoloto@hotmail.com
- <sup>3</sup> Mestre em Engenharia de Materiais, Eveline Raquel Pereira, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Sapucaia do Sul, eveline.pereira@sapucaia.ifsul.edu.br
- <sup>4</sup> Mestre em Engenharia de Materiais, Diego Abich Rodrigues, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Sapiranga, diegoabich@ifsul.edu.br.
- <sup>5</sup> Doutor em Engenharia Química, João Antônio Pinto de Oliveira, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Sapucaia do Sul, japo@sapucaia.ifsul.edu.br
- <sup>6</sup> Pós-Doutora em Engenharia de Materiais, Ruth Marlene Campomanes Santana, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ruth.santana@ufrgs.br.

## Resumo

A injeção de termoplásticos é um processo bastante abrangente e visa a produção seriada de peças. A variabilidade das dimensões e geometria de peças moldadas é inerente a qualquer tipo de processo e segmento da indústria, porém devido a aplicação, a variabilidade poderá comprometer o correto funcionamento destas peças. Se há uma faixa permitida de variabilidade como ela pode ser controlada? Este questionamento levou ao desenvolvimento deste trabalho que visa unir o GD&T (Geometrical Dimensioning and Tolerancing) com os parâmetros de processo, criando uma relação entre eles. Diversos estudos associam o erro de planeza (empenamento) com resfriamento de molde, porém industrialmente falando isso nem sempre se tornará viável. Resultados envolvendo a velocidade de injeção comprovam que para garantir melhor planeza e circularidade em peças injetadas em polipropileno deve-se usar velocidades altas de injeção, estas maiores velocidades garantem ainda menor peso sem influenciar significativamente no Índice de fluidez do fundido das peças injetadas.

**Palavras-chave:** Injeção, Tolerâncias, Processo, Polipropileno, Propriedades.

## INFLUENCE OF INJECTION SPEED RATE IN PHYSICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE

### Abstract

Injection of thermoplastics is a very comprehensive process and aims to mass production parts. Variability is inherent in any process and in any segment of the industry, but due to the application, the variability may compromise the correct

operation of these parts. If we have a permitted range of variability how can we control it? This question led to the development of this study aimed to join the GD & T (Geometrical Dimensioning and Tolerancing) with the process parameters, creating a link between them. Several studies associate the flatness error (warpage) with mold cooling, but industrially speaking it does not always become feasible. Preliminary results involving the injection rate show that to ensure better flatness and circularity in injected polypropylene parts should use high injection speeds, these speeds even guarantee lower weight as well as the increase in melt flow rate of the injected parts.

**Keywords:** Injection, tolerances, process, Polypropylene, Properties.

## INTRODUÇÃO

O processo de injeção consiste na moldagem de peças ou artefatos plásticos a partir da plastificação de uma matéria-prima, O material entra por um funil de alimentação e por ação da gravidade é transportado para uma rosca sem fim dentro de um canhão aquecido por resistências elétricas que plastificam o material previamente sólido, após isto o material é injetado dentro de um molde onde passará por um resfriamento e tomará a forma do produto final. <sup>(1)</sup>

A variabilidade dimensional e geométrica é inerente ao processo e vários fatores podem influenciar nesta variabilidade. Podem-se citar máquinas, materiais, ferramentas, método, mão de obra, meio ambiente e medição. Para garantir a conformidade e melhorar os índices de qualidade e aceitação de produtos podemos usar o GD&T, sigla em inglês para Dimensionamento Geométrico e “Toleranciamento”, que é uma linguagem de desenho que utiliza símbolos geométricos para expressar os requisitos funcionais do produto em termos de projeto de peças, ou seja, o chamado desenho geométrico é um claro desdobramento dos requisitos de aplicação do produto a partir do projeto. <sup>(2)</sup>

Segundo a ISO 1101:2012 e a ASME Y14.5:2009 existem várias tolerâncias dimensionais e geométricas, a Figura 1 traz a nomenclatura e simbologia adaptada da ASME Y14.5:2009. <sup>(3)</sup>

Aplicação	Tipo de Tolerância	Nome	Símbolo
Elementos Isolados	Forma	Retitude	—
		Planeza	
		Circularidade	
		Cilindricidade	
Elementos Isolados ou Associados	Perfil	Perfil de uma linha	
		Perfil de uma superfície	
Elementos Associados	Orientação	Inclinação	
		Perpendicularidade	
		Paralelismo	
	Posição	Posição**	
		Concentricidade	
		Simetria	
	Batimento	Batimento Circular	
		Batimento Total	

\* Setas podem ser preenchidas ou não \*\* Pode ser associado ou isolado

Figura 1. Tolerâncias Geométricas. FONTE: Adaptado de (3)

Há muitos estudos associando o erro de planeza, conhecido também como empenamento ao resfriamento deficiente do molde ou então a uma taxa não uniforme de resfriamento. Outro fator de influência no empenamento de peças injetadas se refere ao polímero utilizado. Cada tipo de polímero tem suas características morfológicas, na qual dependendo de seus arranjos estruturais e condições de processamento, podem influenciar nas propriedades mecânicas, térmicas e químicas do polímero. (1), (4), (5)

Algumas das características mecânicas e térmicas dos polímeros são em função da habilidade dos segmentos da cadeia em sofrer rotação em resposta a tensões aplicadas ou a vibrações térmicas. Outros aspectos que influenciam na estrutura química dos polímeros, são as temperaturas de transição que vão determinar a cristalinidade dos polímeros e suas estruturas, ocorrendo as mudanças de fases, podendo ter polímeros com regiões amorfas e cristalinas ou somente amorfas. (1), (4)

Com base nesses fatores de influência podemos afirmar que o empenamento, ou erro de planeza, das peças termoplásticas pode ser causado por dois mecanismos: podendo ser a contração do polímero durante o resfriamento e a tendência da relaxação das moléculas de elevado peso molecular sob tensões residuais. Todos os polímeros têm baixos coeficientes de transferência de calor, fato que aumenta o encolhimento volumétrico da peça injetada. Nos polímeros semicristalinos, tais como polipropileno existe uma preocupação adicional, por coexistir duas fases que no resfriamento irá desenvolver tensões internas, devido a contração diferencial entre as regiões cristalinas e amorfas do polímero. <sup>(6)</sup>

Quanto a circularidade, os estudos que envolvem este tema estão ligados a usinagem de polímeros como o estudo de Krishnaraj et al, nele foram variados os parâmetros de furação de forma a determinar as condições ótimas de usinagem, sendo o diâmetro e circularidade do furo as características avaliadas. Os autores mostram que na medida em que se diminui o avanço obtém-se furos mais próximos do diâmetro nominal. Isto pode ser atribuído, não só aos parâmetros mais leves, mas também ao maior calor gerado na deformação e pelo atrito. <sup>(7), (8)</sup>

Em vista do exposto, o objetivo do trabalho é determinar a melhor velocidade de injeção, para a temperatura proposta, para garantir melhores propriedades físicas para peças moldadas em polipropileno.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a análise da influência da velocidade de injeção na propriedades físicas em peças injetadas foi selecionada uma peça com base nas características geométricas passíveis de medição, foram escolhidas características conhecidas como tolerâncias de forma: em especial a planeza e a circularidade.

O material utilizado para injeção foi o H103 da Braskem com Índice de Fluidez de 40 g /10 min, conforme ASTM D1238. Foram injetadas 3 grupos de amostras com velocidades de injeção diferentes na injetora ROMI Primax 150 do Instituto Federal Sul-rio-grandense campus Sapucaia do Sul (IFSUL). Cada grupo de amostra é composto de 60 peças e as velocidades de injeção foram respectivamente 20 mm/s, 52 mm/s e 100 mm/s respectivamente.

Alguns parâmetros se mantiveram constantes como a dosagem em 80 mm e o tempo de resfriamento em 10 segundos, a temperatura no molde variou de 25,2°C a 26,8°C. A temperatura do canhão foi programada conforme indicação do fornecedor do material sendo da zona 5 para o bico as seguintes temperaturas: 190°C, 200°C, 200°C, 190° C e 180°C.

As medições foram realizadas na Máquina de Medir por Coordenadas Mitutoyo Beyond 710 CNC com o software GEOPAK Win no Instituto SENAI de Inovação – Soluções Integradas em Metalmecânica (ISI SIM). Para o correto posicionamento da peça e garantia de repetibilidade de medições foi desenvolvido um método de fixação da peça.

As medições de massa das amostras foram realizadas na balança Sartorius BP 110 S do Instituto Federal Sul-rio-grandense campus Sapucaia do Sul (IFSUL) e o Teste do Índice de Fluidez do Fundido (MFI) foi realizado conforme a norma ASTM D1238, no plastômetro Instron CEAST Division, Modular Melt Flow modelo 7026.000 com carga de 2,160 Kg a 230°C e balança analítica eletrônica Marte modelo YA 220, no Laboratório de Polímeros (LaPol) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

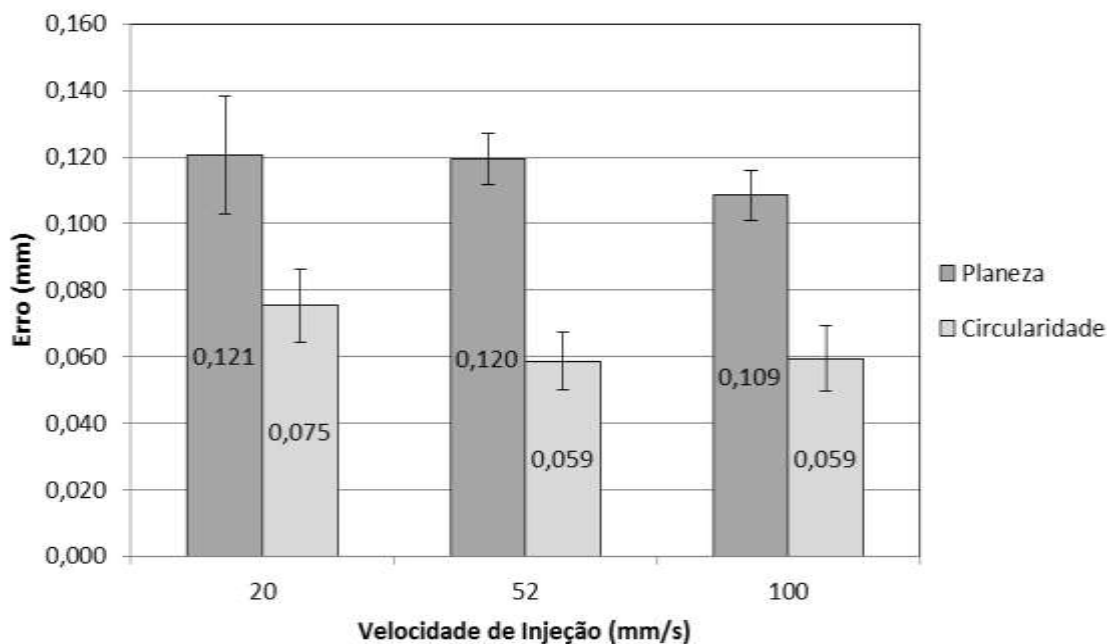
## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### Análise Dimensional das peças de PP moldadas por injeção

A análise dimensional realizada no software GEOPAK Win, foi realizada através da medição de um plano com 10 pontos distribuídos sobre toda a superfície da peça e de um círculo com 8 pontos distribuídos uniformemente. O número de pontos geralmente depende da tolerância em questão e do tamanho da peça. Este número foi selecionado de acordo com a previsão de critério de aceitação de peças com tolerâncias decimais.

Os resultados relativos à média de 60 medições realizadas para cada velocidade de injeção para planeza e para circularidade podem ser observados na Figura 3.





**Figura 3 – Comparação do erro de planeza e circularidade das amostras de PP moldadas em função da velocidade de injeção. Fonte própria.**

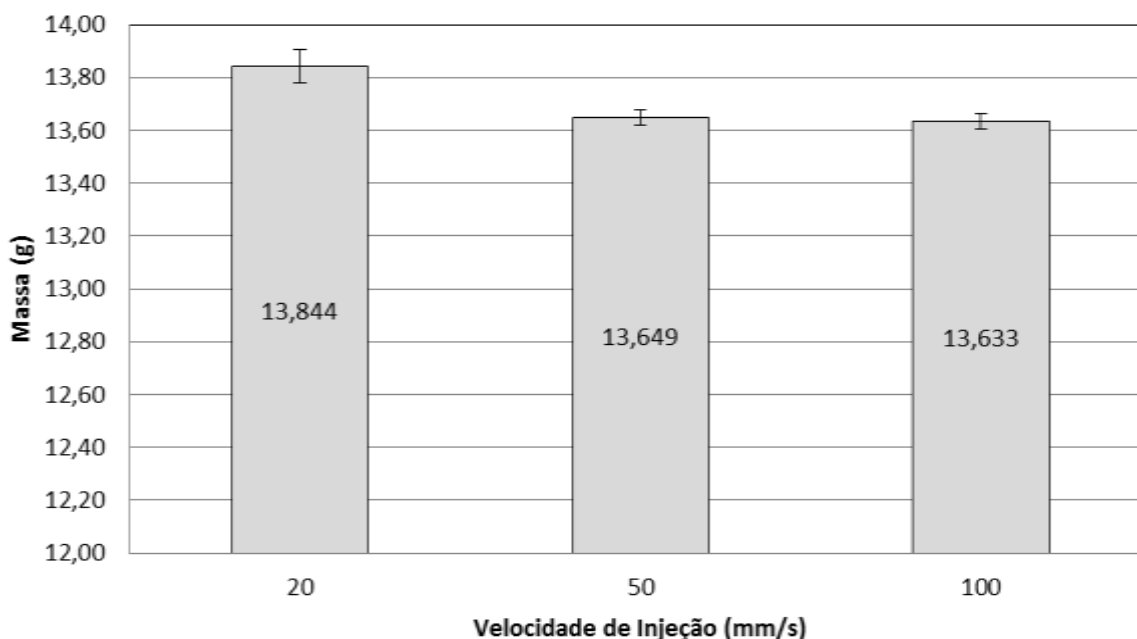
Com este resultado podemos perceber que quanto maior a velocidade de injeção melhor a conformidade geométrica. Isto se deve ao fato de ocorrer um menor tempo de troca térmica entre o molde e o material o que gera menores contrações e empenamentos, pois os gradientes de temperatura da cavidade do molde, além de provocarem o empenamento e formarem tensões internas, diminuem consideravelmente o desempenho da peça. Assim, ocorrem diferenças de solidificação ao longo da espessura da peça, onde a superfície do polímero injetado em contato com as áreas adjacentes do molde solidifica antes do que o centro da massa fundida que, por sua vez, continua a contrair-se gerando tensões de compressão nas camadas externas e provocando o empenamento da peça.<sup>(1) (9)</sup>

Desta forma, podemos perceber que na velocidade de 100 mm/s tanto os erros de planeza e de circularidade atingiram valores mais baixos, sendo assim, dependendo da aplicação da peça, esta é a melhor condição de injeção, tendo em vista também que promove maior produtividade, em função de um menor tempo de ciclo, sem comprometer a funcionalidade da mesma.

### Análise de massa das peças de PP moldadas por injeção

A avaliação da massa das peças é importante, pois impacta na quantidade de matéria-prima utilizada para produção das peças e isso, industrialmente falando, traz redução de custos produtivos e descarte desta matéria. <sup>(1)</sup> <sup>(4)</sup>

A Figura 4 mostra a relação obtida entre a velocidade de Injeção e a massa das peças de PP injetadas.



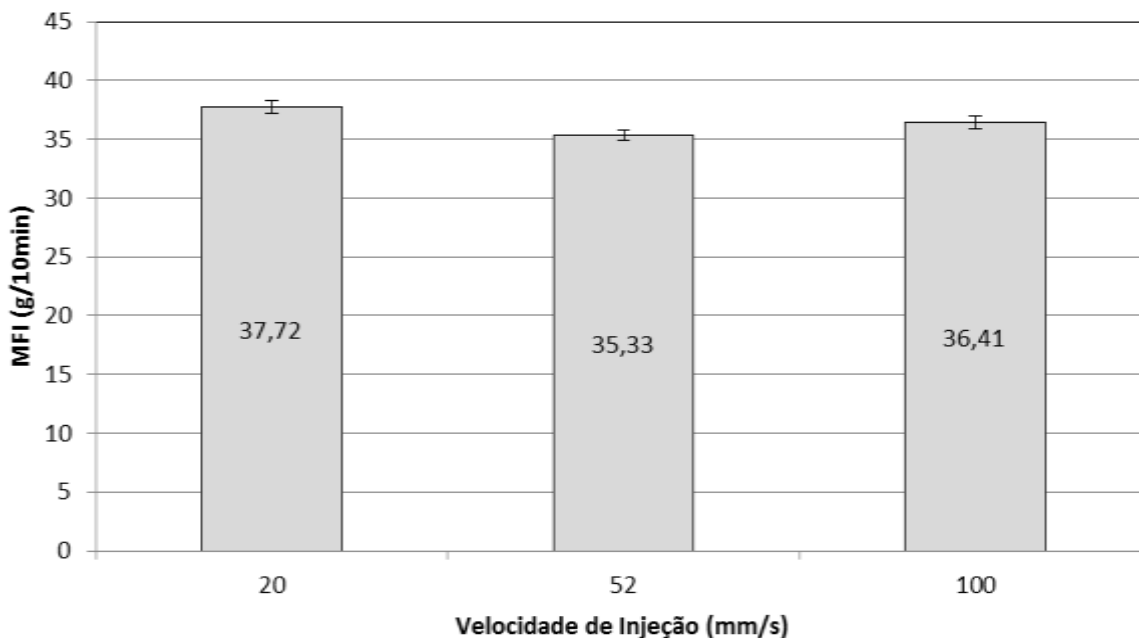
**Figura 4 – Massa média das amostras de PP moldadas em função da velocidade de injeção. Fonte própria.**

A análise de massa comprovou que, para esta faixa de temperatura, quanto maior a velocidade de injeção menor o peso das peças. Isso ocorre pelo fenômeno de compactação do material, que se evidencia devido ao tempo excessivo em que o molde é preenchido nos casos velocidade de preenchimento baixa, gerando o empacotamento do material até que o ponto de injeção se solidifique. <sup>(10)</sup> <sup>(11)</sup>

### Índice de Fluidez das peças de PP moldadas por injeção

Os resultados comprovaram que a velocidade de injeção não possui influência significativa no índice de fluidez do fundido, foi possível perceber uma leve redução de uma velocidade para outra, seguida de um pequeno acréscimo para a

velocidade mais elevada. A Figura 5 mostra os valores médios do IF das amostras avaliadas.



**Figura 5 – Índice de Fluidez. Fonte: Própria**

Sendo o Índice de fluidez a medida da massa do polímero em gramas, capaz de fluir através de um capilar de geometria conhecida, durante determinado tempo sob uma determinada temperatura fica fácil associar um maior índice de fluidez a uma melhor processabilidade do material em questão.<sup>(9)</sup>

Percebe-se uma variação baixa do índice de fluidez em relação à velocidade de injeção utilizada no processamento para a temperatura de processamento média de 190°C.

## CONCLUSÕES

Acredita-se que os defeitos ligados aos erros de forma têm uma associação muito grande com a forma do molde, porém os parâmetros de injeção têm influência significativa neste processo, uma vez que eles alteram propriedades como fluidez do material, atrito e, conseqüentemente, temperaturas envolvidas na transformação do material. Percebeu-se que um aumento da velocidade de injeção promove aumento considerável da conformidade geométrica de planeza e de circularidade. Portanto,

em peças com este tipo de geometria, deve-se buscar realizar a injeção da maneira mais rápida possível, ou então promover um perfil composto de injeção com momentos de injeção mais rápido e mais lento, para que se cumpra o desejado nos projetos em relação as tolerâncias de forma de planeza e circularidade. Ressalta-se também que a injeção mais rápida promove uma diminuição da massa da peça que impacta sobre o custo dela, uma vez que menos material polimérico será consumido. Já o índice de fluidez não teve variação significativa, uma vez que a diferença de velocidades não proporcione um acréscimo de temperatura que facilite a processabilidade do material. Então, de modo geral, percebe-se que a velocidade de injeção mais elevada proporciona peças com melhor qualidade dimensional e com melhores propriedades mecânicas.

Este trabalho pode auxiliar no desenvolvimento de processos industriais com maior eficiência e atendimento as necessidades dos clientes com alterações de parâmetros mais fáceis de serem modificados.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Laboratório de Materiais Poliméricos-LAPOL da UFRGS, ao IFSul, ao ISI SIM e ao SIBRATEC pela infraestrutura para realização de este trabalho.

## **REFERÊNCIAS**

- (1) MANRICH, S. ***Processamento de Termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes***. São Paulo. Artliber Editora, 2005.
- (2) NETO, G. S. ***GD&T: Por que?***  
Disponível em: [http://www.setecnet.com.br/qualidade/includes/GD&T\\_Porque.pdf](http://www.setecnet.com.br/qualidade/includes/GD&T_Porque.pdf). Acesso em Abril de 2014.
- (3) ASME Y 14.5. The American Society of Mechanical Engineers, ***Dimensioning and Tolerancing***, 2009.
- (4) CANEVAROLO, S. V. J. ***Ciências dos Polímeros***. São Paulo: Artliber, 2005.
- (5) MANO, E. B.; MENDES, L. C. ***Introdução a Polímeros***. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1999.

- (6) WILKINSON, R.; POPPE, E.A.; LEIDIG, K.; SCHIRMER, K. **Engineering Polymers: the 'top ten' injection moulding problems**. 2014. Disponível em: [http://www2.dupont.com/Plastics/en\\_US/assets/downloads/top\\_tens/topten07.pdf](http://www2.dupont.com/Plastics/en_US/assets/downloads/top_tens/topten07.pdf). Acesso: Abril de 2016.
- (7) HARADA, Julio. **Moldes para injeção de termoplásticos: Projetos e princípios básicos**. São Paulo: ArtLiber, 2004.
- (8) GUTIERREZ, J. C. H; RUBIO, J. C. C; FARIA, P. E. DE; DAVIM, J. P. **Usinabilidade de materiais compósitos poliméricos para aplicações automotivas**. *Polímeros* [online]. 2014, vol.24, n.6, pp. 711-719. ISSN 0104-1428.
- (9) Tiggeman, H. M. **Desenvolvimento de nanocompósito a partir de um elastômero plástico**. 2012. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Química. Porto Alegre, 2012.
- (10) BRETAS, R. E. S; ÁVILA, M. A. D, **Reologia de Polímeros Fundidos**. 2ª Edição. EDUFSCar, São Carlos, 2010.
- (11) LINCK, C; ZUCOLOTTO, I; OLIVEIRA, J. A. P; SANTANA, R. M. C. **Análise da influência da velocidade de injeção no controle geométrico de forma de peças injetadas em Polipropileno (PP)**. 4º Seminário de Inovação e Tecnologia do IFSul (INOVTEC), 10 a 12 de Novembro, 2015. Anais Pg 205 a 216. ISBN: 2446-7618, 2015.

## INFLUÊNCIA DO USO DE CARBONATO DE CÁLCIO NA SINTERIZAÇÃO DA SÍLICA VERDE

Da Rocha, Luana<sup>1</sup>  
Paschoal, Andrey F.<sup>2</sup>  
Martins, Vinícius<sup>3</sup>  
Fagundes, Enio C. M.<sup>4</sup>  
Darsie, Francis R. F.<sup>5</sup>  
Calcagno, Carmen I. W.<sup>6</sup>

1. Luana da Rocha, Instituto Federal Sul-rio-grandense, luanadarocha@hotmail.com
2. Andrey Faés Paschoal, Instituto Federal Sul-rio-grandense, andreyfpaschoal@hotmail.com
3. Dr., Vinícius Martins, Instituto Federal Sul-rio-grandense, viniciusmartins@sapucaia.ifsul.edu.br
4. Dr., Enio Cezar M. Fagundes, Instituto Federal Sul-rio-grandense, eniofagundes@sapucaia.ifsul.edu.br
5. MSc., Francis R. F. Darsie, Instituto Federal Sul-rio-grandense/CNPq, francis.darsie@hotmail.com
6. Dra., Carmen Iara Walter Calcagno, Instituto Federal Sul-rio-grandense, carmencalcagno@sapucaia.ifsul.edu.br

### Resumo

A cinza da casca de arroz é constituída, principalmente, por sílica e carbono e a presença deste último traz dificuldades para a sinterização do material mesmo em altas temperaturas. Este material, também denominado de sílica verde, é considerado uma alternativa renovável para a fabricação de produtos cerâmicos, por exemplo, propantes. Propantes são materiais particulados que atuam como agentes de sustentação na extração de petróleo. Neste trabalho foi avaliada a influência do uso de carbonato de cálcio na obtenção de particulados de sílica verde por sinterização. Para tanto, composições contendo sílica e carbonato de cálcio foram compactadas, sinterizadas, moídas e classificadas em diferentes frações granulométricas. O uso do carbonato de cálcio possibilitou uma redução de 200°C na temperatura de sinterização da sílica verde. As características de resistência ao esmagamento e os aspectos morfológicos para o atendimento às aplicações de propantes foram avaliados.

**Palavras-chave:** cinza da casca de arroz, sílica verde, sinterização, carbonato de cálcio.

### INFLUENCE OF THE USE OF CALCIUM CARBONATE IN THE SINTERING OF GREEN SILICA

#### Abstract

Rice husk ash basically consists of silica and carbon and the presence of carbon make difficult the sintering of material including in high temperatures. This material is also called green silica and it is considered a renewable alternative to manufacturing of ceramics products, e.g., proppants. Proppants are particulate materials that act as support agents in the oil extraction. In this work it was evaluated influence of the use of calcium carbonate in the attainment of green silica particulates by sintering. For that, silica and calcium carbonate compositions were compacted, sinterized, milled and classified in different grain size fractions. The use of calcium carbonate enabled a

reduction of 200°C in the sintering temperature of green silica. The crush resistance characteristics and the morphological aspects for the suitability of applications of proppants were evaluated.

**Key words:** rice husk ash, green silica, sintering, calcium carbonate.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do IBGE de agosto de 2017, a safra de arroz no Brasil é de 12,3 milhões de toneladas e o Estado do Rio Grande do Sul produz cerca de 70% da produção nacional <sup>(1)</sup>, sendo o maior produtor de arroz do país. A casca do arroz (CA) representa em torno de 23% desta produção e é aproveitada frequentemente como fonte de energia devido ao alto poder calorífico. A queima da CA gera outro resíduo, descartado em solos ou aterros, a cinza da casca de arroz (CCA), que representa em torno de 20% do volume da casca <sup>(2)</sup>. Em sua composição, a CCA possui sílica (80 a 90%), carbono (10 a 20%) e concentrações muito baixas de outros óxidos (CaO, MgO, K<sub>2</sub>O,...), que variam com os fertilizantes utilizados em cada região. O teor de sílica verde (SV) depende do tipo de queima a que foi submetida a casca do arroz e, após tratamento, tem sua aplicação nas mais diversas áreas, como por exemplo, microeletrônica, cerâmica, construção civil, indústria do petróleo, entre outras.

Segundo Houston<sup>(3)</sup> e Pouey<sup>(2)</sup>, a cor da cinza da casca de arroz pode variar de branca até preta, passando por cinza e púrpura, dependendo das condições de queima e das impurezas contidas na casca. A casca do arroz, quando queimada sem controle de temperatura, tempo e atmosfera, gera uma cinza de cor preta, com um elevado teor de carbono que não é eliminado completamente na queima. O elevado teor de carbono presente na CCA, queimada sem controle de temperatura e tempo, prejudica a resistência mecânica da sílica verde posteriormente sinterizada para uso como propanes. A eliminação do carbono depende não só da temperatura, mas também do tempo de queima da CA.

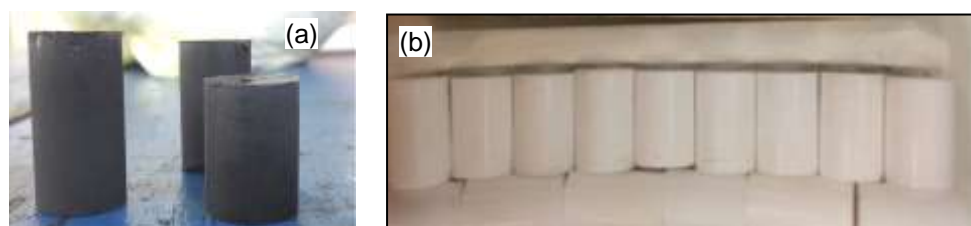
Neste trabalho foi estudada a influência do uso de CaCO<sub>3</sub> como material fundente na sinterização da cinza da casca de arroz e sílica comercial. O processo de sinterização é utilizado para remoção de poros por meio da ligação entre partículas adjacentes e contempla os mecanismos de transferência de calor e de difusão no estado sólido. A energia de ativação destes mecanismos é a temperatura, que deve estar abaixo do ponto de fusão do material base. Desta forma, a sinterização conduz à densificação do material e ao aumento da sua resistência. O uso de fundente melhora a cinética de sinterização pela formação de uma fase líquida viscosa e como resultado produz um abaixamento na temperatura de trabalho<sup>(4)</sup>.

A partir da CCA sinterizada, foram avaliados os aspectos morfológicos e a resistência ao esmagamento, de forma a adequar o material ao uso como propanete, de acordo com a norma API RP56<sup>(5)</sup>. Materiais que atuam como agentes de sustentação das fraturas geradas pelo fraturamento hidráulico, quando da perfuração de poços de petróleo, são chamados propanetes. Estes materiais devem atender às exigências das normas do setor de petróleo e gás no que diz respeito à resistência ao esmagamento e aos aspectos morfológicos, entre outras especificações. Os propanetes podem ser materiais cerâmicos, sílica, areia, etc, revestidos ou não por polímeros, e apresentam-se em diferentes faixas granulométricas, cada qual com um uso específico. Para este estudo, a faixa granulométrica de propanetes 20/40 foi escolhida, com tamanho de partículas de 0,420 mm a 0,840 mm.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para este trabalho foram utilizados dois tipos de sílica, a sílica verde SilRoz 325 da empresa Marina Tecnologia, proveniente da queima da casca de arroz (cinza preta), e a sílica comercial (SC) Zeosil® 185GR da Rhodia, produto comercial contendo 95-99% de pureza, além de carbonato de cálcio P.A. como agente fundente.

Utilizando uma prensa hidráulica, foram compactados corpos de prova cilíndricos para os dois tipos de sílica. A formulação de cada corpo de prova foi de 90% SiO<sub>2</sub> + (3% CaCO<sub>3</sub> + 7% H<sub>2</sub>O)<sup>(6)</sup>, misturados e homogeneizados antes de levar à compactação. A Figura 1 mostra os corpos de prova já compactados a uma pressão de 24,8 MPa para a cinza da casca de arroz (a) e para a sílica comercial (b) e prontos para serem levados para o forno de sinterização.



**Figura 1:** Corpos de prova compactados para o processo de sinterização: (a) sílica verde (SV) (b) sílica comercial (SC)

O tratamento térmico escolhido para ambas as sílicas ocorreu a uma taxa de aquecimento do forno de sinterização de 10°C/min, com isoterma de 30 min em 825°C e isoterma de 2 horas na temperatura de 1000°C, para a sinterização.

Depois de sinterizados, os corpos de prova foram moídos em pistilo e gral de porcelana. A classificação granulométrica foi realizada por peneiramento em um agitador com o conjunto de peneiras 16/20/25/30/35/40/50/fundo. As frações granulométricas de interesse para propantes 20/40 (0,420 mm a 0,840 mm) foram separadas para serem levadas para ensaio de esmagamento em prensa hidráulica, sob uma pressão de 27,6 MPa (4000 psi), de acordo com a norma<sup>(3)</sup>. De forma a calcular a massa necessária a ser colocada no molde de esmagamento, a densidade dos particulados foi calculada após a sinterização e moagem, segundo a equação 2.1 da norma de propantes:

$$m_p = 6,18 \cdot \rho_p \cdot D^2 \quad \text{Equação 2.1}$$

Sendo:

$m_p$  a massa de propante necessária, em g;

$D$ : o diâmetro do molde de esmagamento, em in;

$\rho_p$ : a densidade do particulado, em g/cm<sup>3</sup>

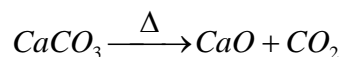
Após o ensaio, nova classificação granulométrica foi feita, desta vez com a intenção de avaliar o teor de finos gerados, e assim, avaliar a resistência do material ao esmagamento comparando com o teor de finos admitido na norma para materiais propantes.

As amostras foram avaliadas também em relação aos fatores morfológicos de esfericidade e arredondamento, por comparação com a carta de Krumbein e Sloss (KS), que faz parte do procedimento da norma.



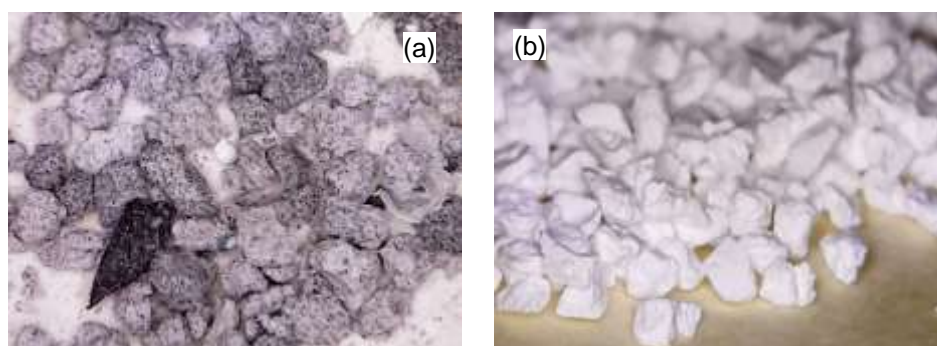
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudos anteriores deste grupo de pesquisa<sup>(7)</sup> demonstraram que para a sinterização da sílica verde seriam necessárias temperaturas muito altas, acima de 1200°C. Naquele estudo, os testes partiram dos valores de temperaturas do trabalho de Nayak (2009)<sup>(8)</sup>, que mostrou os efeitos da temperatura de sinterização na formação de fases e nas propriedades da sílica proveniente da cinza da casca de arroz por meio de três métodos diferentes. As temperaturas testadas no estudo de Paschoal *et al*<sup>(7)</sup>, podem ser consideradas muito altas e, neste trabalho, buscou-se testar uma condição de sinterização em temperaturas menores. Para isso, o carbonato de cálcio (calcário) foi utilizado como fundente, sendo um material de baixo custo e de grande disponibilidade. Ele é o precursor para a obtenção de óxido de cálcio a partir da decomposição térmica que deve ser anterior ao evento de sinterização propriamente dito. Para tanto, na curva de aquecimento foi incluído a primeira isoterma de 30 min em 825°C, temperatura da decomposição térmica do carbonato de cálcio. A reação de decomposição térmica do carbonato de cálcio é mostrada na equação a seguir:



A segunda isoterma em 1000°C, foi escolhida baseada no estudo de Nayak<sup>(8)</sup>, por ser esta a temperatura em que ocorre a estabilização da densificação da casca de arroz (sílica verde).

As características visuais dos dois tipos de amostras de sílica com uso de fundente testadas no processo de sinterização deste trabalho (Figura 2: Amostras sinterizadas com CaCO<sub>3</sub> após ensaio de esmagamento de: (a) Sílica verde e (b) Sílica comercial. apresentaram resultados semelhantes com as características do material sinterizado a 1200°C e sem fundente, confirmando a viabilidade da redução de 200°C na temperatura de sinterização. As amostras de sílica verde sinterizadas apresentaram uma mudança na coloração de preta para cinza clara. Esta mudança se deve à oxidação de parte do carbono remanescente da primeira queima da casca de arroz, sendo que ainda permanece um teor de carbono ligado quimicamente à sílica.



**Figura 2:** Amostras sinterizadas com CaCO<sub>3</sub> após ensaio de esmagamento de: (a) Sílica verde e (b) Sílica comercial.

Os resultados de densidade para as amostras de sílica comercial pura, mostraram que ocorreu densificação e redução na porosidade em ambas as amostras, com e sem carbonato de cálcio (Tabela 1). Neste caso, a redução de massa foi menor que a redução de volume. A densificação ocorrida na sinterização foi de 20% para sílica comercial sem carbonato e de 39% para a sílica comercial com carbonato de

cálcio. Ambos foram sinterizados à mesma temperatura, 1000°C, evidenciando que, para a mesma temperatura de sinterização, o uso de carbonato como fundente propiciou um melhor resultado em termos de densidade.

**Tabela 1:** Densidades de amostras de sílica comercial (SC) e sílica comercial (SC) + carbonato de cálcio, antes e depois da sinterização:

Amostras SC	Densidade a verde (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade sinterizado (g/cm <sup>3</sup> )	Amostras SC + CaCO <sub>3</sub>	Densidade a verde (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade sinterizado (g/cm <sup>3</sup> )
1	0,59	0,72	1	0,65	0,92
2	0,57	0,68	2	0,65	0,92
3	0,58	0,72	3	0,63	0,86
4	0,60	0,70	4	0,65	0,86
5	0,55	0,65	5	0,66	0,93
6	0,61	0,71	6	0,63	0,91
7	0,59	0,70	7	0,62	0,91
8	0,61	0,73	8	0,65	0,89
9	0,59	0,72	9	0,64	0,88
10	0,60	0,73	10	0,63	0,81
Média	0,59 ± 0,02	0,71 ± 0,02	Média	0,64 ± 0,01	0,89 ± 0,04

A Tabela 2 apresenta os valores das densidades antes (a verde) e depois da sinterização de amostras de sílica verde. Nota-se que ocorre uma redução de 12,7% na densidade das amostras após a sinterização. Esta diminuição pode ser explicada pelo fato de que a retirada do carbono por oxidação reduz a massa das amostras, mas não reduz sensivelmente suas dimensões, tornando o material bastante poroso. Logo, a redução na densidade deve-se basicamente à perda de massa na forma de gás carbônico. Os valores encontrados são compatíveis com aqueles reportados no trabalho de Paschoal<sup>(7)</sup>, que obteve uma redução de 11,2% na densidade da sílica verde sinterizada a 1200°C. Desta forma, pelos resultados encontrados, ratifica-se o uso de fundente para uma redução da temperatura de sinterização.

**Tabela 2:** Densidades de amostras de sílica verde com carbonato de cálcio, antes e depois da sinterização:

Amostras SV + CaCO <sub>3</sub>	Densidade a verde (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade sinterizado (g/cm <sup>3</sup> )
1	1,16	1,03
2	1,16	1,03
3	1,16	1,04
4	1,16	1,02
5	1,16	1,03
6	1,17	1,04
7	1,17	1,02
8	1,17	1,04
9	1,21	1,02
10	1,31	1,04

Média	1,18 ± 0,05	1,03 ± 0,01
-------	-------------	-------------

Dos resultados obtidos para sílica verde e para a sílica comercial observa-se que o carbonato de cálcio como agente fundente não teve a mesma influência nas características dos dois materiais sinterizados, embora, em ambos os casos, tenha contribuído para que fosse possível trabalhar com temperaturas 200°C mais baixas do que as requeridas sem fundente. As diferenças de comportamento podem ser explicadas pela natureza diversa dos dois materiais sinterizados: sílica verde proveniente da cinza da casca de arroz, com teor de carbono em torno de 20%, e sílica comercial, com 95-99% de pureza. Na sílica verde, o aumento de porosidade, efeito contrário ao que é esperado na sinterização, pode ser devido à retirada de carbono, deixando poros, enquanto que na sílica comercial os efeitos da sinterização são confirmados pela densificação e pela redução de porosidade.

Ainda no que diz respeito às normas do setor do petróleo em relação a propantes, tem-se a adequação do material aos fatores morfológicos de esfericidade e arredondamento e também à resistência ao esmagamento. Por esfericidade entende-se o grau de semelhança entre uma partícula e uma esfera e por arredondamento a medida da curvatura do grão, ou seja, a existência ou não de bordas pontiagudas<sup>(5)</sup>. O ensaio de esmagamento é realizado para que o propante seja testado em relação a sua resistência mecânica, visto que deverá resistir às altas pressões impostas pelas rochas quando da perfuração do poço de petróleo por fraturamento hidráulico. A Tabela 3 apresenta os valores médios de esfericidade e arredondamento e ainda o teor de finos gerados no ensaio de esmagamento para cada conjunto de amostras. A tabela mostra que a esfericidade e o arredondamento não foram afetados significativamente pelo uso do carbonato de cálcio como fundente.

Em relação à resistência ao esmagamento representada pelo teor de finos gerados, observa-se que, entre a sílica verde, sinterizada a 1200°C e a sílica verde com adição de carbonato, sinterizada a 1000°C, o teor de finos aumentou de 82% para 97,6%, revelando que o material pode ter se tornado mais frágil, talvez pelo aumento de porosidade representado pela maior redução na densidade.

**Tabela 3:** Valores de esfericidade (S) e Arredondamento (R) para as amostras de sílica verde e comercial, com e sem carbonato de cálcio.

Material	Esfericidade (S)	Arredondamento (R)	Teor de finos (%)
Sílica Comercial	0,7	0,6	67,2
Sílica Comercial + CaCO <sub>3</sub>	0,7	0,5	57,2
Sílica Verde	0,7	0,6	82,0
Sílica Verde + CaCO <sub>3</sub>	0,7	0,5	97,6

Para a sílica comercial, ocorreu a redução do teor de finos, de 67,2% para 57,2%, que pode ser relacionada ao aumento da densificação de 20% para 39% com o uso de carbonato de cálcio.

## 4 CONCLUSÃO

A redução da densidade ocorreu quando a sílica verde foi submetida ao tratamento térmico, que possui 10 a 20% de carbono em sua composição, o que pode estar originado maior porosidade. Este fato não ocorreu na sílica comercial, a qual tem sua densidade aumentada em torno de 39% com o uso de fundente contra apenas 20% na sílica pura.

Em relação à resistência ao esmagamento, porém, o uso de carbonato de cálcio proporcionou uma maior geração de finos para a sílica verde e um efeito oposto para a sílica comercial. O maior teor de finos e, portanto, menor resistência ao esmagamento, pode ser devido também à porosidade da sílica verde após a sinterização, o que fragiliza a amostra.

O uso de um agente fundente na sinterização, tanto para a sílica verde quanto para a comercial, possibilitou o abaixamento da temperatura de sinterização em 200°C, ocasionando pouca diferença em relação aos fatores morfológicos. A esfericidade manteve seus valores e o arredondamento foi levemente reduzido para ambos os tipos de sílica.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Marina Tecnologia pelo fornecimento do material para as análises, à PROPESQ/IFSUL e ao CNPq pelo apoio financeiro através da Chamada CNPq – SETEC/MEC Nº 17/2014 - Apoio a Projetos Cooperativos de Pesquisa Aplicada e de Extensão Tecnológica com o projeto “RiceProp – BIo massa em materiais para indústria de petróleo e gás”.

## REFERÊNCIAS

- 1 IBGE. Estatística da Produção Agrícola – Agosto 2017. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Fasciculo\\_Indicadores\\_IBGE/estProdAgr\\_201708.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201708.pdf)>. Acesso em: 14/09/2017.
- 2 POUHEY, M. T. F. Beneficiamento da cinza da casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico. Tese de doutorado. 345 p. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS, Porto Alegre, 2006.
- 3 HOUSTON, D. F. Rice: Chemistry and Technology. In: DELLA, V. P., KÜHN, I., HOTZA, D., Reciclagem de resíduos agro industriais: cinza de casca de arroz como fonte alternativa de SiO<sub>2</sub>. Cerâmica Industrial v. 10 (2). São Paulo. 2005.
- 4 De BORBA, C. D. G.; RODRIGUES NETO, J. B.; OLIVEIRA, A. P. N.; ECHUDE, E. C. F., ALARCÓN, O. E. Estudo de matérias primas fundentes. Cerâmica Industrial v. 01 (01). São Paulo. 1996. 34-39.
- 5 AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API RP 56: Recommended practices for testing sand used in hydraulic fracturing operations. Washington, D.C., 1995.
- 6 STARLING, A. R. A. R. Avaliação de metodologias de simulação física do processo de sinterização. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas. UFMG. Belo Horizonte. 2012.

- 7 PASCHOAL, A. F., SOUZA, R. R.; FAGUNDES, E. C. M.; MARTINS, V.; CALCAGNO, C. I. W. Estudo de sinterização da cinza da casca de arroz para obtenção de filtros cerâmicos. In: 5º SEMINÁRIO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA DO IFSUL – IFSUL, 2016, Sapucaia do Sul, 2016.
- 8 NAYAK, J. P. Effect of sintering temperature on phase-formation behavior and mechanical properties of silica ceramics prepared from rice husk ash. Phase Transitions 82 (12) (2009) 879-888.

# ANÁLISE DA LIGA DE MAGNÉSIO MRI230D OBTIDA POR PROCESSO DE TIXOFUNDIÇÃO UTILIZANDO O MÉTODO SIMA

Von Mühlen, M. A.<sup>1</sup>  
Fraga, C.A.S.<sup>2</sup>  
De Barcellos, V.K.<sup>3</sup>

- <sup>1</sup> Matheus Ayala von Mühlen, UFRGS, [muhlen@hotmail.com](mailto:muhlen@hotmail.com)  
<sup>2</sup> Caroline Almeida Santos Fraga, UFRGS, [caroline.almeida@ufrgs.br](mailto:caroline.almeida@ufrgs.br)  
<sup>3</sup> Dr. Vinicius Karlinski de Barcellos, UFRGS, [vinicius.karlinski@ufrgs.br](mailto:vinicius.karlinski@ufrgs.br)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

## Resumo

O método SIMA, do inglês "*strain inducted melt activation*", é um processamento de ligas no estado semissólido (ESS), que tem se destacado sobretudo na indústria automobilística, principalmente pelo fato de ser uma alternativa aos processos convencionais de fundição sob pressão e forjamento. Esse processo busca a formação de uma estrutura globular, conferindo propriedades mecânicas superiores quando comparada à mesma liga com microestrutura dendrítica. Este trabalho analisa a influência do grau de deformação sobre a microestrutura da liga de Magnésio MRI230D (Mg-Al-Ca-Sr-Sn), a evolução da microestrutura com o tempo de permanência no ESS, sua correlação com a escala de dureza Brinell. Foi realizada a laminação das amostras em dois graus diferentes de deformação: 4% e 7%; e três tempos de tratamento térmico posterior à laminação: 20, 40 e 60 minutos. A microestrutura das amostras foi avaliada a partir de micrografia com reagente Nital 3%. Os resultados foram uma relação direta, tanto entre o grau de deformação, quanto entre o tempo de tratamento térmico com o aumento da dureza e grau de globularização das partículas. Em vista disso, a amostra com 7% de deformação e 60 minutos de tratamento térmico obteve o melhor resultado entre as amostras estudadas.

**Palavras-chave:** Método SIMA; semissólido; MRI230D; globularização.

## ANALYSIS OF THE MAGNESIUM ALLOY MRI230D OBTAINED BY THIXOCASTING UTILIZING THE SIMA METHOD

### Abstract

The SIMA Method (Strain inducted melt activation) is a semi-solid alloy processing, a rising technology mainly in automobile industry, for being an alternative to the conventional processes of pressure casting and forging. This deformation process in semi-solid state seeks forming a globular structure, which guarantees superior mechanical properties when compared to the same alloy with a dendrite morphology microstructure. This work analyses the influence of deformation degree over the microstructure of Magnesium alloy MRI230D (Mg-Al-Ca-Sr-Sn), the evolution of the microstructure with how long it stays in semi-solid state, its correlation with Brinell

Hardness Scale. The samples were rolled in two different deformation degrees: 4% and 7%; and three periods of heat treatment after rolling: 20, 40 and 60 minutes. The microstructure of the samples was evaluated from a metalography with Nital 3% reagent. The results were a direct relation between increasing deformation degree and time of heat treatment with increase in hardness and globularization degree. Thus, the sample with 7% deformation and 60 minutes of heat treatment achieved the best results among the studied samples.

**Key words:** SIMA Method, semi-solid, MRI230D, globularization.

## 1 INTRODUÇÃO

A busca contínua pela indústria por produtos cada vez mais sustentáveis, eficientes e com peso reduzido, fez do magnésio e suas ligas bons substitutos para o aço e alumínio na produção de componentes estruturais, automotivos e aeronáuticos. As ligas de magnésio mais comuns como, como a AZ91 (Mg-9Al-0,8Zn) possuem limitadas temperaturas de trabalho, sendo seu máximo em torno de 120°C, o que ocasionou uma busca por ligas com maior resistência à fluência. Os dois elementos mais importantes em ligas avançadas de magnésio, cálcio e estrôncio, são responsáveis por possibilitar uma maior redução de peso aliadas a boa precisão dimensional, boa reciclabilidade e possibilidade de processamento em larga escala. Neste contexto, foi desenvolvida a série Mg-Al-Ca-Sr, que oferece excelente resistência à fluência até 180°C e baixo custo se comparadas às ligas contendo ítrio e/ou demais terras raras, que são convencionalmente usados para aumentar a resistência à fluência. Uma liga típica que representa essa série é a MRI230D, que foi desenvolvida pela *Dead Sea Magnesium* em associação com a *Volkswagen AG*, com foco em aplicações como caixas de câmbio automático que operam em temperaturas de até 175°C.

Visando um processamento de ligas que possibilitasse melhor qualidade e acabamento superficial assim como propriedades mecânicas superiores e menor consumo de energia, surgiram os tratamentos no estado semissólido. O processamento no estado semissólido (ESS), tem como objetivo modificar a estrutura da matriz, que normalmente se apresenta de forma dendrítica, para uma com maior grau de globularização. Inicialmente este método foi mais difundido entre as ligas de alumínio, porém atualmente começou-se a explorar uma maior gama de aplicações, entre elas as ligas de magnésio. Os principais métodos de processamento no ESS são agitação mecânica (*mechanical stirring*), agitação eletro-magnética (*electro-magnetic stirring*) e ativação da fusão induzida por tensão (*strain-induced melt activation - SIMA Method*). O método SIMA tem como objetivo aplicar certo grau de deformação no material e, posteriormente, realizar o tratamento térmico no ESS. Este método possui uma temperatura de trabalho menor que a temperatura liquidus do material, resultando em menores gastos do que as outras opções.

Sendo assim, neste artigo foram estudadas as influências dos parâmetros grau de deformação e tempo de tratamento térmico na obtenção da liga MRI230D por tixofundição utilizando o Método SIMA, a fim de obter propriedades mecânicas superiores.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

Para a realização deste estudo utilizou-se um lingote da liga MRI230D do Laboratório de Fundição da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A composição química nominal da liga empregada é mostrada na tabela 1. O lingote foi cortado em sete corpos de provas com 12 mm de espessura, com auxílio de uma máquina de corte.

**Tabela 1** – Composição química nominal da liga MRI230D

<i>Liga MRI230D</i>	<i>Al</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>	<i>Ca</i>	<i>Sr</i>	<i>Sn</i>	<i>Mg</i>
% em peso	6,8	0,01	0,23	1,91	0,25	0,5	90,3

As deformações plásticas de 4% e 7% na altura das amostras foi efetuada através do processo de laminação realizado no laminador DEMAG com cilindros lisos de aço com diâmetro de 178,8 mm e velocidade de rotação de 28 rpm. Para o tratamento térmico no estado semissólido, utilizou-se um forno do tipo mufla. Um termopar do tipo k foi acoplado nas amostras para maior controle da temperatura. Para análise metalográfica foi realizado polimento com solução de alumina 0,03µm e microscópio óptico. Para as medições de dureza, utilizou-se durômetro para dureza Brinell. Todos os equipamentos acima citados encontram-se nas dependências dos laboratórios de pesquisa que compõem o centro de tecnologia da UFRGS.

### 2.2 MÉTODOS

O lingote original foi cortado em sete corpos de prova com aproximadamente 12 mm de espessura para permitir a laminação. Empregou-se uma amostra para cada tempo de tratamento térmico (20, 40 e 60 minutos) em cada grau de deformação (4% e 7%) e uma bruta de fusão.

Com a intenção de se obter um grau de deformação plástica mais acentuado, foi realizada laminação a quente. Para ligas de magnésio, têm-se uma temperatura de recristalização compreendida no intervalo de 200-250°C e, para este experimento, foi adotada a temperatura de 250°C. O tempo de encharque empregado foi de 30 minutos (espessura próxima à meia polegada).

Devido a reatividade do magnésio quando exposto a altas temperaturas na presença do oxigênio e pela impossibilidade de utilizar atmosfera inerte nos fornos disponíveis, os corpos de prova foram envolvidos com três camadas de folhas de alumínio com a finalidade de evitar a ignição durante o tratamento no estado semissólido.

Com os corpos de prova devidamente protegidos e com termopar tipo k devidamente acoplado as amostras, foi medida a temperatura até a considerada ideal. Para a tixofundição, é desejado que esta temperatura garanta uma fração sólida menor que 0,50. Para a liga MRI230D, que possui temperatura solidus e liquidus de, aproximadamente, 522°C e 603°C respectivamente, foi considerada como ideal a temperatura de 575°C.



Assim que a temperatura medida pelo termopar atingiu a desejada, foram cronometrados os tempos de tratamento térmico (20, 40 e 60 minutos), de modo que aos 20 minutos foi retirado do forno um corpo de prova e assim sucessivamente aos 40 e 60 minutos. Após o tempo de forno, as amostras foram temperadas em água ainda protegidas pela camada de alumínio. Depois, repetiu-se o processo para os corpos de prova com grau de deformação de 4%.

Por fim foram realizadas as metalografias das amostras com lixamento começando em granulometria 80, e terminando em 1200, polimento com solução de alumina de 0,03  $\mu\text{m}$ . O ataque químico foi realizado com Nital 3% durante 10 segundos. As microestruturas foram analisadas em microscópio óptico com aumentos de 50x e 100x, e, por auxílio de equipamento computacional, foram obtidas as imagens que foram analisadas.

A fim de quantificar de maneira mais objetiva a alteração nas propriedades mecânicas por conta do processamento no ESS, foi feito ensaio de dureza Brinell, sendo realizadas cinco endentações em cada uma das nove amostras (bruta de fusão, deformada 4%, deformadas 4% com tempo de tratamentos de 20 minutos, 40 minutos e 60 minutos, deformada 7% e deformadas 7% com tratamentos de 20 minutos, 40 minutos e 60 minutos).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 ANÁLISE AMOSTRAS DE LAMINAÇÃO

Durante a laminação a quente dos corpos de prova que se buscava atingir 7% de grau de deformação, ocorreu a abertura de 3 topos ao entrarem no cilindro de laminação. Este defeito deve-se a baixa ductilidade a quente de ligas metálicas, em especial para a liga MRI 230D. Segundo a literatura, este fenômeno ocorrido é chamado de "*alligatoring*", figura 1. A laminação a quente dos corpos de prova que se buscava atingir 4% de grau de deformação não apresentou qualquer problema.



Figura 1 – Defeito *alligatoring* ocorrido nas amostras.

#### 3.2 ANÁLISES METALOGRAFICAS

##### 3.1.1 AMOSTRA BRUTA DE FUSÃO

Na figura 2 abaixo, pode-se observar a microestrutura da amostra bruta de fusão (sem deformação e sem tratamento térmico).

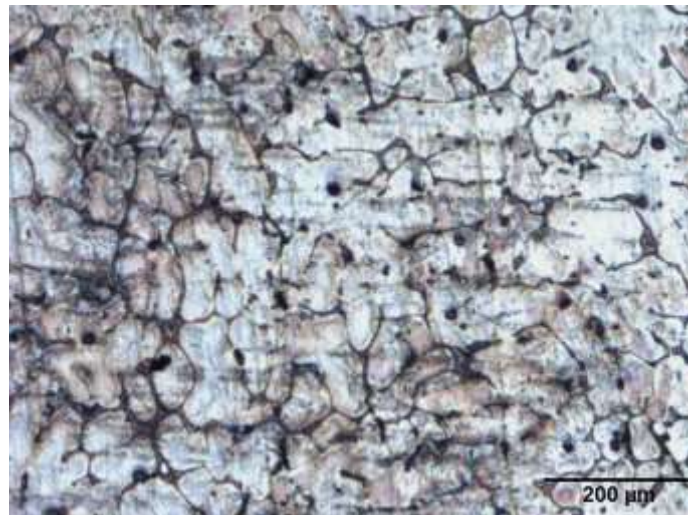


**Figura 2-** Microestrutura dendrítica da amostra bruta de fusão da liga MRI 230D (aumento de 50x).

Conforme verifica-se na imagem, a microestrutura do corpo de prova bruto de fusão é totalmente dendrítica. Qualitativamente observam-se dendritas grandes com braços alongados e com pequeno espaçamento. Esta microestrutura é deletéria para propriedades mecânicas.

### **3.1.2 AMOSTRA DEFORMADA 7% E SEM TRATAMENTO TÉRMICO**

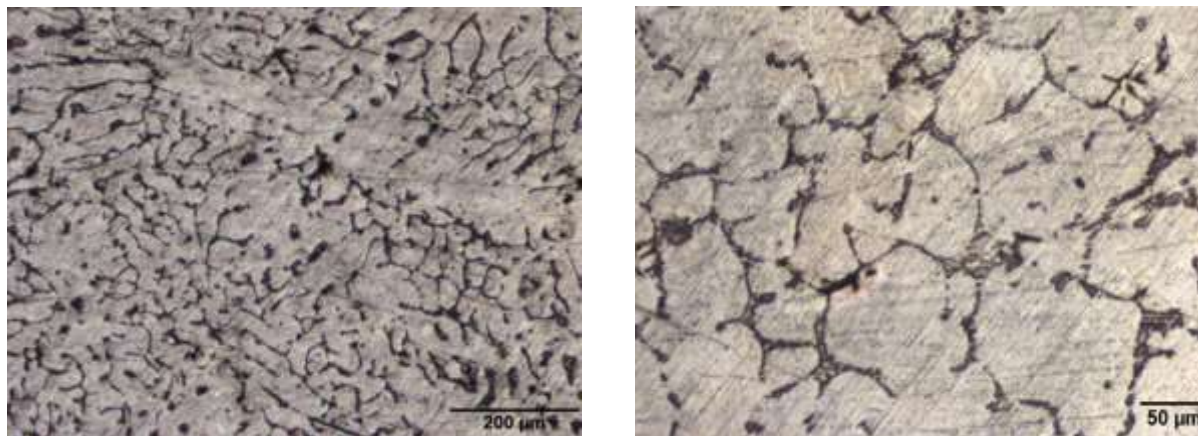
Com o grau de deformação de 7% aplicado sobre a amostra, nota-se na figura 3 que há uma pequena diminuição das dendritas presentes e elas organizam-se sutilmente na direção de laminação. Um certo nível de encruamento pode ser observado.



**Figura 3 -** Metalografia da liga MRI230D após redução de altura de 7% feita por laminação a quente (aumento de 50x)

### 3.1.3 AMOSTRAS DEFORMADAS 4% e 7% E SUBMETIDAS A 20 MINUTOS DE TRATAMENTO TÉRMICO

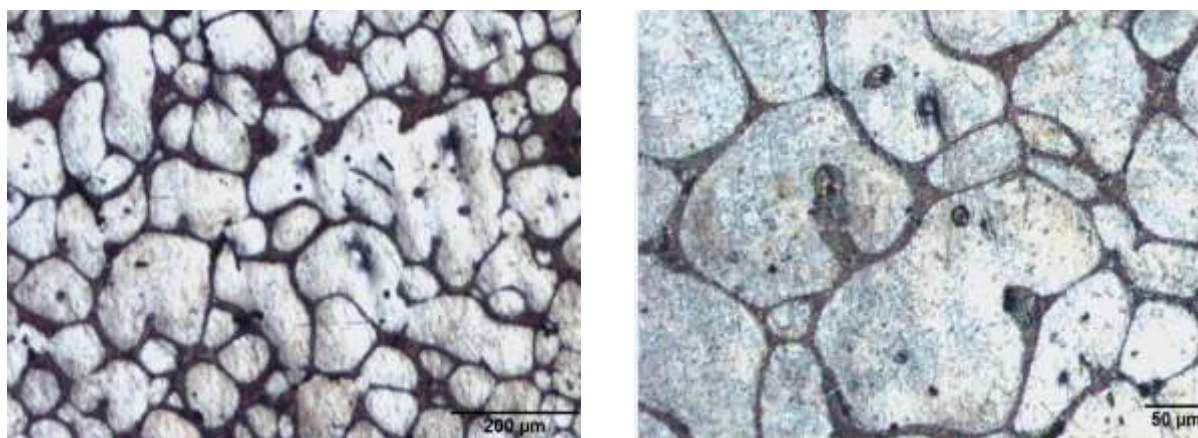
A microestrutura obtida para a amostra previamente deformada em 4% e submetida a 20 minutos de tratamento térmico encontra-se na Figura 4.



(A) (B)  
**Figura 4** - Metalografia da liga MRI230D após deformação de 4% e tratamento térmico de 20 minutos. (A) aumento de 50x. (B) Aumento de 100x.

A amostra deformada em 4% e tratada termicamente por 20 minutos apresenta uma microestrutura quase dendrítica, encontrando-se rosetas com frequência, havendo uma percepção de que o grau de deformação foi menor que o ideal para haver uma quebra de dendritas mais adequada.

A microestrutura obtida para a amostra previamente deformada em 7% e submetida a 20 minutos de tratamento térmico encontra-se na Figura 5.

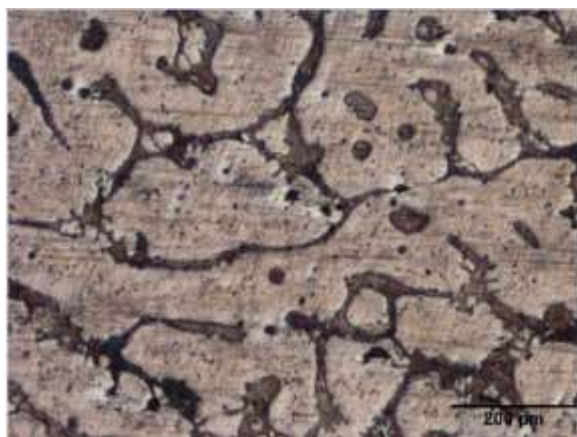


(A) (B)  
**Figura 5** - Metalografia da liga MRI230D após deformação de 7% e tratamento térmico de 20 minutos. (A) aumento de 50x. (B) Aumento de 100x.

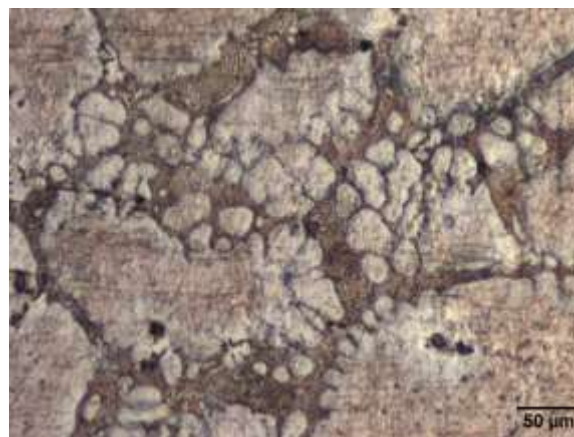
A amostra deformada em 7% e tratada termicamente por 20 minutos apresenta uma microestrutura mais globular e uniforme comparada as outras anteriores. Rosetas não são encontradas com frequência.

### 3.1.4 AMOSTRAS DEFORMADAS 4% e 7% E SUBMETIDAS A 40 MINUTOS DE TRATAMENTO TÉRMICO

Para os parâmetros de 4% de deformação e tempo de tratamento de 40 minutos, a metalografia obtida é mostrada na Figura 6, na qual é possível perceber uma microestrutura com grãos mais separados, ainda que um tanto alongados, mostrando uma maior globularização quando comparada com a microestrutura da Figura 4.



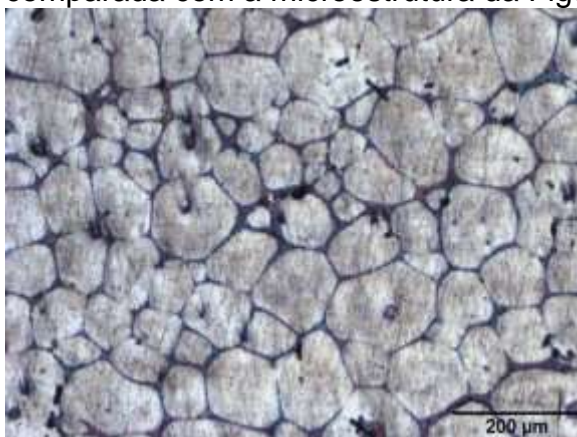
(A)



(B)

**Figura 6** - Metalografia da liga MRI230D após deformação de 4% e tratamento térmico de 40 minutos. (A) aumento de 50x. (B) Aumento de 100x.

Para os parâmetros de 7% de deformação e tempo de tratamento de 40 minutos, a metalografia obtida é mostrada na Figura 7, na qual é possível perceber uma microestrutura com grãos mais equiaxiais e menos alongados quando comparada com a microestrutura da Figura 5.



(A)

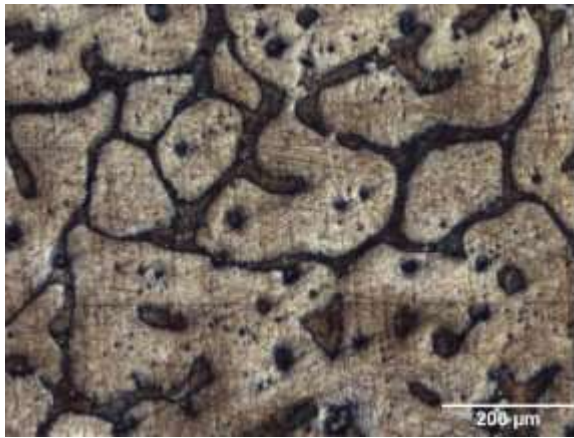


(B)

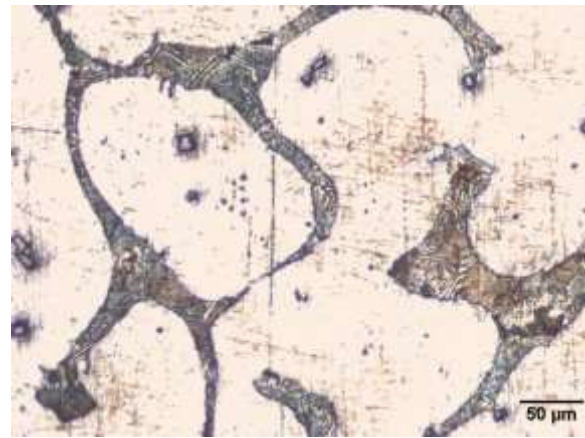
**Figura 7** - Metalografia da liga MRI230D após deformação de 7% e tratamento térmico de 40 minutos. (A) aumento de 50x. (B) Aumento de 100x.

### 3.1.5 AMOSTRAS DEFORMADAS 4% e 7% E SUBMETIDAS A 60 MINUTOS DE TRATAMENTO TÉRMICO

As amostras com maior tempo de tratamento resultou nas micrografias exibidas nas Figura 8 e 9.



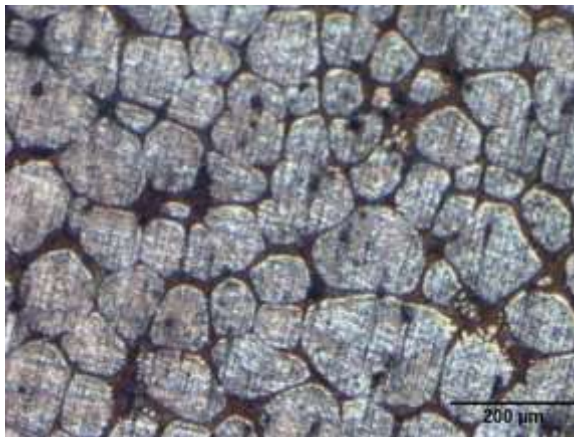
(A)



(B)

**Figura 8** - Metalografia da liga MRI230D após deformação de 4% e tratamento térmico de 60 minutos. (A) aumento de 50x. (B) Aumento de 100x.

Na amostra com 4% de grau de deformação e 60 minutos de tratamento térmico, constata-se um maior grau de globularização das partículas quando comparada com as de menor tempo de tratamento, e uma microestrutura mais homogênea, por efeito de maior penetração da fase líquida em razão do maior tempo de tratamento. Entretanto, percebe-se que, pelo baixo grau de deformação, não houve uma quebra tão eficiente dos grãos quanto nas amostras mais deformadas.



(A)



(B)

**Figura 9** - Metalografia da liga MRI230D após deformação de 7% e tratamento térmico de 60 minutos. (A) aumento de 50x. (B) Aumento de 100x.

Na amostra com 7% de grau de deformação e 60 minutos de tratamento térmico, constata-se um alto grau de globularização das partículas e uma microestrutura mais homogênea, por efeito de maior quebra das dendritas em razão do alto grau de deformação, bem como o maior tempo de estadia no ESS. Esta amostra obteve o resultado mais perto do desejado entre todas as amostras analisadas.

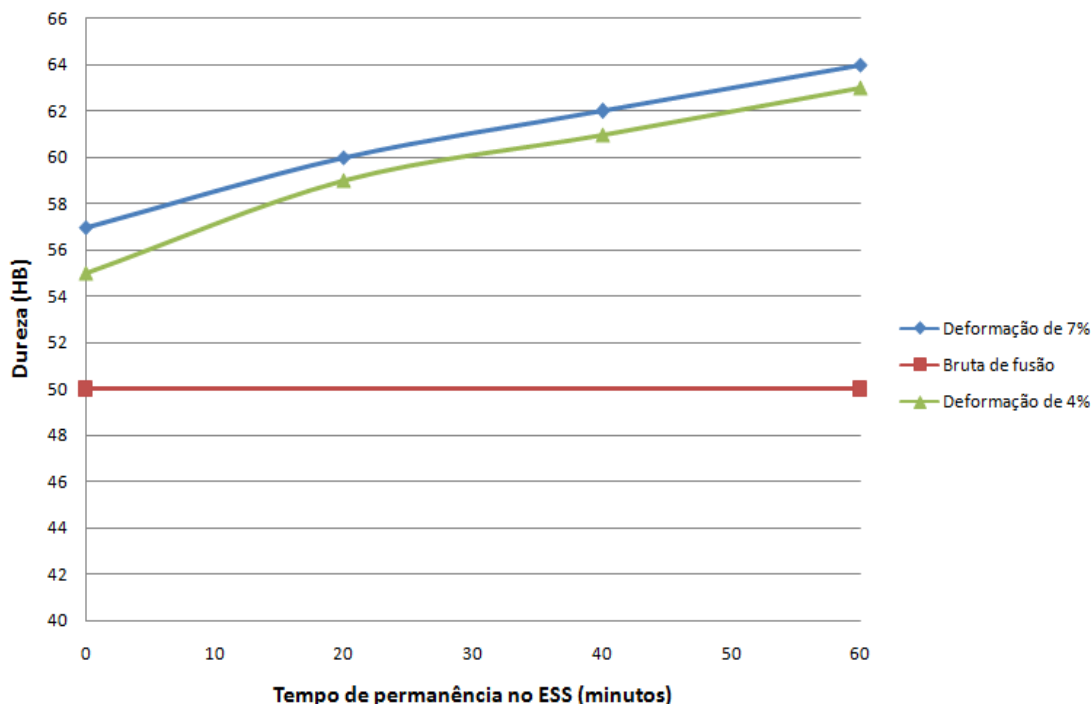
### 3.2 DUREZA BRINELL

A dureza é uma propriedade que permite avaliar a resistência que um material apresenta à deformação permanente, fornecendo dados sobre as condições de fabricação e tratamento das ligas metálicas. Assim, a tabela 2 exhibe os resultados das médias dos cinco valores de dureza obtidos para cada amostra.

**Tabela 2** - Resultados de dureza Brinell obtidos para cada amostra.

<i>Grau de deformação</i>	<i>Tempo de Tratamento</i>	<i>HBW</i>
4%	0 min	55
	20 min	59
	40 min	61
	60 min	63
7%	0 min	57
	20 min	60
	40 min	62
	60 min	64
Amostra bruta de fusão		50

O gráfico da Figura 11 evidencia a comparação dos resultados obtidos no ensaio de dureza para os graus de deformação de 4% e 7% com tempos de tratamento térmico de 20, 40 e 60 minutos, bem como as amostras deformadas não submetidas ao tratamento. É visível que, tanto o maior grau de deformação, quanto a maior permanência no estado semi-sólido apresentaram valores mais satisfatórios no que diz respeito ao aumento da dureza.



**Figura 10** - Gráfico de comparação de dureza para os diferentes graus de deformação e tempos de permanência no ESS.

## 4 CONCLUSÃO

Tendo em vista os resultados obtidos nas etapas experimentais, na análise metalográfica e no ensaio de dureza, pode-se concluir o seguinte:

- A liga MRI230D possui, quando submetida à laminação a quente (250°C), um limite de redução de altura de aproximadamente 7%;
- É possível utilizar papel alumínio como proteção contra Oxigênio na liga de Magnésio MRI230D em temperaturas próximas aos 600°C, ou seja, antes da liquidus;
- O tempo em que as amostras foram mantidas no estado semissólido obedece à relação direta com o grau de globularização: as amostras tratadas por 20 minutos apresentaram grau de globularização bem inferior às amostras tratadas por 60 minutos;
- O grau de deformação ao qual as amostras foram submetidas obedece à relação direta com o grau de globularização: as amostras deformadas 4% apresentaram um grau de globularização bem inferior às amostras deformadas 7%;
- Os valores de dureza Brinell são aumentados para maiores tempos de tratamento, bem como para o maior grau de deformação;
- A morfologia das amostras brutas de fusão e tratadas termicamente condizem com o esperado pela literatura e outros estudos realizados;
- A amostra submetida a grau de deformação de 7% e 60 minutos de tratamento apresentou melhor resultado no quesito globularização e dureza Brinell, dentre os parâmetros avaliados.

## BIBLIOGRAFIA

CASTILHOS, M. Z. *Obtenção e Caracterização Metalúrgica e Mecânica da Liga de Alumínio A356 por Processo de Tixofundição Utilizando o Método SIMA*. Trabalho de Diplomação de Curso, UFRGS. Porto Alegre, Dezembro de 2016.

BRONFIN, B.; MOSCOVITCH, N. *New Magnesium Alloys For Transmission Parts*. Metal Science and Heat Treatment; N° 11, pp. 10-18. Novembro de 2006.

RZYCHON, T. *Quantitative procedure for evaluation of microstructure of cast Mg-Al-Ca-Sr magnesium alloy*. Department of Material Science, Silesian University of Technology. Katowice, Poland, Março de 2010.

HONG, Y.; ZHANG, F.; JIE, X.; *Structure evolution of AZ61 magnesium alloy in SIMA process*. School of Mechanical-Electrical Engineering, Nanchang University, China. Junho de 2005.



## INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA NA RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO DE PROPANTES

Compazzi, Marcelo G. D.<sup>1</sup>  
da Silva, Cássio G.<sup>2</sup>  
Martins, Vinícius.<sup>3</sup>  
Fagundes, Enio C.M.<sup>4</sup>  
Calcagno, Carmen I. W.<sup>5,\*</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, Instituto Federal Sul Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul, marcelocompazzi@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, Instituto Federal Sul Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul, cassiog77@gmail.com

<sup>3</sup> Doutor, Instituto Federal Sul Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul, viniciusmartins@sapucaia.ifsul.edu.br

<sup>4</sup> Doutor, Instituto Federal Sul Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul, eniofagundes@sapucaia.ifsul.edu.br

<sup>5</sup> Doutora, Instituto Federal Sul Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul, carmencalcagno@sapucaia.ifsul.edu.br

### Resumo

Propantes são materiais granulares usados na indústria de extração de petróleo e gás que devem possuir resistência ao esmagamento suficiente para impedir que as trincas feitas na rocha por fraturamento hidráulico se fechem, o que permite o fluxo contínuo dos fluidos que são extraídos. Propantes devem atender a algumas especificações técnicas, por exemplo, a forma do particulado, o tamanho médio das partículas e a resistência ao esmagamento. No entanto, não há um padrão normatizado de distribuição granulométrica a ser seguido. O objetivo deste trabalho foi determinar como diferentes proporções granulométricas interferem na resistência ao esmagamento de particulados cerâmicos. Os particulados foram classificados entre as peneiras de *mesh* 20 e 40 e, nesta avaliação utilizou-se sílica com tamanho de partícula entre 200 - 300 µm. A sílica foi compactada, sinterizada, moída e classificada quanto à granulometria. A influência das condições de sinterização na densidade das amostras, a eficiência do método de moagem e a resistência ao esmagamento foram avaliadas, bem como, a esfericidade e o arredondamento dos particulados foram medidos. Os experimentos demonstraram que há influência da distribuição granulométrica na resistência ao esmagamento.

**Palavras-chave:** Sílica; Propantes; Sinterização; Resistência ao esmagamento.

### INFLUENCE OF GRANULOMETRIC DISTRIBUTION IN CRUSH RESISTANCE IN OF PROPPANT

#### Abstract

Proppant are granular materials used in the oil and gas extraction industry. They must have sufficient crush strength to prevent cracking in the hydraulic fracturing. Propants should meet some technical specifications, for example, particulate form,

average particle size and crushing resistance. However, there is no standardized particle size distribution standard to be followed. The objective of this work was to determine how different particle size ratios interfere in the crushing resistance of ceramic particles. Silica with a particle size 200-300  $\mu\text{m}$  was compacted, sintered, milled and graded. The influence of the sintering conditions on the density of the samples, the efficiency of the grinding method and the crushing strength were evaluated. The sphericity and the roundness of the particles were measured. The experiments demonstrated that there is influence of the granulometric distribution in the resistance to crushing.

Keywords: Silica; Proppant; Sintering; Resistance to crushing.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor de extração de petróleo e gás é um dos mais importantes para o provimento de matéria-prima para produtos em geral. Esse setor tem como uma de suas fontes as rochas reservatórios que são encontradas nas profundezas da crosta terrestre. O fraturamento hidráulico é um dos métodos para a penetração dessas rochas em busca de extração de petróleo e/ou gás, e foi desenvolvido para aumentar a vida útil e a produção dos poços. Basicamente, água em alta pressão é injetada na rocha para que sejam propagadas fraturas naturais e artificiais na mesma. No entanto, a pressão de confinamento e os sólidos presentes no poço, tendem a fechar esses canais que foram abertos pelo fraturamento hidráulico e, por essa razão, são introduzidos junto ao fluido de fraturamento, materiais particulados chamados de propantes, que servem de agente de sustentação para as trincas, impedindo-as de se fecharem.<sup>(1)</sup>

Os propantes não devem apresentar densidade do particulado muito alta, pois podem provocar sua sedimentação ao longo do caminho antes que atinjam o interior das fraturas. Outras características importantes são que eles devem resistir à temperatura local de operação do poço e, também, ao meio corrosivo.<sup>(2)</sup>

Para que um material possa ser usado como propante, ele deve passar por testes previstos em norma. A norma que serviu de base neste estudo foi a norma API RP 19C que trata da medida de diferentes propriedades de propantes para ser usado em fraturamento hidráulico.<sup>(3)</sup> Propriedades como esfericidade e arredondamento de particulados, resistência ao esmagamento e resistência ao ambiente ácido são necessárias para o material se tornar candidato a propante. Estas propriedades evitam a quebra do propante em partículas muito pequenas que são designadas como finos. Esse particulado fino pode ser arrastado junto com o óleo ou gás, gerando um refluxo de propante, o que pode obstruir as trincas na rocha, reduzir a condutividade do produto extraído, obstruir e danificar as máquinas de extração, e poluir o solo com hidrocarbonetos. O tamanho dos particulados afetam a permeabilidade da fratura e existem faixas de tamanho estipuladas na norma, sendo que maiores faixas de tamanho de particulados resultam em maior

permeabilidade, pois os poros originados são maiores. Entretanto, estas faixas com particulados maiores são mais suscetíveis ao esmagamento e, portanto, os particulados grandes são usados apenas para tensões confinantes pequenas. Faixas com particulados pequenos são mais resistentes mecanicamente e, por mais que apresentem pouca permeabilidade no início, a permeabilidade média ao longo da vida útil do poço é maior que aquela obtida com propantes de particulados grandes. O tamanho dos particulados deve ser compatível com a largura do poço ou pode obstruir a passagem do fluido de fraturamento hidráulico e impedir a formação de mais trincas.<sup>(4,5)</sup>

Além do tamanho dos particulados, sua morfologia também é considerada em norma. A esfericidade e o arredondamento do propante influencia na porosidade do conteúdo granular e, portanto, na permeabilidade. A carta proposta por Krumbein & Sloss é tradicionalmente usada para caracterização dessas morfologias e, os formatos dos particulados que se deseja caracterizar são comparados com os formatos pré-determinados na carta. Em uma situação de tensão confinante, alta esfericidade e arredondamento resultam em melhor distribuição de esforços entre os particulados do propante e, a norma API RP 19C considera formatos quantificados em 0,7 x 0,7 adequados para uso como propantes.<sup>(3,6)</sup>

Para o ensaio de resistência ao esmagamento, é necessário primeiro calcular a densidade do particulado que é dada pela razão entre a massa e o volume do material granular. O valor resultante do cálculo da densidade é usado para determinar a quantidade de massa do material particulado necessária para a amostra que vai ser ensaiada no teste de esmagamento, requerido na norma API RP 19C para teste em propantes. O particulado será aprovado após o teste se a geração de particulados finos (tamanho menor do que 40mesh) for inferior a 10%, no caso do propante 20/40. A norma, entretanto, não diz se a distribuição granulométrica deve seguir algum valor padrão. Em virtude disto testou-se amostras com distribuições granulométricas diferentes, para verificar se essas distribuições resultariam em valores diferentes de resistência ao esmagamento.<sup>(3)</sup>

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado para obter o particulado cerâmico, objeto deste estudo, foi a sílica comercial Zeosil 1165MP, a qual contém aproximadamente 98% de dióxido de silício (sílica amorfa) e 2% de sulfato de sódio. Sua aparência é de micropérola de cor branca, com tamanho de partícula na faixa de 200 - 300 µm.

As etapas de compactação, sinterização, moagem e classificação granulométrica foram repetidos no mínimo 10 vezes e pelo menos 15 corpos de prova foram produzidos em cada compactação. Corpos de prova cilíndricos, de diâmetro médio de 13,4 mm e altura média de 15,2 mm, foram preparados por compactação utilizando-se 1,6 g de sílica. A compactação foi feita numa prensa hidráulica (modelo P15000 - 15ST *Bovenau*) utilizando-se uma força de 0,33

tonelada, que originou uma pressão de 24 MPa sobre o pistão da matriz de compactação. Essa matriz consiste num cilindro com um furo passante concêntrico de 13 mm de diâmetro cuja base é fechada por um pistão pequeno que retém a sílica e um pistão maior, sobre o qual a prensa exerce a força. As densidades a verde foram determinadas realizando-se a razão entre massa e o volume de cada corpo de prova, servindo posteriormente para comparação com a densidade dos sinterizados.



Figura 1: Matriz de compactação e prensa hidráulica

Prontos para a sinterização, os corpos de prova foram levados ao forno e passaram por duas isotermas: uma a 600 °C e outra a 1200 °C. O forno utilizado para a sinterização foi um forno tubular horizontal (Sanchis), que foi programado para ter uma taxa de aquecimento de 10°C/min até alcançar a temperatura das duas isotermas. Assim, testou-se 4 condições de isoterma fixando o tempo de isoterma a 600 °C em uma hora e variando de 1 a 4 horas o tempo de isoterma a 1200 °C. Os resultados de densidade do sinterizado foram avaliados utilizando-se Análise de Variância (ANOVA), fator único com 95% de confiança.

Após sinterizados, os corpos de prova passaram pelo processo de moagem e classificação dos particulados em peneiras. A moagem foi feita manualmente com um pistilo e um gral de porcelana, tendo-se o cuidado de não gerar muitos finos. Para isso, a fragmentação foi feita em ciclos curtos de moagens e peneiramentos com a peneira de *mesh* 20, que retém os particulados maiores. Para classificação dos particulados de acordo com a sua granulometria, utilizou-se as peneiras de *mesh* 20, 25, 30, 35, 40, e um agitador mecânico, o qual agitava as peneiras por 10 minutos. Depois de peneirados e separados em frações, foram feitas análises da geometria dos particulados utilizando-se um microscópio digital conectado a um

computador. Escolheu-se por amostragem aleatória 20 partículas de cada fração para a análise e, a partir das imagens feitas, pode-se determinar a esfericidade e o arredondamento dos particulados por comparação com a carta de Krumbein & Sloss. <sup>(3)</sup> As médias e desvios-padrão foram determinados.

Ao se ter massa suficiente de particulado na especificação 20/40, três amostras contendo diferentes distribuições granulométricas foram separadas e identificadas como amostras A e B. A proporção granulométrica escolhida para cada amostra é mostrada na Figura 2:

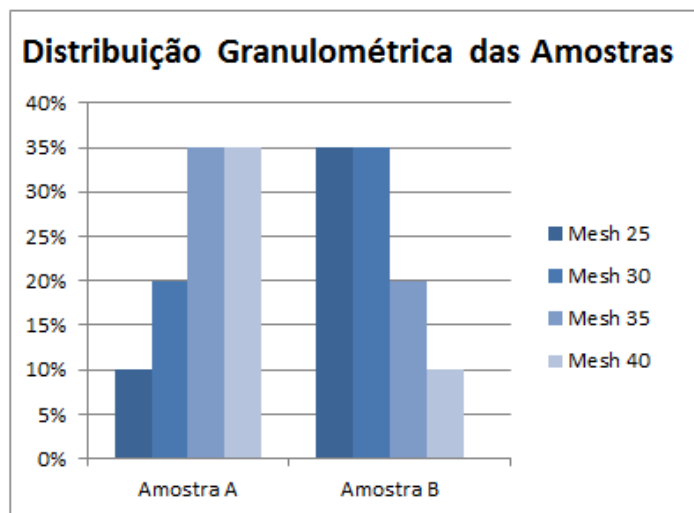


Figura 2: Distribuição granulométricas das amostras A e B

A relação entre a massa e o volume das amostras foram determinados. As massas foram medidas na balança e o volume com o auxílio de um tubo de ensaio graduado. Então, fez-se o cálculo da densidade do particulado de acordo com a seguinte fórmula:

$$\rho_{\text{particulado}} = \frac{m}{v}$$

em que,

$\rho_{\text{particulado}}$  → densidade do particulado (g/cm<sup>3</sup>);

m → massa do particulado (g);

v → volume do particulado (cm<sup>3</sup>).

Com a densidade do particulado determinada para cada amostra, pôde-se calcular a massa necessária para o ensaio de esmagamento, utilizando-se a seguinte fórmula, que relaciona o volume interno da matriz do ensaio de

esmagamento, que segundo a norma API-RP-19C-2008 deve ser de 24,7 cm<sup>3</sup>, com a densidade do particulado:

$$m_p = 24,7 \times \rho_{particulada}$$

O ensaio de esmagamento foi conduzido na mesma prensa hidráulica utilizada na compactação dos corpos de prova utilizando-se duas pressões diferentes: 1257 psi e 4000 psi. As amostras foram ensaiadas, realizando-se tréplicas para cada uma das amostras, em uma célula de teste com 1,5 polegadas de diâmetro interno, a uma força de 3,2 toneladas para a pressão de 4000 psi e 1 tonelada para a pressão de 1257 psi, ambas por 2 minutos, de acordo com a norma API RP 19C. <sup>(3)</sup>

Os resultados do ensaio de esmagamento foram avaliados utilizando-se ANOVA com 95% de confiança para determinar se havia diferença significativa na resistência ao esmagamento entre as condições de teste de cada amostra.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A sílica utilizada como matéria-prima para a obtenção de particulados nesse estudo apresentava tamanho de partícula menor do que o especificado para uso como propante e com o objetivo de aumentar o tamanho de partícula, bem como, promover o aumento da resistência mecânica foi realizada a sinterização de corpos de prova, precedida de compactação. Nos testes realizados foi observado que o material apresentava baixa resistência à compactação, fragmentando-se em pequenas pastilhas mesmo sob baixas pressões. Assim, a pressão de 24 MPa foi definida como a pressão limite para obtenção de corpos de prova nesse estudo.

Com a sinterização foi observado o aumento da densidade dos corpos de prova que foi de 0,60 ± 0,01 g/cm<sup>3</sup> no compactado e alcançou, no mínimo, 1,78 ± 0,07 g/cm<sup>3</sup> quando foi utilizada 1h de isoterma à 1200°C <sup>(7)</sup> (Tabela 1).

Tabela 1: Densidades dos compactados e dos sinterizados

Isoterma em 1200°C	Densidade do Compactado (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade do Sinterizado (g/cm <sup>3</sup> )
1h	0,60 ± 0,01	1,78 ± 0,07
2h	0,59 ± 0,02	1,87 ± 0,02
3h	0,60 ± 0,01	1,85 ± 0,07
4h	0,60 ± 0,01	1,80 ± 0,04

Aumento adicional na densidade foi observado quando passou de 1h para 2h de isoterma à 1200°C, sendo que após esse tempo de isoterma, pode-se afirmar com 95% de confiança, que as variações de densidade não foram significativas. Assim, a melhor condição de sinterização testada foi aquela que utilizou 2h de isoterma à 1200°C que resultou na maior densidade, o que pode ser um indicativo de maior resistência mecânica. Ainda, nessa condição, os sinterizados foram produzidos em menor tempo e com menor gasto de energia.

### Moagem, Peneiramento, Esfericidade e arredondamento

Após a sinterização, os corpos de prova foram fragmentados para produzir particulados nas dimensões especificadas para propantes. Os resultados da classificação granulométrica e morfologia das partículas após a moagem podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2: Eficiência na moagem e morfologia das partículas

	Moagem 1		Moagem 2		Moagem 3		Esfericidade	Arredondamento
	Massa (g)	(%)	Massa (g)	(%)	Massa (g)	(%)		
>25	4,82	14,0	4,54	15,0	6,01	14,0	0,7 ± 0,1	0,5 ± 0,2
>30	5,40	18,0	5,40	18,0	7,49	18,0	0,6 ± 0,2	0,4 ± 0,1
>35	3,28	11,0	3,28	11,0	4,98	12,0	0,5 ± 0,2	0,5 ± 0,2
>40	3,59	11,0	3,15	10,0	5,10	12,0	0,6 ± 0,2	0,3 ± 0,1
Finos	15,32	46,0	13,91	46,0	18,66	44,0		
Eficiência (%)	54		54		56			
Massa Inicial Total (g)	18,16		16,37		23,58			
Média de Finos (%)	45,3 ± 1,2							

O conteúdo compreendido entre as peneiras 20 e 40 é a fração de interesse para aplicação como propante.<sup>(3)</sup> Em média, cerca de 55% da massa total utilizada na moagem foi transformada em particulados desse tamanho e os restantes 45% são constituídos por particulados de menor tamanho (finos), que requereriam etapas adicionais de compactação, sinterização e moagem para formar particulados de tamanho adequado à aplicação. Os valores de esfericidade e arredondamento foram, em média, 0,6 e 0,4, respectivamente, sendo inferiores à especificação indicada em norma. Acredita-se que a baixa eficiência na moagem possa estar relacionada ao fato de que a moagem tenha sido efetuada totalmente de forma manual. Uma forma mecanizada e automatizada de moagem poderia não só aumentar o rendimento, mas, também, produzir particulados mais esféricos e arredondados; assim, mais estudos sobre o assunto devem ser desenvolvidos.

### Resistência ao esmagamento

Na etapa anterior os particulados foram produzidos e classificados quanto ao tamanho, sendo selecionada a fração 20/40 para a caracterização quanto à morfologia (esfericidade e arredondamento). Entre os diferentes requisitos que são

exigidos para aplicação de particulados como propantes, a resistência ao esmagamento é a propriedade que informa sobre a habilidade do propante para atuar como material de sustentação e resistir às pressões exercidas pelas rochas, impedindo que as trincas abertas no fraturamento hidráulico se fechem e ocorra a interrupção na extração dos fluidos. Assim, nesta etapa do estudo foi realizada a análise da influência das proporções granulométricas de um particulado 20/40 na resistência ao esmagamento, quando submetido às pressões de 1257 psi e 4000psi. Duas amostras com proporções granulométricas distintas foram analisadas e os resultados do teste de resistência ao esmagamento pode ser visualizado na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados dos testes de esmagamentos  
(porcentagem de finos gerados)

1247 psi		4000 psi	
A (%)	B (%)	A (%)	B (%)
28,3 ± 0,9	21,9 ± 0,1	54,5 ± 1,7	46,9 ± 1,2

A resistência ao esmagamento é avaliada com base na quantidade de particulado com tamanho menor do que mesh 40, denominado finos, sendo que para passar no teste não deve ser originado mais do que 10% em massa de finos, após submetida a pressão do ensaio. Assim, pode-se observar que a amostra A, que continha maior teor de particulados de menor tamanho (*mesh* 35 e 40), gerou em média 28,3% no ensaio realizado sob menor pressão (1257 psi), indicando que a mesma não atende a resistência mínima para aplicação como um propante. Ainda, os resultados mostram que, como era esperado, o aumento da pressão de teste promoveu a formação de uma maior quantidade de finos (54,5% sob 4000 psi) e o uso de uma pressão cerca de três vezes maior resultou na geração de 2 vezes mais finos.

A amostra B, que continha maior teor de particulados de maior tamanho (*mesh* 25 e 30) gerou, em média, 21,9% e 46,9% de finos sob 1257 psi e 4000 psi, respectivamente.

Os resultados obtidos nas amostras A e B foram comparados por ANOVA e pode-se afirmar com 95% de confiança que há diferença significativa entre eles e, portanto, a distribuição granulométrica nas frações 20/40 teve influência na resistência ao esmagamento, sendo que é possível dizer que a amostra B foi aquela que apresentou maior resistência ao esmagamento, tendo em vista a menor geração de finos observada no teste. Os resultados desse estudo demonstram que a distribuição granulométrica em um propante tem influência na resistência ao esmagamento e que a quantidade de cada uma das frações em uma especificação é um fator relevante, que também deve ser levado em consideração, ao analisar a viabilidade de se utilizar um material como propante.



## 4 CONCLUSÃO

Nesse estudo, particulados sinterizados foram produzidos a partir de sílica amorfa comercial e eles foram avaliados quanto ao atendimento de algumas especificações para aplicação como propantes. O material de partida apresentava tamanho de partícula inferior a especificação e para a produção dos particulados foi necessária a realização de etapas como compactação, sinterização e moagem.

A sílica apresentou baixa resistência à compactação e a pressão de 24 MPa foi definida como a pressão limite para obtenção de corpos de prova nesse estudo. A melhor condição de sinterização testada foi aquela que utilizou 2h de isoterma à 1200°C, sendo que tempos maiores nessa temperatura não promoveram aumento adicional na densidade do sinterizado.

A eficiência média na produção de particulados utilizando a moagem manual foi de 55% na faixa de tamanho 20/40 e esses particulados apresentaram valores de esfericidade e arredondamento iguais a 0,6 e 0,4, respectivamente, sendo inferiores à especificação indicada em norma.

Amostras com proporções granulométricas distintas foram analisadas quanto à resistência ao esmagamento e a amostra que continha maior teor de particulados de maior tamanho (*mesh* 25 e 30) foi aquela que apresentou maior resistência ao esmagamento.

Os resultados desse estudo demonstraram que a distribuição granulométrica em um propante tem influência na resistência ao esmagamento e que a quantidade de cada uma das frações em uma especificação é um fator relevante, que também deve ser levado em consideração, ao analisar a viabilidade de se utilizar um material como propante.

Propõe-se que estudos adicionais sejam realizados com o objetivo de buscar condições de moagem mais eficientes para a produção de particulados na especificação de tamanho. Ainda, são interessantes estudos que possibilitem a obtenção de particulados com valores maiores de esfericidade e arredondamento, o que poderia resultar em material com maior resistência ao esmagamento.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Marina Tecnologia pelo fornecimento do material para as análises e a parceria no desenvolvimento do projeto, à PROPESP/IFSul e ao CNPq pelo apoio financeiro por meio da Chamada CNPq – SETEC/MEC Nº 17/2014 - Apoio a Projetos Cooperativos de Pesquisa Aplicada e de Extensão Tecnológica” com o projeto “RiceProp – BIOMassa em materiais para indústria de petróleo e gás”.

## REFERÊNCIAS

- 1 FILHO, V.J.M.F.; CASTRO, A.O.S. Selecting Oil Wells for Hydraulic Fracturing: A Comparison between Genetic-Fuzzy and Neuro Fuzzy Systems. American Journal of Operations Research, v. 4, p. 202-216, 2014.
- 2 CARVALHO, R.L. **Estimulação em reservatórios carbonáticos**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Petróleo) - Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro.
- 3 American Petroleum Institute. **API RP 19C**: Measurement of Properties of Proppants Used in Hydraulic Fracturing and Gravel-packing Operations. Washington, D.C.: API Publishing Services, 2008. 36 p.
- 4 ZOVEIDAVIANPOOR, M.; GHARIBI, A. Characterization of agro-waste resources for potential use as proppant in hydraulic fracturing. Journal of Natural Gas Science and Engineering, v. 36, p. 679 - 691, 2016.
- 5 BARRETO, Marcelo Neves. **Caracterização de materiais para garantir a condutividade de fraturas hidraulicamente induzidas em poços de petróleo e gás**. 2010. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- 6 ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). **NBR/ISO 13503-2**: Indústria do petróleo e gás natural – Fluidos e materiais de completção. Parte 2: Medição das propriedades de propantes usados em operações de fraturamento hidráulico e *gravel-packing*. Rio de Janeiro, 2011.
- 7 DA SILVA, C. *et al.* Influência da distribuição granulométrica na resistência ao esmagamento de propantes. **6º Seminário de Inovação e Tecnologia do IFSUL – INOVTEC 2017**

# INTERFACE PEÇA-FERRAMENTA NA CONFORMAÇÃO MECÂNICA: CONCEITOS REFERENTES AO ATRITO

Costa, L. L.<sup>1</sup>

Zottis, J.<sup>2</sup>

Lisboa, C. P.<sup>3</sup>

Schaeffer, S.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia, Luana De Lucca de Costa, UFRGS - PPGE3M, luana.lucca@ufrgs.br

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia, Juliana Zottis, UFRGS - PPGE3M, juliana.zottis@ufrgs.br

<sup>3</sup> Engenheira Mecânica, Camila Pereira Lisboa, UFRGS, camila.lisboa@ufrgs.br

<sup>4</sup> Professor Titular, Dr. Lirio Schaeffer, UFRGS - PPGE3M, schaeffer@ufrgs.br

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

## Resumo

O movimento relativo entre a peça e as ferramentas nos processos de conformação origina o atrito. Esse é um dos principais fatores de influência no processo, uma vez que atua de forma direta na deformação plástica da peça produzida. Ainda, atua diretamente na definição das cargas e tensões transferidas para as ferramentas e no acabamento superficial das peças. Este estudo traz uma revisão dos modelos de Amonton-Coulomb, Prandtl e Waheim-Bay capazes de descrever o atrito na interface da peça-ferramenta nos processos de conformação mecânica.

**Palavras-chave:** Atrito; Conformação mecânica; Deformação plástica.

## TOOL-PART INTERFACE IN THE METAL FORMING PROCESS: FRICTION CONCEPTS

### Abstract

The relative movement between a part and tools in the metal forming processes causes friction. It is one of the main influencing factors in the process, it acts directly as a plastic deformation of the produced piece. In addition, it influences the definition of force and tensions applied to the tools and in the superficial finishing of the parts. Herein, we study the Amonton-Coulomb, Prandtl and Waheim-Bay models, capable of describing the friction at the interface between tool and part in the metal forming process.

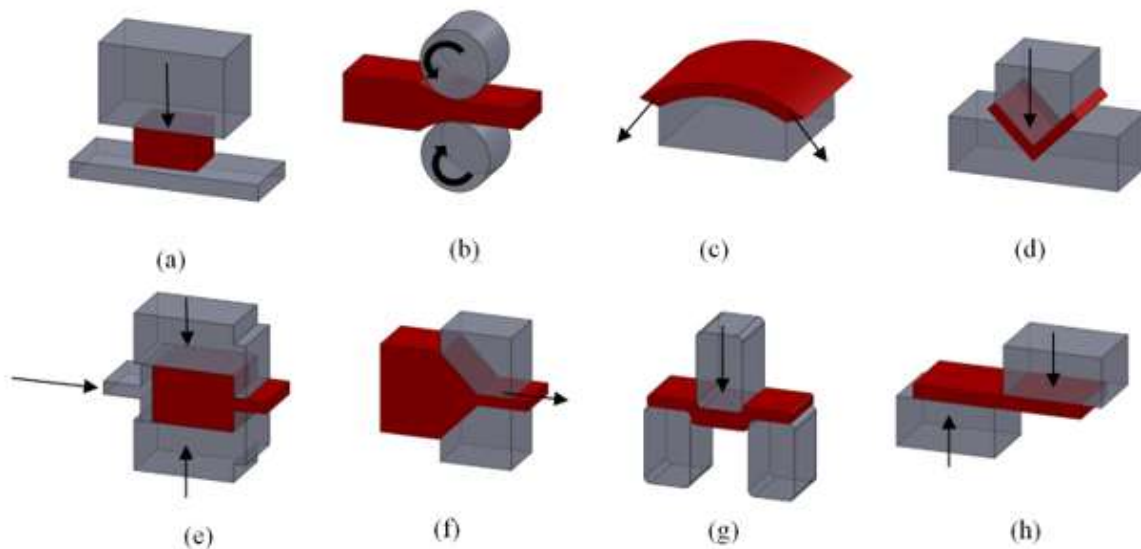
**Key words:** Friction; Metal forming; Plastic deformation.

## 1 INTRODUÇÃO

Os processos de conformação mecânica dos metais alteram a forma de um corpo metálico, inicialmente de forma simples, para uma forma definida e mais complexa de forma permanente a partir da aplicação de tensões externas ocasionando, além de mudanças dimensionais e de forma, alterações das propriedades mecânicas e estruturais dos metais [1,2].

Nos processos por conformação direta, uma força é aplicada à superfície do material provocando o escoamento do metal em direção perpendicular à direção de compressão. Os principais exemplos deste tipo de processo são o forjamento e a laminação. Já nos processo por compressão indireta as forças compressivas são

desenvolvidas pela reação do material com a matriz por meio da aplicação de outra força primária que são frequentemente trativas, e as forças compressivas indiretas, desenvolvidas pela reação do material com a matriz, atingem valores elevados. A trefilação de fios e tubos, a extrusão e o embutimento profundo representam processos de compressão indireta. O estiramento representa processos de conformação por tração, onde a chapa metálica fina é dobrada, formando os contornos da matriz sobre a aplicação de forças trativas. O dobramento envolve a aplicação de momentos fletores à chapa, enquanto o cisalhamento envolve a aplicação de forças cisalhantes de magnitude suficiente para romper o metal do plano de cisalhamento [3,4]. A representação destes processos é apresentada na Figura 1.



**Figura 1-** Representação dos processos típicos de conformação: (a) Forjamento, (b) Laminação, (c) Estiramento, (d) Dobramento, (e) Extrusão, (f) Trefilação, (g) Embutimento Profundo, (h) Cisalhamento [1].

O movimento relativo entre a peça e as ferramentas nos processos de conformação mecânica origina o atrito. Esse é um dos principais fatores de influência no processo, uma vez que atua de forma direta na deformação plástica da peça produzida. As razões para a grande relevância do atrito nos processos de conformação foram enumeradas por [5] *apud* [6].

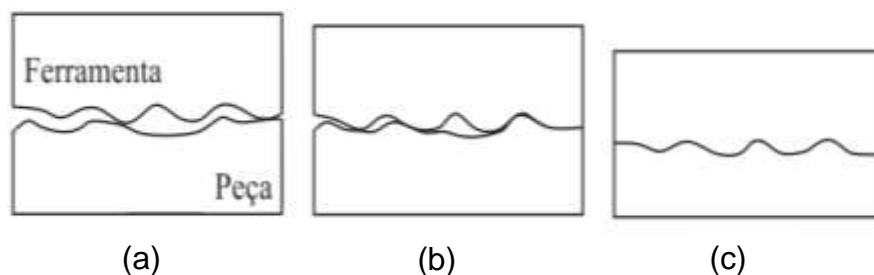
- O atrito influencia diretamente a definição das cargas para conformação, assim como, nas tensões transferidas para as matrizes (ferramentas), ou seja, traz consequências tanto na vida da ferramenta quanto no escoamento do material, sendo o seu efeito reduzido por meio da utilização de lubrificantes;
- Existe uma dependência da integridade e do acabamento superficial da peça na formação do filme lubrificante adequado; caso o filme seja rompido a peça e as ferramentas sofrem danos superficiais.
- A atuação do atrito na relação entre o lubrificante e os componentes da máquina, nas considerações de custo e na conservação de energia.

Ressalta-se que tanto o atrito quando o desgaste, referido em tópico anterior, não são propriedades intrínsecas dos materiais e, sim, da interação dos componentes do sistema tribológico [7]

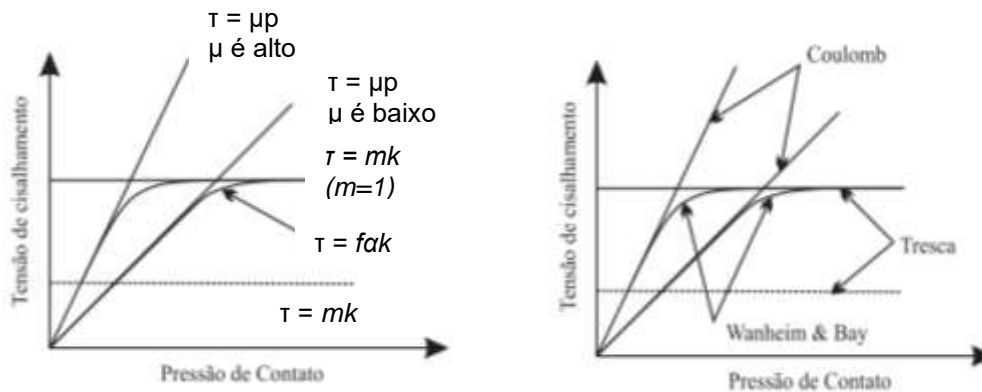
## 2 MODELOS DE DESCRIÇÃO DO ATRITO

Os modelos capazes de descrever o atrito na interface da peça-ferramenta descritos nos parágrafos anteriores, apesar de amplamente utilizados, apresentam limitações, dependendo do processo de conformação em estudo [8]. Podem-se ressaltar os aspectos de cada um deles examinando as Figuras 2 e 3.

- Modelo de atrito de Amonton-Coulomb ( $\mu$ ): indicado para casos em que a pressão de contato seja baixa, visando, por exemplo, processos de conformação com contato entre peça e ferramenta em deslizamento, tais como, laminação, trefilação de arames e conformação de chapas. Sendo aplicado, então, quando a tensão normal média na peça é menor ou igual à tensão de escoamento  $\bar{\sigma}_N \leq k_f$  [6].
- Modelo de atrito de Prandtl ( $m$ ): aplicado em processos de conformação nos quais a pressão normal de contato atinge um valor muito maior que a tensão de escoamento da peça  $\bar{\sigma}_N \gg k_f$ . Os processos de forjamento e extrusão são exemplos onde são assumidos altos valores de pressão. Por outro lado, a utilização desse modelo esbarra na dificuldade do atrito não depender do estado de tensões na interface. Nesse caso as tensões de atrito na interface são superestimadas em processos com baixas tensões normais [6,8,9]. O modelo de atrito de Prandtl é encontrado na literatura, também, como lei do atrito constante e modelo do atrito de Tresca.
- Modelo de atrito de Waheim-Bay ( $f$ ): foi desenvolvido como tentativa de superar as dificuldades dos modelos acima citados. Em termos práticos assume que o atrito é proporcional à tensão normal quando a relação entre a pressão normal aplicada e a tensão de escoamento do material é menor que 1,5. Quando a relação é maior que 3,0 o atrito assume um valor constante. O fator de atrito de Waheim-Bay é expresso na literatura por  $f$  [6,8,9].



**Figura 2** - Interação entre a ferramenta e a peça: (a) com baixa pressão de contato; (b) com pressão de contato moderada; (c) com alta pressão de contato [5] apud [6].



**Figura 3** – Representação dos três modelos de atrito considerados mais representativos das situações características nos processos de conformação mecânica [5] *apud* [6].

## 2.1 Coeficiente de atrito

Conforme a teoria de Amonton-Coulomb, relativa a mecânica de contato entre corpos sólidos, o coeficiente de atrito,  $\mu$ , é definido como o quociente entre a força tangencial,  $F$ , necessária para realizar o movimento relativo entre as superfícies e a força normal aplicada,  $P$ , ou seja:

$$\mu = \frac{F}{P} = \frac{\tau}{\sigma_N} \quad \text{Equação 1}$$

Onde,  $\tau$  é a tensão de cisalhamento e  $\sigma_N$  é a tensão normal de contato entre as superfícies.

Nesta teoria, o aspecto mais importante prende-se ao fato do coeficiente de atrito ser independente das áreas real e aparente de contato, sendo unicamente proporcional as forças aplicadas e conseqüentemente às tensões desenvolvidas entre as superfícies [8].

## 2.2 Fator Interfacial de atrito

A teoria de adesão descrita por [10] determina que a tensão de cisalhamento máxima na interface de contato entre o material e a ferramenta é a tensão limite de elasticidade do material em cisalhamento puro. Entretanto, sabe-se que nos processos de conformação mecânica a tensão de contato entre o material e a ferramenta pode superar em muito este valor. Assim, verifica-se pela Equação 2 que uma vez atingida a tensão de escoamento em cisalhamento do material, um aumento no valor da tensão normal implica na diminuição do atrito. Nesse caso, em que altas tensões de contato estão envolvidas, o atrito deve ser contabilizado por:

$$m = \frac{\tau}{k} \quad \text{Equação 2}$$

Onde  $m$  é o fator de atrito,  $\tau$  é a tensão de cisalhamento na interface material/ferramenta e  $k$  é a tensão limite de elasticidade em cisalhamento puro.

Essa forma alternativa de contabilizar o atrito determina que a tensão de cisalhamento devida ao atrito é independente da tensão de contato entre as superfícies e é conhecida como lei de Prandtl. Os valores limites para o fator de atrito,  $m$ , são:  $m=0$ , quando não existe atrito e  $m=1$ , para condições de aderência. Sempre que as tensões de contato sejam muito elevadas, onde o coeficiente de atrito,  $\mu$ , deixa de ser significativo, a lei de Prandtl deve ser aplicada. No entanto, sua utilização em situações com tensões de contato reduzidas pode levar a estimativas exageradas do valor da tensão de cisalhamento devido ao atrito [10].

### 3 LUBRIFICAÇÃO

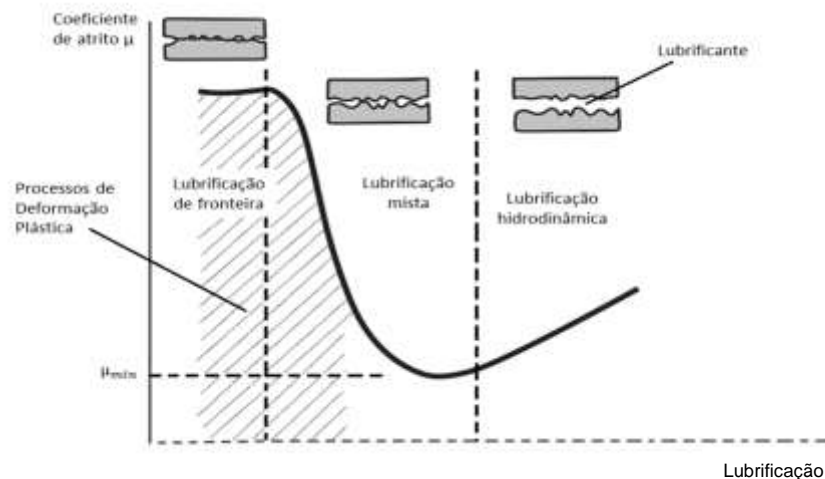
O uso de lubrificantes entre as superfícies metálicas em um processo de conformação mecânica permitem a redução do atrito e desgaste, podem distinguir-se quatro tipos de lubrificação: (i) hidrodinâmica, (ii) de fronteira, (iii) sólida e (iv) o atrito seco (ausência de lubrificantes).

Na lubrificação hidrodinâmica o contato direto entre as superfícies é totalmente eliminado. A carga normal aplicada no contato entre as superfícies é suportada pela película lubrificante, sendo o coeficiente de atrito muito reduzido ( $\mu = 0,001-0,02$ ) e determinado pela viscosidade do lubrificante [10].

A medida que a pressão normal,  $\sigma_N$ , aumenta ou a rugosidade,  $R_a$ , é maior ou a velocidade relativa,  $v_r$ , e/ou viscosidade,  $\eta$ , do fluido diminuem, reduz-se a espessura da camada lubrificante, podendo passar a existir contatos ocasionais entre as asperezas microscópicas da superfície, resultando no aumento do coeficiente de atrito e do desgaste. A Figura 4 mostra a curva de Stribeck [11] onde é possível observar a evolução do coeficiente de atrito quando há transição entre regimes de lubrificação.

A lubrificação de fronteira caracteriza-se pelo lubrificante não ser capaz de assegurar uma película contínua ao longo da interface de contato entre as duas superfícies. Dependendo da espessura e da resistência relativa da película de lubrificante, na prática, o coeficiente de atrito pode variar entre  $0,1 < \mu < 0,4$ . Lubrificantes de extrema pressão foram desenvolvidos para superar os problemas de falta de eficiência dos lubrificantes orgânicos, característicos de de lubrificação, com regimes de elevada pressão e temperaturas [12].

O mecanismo de lubrificação através de película sólida caracteriza-se pela completa separação das superfícies através de uma película sólida com baixa resistência mecânica aos esforços de corte decorrente do movimento relativo entre as superfícies [10].



**Figura 4** – Curva de Stribeck demonstrando a transição entre os regimes de lubrificação hidrodinâmica e de fronteira. Os processos de conformação mecânica possuem regimes de lubrificação situados no interior da região assinalada e tracejada [10].

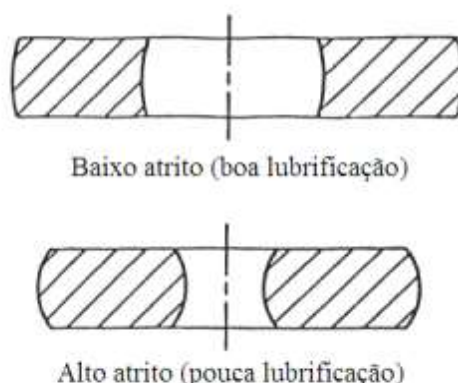
A rugosidade superficial é de extrema importância para a eficiência de um regime de lubrificação, devido a criação de reservatórios de lubrificantes entre picos e vales superficiais [12]. É desejável que a peça e não a ferramenta seja a superfície mais rugosa, pois caso contrário as peças podem ser danificadas pela superfície de maior dureza e rugosidade da ferramenta. Rodrigues e Martins [10] citam que as ferramentas devem possuir rugosidade em torno de  $0,40\mu\text{m}$ .

A interdependência entre o coeficiente de atrito,  $\mu$ , e a rugosidade superficial,  $R_a$ , foi amplamente estudada para diversos processos de conformação mecânica com diferentes materiais de peças e ferramentas, citam-se nas áreas de estampagem a frio e a quente as pesquisas encontradas na literatura [12,13,14,15,16].

#### 4 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO: TESTE DO ANEL

No ensaio de compressão do anel, a altura e os diâmetros externo e interno são conhecidos e utilizados para determinar o coeficiente de atrito na interface entre o corpo de prova e a matriz. A variação do diâmetro interno em função do percentual de redução na altura (compressão). Durante a compressão, uma redução do diâmetro interno representa o aumento do atrito, ou seja, quanto maior for o atrito interfacial, menor será o diâmetro interno do corpo de prova ao final do ensaio.

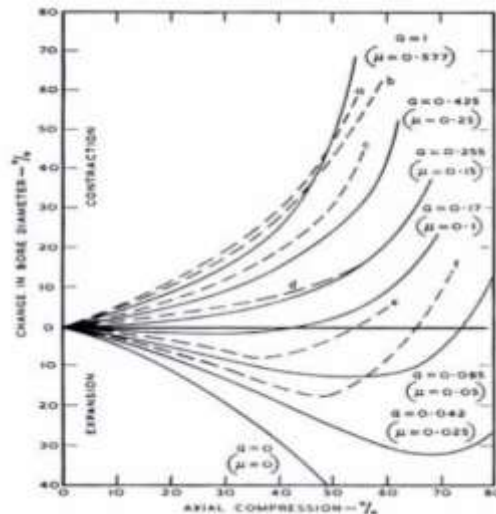
A Figura 5 exibe as características mencionadas anteriormente: (a) anel deformado com baixo atrito, apresentando aumento do diâmetro interno e (b) anel deformado com alto atrito, apresentando redução do diâmetro interno [17].



**Figura 5** – Efeito do atrito sobre o fluxo do metal durante o teste compressão do anel.

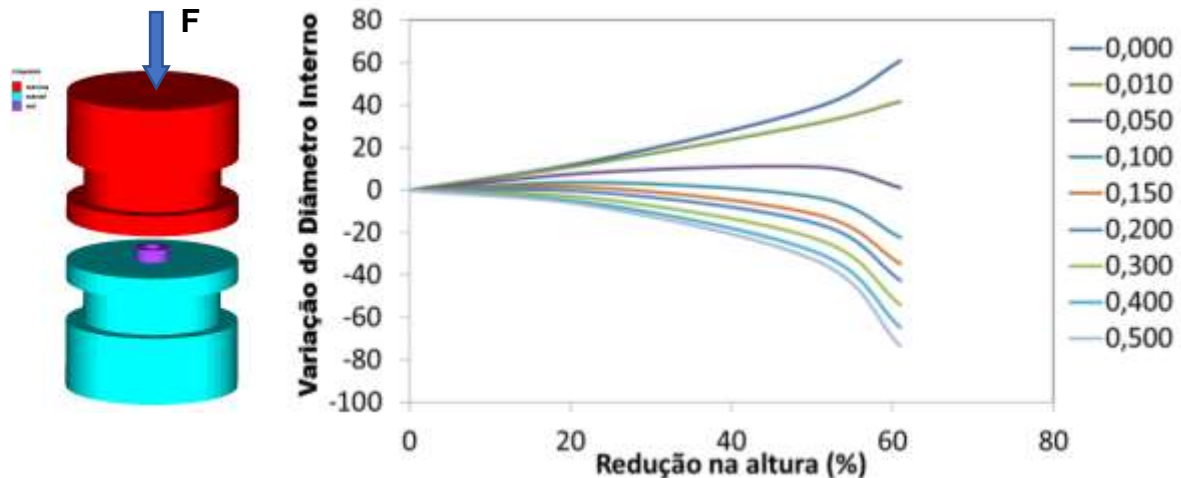
A primeira abordagem do ensaio do anel foi publicada por Hawkyard e Johnson [18] em 1967, onde curvas teóricas obtidas analiticamente e as curvas experimentais obtidas por Male e Cockroft [19] foram comparadas.





**Figura 6** – Gráficos das curvas experimentais (tracejadas) e teóricas (cheia) dos valores de atrito em termos de  $\mu$  [18].

Atualmente, curvas de calibração são obtidas através de softwares de simulação numérica, tais como, DeForm®, Forge®, e Simufact.Forming®. A partir dessas curvas, os valores experimentais são plotados sobre elas e, ao comparar os resultados, o valor de  $\mu$  corresponde a curva de maior aproximação. Na Figura 7 é mostrado um gráfico com as curvas de calibração dos ensaios de compressão do anel realizados no software Simufact.forming para anéis de alumínio AA6351 [20].



**Figura 7** – Gráficos das curvas de calibração para anéis de alumínio AA6351 e matriz de H13 dos valores de atrito em termos de  $\mu$  [20].

## Agradecimentos

Os autores agradecem as agências de fomento: Capes pelo apoio financeiro ao projeto BRAGECRIM (CAPES-AUXPE-2203/2015) e ao CNPq pela bolsa de estudos.

## REFERÊNCIAS

- 1 DIETER, G. E. Metalurgia Mecânica. Ed: Guanabara Dois, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1981.
- 2 HELMAN, H., CETLIN, P. R. Fundamentos Da Conformação Mecânica Dos Metais. 2ª Edição Ed: Guanabara Dois, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.
- 3 FROTA JR., R. T. Avaliação dos parâmetros do processo de forjamento a quente em matriz aberta pelo método dos elementos finitos. Dissertação de Mestrado - Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil, 2009.
- 4 CHIAVERINI, V. Tecnologia Mecânica. Ed: McGraw-Hill, São Paulo, SP, Brasil, 1986.
- 5 VALBERG, H. S. Applied metal forming including FEM analysis (1º ed.). United Kingdom: Cambridge University Press, 2010.
- 6 SERIACOPI, V. Simulação numérica do campo de tensões na microestrutura do aço ferramenta AISI H13 durante o forjamento a quente. São Paulo: Dissertação de Mestrado – USP, 2013.
- 7 RADI, P. A., SANTOS, V. S., BONETTI, L. F., TRAVA-AIROLDI, V. J. Tribologia, conceitos e aplicações. XIII ENCITA. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2007. Disponível em: <http://www.bibl.ita.br/xiiiencita/FUND18.pdf>.
- 8 BRITO, A. M. Análise teórico experimental dos processos de expansão, redução e inversão de extremidades de tubos de parede fina em matriz. Porto Alegre - BR: Tese de doutorado – UFRGS, 2006.
- 9 RODRIGUES, J., MARTINS, P. Tecnologia Mecânica: Tecnologia da deformação Plástica. (Vol. I). Liboa, Portugal: Escolar Editora, 2010.
- 10 PETERSEN, S. B., MARTINS, P. A., BAY, N. Friction in bulk metal forming: a general friction model vs. the law of constant friction. Journal of Materials Processing Technology, 66, p. 186-194, 1997.
- 11 WOYDT, M., WÄSCHE, R. The history of the Stribeck curve and ball bearing steels: The role of Adolf Martens. Wear, 268(11-12), p. 1542-1546, 2010.
- 12 FERRARINI, J. L. (2014). Análise e determinação do coeficiente de atrito no processo de estampagem profunda. Porto Alegre: Tese de doutorado - UFRGS.
- 13 MULVIHILL, M., SUTCLIFFE, P. Effect of tool surface topography on friction with carbon fibre tows for composite fabric forming. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 93, p. 199-206, 2017.
- 14 GATES, N., & FATEMI, A. Friction and roughness induced closure effects on shear-mode crack growth and branching mechanisms. International Journal of Fatigue, 92, p. 442-458, 2016.
- 15 KARBASIAN, H., TEKKAYA, A. A review on hot stamping. Journal of Materials Processing Technology, p. 2130-2118, 2010.
- 16 KONDRATIUK, J., KUHN, P. Tribological investigation on friction and wear behaviour of coatings for hot sheet metal forming. Wear, 270(11-12), p. 839-849, 2011.
- 17 BOESCH, P. B., MARTIS, V., SCHAEFFER, L. Determinação do coeficiente de atrito pelo ensaio de compressão do anel: uma revisão. Revista Thema, Vol 8 (01), 2011.
- 18 HAWKYARD, J.B.; JOHNSON, W. An Analysis of the changes in geometry of a short hollow cylinder during axial compression. Int.J.Mech.Sci.Pergamon Press V. 9, p. 163-182, 1967.
- 19 MALE, A.T., DEPIERRE, V., "The Validity of Mathematical Solutions for Determining Friction From the Ring Compression Test", Journal of Lubrication Technology, July, p. 389-395, 1970.
- 20 COSTA, L. L. Ensaio de Compressão do Anel. Notas de Aula. Laboratório de Conformação Mecânica, 2016.

# CARACTERIZAÇÃO DE SUCATAS DE COMPUTADORES PORTÁTEIS E APLICAÇÃO DE PROCESSAMENTO MECÂNICO À RECUPERAÇÃO DE METAIS ORIUNDOS DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Tobolski, E.<sup>1</sup>  
Lottici, M. M.<sup>2</sup>  
Dorneles, K. E. O.<sup>3</sup>  
Silveira, T. A.<sup>4</sup>  
Moraes, C. A. M.<sup>5</sup>

- <sup>1</sup> Bolsista de Iniciação Científica ICJ Unisinos, Cursando Técnico em Mecânica, Eduarda Tobolski, Fundação Liberato, [eduardatobolski@hotmail.com](mailto:eduardatobolski@hotmail.com)
- <sup>2</sup> Bolsista de Iniciação Científica ICJ Unisinos, Cursando Técnico em Mecânica, Milena Muller Lottici, Fundação Liberato, [milena.muller@hotmail.com](mailto:milena.muller@hotmail.com)
- <sup>3</sup> Graduada em Gestão Ambiental, Técnica em Meio Ambiente, Katia Elizangela Ocanha Dorneles, Unisinos, [katia.ocanha@hotmail.com](mailto:katia.ocanha@hotmail.com)
- <sup>4</sup> Mestranda em Engenharia Civil, Engenheira Ambiental, Tamires Augustin da Silveira, Unisinos, [tamiresas@edu.unisinos.br](mailto:tamiresas@edu.unisinos.br)
- <sup>5</sup> Prof. Dr. Eng. Metalúrgico, Carlos Alberto Mendes Moraes, Programas de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Engenharia Mecânica, Unisinos, [CMORAES@unisinos.br](mailto:CMORAES@unisinos.br)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

## Resumo

Uma das consequências da constante evolução da tecnologia é a crescente geração de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE). Os REEE causam preocupação devido à presença, na sua composição, de valores elevados de metais pesados, tais como chumbo, mercúrio, cádmio, arsênio, cobre, alumínio, dentre outros, impactando áreas onde são indevidamente descartados, prejudicando o ecossistema e, conseqüentemente, o ser humano. Outra consequência é a extração em demasia de matéria prima para a fabricação dos equipamentos, em especial de materiais pouco abundantes, como as terras raras. No entanto, não existem métodos viáveis que supram a demanda de reaproveitamento e reciclagem de todos os materiais presentes nos REEE. A proposta deste trabalho é a recuperação de metais oriundos de placas de circuito impresso (PCIs) de computadores portáteis. Partindo da desmontagem e pesagem das partes dos dispositivos e remoção dos componentes das placas de circuito impresso por processamento térmico, as PCIs lisas passaram por processamento mecânico e foram separadas em cinco frações granulométricas. Na sequência foi feita a análise química por Fluorescência de Raios-x (FRX) para identificar os elementos químicos presentes em cada amostra, analisando qualitativamente e semi-quantitativamente cada fração granulométrica. Após a caracterização os metais foram concentrados a partir de lixiviação por água-régia, e recuperados por método de oxirredução. Então o alumínio em sua forma pura apresentou melhor desempenho para solidificá-los novamente. Para validação dos resultados foi realizado o ensaio de Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) a fim de determinar quais metais foram revertidos em cada fração por meio da precipitação, dentre eles, estão metais como: prata, titânio, rutênio, bromo, estanho, dentre outros. A faixa de recuperação por esse processo esteve entre 51,0% e 100,0%, mostrando-se eficiente.

**Palavras-chave:** computadores portáteis, PCI, resíduos eletrônicos, notebook, metais.

## CHARACTERIZATION OF SCRAPS OF LAPTOPS AND MECHANICAL PROCESSING APPLICATION TO THE RECOVERY OF METALS FROM PRINTED CIRCUIT BOARDS

### Abstract

One of the consequences of the constant evolution of technology is increasing generation of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). The WEEE cause concern due to the presence, in your composition, high values of heavy metals, such as lead, mercury, cadmium, arsenic, copper, aluminum, among others, impacting areas where are improperly discarded, damaging the ecosystem and, Consequently, the human being. Another consequence is too much extraction of raw materials for the manufacture of the equipment, of material little abundant, as the rare earths. However, there are no viable methods that meet the demand of reuse and recycling of all materials present in WEEE. The purpose of this work is the recovery of metals from printed circuit boards (PCBs) of portable computers. Starting from the disassembly and parts of weighing devices and removal of components of printed circuit boards for thermal processing, the smooth PCBs passed through mechanical processing and were separated into five size fractions. Following the chemical analysis by x-ray Fluorescence (FRX) to identify the chemical elements present in each sample, analyzing qualitatively and semi-quantitatively each granulometric fraction. After the characterization were concentrated metals from leaching by water-regia, and recovered by oxidation-reduction method. So the aluminum in your pure form presented best performance to strengthen them again. For validation of the results was carried out the test of electron microscopy by scanning (SEM) in order to determine what metals have been reverted in each fraction by means of precipitation, among them are metals like: silver, titanium, ruthenium, bromine, Tin, and others. The recovery range by this process was 51.0% 100.0% between and, showing efficient.

**Key words:** portable computers, PCI, electronic waste, notebook, metals.

### 1 INTRODUÇÃO

Periodicamente são lançados no mercado consumidor novos aparelhos eletrônicos com a finalidade de facilitar a vida cotidiana, diminuir distâncias, gerar conforto e praticidade. No entanto, devido a constante evolução da tecnologia e à necessidade social de acompanhá-la, faz-se o descarte excessivo de componentes eletrônicos, desde utensílios eletroeletrônicos, até outros equipamentos informáticos e de telecomunicações como computadores, *tablets* e celulares. Com isso, é alarmante a geração de resíduo eletroeletrônico e a falta de reaproveitamento e reciclagem dele. Segundo a ONU, no ano de 2014, o mundo produziu cerca de 42 milhões de toneladas de resíduo eletroeletrônico, sendo que o Brasil teve a marca de 1,4 milhões de toneladas, estando abaixo apenas dos Estados Unidos da América. Esses valores preocupam principalmente por sua composição conter metais pesados, tais como chumbo, mercúrio, cádmio, arsênio, cobre alumínio, entre outros (RIBEIRO, 2013), afetando as áreas onde são indevidamente descartados,

prejudicando o ecossistema e, conseqüentemente, a saúde. Os Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), quando devidamente reciclados e reaproveitados, têm um impacto social e econômico, pois se reduz a necessidade de maior retirada de matéria prima de seu meio natural para a produção de novos componentes eletrônicos. Entretanto, essa reciclagem não é feita em larga escala pela dificuldade encontrada na desmontagem dos aparelhos, separação, classificação, e recuperação dos metais destes componentes, e a baixa disponibilidade de empresas que prestem esse serviço.

Este projeto busca conhecer métodos eficazes de recuperação dos metais contidos nas placas de circuito (PCIs) de computadores portáteis obtidos por uma campanha de Coleta de Resíduos Eletroeletrônicos, realizada pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A partir do agrupamento dos materiais, arrecadados pela Campanha de Coleta de Resíduos Eletrônicos realizada pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos, foi feita a catalogação dos computadores portáteis que foram estudados, indicando a marca, modelo e ano de fabricação. O fluxograma da metodologia empregada está na figura 1.

**Figura 1: Fluxograma da Metodologia**



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2016.

Em seguida foi realizada a pesagem dos dispositivos, previamente ao desmantelamento e separação de cada componente, classificando-os em: PCI, *display*, teclado, bateria, *cooler*, peças metálicas, CD, HD, polímeros e outros.

Com a desmaterialização das placas de circuito impresso dos computadores portáteis, pôde ser feita a dessoldagem dos componentes SMD. Para essa etapa foi utilizado jatos de ar quente regulados na temperatura máxima que o aparelho fornecia de 500°C. Em seguida, foi feita a pesagem de cada PCI e seus substratos, deixando a placa lisa para assim seguir para o moinho de facas, através do qual foi obtido 860 gramas do material sem distinção de tamanho de grão. Após a etapa de moagem, foi executado o processo de separação granulométrica.

O ensaio foi realizado através de dois conjuntos de seis peneiras vazadas de aberturas padronizadas, disponibilizados pelo Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais (LCVMat), conforme a NBR 5734. Os conjuntos foram submetidos a um agitador mecânico localizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMC) da UNISINOS. O material inicial foi dividido em duas amostras, a primeira com 418,1g e a segunda com 416,7g, que consistiu em empilhar as peneiras em ordem crescente e depositar o material sobre a peneira de maior abertura, agitando-as por 15 minutos. Posteriormente, o material retido em cada peneira foi retirado para ser pesado. Com o auxílio de um pincel, no intuito de desprender partículas que possam ter ficado sobrepostas. Em seguida, os grãos submetidos à granulometria foram avaliados pelo ensaio de Espectrometria de Fluorescência de raios-X (FRX), para realizar uma análise elementar e semi-quantitativa para conhecimento da caracterização química dos materiais presentes nas placas de circuito impresso. Eles foram divididos conforme a malha em que ficaram depositados, sendo assim treze pequenas amostras, de doze peneiras e o fundo.

O processo de lixiviação foi baseado em SILVEIRA (2016), dividindo o resíduo em frações, cujo critério de separação foi baseado nos resultados do FRX, usando de base a proporção de metais em cada amostra, tendo como objetivo a diminuição delas, sendo assim:

$$\begin{aligned} F1 &= \text{REEE } 4,75\text{mm} + \text{REEE } 3,35\text{mm}, \\ F2 &= \text{REEE } 1,70\text{mm} + \text{REEE } 0,85\text{mm}, \\ F3 &= \text{REEE } 0,60\text{mm} + \text{REEE } 0,425\text{mm} + \text{REEE } 0,30\text{mm}, \\ F4 &= \text{REEE } 0,21\text{mm} + \text{REEE } 0,15\text{mm} + \text{REEE } 0,106\text{mm} \\ F5 &= \text{REEE } 0,075\text{m} + \text{REEE } 0,053\text{mm} + \text{REEE } \text{Fundo} \end{aligned}$$

De cada fração foi utilizado aproximadamente 1g de material, que foi colocado de forma que ficasse uma amostra homogênea. Adequado à quantidade de cada uma das cinco frações do resíduo moído foi adicionado 20mL de água régia, que foi preparada em uma solução com relação 3:1 de ácido clorídrico 10% para ácido nítrico 65% (HCl:HNO<sub>3</sub>). As frações ficaram em contato com a solução por 23h acondicionados em frascos de vidro fechados, dentro de capela em temperatura ambiente. Posteriormente, foi utilizado papel filtro J Prolab, com porosidade de 8µm para fazer a filtragem. A partir disso, foi feita a filtragem do material lixiviado, que, então, descansou por 4 horas em Forno Mufla a 60°C.

O método escolhido para fazer o processo de precipitação foi a oxirredução, utilizando o alumínio como meio reativo, por ter maior reatividade em comparação aos metais presentes nas amostras, segundo a tabela de reatividade de química inorgânica. O ensaio consiste na reação de simples troca em que o alumínio toma o lugar do metal em forma de sal, obtido no processo de lixiviação, e torna-o em seu estado sólido a condições de pureza. Foram feitos dois ensaios, o primeiro utilizando alumínio comercial que ficou imerso na solução durante, aproximadamente, uma hora, e a filtragem do metal que precipitou e decantou-se. O segundo ensaio ocorreu da mesma forma, porém utilizando alumínio puro.

Para obter os resultados de recuperação dos metais foi utilizado as seguintes formulas.

$$F_f = (F_{ox\ 0,05}) + F_o$$

$$P = M_t - (M_{al} + F_f)$$

$$P_f = \frac{(P \times 94,875)}{100}$$

$$\eta = \frac{P_f}{L} \times 100$$

Onde:

F<sub>0</sub> – massa inicial do filtro

F<sub>f</sub> – massa final do filtro

M<sub>t</sub> – massa total pesada

M<sub>al</sub> – massa do alumínio

P – massa de precipitados

P<sub>f</sub> – massa real de precipitados

η – eficiência

L – massa de metais lixiviados

O ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi realizado no itt Fóssil na Universidade do Vale do Rio dos Sinos em equipamento de modelo EVO MA 15 e fabricante Carl Zeiss SMT. A técnica utilizada foi de Espectrometria de Raios-X de dispersão de energia (EDS) para uma análise elementar e de caracterização química. As amostras foram colocadas em lâminas de carbono e metalizadas em ouro.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizada a catalogação de cinco computadores portáteis, arrecadados pela Campanha de Coleta de Resíduos Eletrônicos realizada pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos, conforme tabela 1.

**Tabela 1: Catalogação dos computadores portáteis.**

Código	Modelo	Ano de fabricação
A	TDI Eletronics 7521P	2001
B	ACER zdi 5920	2008
C	ACER Aspire One 532h 2035	2010
D	Toshiba G66c00gc10	2011
E	MSI MS-1454	2011

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2016.

Em seguida foi realizado o desmantelamento físico, assim, classificando os computadores portáteis em: PCI, *display*, teclado, bateria, *cooler*, peças metálicas, CD, HD, polímeros e outros. Na tabela 2 encontram-se as respectivas massas de cada componente.

**Tabela 2: Valores da massa de cada componente, em gramas.**

Código	A	B	C	D	E
PCI	434,616	293,02	133,683	298,909	292,589
<i>Display</i>	496,335	318,221	161,93	490,625	195,91
Teclado	117,896	95,926	67,78	115,74	97,226
Bateria	425,65	300,703	187,169	305	307,998
<i>Cooler</i>	157,464	33,373	15,321	34,128	65,013
Peças Metálicas	581,642	200,614	70,351	332,145	236,555
CD	113,166	54,585	0	72,614	53,938
HD	82,982	0	78,605	78,35	0
Polímeros	744,938	870,145	341,493	772,822	542,712
Outros	236,538	159,413	30,642	219,667	92,932

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2016.

Quanto aos componentes integrantes dos computadores portáteis, a média obtida mostra um valor mássico mais quantitativo para os polímeros (29,6%), seguindo do *display* (14,3%), bateria (14,05%), PCI (12,8%) e peças metálicas (11,4%).

Após o processo de dessoldagem constatou-se que 45,39% da massa é representada pela placa de circuito impresso lisa e, 50,7% pelos componentes soldados (substratos) conforme tabela 4.

**Tabela 3: PCIs após dessoldagem**

Código	PCI Inteira (g)	Substratos (g)	PCI Lisa (g)
A	293,34	145,86	147,48
B	133,68	72,65	47,65
C	292,6	117,41	147,63
D	665,5	535	131
E	299	86,25	212

Fonte: As autoras, 2017

Com o auxílio do moinho de facas, foi obtido 860 gramas de material moído, sem distinção de tamanho de grão, o material foi submetido ao ensaio de granulometria. A tabela 5 (abaixo) indica o valor de massa de cada amostra, conforme o tamanho da malha e o fundo em que o grão ficou depositado.



**Tabela 4: Valores obtidos na separação granulométrica.**

Abertura da malha (mm)	Amostra 1	Amostra 2
4,8	3,5g	3,2g
3,5	1,5g	1,5g
1,7	237,2g	281,0g
0,85	107,4g	66,2g
0,6	12,1g	9,0g
0,425	14,2g	12,3g
0,3	14,1g	15,7g
0,21	10,3g	10,5g
0,15	4,1g	5,3g
0,106	3,2g	3,4g
0,075	3,4g	4,4g
0,053	3,4g	2,8g
Fundo	1,4g	0,7g

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2017.

Foi possível identificar que há uma grande variação de tamanho de partículas, e que as maiores quantidades em massa ficaram concentradas na granulometria de 1,7 mm e 0,85 mm.

Os resultados encontrados para a análise de FRX das placas de circuito impresso estão apresentados na tabela 6, em elementos identificados como majoritários (>50%), menor quantidade (5% < x < 50%) e elementos traços (<5%), por cada fração de PCI analisada.

**Tabela 5: Resultado da Fluorescência de Raio-X**

Descrição da amostra	Elementos majoritários (>50%)	Menor quantidade (5% < x < 50%)	Elementos Traços (< 5%)
REEE 4,75mm	-	Cu, Si, Ni, Br, Ba, Ca	Fe, Sn, S, P, Au, I, Ag, Sr
REEE 3,35mm	-	Si, Ca, Br, Cu	Fe, Ba, Ti, Sn, S, K, Sr, Ac, Ni, Zr
REEE 1,7mm	-	Br, Cu, Si, Ca	Ti, Fe, Sn, S, Sr, Ni, I
REEE 850 µm	-	Cu, Si, Br, Ca, Ba	Sn, S, Pb, Fe, Sr, Ni, Fr, Zr
REEE 600 µm	-	Cu, Si, Br, Ca, Sn	Fe, Ti, I, S, Ag, Ni, Ac, Sr, Zr
REEE 425 µm	-	Cu, Si, Br, Ca, Sn	Ti, Fe, I, Ni, S, Ag, Pb, Sr, Zr
REEE 300 µm	-	Cu, Si, Br, Ca, Ba, Sn	Fe, S, Pb, I, Ag, Ni, Sr, Ac, Fr
REEE 212 µm	-	Cu, Br, Si, Ca, Ba, Sn	Fe, S, Ti, I, Ni, Pb, Sr, Ag, Ac, Zr
REEE 150 µm	-	Cu, Br, Si, Ca, Ba, Sn	Fe, S, I, Pb, Ni, Sr, Ag, Ac, Fr, Zr
REEE 106,4 µm	-	Cu, Br, Si, Ba, Ca, Sn	Fe, S, I, Pb, Ag, P, Sr, Ni, Ac, Zr, Fr
REEE 75 µm	-	Br, Si, Cu, Ca, Ba	Sn, Fe, S, Pb, I, Sr, Ag, Ni, Ac, K, Fr, Zr
REEE 53 µm	-	Si, Ca, Br, Cu, Ba, Fe	Sn, S, Pb, Sr, Ag, Ac, K, Zn, Ni, Fr, Zr
REEE Fundo	-	Si, Ca, Cu, Br, Fe, Ba, Sn	Pb, I, S, Sr, Ag, Ni, K, Fr, Zn

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2017.

A partir dos resultados desta análise verificou-se que todos os elementos presentes estão abaixo de 50% em massa. No entanto, em menor quantidade (5% < x < 50%) identificou-se a presença de Cobre, Silício, Cálcio e Bromo de forma significativa, apresentando valores em todas as amostras. Foi observado ainda, em nove frações a presença de Bário enquanto Estanho foi identificado em sete frações distintas. Ferro e Níquel também estão presentes, porém em poucas frações. A presença de Cu está associada às trilhas das PCIs que são fabricadas desse

material, explicando o fato de sua grande presença, e o Si por ser utilizado na soldagem dos componentes nas PCIs.

Nos Elementos Traços (< 5%), o Estrôncio e Enxofre foram os materiais que estiveram presentes em todas as frações, ferro em onze de treze, níquel em doze, iodo e prata em dez amostras e ouro em uma. Demais elementos em menor quantidade, acredita-se estarem relacionadas a resquícios de dispositivos previamente soldados na placa.

A partir da lixiviação, foi possível observar coloração esverdeada e azulada nas amostras lixiviadas, o que representa o material em maior quantidade e o que mais reagiu com a solução de água régia (3HCl:1HNO<sub>3</sub>). O tom de azul esverdeado é devido a grande presença de cobre, e o tom de verde que ficou mais característico na F<sub>5</sub> é característico do Ferro.

### Imagem 2: Material lixiviado em ácido



Fonte: As autoras, 2017.

Em relação à porcentagem de metal, sabendo que a solução de água régia lixivia os metais, mantendo polímeros e outros no estado sólido, em média, 34% em massa do resíduo de PCI é composto por material metálico. Na tabela 7 estão apresentadas as quantidades de massa de cada amostra e o desconto feito a partir das massas dos filtros para obter a porcentagem de metal presente:

**Tabela 6: Quantidade de metais após a lixiviação**

Filtros	Massa das amostras	Filtros vazios	Massa dos filtros	Massa dos metais	% de metais lixiviados
F <sub>1</sub>	1,007	1,554	2,248	0,313	31%
F <sub>2</sub>	1,018	1,553	2,178	0,393	39%
F <sub>3</sub>	1,008	1,579	2,093	0,494	49%
F <sub>4</sub>	1,041	1,555	2,284	0,312	30%
F <sub>5</sub>	1,001	1,562	2,354	0,209	21%

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2017

A partir do processo de lixiviação ficou notório a maior presença de materiais poliméricos ou cerâmicos nas placas de circuito impresso, sendo que a maior concentração de metais ficou localizado nas frações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>. Com os valores obtidos se confirma o potencial de recuperação dos metais presentes nesse tipo de resíduo, e que o processamento mecânico anterior garante grande parte do metal segregado.

Sabendo que a solução de água régia lixivia os metais, mantendo polímeros e outros no estado sólido, foi possível obter a massa de não metálicos pesando o

material do filtro vazio antes do ensaio. Após serem retirados do forno, os filtros com os materiais não lixiviados foram pesados. Para não haver perda de material, as amostras foram pesadas nos filtros, logo, a quantidade de metais foi obtida através da subtração de massa inicial (1g) da quantidade retida no filtro. Após todo o processo de lixiviação, as amostras lixiviadas foram armazenadas em frascos de vidros devidamente fechados e identificados.

Foi utilizado alumínio em sua forma pura, e para atingir os resultados, foram utilizados os mesmos procedimentos anteriores, também descontando as variáveis de acúmulo de cloro em função do ácido clorídrico utilizado na lixiviação e umidade dos filtros, conforme apresenta a tabela 9.

**Tabela 7 - massa total e eficiência do segundo teste de precipitação (valores sobre 1g).**

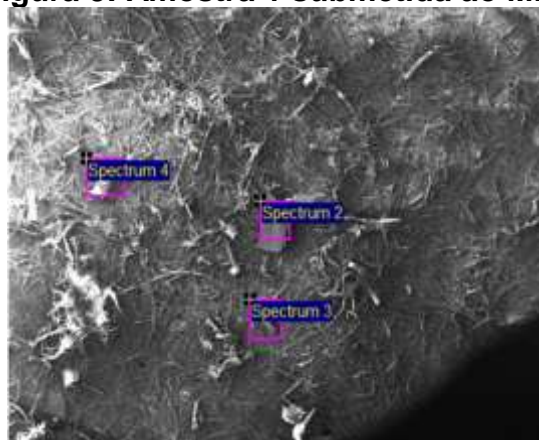
Amostra	Total precipitado	Eficiência
1	0,214g	63,69%
2	0,277g	79,60%
3	0,246g	51,03%
4	0,235g	100,00%
5	0,125g	68,30%

Fonte: As autoras, 2017

Com os resultados encontrados na análise, pode-se indicar a viabilidade do método de recuperação dos metais, visto que, com vários dos metais encontrados na Fluorescência de Raio-X, confirmou-se através da técnica do MEV que esses foram recuperados.

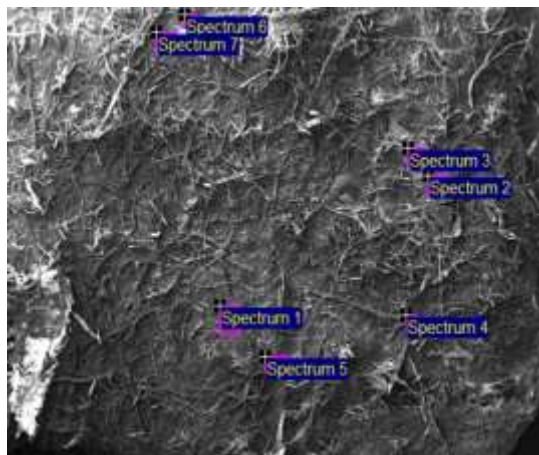
É possível observar com maior clareza os resultados do microscópio eletrônico de varredura nas imagens das figuras 3 a 7.

**Figura 3: Amostra 1 submetida ao MEV**



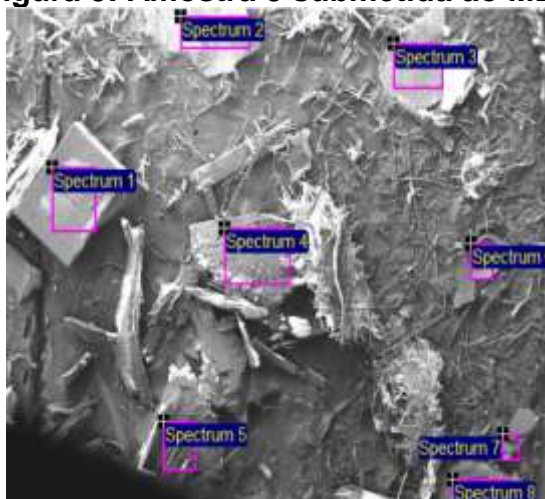
Fonte: As autoras, 2017

**Figura 4: Amostra 2 submetida ao MEV**



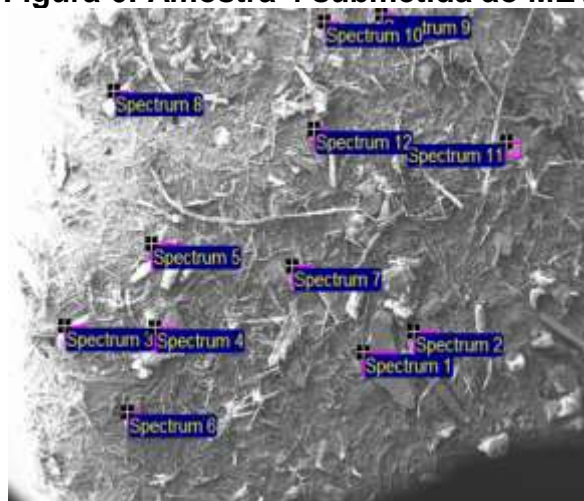
Fonte: As autoras, 2017

Figura 5: Amostra 3 submetida ao MEV



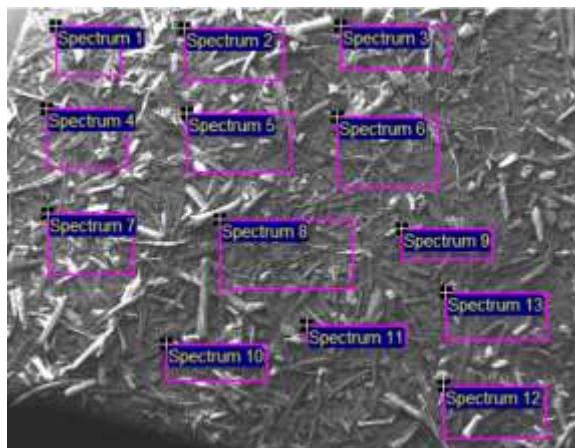
Fonte: As autoras, 2017

Figura 6: Amostra 4 submetida ao MEV



Fonte: As autoras, 2017

Figura 7: Amostra 5 submetida ao MEV



Fonte: As autoras, 2017

Nas figuras, as áreas marcadas em rosa equivalem ao material que foi verificado, buscando delas os componentes compostos. Dessa forma a tabela 9 apresenta os metais constituintes correspondentes a cada amostra.

**Tabela 8: Metais encontrados no MEV**

Amostra	Metais presentes
1	Silício, Cobre, Bário e Magnésio
2	Silício, Cobre, Bromo, Bário
3	Silício, Cálcio, Titânio, Cobre, Bromo, Rutênio, Prata, Bário
4	Magnésio, Silício, Cálcio, Titânio, Cobre, Bromo, Estanho e Bário
5	Silício, Cálcio Titânio, Ferro, Bromo, Bário, Níquel, Prata e Bromo

Fonte: As autoras, 2017.

Os metais que aparecem em maior abundância ou estão presentes em todas as amostras foram o Silício, Cobre e Bário, e a presença de Bromo também foi significativa, em que no FRX apresentaram como elementos em maior quantidade na maioria das amostras. O aparecimento de Prata e Titânio são significantes pelo seu valor econômico. O Ferro evidente na amostra cinco confirma o FRX e a lixiviação em que o frasco correspondente teve cor esverdeada por sua causa, onde ele aparece em maior quantidade na quinta amostra. A não presença de outros metais não representa sua não recuperação, pois a microscopia eletrônica de varredura dá uma indicação semi-quantitativa da presença dos elementos metálicos.

#### 4 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos no ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura, conclui-se que a caracterização e recuperação dos metais presentes em placas de circuito impresso de computadores portáteis é viável. A partir do processo realizado, foi possível chegar às seguintes constatações:

- nos computadores portáteis a massa das PCIs equivale em média aproximadamente 12,8% do total;
- os polímeros representam o valor mais quantitativo (29,6%) em massa;
- as placas de circuito impresso são compostas de, em média, 34% de materiais metálicos, o restante representa os poliméricos e cerâmicos;
- os metais mais presentes são o Cobre, Silício, Cálcio e Bromo;
- A partir do FRX, foi encontrado vinte diferentes elementos químicos, em sua maioria metais, nas PCIs;
- o alumínio puro registrou valores superiores, melhorando a técnica e, assim, recuperando, em média, 72,5% dos metais;
- nos resultados encontrados na análise do MEV, foi possível identificar a recuperação de diversos metais.

A partir das comprovações encontradas, pode-se indicar que a metodologia aplicada se mostrou com potencial, sendo possível a recuperação dos metais presentes em placas de circuito impresso de computadores portáteis através do desmantelamento físico. Como a forma recuperada dos metais está em sua forma pura, o processo de recolocá-los na cadeia produtiva para diminuição da extração de minério da natureza pode ocorrer por, podendo, então, seguir para seu reaproveitamento em qualquer ramo.

Em relação aos reagentes ácidos utilizados, eles foram devidamente descartados, passando por processo de neutralização e enviados para estação de efluentes da UNISINOS onde são tratados para evitar contaminações, obedecendo procedimentos do Sistema de Gestão Ambiental, certificado na ISO 14001.

## **Agradecimentos**

Agradecemos ao CNPq, Nucmat, Universidade do Vale do Rio dos Sinos e Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5734: Peneiras para ensaio - especificação, 1989. 14 p.
- 2 Departamento de Química Inorgânica – IQ / UFRJ. 8.REATIVIDADE DOS METAIS. Disponível em: <[http://www.dqi.iq.ufrj.br/iqg128\\_a8\\_reativ\\_metais.pdf/](http://www.dqi.iq.ufrj.br/iqg128_a8_reativ_metais.pdf/)>. Acesso em: 30 ago. 2017
- 3 RIBEIRO, Pedro P. M. Concentração de metais contidos em placas de circuito impresso de computadores descartados. 2013. 66f. Projeto de graduação de Engenharia Metalúrgica – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013
- 4 SILVEIRA, Tamires Augustin. Caracterização de sucatas de smartphones e aplicação de processamento mecânico a recuperação de materiais oriundos de placas de circuito impresso. 2016. 77f. Trabalho de Conclusão de Curso em

Bacharel em Engenharia Ambiental – Escola Politécnica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, 2016

5 SPITZCOVSKY, Débora. ONU lança primeiro mapa global de lixo eletrônico. 2013. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/mundo/onu-lanca-primeiro-mapa-global-de-lixo-eletronico/>> - Acesso em 09 de novembro de 201



## A UTILIZAÇÃO DO TETRAEDRO DOS MATERIAIS COMO FERRAMENTA AUXILIAR NA VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E INDUSTRIAIS

Kappler, G.<sup>1</sup>  
Silveira, T.A.<sup>2</sup>  
Garbin, M.<sup>3</sup>  
Moraes, C. A. M.<sup>4</sup>  
Brehm, F. A.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> *Doutorando em Engenharia Civil, MEng. Genyr Kappler, UNISINOS, genyrk@edu.unisinos.br.*

<sup>2</sup> *Mestranda em Engenharia Civil, Engenharia Ambiental, Tamires Augustin da Silveira, UNISINOS, tamiresas@edu.unisinos.br.*

<sup>3</sup> *Mestranda em Engenharia Civil, Gestora Ambiental, Marilise Garbin, UNISINOS, mgarbin@edu.unisinos.br.*

<sup>4</sup> *Prof. Dr. Eng. Metalúrgico, Carlos Alberto Mendes Moraes, UNISINOS, cmoraes@unisinos.br.*

<sup>5</sup> *Profa. Dra. Química Feliciane Andrade Brehm, UNISINOS, felicianeb@unisinos.br.*

### Resumo

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o uso do Tetraedro dos materiais como ferramenta auxiliar na valorização dos resíduos sólidos urbanos e industriais. O tetraedro é uma metodologia da ciência dos materiais que permite a visualização dos principais influenciadores a serem avaliados no processamento de materiais. Ele pode ser utilizado quando se tem por objetivo a valorização de resíduos como coprodutos, em que é necessário considerar também o processamento, composição, estrutura, propriedades e aplicação destes materiais. Os resíduos passam a ser vistos como um problema quando não se percebe seu potencial valor, comportamento este que acarreta danos indesejáveis ao meio ambiente. Isto é expresso pelo baixo índice de reciclagem, em especial dos RSUs, que tem levado ao descarte em aterros ou em locais impróprios volumes gigantescos de resíduos, transformando materiais com potencial econômico e energético em passivo ambiental. O resíduo sólido industrial, como as sucatas metálicas, por exemplo, tende a ser um resíduo uniforme, o que facilita a segregação e caracterização, facilitando seu uso como matéria-prima. No entanto, a complexidade de alguns processos e produtos pode comprometer a qualidade dos resíduos para a reciclagem. Alguns fatores que influenciam na qualidade são: a mistura de materiais complexos na fabricação de um produto na indústria eletrônica, por exemplo, e a enorme variedade de elementos químicos que podem estar aderidos ou dissolvidos na sucata de metal. Constatou-se, com base no estudo realizado, que o tetraedro dos materiais pode, não apenas servir como ferramenta auxiliar na valorização de resíduos, mas também pode ser utilizado na fase de desenvolvimento ou melhoria de produtos, visando um ciclo fechado dos materiais.

**Palavras-chave:** Tetraedro dos materiais; valorização de resíduos; resíduos sólidos urbanos; resíduos sólidos industriais, Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos.

### THE USE OF THE TETRAHEDRON OF MATERIALS AS AN AUXILIARY TOOL FOR URBAN AND INDUSTRIAL SOLID WASTES RECOVERY

#### Abstract

The present study aims to introduce the use of Tetrahedron of materials as an

auxiliary tool for urban and industrial solid waste recovery. The tetrahedron is a materials science's methodology which allows the visualization of the main influencers to be evaluated in the processing of materials. It can be used when aiming at the recovery of waste as co-products, in which it is also necessary to consider the processing, composition, structure, properties and application of these materials. This is expressed by the low recycling rate, especially of the MSWs, which has led huge volumes of waste to the disposal in landfills or in inappropriate places, transforming materials with economic and energy potential into environmental liabilities. Industrial solid waste, such as metallic scrap, for instance, tends to be a uniform residue, which facilitates segregation and characterization, facilitating its use as raw material. However, the complexity of some processes and products may compromise the quality of the waste for recycling. Some factors influencing on quality are: the mixing of complex materials at manufacturing a product in the electronics industry, for example, and the huge variety of chemical elements that can be attached or dissolved in a metal scrap. It was found, based on this study that the Tetrahedron of materials can not only serve as a tool to assist in the recovery of waste, but it can also be used in the development or improvement of products, aiming a closed loop of materials.

**Key words:** Tetrahedron of materials; valorization of waste; municipal solid waste; industrial solid waste; Electronic waste.

## 1. INTRODUÇÃO

Os crescimentos populacionais e econômicos associados à melhoria no padrão de vida das pessoas impulsionaram o crescimento da produção industrial e conseqüentemente a extração de recursos naturais, consumo de água e de energia, aumentando a taxa de geração de resíduos (MINGHUA et al., 2009 e UDOMSRI, 2011). O modelo de produção e consumo adotado vem mostrando limitações quanto a sua capacidade de sustentação devido, principalmente, a fatores como: limitações da disponibilidade e finitude de recursos não renováveis; a complexidade das estruturas dos elementos químicos, compósitos e ligas utilizados nos processos industriais; a elevada geração de resíduos oriundos dos processos de produção e o descarte de materiais pós-consumo (FAUCHEUX E NOËL, 1995). O suprimento de água, energia e a gestão dos resíduos estão entre as questões mais relevantes para o desenvolvimento sustentável. A gestão dos resíduos pode assumir um papel central nesse tema. Enquanto que, por um lado o design e gestão adequados podem minimizar o desperdício e o consumo, reduzindo a necessidade de mineração, por outro lado o conhecimento de suas propriedades e uso de tecnologia podem reduzir a contaminação da água e até mesmo gerar energia (NASCIMENTO, 2012).

Os resíduos são classificados conforme a fonte de geração em 3 grandes grupos, como: resíduos sólidos urbanos – RSU, resíduos sólidos industriais – RSI e resíduos especiais. Atualmente são gerados de 1,7 a 9 bilhões de toneladas métricas de resíduos sólidos urbanos por ano (CHEN et al., 2016). Em 2015 foram gerados no Brasil 79,9 milhões de toneladas de RSU. Destes, 42,6 milhões de toneladas foram destinados a aterros sanitários, 30 milhões de toneladas foram depositados em lixões ou aterros controlados, e os restantes 7,3 milhões de toneladas não foram coletados (ABRELPE, 2016). De acordo com o relatório anual do Ministério das Cidades (2017), o SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento foram descartados, em média, como rejeitos no ano de 2014 no Brasil 97,8% dos recicláveis secos, frente à massa total coletada. Parte dos resíduos

gerados apresentam componentes que representam risco à saúde. Estes resíduos necessitam cuidados especiais e, portanto, são geridos de forma diferenciada. Neste grupo se encontram os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE), que de acordo com o relatório divulgado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA são geradas anualmente 41 milhões de toneladas desse tipo de resíduo. Destes, entre 60 a 90% ou são comercializados ilegalmente ou descartados de forma irregular. Estima-se que até o final de 2017 sejam gerados no mundo 50 milhões de toneladas (PNUMA, 2015). Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI, a previsão é que sejam gerados, somente no Brasil e no ano de 2017, aproximadamente 1,37 milhões de toneladas de REEE (ABDI, 2013). Ainda que o assunto esteja sendo discutido mundialmente, o Brasil ainda não tem uma legislação específica que regulamente os REEE (SILVAS, 2014).

A capacidade de transformação dos materiais pela indústria atinge um alto nível de sofisticação e controle, no entanto os processos produtivos e a concepção dos produtos nem sempre estão fundamentados nos preceitos de maior eficácia ambiental e econômica. Em geral as perdas, ou desperdícios, ocorrem por falhas de processo ou planejamento, e uma das maneiras de se identifica-los é manter o controle do processo, e para controlá-lo é necessário conhecê-lo (CAMPOS, 1999). Segundo Campos (1999), “manter sob controle é saber localizar o problema, analisar o processo, padronizar e estabelecer itens de controle de tal forma que o problema nunca mais ocorra”. Uma maneira de se evitar o desperdício e minimizar o dano ambiental é por meio do planejamento e da adoção de tecnologias limpas. A gestão de resíduos sólidos é uma tecnologia sustentável emergente no mundo industrial moderno (GABBAR e ABOUGHALY, 2017), e está sujeita a normas legais e diretrizes que sugerem as melhores práticas disponíveis, considerando todo o ciclo de vida do material.

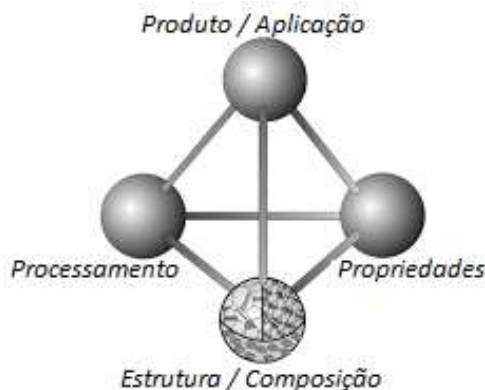
Com o propósito de minimizar o dano, diversas ferramentas avançadas de gestão ambiental vêm sendo empregadas. Desde selos ambientais para produtos orgânicos e normas de qualidade ambiental como a norma ISO 14.001, que são facultativos, até exigências legais de licenciamento ambiental para permissão de operação. No campo do gerenciamento dos resíduos sólidos foi criada, em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei Federal 12.305, na tentativa de enfrentar os principais desafios advindos do manejo inadequado dos resíduos sólidos no Brasil. Recentemente a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) vem sendo adotada pelas indústrias para auxiliá-las na avaliação de seus processos. De acordo com o IBICT Brasil (2017), a Avaliação do Ciclo de Vida trata-se de uma técnica desenvolvida visando à avaliação dos impactos ambientais, podendo ser utilizada para: desenvolvimento e melhoria do produto, definição de planejamentos estratégicos, definição políticas de públicas, gestão de impactos ambientais de produtos e serviços e marketing responsável.

Os conceitos de Ecologia e Simbiose Industrial também vêm sendo aplicados nas indústrias. A ecologia industrial compreende a teoria e a prática para a implementação efetiva do desenvolvimento sustentável. Nela se considera que o sistema industrial não apenas interage com o meio ambiente, mas é parte dependente dele, levando em consideração as necessidades econômicas humanas, sociais e ambientais, que são os pilares do desenvolvimento sustentável, podendo ser realizada em 3 âmbitos: Intraorganizacional, dentro da empresa, Interorganizacional, entre empresas, regional e global (MONTANÓ, 2017). A Simbiose Industrial pode ser definida como uma interação entre diferentes indústrias, onde a soma dos benefícios coletivos é maior que a soma dos benefícios

individuais. A simbiose pode envolver, além de outras indústrias, outros tipos de setores, como centros de pesquisa, órgãos governamentais e universidades. Normalmente, a ideia da interação entre indústrias envolve o compartilhamento e reaproveitamento de materiais como resíduos, efluentes, energia e matérias primas. (MONTANÕ, 2017).

Novos modelos de gestão de resíduos trazem propostas de ação focada na economia circular (COM, 2015). A proposta sugere uma transição para um modelo em que os materiais e recursos se mantenham no ciclo econômico pelo maior tempo possível. A economia circular começa no início do ciclo de vida dos produtos. Tanto a fase de projeto como os processos de produção impactam na extração de recursos, no uso destes e na geração de resíduos ao longo do ciclo de vida dos produtos.

Para um aproveitamento eficaz dos materiais e da energia neles contida se faz necessário um profundo conhecimento das características dos materiais. O tetraedro dos materiais é uma metodologia da engenharia dos materiais utilizada no desenvolvimento de produtos e suas aplicações, na qual os vértices representam a estrutura e a composição química do material, o processamento e as propriedades do mesmo (ENGENHEIRO DOS MATERIAIS, 2017). A representação esquemática do Tetraedro dos Materiais é apresentada na Figura 1. O tetraedro propõe 4 etapas para caracterização dos resíduos: produto, composição, propriedades e processamento.

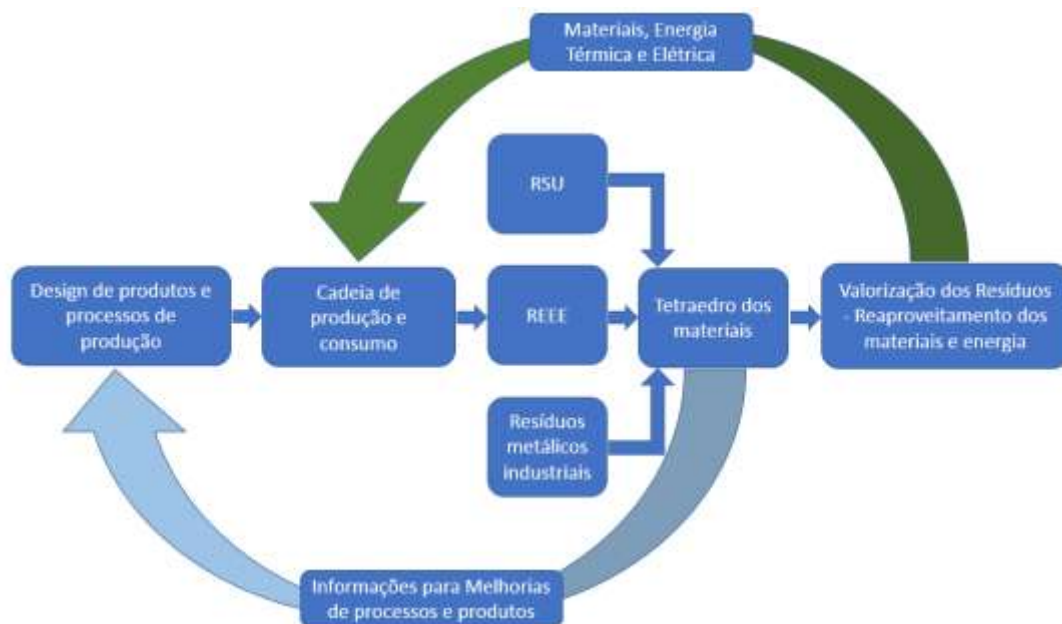


**Figura 1.** Representação esquemática do Tetraedro dos Materiais  
*Fonte: Site-Engenheiro de Materiais, 2016.*

Por meio deste trabalho foi proposto o uso do tetraedro dos materiais como uma ferramenta auxiliar na tomada de decisão em relação às melhores práticas para a valorização dos resíduos sólidos RSU, REEE e resíduos metálicos da indústria automotiva.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste tópico são apresentadas algumas formas de uso da metodologia do tetraedro dos materiais como ferramenta auxiliar no gerenciamento de resíduos. São avaliados resíduos oriundos de três fontes buscando sua maior valorização. A estrutura do processo de avaliação está representada pelo esquema da Figura 2.



**Figura 2.** Esquema que ilustra as fronteiras compreendidas pela ferramenta de avaliação  
*Fonte: Autores, 2017.*

Para este trabalho se considerou como fronteiras do sistema as etapas do ciclo de vida dos materiais compreendidos entre o design dos produtos e seus respectivos processos de produção, até o descarte dos mesmos. Conforme ilustra o esquema, a ferramenta apresenta dois ciclos distintos. Um dos ciclos inicia no design, passa pelo tetraedro dos materiais, onde informações importantes são obtidas visando à melhoria do desempenho ambiental e econômico dos materiais e processos, retornando por fim informações importantes para tomada de decisão na melhoria dos projetos. Já o segundo ciclo é dedicado ao gerenciamento dos materiais. O segundo ciclo inicia na cadeia de produção e consumo, onde diversas ferramentas de gestão da qualidade e ações comportamentais podem ser implementadas. O ciclo segue através do tetraedro que, assim como no ciclo do desenvolvimento, também auxilia na tomada de decisão sobre a melhor forma de aproveitamento dos resíduos que, por fim, na etapa seguinte e sob orientação de ferramentas como a ABNT 10004, se pode decidir pelo processo de recuperação de materiais e energia mais adequados, permitindo seu retorno aos processos de produção e consumo.

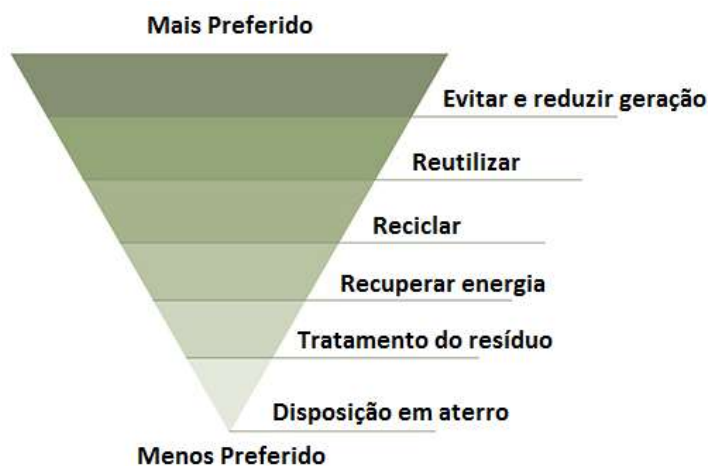
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Avaliações dos materiais por meio da ferramenta tetraedro dos materiais

##### 3.1.1 Resíduo Sólido Urbano - RSU

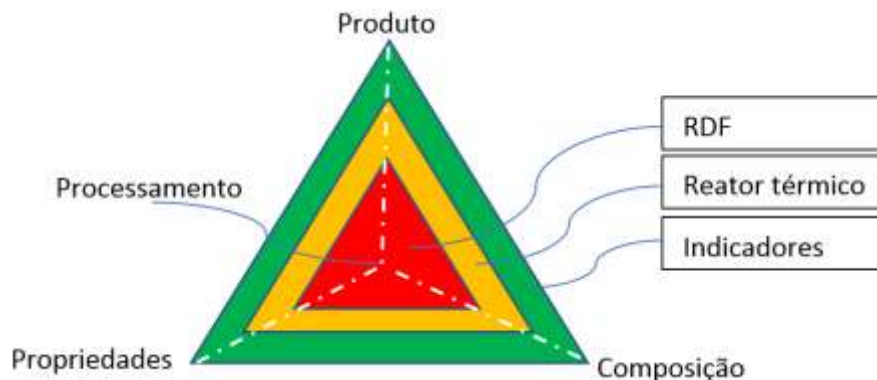
Dentre todos os tipos de resíduos gerados, o RSU parece ter como característica peculiar e marcante uma composição heterogênea (SCHALCH *et al.*, 2002), uma vez que os demais (resíduos sólidos industriais e resíduos sólidos especiais) geralmente são gerados a partir de processos controlados, não apresentando grandes variações em suas características. Os RSU são divididos conforme geradores em domiciliares, serviço de saúde, construção civil, portos e aeroportos, poda, varrição e outros (CABRAL, 20??).

Segregar os resíduos de maneira planejada é um elemento chave para o sucesso de qualquer política de gestão de resíduos. O esquema da Figura 3 representa a hierarquia de resíduos, e a Norma da ABNT-10.004/2004 estabelece os critérios para sua classificação. Por meio da metodologia do tetraedro pode-se caracterizar os resíduos e repassar as informações para empresas de design, que podem melhorar seu desempenho, corrigir processos para reduzir perdas e aumentar seu aproveitamento. Já os resíduos que não apresentam condições técnicas ou econômicas para seu reaproveitamento na cadeia como materiais, podem ter a energia contida em sua massa convertida em eletricidade ou energia térmica. Estes resíduos passam a ser denominados combustíveis derivados de resíduos ou *refuse derived fuel* – RDF. Dependendo da tecnologia empregada, as cinzas resultantes do processo de conversão térmica podem ser encaminhadas a aterros, ou ainda serem transformadas em materiais inertes, servindo como agregado na construção civil, por exemplo.



**Figura 3.** Hierarquia de resíduos  
*Fonte: Adaptado de EPA, 2001*

A recuperação da energia contida na massa dos resíduos pode ser avaliada em três estágios por meio do tetraedro dos materiais. O esquema mostrado na Figura 4 mostra estes estágios. No primeiro estágio o RDF é caracterizado, onde nesta etapa os resíduos passam por processos como triagem, seleção gravimétrica, seleção magnética, determinação de densidade média, avaliação de poder calorífico inferior, composição, trituração, secagem, compactação, dentre outros. É aqui que se seleciona e transforma os resíduos em combustível para alimentar um reator. No segundo estágio, o reator térmico, o tetraedro avalia as variáveis que envolvem o processo para uma conversão energética eficaz. Já no terceiro estágio são avaliados a energia, as emissões e sólidos gerados pelo processo, por meio de indicadores visando garantir as condições operacionais e ambientais do processo.



**Figura 4.** Tetraedro do tratamento térmico de RDF  
*Fonte: Autores, 2017*

### 3.1.2 Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE)

Pertencendo ao grupo dos resíduos sólidos especiais, estão os Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE), que em geral são resíduos de pós-consumo, incluindo todos os componentes, subconjuntos e materiais consumíveis que fazem parte do produto no momento em que este é descartado (EUROPEAN COMMISSION, 2003).

No que tange a valorização dos eletroeletrônicos pós-consumo, existem alguns processos que podem recuperar numerosos componentes, como cobre e metais preciosos (COBBING, 2008). Na literatura são encontradas diversas tecnologias para a reciclagem e recuperação de materiais de REEE, nas quais se inserem processos químicos, térmicos e mecânicos. Os quatro principais processos, de acordo com Veit (2001), são: pirometalurgia, hidrometalurgia, eletrometalurgia e processamento mecânico.

Embora os processos de reciclagem e recuperação de placas de circuito impresso sejam uma alternativa à minimização dos impactos que os REEE podem causar, eles também apresentam algumas desvantagens, que podem ser ambientais, tecnológicas e/ou econômicas.

Com relação ao processo de hidrometalurgia, por exemplo, para Veit (2005), as principais desvantagens desse processo são a geração de grande quantidade de soluções e efluentes líquidos que são corrosivos e tóxicos, enquanto na pirometalurgia os principais impactos ambientais associados ao processo são as emissões gasosas.

O Quadro 1 mostra um comparativo das principais vantagens e desvantagens das tecnologias de hidrometalurgia e pirometalurgia.

Tecnologia	Principais desvantagens	Principais vantagens
<b>Pirometalurgia</b>	-Liberação de dioxinas e furanos oriundos de polímeros e outros materiais -Materiais cerâmicos e vidros do material geram o aumento da quantidade de escória gerada -Recuperação de metais pode não ocorrer devido à volatilização dos cloretos -A recuperação de alumínio e zinco é praticamente impossível, a de estanho e chumbo é baixa	-Aplicável a qualquer tipo de sucata eletrônica -Não requer um pré-tratamento -Tem poucas etapas
<b>Hidrometalurgia</b>	-Geração de grande quantidade de soluções e efluentes líquidos corrosivos e tóxicos	-Não emite gases que causam poluição -Maior facilidade na separação dos componentes

**Quadro 1.** Principais desvantagens e vantagens dos processos de pirometalurgia e hidrometalurgia  
Fonte: Elaborado pela autora (2017) baseado em Kasper (2011), Veit (2005), Oliveira (2012).

Baseando-se na estrutura do tetraedro dos materiais, a metodologia foi adaptada a fim de valorizar os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, conforme apresentado na figura 5.



**Figura 5.** Tetraedro dos materiais adaptado para valorização dos resíduos eletroeletrônicos  
Fonte: Os autores, 2017.

Conforme observa-se nos vértices do tetraedro, a matéria-prima utilizada na produção das PCI são os metais, petróleo e argila. Os processos analisados em questão foram a pirometalurgia e hidrometalurgia, processos esses que também geram resíduos, como emissões gasosas e efluentes líquidos.

### 3.1.3 Resíduos metálicos da indústria

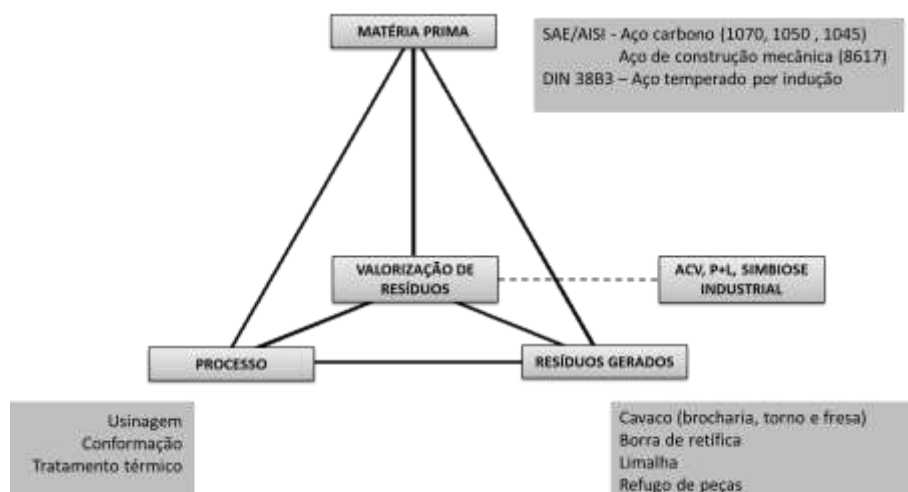
A sucata industrial tende a ser um resíduo limpo, no entanto, determinados processos podem comprometer a qualidade deste resíduo para reciclagem. Alguns fatores que influenciam na qualidade são: a mistura dos materiais no momento da geração e a quantidade de óleos ou graxas que podem estar aderidos à sucata industrial. Para que se tenham bons resultados na valorização destes materiais junto



às outras empresas é necessário que eles estejam separados por tipo de material e o mais limpo possível. Sendo assim, uma etapa fundamental do processo é a separação dos diferentes tipos de materiais na fonte geradora. Conhecer os processos industriais utilizados pela organização estudada é de grande importância quando se tem como objetivo a valorização dos resíduos.

Com base na estrutura clássica do tetraedro dos materiais adaptou-se a metodologia visando o correto uso das ferramentas de gestão ambiental (ACV, P+L, Simbiose Industrial, etc.) e, conseqüentemente, à valorização dos resíduos metálicos na indústria. Esse desmembramento do processo industrial auxilia na visualização das perdas (econômicas e ambientais), facilitando a implementação de melhorias ao longo de todo o processo. Na Figura 6 é apresentado o tetraedro dos materiais adaptado para valorização dos resíduos metálicos. Onde nos vértices têm-se:

- *A matéria-prima utilizada na indústria:* tipos de aço utilizados na indústria, a composição química, as reações entre os materiais e qual a utilização do material avaliado.
- *Os processos industriais utilizados:* usinagem, conformação e tratamento térmico.
- *Os resíduos gerados nas atividades industriais:* tipo de resíduo gerado, se ele é um material limpo ou se está contaminado com outros materiais que dificultem ou impeçam a valorização dele em outras indústrias, as misturas de materiais são importantes de serem avaliadas.



**Figura 6.** Tetraedro dos materiais adaptado para valorização dos resíduos metálicos da indústria  
 Fonte: Os autores, 2017.

#### 4. CONCLUSÃO

Neste trabalho avaliou-se o uso da metodologia do tetraedro dos materiais como uma ferramenta auxiliar na tomada de decisão em relação às melhores práticas para a valorização dos resíduos sólidos urbanos, resíduos eletroeletrônicos e resíduos metálicos da indústria automotiva. Algumas ferramentas avançadas de gestão ambiental podem e devem ser utilizadas visando à valorização dos resíduos. O uso do tetraedro auxilia na identificação de qual ferramenta é mais adequada de acordo com cada atividade ou resíduo.

O uso energético de RDF já é realidade em diversos países. Porém, a heterogeneidade, a variabilidade e aspectos culturais regionais deste recurso impõe a necessidade do uso de ferramentas de gestão e caracterização para possibilitar seu uso de maneira sustentável. Na visão de uma economia circular, onde não existe geração de resíduos, mas o aproveitamento de todo seu potencial, a literatura sugere processos como a gaseificação com tocha de plasma. Neste processo são gerados gases combustíveis com múltiplos usos e toda cinza é transformada em massa vítrea com uso comercial, tendo ainda emissões abaixo do mínimo exigido pelas mais rigorosas legislações no mundo.

Quanto aos REEE, com base na avaliação realizada, constatou-se que as principais características das placas de circuito impresso que influenciam na recuperação de metais pelo processo de lixiviação são a granulometria do material (quanto menor, mais rápido e mais eficaz o processo) e a área superficial (quanto maior a área superficial, menor as resistências e maior eficiência na recuperação de metais). Com relação ao processo de pirometalurgia, não foram encontrados na literatura trabalhos que façam relação das características das PCI com esse processo, embora se acredite que a granulometria e área superficial possam ser fatores influenciadores. Ambos os processos apresentam vantagens e desvantagens ambientais, econômicas e técnicas. Devem continuar sendo realizados estudos a fim de aprimorar esses processos.

Com relação aos resíduos metálicos da indústria, o uso do tetraedro dos materiais na indústria auxilia na correta aplicação das ferramentas ambientais, tendo em vista que a ACV, a P+L e a Simbiose Industrial necessitam de um profundo entendimento do processo industrial avaliado, das matérias-primas consumidas e dos resíduos gerados ao longo do processo industrial. A implementação de melhorias no sistema de produção acarreta em uma melhor qualidade do resíduo gerado, tendo um material limpo, sem misturas, facilitando a valorização deste como matéria-prima em outro processo industrial, além de auxiliar na diminuição de perdas e insumos (matéria primas, energia, água, dentre outros), possibilitando atingir ganhos ambientais e econômicos.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a CAPES e a FAPERGS pelas bolsas de doutorado e mestrado, e ao CnPq pelas bolsa de produtividade DT.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 Minghua, Z., Xiumin, F., Rovetta, A., Qichang, H., Vicentini, F., Bingkai, L., Giusti, A., Yi, L. Municipal solid waste management in Pudong New Area, China. *Journal of Waste Management* 29, 1227–1233, 2009.
- 2 UDOMSRI, Seksan. Combined Electricity Production and Thermally Driven Cooling from Municipal Solid Waste. Doctoral Thesis. Division of Heat and Power Technology, Department of Energy Technology, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. 2011.
- 3 FAUCHEUX, S., NOËL, J. *Economia dos recursos Naturais e do Meio Ambiente*. Tradução: Omar Matias. Lisboa: Instituto Piaget, 1995.

- 4 NASCIMENTO, Luis Felipe. Gestão Ambiental e Sustentabilidade. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração / UFSC; [Brasília]: CAPES: UAB, 2012. 148p, 2012.
- 5 CHEN, Paul; XIE, Qinglong; ADDY, Min; ZHOU, Wenguang; LIU, Yuhuan; WANG, Yunpu; LI, Yanling Cheng, Kun; Roger Ruan. Utilization of municipal solid and liquid wastes for bioenergy and bioproducts production. Bioresource Technology 215, 163–172, 2016.
- 6 ABRELPE (2015). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>>. Acesso em 12/09/2017.
- 7 MINISTÉRIO DAS CIDADES, Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2015. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2017.
- 8 PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (2015). Waste Crime – Waste Risks: Gaps in Meeting the Global Waste Challenge. Disponível em: <<http://www.grida.no/publications/rr/waste-crime/>>. Acesso em 20/09/2017.
- 9 ABDI. AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos – Análise de Viabilidade Técnica e Econômica. 2013.
- 10 SILVAS, P.C.S. Utilização de hidrometalurgia e biohidrometalurgia para reciclagem de placas de circuito impresso. São Paulo, 164 p., 2014. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.
- 11 CAMPOS, Vicente Falconi. TQC Controle da qualidade total (no estilo Japonês). Editora de Desenvolvimento Gerencial. Belo Horizonte, 1999.
- 12 GABBAR, H.A., ABOUGHALY, M. Analysis of MSW to Energy Conversion Process for Sustainable Community. 6th International Workshop – Advances in Cleaner Production – Academic Work. São Paulo – Brazil – May 24th to 26<sup>th</sup>, 2017.
- 13 Relatório BRACV: Fórum Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - Dez. 2016. Brasília: IBICT, 2016-Bianual. ISSN 2526-1754. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/documentos/publicacoes/1955-relatorio-bracv-forum-brasileiro-de-acv/>> Acesso em: 06 abr. 2017.
- 14 MONTANÕ. J. Simbiose Industrial - Imitando a natureza. Disponível em: <<http://ambientesst.com.br/simbiose-industrial/>>. Acesso em: 05 de set. 2017.
- 15 COM, 2015. Closing the loop – An EU action plan for the circular economy. COM (2015) 614. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2015/EN/1-2015-614-EN-F1-1.PDF>>. Acesso em: 15/09/2017.

- 16 Engenheiro de materiais (2016). Disponível em: <<http://engenheirodemateriais.com.br/tag/tetraedro-engenharia-de-materiais/>>. Acesso em 14/09/2017.
- 17 SCHALCH, Valdir; Leite, W.C. de Almeida; FERNANDES JUNIOR, José Leomar; DE CASTRO, M.C.A. Alves. Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos. Disponível em: <[http://www.deecc.ufc.br/Download/Gestao\\_de\\_Residuos\\_Solidos\\_PGTGA/Apostila\\_Gestao\\_e\\_Gerenciamento\\_de\\_RS\\_Schalch\\_et\\_al.pdf](http://www.deecc.ufc.br/Download/Gestao_de_Residuos_Solidos_PGTGA/Apostila_Gestao_e_Gerenciamento_de_RS_Schalch_et_al.pdf)>. Acesso em 12/09/2017.
- 18 CABRAL, E. Considerações sobre resíduos sólidos. Disponível em: <[http://www.deecc.ufc.br/Download/Gestao\\_de\\_Residuos\\_Solidos\\_PGTGA/CONSIDERACOES\\_SOBRE\\_RESIDUOS\\_SOLIDOS.pdf](http://www.deecc.ufc.br/Download/Gestao_de_Residuos_Solidos_PGTGA/CONSIDERACOES_SOBRE_RESIDUOS_SOLIDOS.pdf)>. Acesso em 12/09/2017.
- 19 EPA. The waste hierarchy. Disponível em: <<http://www.epa.nsw.gov.au/wastestrategy/waste-hierarchy.htm>>. Acessado em 12/09/2017.
- 20 EUROPEAN COMMISSION (EC). DIRECTIVE 2002/96/EC OF THE EUROPEAN PARLAMENT AND OF THE COUNCEL, 27 january 2003. Waste electrical and electronic equipment (WEEE). Official Journal L37, 13/02/2003. p.0024-0039. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legalcontent/PT/TXT/?uri=CELEX:32002L0096>>. Acesso em: 10 de jul. 2017.
- 21 Cobbing M. Toxic Tech: Not in Our Backyard. Uncovering the Hidden Flows of e-waste. Report from Greenpeace International. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/raw/content/belgium/fr/press/reports/toxic-tech.pdf>>. Acesso em 27/09/2017. Amsterdam, 2008.
- 22 VEIT, H.M. Emprego de Processamento Mecânico na Reciclagem de Sucatas de Placas de Circuito Impresso. Dissertação (mestrado). Porto Alegre: UFRGS, 2001.
- 23 VEIT, H.M. Reciclagem de Cobre de Sucatas de Placas de Circuito Impresso. Tese (doutorado). Porto Alegre: UFRGS, 2005.
- 24 KASPER, A.C. Caracterização e Reciclagem de Materiais Presentes em Sucatas de Telefones Celulares. Dissertação (mestrado). Porto Alegre – UFRGS, 2011.
- 25 OLIVEIRA, P.C.F. Valorização de Placas de Circuito Impresso por Hidrometalurgia. Lisboa, 320 p., Tese (doutorado) – Universidade Técnica de Lisboa, 2012.

# ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE UMA BOMBA CENTRÍFUGA POR MEIO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO FMECA

Maia, J.<sup>1</sup>  
De Barba Jr., D.J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, Jean Maia, IFSUL maia.jean@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico, Durval João De Barba Jr., IFSul, debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br.

## Resumo

Atualmente diversas empresas têm tratado a confiabilidade operacional dos seus equipamentos de forma estratégica, tornando-a um diferencial em seu negócio e inovando frente à concorrência. Desta forma o presente trabalho teve como principal objetivo avaliar a confiabilidade de um conjunto de bombas, em uma indústria petroquímica, levando em consideração os possíveis modos de falha, índices de ocorrência, detectabilidade e severidade de cada modo de falha, calculando para isso o índice de severidade que cada uma destas falhas impõe ao equipamento. Uma vez determinado o índice de severidade de cada modo de falha, por meio da aplicação do método FMECA, constatou-se que dois foram os modos de falha que afetam de forma mais significativa o funcionamento do equipamento, devendo a estes, serem priorizadas ações preventivas a fim de reduzir a probabilidade de ocorrência dos mesmos e o risco atribuído a estas possíveis falhas. Como resultado, o trabalho propõe a instalação de um sistema de automação robusto que visa à continuidade do processo e à segurança das instalações.

**Palavras-chave:** Confiabilidade operacional. FMECA. Bombas Centrífugas. Manutenção.

## **ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF A CENTRIFUGAL PUMP THROUGH THE APPLICATION OF THE FMECA METHOD**

### **Abstract**

*Currently several companies have dealt with the operational reliability of their equipment in a strategic way, making it a differential in their business and innovating against the competition. In this way, the main objective of this work was to evaluate the reliability of a set of pumps in a petrochemical industry, taking into account the possible failure modes, occurrence indexes, detectability and severity of each failure mode, calculating the index of severity that each of these failures imposes on the equipment. Once determined the severity index of each failure mode, through the application of the FMECA method, it was verified that two were the modes of failure that affect in a more significant way the operation of the equipment, and these should be prioritized preventive actions to in order to reduce the probability of their occurrence and the risk attributed to these possible failures. As a result, the work proposes the installation of a robust automation system that aims at the continuity of the process and the safety of the installations.*

**Key words:** Operational reliability. FMECA. Centrifugal pumps. Maintenance.

## 1 INTRODUÇÃO

A indisponibilidade de equipamentos pode afetar a capacidade produtiva da indústria, aumentar custos e interferir na qualidade do produto. Falhas podem acarretar comprometimentos significativos para a imagem institucional das empresas, principalmente se incluírem aspectos de segurança pessoal, patrimonial e de meio ambiente.

Diversas empresas têm tratado a confiabilidade operacional dos seus equipamentos de forma estratégica, tornando-a um diferencial em seu negócio e inovando frente à concorrência. Uma planta que procura minimizar suas falhas, passa mais tempo produzindo, reduz o número de paradas desnecessárias e, também, reduz seus custos de manutenção<sup>(1)</sup>.

Eliminar ou minimizar falhas tem impacto direto no retorno financeiro de empresas de processo petroquímico, uma vez que uma falha indesejada pode levar a consequências como: interrupção na produção, paradas não programadas no processo de fracionamento ou, até mesmo, emergências operacionais, gerando grandes perdas econômicas.

Deste modo, este trabalho pretende responder a seguinte questão: Como aumentar a confiabilidade em um sistema de bombas centrífugas de uma indústria petroquímica? Para isso, se fará uso da metodologia FMECA (Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade) com o objetivo de identificar os possíveis modos de falhas e avaliar os efeitos e a criticidade das mesmas para o sistema. O resultado da correta aplicação da FMECA é uma planilha que permite prever ações de manutenção antecipadas, de forma a prevenir a ocorrência dos modos de falhas.

FMEA (*Failure Mode And Effect Analysis* - Análise do Modo e Efeito de Falha) é uma ferramenta utilizada com o intuito de aumentar a confiabilidade de um equipamento, produto ou processo. Consiste em estruturar uma série de atividades para identificar possíveis modos de falhas avaliando os efeitos das mesmas para o sistema. A partir dessa avaliação é possível identificar ações preventivas para eliminar ou reduzir a probabilidade que estes modos de falhas venham a ocorrer<sup>(2)</sup>.

A NBR 5462:1994 define FMEA como um método qualitativo de análise de confiabilidade que estuda os modos de falha que podem existir, para cada subitem, e a determinação de seus efeitos sobre os outros subitens e sobre todo o sistema ou equipamento<sup>(3)</sup>.

FMEA é uma análise de falha realizada por meio de um checklist onde são respondidas três perguntas chaves: “qual é chance da falha ocorrer?”, “qual seriam os efeitos da falha se esta ocorresse?” e “qual a chance de detectar essa falha antes que essa atinja o cliente”. Os autores mencionam que, por meio de avaliação quantitativa destas três questões, é possível calcular o Número de Prioridade de Risco (NPR), que serve como base de informação sobre a criticidade das falhas para o sistema<sup>(4) (5)</sup>.

A sigla FMECA tem origem na expressão, em inglês, *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*, sendo traduzida como Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade<sup>(5)</sup>.

Mohr<sup>(6)</sup> apresenta a diferença entre FMEA e FMECA como:

$$\text{FMECA} = \text{FMEA} + \text{C}$$

Onde,

$$C = \text{Criticidade} = (\text{Ocorrência}) \times (\text{Severidade})$$

Criticidade é definida como o produto matemático da Severidade e Ocorrência, sendo que estas duas são desiguais em termo de risco, e os níveis não são lineares. O termo Criticidade foi desenvolvido para chamar atenção à combinação de valores elevados de Severidade e Ocorrência<sup>(7)</sup>.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Foi utilizado o método FMECA, que consiste em identificar as funções de cada componente do sistema, as possíveis falhas e os efeitos decorrentes do desenvolvimento destas. Na sequência, foi analisado a Criticidade e o Índice de Severidade que cada falha atribui ao sistema e então avaliadas quais medidas puderam ser tomadas de forma a reduzir os riscos analisados.

Para a determinação da confiabilidade do equipamento estudado realizou-se uma pesquisa no histórico de dados de manutenções e intervenções em um conjunto de bombas de uma indústria petroquímica, abordando um problema real.

### **2.1 Delimitação**

Realizou-se este trabalho em um sistema de bombas de carga de um reator de hidrogenação de hidrocarbonetos em uma indústria petroquímica. O sistema é composto por duas bombas centrífugas de duplo estágio: Bomba A e Bomba B, onde uma das bombas opera e a outra fica na reserva. O período de tempo utilizado neste estudo foi limitado em função dos dados fornecidos pelo setor de manutenção da empresa. Com o intuito de não expor dados mais restritos da empresa, onde foi realizado o trabalho, e nem dos fabricantes e fornecedores de componentes do equipamento, considerou-se falha toda vez que o conjunto ou subconjunto deixar de cumprir sua função, sendo assim convencionado: “Falha do Componente X” ou “Falha do Componente Y” não especificando maiores detalhes sobre a falha.

### **2.2 Determinação da Estrutura do Equipamento**

Nesta etapa realizou-se um desmembramento do sistema nos principais componentes com o intuito de tratar os modos de falhas de cada um deles em separado, determinando, para isso, qual função o subconjunto ou componente deve atender para o perfeito funcionamento do equipamento com um todo.

### **2.3 Coleta de Dados**

Coletou-se os dados junto ao setor de manutenção da empresa, onde se realizou uma pesquisa em software específico e planilhas de Excel para registrar as intervenções e manutenções no equipamento.

### **2.4 Tratamento dos Dados**

Nesta etapa foi aplicada a metodologia FMECA. O tratamento dos dados foi realizado por meio de uma planilha de Excel, onde foram tabulados e elencados os componentes do sistema em estudo, os modos de falhas e seus efeitos ao sistema, estimativa da severidade e criticidade do efeito do modo de falha e a determinação das possíveis causas e avaliação da probabilidade de ocorrência dessas causas.

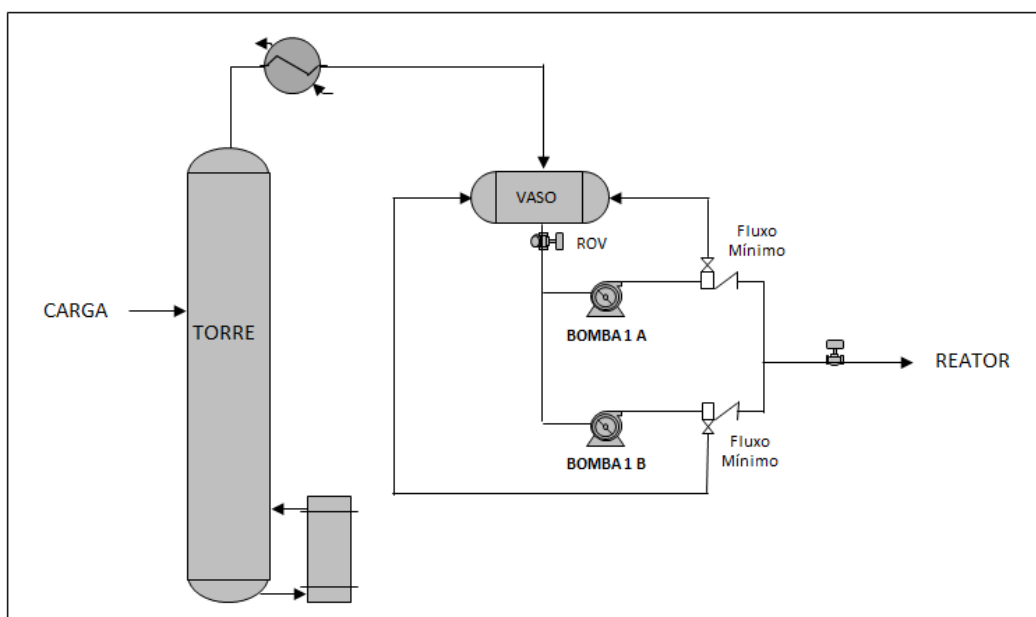
### **2.5 Análise dos Resultados**

Nesta etapa analisou-se os dados obtidos após o preenchimento da planilha

FMECA. O resultado da aplicação dessa metodologia compõe uma lista de ações corretivas ou preventivas necessárias e listadas por ordem de prioridade de ação.

## 2.6 Sistema

O sistema, no qual foi realizado o trabalho, é composto por duas bombas centrífugas responsáveis por enviar o produto do topo de uma torre de fracionamento para ser hidrogenado em um reator (**Figura 1**). A variável chave para operação dos reatores é a vazão, pois em caso de vazão baixa pode ocorrer disparos de temperatura em função da reação no reator ser prioritariamente exotérmica (libera temperatura). Pela possibilidade de ocorrer uma redução brusca na vazão das bombas, existe um intertravamento que desvia a carga dos reatores e isola-os do processo, deixando-os em recirculação total.



**Figura 1.** Sistema.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa montou-se gradualmente uma planilha aonde foram acrescentados os dados necessários para a construção da FMECA de um equipamento que estava em operação. A elaboração dessa planilha se baseou no histórico de manutenções ocorridas no conjunto (históricos de falhas, relatórios de processo, ou registros de manutenção) buscando a causa raiz das falhas do sistema<sup>(2)</sup>.

### 3.1 Estrutura do Conjunto e Listagem das Funções

O conjunto Moto Bomba Centrífuga é composto basicamente por alguns componentes principais, sendo eles:

- **Motor elétrico:** é o acionador, tendo a função de gerar movimento do conjunto;



- **Acoplamento:** é o elemento elástico, tendo função específica de transmitir o movimento do motor à bomba centrífuga, corrigir e absorver desalinhamentos e impactos gerados por partidas e paradas do motor;
- **Bomba centrífuga:** é o conjunto responsável por transferir energia mecânica ao fluido a ser bombeado, mantendo pressão e vazão constante;
- **Mancal:** é o alojamento dos rolamentos, tendo função de mantê-los alinhados e limitar seu movimento no sentido axial permitindo que eixo gire livremente;
- **Sistema de selagem:** sua função é manter a estanqueidade da bomba por meio de uma barreira física, neste caso é usado um fluido de barreira para manter o fluido bombeado contido dentro do sistema de bombeamento;
- **Válvula de fluxo mínimo:** sua função é de manter uma vazão mínima para sucção da bomba centrífuga. Atua desviando parte da vazão da descarga da bomba para o vaso de sucção;

A **Tabela 1** apresenta as funções específicas de cada componente da Moto Bomba Centrífuga.

**Tabela 1. Função do Componente.**

Componente	Função
Motor elétrico	Gerar movimento
Acoplamento	Transmitir movimento
Bomba centrífuga	Bombear o fluido
Mancal	Permitir o movimento do eixo
Sistema de selagem	Manter a estanqueidade
Válvula de fluxo mínimo	Garantir vazão mínima para sucção da bomba

### 3.2 Identificação e Listagem dos Modos de falha

A **Tabela 2** elenca o modo de falha para cada componente da Moto Bomba Centrífuga a fim de facilitar a classificação e interpretação e a visualização dos mesmos, definindo como falha, toda vez que o componente deixa de cumprir sua função principal (por exemplo: consideraram-se como falha do motor elétrico todas as vezes que este deixou de gerar movimento, independente do motivo que o levou a falhar: pane elétrico, desarme do disjuntor ou queima do bobinado do motor)<sup>(2)</sup>.

**Tabela 2. Modo de falha.**

Componente	Função	Modo de falha
Motor elétrico	Gerar movimento	Não gerar movimento
Acoplamento	Transmitir movimento	Quebra
Bomba centrífuga	Bombear o fluido	Não bombear o fluido
Mancal	Permitir o movimento do eixo	Trancamento/vibração
Sistema de selagem	Manter a estanqueidade	Perda de estanqueidade
Válvula de fluxo mínimo	Garantir vazão mínima para sucção da bomba	Não abrir

### 3.3 Determinação dos Efeitos dos Modos de Falha

A

**Tabela 3** apresenta o efeito de cada modo de falha quando este vem a ocorrer. As perguntas feitas, para a montagem da tabela, foram as seguintes: “o que pode

acontecer com o desenvolvimento deste modo de falha?”, “o que isso causa no equipamento?”<sup>(8)</sup>.

**Tabela 3. Efeito do Modos de Falha.**

Componente	Modo de falha	Efeito
Motor elétrico	Não gerar movimento	Perda de fluxo
Acoplamento	Quebra	Perda de fluxo
Bomba centrífuga	Não bombear o fluido	Perda de fluxo
Mancal	Trancamento/vibração	Trancamento do eixo
Sistema de selagem	Perda de estanqueidade	Vazamento de produto
Válvula de fluxo mínimo	Não abrir	Perda de fluxo

Em alguns casos, diferentes modos de falha podem apresentar o mesmo efeito ao sistema, como nos casos de falhas no acoplamento, motor elétrico ou na bomba centrífuga, o efeito do desenvolvimento de qualquer um destes ocasiona a perda de fluxo da bomba centrífuga.

### 3.4 Estimativa da Severidade dos Modos de Falha

Segundo Felipe<sup>(7)</sup> a determinação da severidade irá conduzir qual equipamento terá prioridade de atuação na prevenção das possíveis falhas.

A **Tabela 4** apresenta a estimativa da severidade de cada modo de falha onde foi atribuído o maior valor para falha no sistema de selagem. Uma vez que este venha a falhar, ocasionando perda de contenção do fluido bombeado, pode, neste caso, ocorrer vazamento de produto combustível para atmosfera.

**Tabela 4. Severidade do Modo de Falha.**

Componente	Modo de falha	Severidade
Motor elétrico	Não gerar movimento	7
Acoplamento	Quebra	7
Bomba centrífuga	Não bombear o fluido	7
Mancal	Trancamento/vibração	7
Sistema de selagem	Perda de estanqueidade	9
Válvula de fluxo mínimo	Não abrir	7

### 3.5 Determinação das Possíveis Causa para cada Modo de Falha

As informações para preenchimento desta etapa foram coletadas por meio de entrevistas, na área operacional, onde os operadores e mantenedores foram questionado quanto às possíveis causas para cada um dos defeitos já relacionados. Fundamentada nas respostas da maioria dos entrevistados, a **Tabela 5** lista as principais prováveis causas para cada um dos modos de falhas apresentados anteriormente.

**Tabela 5. Causa dos Modos de Falha.**

Componente	Modo de falha	Causas
Motor elétrico	Não gerar movimento	Falha do sistema elétrico Falha de rolamento
Acoplamento	Quebra	Desgaste/fadiga
Bomba centrífuga	Não bombear o fluido	Quebra ou desgaste do impelidor
Mancal	Trancamento/vibração	Falta de lubrificação
Sistema de selagem	Perda de estanqueidade	Falha das vedações internas
Válvula de fluxo mínimo	Não abrir	Trancamento ou quebra da válvula

### 3.6 Estimativa da Probabilidade de Ocorrência das Causa das Falhas

A **Tabela 6**, também baseada na experiência dos operadores da área na operação de bombas centrífugas, estima a probabilidade de que cada modo de falha venha a ocorrer, ocasionando parada do equipamento. O preenchimento da tabela foi fundamentado na Escala simples e qualitativa de probabilidade de ocorrência (adaptado de <sup>(9)</sup>) variando a escala de um a cinco (onde cinco representa uma probabilidade ocorrência muito frequente e um representa que modo de falha é muito improvável de ocorrer).




**Tabela 6. Ocorrência dos Modos de Falha.**

Componente	Modo de falha	Probabilidade de Ocorrência
Motor elétrico	Não gerar movimento	3
Acoplamento	Quebra	2
Bomba centrífuga	Não bombear o fluido	4
Mancal	Trancamento/vibração	3
Sistema de selagem	Perda de estanqueidade	4
Válvula de fluxo mínimo	Não abrir	2

### 3.7 Levantamento das Formas de Controle Existentes

Também, por meio de levantamento e coleta de dados junto aos operadores da área, constatou-se a existência de Rotinas Operacionais que são realizadas a cada turno de oito horas. Nestas rotinas são verificadas e registradas uma série de parâmetros da área operacional, das quais fazem parte algumas das formas de controle para detecção e prevenção de possíveis falhas. A **Tabela 7** é uma reprodução parcial da Rotina Operacional da área, onde são verificadas diariamente, fazendo uso de inspeção visual, tato e audição; as pressões de sucção, descarga e selagem das bombas centrífugas, temperatura e vibração dos motores elétricos, níveis de óleo de lubrificação dos mancais e dos potes de selagem, além da presença de algum ruído incomum.

**Tabela 7. Rotina Operacional.**

Ponto	Equip.	Atividade	Método			Porquê	Quando fazer	Ação	Referência	Valor real	
											
1	B01	Verificar nível do óleo de lubrificação	X			Preservar equipamento	Durante o Turno		Cheio	( ) OK	
		Verificar nível de metanol para selagem	x			Preservar o selo			Maior que 50%		
		Organização geral, limpeza e organização	X			Check de área		"A"	Organizado, limpo e ilum. OK		
		Vazamentos	X		X			"B"	Sem Vazamentos		
2	Turbina	Verificar temperatura do gás de selagem	x			Preservar equipamento	Durante o Turno	Avisar painel	> 0 C	( ) OK	
		Verificar a vazão de gás de selagem	X						40Nm <sup>3</sup> /h		
		Verificar algum alarme acionado	X						Sem alarmes		
		Verificar automatismo das bombas de óleo	X						Reserva em Aub		
		Verificar nível de óleo no tanque principal.	X						50%		
		Organização geral, limpeza e organização	X			Check de área			"A"		Organizado, limpo e ilum. OK
		Vazamentos	X		X				"B"		Sem Vazamentos

Por meio da **Tabela 7** foi possível apresentar as formas de controle para os possíveis modos de falha (**Tabela 8**).

**Tabela 8. Formas de Controle.**

Componente	Modo de falha	Formas de controle
Motor elétrico	Não gerar movimento	Controle de temperatura das gavetas de comando Monitoramento de vibração
Acoplamento	Quebra	Inspeção visual
Bomba centrífuga	Não bombear o fluido	Verificação das pressões de sucção e descarga
Mancal	Trancamento/vibração	Verificação do nível do óleo dos mancais
Sistema de selagem	Perda de estanqueidade	Detectores de gás, controle de emissões fugitivas
Válvula de fluxo mínimo	Não abrir	Verificação das pressões de sucção e descarga

Embasando-se nos dados da Tabela 7 e da Tabela 8, a Tabela 9 apresenta o índice de detectabilidade para cada modo de falha de acordo com a Escala qualitativa de cinco níveis de detecção<sup>(10)</sup>. Foram atribuídos os menores valores para os casos onde existe maior probabilidade de detecção e valores maiores quando existe pouca ou nenhuma possibilidade de a falha ser percebida.

**Tabela 9. Detectabilidade.**

Componente	Modo de falha	Formas de Controle	Detectabilidade
Motor elétrico	Não gerar movimento	Controle de temperatura das gavetas de comando/Monitoramento de vibração	4
Acoplamento	Quebra	Inspeção visual	6
Bomba centrífuga	Não bombear o fluido	Verificação das pressões de sucção e descarga	6
Mancal	Trancamento/vibração	Verificação do nível do óleo dos mancais	4
Sistema de selagem	Perda de estanqueidade	Detectores de gás, controle de emissões fugitivas	4
Válvula de fluxo mínimo	Não abrir	Verificação das pressões de sucção e descarga	6

### 3.8 Coleta de Dados – Histórico de Intervenções

Os dados da Tabela 10 apresentam o histórico de falhas e intervenções no conjunto de bombas centrífugas com uma breve descrição do evento e a data de cada ocorrência. Os dados foram coletados de software específico e planilha de Excel onde constam todos os registros de manutenções e, também, planejamentos de intervenções, bem como manutenções preventivas e preditivas.

**Tabela 10. Histórico de Falhas.**

Bomba	Descrição do evento	Data da intervenção
A	Falha da válvula de fluxo mínimo	Nov. 2014
B	Falha selagem	Ago. 2014
A	Falha selagem	Jul. 2014
B	Falha selagem	Abr. 2014
A	Falha selagem	Nov. 2011
A	Falha selagem	Jan. 2011
B	Falha da bomba	Jul. 2008
B	Falha da bomba	Jun. 2008
A	Falha da bomba	Jul. 2007
B	Falha da bomba	Set. 2005
B	Falha da bomba	Ago. 2005
A	Falha do mancal	Jun. 2005

### 3.9 Montagem e Preenchimento da Planilha FMECA

O preenchimento da planilha, representada na Tabela 11 é uma compilação dos dados gerados durante o processo de realização do trabalho.

Tabela 11. Tabela FMECA.

FMECA - Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade de uma bomba Centrífuga										
ÁREA: Produção de Olefinas SISTEMA: Reator de Hidrogenação EQUIPAMENTO: Bomba Centrífuga de Carga				RESPONSÁVEL: Jean Maia Revisão: 00 DATA DE INÍCIO: 01/08/2016						
Descrição do Produto	Função(ões) do Produto	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa de Falha em Potencial	Controles Atuais	Índices				
						S	O	D	I (SxOxD)	C (SxO)
Motor Elétrico	Gerar Movimento a Bomba Centrífuga	Não Gerar Movimento	Perda de Fluxo	Falha do Sistema Elétrico/ Falha de Rolamento	Controle de Temperatura das Gavetas de Comando Monitoramento de Vibração	7	3	4	84	21
Acoplamento	Transmitir Movimento do Motor a Bomba Centrífuga	Quebra	Perda de Fluxo	Desgaste/Fadiga	Inspeção Visual	6	2	6	72	12
Bomba Centrífuga	Bombear o Fluido	Não Bombear o Fluido	Perda de Fluxo	Quebra ou desgaste do impelidor	Verificação das Pressões de Sucção e Descarga	7	4	6	168	28
Mancal	Permitir o Movimento do Eixo	Trancamento/Vibração	Trancamento do Eixo	Falta de Lubrificação	Verificação do Nível do Óleo dos Mancais	6	3	4	72	18
Sistema de Selagem	Manter a Estanqueidade da Bomba	Perda de Estanqueidade	Vazamento de Produto	Falha das Vedações Internas	Detetores de gás, controle de emissões fugitivas	9	4	4	144	36
Válvula de Fluxo Mínimo	Manter Vazão Mínima para Sucção da Bomba	Não Abrir	Perda de Fluxo	Trancamento ou Quebra da Válvula	Verificação das Pressões de Sucção e Descarga	7	2	6	84	14

### 3.10 Ações Propostas

Após o preenchimento da planilha FMECA (Tabela 11), onde estão dispostos todos os dados do equipamento obtidos por meio de pesquisa ou estimados, chegou-se as seguintes proposições para geração de um plano de ação mais enxuto. Assim sendo, foram selecionados os dois componentes que apresentam maior criticidade (SxO) e, também, maior índice de severidade (SxOxD) o que representa maior risco a operação do equipamento:

#### 1. Bomba centrífuga não bombear o fluido.

A bomba deixar de bombear o fluido é mais comum ocorrer no momento em que se realiza a troca de bombas (colocar a que está na reserva para rodar e a que estava em operação passa a ser a bomba reserva). Mas também pode ocorrer, ainda que com menor frequência, durante a operação normal da bomba.

Como ação preventiva para minimizar a possibilidade desta falha, sugere-se a implantação de um intertravamento com a instalação de um pressostato na descarga de cada bomba (A e B). Deste modo, sempre que a bomba, que está operando, apresentar um valor na pressão de descarga abaixo da faixa de operação normal, a outra bomba, que está na reserva, entra em operação de forma automática, evitando assim que a vazão da bomba caia abaixo do valor de mínimo exigido para operação segura do reator.

#### 2. Falha do selo mecânico levando a perda de estanqueidade.

Como existem registros de falhas em sistemas de selagem de bombas centrífugas, é comum encontrar, como no caso em questão, um sistema de segurança: Deste modo quando constatado um vazamento, aciona-se uma R.O.V. (*Remote Operated Valve*, ou Válvula Operada à Distância) que atua fechando-se e cortando totalmente a vazão para as duas bombas (A e B), de forma a conter o inventário na linha de sucção, mas perdendo o fluxo de carga para o reator.

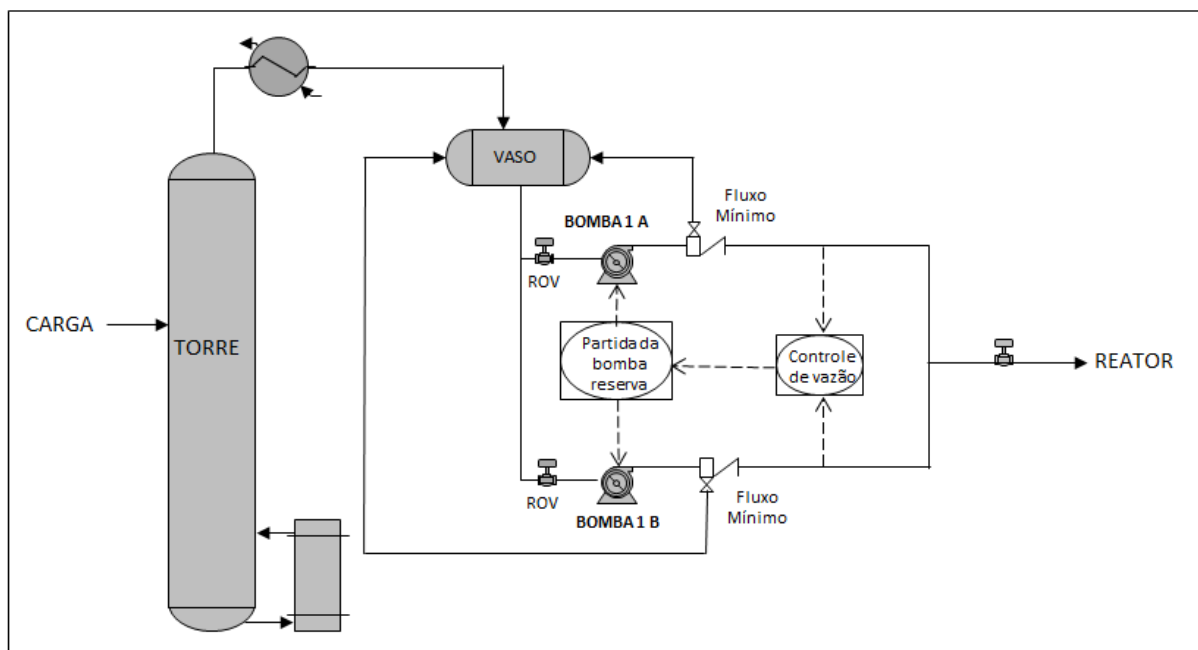
O plano de ação, neste caso, seria a substituição de uma única R.O.V. situada junto à linha de sucção, por duas independentes e instaladas junto à sucção de cada bomba. O sistema poderia ser operado sem que fosse necessária a parada no processo produtivo, pois no caso de vazamento no sistema de selagem da bomba que está operando, ou mesmo da que está parada, seria possível cortar o fluxo para uma das bombas permitindo que a outra continuasse em funcionamento ou mesmo que seja realizada a troca de bombas e posterior isolamento de uma delas pelo acionamento da uma R.O.V. A Figura 2 apresenta um esquema com blocos de controle de como ficaria o sistema de bombas do reator após as aplicações das melhorias.

Esses tipos de automação, sugeridos, em ambos os casos, foram implementados na planta petroquímica em questão e tem-se apresentado como uma solução satisfatória em áreas mais novas que tiveram o início de suas operações mais recentemente e, por tanto, dispõem de tecnologias mais avançadas.

As melhorias propostas ficam apenas como sugestão, necessitando para serem implantadas, estudos mais aprofundados, tanto na esfera de segurança como do ponto de vista de custos para verificar a viabilidade de implantação dos mesmos.

Segurança e confiabilidade são prioridades nas operações de processamento de hidrocarbonetos dentro da indústria petroquímica. As bombas, neste tipo de indústria, trabalham com líquidos voláteis, inflamáveis e, às vezes, tóxicos, o que justifica a busca por métodos ou formas de mensurar e sempre que possível

aumentar a confiabilidade dos equipamentos, tornando os sistemas mais robustos e seguros.



**Figura 2.** Sistema com Melhorias Aplicadas.

### 3.11 Montagem e Preenchimento da Nova Planilha FMECA

Após a implantação das melhorias sugeridas e nova aplicação do método FMECA a avaliação do sistema ficaria conforme a **Tabela 12** no Anexo I, pode-se constatar que houve uma redução significativa nos índices de severidade dos modos de falha da bomba centrífuga e sistema de selagem, confirmando a efetividade das modificações propostas. No caso de falha da bomba houve uma redução maior na detectabilidade da falha uma vez que sinalizaria para o operador de painel a entrada de operação da bomba reserva, também houve redução na severidade da falha da bomba, pois com a entrada em operação, não haveria parada do processo. Já para hipótese de avaria no sistema de selagem, foi na severidade que ocorreu a maior redução do índice, porque, ainda que a falha ocorra, com a alteração do sistema, tornaria mais fácil a contenção do suposto vazamento sem alteração ou descontinuidade do processo produtivo.

## 4 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como principal objetivo avaliar a confiabilidade de um conjunto de bombas levando em consideração os possíveis modos de falha, índices de ocorrência, detectabilidade e severidade de cada modo de falha, calculando para isso o risco que cada uma destas falhas impõem ao equipamento. Uma vez determinado o grau de risco de cada modo de falha, por meio da aplicação do método FMECA, pode-se facilmente visualizar quais os modos de falha que afetam de forma mais significativa o funcionamento do equipamento.

Como consideração final pode-se destacar que dois componentes merecem atenção especial, Bomba Centrífuga e Sistema de Selagem, devendo a estes serem

priorizadas ações preventivas a fim de reduzir a probabilidade de ocorrência e o risco atribuído a estas possíveis falhas.

Foram propostas alterações no sistema, o que diminuiu índice de severidade atribuído a estas falhas potenciais, mas ainda assim estes dois modos de falha permanecem sendo os que apresentam pontuações mais altas. Isto se deve ao risco inerente do processamento de produtos químicos, em especial hidrocarbonetos, que são produtos voláteis, combustíveis e algumas vezes tóxicos. As modificações recomendadas são formas de criar mais barreiras com intuito de mitigar os possíveis cenários de risco, uma vez que não é possível alterar as características físicas e químicas dos produtos processados.

Ao final deste trabalho conclui-se que o maior ganho está no conhecimento sobre a utilização do método FMECA para avaliar a confiabilidade de equipamentos durante seu ciclo de vida, e também, pela forma dinâmica como é possível fazer seu uso, a possibilidade de aplicação desta ferramenta para Processos, Sistemas, Serviços e ainda existindo a possibilidade de execução, mesmo durante a fase de projeto e concepção de produtos.

## REFERÊNCIAS

- 1 CAS, D. R. **Análise de confiabilidade em um sistema de bombas de uma indústria petroquímica usando simulação de Monte Carlo**. 2012. 73f. TCC (Engenharia de Produção) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos Ciências Exatas e Tecnológicas. São Leopoldo, RS.
- 2 TAHARA, Sayuri. **FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)**. 2008 [Online]. Disponível em: <<http://www.portaldeconhecimentos.org.br>>.
- 3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5462 - Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.
- 4 SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. ed.8, São Paulo, Atlas, 2008.
- 5 SOUZA, R. V. B. **Aplicação do Método FMEA para priorização de ações de melhorias em fluxos de processo**. 2012. 152f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo.
- 6 MOHR, R.R. **Failure Modes and Effects Analysis**. ed.8. Sverdrup, 1994.
- 7 FILIPE, F. M. C. **Gestão e organização da manutenção, de equipamento de conservação e manutenção de infra-estruturas ferroviárias**. 2006. 144f. Tese (Mestrado em Manutenção Industrial) – Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Praça Gomes Teixeira Porto, Portugal.
- 8 SAKURADA, E. Y. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. 2001. 143f. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, Santa Catarina.
- 9 INQUE, H.; YAMADA, S Failure Mode and Effect Analysis in pharmaceutical research. **International Journal of Quality and Service Sciences**. Tsukuba (Japan), 2010
- 10 TOLEDO, J. C.; AMARAL, D. C. **FMEA – Análise do Tipo e Efeito de Falha**. Pesquisa em Qualidade – GEPEQ (Grupo de Estudos e Pesquisa em Qualidade) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos 1999.



## Anexo I

**Tabela 12. FMECA Após a Implantação das Melhorias.**

FMECA - Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade de uma Bomba Centrífuga										
ÁREA: Produção de Olefinas SISTEMA: Reator de Hidrogenação EQUIPAMENTO: Bomba Centrífuga de Carga					RESPONSÁVEL: Jean Maia Revisão: 01 DATA DE INÍCIO: 10/10/2016					
Descrição do Produto	Função(ões) do Produto	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa de Falha em Potencial	Controles Atuais	Índices				
						S	O	D	I (SxOxD)	C (SxO)
Motor Elétrico	Gerar Movimento a Bomba Centrífuga	Não Gerar Movimento	Perda de Fluxo	Falha do Sistema Elétrico/ Falha de Rolamento	Controle de Temperatura das Gavetas de Comando Monitoramento de Vibração	7	3	4	84	21
Acoplamento	Transmitir Movimento do Motor a Bomba Centrífuga	Quebra	Perda de Fluxo	Desgaste/Fadiga	Inspeção Visual	6	2	6	72	12
Bomba Centrífuga	Bombear o Fluido	Não Bombear o Fluido	Perda de Fluxo	Quebra ou desgaste do impelidor	Verificação das Pressões de Sucção e Descarga	6	4	4	96	24
Mancal	Permitir o Movimento do Eixo	Trancamento/Vibração	Trancamento do Eixo	Falta de Lubrificação	Verificação do Nível do Óleo dos Mancais	6	3	4	72	18
Sistema de Selagem	Manter a Estanqueidade da Bomba	Perda de Estanqueidade	Vazamento de Produto	Falha das Vedações Internas	Detectores de gás, controle de emissões fugitivas	7	4	4	112	28
Válvula de Fluxo Mínimo	Manter Vazão Mínima para Sucção da Bomba	Não Abrir	Perda de Fluxo	Trancamento ou Quebra da Válvula	Verificação das Pressões de Sucção e Descarga	7	2	6	84	14

## LEVANTAMENTO DE ESTUDOS SOBRE O ARSENIATO DE COBRE CROMATADO – CCA

Chiaramonte, R.<sup>1</sup>

Garbin, M.<sup>2</sup>

Calheiro, D.<sup>3</sup>

Brehm, F. A.<sup>4</sup>

1 Gestora Ambiental, UNISINOS, rossana\_coelho@hotmail.com.

2 Mestranda em Engenharia Civil, Gestora Ambiental, Marilise Garbin, UNISINOS, mgarbin@edu.unisinis.br.

3 Profª. Ms. Gestora Ambiental, Daiane Calheiro, UNISINOS, dcalheiro@unisinis.br.

4 Profª. Drª. Química, Feliciane Andrade Brehm, UNISINOS, felicianeb@unisinis.br.

### Resumo

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica acerca dos estudos realizados entre os anos de 2011 e 2017 sobre o Arseniato de Cobre Cromatado – CCA. Este composto é um preservante de madeira, amplamente utilizado na indústria para aumentar a resistência à deterioração, apresentando na sua composição química produtos nocivos ao meio ambiente e a saúde humana, tais como: Arsênio, Cobre e Cromo. A aplicação do CCA na madeira impacta diferentes áreas do seu processo produtivo, desde os cuidados na aplicação do material, podendo acarretar em riscos à saúde do trabalhador, a geração de efluentes líquidos contaminados, a poluição do solo quando em contato direto com o mesmo e posteriormente o resíduo, que de acordo com a norma NBR 10004/2004 é classificado como um Resíduo Perigoso - Classe I. Como o estudo tem o objetivo de trazer embasamento técnico e científico acerca do CCA foram analisados 15 trabalhos acadêmicos dentre eles teses, dissertações, artigos em periódicos e congressos. Os resultados obtidos indicam que os estudos que envolvem o CCA se concentram nas áreas de: avaliação de impacto ambiental do composto químico no meio ambiente, caracterização do resíduo, tratamento de efluentes líquidos, poluição de solo e riscos associados à saúde. Observou-se a necessidade de pesquisas mais aprofundadas devido às metodologias limitadas desenvolvidas para destinação adequada do resíduo e a falta de estudos na aplicação deste material como um coproduto.

**Palavras-chave:** Arseniato de Cobre Cromatado; CCA; madeira tratada; resíduos perigosos.

### Abstract

The present work aims to carry out a review on the studies carried out between 2011 and 2017 on the copper Arsenate Cromatado – CCA. This compound is a wood preservative, widely used in industry to increase the resistance to decay, presented in your chemical composition products harmful to the environment and human health, such as arsenic, copper and chromium. The application of CCA in wood impact different areas of your production process, since the care in applying the material, and may result in risks to workers' health, the generation of contaminated liquid effluents, ground pollution when in direct contact with the same and later the waste, according to NBR 10004/2004 is classified as a hazardous waste – Class I. As the

study is intended to bring about technical and scientific basis of the CCA were analyzed 15 scholarly works including theses, dissertations, articles in journals and conferences. The results obtained indicate that the studies involving the CCA concentrate in the areas of: environmental impact assessment of chemical in the environment, waste characterization, treatment of liquid effluents, ground pollution and risks to health. Noted the need for further research due to limited developed methodologies for appropriate disposal of the residue and the lack of studies on the application of this material as a Coproduct.

**Key words:** Chromated Copper Arsenate; CCA; treated wood; hazardous waste.

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira é utilizada para vários fins, como postes de energia, cercas, *playgrounds*, *decks*, aberturas de casas e para isso ela necessita ter resistência. Sua origem biológica favorece o apodrecimento e a deterioração por ação de fungos e bactérias, em função disso, utilizam-se os preservantes de madeira, que são substâncias químicas e tóxicas que impedem a ação desses agentes (FERREIRA, 2015). Historicamente o Arseniato de Cobre Cromatado - CCA vem sendo utilizado na indústria de preservantes de madeiras desde 1930, sendo que a partir de 1970 foram desenvolvidos estudos buscando uma melhor compreensão do mecanismo de fixação dos seus componentes na estrutura da madeira (LEPAGE, 2010). O CCA é um fungicida/inseticida largamente utilizado na indústria madeireira contra agentes que causam a deterioração da madeira, sendo classificado como Classe I - Extremamente Tóxico (IBAMA, 2015).

De acordo com a Associação Brasileira de Preservantes de Madeira (2017), o tratamento da madeira pode ocorrer em processo industrial e não industrial. O processo industrial é realizado em usinas com sistema de autoclave, com bombas de vácuo e pressão, enquanto o processo não industrial é todo processo que não engloba o uso de bombas ou equipamentos industriais.

A regulamentação do uso dos preservantes de madeira na indústria teve início em 1965 com a Lei Federal nº 4797 onde se tornou obrigatório o emprego de madeiras preservadas pelas empresas concessionárias de serviços públicos. No decorrer dos anos o Ministério do Meio Ambiente, através do IBAMA, e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) instituíram portarias, descritas no Quadro 1 e normas, descritas no Quadro 2, visando a regulamentação dos produtos e serviços.

	LEGISLAÇÃO	DESCRIÇÃO
Ministério do Meio Ambiente IBAMA	Portaria Interministerial nº 292/1989	Considera a necessidade e o interesse de criar uma sistemática integrada para disciplinamento de atividades relacionadas à preservação de madeiras.
	Instrução Normativa nº 5/1992	Disciplinar os procedimentos estabelecido na Portaria Interministerial nº 292, de 28 de abril de 1989.
	Portaria Normativa 151/1997	Procedimento de registro, adequação de registro dos produtos e documentação solicitada pelos instrumentos legais que disciplinam o registro preservativos de madeira dependem da determinação e avaliação do risco ambiental desses produtos.

Quadro 1. **Resultados avaliados entre os anos de 2011 á 2017.**

Fonte: elaborado pelas autoras.

LEGISLAÇÃO		DESCRIÇÃO
Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT	NBR 7190:1997	Fixa as condições gerais que devem ser seguidas no projeto, na execução e no controle das estruturas correntes de madeira, tais como pontes, pontilhões, coberturas, pisos e cimbres. Além das regras desta Norma, devem ser obedecidas as de outras normas especiais e a exigências peculiares a cada caso particular.
	NBR 6236:2004	Especifica os requisitos exigíveis para madeiras utilizadas na fabricação de carretéis totalmente constituídos em madeira, conforme estabelece a ABNT NBR 11137, para fios, cordoalhas e cabos.
	NBR 9480: 2009	Fixa as condições mínimas exigíveis de peças roliças preservadas de eucalipto para aplicação em construção de cercas, currais, estruturas de culturas agrícolas aéreas e outras construções similares.
	NBR 16143:2013	Estabelece um sistema de categorias de uso para madeiras, com foco no tratamento preservativo para aumento da durabilidade dos sistemas construtivo.
	NBR 6232:2013	Estabelece os métodos de ensaios de penetração e retenção de preservativos em madeira tratada sob pressão.
	NBR 7511:2013	Especifica os requisitos e métodos de ensaio para dormentes de madeira destinados à via férrea.

Quadro 2. **Resultados avaliados entre os anos de 2011 á 2017.**

*Fonte: elaborado pelas autoras.*

Os riscos ambientais associados ao uso do CCA apresentam divergências: os fabricantes e fornecedores defendem o uso do preservante, pois segundo eles, “os produtos de madeira preservada duram mais, reduzindo drasticamente a pressão da demanda sobre florestas nativas” (Montana Química, 2016), no entanto, alguns estudos destacam que os impactos ambientais causados pelo CCA podem apresentar danos ao solo, recursos hídricos e ar. Contudo, uma das maiores preocupações sobre o uso do CCA no tratamento da madeira está relacionada com os resíduos gerados no processo e no pós-consumo. Nos países como Japão, Indonésia, Suécia, Dinamarca e Alemanha há restrições para o uso do preservante, nos Estados Unidos a EPA (*Environmental Protection Agency*) comunicou em 2003 o fim do uso da madeira tratada com CCA para áreas residenciais (SILVA, 2016).

Com relação aos impactos associados à saúde humana causados pelo uso do CCA, esses também apresentam divergências com relação a sua periculosidade. De acordo a indústria, o processo de autoclave da madeira tratada não emite vapores e odores e não deixa resíduos superficiais na madeira, não causando danos à saúde dos operadores (Montana Química, 2016). No entanto, entre os anos de 2007 a 2013, no município de Triunfo no Estado do Rio Grande do Sul / Brasil, foram encontrados na área da concessionária de abastecimento de energia elétrica tambores contendo borras de CCA enterrados. A empresa foi autuada pelo órgão ambiental do estado (FEPAM), Tribunal de Justiça e Ministério Público. Durante o ano de 2007, foi diagnosticada no local a contaminação do solo e da água. Em 2011 ocorreu o isolamento do local e o Ministério Público determinou a descontaminação do mesmo. No bairro onde ocorreu o dano ambiental, moradores acionaram a justiça, alegando terem contraído doenças devido à contaminação do CCA, que possui potencial cancerígeno (Jornal Portal de Notícias, 2017).

Vidal (2015) realizou um estudo similar a este denominado: “Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências”. O estudo abrangeu desde o início do uso do preservante de madeira até o ano de 2011, relatando, no final da pesquisa as seguintes conclusões:

- A existência de poucos produtos de madeira tratada.

- O consumo de madeira tratada no Brasil ainda é pequeno, quando comparado com outros países, no ano de 2010 foi consumido 170 milhões de metros cúbicos em toras.
- No Brasil são utilizadas outras matérias-primas mais restritivas do ponto de vista ambiental e econômico.
- O Brasil não possui restrições quanto ao uso do CCA.
- Inexistência de outro preservante que possa substituir o composto.

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica acerca dos estudos realizados entre os anos de 2011 e 2017 sobre o Arseniato de Cobre Cromatado – CCA.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho trata-se de uma revisão bibliográfica baseada em dados secundários, acerca do tema Arseniato de Cobre Cromatado – CCA. Foram avaliados neste estudo 15 trabalhos, publicados entre os anos de 2011 e 2017, entre teses, dissertações, artigos em periódicos e congressos. A metodologia utilizada no presente estudo é apresentada na Figura 1.

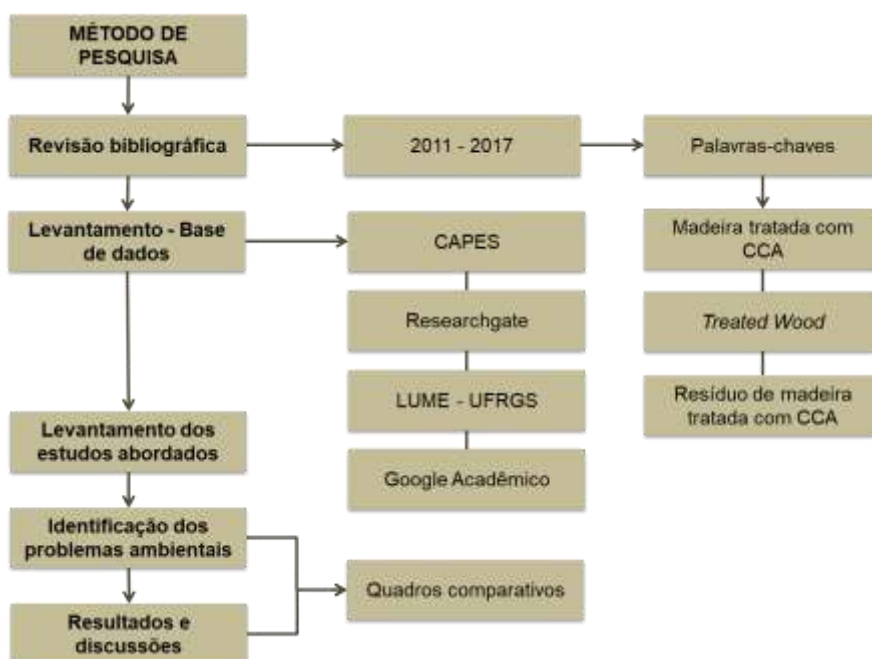


Figura 1. Fluxograma da metodologia

Fonte: elaborado pelas autoras.

A análise dos dados avaliados neste trabalho foi realizada através de um quadro comparativo. Os resultados encontrados no levantamento realizado foram compilados em um quadro objetivando a identificação dos problemas ambientais causados pelo uso da madeira tratada, a classificação dos resíduos gerados e as metodologias estudadas para descontaminação da madeira tratada. Os principais resultados de cada trabalho foram analisados graficamente, indicando quais os estudos mais relevantes e abordados quando se pesquisa sobre madeira tratada com CCA.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se, mediante a análise dos estudos desenvolvidos nos trabalhos avaliados, uma variedade de assuntos abordados acerca do tema Arseniato de Cobre Cromatado. Os temas mais presentes estão relacionados ao reaproveitamento e reciclagem do resíduo de madeira tratada e a descontaminação da madeira tratada; sendo que o ano de 2014 foi o que apresentou mais estudos de acordo com a metodologia aplicada. No Quadro 3 são apresentados os assuntos identificados no levantamento e o ano que eles foram realizados. A análise mais ampla dos estudos é apresentada no Quadro 4, onde nele estão identificados os autores, o título do estudo e os principais resultados obtidos.

ASSUNTOS ABORDADOS NOS ESTUDOS SOBRE CCA	ANO							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
Sustentabilidade / aspectos ambientais do uso da madeira tratada	1							1
Toxicidade				1				1
Considerado resíduo classe I - perigoso		1						1
Reaproveitamento/reciclagem do resíduo de madeira tratada		2		1		1		4
Tratamento e penetração do CCA em diferentes tipos de madeiras			1			1		2
Descontaminação da madeira tratada				1	3			4
Lixiviação dos resíduos de madeira tratada				1				1
Caracterização de processos						1		1
<b>Total de estudos / ano</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>15</b>

Quadro 3. Assuntos abordados nos estudos sobre CCA entre os anos de 2011 á 2017.

*Fonte: elaborado pelas autor*

AUTOR / ANO	TÍTULO DO ESTUDO	PRICIPAIS RESULTADOS APRESENTADOS
Fornari, S.M / 2011	Sustentabilidade do uso da madeira tratada: uma análise das dimensões econômica e ambiental.	Produto sustentável devido à durabilidade da madeira e ao uso de madeira de reflorestamento.
Bertolini, M. da S. et al. / 2012	Rejeitos de espécies de reflorestamento tratadas com preservantes CCA e CCB empregados em painéis de partículas.	As chapas amostradas apresentam viabilidade de produção a partir de resíduos de madeira de <i>Eucalyptus SP./ Pinus sp.</i> com Cromo, Cobre e Arsênio - CCA e Cromo, Cobre e Boro - CCB, podendo ser utilizados na construção civil.
Ferrarini, S.F. / 2012	Estabelecimento de metodologia para remoção de Cobre, Cromo e Arsênio de resíduos de madeira tratada com Arseniato de Cobre Cromatado - CCA.	O Arsênio, Cromo e Cobre foram removidos em quantias consideráveis dos postes de madeira e o resíduo foi classificado como não perigoso.
Ferrarini, S.F. et al. / 2012	Classificação de resíduos de madeira tratada com preservativos à base de Arseniato de Cobre Cromatado e de Boro/Flúor.	Os ensaios de lixiviação classificaram o resíduo como classe I - Perigoso para Arsênio e para Fluoreto o resíduo foi classificado como classe II - Não perigoso.
Valle, M.L.A. et al. / 2013	Retenção e penetração de CCA em madeira de primeira e segunda rotação de <i>Eucalyptus urophylla</i> S.T.Blake.	As duas rotações de <i>Eucalyptus</i> não apresentaram restrições ao tratamento com preservativos, porém a madeira do <i>Eucalyptus urophylla</i> apresentou maior facilidade ao tratamento e penetração de produtos, todos os processos e produtos para tratamento de madeira com preservativos atendem as especificações da norma NBR 9480.
Bertolini, M. da S. et al. / 2014	Painéis de partículas provenientes de rejeitos de <i>Pinus sp.</i> tratado com preservante CCA e resina derivada de biomassa.	Os painéis de rejeitos de madeira de <i>Pinus sp.</i> com CCA possuem viabilidade para o mercado.
Ferrarini, S.F. / 2014	Madeira tratada com Arseniato de Cobre Cromatado (CCA): opções de destino para os resíduos gerados e perspectivas no desenvolvimento de metodologias para a remoção dos elementos tóxicos.	Os resíduos gerados de madeira são classificados como tóxicos.
Mercer, T.G, Frostick, L.E. / 2014	<i>Evaluating the potential for environmental pollution from Chromated Copper Arsenate (CCA) - treated wood waste: A new mass balance approach.</i>	Ocorre a lixiviação da madeira tratada quando em contato com o solo e água para os compostos do preservante.
Santos, H dos S. / 2014	Remoção de elementos tóxicos em efluente proveniente da descontaminação de madeira tratada com Arseniato de Cobre Cromatado.	A madeira com CCA após o processo de descontaminação é classificada como classe IIA - não inerte, o efluente gerado é necessário tratamento utilizando as técnicas de precipitação e de eletrorrecuperação.
Euflosino, A.E.R. / 2015	Análise química da madeira tratada com CCA - C, do carvão vegetal e do licor pirolenhoso.	O ácido sulfúrico foi o mais eficiente na extração dos três componentes do CCA na madeira e no carvão, foram classificados como resíduo Classe I – perigoso. Para a briquetagem de fino de carvão não é recomendado devido que a concentração de arsênio que passou dos limites da legislação vigente.
Ferreira, S.P. / 2015	Processo oxidativos avançados para degradação da matéria orgânica do efluente da descontaminação da madeira tratada com Arseniato de Cobre Cromatado.	O cromo existente no efluente estudado foi considerado cromo(III), sendo um bom resultado. Nos ensaios realizados com o Arsênio não se obteve resultados confiáveis, também nos ensaios de densidade de corrente não foi possível ter exatidão nos resultados devido a proximidade dos valores. Os processos utilizados obtiveram se melhor resultado no ensaio de eletrólise.
Junges, J. / 2015	Pirólise de madeira tratada com CCA em reator de leito fixo.	Os resultados indicaram diferenças na composição química das frações testadas (alburno externo-C1, alburno interno-C2 e cerne-C3). O elevado teor de matéria volátil e o baixo teor de cinzas tornam a madeira tratada com CCA atrativa para o processo de pirólise. É importante que a fração externa (C1) receba o tratamento e o descarte adequado. A grande vantagem na utilização do CaO na pirólise de madeira com CCA é a possível operação a altas temperaturas, sem a emissão excessiva de metais.
Hoerlle, C.R., Brehm, F.A. / 2016	Aspectos e impactos ambientais relacionados ao descarte inadequado da madeira tratada com arseniato de cobre cromatado - CCA.	O processo de <i>Chartherm</i> é a técnica mais adequada para reciclagem e valorização do resíduo de madeira tratada com CCA.
Rocha, I.P. et al. / 2016	Caracterização dos processos industriais de uma empresa de tratamento de madeira (Nota científica).	Tecnicamente a empresa realiza procedimentos consolidados no mercado de madeira tratada, sendo economicamente viável. Na ergonomia e segurança dos colaboradores a empresa não apresenta registros de acidentes. Apresenta todos os documentos necessários para o funcionamento dentro dos requisitos legais ambientais, não possui registros de problemas ambientais, porém não se enquadra dentro de um Sistema de Gestão Ambiental eficiente.
Segundinho, P.G. de A. et al. / 2016	Eficiência da colagem de madeira tratada de <i>Eucalyptus cloeziana</i> F. Muell para produção de madeira laminada colada (MLC).	A madeira laminada colada apresentou resistência ao cisalhamento na linha de cola. Obteve se melhor penetração entre madeira-adesivo para os adesivos melamina-ureia-formaldeído, resorcinol-formaldeído e poliacetato de polivinila, consequentemente melhor resistência no cisalhamento e delaminação. Os adesivos tanino-formaldeído, ureia-formaldeído e poliuretano à base de mamona apresentaram resultados abaixo do recomendado para aplicações estruturais para colagem a frio.

**Quadro 4. Resultados avaliados entre os anos de 2011 á 2017.**

Fonte: elaborado pelas autora

No levantamento realizado observou-se que 40% dos estudos foram desenvolvidos entre os anos de 2015 e 2016. Nesse período a descontaminação da madeira tratada com o CCA foi o assunto mais estudado, com 03 trabalhos. Os anos de 2012, 2015 e 2016 apresentaram 03 estudos em cada ano, sendo que em 2016 os temas abordados foram mais abrangentes, 03 temas distintos. No entanto, quando se avalia os assuntos mais estudados, os temas relacionados ao reaproveitamento e reciclagem do resíduo de madeira tratada e a descontaminação da madeira tratada são os temas que mais apresentaram estudos (54%), evidenciando a preocupação com a descontaminação do material contendo o CCA e o reaproveitamento e a reciclagem são o foco das pesquisas nas instituições de ensino. No Figura 02 são apresentados os resultados encontrados no levantamento dos estudos, conseqüentemente também seus principais problemas ambientais.

**Comparativo entre os estudos realizados**

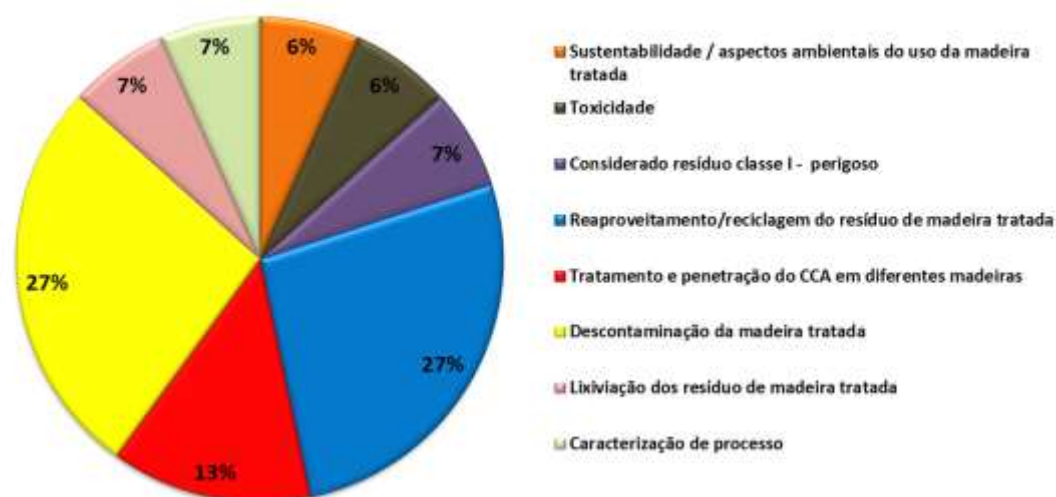


Figura 2. **Comparativo entre os estudos realizados**

*Fonte: elaborado pelas autoras.*

Contudo, 13% dos estudos localizados foram referentes ao tratamento e penetração do CCA em diferentes madeiras, isso demonstra a preocupação da indústria em fornecer um produto de melhor qualidade ao consumidor final.

## 4 CONCLUSÃO

Conclui-se através deste estudo que o uso de CCA como preservante de madeira ainda é causador de controvérsias entre os pesquisadores e a indústria de preservantes no Brasil. Os resultados obtidos demonstram que o uso de preservantes de madeira, como o CCA, causam danos ambientais e a saúde humana.

Divergindo de Vidal (2015), que realizou um estudo similar a este, onde em seus resultados ele conclui que o Brasil não possui restrições quanto ao uso do CCA. Pode-se afirmar, a partir dos resultados obtidos, que o Brasil possui normas e resoluções que regulamentam a indústria e o uso da madeira tratada. Diferente de



outros países, o Brasil não proíbe o uso de preservantes, mas regulamenta o setor para melhor gerenciamento.

## Agradecimentos

Agradecemos a CAPES e CNPq pelo apoio, a bolsa de mestrado PROSUC, bolsa de produtividade DT CNPq dos autores.

## REFERÊNCIAS

- 1 FERREIRA, Suenni Pires. **Processos oxidativos avançados para degradação da matéria orgânica do efluente da descontaminação da madeira tratada Com arseniato de cobre Cromatado**. 2015. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- 2 LEPAGE, Ennio. **Destinação final de madeira tratada com CCA**. Montana Química. São Paulo, 2010.
- 3 INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Certificado e registro de acordo com a portaria interministerial nº292, de 28/04/89 e a instrução normativa nº5, de 20/10/92, que regulamenta a lei nº 4.797, de 20/10/65**. Disponível em:<[http://www.ibama.gov.br/phocadownload/qualidadeambiental/preservativos\\_de\\_madeira/2017-registrados/tanalith-72-cca-c.pdf](http://www.ibama.gov.br/phocadownload/qualidadeambiental/preservativos_de_madeira/2017-registrados/tanalith-72-cca-c.pdf)>. Acesso em: 31 ago. 2017.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRESERVANTES DE MADEIRA (ABPM). **Frequent asked questions**. Disponível em:<<http://www.abpm.com.br/faq>>. Acesso em: 18 set. 2017.
- 5 BRASIL. **Lei nº 4.797, de 29 de outubro de 1965**. Torna obrigatório, pelas empresas concessionárias de serviços públicos, o emprego de madeiras preservadas e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/HTM-ANTIGOS/4797-65.HTM>>. Acesso em: 20 set. 2017.
- 6 BRASIL. Ministério Do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Portaria Interministerial nº 292, de 28 de abril de 1989**. Disponível em: <[http://www.ibama.gov.br/phocadownload/qualidadeambiental/preservativos\\_de\\_madeira/2017registrados/areas%20tematicas\\_produtos%20preservativo%20de%20madeiras\\_2.pdf](http://www.ibama.gov.br/phocadownload/qualidadeambiental/preservativos_de_madeira/2017registrados/areas%20tematicas_produtos%20preservativo%20de%20madeiras_2.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2017.
- 7 \_\_\_\_\_. Ministério Do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Instrução Normativa nº 5, de 20 de outubro de 1992**. Disponível em: < <http://www.mohr.com.br/coimor/in5.pdf> >. Acesso em: 20 set. 2016.
- 8 \_\_\_\_\_. Ministério Do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Portaria Normativa nº 151, de 24 de novembro de 1997**. Disponível em: <[http://www.mohr.com.br/coimor/151\\_a.pdf](http://www.mohr.com.br/coimor/151_a.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2016.

- 9 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA (ABNT). **ABNT NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- 10 \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 6236**: madeira para carretéis para fios, cordoalhas e cabos. Rio de Janeiro, 2004.
- 11 \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 9480**: peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais - Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.
- 12 \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 16143**: preservação de madeiras — Sistema de categorias de uso. Rio de Janeiro, 2013.
- 13 \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 6232**: penetração e retenção de preservativos em madeira tratada sob pressão. Rio de Janeiro, 2013.
- 14 \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 7511**: dormentes de madeira — requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.
- 15 MONTANA QUÍMICA S.A. **CCA - Osmose K33 C**. Disponível em:<<http://www.montana.com.br/Perguntas-Freq/Madeira-Tratada/CCA-Osmose-K33-C>>. Acesso em: 5 set. /2017.
- 16 SILVA, José de Castro. Madeira preservada: os impactos ambientais, 18 out. 2016. Disponível em:<<http://estruturasdemadeira.blogspot.com.br/2016/10/madeira-preservada-os-impactos.html>>. Acesso em: 05 set. 2017. Blog: Estruturas de madeira.
- 17 MONTANA QUÍMICA S.A. **CCA - Osmose K33 C**. Disponível em:<<http://www.montana.com.br/Perguntas-Freq/Madeira-Tratada/CCA-Osmose-K33-C>>. Acesso em: 5 set. /2017.
- 18 SUSPENSA multa de R\$ 22 milhões à CEEE por dano ambiental em Barreto. Portal de Notícias, São Jerônimo, 25 julho 2017. Disponível em:<<http://www.portaldenoticias.com.br/noticia/2351/suspensa-multa-de-r-22-milhoes-a-ceee-por-dano-ambiental-em-barreto.html>>. Acesso em: 5/09/2017.
- 19 VIDAL, Jackson Marcelo; EVANGELISTA, Wescley Viana; SILVA, Jose de Castro; JANKOWSK, Ivaldo Pontes. Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 257-271, 2015.
- 20 FORNARI, Susana Müller. **Sustentabilidade do uso da madeira tratada: uma análise das dimensões econômica e ambiental**. 2011.58f.Trabalho de conclusão (Graduação em Economia)-Faculdade de Ciências Econômica da UFRGR, Porto Alegre, 2011.
- 21 BERTOLINI, Marília da Silva; NASCIMENTO Maria Fátima do; LAHR, Francisco Antônio Rocco. Rejeitos de espécies de reflorestamento tratadas com preservantes CCA e CCB empregados em painéis de partículas. WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DA REDE DE PESQUISA INOVATEC FINEP (POLO USP), 1, 2012, São Paulo. Disponível em:<<http://www.iau.usp.br/ocs/index.php/INOVATEC-FINEP/wiif-usp/paper/viewFile/414/262>>. Acesso em: 20 set.2017.

- 22 FERRARINI, SUZANA FRIGHETTO. **Estabelecimento de metodologia para remoção de Cobre, Cromo e Arsênio de resíduos de madeira tratada com Arseniato de Cobre Cromatado - CCA**. 2012. 142f. Tese (Doutorado Engenharia e Tecnologia de Materiais)-Programa de Pós Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- 23 FERRARINI, Suzana Frighetto; SANTOS, Heldiane Souza dos; MIRANDA, Luciana Gampert; AZEVEDO, Carla M. N; PIRES, Marçal. J. R; MAIA, Sandra Maria. Classificação de resíduos de madeira tratada com preservativos à base de Arseniato de Cobre Cromatado e de Boro/Flúor. **Quim. Nova**, Porto Alegre, v. 35, n. 9, p. 1767-1771, 2012.
- 24 VALLE, Mara Lúcia Agostini; SILVA, José de Castro; LUCIA, Ricardo Marius Della; EVANGELISTA, Viana Evangelista. Retenção e penetração de CCA em madeira de primeira e segunda rotação de *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 481-490, 2013.
- 25 BERTOLINI, Marília da Silva; NASCIMENTO Maria Fátima do; CHRISTOFORO, André Luis; LAHR, Francisco Antônio Rocco. Painéis de partículas provenientes de rejeitos de *Pinus sp.* tratado com preservante CCA e resina derivada de biomassa. **Revista Árvore**, Viçosa, v.38, n.2, p.339-346, 2014.
- 26 FERRARINI, Suzana Frighetto; MIRANDA, Luciana Gampert; MAIA, Sandra Maria; PIRES, Marçal. Madeira tratada com arseniato de cobre cromatado (CCA): opções de destino para os resíduos gerados e perspectivas no desenvolvimento de metodologias para a remoção dos elementos tóxicos. 2014. **Periódico Tchê Química**, Porto Alegre, v. 12, n. 23, p.7-21, 2015.
- 27 Mercer. T.G; Frostick, L.E. *Evaluating the potential for environmental pollution from chromated copper arsenate (CCA)-treated wood waste: A new mass balance approach*. Elsevier B.V. *Journal of Hazardous Materials*, 276, p.10–18, 2014.
- 28 SANTOS, Heldiane Souza dos. **Remoção de elementos tóxicos em efluente proveniente da descontaminação de madeira tratada com arseniato de cobre cromatado**. 2014. 142f. Tese(Doutorado em Engenharia e Tecnologia de Materiais)-Programa de Pós Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- 29 EUFLOSINO, Allan Ewerton Rezende. **Análise química da madeira tratada com CCA - C, do carvão vegetal e do licor pirolenhoso**. 2015. 50f. Dissertação(Mestrado em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais)- Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2015.
- 30 FERREIRA, Pires Ferreira. **Processo oxidativos avançados para degradação da matéria orgânica do efluente da descontaminação da madeira tratada com Arseniato de Cobre Cromatado**. 2015. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

- 31 JUNGES, Janaina. **Pirólise de madeira tratada com CCA em reator de leito fixo.** 2015. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias da Universidade de
- 32 Caxias do Sul, Caxias dos Sul, 2015.
- 33 Hoerlle, Cristiele Renata; Brehm, Feliciane Andrade. Aspectos e impactos ambientais relacionados ao descarte inadequado da madeira tratada com arseniato de cobre cromatado - CCA. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 10., 2016, Porto Alegre. Disponível em: <[http://www.abes-rs.org.br/centraldeeventos/\\_arqTrabalhos/trab\\_20160905202037000000014.pdf](http://www.abes-rs.org.br/centraldeeventos/_arqTrabalhos/trab_20160905202037000000014.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2017.
- 34 ROCHA, Iann Pinheiro; FREITAS, Luís Carlos de; NETO, Caio da Silva; MACEDO, Matheus Lita; CERQUEIRA, Murilo Rocha. Caracterização dos processos industriais de uma empresa de tratamento de madeira (Nota científica). **Rev. Inst. Flor.** Vitória da Conquista, v. 28 n. 2, p. 205-211, 2016.
- 35 SEGUNDINHO, Pedro Gutemberg de Alcântara; GONÇALVES, Fabricio Gomes; GAVA, Costa Gav; TINTI, Vinícius Peixoto; ALVES, Sabrina Daré; REGAZZI, Adair José. Eficiência da colagem de madeira tratada de Eucalyptus cloeziana F. Muell para produção de madeira laminada colada (MLC). **Revista Matéria**, Jerônimo Monteiro, v.22, n.2, p.1-13, 2016.

## DESGASTE DOS MATERIAIS E REVESTIMENTOS APLICADOS AOS ROTORES DE BOMBAS DE CAVIDADES PROGRESSIVAS COM ESTATOR ELASTOMÉRICO

Taparello de Souza, M. A. <sup>1</sup>

Moraes, C. A. M. <sup>2</sup>

Fontana, W. A. <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, Marcelo Angelo Taparello de Souza, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), marcelotaparello@hotmail.com.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico, Carlos Alberto Mendes Moraes, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), cmoraes@unisinobr.

<sup>3</sup> Engenheiro Mecânico, Walter Andrey Fontana, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), wfontana@unisinobr.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo

As bombas de cavidades progressivas (BCPs) são tecnologias recentes comparadas aos demais equipamentos de bombeamento de fluido. Este artigo tem como objetivo revisar a literatura sobre o comportamento desta máquina de deslocamento positivo, entender seu princípio básico de funcionamento, dando condições de avaliar especificamente os materiais e revestimentos aplicados ao rotor e seus respectivos mecanismos de desgaste. Foram selecionados os materiais de tradicional aplicação, dos maiores fabricantes destes equipamentos, e comparadas suas capacidades de resistência ao desgaste através da revisão dos princípios de tribologia focados diretamente na aplicação deste componente. Aço inoxidável, carbetos de silício, revestimentos de cromo eletrodepositado e carbetos de tungstênio foram avaliados quanto ao desgaste abrasivo por deformação plástica, erosão por partículas sólidas e desgaste por fratura frágil. Embora sejam três os mecanismos de desgaste presentes, e os materiais cerâmicos apresentem menor rendimento nos últimos dois, os mesmos mantêm superioridade no contexto geral. Portanto, o desgaste de maior relevância na BCP é o de abrasão por deformação plástica e o parâmetro mais influente é a dureza da superfície do rotor. Sendo assim, o rotor de maior resistência é o que utiliza como material o carbetos de silício. Contudo, a dureza, isoladamente, não gera condições de afirmar sobre a vida útil do material utilizado no rotor da bomba. O fluido de trabalho apresenta grande influência no desgaste do rotor devido à carga e tipo de particulado sólido que apresenta.

**Palavras-chave:** bomba de cavidades progressivas, rotor, materiais, desgaste.

### WEAR OF MATERIALS AND COATINGS APPLIED TO PROGRESSIVE CAVITY PUMP ROTORS WITH ELASTOMERIC STATOR

#### Abstract

Progressive Cavity Pumps (PCPs) are recent technologies compared to other fluid pumping equipment. This article aims to review the literature on this positive displacement machine, understand its basic principle of operation, giving conditions to specifically evaluate the materials and coatings applied to the rotor and their respective mechanisms of wear. The materials of traditional application were selected from the largest manufacturers of these equipments, and their wear

resistance capabilities were compared through the revision of the principles of tribology focused directly on the application of this component. Stainless steel, silicon carbide, electrodeposited chrome and tungsten carbide coatings were evaluated for abrasive wear by plastic deformation, erosion by solid particles and wear by brittle fracture. Although three wear mechanisms are present, and ceramic materials show lower yield in the last two, they maintain superiority in the general context. Therefore, the most relevant wear on PCP is plastic strain abrasion and the most influential parameter is the hardness of the rotor surface. Therefore, the rotor of greater resistance is that uses as material the silicon carbide. However, the hardness, alone, does not provide conditions for the useful life of the material used in the pump rotor. The working fluid has a great influence on rotor wear due to the load and type of solid particulate present.

**Key words:** progressive cavity pump, rotor, materials, wear.

## 1 INTRODUÇÃO

A bomba de cavidades progressivas foi concebida por Rene Moineau na década de 1930. Este equipamento foi utilizado no princípio para transferência de fluidos em geral e a partir de 1970 na indústria petroleira [1, 2].

A ação de bombeio consiste no giro de um rotor no formato de uma hélice simples externa dentro de um estator moldado no formato de uma hélice dupla interna [1, 2, 3].

A geometria dos rotores influencia diretamente na eficiência volumétrica destas bombas, portanto o desgaste de sua superfície é de fundamental importância em seu desempenho.

Os rotores utilizavam, tradicionalmente, como materiais o aço liga revestido de cromo duro eletrodepositado ou aço inoxidável sem revestimento, possuindo desempenho satisfatório para diversas aplicações [3]. Outras soluções como rotores sólidos de carbetto de silício e revestimentos de carbetto de tungstênio foram desenvolvidas com o objetivo de melhorar o desgaste para condições de trabalho mais severas.

Os mecanismos de desgaste presentes no funcionamento de uma bomba de cavidades progressivas possuem relação direta com o fluido de trabalho, velocidade de operação e interferência com o estator elastomérico. A dureza da superfície do material do rotor é fundamental para resistir ao desgaste abrasivo, ao passo que, em valores muito altos, colabora com erosivo e fratura frágil. Portanto, é importante a definição do material do rotor e suas propriedades mecânicas para a respectiva condição de trabalho.

## 2 OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo revisar a literatura sobre os materiais e revestimentos aplicados a rotores de bombas de cavidades progressivas, desgaste do mesmo através dos mecanismos existentes na operação, auxiliar na compreensão e construir subsídios e parâmetros para a seleção deste material para a aplicação como rotor.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

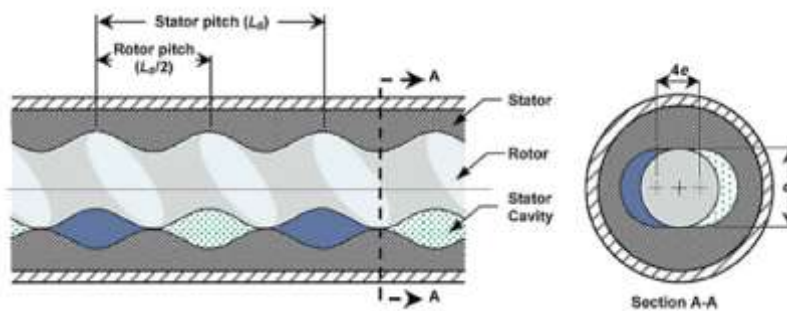
O método de pesquisa baseou-se em avaliar os principais materiais, utilizados pelos fabricantes, em rotores de bombas de cavidades progressivas, a partir da literatura focando nas características físicas e mecânicas destes e os revestimentos e os desgastes envolvidos na operação da bomba.

#### 4 BOMBAS DE CAVIDADES PROGRESSIVAS

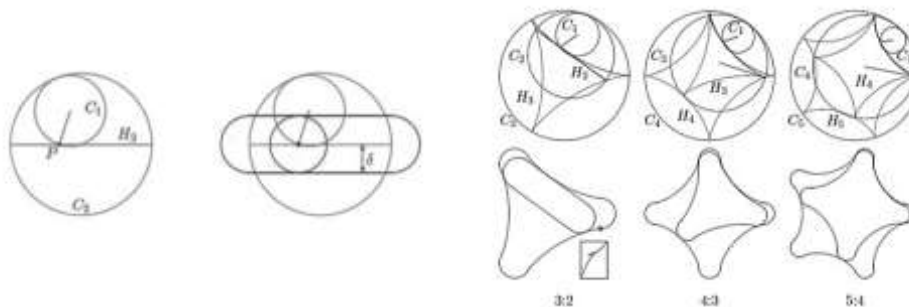
As bombas de cavidades progressivas (BCP) são máquinas de fluido geradoras, promovem aumento de energia interna do fluido através do fornecimento de energia mecânica. São classificadas como bombas de deslocamento positivo, pois deslocam um volume fixo de fluido a cada ciclo.

A BCP é formada basicamente por um rotor e um estator. O rotor possui perfil de “n” dentes cilíndricos helicoidais e passo  $p$ , gira em relação ao estator, fixo na carcaça da bomba, de cavidade interna com perfil de  $n+1$  dentes cilíndricos e passo  $2p$ . Simultaneamente à rotação, o rotor prescreve um movimento cíclico excêntrico, segundo uma trajetória que varia com o valor de  $n$  [4, 5]. Na configuração clássica, ilustrada na Figura 1, quando  $n=1$ , a BCP possui um rotor de formato cilíndrico helicoidal, estator com cavidade interna oblonga helicoidal e o centro do rotor prescreve uma trajetória hipocicloide, ver Figura 2. Na Figura 1 é possível identificar as cavidades onde o fluido é confinado e na Figura 3 o caminho que o mesmo percorre. À medida que o rotor gira de forma excêntrica dentro do estator, o fluido é movido helicoidalmente ao longo da bomba, desde a entrada até a descarga [6].

Demais configurações de BCPs, com  $n > 1$  prescrevem movimentos hipocicloides. Estas configurações são conhecidas como BCPs de múltiplas cavidades. A geometria e o comportamento do fluido são complexos comparados às BCPs tradicionais [6].

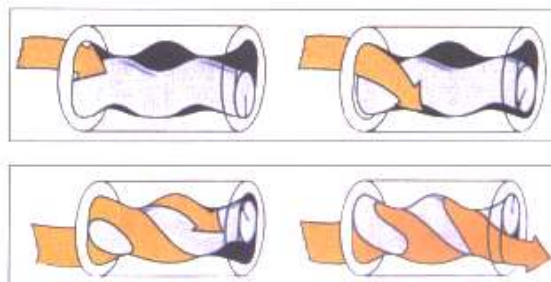


**Figura 1.** Perfil de uma BCP de geometria clássica [6].



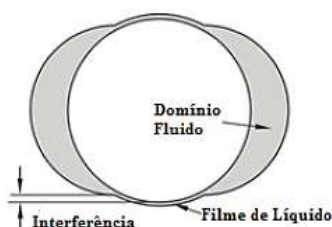
**Figura 2.** Movimento do rotor em uma BCP [5].

Esquerda: movimento hipocicloide do rotor em uma BCP com  $n=1$ .  
 Direita: movimentos hipocicloides de rotores em uma BCPs com  $n > 1$ .



**Figura 3.** Movimento do fluido na BCP [7].

As BCPs tradicionais possuem rotores metálicos e estatores elastoméricos. Esta combinação permite que trabalhem com interferência, ou seja, o rotor com seção transversal maior que a cavidade do estator. A deformação no estator forma as linhas de selo para vedação das cavidades. A Figura 4 ilustra a interferência entre os componentes.

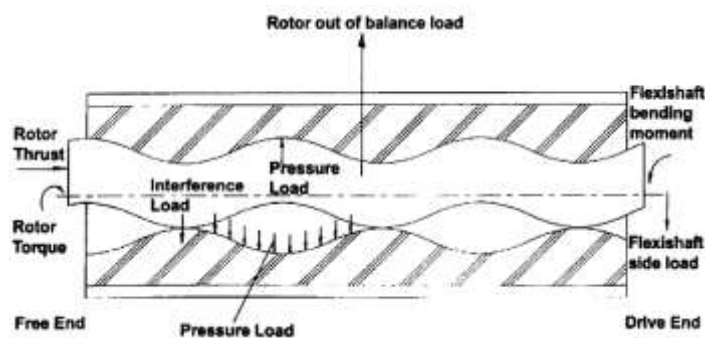


**Figura 4.** Interferência entre o rotor e estator [8].

Os materiais do rotor e estator são problemas abordados por diversos fabricantes internacionais de BCPs, destacando sua importância no desempenho, vida útil e custo das bombas [3].

#### 4.1 Materiais de Rotor

O funcionamento de uma BCP exige do material do rotor determinadas características. A interferência com o estator impõe esforços devido à tensão de flexo-torção que, aliados à rotação do componente, colocam-no em regime de fadiga. O contato das superfícies promove desgaste abrasivo entre elas, o mesmo é influenciado pelas características do fluido bombeado que, por sua vez, colabora também para a corrosão ou incrustações na superfície do rotor. A Figura 5 ilustra as cargas impostas no rotor e estator.



**Figura 5.** Cargas no rotor e estator [7].



Tradicionalmente os rotores recebem tratamento de superfície por camada de cromo duro eletrodepositado [3,7]. A camada é um meio de proteção para corrosão, abrasão e erosão. O cromo duro possui custo acessível, confiabilidade para desgaste e ataque químico e aplicação geral para os fluidos. Esta superfície possui acabamento liso, confere baixo coeficiente de atrito com o estator elastomérico, extremamente importante para minimizar o torque de partida quando a bomba não está lubrificada.

Atualmente, para bombeamento de fluidos extremamente abrasivos, são utilizadas soluções como: revestimentos cerâmicos, carbeto de tungstênio, e rotores sólidos de carbeto de silício [7].

#### 4.1.1 Sólido de aço inoxidável

Os aços inoxidáveis pertencem a um grupo extenso de ligas especiais, especificamente desenvolvidas para resistir à corrosão. Outras características desejáveis podem incluir excelente capacidade de conformação, alta tenacidade na temperatura ambiente e a temperaturas criogênicas, e boa resistência à oxidação e à fluência em temperaturas elevadas. O cromo é o elemento de liga que garante resistência à corrosão aos aços inoxidáveis [9]. Normalmente, nos rotores de BCPs são utilizados os aços inoxidáveis austeníticos AISI 310 e AISI 316 e o martensítico AISI 420.

#### 4.1.2 Sólido de carbeto de silício

O carbureto de silício (SiC) é um material cerâmico com diversas aplicações nas indústrias de refratários, de abrasivos e metalúrgica devido a suas propriedades mecânicas, elétricas e químicas exclusivas, como resistência à corrosão, dureza, e inerte quimicamente a muitos materiais [10].

A ampla variedade de propriedades do carbeto de silício é atribuída ao alto caráter covalente da ligação existente entre os átomos de carbono e silício [11].

Sólidos covalentes, em geral, apresentam baixa densidade, isto é ocasionado pelo pequeno empacotamento oriundo da direcionalidade da ligação covalente. No carbeto de silício, os átomos de carbono e silício são covalentemente ligados e estão arranjados em tetraedros coordenados, seja na forma  $SiC_4$  ou  $CSi_4$  [11].

#### 4.1.3 Revestimento de cromo eletrodepositado

Cromo duro é o revestimento eletrodepositado mais usado para obter altos níveis de dureza, resistência ao desgaste e corrosão, e baixo coeficiente de atrito, para aplicações na indústria aeroespacial, automotiva e petroquímica [12].

A eletrodeposição ou muitas vezes chamada de galvanização é definida como a deposição de um revestimento por eletrólise, isto é, deposição de uma substância sobre um eletrodo imerso num eletrólito, passando a corrente elétrica através do eletrólito. O cromo duro é obtido a partir de uma solução contendo ácido crômico ( $H_2CrO_3$ ) e um catalisador com proporções adequadas [13].

A camada eletrodepositada de cromo possui cerca de  $5\ \mu m$  de espessura. Esta fina película possui alta dureza, entre 800 e 1200 HV, e baixa rugosidade, praticamente não há adesão de partículas, eliminando-se assim o perigo de incrustações e engripamentos durante o trabalho.

Tradicionalmente, nos rotores, este revestimento é aplicado a aços ao carbono e aços inoxidáveis.

#### 4.1.4 Revestimento de carbeto de tungstênio

O revestimento de carbeto de tungstênio é feito a partir da aspersão térmica HVOF (*High Velocity OxyFuel Flame*). Este tratamento possui propriedades de resistência ao desgaste, corrosão e adesão ao substrato.

Neste processo, o material a ser depositado encontra-se na forma de pó, que é injetado em uma chama de alta velocidade. As partículas são aquecidas e projetadas em alta velocidade contra uma superfície previamente preparada, onde após o impacto e deformação das mesmas levam a formação e adesão do revestimento ao substrato. Devido às altas velocidades de impacto neste processo, os revestimentos possuem porosidade extremamente baixa (tipicamente < 1%) e elevada força de adesão em relação aos processos de aspersão térmica convencionais [14]. Similarmente ao cromo duro, o revestimento de carbeto de tungstênio também é aplicado, em geral, em rotores de aço ao carbono ou inoxidável.

#### 4.2 Desgaste

O desgaste mecânico está diretamente ligado à microestrutura e composição dos materiais envolvidos e das condições de contorno do sistema. O desgaste muda drasticamente mesmo com uma mudança relativamente pequena no sistema tribológico, que é composto por parâmetros dinâmicos, ambientais e do material [15].

Numa BCP, o sistema tribológico, ilustrado pela Figura 6, é formado pelo rotor, estator, filme de fluido de alta pressão na interface, domínio fluido de nas cavidades. O movimento relativo do rotor no transporte do fluido e, conseqüentemente, das partículas sólidas do mesmo, pode causar abrasão e erosão [7].

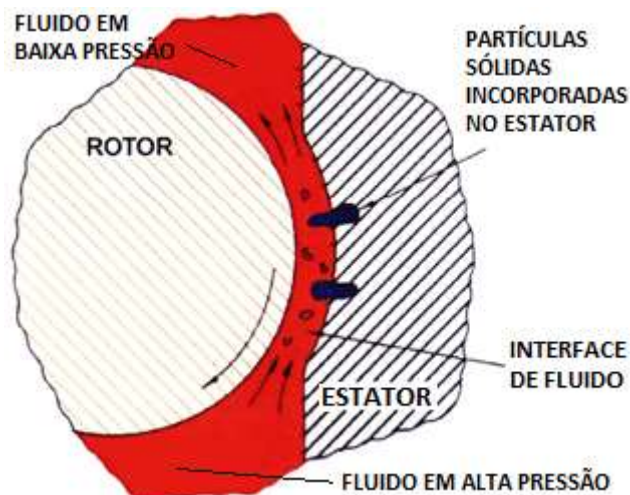


Figura 6. Sistema tribológico de uma BCP [7].

O filme de fluido varia seu grau de abrasividade conforme o tipo e quantidade de particulado sólido presente. A Tabela 1 apresenta o grau de abrasividade de alguns fluidos conhecidos.

**Tabela 1.** Graus de abrasividade de alguns fluidos [7].

<b>Grau de abrasividade</b>	<b>Exemplos de fluidos</b>
Não abrasivos	Água potável, bebida engarrafada, vinhos, combustíveis, fluidos lubrificantes limpos, cremes cosméticos, shampoo, etc.
Baixa abrasividade	5% v/v de sólidos, água de mar ou rio contendo até 2% de areia, lodo de esgoto sem areia, cremes de biscoito, mistura de bolo, látex, óleos de motor usados, etc.
Média abrasividade	10% v/v de sólidos, argila até 55% de sólidos, água de drenagem (5% poeira de cimento), lamas de argila bentonite, argila da China 60% p/p (10 microns), cimento e água 20% p/p, pasta de dentes, lamas de tinta, etc.
Alta abrasividade	15% v/v de sólidos, mistura de gesso 30% p/p sólidos, cimento de pasta de cimento (55% de areia / 30% de cimento / 15% de água), água de mina com 15% de areia de sílica (malha 20), Di-óxido de titânio 60% p/p sólidos finos, óleos de corte contendo cavaco metálico, massa de pedra (granito, mármore e partículas de ardósia) 25-30% p/p, etc.

O desgaste pela ação do fluido, na bomba de cavidade progressiva, ocorre através de três mecanismos: abrasão por deformação plástica, erosão por partícula sólida, desgaste por fratura frágil.

#### 4.2.1 Abrasão por deformação plástica

A abrasão por deformação plástica é resultado de uma interface atritando que pode apanhar restos de desgaste ou partículas solidas da vizinhança. Ou seja, ocorre quando o material é removido da superfície do componente pela ação de corte ou goivagem de partículas duras, ou ainda pelo rolamento de metal contra metal [16].

A teoria clássica de abrasão por deformação plástica é apresentada pela equação 1.

$$(1) \quad \text{Taxa de desgaste} \propto \frac{KWS}{H}$$

Para a BCP,  $W$  é a carga na linha de selo do rotor com o estator,  $S$  a velocidade angular do rotor,  $H$  é a dureza da superfície do rotor e  $K$  está relacionado às características do fluido.

A expressão mostra que a vida útil do rotor é prolongada com o aumento da dureza da superfície, menor velocidade de trabalho e interferência com o estator. A Figura 7 representa graficamente a influência da dureza de materiais puros na resistência à abrasão.

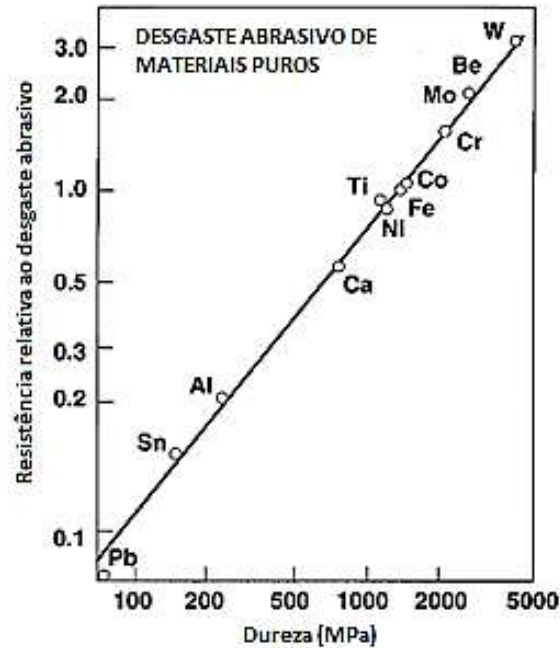


Figura 7. Influência da dureza no desgaste abrasivo de diversos materiais puros [15].

#### 4.2.2 Erosão por partículas sólidas

Este tipo de desgaste resulta do impacto de partículas sólidas ou gotas líquidas sobre a superfície do componente. Estas partículas são carregadas em meio fluido, geralmente a altas velocidades. A taxa de erosão depende da energia cinética das partículas [16].

A significância do desgaste erosivo depende do número e massa das partículas que atingem a superfície do componente e sua respectiva velocidade [7].

A teoria da erosão clássica sustenta que a resposta de um material a erosão depende de ser dúctil ou frágil e do ângulo de impacto. A partícula influencia fortemente a gravidade da erosão, conforme a Figura 8 e 9 [7]. Conforme a Figura 8, o aço inoxidável, utilizando a curva de aço dúctil, experimenta aumento da erosão com ângulos de impacto de 0° a 30°, redução aproximadamente linear de 30° a 90° e aumento gradativo da erosão com a velocidade de impacto. Já para o carvão de silício e os revestimentos de cromo e carvão de tungstênio, utilizando-se a curva dos materiais cerâmicos ou de alta dureza, o desgaste erosivo aumenta com o ângulo de impacto, atinge o valor máximo para 90° e apresenta-se como o maior dentre todos os materiais. Comportamento similar é observado com a velocidade de impacto e, para este parâmetro, os materiais de alta dureza, comparado aos demais, apresentam maior erosão da superfície ao longo de toda a curva da figura.

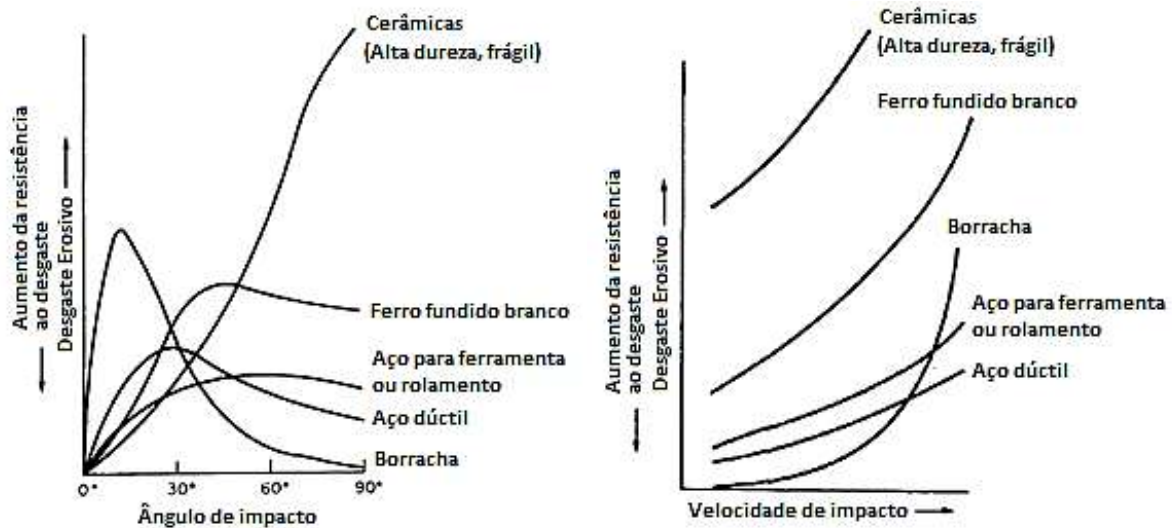


Figura 8. Influência do ângulo e velocidade de impacto no desgaste erosivo de diversos materiais [7].

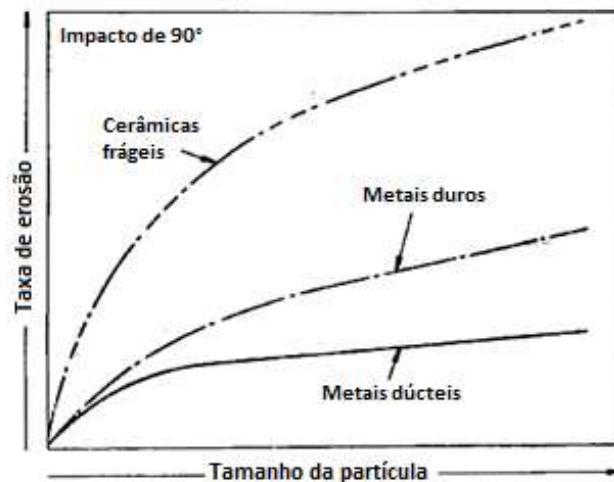


Figura 9. Influência do tamanho da partícula no desgaste erosivo de diversos materiais [7].

O ângulo de impacto interfere inversamente entre os materiais dúcteis e frágeis. Nos dúcteis, o desgaste erosivo tem maior relevância em ângulos de impacto pequenos, enquanto que para os frágeis, o máximo ocorre nos impactos perpendiculares. Já o tamanho da partícula é diretamente proporcional à taxa de desgaste para todos os materiais, tendo maior significância para os cerâmicos ou de alta dureza.

#### 4.2.3 Desgaste por fratura frágil

Materiais frágeis têm um modo de desgaste adicional, conhecido como microfatura, que ocorre quando as forças aplicadas pela partícula excedem a resistência à fratura das superfícies de contato [7].

No contato de cerâmicas, as partículas de desgaste são geradas mecanicamente sem o mecanismo de desgaste por fadiga, mesmo em contato elástico. O desgaste é governado pela fratura frágil microscópica de microfissuras na superfície em contato elástico nominal. Este é o mecanismo de desgaste

representativo da cerâmica quando a taxa de desgaste específica é superior a  $10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$  [15].

Abrasão e erosão por fratura frágil devem ser consideradas como possíveis mecanismos de desgaste que causam danos aos revestimentos de rotor cerâmico pulverizado por plasma.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante dos mecanismos de desgaste de materiais e revestimentos de rotores apresentados, pode-se prever, comparativamente, a vida útil do rotor da BCP, avaliando as características destes materiais em trabalho.

A abrasão por deformação plástica depende apenas da dureza dos materiais em estudo, já que os parâmetros de fluido, interferência com o estator e velocidade de operação são os mesmos para todos. A dureza é o fator mais importante neste desgaste, pois a superfície do rotor precisa resistir à ação de corte das partículas sólidas incorporadas no estator de elastômero. Percebe-se a superioridade do carbetto de silício, uma vez que é o de maior dureza, através da análise da Figura 7. Os revestimentos de carbetto de tungstênio e cromo possuem valores próximos e mostram grande diferença em relação ao aço inoxidável.

A erosão por partículas sólidas é fortemente influenciada pelo grau de abrasividade do fluido, velocidade e ângulo de impacto. Os materiais de alta dureza (frágeis) sofrem maior desgaste erosivo que os dúcteis, conforme Figuras 8 e 9, nas mesmas condições de trabalho. Desta forma, pode-se prever a vantagem, quanto ao desgaste erosivo, do uso de aço inoxidável para fluidos de alto nível de particulado sólido.

O desgaste por fratura frágil ocorre exclusivamente nos materiais de alta dureza, principalmente em cerâmicos. Numa BCP, partículas cerâmicas presentes em fluidos abrasivos promovem este mecanismo de desgaste no rotor. O mesmo não ocorre nos rotores de materiais dúcteis.

A Tabela 2 ilustra qualitativamente a comparação de resistência ao desgaste dos materiais envolvidos.

**Tabela 2.** Dureza e resistência ao desgaste dos materiais e revestimentos em estudo.

Material ou revestimento	Dureza	Resistência à abrasão	Resistência à erosão	Resistência à fratura frágil
Sólido de aço inoxidável AISI 420	215 HV	+	+++	N/A
Sólido de carbetto de silício	200 GPa HV	++++	+	+
Revestimento de cromo eletrodepositado	1000 HV	++	++	N/A
Revestimento de carbetto de tungstênio	1250 HV	++	++	++

## 6 CONCLUSÃO

A avaliação de literatura mostrou os mecanismos de desgaste envolvendo os materiais de rotores de bombas de cavidades progressivas.

Os materiais e revestimentos empregados nos rotores possuem diferentes propriedades de resistência aos mecanismos de desgaste existentes no trabalho de uma BCP.

O desgaste nos rotores influencia diretamente na perda de eficiência volumétrica da bomba. A variação no dimensional do helicóide do rotor favorece o escorregamento do fluido devido à redução da interferência com o estator, principalmente trabalhando em elevadas pressões.

Para prolongar a vida útil da superfície do rotor, o material ou revestimento necessita, principalmente, resistir à ação de corte das partículas incorporadas no estator.

A quantidade de particulado sólido e, conseqüentemente, o grau de abrasividade do fluido possui influência direta nas três formas de desgaste, sendo o principal mecanismo, o de abrasão por deformação plástica, que tem como principal propriedade de resistência, a dureza.

Ficou evidenciado que se pode utilizar somente a dureza para escolha do material do rotor e obter um resultado satisfatório. Entretanto, a caracterização da resistência da superfície não depende apenas da dureza e, para determinadas condições de trabalho, o rotor pode ter seu tempo de vida prolongado através da análise detalhada da erosão por partículas sólidas e fratura frágil, superpostas ao mecanismo de abrasão por deformação plástica.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, pelo incentivo a pesquisa e pela bolsa PROSUP de mestrado, e ao CNPq pela bolsa de produtividade em desenvolvimento tecnológico – DT.

## REFERÊNCIAS

- 1 PESSOA, P. A. S. Simulação computacional do escoamento em bombas de cavidades progressivas. Natal, 86 p., 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- 2 VIDAL, F. Desenvolvimento de um simulador de bombeio por cavidades progressivas. Natal, 72 p., 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- 3 WORLD PUMPS. Performance factors for progressing cavity pumps. 2005.
- 4 AAGE, Niels; et al.. Mathematical problems for Moineau pumps, 2006.
- 5 GRAVESEN, Jens. The geometry of the Moineau pump, 2008.
- 6 NGUYEN T. et al. Simulation of single-phase liquid flow in Progressing Cavity Pump, 2016.
- 7 WHITTAKER, L. V. Evaluation and analysis of wear in progressive cavity pumps. Inglaterra, 194 p., 2003. Dissertação (Doutorado) – The University of Hull.

- 8 AZEVEDO, V. W. F. Simulação do escoamento multifásico no interior de bombas de cavidades progressivas metálicas. Natal, 69 p., 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- 9 KWIETNIEWSKI, C. E. F.; KISS, F. J. Metalografia e tratamentos térmicos de aços e ferros fundidos. Porto Alegre, 2011. 364 p.
- 10 LIMA, T. C. F. Estudo da utilização de briquetes de matéria prima na produção de carbureto de silício. Ouro Preto. 109 p., 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto.
- 11 SILVA, R. P. Estudo do processamento e microestrutura do carbeto de silício ligado por reação. Rio de Janeiro, 62 p., 2009. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- 12 SOUZA, R. C. et al. Carbeto de tungstênio – Uma alternativa ao cromo duro eletrodepositado, 2000.
- 13 CASTRO, R. M. Avaliação das propriedades de superfície e do comportamento ao desgaste abrasivo de hastes de cilindros hidráulicos revestidas pelos processos HVOF e cromo duro eletrodepositado. Porto Alegre, 96 p., 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 14 TAKIMI A. et al. Revestimentos depositados por aspensão térmica hipersônica (HVOF) como alternativa ao cromo duro. 2010.
- 15 KATO, K., ADACHI, K. Wear Mechanisms, 2001.
- 16 NASCIMENTO, I. A., BAPTISTA, A. L. B. Desgaste. Spectru Instrumental Científico.



## MÉTODOS DE ANÁLISE DA VIDA EM FADIGA DA ARMADURA DE TRAÇÃO DE DUTOS FLEXÍVEIS SUBMETIDOS A MEIOS AGRESSIVOS: RESULTADOS PARCIAIS DE UM ESTUDO COMPARATIVO.

Gonçalves, R.<sup>1</sup>  
Kwietniewski, C. E. F.<sup>2</sup>  
Tagliari, M. R.<sup>3</sup>  
Borges, M. F.<sup>4</sup>

- <sup>1</sup> *Bacharel em Engenharia de Materiais, Rafaela Gonçalves, LAMEF - PPGE3M/UFRGS, rafaellag@gmail.com.*
- <sup>2</sup> *Professor Doutor em Ciência e Tecnologia dos Materiais, Carlos Eduardo Fortis Kwietniewski, UFRGS, ckwietniewski@gmail.com.*
- <sup>3</sup> *Mestre em Ciência e Tecnologia dos Materiais, Mariana dos Reis Tagliari, LAMEF - PPGE3M/UFRGS, mreis@demet.ufrgs.br.*
- <sup>4</sup> *Mestre em Ciência e Tecnologia dos Materiais, Marcelo Favaro Borges, LAMEF - PPGE3M/UFRGS, marcelofavaro@gmail.com.*

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo

Dutos flexíveis são a principal forma de interligação entre poços e plataformas de produção de petróleo e gás da costa Brasileira e estão submetidos a carregamentos cíclicos e meios agressivos em seu ambiente operacional. A avaliação de resistência à fadiga de armaduras de tração de dutos flexíveis, atualmente, não considera o efeito de corrosão localizada pré-existente, embora dados de campo confirmem sua ocorrência em períodos curtos de tempo frente à vida esperada destes equipamentos. Ensaios de corrosão-fadiga convencionais utilizam arames novos, submetidos a carregamentos cíclicos em meios agressivos onde o tempo de exposição ao meio corresponde à duração do teste para cada nível de carregamento imposto – patamares de carregamento superiores terão tempos de exposição ao meio menores do que os inferiores, resultando em comparação de defeitos de tamanhos diferentes ou inexistentes, afetando a inclinação da curva S-N resultante. Em paralelo, relatos recentes apontam especial efeito deletério da corrosão em flexíveis operando na presença de CO<sub>2</sub>. Este artigo apresenta resultados iniciais de um trabalho que pretende avaliar a influência do tempo de corrosão prévia dos fios de armadura de tração em ambiente salino contendo CO<sub>2</sub> em curvas S-N ao ar, comparado a uma curva de corrosão-fadiga em arames novos, no mesmo meio. Pretende-se assim avaliar a metodologia atualmente empregada na avaliação de resistência à fadiga, considerando a existência de defeitos superficiais nos arames, permitindo melhor previsão do tempo de vida de risers que tiveram seu anular alagado.

**Palavras-chave:** Fadiga; Corrosão-fadiga; Armadura de tração; Dutos flexíveis.

## METHODS OF FATIGUE LIFE ANALYSIS OF TENSILE ARMORS USED IN FLEXIBLE PIPELINES SUBJECTED TO AGGRESSIVE ENVIRONMENTS: PARTIAL RESULTS OF A COMPARATIVE STUDY

### Abstract

Flexible pipelines are the main form of interconnection between wells and oil and gas production platforms at the Brazilian coast. Such pipelines are subject to cyclical loading and aggressive environments in their operating process. The fatigue strength assessment of flexible pipes tensile armor does not consider the effect of the presence of pre-existing localized corrosion, although field data confirm their occurrence in short periods of time compared to the expected life of these equipment. Conventional corrosion-fatigue tests use new wires subjected to cyclic loading in aggressive environment where the exposure time to the corrosive environment corresponds to the test duration for each imposed loading level - higher loading levels will have lower exposure times compared to lower levels, resulting in comparison of defects of different or nonexistent sizes, affecting the slope of the resulting SN curve. In parallel, recent reports point to the deleterious effect of corrosion on flexible pipes operating in the presence of CO<sub>2</sub>. This paper presents initial results of a work that intends to evaluate the influence of the previous corrosion of tensile armor wires in a saline environment exposed to CO<sub>2</sub> contaminant on S-N curves obtained in air, being these compared to a corrosion fatigue curve previously obtained using new wires in the same corrosive environment. The objective is to evaluate the current methodology used in the evaluation of fatigue endurance, considering the existence of surface defects in the wires, thus allowing a better prediction of the life time of risers that had their annular flood.

**Key words:** Fatigue; Corrosion fatigue; Tensile armor; Flexible Pipelines.

### 1. INTRODUÇÃO

Dutos flexíveis são a principal forma de interligação entre poços e plataformas de produção de petróleo e gás da costa Brasileira. Tais dutos estão submetidos a carregamentos cíclicos e meios agressivos em seu ambiente operacional. Para a garantia da segurança operacional destes, os projetos devem considerar a ação combinada dos fenômenos de fadiga e corrosão <sup>(1-4)</sup>.

A avaliação de resistência à fadiga de fios da armaduras de tração de dutos flexíveis não considera o efeito da presença de corrosão localizada pré-existente, embora dados de campo confirmem sua ocorrência em períodos curtos de tempo frente a vida esperada destes equipamentos e até mesmo corrosão prévia a instalação e operação dos mesmos. Ensaios de corrosão-fadiga convencionais utilizados na qualificação de armaduras de tração não são normatizados e seguem metodologias apresentadas em literatura. Estes ensaios utilizam arames novos, os quais são submetidos a carregamentos cíclicos na presença de meios agressivos com frequência de até 2Hz – sendo esta superior ao espectro de frequências e cargas verificado em campo por motivos de viabilidade do ensaio. O tempo de exposição ao meio corresponde diretamente à duração do teste para cada nível de carregamento imposto <sup>(5-7)</sup>. Desta forma, patamares de carregamento superiores terão tempos de exposição ao meio menores se comparados aos patamares inferiores, e os dados obtidos para levantamento da curva S-N não levam em

consideração os diferentes tempos de incubação destes defeitos, uma vez que os corpos de prova geralmente são novos, isto é, não ainda utilizados e conseqüentemente não apresentam pontos de corrosão localizada severa conforme supracitado. Isto resulta em uma comparação indireta, ou seja compara defeitos de tamanhos diferentes ou até mesmo inexistentes, podendo afetar a inclinação da curva S-N resultante, mascarando resultados.

Estudos demonstram que pites de corrosão, uma vez sendo defeitos superficiais, atuam como intensificadores de tensão comprometendo significativamente a vida em fadiga do material, havendo evidências que armaduras que foram expostas a meios corrosivos por tempos relativamente curtos têm sua resistência à fadiga reduzida em magnitudes similares àquelas que sofreram maior tempo de exposição <sup>(5-7)</sup>. Em paralelo tem-se relatado recentemente especial efeito deletério da corrosão em dutos flexíveis que operam na presença de contaminantes. Este vem sendo um desafio para a exploração offshore de óleo e gás no Brasil, já que as jazidas da região do pré-sal possuem concentração substancial de contaminantes <sup>(8)</sup>.

Tendo isto em vista, este trabalho pretende avaliar a influência de um período de corrosão prévia dos fios de armadura de tração em ambiente salino exposto ao contaminante CO<sub>2</sub> em curvas S-N obtidas ao ar, sendo estas comparadas a uma curva em corrosão fadiga em arames novos (sem pré-corrosão) em meio corrosivo idêntico, assim como à curva ao ar de arames novos deste mesmo material. Pretende-se com isto avaliar a metodologia atualmente empregada na avaliação de resistência à fadiga, considerando a existência de defeitos superficiais nos arames, permitindo assim uma melhor previsão do tempo de vida de risers que tiveram seu anular alagado. Neste artigo serão apresentados resultados parciais do trabalho, compreendendo as curvas S-N ao ar e de corrosão-fadiga de arames helicoidais sem pré-corrosão.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O material investigado neste trabalho são fios de armadura de tração de risers flexíveis de aço carbono de alta resistência, com teor de carbono de aproximadamente 0,7%C. O processo de fabricação destes fios compreende vários passes de laminação a frio e tratamento térmico para refino de grão, resultando em uma microestrutura perlítica de grãos bastante finos e alongados no sentido da laminação <sup>(1,9-12)</sup>. Os fios em estudo têm dimensões de secção transversal de 15 mm x 5 mm, com 200 mm de comprimento. Uma destas amostras é apresentada na Figura 1.

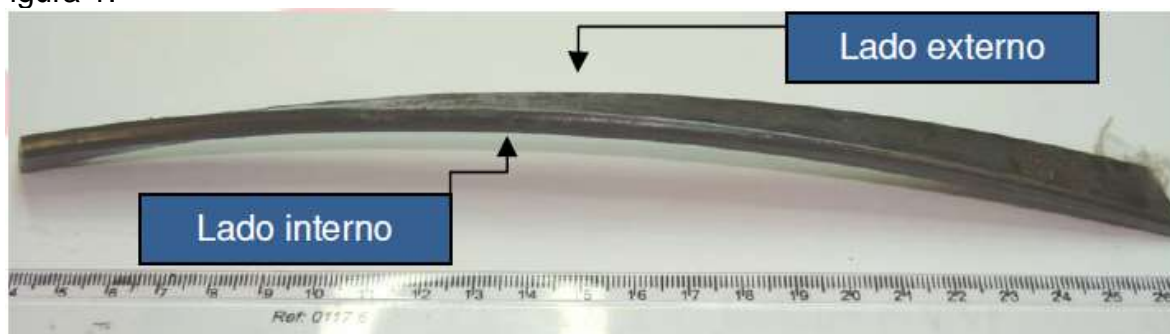


Figura 1 - Amostra de arame helicoidal empregada nos ensaios.

## 2.1. Caracterização do material

### 2.1.1. Análise química

Análise de composição química do material foi realizada através de espectroscopia de emissão óptica, em espectrômetro da marca Bruker, modelo Q2 ION. Realizou-se três medidas em pontos diferentes da superfície do arame.

### 2.1.2. Análise metalográfica

Com o objetivo de identificar a microestrutura componente do material estudado, realizou-se análise metalográfica em microscópio óptico.

Foram analisados cortes transversal e longitudinal de uma amostra de arame de armadura de tração. A preparação de corpos de prova compreendeu as etapas de corte, embutimento em baquelite, lixamento da superfície metálica até a lixa de #1200 com posterior polimento com pasta de diamante de granulometria 1  $\mu\text{m}$ , até a obtenção de uma superfície especular e sem riscos.

Para revelação da microestrutura utilizou-se o reagente químico Nital 2%. Em seguida, as amostras foram observadas em microscópio óptico, com aumento de 500x.

### 2.1.3. Propriedades mecânicas

Para a realização dos ensaios de tração, três arames helicoidais foram endireitados via deformação plástica para eliminar a torção e a curvatura. Para isso, foi utilizado um dispositivo que permite deformar o helicóide por torção e flexão ao longo do comprimento de forma distribuída.

Ensaio de tração foram realizados em 3 corpos de prova, conforme procedimentos descritos na norma ASTM E8, para determinação de propriedades mecânicas do material <sup>(13)</sup>. Nestes ensaios foram utilizados corpos de prova de escala reduzida descritos na figura 1 do item 6 da referida norma. Suas dimensões estão ilustradas na Figura 2. O parâmetro de comprimento inicial útil (lo) utilizado foi de 25 mm.

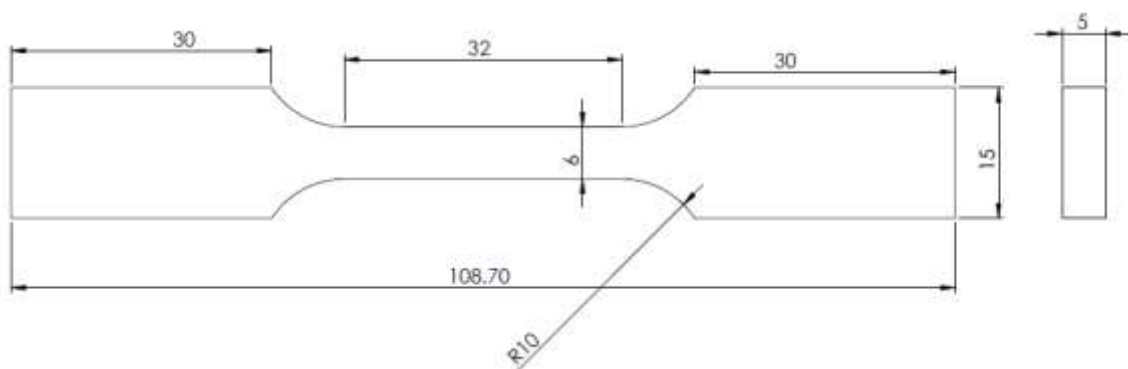


Figura 2 - Desenho esquemático do corpo de prova de tração.

Microdureza Vickers foi medida em microdurômetro Vickers da marca Struers, modelo Duramin-2, utilizando carga de 2kgf por 10s. Fez-se medidas ao longo da espessura do arame, em sua seção transversal, construindo assim um perfil de microdureza.

## 2.2. Ensaios de fadiga

Fadiga é o processo de dano e falha em que, devido a carregamentos cíclicos, um material acumula danos microscópicos e pode falhar mesmo quando submetido a tensões abaixo de seu limite de resistência. <sup>(14)</sup>

Falhas por fadiga ocorrem sem que haja um aviso prévio. A fadiga origina uma fratura de aparência frágil e sem existência de deformação macroscópica. A falha ocorre, geralmente, em um ponto de concentração de tensões como um canto vivo ou um entalhe, e também em um concentrador de tensão metalúrgico como inclusões ou poros. <sup>(15)</sup>

São fatores que influenciam o desempenho em fadiga:

- Tensão de tração máxima ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ );
- Variação de tensão ( $\Delta\sigma$ )
- Razão de carregamento R;
- Tensão média ( $\sigma_m$ );
- Em corrosão-fadiga, também tem influência a frequência de ensaio.

As equações para cada um dos parâmetros supracitados são as que seguem:

**Equação 1 - Variação de tensões.**

$$\Delta\sigma = \sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{min}$$

**Equação 2 - Tensão média.**

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{min}}{2}$$

**Equação 3 - Razão de carregamento.**

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$$

Neste trabalho, inicialmente foram realizados ensaios para a montagem de 2 curvas S-N (ou curvas de Woller):

- Fadiga ao ar de arames helicoidais novos
- Corrosão-fadiga de arames helicoidais novos

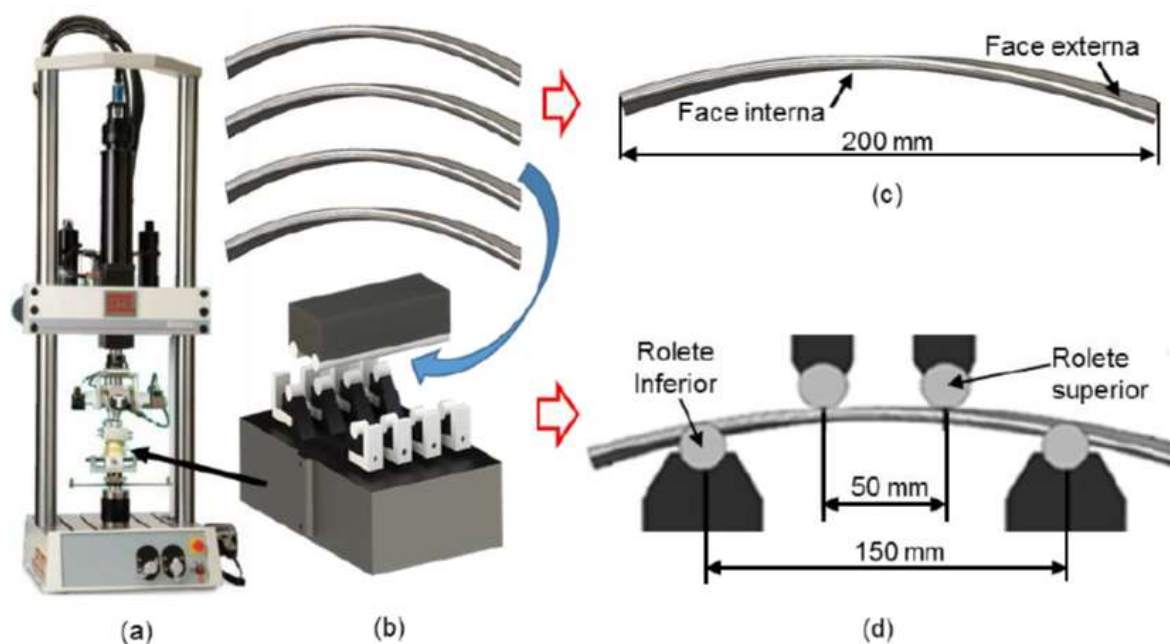
Ambas as curvas utilizaram razão de carregamento de 0,1. O critério de parada na contagem de ciclos foi queda de 20% no valor de  $\Delta\sigma$  lido pelos extensômetros ou o atingimento de 10 milhões de ciclos de fadiga sem ruptura (*run out*).

Em uma próxima etapa, dentro do desenvolvimento deste estudo, será construída a curva S-N ao ar de arames submetidos a um período de pré-corrosão de 2 meses, em meio salino, com 1 bar de CO<sub>2</sub> dissolvido, possibilitando então observar o efeito de defeitos superficiais pré-existentes na vida em fadiga.

### 2.2.1. Fadiga ao ar

Em cada uma das curvas foram realizados ensaios em patamares de carregamento diferentes, com 4 corpos de prova cada um.

Utilizou-se um dispositivo de flexão em 4 pontos, conforme mostra a figura Figura 3.



**Figura 3 - Desenho esquemático do equipamento utilizado para realização de ensaios de fadiga ao ar.**

Os corpos de prova foram cuidadosamente instrumentados com a utilização de extensômetros de resistência elétrica e armazenados em dessecador enquanto aguardavam ensaio de fadiga.

Os ensaios de fadiga ao ar foram realizados com frequência de 5Hz.

A Tabela 1 a seguir mostra os patamares de carregamento realizados nesta curva.

**Tabela 1 - Carregamentos realizados na curva de fadiga ao ar.**

Fadiga ao ar			
Tensão máx [MPa]	Tensão min [MPa]	Tensão média [MPa]	$\Delta$ tensão [MPa]
1282	128	705	1154
1069	107	588	962
902	90	496	812
881	88	485	793
864	86	475	778
854	85	470	769
660	66	363	594
628	63	345	565
619	62	340	557
617	62	339	555

### 2.2.2. Corrosão-fadiga

Para os ensaios de fadiga assistidos pelo meio, a carga é aplicada da mesma forma como ocorre no dispositivo da Figura 3, com controle de deslocamento realizado a partir de um sistema de excêntricos que permite o ajuste das cargas do ensaio, conforme apresentado na Figura 4.



**Figura 4 - Sistema desenvolvido para controle do meio corrosivo nos ensaios de corrosão-fadiga.**

Com o objetivo de simular um ambiente anular alagado sem a presença de  $O_2$ , os corpos de prova foram imersos em cuba contendo água do mar sintética, confeccionada conforme norma, com injeção de 1 bar de  $CO_2$ , e uma razão de confinamento de 1 ml de solução/cm<sup>2</sup> de área de aço exposta. Esta razão de confinamento foi assegurada por meio de adição de quantidade calculada de pregos à cuba de ensaio.

Os corpos de prova foram cuidadosamente instrumentados com a utilização de extensômetros de resistência elétrica e aplicação de camadas impermeabilizantes sobre o extensômetro.

Os ensaios de corrosão-fadiga foram realizados com frequência de 2Hz, e os patamares de carregamento realizados são os expostos na Tabela 2.

**Tabela 2 - Carregamentos realizados na curva de corrosão-fadiga.**

<b>Corrosão fadiga</b>			
<b>Tensão máx [MPa]</b>	<b>Tensão min [MPa]</b>	<b>Tensão média [MPa]</b>	<b>Δtensão [MPa]</b>
760	76	418	684
500	50	275	450
400	40	220	360
300	30	165	270

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Caracterização do material

##### 3.1.1. Análise Química

Os resultados da análise química realizada nos arames de tração está mostrado na Tabela 3.

**Tabela 3 - Composição química do aço da armadura de tração.**

% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Mo	% Ni	% Al	% Co
0,660	0,282	0,920	0,024	0,014	0,040	< 0,0050	0,020	< 0,0010	< 0,0100
% Cu	% Nb	% Ti	% V	% W	% Pb	% Sn	% B	% Fe	
0,028	0,006	0,001	0,002	< 0,0100	< 0,0020	0,001	0,005	Balanço	

A composição condiz com a de um aço carbono SAE 1070 e é similar à encontrada para arames de armaduras de tração do mesmo material em vários trabalhos da literatura <sup>(1,10-12)</sup>.

##### 3.1.1. Análise Metalográfica

Abaixo são apresentadas as imagens de microscopia óptica, com aumentos de 200x e 500x de seções transversal e longitudinal de uma amostra do material em estudo (Figura 5).



**Figura 5 - Metalografia de secção transversal e longitudinal de um arame de armadura de tração.**

Observa-se nas metalografias uma microestrutura quase completamente perlítica, com rara presença de ferrita pró-eutetóide, de granulação fina e alongada, característica de materiais que sofrem laminação a frio. Esta microestrutura é resultado da composição do material, próxima à de um aço eutetóide, e do processo de fabricação dos arames de armaduras de tração, que compreende vários passes de laminação a frio, além de tratamento térmico para refino do grão perlítico. Esta mesma microestrutura também é observada nos trabalhos de Barnes (2014), Wallauer (2015), Coser (2016) e Negreiros (2017), que estudaram o mesmo material <sup>(1,10-12)</sup>.

##### 3.1.2. Propriedades Mecânicas

Os resultados de tensão de escoamento, tensão de ruptura e alongamento à fratura dos corpos de prova submetidos à ensaio de tração estão apresentados na



Tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades mecânicas obtidas por ensaio de tração.

Tensão de escoamento [MPa]	Tensão de ruptura [Mpa]	Alongamento à fratura [%]
1324	1496	6,9

As medidas de microdureza realizadas em secção transversal do arame de armadura de tração revelaram o perfil exibido na Figura 6.

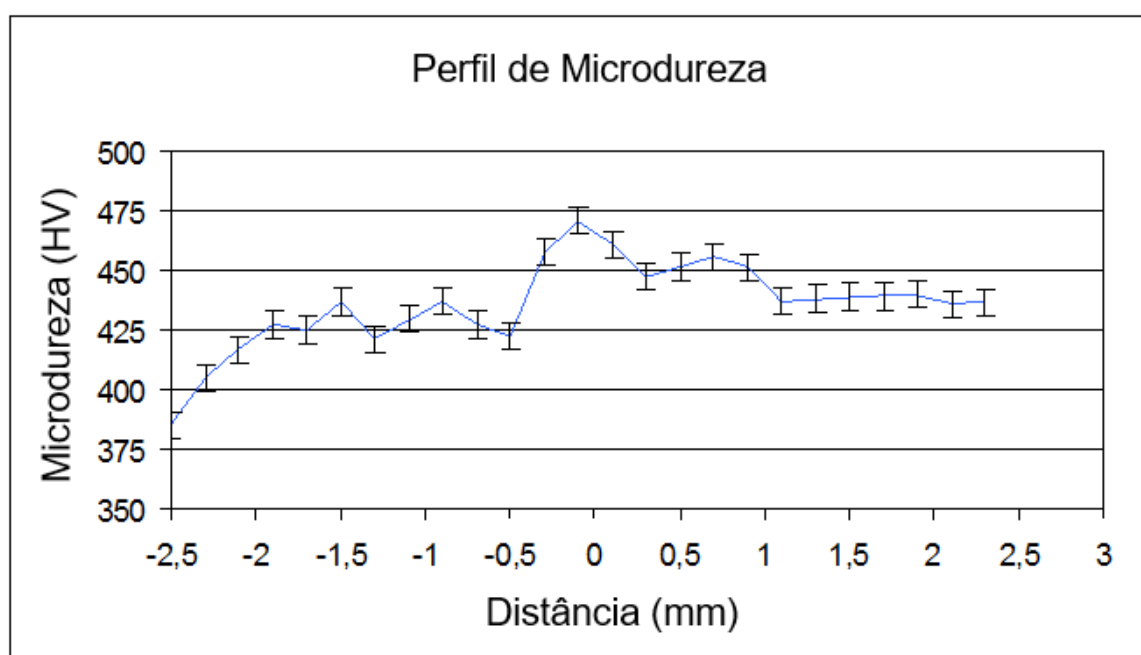


Figura 6 - Perfil de microdureza Vickers (HV) da secção transversal do arame de armadura de tração.

Levando-se em consideração a condição de deformação prévia dos arames helicoidais, estes resultados são compatíveis. A literatura apresenta resultados semelhantes para arames desta mesma composição nas mesmas condições de deformação <sup>(1,10-12)</sup>.

### 3.2. Fadiga

Foram realizados ensaios de fadiga e corrosão-fadiga de arames de armadura de tração conformados de forma helicoidal.

As curvas S-N médias, de projeto e também os dados de ensaio são apresentadas na Figura 7.

Para o cálculo das curvas S-N médias e de projeto, o procedimento apresentado pela norma ASTM E739 foi utilizado. Os dados relativos às amostras que atingiram o run out do ensaio (10 milhões de ciclos) não foram considerados na interpolação das curvas.

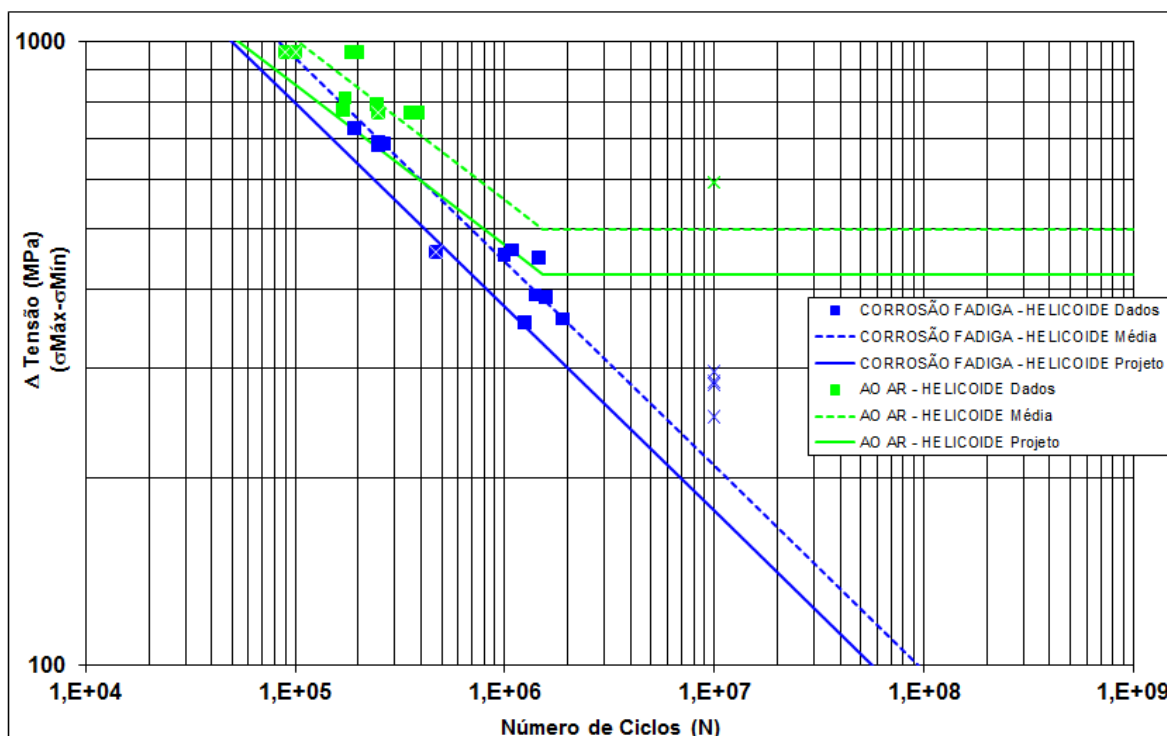


Figura 7 - Gráfico  $\Delta\sigma \times N$  dos ensaios de fadiga ao ar e corrosão-fadiga de arames helicoidais.

A partir da observação das curvas de Woller ao ar e em corrosão-fadiga do arame de armadura de tração, é visível o efeito deletério que a presença de meio corrosivo saturado em  $\text{CO}_2$  provoca na vida em fadiga destes arames, pela mudança na inclinação da curva de corrosão-fadiga em relação ao desempenho ao ar.

Estima-se, a partir dos resultados, para um  $\Delta\sigma$  de 570 Mpa de tensão aplicado a estes arames, uma deterioração de aproximadamente 60% na vida em fadiga destas estruturas quando comparado ao seu desempenho ao ar.

A corrosão por  $\text{CO}_2$  é bastante severa e, mesmo na região de fadiga de baixo ciclo (portanto menos tempo de exposição ao meio) é possível visualizar o efeito deletério desta na vida em fadiga do material. Na região de alto ciclo, onde os corpos de prova tem exposição mais prolongada ao meio corrosivo, observa-se um efeito deletério maior em comparação ao baixo ciclo.

Há diversos trabalhos na literatura <sup>(2,5-7,10)</sup> que questionam que a atual metodologia poder estar subestimando o desempenho em fadiga de arames de armadura de tração por não considerar defeitos superficiais existentes na superfície previamente à exposição ao meio, já que estes defeitos podem representar perda importante na resistência à fadiga.

Uma próxima etapa deste trabalho será avaliar a influência de um período de exposição prévia dos fios de armadura a ambiente salino na presença do contaminante  $\text{CO}_2$  em curvas S-N obtidas ao ar, sendo estas comparadas às curvas aqui apresentadas. Pretende-se com isto, obter subsídios para avaliar a metodologia atualmente empregada na avaliação de resistência à fadiga, considerando a existência de defeitos superficiais nos arames, permitindo assim uma melhor previsão do tempo de vida de risers que tiveram seu anular alagado.

#### 4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, realizou-se uma avaliação da resistência à fadiga de fios helicoidais da armaduras de tração de dutos flexíveis, através da construção de duas curvas S-N: uma curva S-N de fadiga ao ar e uma curva S-N de corrosão-fadiga, em ambiente que simula situação de anular alagado, na presença de contaminante CO<sub>2</sub>.

Observado as curvas S-N de fadiga obtidas, é visível o efeito deletério que a presença do meio agressivo provoca na vida em fadiga dos fios em estudo.

A partir dos resultados, é possível calcular, para um  $\Delta\sigma$  de 570 Mpa de tensão aplicado a estes arames, uma deterioração de aproximadamente 60% na vida em fadiga destas estruturas quando comparado ao seu desempenho ao ar.

Nota-se também, a partir da curva exposta na Figura 7, que na região de alto ciclo, onde os corpos de prova tem exposição mais prolongada ao meio corrosivo, há um efeito deletério maior em comparação ao baixo ciclo, onde há menor tempo de exposição.

#### Agradecimentos

Agradecimentos ao LAMEF - Laboratório de Metalurgia Física da UFRGS e sua equipe, por toda a estrutura e subsídio disponibilizados permitindo o desenvolvimento deste trabalho, ao Grupo de Ensaio em Corrosão (GECOR), ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais - PPGE3M/UFRGS, e também à CAPES/CNPQ pelo benefício de bolsa auxílio concedido.

#### REFERÊNCIAS

1. Barnes P. An Investigation into the Corrosion Fatigue Behaviour of High Strength Carbon Steel Tensile Armour Wires. [Manchester, Reino Unido]: The University of Manchester; 2014.
2. Berge S, Langhelle NK, Eggen TG. Environmental Effects on Fatigue Strength of Armour Wire for Flexible Risers. 1º de janeiro de 2009;327–34.
3. Mansor NII, Abdullah S, Ariffin AK, Syarif J. A review of the fatigue failure mechanism of metallic materials under a corroded environment. Eng Fail Anal. 1º de julho de 2014;42:353–65.
4. Berge S, Bendiksen E, Gudme J, Clements R. Corrosion Fatigue Testing of Flexible Riser Armour: Procedures for Testing and Assessment of Design Criteria. In 2003.
5. Krishnan VR, Asher S, Kan WC, Popelar C. Effect of Pitting Corrosion on Fatigue Life of Flexible Armor Wires. In: Proceedings of the Twenty-sixth (2016) International Ocean and Polar Engineering Conference. Rhodes, Greece; 2016.
6. Stig Berge, Ting Wang, Nina Langhelle. Surface characterization and fatigue strength of corroded armour wire. In: Proceedings of the 33th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. San Francisco, California, USA; 2014.

7. Krishnan VR, Asher S, Doynov K, Zhang Y-H. FLEXIBLE ARMOR WIRES: FATIGUE LOAD FREQUENCY EFFECTS AND AN ACCELERATED PITTING METHODOLOGY. In: Proceedings of the ASME 2014 33rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. San Francisco, California, USA; 2014.
8. dos Santos FP, Pires F, Clements RA, Clevelario JA, Sheldrake TH, Souza LFG, et al. Evaluation of The Effects of CO2 Partial Pressure on The Corrosion Fatigue Behavior of Flexible Pipes Tensile Armour Wires. In: OTC-21262-MS. OTC: Offshore Technology Conference; 2011.
9. Toribio J, González B, Matos JC. Fatigue and fracture paths in cold drawn pearlitic steel. Eng Fract Mech. 1º de julho de 2010;77(11):2024–32.
10. Negreiros LAS de. Avaliação da resistência à fadiga e corrosão-fadiga da armadura de tração de um riser flexível retirado de operação. 2016 [citado 11 de outubro de 2017]; Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/150496>
11. Coser TB. Avaliação de revestimento protetor de alumínio aplicado a arames da armadura de tração de dutos flexíveis. 2016 [citado 11 de outubro de 2017]; Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/149824>
12. Wallauer FA. Materiais para aplicação em arames da armadura de tração de dutos flexíveis : comportamento frente a entalhes. 2015 [citado 11 de outubro de 2017]; Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/133138>
13. ASTM International. ASTM E8 / E8M-16a, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. 2016.
14. Donald R. Askeland, Pradeep P. Fulay, Wendelin J. Wright. The Science and Engineering of Materials. 6th ed. Cengage Learning;
15. Dieter GE. Metalurgia mecânica [Internet]. Guanabara Dois; 1981. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=giSbHAAACAAJ>

# ANÁLISE DAS FONTES DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO NO PROCESSO DE FUNDIÇÃO

Trevisan, L.<sup>1</sup>

Fabricio, D. A. K.<sup>2</sup>

Paz, V. F.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Professor Doutor, Lisiane Trevisan, Instituto Federal do Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha, [trevisan.lisiane@gmail.com](mailto:trevisan.lisiane@gmail.com).

<sup>2</sup> Professor Mestre, Daniel Antonio Kapper Fabricio, Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Chapecó, [danielkapper@gmail.com](mailto:danielkapper@gmail.com).

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia, Vinicius de Freitas Paz, FTEC Caxias do Sul, [vinypaz@gmail.com](mailto:vinypaz@gmail.com).

## Resumo

Os conceitos utilizados em metrologia fazem parte do processo produtivo de empresas metalúrgicas, considerando a globalização do mercado mundial. A interpretação dos conceitos metrológicos e sua aplicação nas tomadas de decisão ainda é um desafio para a indústria, principalmente para o cálculo da incerteza de medição. Indústrias da área de fundição requerem mão-de-obra qualificada tanto em relação ao processo produtivo e engenharia, bem como em metrologia, destacando a interdisciplinaridade dos conceitos trabalhados nos cursos técnicos/bacharelados. Sendo assim, o objetivo principal deste trabalho é realizar uma breve revisão bibliográfica de publicações realizadas com o uso/aplicação da incerteza de medição dentro o processo produtivo de fundições sem considerar o material metálico produzido. Os resultados mostram que há um vasto campo de potencial pesquisa na área, o qual relaciona os valores de incerteza de medição e componentes fundidos.

**Palavras-chave:** Fundição; Metrologia; Incerteza de Medição.

## ANALYSIS OF MEASUREMENT UNCERTAINTY SOURCES IN THE CASTING PROCESS

### Abstract

The concepts used in metrology are increasingly part of the productive process of metallurgical companies, considering the globalization of the world market. The interpretation of metrological concepts and their application in decision making is still a challenge for the industry, especially for the measurement uncertainty calculation. Industries in the casting area are in great need of skilled labor both in relation to the productive process and engineering, as well as in metrology, highlighting the interdisciplinarity of the concepts studied in the technical or baccalaureate courses. Therefore, the main objective of this work is to perform a brief literature review of publications made using the value of uncertainty of measurement within the production process of foundries. The results show that there is a vast field of potential research in the field, to which it relates the values of measurement uncertainty and fused components.

**Key words:** Foundry, metrology, measurement uncertainty.

## 1 INTRODUÇÃO

O mercado internacional de componentes mecânicos atravessa a etapa de globalização tanto para o fornecimento de matéria-prima quanto de componentes finalizados. Assim, o comércio internacional exige a normalização de padrões de qualidade de aceitação global, aos quais são representados pelas normas de qualidade ISO 9000, BS 8800 e até normas laboratoriais como a ISO/IEC:17025<sup>(1)</sup> para que as empresas sejam competitivas entre si<sup>(2)</sup>.

Para participar deste mercado globalizado, as indústrias precisam adequar seu processo produtivo a exigências de mercado: preços competitivos a nível mundial, excelente qualidade de produtos, menor tempo de entrega, produção de menos itens através de diferentes processos e, principalmente, inovação dos seus produtos<sup>(3)</sup>.

Assim, com base nestas informações, a qualidade do produto final passa necessariamente pelo investimento em qualidade, mas também pela estruturação e conhecimento de uma base metrológica de todo o processo produtivo<sup>(4)</sup>.

Pelo Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM) a metrologia é descrita como a ciência das medições, sendo que a metrologia engloba todos os aspectos teóricos e práticos da medição, qualquer que seja a incerteza de medição e o campo de aplicação<sup>(5)</sup>.

A disciplina de Metrologia é trabalhada em grande maioria dos cursos técnicos e de bacharelado em engenharia mecânica dos cursos localizados no Brasil, no entanto, é um assunto de grande complexidade quando questionado aos alunos e profissionais formados na área metal-mecânica.

Há também problemas diários no uso da metrologia no processo produtivo:

- Conceitos metrológicos utilizados pelos colaboradores da indústria e profissionais formados na área são muitas vezes mal interpretados, assim como existem traduções equivocadas de termos utilizados em projetos internacionais;
- A mão-de-obra formada na área é de grande custo operacional, devido à falta de interesse dos discentes pela área, restringindo o número de técnicos especializados na área, restringindo a grandes indústrias laboratórios metrológicos internos ao processo produtivo;
- A dificuldade na interpretação dos resultados de processos metrológicos de calibração e verificação, certificados de calibração transforma a metrologia em um problema em grande parte das empresas. A grande dificuldade encontra-se em transformar informações contidas em calibração, verificações em informações confiáveis para a tomada de decisão.

Em relação à fundição, existem muitas variáveis durante o processo de um componente fundido, como por exemplo qualidade da matéria-prima metálica, as dimensões do modelo, sistema de alimentação, tipo de moldação adotada, resultados relacionados aos ensaios de areia, parâmetros do processo de fusão, além de parâmetros físico-químicos da liga metálica<sup>(6)</sup>.

Sendo assim, o objetivo principal deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica sobre as diferentes fontes de incerteza de medição que alteram a qualidade final do fundido.

Além da dificuldade da interpretação dos resultados obtidos em processos metrológicos internos e externos realizados, como calibração de instrumentos, auditorias, há troca e/ou equívoco por parte dos engenheiros que realizam os projetos dos fundidos com dois conceitos fundamentais em fundição: tolerância e incerteza de medição.

O termo tolerância é relacionado à variação permitida das dimensões da peça. Pode ser descrita pela tolerância geométrica e tolerâncias gerais, e pode estar relacionada ao paralelismo, planicidade e ou inclinação. Já a incerteza de medição, segundo VIM<sup>(5)</sup> é o “parâmetro não-negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas”.

Teoricamente, os conceitos são distintos, mas na prática industrial há grande equívoco entre os mesmos. Resumidamente, a diferença está na aplicação dos mesmos: enquanto a tolerância da peça é descrita pelo intervalo de medidas em que o componente será aprovado, a incerteza de medição descreve o intervalo de valores que pertence a medida do componente realizada diversas vezes com mesmo instrumento, considerando um nível de confiança.

No processo de fundição, há grande variedade de etapas do processo produtivo em que são necessárias medições e estas medições influenciam de forma decisiva a qualidade do produto final. Cita-se algumas etapas:

- Uma das etapas mais importantes no processo de construção de um fundido é a etapa dimensional: construção do modelo com tolerâncias. Construir um modelo com dimensões adequadas ao projeto com tolerâncias e suas medidas realizadas com parâmetro de incerteza de medição dentro do esperado<sup>(7)</sup>.
- Descrição da variável temperatura: a medição de temperatura pode ser tanto do metal fundido, temperatura do molde (areia, casca cerâmica ou coquilha). Termopares com diferentes incertezas de medição e resolução.
- Além da etapa relacionada ao dimensional do modelo, existem as fontes de erro relacionadas ao molde. Para os processos de areia verde e microfusão, o molde é construído com base nas dimensões do modelo, o que há uma cadeia de erros acarretados com base nas dimensões do modelo. Já para o processo de molde permanente, em que o molde é construído com base nas dimensões descritas no projeto, não há fonte de incerteza de medição relacionada ao modelo.

## **2 ERRO E INCERTEZA DE MEDIÇÃO**

Segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM)<sup>(5)</sup>, erro de medição representa a diferença entre o valor medido duma grandeza e um valor de referência. Todo o resultado de uma medição é apenas uma estimativa do valor verdadeiro, devido à influência de diversas fontes de incerteza. Nesse contexto, a incerteza de medição pode ser definida como um parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas<sup>(5)</sup>. A incerteza de medição é um parâmetro estatístico que descreve as possíveis flutuações do resultado de uma medida.

Dessa forma, a incerteza é fundamental em diversas situações, tais como<sup>(5)</sup>:

- Na calibração de equipamentos, instrumentos e padrões, para verificar se os mesmos se encontram dentro das tolerâncias definidas;
- Na área de ensaios, para verificar se o resultado do ensaio pode ser aprovado ou não;
- No controle de riscos associados à tomada de decisão de aprovar ou rejeitar uma amostra;
- Como um diferencial competitivo, pois o cliente tende a buscar aquele laboratório que tenha melhor qualidade na sua medida e, portanto, a menor incerteza.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Para o levantamento das publicações indicadas foi realizada uma breve revisão bibliográfica com base em palavras-chave, tais como “*measurement uncertainty*”, “*casting*” e/ou “*foundry*”.

Foram consideradas publicações em idioma inglês e somente artigos publicados em revistas técnicas sobre o assunto em questão. Artigos publicados em eventos, assim como livros, normas técnicas e outros tipos de texto foram desconsiderados.

Na leitura das publicações, buscou-se informações referentes às fontes de incerteza consideradas e o tipo de aplicação.

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os trabalhos publicados em diferentes bases de dados demonstram que os valores de incerteza de medição são determinados para diferentes fatores, o que possibilita compreender que os valores de incerteza de medição são fundamentais e compõem o processo produtivo como um todo.

Solonicki<sup>(8)</sup>, ao estudar os moldes metálicos, determinou a incerteza de medição pelo método GUM para a condutividade térmica dos moldes estudados. Para isso, considerou duas fontes de incerteza para o cálculo: desvio-padrão associado as medidas e também o erro herdado relacionado aos instrumentos utilizados. Com esse trabalho, conseguiu determinar que o tipo e a granulometria da areia afetam no valor do coeficiente de transferência de calor.

Em relação à incerteza do dimensional do componente fundido, vários autores relatam o uso de instrumentos não utilizados comumente pela indústria metalúrgica. Por exemplo, Cuypers *et al.*<sup>(9)</sup> utilizaram um sistema óptico para a determinação das medidas e assim estimar a incerteza das medições. Chiffre *et al.*<sup>(10)</sup> usaram um equipamento que realiza tomografia computadorizada para estimar as medidas do componente fundido. Já Rejc *et al.*<sup>(11)</sup> utilizaram um sensor de deslocamento a laser para estimativa das dimensões do modelo.

O valor da incerteza de medição também foi utilizado como parâmetro para comparação entre dois distintos processos: *Replicast CS x Investment Casting*, onde diferentes moldes com materiais utilizados na sua fabricação têm dimensional dos seus produtos fundidos comparados através do uso de uma máquina tridimensional para minimização dos valores da incerteza de medição relacionados ao dimensional da peça<sup>(12)</sup>.



Além da comparação entre diferentes processos, a incerteza de medição pode ser utilizada para o desenvolvimento de materiais fundidos, como por exemplo, a medição da incerteza de medição de uma porosidade de um fundido. Taylor<sup>(13)</sup> mostra em seu trabalho o cálculo da incerteza de medição de porosidade com uso do princípio de Arquimedes, para isso ele usa do método GUM com a demonstração dos valores dos coeficientes de sensibilidade utilizados no cálculo, o que exige o conhecimento prévio de matemática a nível superior.

Além disso, já está disponível o cálculo da incerteza de medição através de um processo realizado por transistores onde são considerados dados de entrada e dados de saída, considerando a propagação de incerteza dentro do processo produtivo. Resumidamente, estes transistores quantificam diferenças observadas entre modelos através do processo de verificação durante o processo produtivo<sup>(14)</sup>.

Outras formas de determinar a incerteza de medição considerando a medida tridimensional (3D) e bidimensional (2D) de partículas de liga fundida em Al-Si. Para isso foram utilizadas medições realizadas por microtomografia e assim estudar a sua influência destas partículas na microestrutura do fundido produzido para a indústria automobilística<sup>(15)</sup>.

Para o cálculo da incerteza de medição é possível realizar com o uso de diferentes métodos matemáticos para a determinação do seu valor. O método GUM é um dos métodos mais utilizados, este método considera a influência de cada fonte de incerteza através do cálculo dos coeficientes de sensibilidade. Já o método de Monte Carlo considera a distribuição de probabilidade de cada fonte de incerteza e sua função matemática representativa do mensurando. Além destes métodos matemáticos existem outros métodos, como o método heurístico, método de Kragten, variáveis difusas, entre outros.

A Figura 1 ilustra a diferença de abordagem de cálculo de incerteza entre o GUM (baseado na propagação de incertezas) e o método de Monte Carlo (baseado na propagação de distribuições).

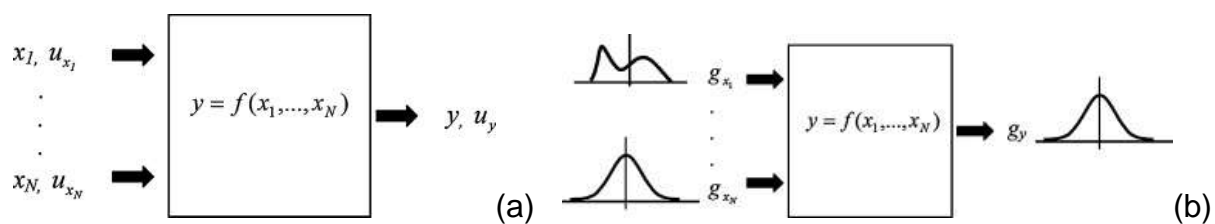


Figura 1. (a) Abordagem GUM; (b) Abordagem de Monte Carlo. Fonte: MATHIOULAKIS *et al.*<sup>(16)</sup>.

David *et al.*<sup>(17)</sup> dividiram seu trabalho em duas partes: primeira parte utilizou o Método Heurístico para identificar o tipo de defeito presente no fundido. A segunda parte usa Lógica *Fuzzy* contendo a relação entre os conceitos e defeitos gerados. O autor indica que as diferenças entre os métodos se dão pelo modo de aquisição, natureza dos dados e seu conhecimento/relação entre os parâmetros. Ressalta-se que estes métodos matemáticos são utilizados para o cálculo da incerteza de medição de processos/produtos e mesmo assim foram adaptados para determinar a relação entre parâmetros de processo e defeitos gerados no processo produtivo.

## 5 CONCLUSÃO

A incerteza de medição é um parâmetro fundamental no desenvolvimento de projetos e na adequação/produção de fundidos produzidos por qualquer processo de fundição mundial. Mesmo assim, observou-se que a sua aplicação é muitas vezes simplificada, ou sua aplicação é realizada através do Método GUM, o que representa a dificuldade na aplicação de conceitos relacionados a incerteza de medição. O método GUM é o método matemático mais utilizado no cálculo da incerteza de medição.

Este trabalho mostrou que há uma grande possibilidade de projetos e/ou publicações relacionado a aplicação da incerteza de medição em diferentes variáveis do processo de fundição. A incerteza de medição pode estar relacionada a vários parâmetros, desde o dimensional do modelo, molde, até parâmetros relacionados ao material metálico, conforme mostrado neste trabalho.

Além da aplicação dos conceitos relacionados ao conceito de incerteza de medição, ainda é possível realizar estudos de caso com os mesmos fatores, mas com métodos matemáticos distintos para o cálculo de incerteza de medição, o que não foi observado na revisão bibliográfica apresentada neste trabalho. Com isso, identifica-se também um grande campo de pesquisa na área a ser realizada em trabalhos futuros.

A pesquisa realizada não exclui trabalhos publicados em outras bases de dados e ou publicados em outras línguas. Além disso, a escolha das palavras-chaves foi realizada a partir do objetivo do trabalho, sendo que o uso de outras palavras-chave ou outras bases de dados poderia eventualmente ampliar a relação de trabalhos publicados na área.

## REFERÊNCIAS

- 1 ABNT NBR ISO/IEC 17025. Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- 2 Silva, E. A.; Campos, R. A Importância da metrologia na gestão empresarial e na competitividade do país. Universidade do Norte Fluminense, 2014.
- 3 Porter, M. Competição. Rio de Janeiro: Campus, 2009.
- 4 Campos, V. C. TQC - Controle de Qualidade Total no estilo japonês. 9º Edição. Falconi, 2014.
- 5 INMETRO. Vocabulário Internacional de Metrologia. Rio de Janeiro: INMETRO, 3 ed., 2012.
- 6 Baldam, R. L.; Vieira, E. A. Fundição - Tecnologias e técnicas correlatas. Editora Érica. 1º edição. 2013.
- 7 Lima, J. A. Gestão em empresa familiar de fundição: Obstáculos e estímulos a profissionalização. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Fundação Dom Cabral, Belo Horizonte, 2004.
- 8 Solonicki, G.; Budi, I.; Ciglar, D. Determination of thermal conductivity in foundry mould mixtures. Metalurgija, v. 49, n.1, p.3-7. 2010.
- 9 Cuyper, W.; VanGestel, N.; Voet, A.; Kruth, J.; Mingneau, J.; Bleys, P. Optical measurement techniques for mobile and large-scale dimensional metrology. Optics and Lasers in Engineering, v. 47, p.292–300. 2009.

- 10 Chiffre, L.; Carmignato, S.; Kruth, J.-P.; Schmitt, R.; Weckenmann, A. Industrial applications of computed tomography. *Manufacturing Technology*, v.63, p.655–677. 2014.
- 11 Rejc, J.; Cinkelj, J.; Munih, M. Dimensional measurements of a gray-iron object using a robot and a laser displacement sensor. *Robotics and computer-integrated manufacturing*, v. 25, p. 155-167. 2009.
- 12 Karwiński, A.; Haratym, R.; Biernacki, R.; Soroczyński, A. Investment casting vs replicast CS considered in terms of the ceramic mould making and dimensional accuracy of castings. *Archives of Foundry Engineering*, v.14, p. 45 – 48. 2014.
- 13 Taylor, R. P.; McClain, S. T.; Berry, J. T. Uncertainty analysis of metal-casting porosity measurements using Archimedes' principle. *International Journal of Cast Metals Research*, v. 11:4, p. 247-257. 2016.
- 14 Williams, D.; Zhao, W.; Chamberlin, R.; Cheron, J.; Urteaga, M. Verification of a foundry-developed transistor model including measurement uncertainty. *Microwave Measurement Conference*, v. 87, 2016.
- 15 Limodin, N. *et al.* Application of X-ray microtomography to study the influence of the casting microstructure upon the tensile of na Al-Si alloy. *Nuclear Instruments and Methods in physics research sectino B: Beam interactions with materials and atoms*, v. 324, p. 57-62, 2014.
- 16 Mathioulakis, E.; Panaras, G.; belessiotis, V. Estimation of uncertainties in indirect humidity measurements. *Energy and Buildings*, v. 43, n. 10, p. 2806–2812, 2011.
- 17 David, J. *et al.* Heuristic modeling of casting processes under the conditions uncertainty. *Archives of civil and mechanical Engineering*, v. 16, p. 179-185. 2016.

# OTPM - OTIMIZAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA MONOFÁSICOS

## ESTUDO TERMOGRÁFICO E GEOMÉTRICO

Rocha, C.H.T.<sup>1</sup>  
Röedel, M.M.<sup>2</sup>  
Moehelcke, U.P.<sup>3</sup>  
Nascimento, V.L.A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Carlos Henrique Trein Rocha, Escola Técnica Estadual Portão, [carlostreinrocha@gmail.com](mailto:carlostreinrocha@gmail.com)

<sup>2</sup> Murilo Mendes Röedel, Escola Técnica Estadual Portão, [muriloroedel000@gmail.com](mailto:muriloroedel000@gmail.com)

<sup>3</sup> Ubiratan Pereira Moehelcke, Escola Técnica Estadual Portão, [bira@etep.net.br](mailto:bira@etep.net.br)

<sup>4</sup> Vera Lúcia de Avila Nascimento, Escola Técnica Estadual Portão, [verinha@etep.net.br](mailto:verinha@etep.net.br)

### Resumo

Os transformadores são dispositivos habituais em sistemas elétricos, de modo que apresentem aplicações para mais de uma finalidade, empregado principalmente na transmissão de energia elétrica. Evidente na performance deste está um aquecimento, consequência de determinados fenômenos, sendo eles, efeito Joule, corrente de Foucault e Histerese magnética. Com a noção da existência desses efeitos da física, emerge a necessidade de um questionamento da possibilidade de solução dos mesmos, logo, manifesta-se este como principal objetivo então proposto: minimizar as perdas de energia presentes atualmente nos transformadores, expondo e compreendendo tal adversidade existente nestes dispositivos. Busca-se neste projeto apresentar a real perda de energia, para assim disseminar a informação a todos, devido ao fato de que pode ser um assunto fora da percepção de tanto indivíduos leigos quanto pesquisadores e trabalhadores da área da eletricidade. A partir disso e do fato da pretensão de crescer as informações sobre tais componentes, torna-se imprescindível a exibição da relevância deste estudo, assim, faz-se a contribuição acadêmica. Frente ao conhecimento de perdas, a otimização será fundamentada através de estudos teóricos e práticos termográficos, relatando a elevação de temperatura diante de alterações geométricas, para aprofundar experimentos para alcançar os objetivos almejados, bem como o ensaio de materiais isolantes entre placas do transformador para análise do comportamento inerente ao circuito e análise dos resultados verificados. Com a conclusão deste estudo, nota-se a concordância técnica em relação conceitual, através de revisões e conciliação entre hipóteses, problemas, objetivos e conteúdos dissertados nesse, assim afirma-se que a concepção do tema é satisfatória.

**Palavras-chave:** Transformadores, Perdas, Temperatura, Otimização.

## OSPT - OPTIMIZATION OF SINGLE-PHASE POWER TRANSFORMERS THERMOGRAPHIC AND GEOMETRIC STUDY

### Abstract

Transformers are customary devices in electrical systems, so that they present applications for more than one purpose, mainly used in the transmission of electric energy. Evident in the performance of this is a warming, consequence of certain phenomena, being, Joule effect, Foucault current and magnetic hysteresis. With the notion of the existence of these effects of physics, the necessity of a questioning of the possibility of their solution emerges, therefore, it manifests itself as the main objective then proposed: to minimize the energy losses present in the transformers, exposing and understanding such adversity existing on these devices. This project seeks to present the real loss of energy, in order to disseminate the information to all, due to the fact that it can be a matter outside the perception of both lay individuals and researchers and workers in the area of electricity. From this and the fact of the pretension to add information about such components, it is essential to show the relevance of this study, thus, the academic contribution is made. In view of the knowledge of losses, the optimization will be based on theoretical and practical thermographic studies, reporting the elevation of temperature before geometric changes, to deepen experiments to reach the desired objectives, as well as the test of insulation materials between transformer plates for analysis of the behavior inherent to the circuit and analysis of the verified results. With the conclusion of this study, we can observe the technical agreement in conceptual relation, through revisions and conciliation between hypotheses, problems, objectives and contents discussed in this one, thus affirming that the conception of the subject is satisfactory.

**Key-words:** Transformers, Losses, Temperature, Optimization.

### 1 INTRODUÇÃO

Os transformadores são dispositivos elétricos utilizados na transformação de energia elétrica, por isso tem uma extrema importância. Neste aparelho está presente um aquecimento, o fator responsável por um revés nele encontrado: a perda de energia. A partir da compreensão de que os transformadores são dispositivos que transformam a amplitude de uma tensão em corrente alternada, observa-se que nesse processo ocorrem determinados fenômenos que ocasionam esse aumento de temperatura presente no núcleo e nas bobinas, sendo assim, notou-se a preponderância de efeito Joule, corrente de Foucault e histerese magnética como os causadores do aquecimento.

Delineando minimizar tais perdas, surge a busca por situar os determinados fenômenos envolvidos no processo de elevação de temperatura, analisando se há possibilidade de conservação do princípio de funcionamento destes equipamentos. Pretende-se, sobretudo, buscar a redução deste empecilho (fenômeno) existente

nesses dispositivos indagando minuciosamente esse equipamento e sua relevância. O transformador é um equipamento presente em muitos circuitos devido ao trabalho executado por ele, e neste projeto será focado em transformadores de potência monofásicos.

A partir da constatação de tal distúrbio, a redução deste torna-se o foco principal, porém, não se apresenta singular em questões objetivas, de modo que seja visto também como incentivo para expandir as investigações sobre os transformadores ideais. Sem prioridade em questões econômicas, este projeto terá o intuito de manter centralizadas abordagens com maior relevância acadêmica, portanto, acrescentando a relevância do transformador de potência monofásico e suas demais características como finalidade fundamental. Esta investigação irá se referir inteiramente sobre esses dispositivos denominados transformadores e elementos diretamente ligados a ele, e relatando o problema encontrado pelo grupo. Tanto indivíduos leigos quanto pesquisadores e profissionais da área da eletricidade podem ter este assunto fora de sua percepção ou conhecimento, diante disso torna-se imprescindível manifestar o presente projeto, expondo-o de forma compreensível, assim, atingindo unanimemente os leitores de maneira satisfatória em relação a conhecer este tema.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Para desenvolver o projeto OTPM – Otimização de Transformadores de Potência Monofásicos utilizou-se o método de pesquisa quantitativa por meio de livros conceituados relacionados com o tema abordado, artigos científicos, trabalhos acadêmicos e sites fundamentados no assunto. Ao decorrer do projeto foram desenvolvidas hipóteses sobre demasiadas formas de otimizar os transformadores de potência monofásicos, com ênfase em reduzir as perdas causadas por determinados fenômenos no seu funcionamento, estas hipóteses surgiram com base nas pesquisas realizadas e por debates sobre elas.

Com as hipóteses conferidas e fundamentadas teoricamente, as mesmas serão colocadas em prática com a elaboração do protótipo do projeto, um transformado de potência monofásico otimizado com foco na diminuição das perdas. Em análises de um transformador (Transformador Unitel 24Vac 100Ma), o qual é produzido e comercializado atualmente, verificou-se o comportamento do mesmo em três diferentes investigações, sendo essas: análise de rendimento, temperatura e histerese magnética.

Todas as experiências foram realizadas com o uso de aparelhos para obtenção de valores e imagens, ou componentes eletrônicos (resistor de potência de 5w 25 ohms, resistor de 35 ohms, capacitor eletrolítico 680 $\mu$ f e uma placa protoboard Minipa MP – 2420<sup>a</sup>). Na análise de histerese, utilizou-se um Multímetro Minipa ET – 2082C, e um Osciloscópio Tektronix TBS 1052B 50MHz, assim, adquiriu-se a curva BH. Prosseguiu-se em experiência focando o rendimento do transformador, onde todos os cálculos foram baseados nas equações encontradas em livros, usou-se de um Multímetro Minipa ET – 2082C e um Amperímetro ICEL AD – 9030. Em continuação dos procedimentos de testes em transformador, para verificar a temperatura, além dos aparelhos de medição, multímetros (descrito no presente capítulo), necessitou-se de um Termômetro digital sem contato Minipa MT-320.

Com prototipagem futura de um transformador que objetiva-se nesse estudo, realizar-se-ão observações idênticas às demais atualmente concluídas, para

relacionar com transformadores comuns, assim, expondo a possível eficiência do equipamento em busca.

## DEFINIÇÃO

Os transformadores são máquinas elétricas estáticas que dispõem o intuito de transmutar tensão e corrente alternadas entre os circuitos, através da indução magnética transferindo energia elétrica de um circuito para outro sem contato elétrico, com tensões distintas, porém, mesma frequência, em corrente alternada. Atualmente nota-se uma ampla variedade da necessidade de transformação de energia elétrica. Para tal necessidade é utilizado transformadores de vários tipos de acordo com a necessidade de cada circuito elétrico. O uso mais comum dos transformadores é na redução da tensão da rede elétrica para uso cotidiano como dispositivos de uso geral (Tvs, rádios, eletrodomésticos etc.) e no aumento da tensão da rede elétrica para distribuição em longas distâncias, a razão primordial pela qual o transformador foi inventado.

De acordo com a associação brasileira de normas técnicas (ABNT) NBR 5356-1 de 2010.

- 3.1.1. Transformador de potência: equipamento estático com dois ou mais enrolamentos que, por indução eletromagnética, transforma um sistema de tensão e corrente alternadas em outro sistema de tensão e corrente, de valores geralmente diferentes, mas à mesma frequência, com o objetivo de transmitir potência elétrica. (ABNT, p.3)

## Transformador ideal

Para iniciar o estudo do transformador, utilizou-se o transformador ideal, ou seja, um transformador teórico do qual é considerado nulo qualquer empecilho no seu funcionamento ou na sua construção como a resistência ôhmica dos enrolamentos, histerese magnética, correntes de Foucault e a dispersão de fluxo.

A Fig.1 representa um transformador ideal com carga. “ O transformador trabalha com carga quando o seu enrolamento secundário alimenta um circuito utilizado” (MARTIGNONI, 1980, pag. 421). Na impedância vinculada, onde haverá uma força eletromotriz (f.e.m.)  $E_2$  cria-se, defasada, uma corrente  $I_2$ . Assim que presente, esta corrente dará início a uma força magneto-motriz (f.m.m.)  $N_2 I_2$ . Desta forma haverá o início de um desequilíbrio entre  $U_1$  e f.e.m. contratante  $E_1$  do circuito primário, gerado pela alteração de fluxo, provocado por  $N_2 I_2$ , da f.m.m.  $N_1 I_1$ , alterando as induzidas f.e.m.'s de ambos enrolamentos.

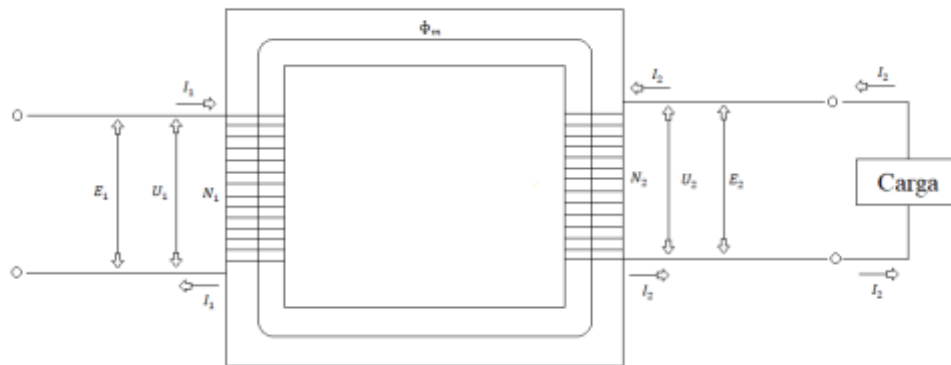


Fig. 1 – Transformador ideal com carga  
Fonte: Autoria própria

Já criadas as correntes,  $I_2$  e  $I_1$  possuem valores que terminam por ocasionar uma nova corrente  $I_1'$ . Assim que ocasionada tal corrente, a força magneto-motriz  $N_1 I_1'$  de a mesma objetiva equilibrar a f.m.m. secundária  $N_2 I_2$ . Então, o retorno do equilíbrio entre as grandezas já citadas, se dá pelo fato da produção de um fluxo magnético no núcleo  $\Phi$ , através da f.m.m. precedente  $N_1 I_\mu$ .

Analisando brevemente o funcionamento dos transformadores, vê-se a necessidade da força eletromotriz  $E_1$  possuir igualdade e oposição em relação a tensão aplicada  $U_1$ . Se estas forem constantes, permanecerá o mesmo valor de fluxo no núcleo, independentemente da quantidade de corrente  $I_2$ . Desta forma, vem a ser indispensável para o enrolamento primário absorver a corrente magnetizante  $I_\mu$ , necessária para produzir fluxo magnético, além de corrente  $I_1$ , onde as forças magneto-motrices, sendo a outra gerada pela corrente do outro enrolamento, que resultam constantemente iguais e opostas entre si. A partir desse caso é básico adquirir  $N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2$ . Com o intuito de se sobrepor a reação magnética cujo formador vem a ser a corrente  $I_2$ , chama-se de corrente primária de reação a corrente  $I_1'$ , a qual possui valor expresso seu valor eficaz pela relação  $N_1 I_1' = N_2 I_2$  que tem seguimento em:

$$\frac{I_2}{I_1'} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2}$$

Na relação inversa do número de espiras estão às correntes  $I_2$  e  $I_1'$ , logo apresentam-se em relação inversa as f.e.m. dos correspondentes enrolamentos. Identificação então o seguimento de ambas forças, dos dois enrolamentos, na transformação inversa entre a corrente secundária  $I_2$  e a corrente de reação  $I_1'$ .

Com a compreensão dos fenômenos explicados acima, nota-se que a potência fornecida pelo enrolamento secundário e a potência preexistente no enrolamento primário, faz-se uma primordialidade em coexistirem, porém, desprezando-se as perdas.

Um transformador com carga acaba por possuir uma corrente total  $I_1$ , ocasionada pela corrente magnetizante  $I_\mu$  e corrente de reação  $I_1' = -I_2 \frac{N_2}{N_1}$ , a partir do fato de que é fornecida uma corrente  $I_2$ . As citadas correntes  $I_1$  e  $I_2$  são correspondentes, porém, se expõe a do circuito primário defasado em relação à tensão  $U_1 = -E_1$ .



Com base na variação de carga do transformador, da qual varia a corrente que é fornecida pelo secundário, onde permanece com o mesmo valor de corrente  $I_\mu$  porém, visualiza-se a concordância de variação entre corrente  $I_2$  e a corrente  $I_1'$ .

Há momentos em que o transformador opera com uma pequena carga em seu secundário, logo tende assim a obter uma baixa corrente secundária, corrente de reação, assim faz-se pequena a corrente de reação, então a corrente total primária aproxima-se da corrente magnetizante. Porém o transformador trabalha a plena carga, podendo ser expressa a equação:

$$\frac{I_1}{I_2} = \sim \frac{N_2}{N_1}$$

Com o desprezo a corrente magnetizante devido aos fatos citados acima, obtêm-se a equação de corrente primária a plena carga:

$$I_1 = \sim \frac{N_2}{N_1} I_2$$

Todavia, o transformador com carga reduzida acaba por não ser desprezada e a expressão anterior refere-se somente à corrente de reação  $I_1'$ .

## Transformador real

O atual artigo realizou-se utilizando um transformador real, do qual considera todos os empecilhos de seu funcionamento e pelas perdas, sendo essas causadas por correntes de Foucault, histerese magnética, fluxo de dispersão e a resistência dos enrolamentos.

A Fig.2 representa um transformador real a com carga, em que este possui uma carga conectada no secundário. Neste transformador aplica-se uma tensão com valor eficaz  $U_1$ , alternada com uma frequência  $f$ , no enrolamento primário com número  $N_1$  de espiras e com sua resistência interna  $R_1$ , este enrolamento receberá uma corrente  $I_1$ , considerando suas perdas, este utilizará uma parte da corrente  $I_1$  para suprir essas perdas e o restante da corrente  $I_1$  irá gerar o fluxo  $\phi_1$ , esta será a corrente magnetizante  $I_\mu$ . O fluxo  $\phi_1$  é o fluxo total gerado pelo enrolamento primário, ou seja:

$$\phi_1 = \phi_m + \phi_{d1}$$

Da mesma forma que o fluxo total do enrolamento secundário  $\phi_2$  :

$$\phi_2 = \phi_m + \phi_{d2}$$

Apesar de este transformador ter a maior parte de seu fluxo acoplado no núcleo uma pequena parte de desse fluxo é dispersa no ar sendo  $\phi_{d1}$  para o fluxo disperso do enrolamento primário e  $\phi_{d2}$  para o disperso no secundário. Esses fluxos dispersos geram uma relutância indutiva radial nos enrolamentos sendo  $X_{L1}$  no primário e  $X_{L2}$  no secundário.

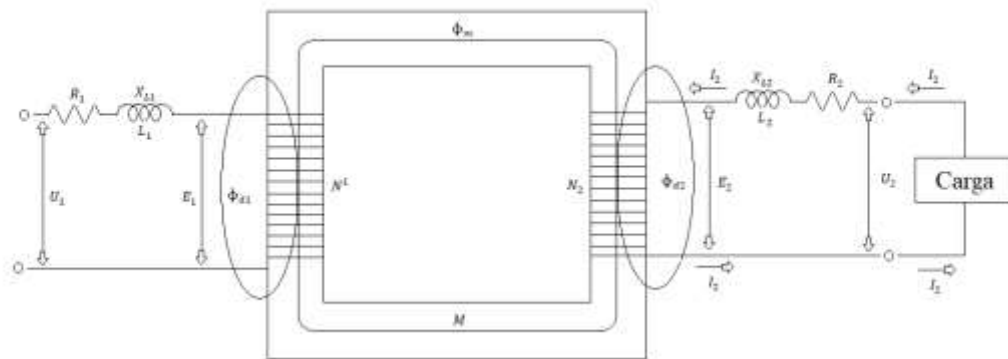


Fig. 2– Transformador real com carga  
 Fonte: Autoria própria

Essas relutâncias e resistências, dos enrolamentos primário e secundário, que representadas na, fig. 2, ocasionam uma determinada queda de tensão no interior do transformador.

## PERDAS NO FERRO

As perdas de energia no núcleo do transformador, também chamadas de perdas no ferro, têm os fenômenos de histerese magnética e corrente de Foucault como agentes causadores. Segundo Oliveira: “ao fluxo principal estabelecido no circuito magnético que é acompanhado dos efeitos conhecidos por histerese e correntes parasitas de Foucault.”

Similarmente conhecida como corrente parasita, a corrente de Foucault trata-se do seguimento de uma corrente elétrica sobre um material magnético, portanto, metálico, presente neste por resultado de uma alteração no fluxo magnético do qual gera uma *f.m.m* capaz de gerar correntes que acabam por serem de intensidade suficiente, para criar uma elevação de temperatura significativa no corpo metálico condutor. Segundo Martignoni, “numa massa metálica sujeita à variação de fluxo, geram-se *f.e.m.* que produzem, dentro da própria massa metálica condutora, correntes muito intensas”. Desta forma, a temperatura no transformador eleva-se, então se dá a perda de energia.

Nos materiais magnéticos existe uma característica peculiar que pode ser notada no funcionamento dos transformadores, este chamado de histerese magnética. Para que uma massa metálica se magnetize ou desmagnetize é necessário utilizar um percentual da energia para que as moléculas se organizem quando aja uma mudança no sentido da corrente, desta forma, ocasionando tal consumo sempre que houver essa oscilação de sentido da corrente.

## PERDAS NO COBRE

As perdas no cobre são causadas pelo efeito joule devido à resistência ôhmica do enrolamento gerando uma potência dissipada que seu valor é dado pela seguinte fórmula.

$$P_{cu} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2$$

Onde  $I$  são as correntes dos enrolamentos e  $R$  são as resistências de cada.

Sabe-se que para podermos gerar um fluxo magnético a partir dos enrolamentos deve ser utilizada uma fonte de corrente alternada. Devido a isto se concedera outros fatores que somarão na resistência deste núcleo uma delas é as correntes de Foucault. Estas são induzidas no interior do condutor quando se aplica um fluxo magnético neste condutor, no caso dos transformadores é o fluxo magnético disperso. Estas correntes parasitas produzem perdas por efeito Joule adicionais nos enrolamentos. As perdas por correntes parasitas limitam a capacidade de conduzir corrente elétrica dos condutores, pois aumentam sua resistência mesmo quando tais perdas ocorrem em partes metálicas eletricamente isoladas dos condutores. Esta resistência causada pelas correntes de Foucault será identificada por  $R_f$  em ohms.

Outro fator que deve ser considerado é só é encontrado em condutores que estão carregados em corrente alternada o efeito película. Devido a este efeito forma-se no interior do condutor um campo magnético, que flui do centro do conduto em direção à sua superfície. Ocorre então a diminuição da densidade de corrente no interior do condutor e o aumento da corrente na parte superficial do condutor, produzido pela ação do campo eletromagnético alternado que é aplicado no mesmo, e este campo acaba forçando a corrente a concentrar-se nas regiões periféricas do condutor.

Assim pode-se relevar que este efeito reduz a região útil do condutor, que conseqüentemente aumenta sua resistência. Esta resistência causada pelo efeito pelicular será representada por  $R_p$  em ohms.

Para calcular a resistência total dos enrolamentos devem ser consideradas todas estas resistências, ou seja:

$$R_t = R_f + R_p + R$$

Então a perda no cobre é pode ser dada por:

$$P_{cu} = (I_1^2 \cdot R_{f1} + R_{p1} + R_1) + (I_2^2 \cdot R_{f2} + R_{p2} + R_2)$$

Onde as perdas no cobre são representadas por  $P_{cu}$ , as correntes  $I_1$  para a primária e  $I_2$  para a secundária, a resistência causada pelas correntes de Foucault  $R_{f1}$  para a primaria e  $R_{f2}$  para a secundaria,  $R_{p1}$  para a resistência causada pelo efeito pelicular do condutor e  $R_{p2}$  para secundaria e  $R_1$  e  $R_2$  respectivamente para resistência primaria e secundaria.

### 3 RESULTADOSE DISCUSSÃO

Em análise e estudo do funcionamento dos transformadores elétricos, foi visto a relação dos fenômenos em questões teóricas aprofundadas, assim amplia-se a noção sobre os conceitos de efeito Joule, corrente de Foucault e Histerese magnética, ambos apresentados neste projeto. De acordo com os estudos vistos, observou-se a complexidade de circuitos eletromagnéticos, com relevância

significativa em todos os aspectos envolvidos, como características de construção de dispositivos e performance dos mesmos.

Partindo das investigações teóricas citadas, originam-se expectativas diretamente relacionadas à otimização dos transformadores. Com o intuito de minimização de perdas de energia, foi idealizado pelos integrantes do grupo, a partir dos estudos teóricos e análises, modificar a estrutura geométrica e modo de construção de um transformador de potência monofásico.

Em pesquisa com finalidade de alterar o modo de construção dos enrolamentos, notou-se como a corrente de Foucault obtêm presença devido ao fácil trânsito entre a bobina, e assim, através de um enrolamento feito com cabos, acaba por reduzir as perdas por este fenômeno. Além disso, tem-se outro fator satisfatório, o aumento da ampacidade na utilização de tal material. Em foco do aperfeiçoamento da geometria de um transformador, formou-se a tese de um núcleo circular, para que dessa forma, mantenha uma melhor orientação do fluxo magnético e elimine os vértices do atual núcleo em formato quadrado, cuja temperatura eleva-se superiormente ao restante do material ferro-magnético.

### 3.1. Análise de um transformador comercial

#### 3.1.1. Análise de rendimento

Em experiências para adquirir resultados em pesquisas práticas, foi observado à potência do transformador em cada um dos enrolamentos. Nessa análise de rendimento, foram feitos teste sob diferentes circuitos, um em curto circuito e com carga. Em primeira parte, expondo a potência do primário do transformador, pôs-se o secundário em curto circuito e então, obteve-se corrente e tensão elétrica através de multímetros, de acordo com a figura 3.

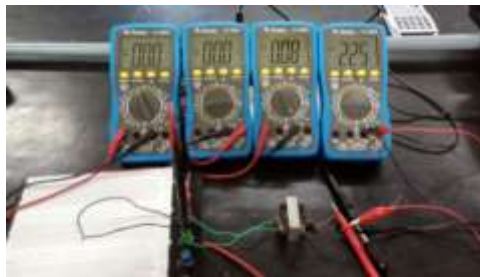


Fig. 3 – Análise de potência do primário

Fonte: autoria própria

O seguinte circuito expressa em maneira clara o circuito montado em prática na figura 4 e o modo de ligação do circuito em relação à ligação dos equipamentos e valores das grandezas físicas aplicadas e obtidas.

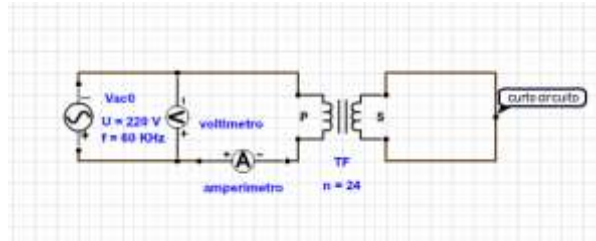


Fig. 4 – Circuito para análise de potência primaria  
Fonte: autoria própria

É possível conseguir os valores da potência primaria com os valores adquiridos no voltímetro e no amperímetro, através das equações abaixo.

$$U_1 = 225V$$

$$I_1 = 0.08A$$

$$W_1 = U_1 \times I_1$$

$$W_1 = 225 \times 0.08$$

$$W_1 = 18w$$

Considerando  $W_1$  como potência primaria,  $U_1$  como tensão primaria e  $I_1$  sendo a corrente primaria.

Prosseguindo para a potência do enrolamento secundário, em experimento, necessitou-se do uso de um resistor de 35 ohms ligado ao secundário, logo, serve este componente como à carga fundamental a aquisição da grandeza medida em watts.

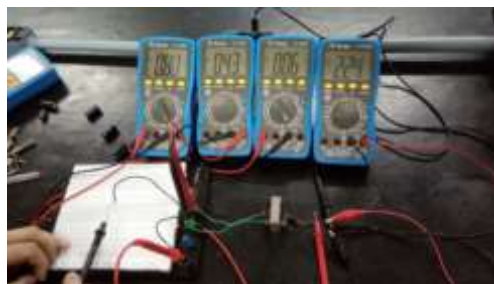


Fig. 5 – Análise de potência do primário  
Fonte: autoria própria

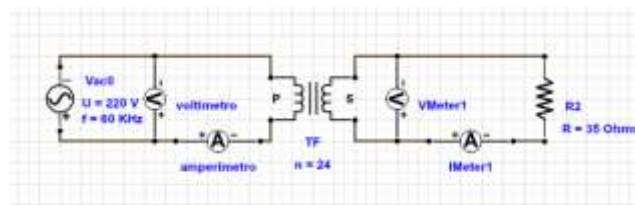


Fig. 6 – Circuito para análise de potência secundaria  
Fonte: autoria própria

A Figura 6 exhibe o circuito utilizado para a análise da potência secundaria conforme se demonstrou na figura 5.

É possível conseguir os valores da potência secundária com os valores adquiridos no voltímetro e no amperímetro, através das equações abaixo.

$$U_2 = 4.3V$$

$$I_2 = 0.80A$$

$$W_2 = U_2 \times I_2$$

$$W_2 = 4.3 \times 0.80$$

$$W_2 = 3.44w$$

Considerando  $W_2$  como potência secundária,  $U_2$  como tensão secundária e  $I_2$  sendo a corrente secundária.

Tendo as potências primária e secundária é possível calcular a perda total do transformados, através da equação abaixo.

$$P_T = W_1 - W_2$$

$$P_T = 18 - 3.44$$

$$P_T = 14.56w$$

Tendo os valores de  $W_1$  e  $W_2$  é calculado o percentual de rendimento do transformados que no caso do transformador utilizado nas análises é de 19.11%

### 3.1.2. Análise térmica

No presente estudo um dos escopos que se define é a análise térmica, pelo fato de que a temperatura em um transformador está diretamente relacionada às perdas relatadas no mesmo, como já visto detalhadamente em capítulos anteriores sobre os fenômenos que intensificam a temperatura. Portanto, fez-se presente nessa verificação, que há uma relação entre temperatura e perda de energia, de modo que se evidenciou o calor excessivo no transformador como o causador da redução da corrente elétrica.

Em análise da temperatura de um transformador monofásico comercial, este em curto circuito, com uma tensão aplicada de 220 volts em CA no enrolamento primário, transformada para uma tensão de 24 volts em CA no enrolamento secundário, que após este, conectou-se um diodo em paralelo a um resistor de potência, assim, elevou-se a temperatura e reduziu-se a corrente, de acordo com o termômetro digital sem contato e os multímetros utilizados para a investigação dos mesmos.

Na análise atual, os medidores apontam a temperatura em graus Celsius do núcleo e das bobinas, e a corrente, em ampères. A partir do alcance de tais medidas, permaneceu-se exposta a quantia em perdas de energia elétrica de acordo com o aumento de temperatura do transformador e a subtração da corrente, de modo recíproco, conforme as imagens do experimento realizado (fig. 7 e 8)

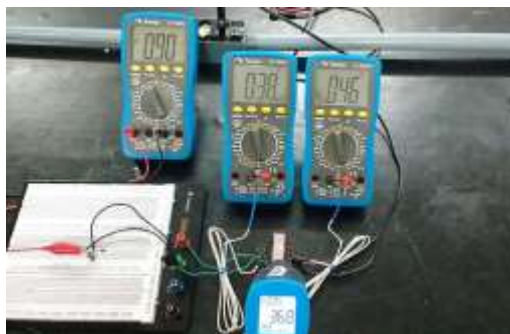


Fig. 7 – Teste térmico  
Fonte: autoria própria

Na figura 5, o transformador está operando comumente, onde a corrente está apontada em 0,90A e a temperatura do núcleo e das bobinas em 36,8°C, 46°C 38°C respectivamente.



Fig. 8 – Teste térmico  
Fonte: autoria própria

Na figura 8, o aquecimento está em um nível alto, onde o núcleo encontra-se em 81,8°C, o primário em 93°C e o secundário em 112°C. Logo que, a corrente está em 0,72<sup>a</sup>, e o restante foi para as perdas.

### 3.1.3. Análise da histerese magnética

Em busca de uma análise própria sobre histerese magnética, realizou-se um experimento onde foi aplicada uma tensão de 10 volts, um resistor de potência ligado em série a um transformador monofásico comercial. Após a etapa de transformação, conectou-se em série um segundo resistor de potência (com as mesmas especificações) e um capacitor. A partir da montagem do circuito, utilizou-se de um multímetro e um osciloscópio para aquisição da tensão de entrada e a curva de histerese magnética respectivamente. Na prática deste teste, obteve-se o seguinte resultado sobre o comportamento da curva de histerese em um destes aparelhos usados atualmente, assim, se comprova a existência do fenômeno.

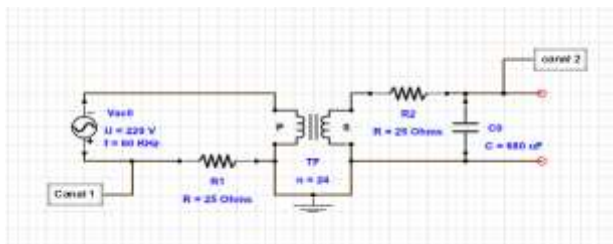


Fig. 9 – Circuito para análise da histerese

Fonte: autoria própria



Fig. 10 – circuito prático para análise da histerese

Fonte: autoria própria



Fig. 11 – circuito prático para análise da histerese

Fonte: autoria própria

## 4 CONCLUSÃO

Com o presente estudo foi adquirido referencial teórico suficiente para dar início a etapa prática, para obtenção de análise de dados técnicos e conclusão, em definitivo das hipóteses levantadas durante a elaboração e estudo deste projeto.

A partir da coleta desses dados, torna-se capaz a apuração em laboratório para determinar a eficácia ou não dos fenômenos físico estudados. No entanto, há a possibilidade de concluir os resultados adquiridos em fase teórica desta investigação, até o vigente momento, sem descartar o fato de que terá seguimento para aprofundar ainda mais, com máximo de informações relevantes para ampliar a concepção nesse tema.

Finaliza-se a parte deste relatório a concordância técnica em relação conceitual, através de revisões e conciliação entre hipóteses, problemas, objetivos e



conteúdos dissertados aqui, assim afirma-se que a concepção do tema é satisfatória.

## **Agradecimentos**

Agradecemos a todos os professores que nos auxiliaram, especialmente aos professores Ubiratan P. Moehlecke, Vera Lúcia de Avila Nascimento e Vanessa de Souza, por nos proporcionar o conhecimento não apenas para a elaboração deste projeto, mas a manifestação de caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional. E também aos nossos familiares, cuja paciência e apoio sempre estiveram presentes.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5356-1. Transformadores de potência parte 1: Generalidades. Rio de Janeiro, 2007
- 2 MARTIGNONI, Alfonso. Eletrotécnica. 6ª edição. Porto alegre: Globo, 1980.
- 3 MARTIGNONI, Alfonso. Transformadores. 5ª edição. Porto alegre: Globo, 1981.
- 4 OLIVEIRA, José Carlos de. Transformadores: teoria e ensaios. São Paulo: Edgar Blucher, 1984.
- 5 BIASI, Ronaldo. Eletricidade e eletrônica: Circuitos de corrente alternada e corrente contínua. 4ª edição. Rio de Janeiro: Record, 1980
- 6 CARDOSO, Bruno Pereira. Eficiência de transformadores de média tensão. 2005. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Itajubá, setembro.
- 7 HAYT, Wiliam H., John A. Buck. Eletromagnetismo. Tradução: Marco Aurélio de Oliveira Schroeder; revisão técnica: Antonio Pertence Junior. 8ª edição. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- 8 JORDÃO, Rubens Guedes. Transformadores. 1ª edição. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 2002
- 9 KOSOW, Irwin L. Máquinas Elétricas e transformadores. 9ª edição. São Paulo, SP: Globo, 1993.
- 10 QUEVEDO, Carlos Peres. Circuitos Elétricos, Rio de Janeiro, LTC, 1988.

- 11 QUEVEDO, Carlos Peres. Eletromagnetismo. 1ª edição. São Paulo, SP: Loyola, 1993.
- 12 SCHMIDT, Valfredo. Materiais Elétricos: V.2 isolantes e magnéticos. São Paulo: Edgard Blücher, 1979.
- 13 SIMONE, GilioAluisio. Conversão Eletromecânica de energia. 1ª edição. São Paulo, SP: Érica, 2010.
- 14 SAMS, W. Haward. Eletricidade e eletrônica. Volume 2, Circuitos de corrente alternada e Corrente contínua, Indianapolis. Editora Record, 1996.
- 15 SLEMON, Gordon R. Equipamentos magnetelétricos: transdutores, transformadores e máquinas. Tradução: Luiz Carlos de Jesus Albuquerque. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos; São Paulo: edição da Universidade de São Paulo, 1974.
- 16 MILEAF, Harry. Eletricidade 3. 1ª edição. Tradução: Edson Aragão Farqui. São Paulo, SP: Martins Fontes, 1982.
- 17 ALBUQUERQUE, Rômulo Oliveira. Análise de circuitos de corrente alternada. 7ª edição. São Paulo, SP: Érica, 1989.
- 18 PETRUZELLA, Frank D. Eletrotécnica 1. Tradução: Rafael Silva Alípio; Revisão técnica: Antonio Pertence Júnior. Porto Alegre: AMGH, 2014.
- 19 <<http://www.mspc.eng.br/elemag/eletm0260.shtm>>. Acessado em: 28 de março de 2017.
- 20 <<https://linhasdetransmissao.wordpress.com/2013/01/12/efeito-pelicular/>>. Acessado em: 3 de abril de 2017.
- 21 <<http://agq-old.educacao.ws/index.php?&ds=1&acao=quimica/ms2&i=2&id=726>> Acessado em: 18 de abril de 2017
- 22 <<http://hartechcv.blogspot.com.br/2015/09/fonte-linear-e-chaveada-qual-diferenca.html>>. Acessado em: 18 de abril de 2017.
- 23 <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgjc8AK/circuitos-cap-03elementos-dos-circuitos>>. Acessado em: 2 de maio 2017.

## RESFRIAMENTO CONTROLADO: UMA ALTERNATIVA À NORMALIZAÇÃO EM COMPONENTES FORJADOS A QUENTE

Diehl, P. D.<sup>1</sup>

Reguly, A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM) -- Porto Alegre – RS - Brasil, UFRGS, Peterson Duarte Diehl, [peterson.diehl@gmail.com](mailto:peterson.diehl@gmail.com)

<sup>2</sup> Professor Doutor, Afonso Reguly, UFRGS – [reguly@ufrgs.br](mailto:reguly@ufrgs.br)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo

Este trabalho buscará a substituição de tratamento térmico de normalização pelo resfriamento controlado imediatamente após o material ser conformado a quente. Neste processo o calor retido pelo material, garantir uma taxa de resfriamento que permita a formação de uma microestrutura desejada. Isto permite uma economia de tempo e energia em relação aos tratamentos térmicos proporcionando uma diminuição dos custos, lead time e, conseqüentemente, uma maior flexibilidade do processo produtivo. Nos processos produtivos que utilizam operações de forjamento seguidas de usinagem, geralmente é necessário que a peça forjada seja resfriada ao ar ambiente e submetida a uma operação intermediária de tratamento térmico de normalização a fim de promover a formação de uma microestrutura ferrítica-perlítica, com dureza especificada entre 145 e 245 Brinell, de forma a melhorar as propriedades do material nas operações de usinagem. Este trabalho mostrará a viabilidade da substituição da normalização em um aço com aproximadamente 0,2% C forjado a quente pelo resfriamento controlado, imediatamente após forjamento. A microestrutura obtida por meio deste resfriamento controlado deverá ser semelhante àquela obtida pela normalização com uma dureza na faixa especificada para o referido tratamento térmico. Foram analisadas três amostras sendo: uma somente forjada, uma forjada com resfriamento controlado e a última com normalização após o forjamento. Procurou-se atender as especificações e normas solicitadas pelo cliente final, a fim de tornar válido o experimento, com análises metalográficas, análise de dureza e ensaios de tração e Charpy V. Os resultados foram muito satisfatórios, mostrando que o material com resfriamento controlado ao ar após o forjamento, atende as especificações do cliente.

**Palavras-chave:** Resfriamento Controlado; Forjamento a quente; Normalização.

### CONTROLLED COOLING: AN ALTERNATIVE FOR NORMALIZING PROCESS IN HOT FORGED PIECES

#### Abstract

The increasingly competitive market leads the industry to seek alternatives to increase productivity and cost savings in its processes. Based on this statement, the replacement of heat treatment by controlled cooling after hot forging has been an

alternative for the industry. The controlled cooling is performed to ensure a proper cooling rate that allows the formation of a desired microstructure. This results in process time and energy saving in relation to conventional fabrication route providing lower costs, lead time, environmental preservation and, consequently, greater flexibility of the production process. In processes using hot forging operations followed by machining it is generally necessary that the forged part is cooled in containers and subjected to an intermediate normalizing heat treatment to obtain a ferritic-pearlitic microstructure, with hardness ranging between 145 and 245 Brinell. This work aims to show the feasibility of replacing the normalizing heat treatment of a particular forged component by controlled cooling immediately after forging. Three conditions were analyzed: as forged and cooled in a container, forged and control cooling, and forged and normalized Metallographic, hardness analysis, tensile and impact Charpy V-notch were performed. The results were very satisfactory, showing that the material with controlled cooling after forging, meets customer specifications. It was therefore concluded that the controlled cooling after the forging process is viable alternative to the forging and normalizing route resulting in energy-saving, environmental preservation and faster manufacturing process.

**Key words:** Controlled Cooling, Hot Forging, Normalizing.

## 1 INTRODUÇÃO

O forjamento pode ser considerado, em muitos casos como, um processo rápido onde, muitas vezes é necessário um tratamento térmico posterior. Essa operação requer cuidados especiais e tempo de programação para a sua execução, que consiste, normalmente, em reaquecimento e resfriamento controlado da peça, para atingir a desejada microestrutura e, conseqüentemente, as propriedades mecânicas especificadas pelo produto.

Este trabalho aborda a substituição do tratamento térmico de normalização, que tem por principal objetivo o refino de grão e a formação de microestrutura do tipo ferrita e perlita. Este tratamento térmico é necessário porque os produtos dos processos de forjamento podem sofrer crescimento de grão indesejável e, nem sempre serem adequados para o processo posterior de usinagem. Para corrigir este problema, atender as especificações do produto e reduzir os custos com usinagem realiza-se a normalização.

Uma alternativa à normalização é o aproveitamento da energia pós-forjamento, utilizando resfriamento controlado formando, assim, microestrutura e propriedades desejáveis.

Os estudos são feitos, normalmente, testando aços microligados. Este trabalho testará um aço ao carbono que possui aproximadamente 0,2% C.

Os aços, tanto ao carbono quanto os microligados, quando resfriados controladamente, apresentam alta resistência e tenacidade, o que dispensa tratamentos térmicos posteriores reduzindo, assim, o tempo de processo na fabricação e os custos com energia. Neste contexto, o próprio calor remanescente do forjamento é suficiente para que se promova a homogeneização já na fase de resfriamento do material. As propriedades mecânicas, como resistência e tenacidade, são obtidas com o controle de fenômenos metalúrgicos associados à composição química que ocorrem no plano estrutural.

Os objetivos específicos deste trabalho são: analisar o mesmo material com três diferentes processos: como forjado, forjado e com tratamento térmico de

normalização e forjado com resfriamento controlado ao ar; Verificar se a microestrutura formada por ferrita e perlita é atingida; Apurar se a dureza especificada pela norma do cliente é atingida; Testar se o valor do ensaio de Charpy V especificado pela norma do cliente é atingida; Averiguar se os valores do ensaio de tração especificados pela norma do cliente é atingida; Avaliar a possível retirada do tratamento térmico de normalização pelo resfriamento controlado ao ar forçado após o forjamento a quente;

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 1.1. Material

Para este trabalho, foi utilizado o aço com teor de carbono de aproximadamente 0,2%, vindo do fornecedor em forma de barras redondas laminadas. Tem sua composição dada pela Tabela 1:

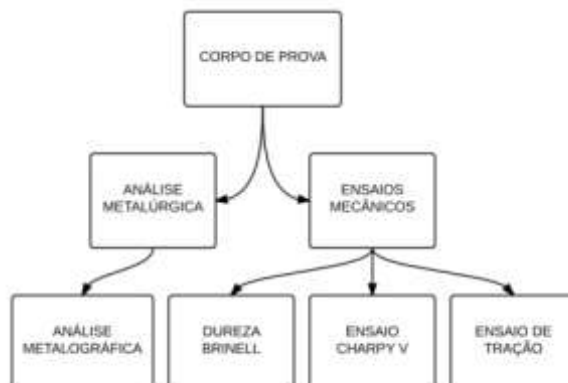
**Tabela 1** Composição em % em massa do Aço com aproximadamente 2%C

Análise química																	
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Al	Sn	Cu	Pb	Nb	N	Cu10Sn	
0,19	0,23	1,3	0,016	0,0027	0,14	0,13	0,03	0,002	0,002	0,022	0,011	0,2	0,001	0,002	0,0083	0,31	

Para a análise acima, foi utilizada um Espectrômetro de emissão ótica.

A figura 1 apresenta, de forma esquemática, os diferentes ensaios realizados neste estudo. Foram analisadas três condições de tratamento térmico para o componente: como forjado, forjado e normalizado e resfriamento controlado após forjamento. Para caracterização mecânico-metalúrgica foram realizados ensaios de caracterização microestrutural, dureza de núcleo Brinell, ensaio de impacto Charpy e ensaio de tração. Conforme a especificação deste produto, a microestrutura deve ser ferrítica-perlítica com dureza de núcleo entre 145 e 245 HB e para os ensaios Charpy V e tração (valor de Tensão de alongamento não proporcional - Rp), os resultados devem ser maiores que 27 J e 345 MPa, respectivamente.

**Figura 1** Descrição esquemática dos ensaios realizados neste estudo.



**Fonte:** Elaborada pelo autor

## 1.2. Forjamento

### 1.2.1. Indutor de aquecimento

Para o forjamento a quente, foi utilizado indutor elétrico com potência de 860 kW para aquecimento dos *blanks*. O material foi aquecido a uma temperatura média de 1175°C por um período de 30 segundos.

### 1.2.2. Prensa de forjamento

Para o forjamento foi utilizada uma prensa rápida de 1600 TF onde o material é encaçado e forjado.

## 1.3. Normalização

Para o tratamento térmico de normalização foi utilizado um forno contínuo elétrico. Ele é composto por cinco câmaras que são chamadas zonas, pode-se definir a temperatura que se deseja para cada zona, que para este trabalho foram utilizadas à 860°C cada zona com tempo de ciclo definido em 13 minutos.

Após o processo em forno, o material é resfriado ao ar, ou seja, sem ventilador.

## 1.4. Resfriamento controlado

### 1.4.1. Esteira

Para realização do resfriamento controlado após o forjamento, as peças foram colocadas em uma esteira de seis metros e submetidas a resfriamento ao ar por meio de cinco ventiladores industriais com 100 cm de diâmetro e sua rotação controlada por potenciostato, para forçar o resfriamento.

### 1.4.2. Velocidade

Para este trabalho, precisou-se testar a velocidade da esteira, primeiro devido ao material ainda não ter sido testado para este processo, segundo porque, devido à composição química com aproximadamente 0,2% de Carbono, a curva CCT tem o cotovelo muito próximo ao eixo Y. Após diversos testes foi determinada a velocidade ótima de 25 mm/s, velocidade na qual a dureza, ao final do resfriamento, estava, de acordo com a especificação do cliente, entre 145 e 245 HB.

### 1.4.3. Medição de temperaturas

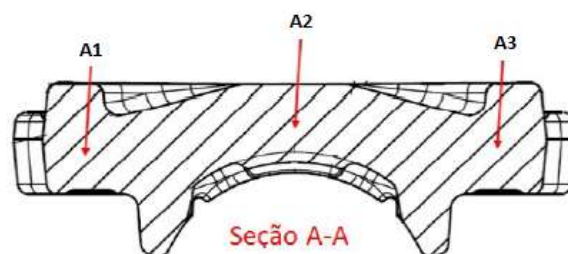
As medições de temperatura foram realizadas em dois momentos: no instante zero (aquele no qual o material forjado é retirado da prensa de rebarbação) e no final da esteira.

Para controle do resfriamento das peças forjadas e levantamento da respectiva curva, foi utilizado um pirômetro infravermelho *RaytekRaynger 3i*®.

### 1.5. Análises

A Figura 2 mostra as posições onde foram feitos os ensaios de dureza Brinell nos corpos de prova estudados.

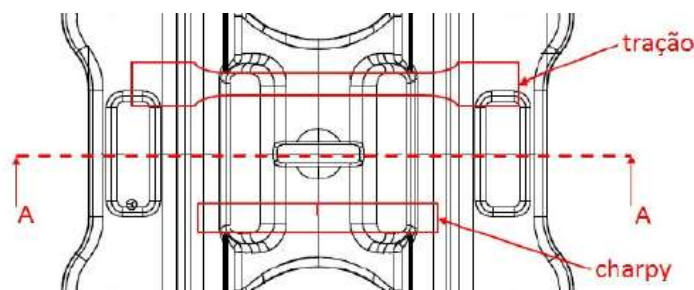
**Figura 2** Esquema de onde foram retirados os valores de dureza HBW



Fonte: Elaborada pelo autor

Para os ensaios mecânicos de Impacto Charpy e Tração os corpos de prova foram retirados conforme esquema mostrado na Figura 3.

**Figura 3** Regiões onde foram retirados os corpos de prova para os ensaios mecânicos



Fonte: Elaborada pelo autor

#### 1.5.1. Preparação das amostras

As amostras foram preparadas pelo método metalográfico tradicional, onde foram cortadas, embutidas em baquelite, lixadas, polidas e atacadas com Nital 3% (3ml de HNO<sub>3</sub> em 97mL de álcool etílico).

### 1.5.2. Equipamentos do laboratório

Após devidamente preparadas, as amostras foram analisadas em microscópio óptico, modelo Axiovert 40 MAT, da fabricante Zeiss. Para a aquisição das imagens foi utilizado o software Axiovision 4.8.0.0.

Para as análises de dureza, foi utilizado um durômetro HPO-3000 da fabricante WPM com penetrador esfera de 10 mm, onde uma carga de 3000 kg é aplicada durante 10 segundos, de acordo com a norma ABNT NBR NM ISO187.

O ensaio de impacto Charpy-V, após a preparação das amostras com chanfro do tipo V, as amostras com dimensão 55x10x10mm foram ensaiadas em máquina de impacto SI-1 C3, da marca Instron.

Os ensaios de tração foram realizados no equipamento MKU da marca Kratos, equipamento que permite ensaios de tração e compressão, utilizando os corpos de prova padrão ABNT NBR ISO 6892-1:2013 com seção útil de 50 mm. Os dados foram obtidos por software fornecido pela fabricante do equipamento.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos neste trabalho.

### 1.6. Curvas de resfriamento

Com intuito de verificar a taxa de resfriamento ( $Tr$ ) das peças, foi calculada, para cada uma delas, taxa em  $\left(\frac{^{\circ}C}{s}\right)$ , utilizando a Equação 1.

$$Tr = \frac{(Ti - Tf)}{Tt} \quad [1]$$

$Ti$  = Temperatura inicial, °C

$Tf$  = Temperatura final, °C

$Tt$  = Tempo total de resfriamento, s

Na Tabela 2 tem-se o cálculo das taxas de resfriamento de três corpos de prova forjados e resfriados ao ar com controle, velocidade da esteira de 25 mm/s por 240 segundos.



**Tabela 2** Resultado das medições de temperatura e taxa de resfriamento do aço para resfriamento o ar com controle.

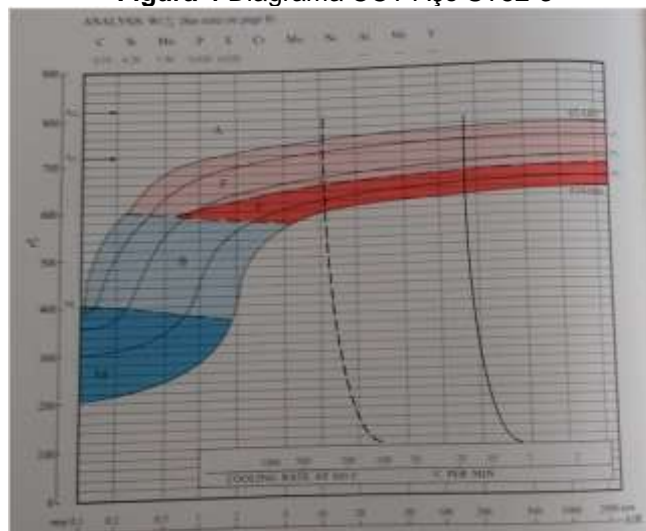
Temperatura inicial após o forjamento (°C)	Temperatura final após o resfriamento forçado (°C)	Tempo total de resfriamento (s)	Taxa de resfriamento (°C/s)
898	509	240	1,62
905	516	240	1,62
890	496	240	1,64
Média: 897,6	Média: 507		Média: 1,62
Taxa de resfriamento: 97,6 °C/min			

Na Tabela 3 tem-se o cálculo das taxas de resfriamento de três corpos de prova forjados e resfriados ao ar sem controle em caixa durante 9000 segundos.

**Tabela 3** Resultado das medições de temperatura e taxa de resfriamento do aço para resfriamento ao ar sem controle em caixa.

Temperatura inicial após o forjamento (°C)	Temperatura final após o resfriamento forçado (°C)	Tempo total de resfriamento (s)	Taxa de resfriamento (°C/s)
905	60	9000	0,09
900	69	9000	0,09
898	68	9000	0,09
Média: 901	Média: 66		Média: 0,09
Taxa de resfriamento: 5,4 °C/min			

**Figura 4** Diagrama CCT Aço ST52-3



Fonte: (Atkins, 1980) Atlas of continuous cooling transformation diagrams for engineering steels

De acordo com as taxas de resfriamento calculadas, traçando uma curva para cada uma no diagrama CCT pode-se observar que a microestrutura esperada para ambos após o resfriamento é formada por ferrita e perlita (figura 4), sendo a curva

com linha cheia indicando o resfriamento ao ar sem controle e a curva tracejada o resfriamento ao ar com controle.

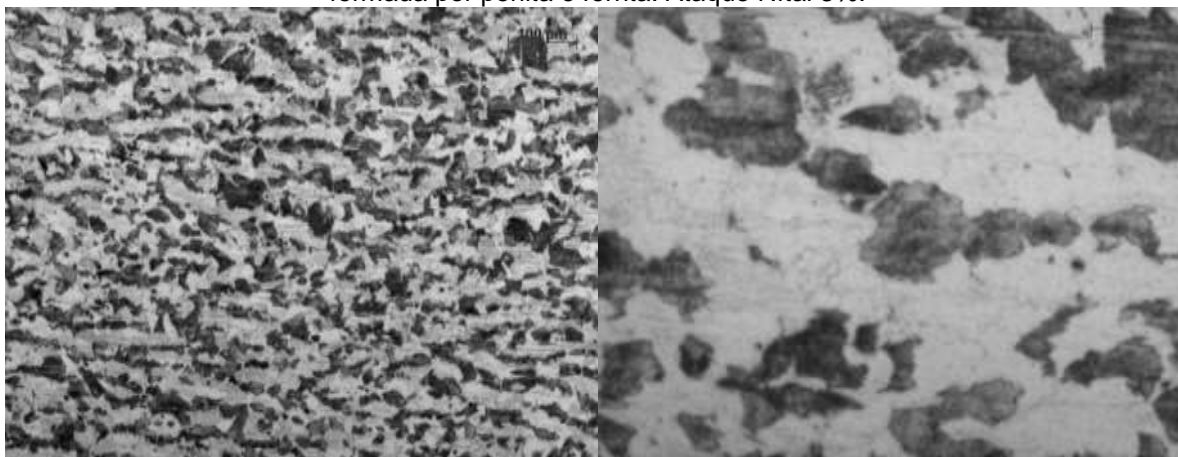
### 1.7. Análise microestrutural

Conforme especificação a microestrutura deve ser ferrítica-perlítica.

#### 1.7.1. Forjado

A Figura 5a, obtida por microscópio ótico com aumento de 100x onde se observa para o material na condição de como forjado e resfriado sem controle uma microestrutura consistindo de ferrita equiaxial e perlita fina. Na Figura 5b, tem-se o mesmo corpo de prova com aumento de 500x e ferrita equiaxial e perlita fina observada em detalhe.

**Figura 5** a) Microestrutura do aço com aproximadamente 2%C com aumento de 100x na condição de como forjado. Microestrutura formada por perlita e ferrita. Ataque Nital 3%. b) Microestrutura do aço com aproximadamente 2%C com aumento de 500x na condição de como forjado. Microestrutura formada por perlita e ferrita. Ataque Nital 3%.

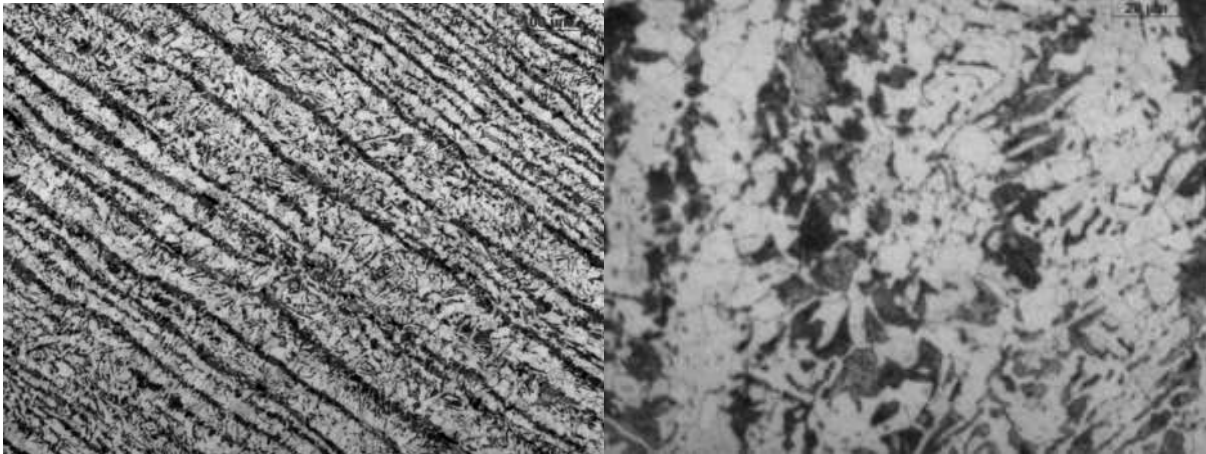


Fonte: Elaborada pelo autor

#### 1.7.2. Normalizado

A figura 6a apresenta a microestrutura observada para o material na condição de forjado e com tratamento térmico de normalização. Uma microestrutura consistindo de ferrita equiaxial e perlita em bandas foi obtida. Essas bandas são provavelmente provenientes do processo de lingotamento contínuo, devido principalmente à presença de elementos de liga substitucionais, como o manganês (KRAUSS, 2003). A Figura 6b, com aumento ótico de 500x, observa-se em detalhe as bandas de perlita e ferrita equiaxial.

**Figura 6** a) Microestrutura do aço com aproximadamente 2%C com aumento de 100x na condição de como forjado e normalizado. Microestrutura formada por perlita e ferrita. Ataque Nital 3%. b) Microestrutura do aço com aproximadamente 2%C com aumento de 500x na condição de como forjado e normalizado. Microestrutura formada por perlita e ferrita. Ataque Nital 3%.

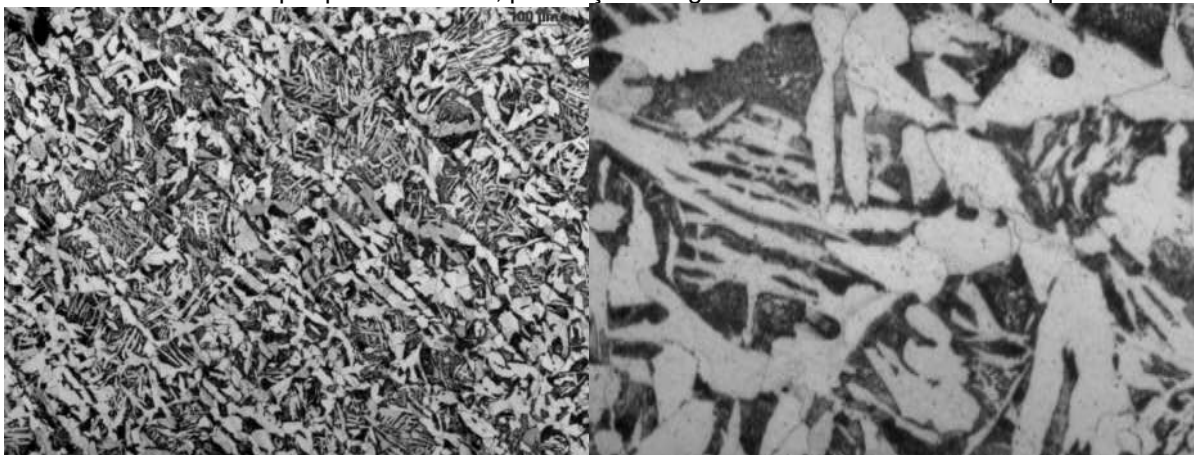


Fonte: Elaborada pelo autor

### 1.7.3. Resfriamento controlado

A Figura 7a apresenta a microestrutura observada para o material na condição de como forjado e com resfriamento controlado. Uma microestrutura consistindo de Ferrita acicular e perlita fina foi obtida. Na Figura 7b, com aumento de 500x, vê-se em detalhe a ferrita acicular e perlita.

**Figura 7** a) Microestrutura do aço com aproximadamente 2%C com aumento de 100x na condição de como forjado e resfriado com controle. Microestrutura formada por perlita e ferrita, presença de regiões com ferrita acicular. Ataque Nital 3%. b) Microestrutura do aço com aproximadamente 2%C com aumento de 500x na condição de como forjado e resfriado com controle. Microestrutura formada por perlita e ferrita, presença de regiões com ferrita acicular. Ataque Nital 3%.



Fonte: Elaborada pelo autor

Os resultados obtidos nas análises metalográficas mostram que o item alcança a microestrutura alvo formada por ferrita e perlita nos três processos estudados, forjamento, normalização e resfriamento controlado, portanto, conforme

objetivos deste trabalho, conclui-se que o resfriamento controlado atende as especificações.

### 1.8. Ensaio de dureza

**Tabela 4** Resultados de dureza para o aço com aproximadamente 2%C sob diferentes condições de resfriamento após o forjamento.

Condição	Dureza HBW – Carga de 3000 Kg		
	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>
Como forjado	172	165	167
Normalizado	153	162	165
Com resfriamento controlado	180	183	185
<b>Especificado</b>	<b>145 - 245</b>	<b>145 - 245</b>	<b>145 - 245</b>

Analisando-se os dados da Tabela 4, se observa que as durezas após o forjamento já atendem ao especificado, que é de 145 a 245 HB, porém bem próximo da dureza mínima. Já os resultados das durezas após a normalização também apresentaram uma média próxima da mínima, porque mesmo com a microestrutura refinada o material não apresenta muito carbono. Por último, o material que foi resfriado de maneira controlada apresentou maior dureza de núcleo das três amostras. O aumento na dureza, após o resfriamento controlado, se dá ao fato do refino de grão e a presença de ferrita acicular de widmanstatten, conforme Dieter (1981).

Como pode ser visto na Tabela 1, o material possui 1,3% em massa de manganês, e segundo Viana (2012) *apud* Peixoto (2003) o manganês em teores na faixa de 0,8 a 1,5% de peso, junto com o enxofre, pode atuar como refinador de grão pela diminuição na temperatura de transformação, resultando em tamanhos de grão ferríticos e colônias perlíticas menores, pela alta taxa de nucleação e baixa taxa de crescimento de grão. O aumento no teor de manganês conduz a mais numerosos sítios de nucleação (principalmente na formação de MnS), reduz a velocidade de difusão do carbono e outros elementos e dificulta o movimento dos contornos de grão. Em combinação com o silício, material este estudo possui 0,23% em peso de Silício, contribui com o endurecimento por solução sólida na ferrita pró-eutetóide e na ferrita da perlita.

Os resultados obtidos nos ensaios de dureza Brinell mostram que o item alcança a dureza de núcleo especificada nos três processos estudados, forjamento,

normalização e resfriamento controlado, portanto, conforme objetivos deste trabalho, conclui-se que o resfriamento controlado atende as especificações.

## 1.9. Ensaio mecânicos

### 1.9.1. Ensaio de Impacto Charpy

Na Tabela 5 tem-se os resultados obtidos no ensaio de impacto Charpy V, onde pode-se observar que em todas as condições avaliadas tivemos resultados acima do especificado de 27 J. O material forjado apresentou 109 J de energia absorvida, esse valor provavelmente devido ao grão mais grosseiro e simétrico, quando comparado ao tamanho de grão observado nos corpos de prova normalizados após forjamento, visto que a peça resfriou lentamente em caixa juntamente com outras peças. O material normalizado, com 143 J de energia absorvida, ou seja, extremamente dúctil e grãos muito refinados na matriz de ferrita-perlita, além disso, a formação da perlita em bandas favorece a absorção de energia pelo corpo de prova. O valor de 36 J de energia absorvida para a amostra que sofreu resfriamento controlado, explica-se principalmente pela presença de ferrita acicular na matriz, é importante frisar que a fratura após o ensaio foi limpa nas amostras ensaiadas validando por tanto os resultados, que está diretamente associada à alta tenacidade e não com alta ductilidade como observa De Figueiredo (2004).

**Tabela 5** Resultados de ensaio de impacto Charpy para o aço com aproximadamente 2%C sob diferentes condições de resfriamento após o forjamento.

Condição	Energia Absorvida, J
Como forjado	109
Normalizado	143
Com resfriamento controlado	36
<b>Especificado</b>	<b>27</b>

Os resultados obtidos nos ensaios de impacto Charpy V mostram que o material estudado fica acima do valor especificado de 27 J de energia absorvida nos três processos estudados, forjamento, normalização e resfriamento controlado, portanto, conforme objetivos deste trabalho, conclui-se que o resfriamento controlado atende as especificações.

### 1.9.2. Ensaio de tração

Os valores obtidos no ensaio de Tração foram aferidos conforme ABNT NBR ISO 6892-1:2013.

Os resultados obtidos nos ensaios de tração, Tabela 6, mostram que o item alcança os valores especificados entre 470 e 630 MPa para resistência a tração (Rm) e 22% para alongamento proporcional após a ruptura (A5) para os três processos estudados.

**Tabela 6** Resultados de ensaio de impacto Tração para o aço com aproximadamente 2%C sob diferentes condições de resfriamento após o forjamento.

Condição	Rp (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)
Como forjado	330	545	25%
Normalizado	364	480	28%
Resfriamento controlado	438	600	23%
<b>Especificado</b>	<b>345</b>	<b>470 – 630</b>	<b>22%</b>

Rp: Tensão convencional de alongamento não proporcional

Rm: Resistência à tração

A5: Alongamento proporcional após ruptura

Para o valor especificado de 345 MPa para Tensão convencional de alongamento não proporcional (Rp) o item somente forjado fica abaixo deste valor, que pode ser explicado devido o tamanho de grão mais grosseiro quando comparado à microestrutura das duas outras condições estudadas, material forjado/normalizado e forjado/resfriamento controlado. Importante notar que os resultados para alongamento não são compatíveis aos resultados obtidos no ensaio Charpy V, sendo portanto, sugestão para trabalhos futuros o entendimento destes resultados.

Os resultados mostram, portanto, que o item necessita processo posterior após forjamento, isto porque os itens que sofreram processos posteriores ao forjamento, normalização e resfriamento controlado, alcançaram todos os valores especificados, por fim, conforme objetivos deste trabalho, conclui-se que o resfriamento controlado atende as especificações.

## 4 CONCLUSÃO

Baseado nos resultados apresentados neste trabalho é possível chegar as seguintes conclusões:

- O material somente forjado não atinge a especificação do ensaio de tração o que faz com que ele necessite ser processado após forjado ou sendo normalizado ou sofrendo resfriamento controlado ao ar forçado;

- b) O material normalizado apresenta todos os resultados dentro do especificado pelo cliente, onde o resultado que mais chama a atenção é o valor do ensaio de impacto Charpy V com valor bastante alto, condizente com um material extremamente dúctil e excelente para o processo posterior de Usinagem;
- c) O material que sofreu o processo de resfriamento controlado, atende a todas as especificações estudadas, dureza de núcleo, ensaio de impacto Charpy V e ensaio de tração, sendo portanto, uma alternativa à normalização;
- d) O material que sofreu o processo de resfriamento controlado apresentou um valor bastante baixo, 36 J no ensaio de impacto Charpy V, quando comparado as outras duas condições.

## **Agradecimentos**

Ao Brasil, por ainda oferecer ensino público federal de qualidade e acesso universal.

À UFRGS por ter me proporcionado uma excelente graduação.

Aos meus pais Jaime Nataniel e Vera Lúcia. À Emília, por todo apoio, força e amor em todos os momentos.

À família Hilgert, em especial João Eduardo, Gema e Eduarda por serem a família que eu precisava no momento em que era tudo comigo, vocês são demais.

À Maxiforja Componentes Automotivos Ltda. por todo suporte técnico para a realização deste trabalho.

Aos engenheiros orientadores Gustavo Antoni, Marlon Fernandes, Diego Wendt, Diego Brum, Diogo Melo e Hédio Viana pelo apoio, dicas e ensinamentos.

Ao professor Dr. Afonso Reguly pelo apoio e orientação.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR ISO 6892-1. Materiais metálicos — Ensaio de Tração - Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente : 2013.
- 2 ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR NM ISO 187. Papel, cartão e pastas celulósicas - Atmosfera normalizada para condicionamento e ensaio e procedimento de controle da atmosfera e condicionamento das amostras : 2000.
- 3 CIMM. Diagramas Fe-Fe<sub>3</sub>C. Disponível em: <[http://www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico/6434diagramasfefesub3subc#.VknjF3arTIV](http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6434diagramasfefesub3subc#.VknjF3arTIV)>. Acesso em: 14 out. 2015.
- 4 COTA, André Barros; LACERDA, Cássio Antônio Mendes; OLIVEIRA, Fernando Lucas Gonçalves e ARAUJO, Fernando Gabriel Silva. Influência da temperatura de austenitização sobre a cinética de formação da ferrita em um aço microligado com Nb. Rem: Rev. Esc. Minas [online]. 2002, vol.55, n.4, pp. 273-277. ISSN 1807-0353.
- 5 DAVID, Fabio Henrique Santos et al. INC 0108: EFEITO DA TAXA DE RESFRIAMENTO NA CONSTITUIÇÃO DA PERLITA E NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE AÇOS COMUNS. Revista Iniciação Científica, Belo Horizonte, v. 13, n. 1, p.56-63, jun. 2014. Disponível em: <<http://npa.newtonpaiva.br/iniciacaocientifica/?p=261>>. Acesso em: 14 out. 2015.

- 6 DE FIGUEIREDO, Kléber Mendes. Aplicação de ensaio de impacto Charpy instrumentado no estudo da tenacidade à fratura dinâmica nas soldas a arco submerso em aços para caldeiras. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- 7 DIETER, G.E. Metalurgia Mecânica, 2a Ed.; .part1; Guanabara Dois, 1981
- 8 EN (European Normative). EN10025:1990. Specification for hot rolled products of non-alloy structural steels and their technical delivery conditions: 1990.
- 9 GHOSH, A.; DAS, S.; CHATTERJEE, S.; MISHRA, B.; RAO, P. R. Influence of thermo-mechanical processing and different post-cooling techniques on structure and properties of an ultra low carbon Cu bearing HSLA forging. Materials Science and Engineering A, v. 348, p. 299-308, 2003.
- 10 HERRING, Daniel H. Segregação e bandeamento em aços carbono e ligados. 2015. Disponível em: <<http://www.revistaih.com.br/coluna-htd/segregacao-e-bandeamento-em-acos-carbono-e-ligados/2019>>. Acesso em: 14 out. 2015.
- 11 INDEECO. The Importance of Normalizing. 12 Jan. 2015 Disponível em: <<http://blog.indeeco.com/importance-normalizing/>>
- 12 KRAUSS, George, Solidification, Segregation and Banding in Carbon and Alloy Steels, Metallurgical and Material Transactions B, Volume 34B, December 2003
- 13 SAMUELS, Leonard Ernest. Light microscopy of carbon steels. ASM International, 1999.
- 14 SILVA, André Luiz V. Costa e; MEI, Paulo Roberto. Aços e Ligas Especiais. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2006.
- 15 VIANA, Hédio. SUBSTITUIÇÃO DE AÇO CONVENCIONAL POR MICROLIGADO PARA ELIMINAÇÃO DA NORMALIZAÇÃO APÓS FORJAMENTO À QUENTE. Trabalho de conclusão de curso Engenharia Mecânica ULBRA, 2012.
- 16 YAMAKAMI, Wyser José; REIS, Maria Beatriz. ELIMINAÇÃO DE TRATAMENTO TÉRMICO USANDO RESFRIAMENTO CONTROLADO., 2005



## USO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS PARA AVALIAÇÃO DOS FATORES MORFOLÓGICOS DE ESFERICIDADE E ARREDONDAMENTO EM PROPANTES

Calcagno, C. I. W.<sup>1</sup>

Darsie, F. R. F.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dra., Carmen Iara Walter Calcagno, Instituto Federal Sul-riograndense, [carmencalcagno@sapucaia.ifsul.edu.br](mailto:carmencalcagno@sapucaia.ifsul.edu.br)

<sup>2</sup> MSc., Francis Regina Farret Darsie, Instituto Federal Sul-riograndense, [francis.darsie@hotmail.com](mailto:francis.darsie@hotmail.com).

### Resumo

O fraturamento hidráulico é uma técnica usada na indústria do petróleo na produção de óleo e gás que utiliza materiais propantes como agentes de sustentação para impedir o fechamento das fraturas, mantendo sua condutividade e viabilizando a produção do poço. Os propantes são desenvolvidos com especificações determinadas pelas normas do setor do petróleo. Entre as especificações, as normas API RP 19C e ABNT NBR ISO 13503-2 estabelecem que os materiais propantes possuam características morfológicas que são avaliadas por meio de valores médios de esfericidade e arredondamento. Esta avaliação é feita por meio de comparação visual com a carta proposta por Krumbein e Sloss em 1955, consistindo em uma análise que demanda tempo e introduz certo grau de subjetividade. O objetivo deste trabalho é tornar esta análise mais rápida, consistente e objetiva por meio do uso de processamento de imagens para avaliação dos fatores morfológicos. Para validação da proposta foram analisadas amostras de faixas granulométricas diferentes avaliadas tanto no método de comparação visual quanto no processamento digital das imagens. Para o processamento foram utilizadas imagens binárias e o *plugin Particle8* do software livre *ImageJ*. Os valores médios foram consistentes nos dois métodos, confirmando o uso do programa de processamento de imagens como uma ferramenta interessante na análise dos parâmetros morfológicos, reduzindo o tempo de análise e o fator subjetividade.

**Palavras-chave:** esfericidade; arredondamento; processamento de imagens; propantes.

### USE OF IMAGE PROCESSING FOR EVALUATION OF MORPHOLOGICAL FACTORS OF SPHERICITY AND ROUNDNESS IN PROPPANTS

#### Abstract

Hydraulic fracturing is a technique used in the petroleum industry to product oil and gas that make use of proppant materials as support agents in order to prevent the closure of fractures and to preserve their conductivity making enable production. According to specifications determined by the petroleum industry standards

proppants are developed. The API RP 19C and ABNT NBR ISO 13503-2 standards state morphological characteristics that the proppant materials must have and that are evaluated through the mean values of sphericity and roundness. This evaluation is made through visual comparison with the chart proposed by Krumbein and Sloss in 1955 consisting in analysis where time and certain degree of subjectivity are introduced. The aim of this work is become this analysis more fast, consistent and objective through the use of image processing to evaluate morphological factors. Samples of different grain sizes were analyzed, both visual comparison method and digital image processing to validate proposal. Binary images and the Particle8 plugin of free software ImageJ were used to image processing. The mean values were consistent in both methods and confirm that image processing program is an interesting tool in analysis of morphological parameters decreasing time and the subjectivity factor.

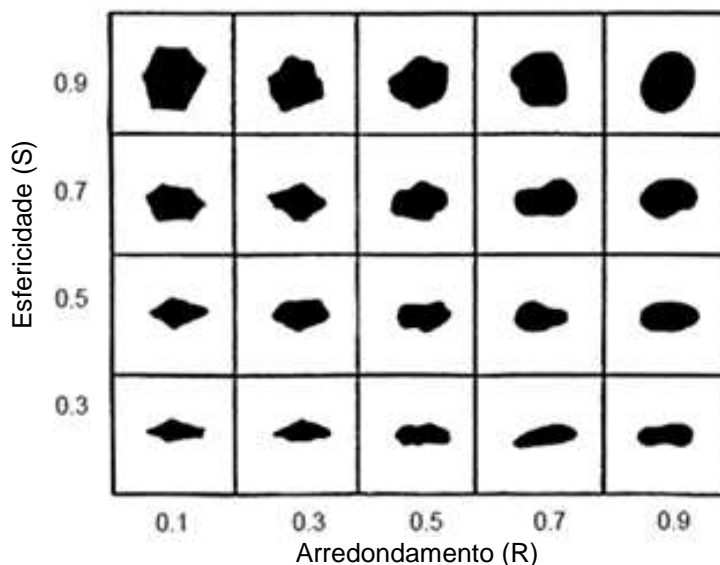
**Key words:** sphericity; roundness, image processing; proppants.

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das técnicas utilizadas na indústria do petróleo para a produção de óleo e gás é o fraturamento hidráulico. Neste processo, um fluido com alta pressão é injetado no interior da rocha criando fraturas que formam canais com maior permeabilidade para a extração de óleo/gás. Para impedir o fechamento das fraturas pelas altas pressões exercidas pelas rochas, manter a condutividade e viabilizar a produção, juntamente com o fluido de fraturamento, são injetados materiais propantes que atuam como agentes de sustentação<sup>(1)</sup>.

Propantes são materiais sólidos desenvolvidos sob especificações e características determinadas pelas normas técnicas do setor do petróleo. Os materiais mais comuns na produção de propantes são os cerâmicos, bauxita e areia de sílica. As normas técnicas API RP 19C<sup>(2)</sup> e ABNT NBR ISO 13503-2<sup>(3)</sup> determinam que os materiais usados como propantes devam ter: resistência mecânica suficientemente alta para resistir às altas pressões impostas pelas rochas, densidade suficientemente baixa para que possam ser injetados nas fraturas sem sedimentar, resistência a altas temperaturas e à corrosão, granulometria, forma e tamanho das partículas adequados ao tipo de propante e de processo e baixas permeabilidade e condutividade.

As normas estabelecem que a morfologia dos propantes seja avaliada por meio de dois fatores: esfericidade (S) e arredondamento (R), ambos variando de 0 a 1, sendo 1 a esfera perfeita. Esfericidade é o grau de semelhança entre uma partícula e uma esfera e arredondamento é a medida da curvatura do grão, que está associado à existência ou não de bordas pontiagudas. Os valores indicados para ambos os fatores devem ser maiores ou iguais a 0,7, para os propantes à base de cerâmica e cerâmicos resinados, e maiores ou iguais a 0,6 para todos os outros propantes<sup>(3)</sup>. A norma recomenda que estes valores sejam obtidos a partir de uma amostra contendo, pelo menos, 20 grãos do material de interesse. A análise é realizada comparando-se cada um dos grãos com figuras semelhantes da carta KS desenvolvida em 1955 por Krumbein e Sloss (citado por Barreto, 2010)<sup>(1)</sup> e apresentada na Figura 1. Por ser visual e pontual esta análise introduz, em seu resultado, o fator subjetividade, além de demandar tempo na sua realização.



**Figura 1:** Carta KS para avaliação de esfericidade (S) e arredondamento (R) desenvolvida por Krumbain e Sloss.

Com o desenvolvimento das imagens digitais e dos programas de análise e processamento de imagens uma nova forma de tratamento dos dados pode passar a ser adotada. O uso de fotomicrografias consta nas normas<sup>(2, 3)</sup> como alternativa à visualização direta via microscópio, porém ainda sendo comparadas com a carta KS.

O emprego de processamento digital em diversas áreas do conhecimento vem sendo utilizado por muitos pesquisadores como uma alternativa interessante às análises que utilizam métodos visuais ou qualitativos, pois reduz a subjetividade implícita nestes métodos e aumenta a reprodutibilidade, além de reduzirem o tempo de análise. Na área de Metalurgia, Hernandez Jr. *et al.*<sup>(4)</sup> utilizaram um programa de processamento digital para desenvolver uma metodologia que permite avaliar o grau de esferoidização médio de aços esferoidizados que, segundo as normas pertinentes ao setor, é limitada ao uso de padrões qualitativos. O trabalho de Ribeiro e Bonetti<sup>(5)</sup>, dedicado à área de Geociências, avalia o processamento de imagens aplicado à determinação de atributos morfológicos dos grãos e ao cálculo dos índices morfométricos, para quantificar sedimentos arenosos. Esta análise, originalmente, era realizada por meio de cartas visuais comparativas, possuindo um caráter bastante subjetivo e pouco reprodutível. No que diz respeito às propriedades dos solos, na área de Engenharia Civil, Arazan *et al.*<sup>(6)</sup> utilizou o programa *ImageJ* para substituir as operações de peneiramento e classificação cansativas e demoradas, por métodos de análises digitais para obtenção da distribuição de tamanho de grão e forma das partículas.

A proposta deste artigo é avaliar o uso de um programa para processamento das imagens digitais no que se refere aos parâmetros esfericidade e arredondamento para materiais propantes, que ofereça uma alternativa à comparação visual, reduzindo o tempo de análise e o fator subjetivo implícito no método tradicional. O programa escolhido para este trabalho foi o *software* livre *ImageJ*, que possui análise de partículas entre suas funcionalidades, além de *plugins* para análise da morfologia das partículas, entre eles o *Particle8*, utilizado neste estudo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para este trabalho foram utilizadas amostras sinterizadas de sílica Silroz HD-Si, fornecidas pela empresa Marina Tecnologia Ltda., com 90-94% de pureza.

As amostras neste trabalho foram utilizadas depois de compactadas, sinterizadas, moídas e separadas por peneiramento. Os intervalos de granulometria das partículas retidas em cada uma das peneiras utilizadas neste ensaio são apresentados na Tabela 1, sendo que, de cada um destes intervalos, foram retiradas amostras aleatórias contendo, pelo menos, 20 grãos para análise visual da esfericidade e arredondamento e posterior processamento de imagem.

**Tabela 1:** Intervalo de tamanho das partículas retidas em cada uma das peneiras utilizadas:

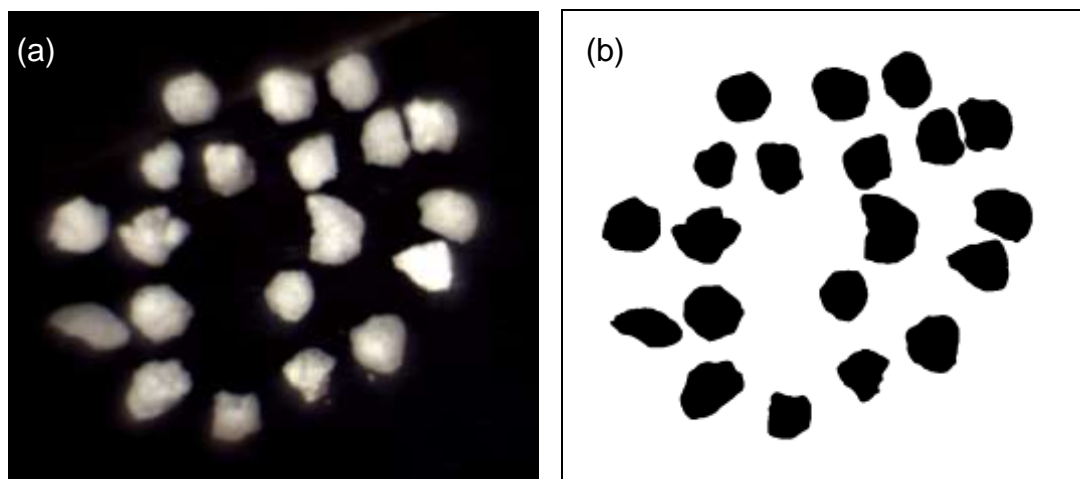
Amostra	Nº da peneira (ABNT)	Abertura (mm)	Intervalo de tamanho dos grãos (mm)
1	18	1,00	> 1,00
2	20	0,84	1,00 - 0,84
3	25	0,71	0,84 - 0,71
4	30	0,59	0,71 - 0,59
5	35	0,50	0,59 - 0,50
6	40	0,42	0,50 - 0,42

As imagens foram adquiridas em um estereomicroscópio marca Biotika, modelo L60TC, com sistema de aquisição de imagens, em aumentos que variaram de 30 a 50X, de acordo com a granulometria das partículas de cada amostra.

Pelo método tradicional, cada um dos grãos que constituíam as seis amostras foi comparado com as figuras da carta de KS (Figura 1), seus valores de esfericidade e arredondamento foram anotados e as médias e desvios-padrão calculados, conforme sugerem as normas<sup>(2, 3)</sup>. A carta formulada por Krumbein e Sloss (Figura 1) apresenta 20 figuras, dispostas de forma que cada uma represente um conjunto de valores de esfericidade e arredondamento. A avaliação dos parâmetros é feita comparando-se cada grão com as figuras da carta que mais se assemelham em esfericidade e arredondamento.

Para análise e processamento das imagens foi utilizado o programa *ImageJ*, um *software* livre desenvolvido por Wayne Rasband<sup>(7)</sup> no *National Institute of Health* (NIH) dos EUA. Este programa possui, entre suas funcionalidades, um menu de Análise de Partículas e *plugins* como o *Particle8*<sup>(8)</sup>, que calculam o arredondamento e a esfericidade, além de outros parâmetros.

Para viabilizar a análise pelo *software* foi necessária a obtenção de imagens onde as partículas estivessem suficientemente separadas, de modo a não haver sobreposição dos grãos. Garantida esta condição, cada imagem foi convertida em uma imagem binária por meio do comando “*Process > Binary > Make Binary*” e os artefatos da imagem retirados para que não interferissem no processamento. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra um exemplo de imagem antes e depois da binarização. É importante ressaltar que a imagem binária deve manter o mesmo tamanho e forma dos grãos que existem na imagem original, pois o programa calcula volume, área, perímetro, etc, a partir das imagens binárias.



**Figura 2:** (a) Fotomicroscopia ótica. (b) Imagem binária para análise no ImageJ.

O *plugin Particle8*, parte do pacote *Morphology* do *ImageJ* foi aplicado nas imagens binárias e os resultados gerados foram salvos em tabelas compatíveis com o Microsoft Excel®. Os descritores de forma gerados pelo programa e selecionados para a análise foram a esfericidade e o arredondamento, de forma que pudessem ser confrontados com os valores obtidos na comparação com a carta KS. Além das seis amostras, também as figuras da carta KS foram analisadas individualmente com o programa *ImageJ* de forma que fosse possível estabelecer uma correlação entre tabela e programa.

Os resultados obtidos na análise visual e no processamento digital foram analisados quanto a sua significância estatística, por meio de Análise de Variância (ANOVA), fator único com 95% de confiança.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise de comparação visual, utilizaram-se seis imagens digitais contendo, cada uma, pelo menos 20 partículas de sílica. Os valores médios dos resultados de S e R com os desvios-padrão para cada amostra são mostrados na Tabela 2, abaixo:

**Tabela 2:** Valores médios de esfericidade e arredondamento obtidos por comparação visual:

Amostra	Parâmetro	Valor Médio
1	S	$0,7 \pm 0,2$
	R	$0,6 \pm 0,2$
2	S	$0,7 \pm 0,2$
	R	$0,7 \pm 0,2$
3	S	$0,7 \pm 0,1$
	R	$0,6 \pm 0,1$
4	S	$0,8 \pm 0,2$
	R	$0,7 \pm 0,2$
5	S	$0,7 \pm 0,2$
	R	$0,6 \pm 0,2$
6	S	$0,6 \pm 0,2$
	R	$0,5 \pm 0,2$

De acordo com os resultados encontrados para S e R, apenas uma parte das amostras seria aprovada para uso como propante. Pode-se observar que os valores de desvio-padrão são altos, fato que pode impactar significativamente na aprovação ou não da amostra. Na carta KS (Figura 1) cada imagem está relacionada a um conjunto específico de valores de S e R, não possibilitando o registro de valores intermediários o que, por vezes, dificulta a adequação dos grãos analisados, dando margem ao fator subjetivo da análise.

Para validação estatística dos resultados encontrados na análise visual, foi realizada Análise de Variância tanto para esfericidade quanto para arredondamento em todas as amostras. Os resultados da ANOVA demonstraram que não existem diferenças significativas entre os valores de S e R encontrados na análise visual das amostras. No entanto, comparando-se as médias como orienta a norma, parte das amostras seria reprovada.

O processamento digital das imagens das mesmas amostras foi utilizado na tentativa de minimizar o grau de subjetividade embutido na análise visual. Os resultados médios de S e R por amostra é mostrado na Tabela 3. Os valores médios ficam próximos aos encontrados na análise visual e os desvios-padrão, de forma geral, são menores, reduzindo a margem de erro ao aceitar ou não uma amostra de propante, de acordo com as normas. Os resultados da ANOVA nas análises realizadas por processamento digital mostraram que, estatisticamente, as amostras são diferentes tanto em S quanto em R.

**Tabela 3:** Valores médios de esfericidade e arredondamento obtidos pelo programa *ImageJ*:

Amostra	Parâmetro	Valor Médio
1	S	0,6 ± 0,1
	R	0,7 ± 0,1
2	S	0,6 ± 0,1
	R	0,7 ± 0,1
3	S	0,6 ± 0,1
	R	0,7 ± 0,1
4	S	0,7 ± 0,1
	R	0,7 ± 0,1
5	S	0,6 ± 0,1
	R	0,6 ± 0,1
6	S	0,6 ± 0,1
	R	0,7 ± 0,1

De todos os parâmetros calculados pelo *plugin Particle8*<sup>(8)</sup> do programa *ImageJ* no processamento, foram escolhidos *Sphericity* (S) e *Roundness* (R) para comparação com os valores obtidos na análise visual. O programa calcula a esfericidade pela fórmula da equação 1<sup>(8)</sup>, como a razão entre a área do maior círculo inscrito na partícula e o círculo circunscrito a ela:

$$S = \frac{Mín_R}{Máx_R} \quad (1)$$

onde

$Mín_R$  é o raio do maior círculo inscrito na partícula e  $Máx_R$  é o raio do círculo circunscrito à partícula.

No cálculo do arredondamento, o *Particle8* usa a equação 2<sup>(8)</sup>, onde A é a área da partícula e L é o eixo de maior dimensão, de forma que quanto maior for L,

menor será o arredondamento e maior o alongamento da partícula. A equação 2.2 usada para o cálculo do arredondamento (R) é:

$$R = \frac{4 \cdot A}{\pi \cdot L^2} \quad (2)$$

onde

A é a área da partícula e L é o comprimento do eixo de maior dimensão da partícula (diâmetro máximo de Feret).

A carta KS foi estabelecida em 1955 para uso na área de Sedimentologia e Geologia, de forma a contemplar a análise de sedimentos, cascalhos e rochas. Posteriormente, passou a ser utilizada para análise comparativa das formas de particulados, areia, rochas e também como parâmetro para propantes<sup>(2, 3)</sup>. Em relação aos erros embutidos nas cartas para análises comparativas, Folk (1955, citado por Rodriguez, 2013)<sup>(9)</sup> concluiu que os erros introduzidos na esfericidade podem ser negligenciados, porém no que diz respeito ao arredondamento não existe consenso na forma de cálculo e nem em relação ao próprio conceito.

Com o propósito de estabelecer uma correlação entre os dois tipos de análises, também as figuras da carta KS foram analisadas uma a uma com o programa. Os resultados de esfericidade e arredondamento calculados pelo programa estão apresentados na Figura 3. Observou-se que os parâmetros calculados não coincidem com os valores estabelecidos pela carta. Pelas normas do setor do petróleo, os propantes cerâmicos para fraturamento hidráulico devem ter valores de S e R acima de 0,7. A Figura 3 mostra, dentro do quadrado vermelho, as posições em que os propantes seriam aprovados pela norma de acordo os valores da carta. Porém, pelos valores calculados pelo programa (em vermelho), mantendo-se o mesmo critério S e R acima de 0,7, observa-se que apenas os valores das duas figuras superiores seriam aprovados. Da mesma forma, valores que rejeitariam as amostras pela norma, seriam aprovados pelo programa, conforme vemos na Figura 3, linha superior.

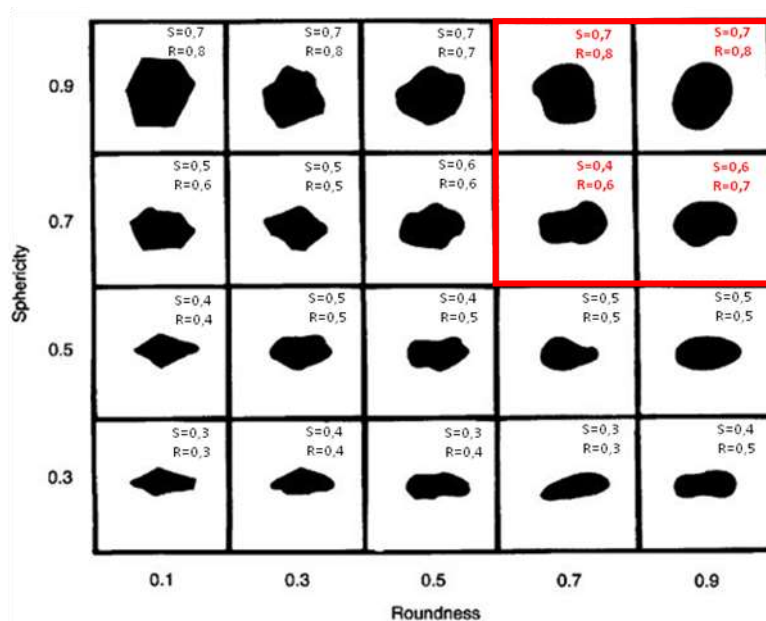


Figura 3: Carta KS com a inserção dos valores de esfericidade e arredondamento calculados pelo programa *ImageJ* para cada figura.

Numa primeira abordagem não foi encontrada uma correlação entre valores da carta e do programa, porém, sendo este um assunto relativamente recente, visto que as normas ainda não estabelecem o uso de processamento digital, apenas de fotomicrografias, torna-se um assunto interessante para trabalhos futuros.

As imagens digitais e, conseqüentemente seu processamento, possibilitam uma maneira diferente de analisar parâmetros morfológicos por meio de relações e fórmulas matemáticas que calculam áreas, perímetros, dimensões, fatores de forma, entre outros, deixando de lado a subjetividade e transformando esfericidade e arredondamento em parâmetros calculáveis conforme mostram as equações 1 e 2. Rodriguez *et al.*<sup>(9)</sup> fez uma compilação de métodos e técnicas usadas para determinar a morfologia das partículas desde o início do século XX. Em seu estudo, ficou estabelecido que não existe concordância em qual seria o melhor descritor de forma, mas fatores como resolução da imagem comprovadamente afetam os parâmetros que dependem de comprimentos (perímetros, diâmetros, eixos, etc) e, com isso passam a constar como fonte de erros.

O cálculo da esfericidade usado pelo *Particle8* está representado como uma razão entre comprimentos, minimizando os erros devidos à resolução, porém, o mesmo não ocorre para o arredondamento, que utiliza o cálculo da área e o quadrado do diâmetro de Feret, (medida do maior comprimento de uma partícula, numa direção específica) e, portanto, a resolução pode impactar significativamente no resultado. A resolução ideal depende muito da aplicação a que se destina para que se sejam obtidos dados razoáveis e confiáveis.

#### **4 CONCLUSÃO**

As análises feitas através de comparação visual nas seis amostras revelaram que nem todas as amostras seriam aprovadas como propantes se fossem observados apenas os valores de cada conjunto, porém, após realizar a análise de variância, observou-se que estatisticamente não existem diferenças significativas nos grupos, e então, todas as amostras seriam aprovadas.

Os resultados do processamento digital ficaram próximos daqueles realizados por análise visual, se considerarmos os desvios-padrão. A análise de variância aplicada a estes resultados mostrou que existem diferenças significativas entre os conjuntos de valores calculados para as seis amostras analisadas.

Para o processamento digital, a resolução afeta diferentemente a esfericidade e o arredondamento, visto que a imagem a ser analisada é uma imagem binária. Nesta transformação deve haver um cuidado extra para que nenhum detalhe das partículas seja perdido ou acrescentado.

Não foi encontrada uma correlação satisfatória entre os resultados da análise digital e os valores associados às figuras da carta KS, que validasse sua substituição.

#### **Agradecimentos**



Os autores agradecem à empresa Marina Tecnologia pelo fornecimento do material para as análises e a parceria no desenvolvimento do projeto, à PROESP/IFSul e ao CNPq pelo apoio financeiro por meio da Chamada CNPq – SETEC/MEC Nº 17/2014 - Apoio a Projetos Cooperativos de Pesquisa Aplicada e de Extensão Tecnológica” com o projeto “RiceProp – BIOMassa em materiais para indústria de petróleo e gás”.

## REFERÊNCIAS

- 1 BARRETO, M. N. e BRAGA, A. M. Caracterização de Materiais para Garantir a Condutividade de Fraturas Hidraulicamente Induzidas em Poços de Petróleo e Gás. 2010. 255 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- 2 AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API RP 19C: Measurement of properties of proppants used in hydraulic fracturing and gravel-packing operations. Washington, D.C., 2008.
- 3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 13503-2:2006 / Em. 1: 2011: Indústria do petróleo e gás natural – Fluidos e materiais de completção. Parte 2: Medição das propriedades de propantes usados em operações de fraturamento hidráulico e *gravel-packing*. Rio de Janeiro, 2011.
- 4 HERNANDEZ Jr., P. C., Fonseca, J. E. F., Dick, L. F. P.. Desenvolvimento de metodologia para avaliação de aços esferoidizados. Parte 2: Determinação do grau de esferoidização. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração* 6 (2010) 158-161.
- 5 RIBEIRO, S., BONETTI, C. Variabilidade morfométrica de sedimentos arenosos: Revisão de Métodos e Uso do *Software ImageJ* na diferenciação de ambientes deposicionais na Ilha de Santa Catarina e Região Continental, SC, Brasil. *Gravel* 11 (2013) 37-47.
- 6 ARAZAN, S., AKBULUT, S., SAMET HASILOGLU, A. Effect of particle size and shape on the grain-size distribution using image analysis. *International Journal of Civil and Structural Engineering* 1 (2011) 968-985.
- 7 RASBAND WS. e FERREIRA T. ImageJ User Guide - IJ 1.46. Disponível em: <http://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/>. Acesso em: 17/07/2017.
- 8 Morphological Operators for ImageJ: Particle8\_Plus. Disponível em: <http://www.mecourse.com/landinig/software/software.html>. Acesso em: 26/07/2017.
- 9 RODRIGUEZ, J. M.; EDESKÄR, T.; KNUTSSON, S. Particle Shape Quantities and Measurement Techniques – A Review. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* 18 Bund. A (2013).

## AERODINÂMICA DE ASSOALHO: REDUÇÃO DO COEFICIENTE DE ARRASTO EM VEÍCULOS DE PASSEIO

Heidemann Jr, R.<sup>1</sup>

Bohrer, A.<sup>2</sup>

Rodrigues, A. F. A.<sup>3</sup>

Cervieri, A.<sup>4</sup>

Gertz, L. C.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Rudi Heidemann Jr, Engenheiro Mecânico Automotivo pela Universidade Luterana do Brasil, ULBRA. Campus Canoas, RS. rudiheidemannjr@gmail.com

<sup>2</sup> Artur Bohrer, Engenheiro Mecânico Automotivo pela Universidade Luterana do Brasil, ULBRA. Campus Canoas, RS. artur.bohrer@hotmail.com

<sup>3</sup> Antonio Flavio Aires Rodrigues, Prof Msc. Ensino Superior de Engenharia Mecânica Automotiva. Universidade Luterana do Brasil, ULBRA. Campus Canoas, RS. antonio.ulbra@gmail.com

<sup>4</sup> André Cervieri, Prof Dr. Ensino Superior de Engenharia Mecânica Automotiva. Universidade Luterana do Brasil, ULBRA. Campus Canoas, RS. acervieri@gmail.com

<sup>5</sup> Luis Carlos Gertz, Prof Dr. Ensino Superior de Engenharia Mecânica Automotiva. Universidade Luterana do Brasil, ULBRA. Campus Canoas, RS. gertzx@gmail.com

### Resumo

Este trabalho tem como objetivo melhorar o desempenho aerodinâmico na região inferior (assoalho) de um veículo de passeio da linha Fiat (Punto 2012). A proposta deste projeto é oferecer uma nova configuração de assoalho que promova um escoamento mais harmonioso na região inferior do veículo, reduzindo assim o coeficiente de arrasto ( $C_d$ ) e conseqüentemente o consumo de combustível. Realizou-se, portanto, uma análise comparativa entre a condição atual do veículo (*baseline*) e a condição proposta do assoalho, por meio da simulação do escoamento do ar sobre os modelos tridimensionais utilizando-se de programa de Fluidodinâmica Computacional (CFD). Cada uma das análises pode ser subdividida em três etapas: a geração da geometria tridimensional em programa de CAD, a discretização do modelo, domínio computacional e condições de contorno através de programa gerador de malha e, finalmente, a resolução do escoamento em programa CFD. Com base na análise dos resultados obtidos para o escoamento na condição original, foram propostas coberturas para o assoalho (painéis). A configuração proposta apresentou uma redução no coeficiente de arrasto local, ou seja, somente para o assoalho, de 28,4% e, considerando-se o veículo completo, de 13%. O valor nominal do  $C_d$  com os painéis propostos foi reduzido para 0,296, o que levaria o veículo Fiat Punto a alcançar o mais baixo coeficiente de arrasto da sua categoria (*Hatch compacto*).

**Palavras-chave:** aerodinâmica, coeficiente de arrasto, assoalho, escoamento de fluido.

## UNDERBODY AERODYNAMICS: REDUCTION OF THE DRAG COEFFICIENT IN ROAD VEHICLES

### Abstract

The objective of this project is to improve the aerodynamic performance of the underbody region of a road car from the Fiat manufacturer (Punto 2012). This project proposes to offer a new underbody configuration that promotes a more harmonious flow under the vehicle, reducing this way the drag coefficient ( $C_d$ ), hence improving fuel consumption. A comparative analysis, therefore, was performed between the actual condition of the underbody of the vehicle and the proposed configuration, by the fluid flow simulation of the tridimensional models, using a Computational Fluid Dynamics software (CFD). Each of the analysis can be divided in three stages: the tridimensional geometry modeling in CAD software, the model discretization, the computational domain and boundary conditions using a mesh generator software and, finally, the fluid-flow solution in CFD software. Based on the analysis of the results obtained for the fluid flow on the actual condition, panels (belly pans) were proposed to cover the underbody of the vehicle. This experimental condition presented a reduction on the local drag coefficient, that is, considering only the underbody, of 28,4% and, considering the complete vehicle, of 13%. The total drag coefficient with the proposed panels was reduced to 0.296, which would make the Fiat Punto the vehicle with the lowest  $C_d$  of its category (compact hatchback) available in the Brazilian market.

**Key words:** aerodynamics, drag coefficient, underbody, fluid flow.

### 1 INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas tem-se constantemente debatido o comportamento do ser humano em prol de uma melhor utilização dos recursos naturais através de uma reestruturação de processos não sustentáveis. De acordo com GILLESPIE<sup>(1)</sup> para um veículo se movimentar, a potência desenvolvida pelo mesmo deverá ser capaz de vencer tanto a resistência de rolagem como a aerodinâmica. HUCHO<sup>(2)</sup> afirma que para a maioria dos veículos de passeio atualmente (com  $C_d$  próximo de 0,30), deslocando-se estes à velocidade constante de 80 km/h, a resistência de rolagem e resistência aerodinâmica se equiparam. Como esta velocidade é o limite de grande parte das rodovias brasileiras, qualquer redução em ambos os coeficientes que governam as respectivas equações impactarão no esforço total para impulsionar o veículo.

O coeficiente de arrasto ( $C_d$ ) é um dos fatores que podem ser alterados na equação do arrasto aerodinâmico, tendo influência direta na redução da força resultante. Em veículos de passeio, percebe-se um potencial de melhoria a contribuir para a redução da resistência aerodinâmica atribuindo-se uma configuração mais "harmoniosa" para o assoalho externo, uma vez que esta região do veículo, por não estar visível aos olhos do consumidor, fica em segundo plano nos projetos das montadoras. Duas análises foram realizadas por intermédio da Fluidodinâmica Computacional: a primeira considerando o parâmetro *baseline*, ou seja, o veículo em sua configuração original e a segunda considerando o veículo com as proteções instaladas. O veículo escolhido para análises foi um Fiat Punto modelo 2012.

## 1.1 OBJETIVO

Sugerir uma nova configuração de assoalho para um veículo de passeio, visando a redução do seu coeficiente de arrasto ( $C_d$ ) através de uma análise comparativa da resolução do escoamento em programa de Fluidodinâmica Computacional (*CFD*). Em razão desta modificação, objetiva-se uma redução do consumo de combustível bem como da emissão de poluentes ao meio ambiente.

## 1.2 REVISÃO DA LITERATURA

Conforme salienta HUCHO<sup>(2)</sup>, nota-se um aumento de ordem logarítmica do número de artigos publicados relacionados ao tema aerodinâmica ao longo das últimas décadas. Este incremento está diretamente relacionado à maior facilidade de acesso a programas *CFD* e à maior capacidade de cálculo que possuem os computadores atuais. A análise proposta por este projeto poderá, portanto, tomar como base os aprendizados, limitações e considerações realizados por outros autores de modo a garantir o sucesso da simulação proposta.

Um exemplo que comprova a viabilidade deste projeto, ou seja, de redução do arrasto alterando-se a geometria inferior externa de um veículo, foi comprovada por BUCHHEIM<sup>(3)</sup>. Um estudo sobre o assoalho externo foi realizado, subdividindo o assoalho em cinco regiões distintas, às quais foram aplicadas painéis planos e então mensurada a redução no coeficiente de arrasto ( $C_d$ ) em túnel de vento. Constatou-se que, através desta estratégia, seria possível reduzir nominalmente o  $C_d$  do veículo em até 0,045 apenas com a adição das placas. As regiões que mais influenciaram na redução do arrasto foram a frente e a traseira inferiores do veículo, sendo esta parcela responsável por 66% da redução do  $C_d$  total. O autor do estudo adverte que esta configuração, entretanto, deve prever uma canalização do fluxo de ar para resfriamento do sistema de freios, motor e descarga.

Um estudo similar foi desenvolvido por KERSCHBAUM<sup>(4)</sup>, no qual concluiu-se que a redução do arrasto pela aplicação de coberturas planas ao assoalho do veículo dependerá da localização das mesmas. Se aplicadas somente na frente do veículo, acarretará em uma redução da força de sustentação na dianteira, porém, a traseira sofrerá efeito contrário. Caso placas adicionais sejam instaladas na parte central e traseira do veículo, o efeito de sustentação na região traseira será diminuído, ao passo que se percebe um pequeno aumento da sustentação na dianteira. Definiu-se, em síntese, que as estruturas salientes e irregulares que compõem o assoalho de um veículo típico contribuem para um aumento da pressão nesta região, resultando em maiores coeficientes de arrasto e de sustentação.

WICKERN, ZWICKER & PFADENHEUER<sup>(5)</sup> chegaram à conclusão de que cerca de um quarto da força total de arrasto pode ser atribuído às rodas e caixas de rodas. O comportamento do fluido nestas condições difere de forma significativa em relação ao escoamento analisado em um veículo estático, logo a análise deverá ser realizada considerando o veículo em movimento, corroborando para uma análise mais coerente do modelo real.

Outros que defendem a execução da simulação em condição dinâmica são REHNBERG & KOITRAND<sup>(6)</sup>, os quais realizaram uma análise aerodinâmica computacional do comportamento do fluxo de ar na região inferior do veículo de passeio Jaguar XF. A interação do fluido com as rodas também foi avaliada, estas sendo testadas tanto em movimento como estáticas. Foram criados dois perfis para simular os pneus do veículo: um simétrico e outro com um maior nível de

detalhamento. Comparando os dois resultados, o pneu de perfil detalhado resultou em uma leve diferença no coeficiente de sustentação da parte dianteira, em comparação ao pneu simétrico, porém, não foram percebidas diferenças significativas no coeficiente de arrasto total. O estudo concluiu que a influência do solo mover-se e das rodas girarem apresenta demasiada importância, uma vez que o escoamento do ar na região inferior do veículo pode se desenvolver de maneira bastante distinta nas duas condições.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada neste projeto tem início com a modelagem tridimensional do objeto de estudo. A modelagem da região inferior do veículo e das estruturas que compõem seu assoalho embasou-se em medições realizadas no veículo em escala real. Para a modelagem da região superior do veículo foram utilizados *blueprints* e dimensões disponibilizados em meio eletrônico pela fabricante. Esta etapa foi realizada utilizando o programa CAD *Solidworks*, assim como para a criação do domínio computacional (o "túnel de vento virtual").

Finalizado o modelo tridimensional, a geometria foi importada para o *software* ANSYS ICEM para geração da malha. Sempre que detectada alguma falha na geometria que resultasse em alguma incoerência, retornava-se à etapa anterior, reajustando-a à necessidade. Selecionando o modelo de turbulência e definindo as condições de contorno do problema no *software* ANSYS *Fluent*, realiza-se a análise do escoamento através da resolução das equações de Navier-Stokes (método de volumes finitos).

Foram analisadas duas geometrias sob estes parâmetros: a primeira sendo o veículo em sua configuração original e a segunda com a proposta aerodinâmica.

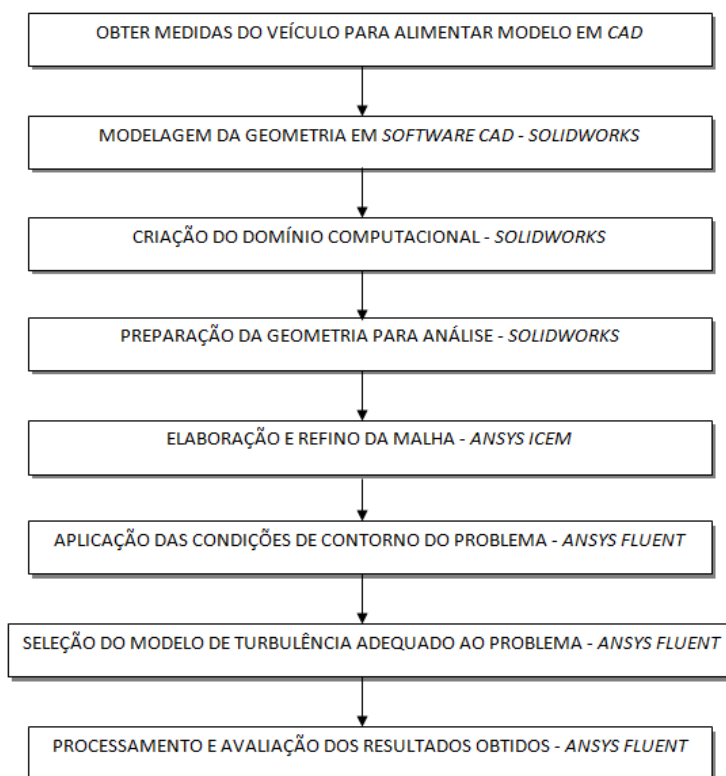
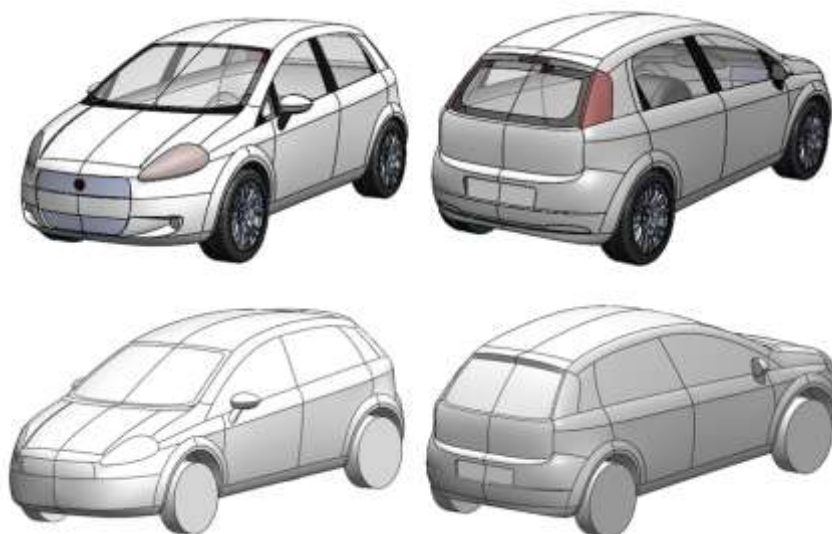


Figura 1. Fluxograma das etapas da análise aerodinâmica.

## 2.1 MODELAGEM DO VEÍCULO EM CAD

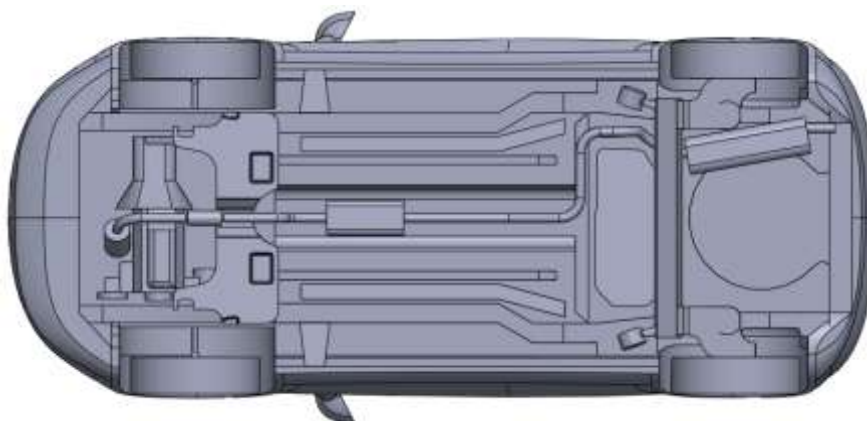
A modelagem da região superior do veículo foi realizada por meio de superfícies e depois transformada em sólido no programa *Solidworks*, sendo a mesma geometria utilizada em todas as análises. Os componentes do assoalho foram desenhados individualmente e posteriormente adicionados ao modelo como uma montagem. Ao longo das análises, algumas simplificações se fizeram necessárias de modo a adaptar a geometria à capacidade computacional disponível, como segue:

- Componentes cilíndricos de pequenos diâmetros como fiação elétrica, suportes dos silenciadores, molas, entre outros, foram desconsiderados pelo fato de dificultarem a construção da camada limite na região na qual se encontrariam.
- Pneus, rodas, caixas de rodas e cofre do motor tiveram sua geometria simplificada para facilitar a análise. As ranhuras da banda de rodagem dos pneus foram, portanto, desconsideradas e as rodas estão sendo representadas por "calotas" planas.
- Ângulos e raios muito pequenos foram simplificados para superfícies equivalentes, porém de geometria mais acessível para a geração da malha.



**Figura 2.** Comparativo entre a geometria inicial (acima) e a simplificada para análise (abaixo).

- Uniões aparafusadas, soldas salientes e superfícies rugosas não serão avaliadas nesta análise. Todos os componentes do veículo foram modelados considerando-se um acabamento liso e homogêneo.
- Uma trena foi utilizada para medição dos componentes e estruturas, logo pequenas variações nas dimensões e distâncias entre estes poderão ser encontradas comparando-se o modelo em CAD com o veículo real.



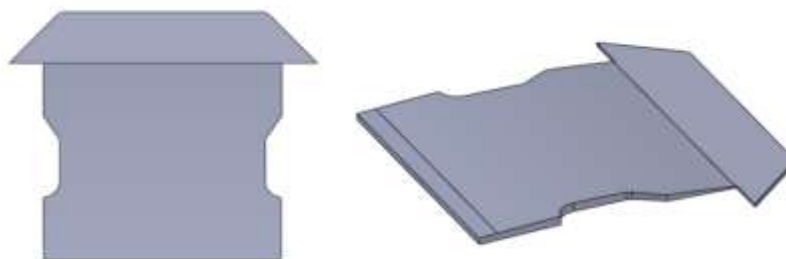
**Figura 3.** Vista inferior do veículo sem as proteções montadas.

## 2.2 ANÁLISE CRÍTICA DO ASSOALHO E PROPOSTA DE PAINÉIS

Afirma KATZ<sup>(7)</sup> que quanto menor for a perturbação do objeto em meio ao fluido em que se desloca, menor será a geração de arrasto. Analisando sob este aspecto a região do assoalho, percebe-se a possibilidade de implementação de melhorias aerodinâmicas em três zonas principais: dianteira (painel 1), região central (painel 2) e traseira (painel 3).

Sugere-se, portanto, algumas proteções ou coberturas a estas regiões do veículo sem que exista a necessidade de alteração nem do seu projeto estrutural nem de componentes isolados. As proteções foram idealizadas ainda tendo em vista a facilidade de construção e os pontos de fixação possíveis do próprio veículo. Nenhum dos painéis impedirá ou mesmo limitará a movimentação dos componentes da suspensão do veículo, mantendo sua dirigibilidade inalterada.

Na dianteira inferior do veículo o fluido idealmente evitará o choque frontal contra os componentes do motor e transmissão, contornando-os em uma trajetória congruente ao painel 1 sugerido. Com esse objetivo propôs-se uma estrutura a ser fixada à parte inferior do pára-choque dianteiro e a outra extremidade ao agregado. Esta proteção poderá ser utilizada com a mesma finalidade de um protetor de cárter, porém com uma geometria mais aerodinâmica. A ideia inicial seria considerar duas entradas de ar estilo "NACA" para não prejudicar o arrefecimento do motor, porém, devido à elevada capacidade computacional requerida para criar a malha da camada limite na região, estas foram desconsideradas.



**Figura 4.** Vistas frontal e isométrica do painel 1 (região inferior frontal).

Para a região central do assoalho optar-se-á por uma proteção planificada, porém, deixando um espaço em aberto para não prejudicar a troca térmica do silenciador intermediário com o ambiente. A fixação do painel 2 será feita no agregado e a outra extremidade próxima às caixas de rodas traseiras. Como uma

parte do silenciador intermediário ainda permaneceria exposto, foram previstas pequenas "rampas" no intuito de fazer com que o escoamento contornasse o mesmo, em vez de se chocar contra. Foram ainda adicionados ressaltos nas laterais do painel 2 na tentativa de manter o escoamento na região inferior do veículo, evitando que "escapasse" para as laterais superiores do veículo.

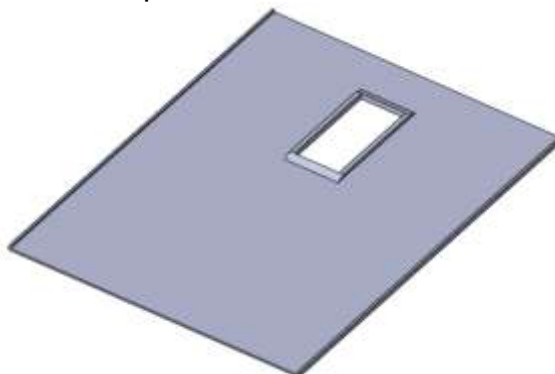


Figura 5. Vista isométrica do painel 2 (região inferior intermediária).

Analisando-se a região inferior traseira do Fiat Punto, percebe-se uma geometria que vai de encontro ao estudo aerodinâmico, ou seja, algumas das paredes estão praticamente em posição perpendicular em relação ao solo. Esta condição inevitavelmente ocasionará em uma forte ocorrência de recirculação nesta região do escoamento e, portanto, um aumento considerável no arrasto local.

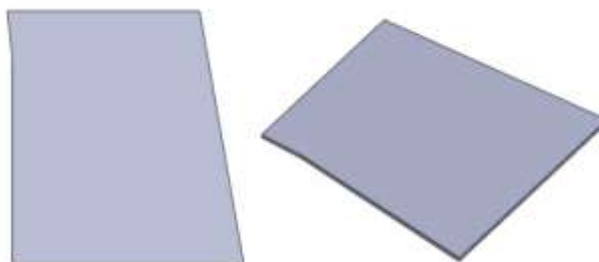


Figura 6. Vistas frontal e isométrica do painel 3 (região inferior traseira).

O dimensionamento do painel 3 ficará limitado pelo movimento do eixo traseiro e pela falta de pontos de fixação do lado esquerdo do veículo, deixando assim o silenciador traseiro completamente à mostra. A placa 3 será afixada nas furações extras do tanque de combustível e a outra extremidade no pára-choque traseiro.

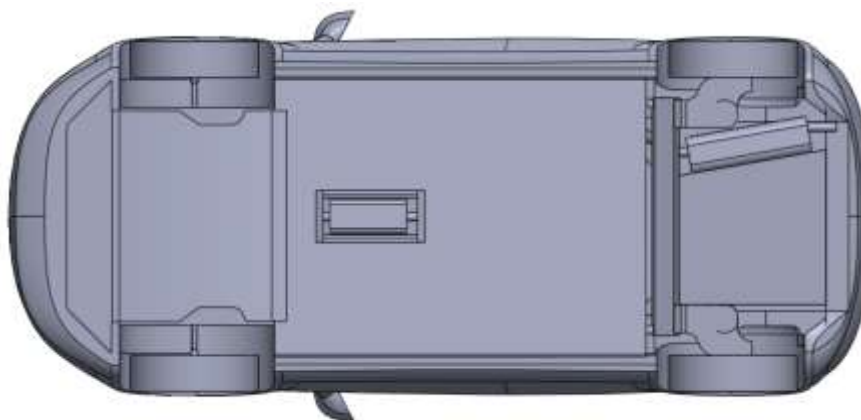
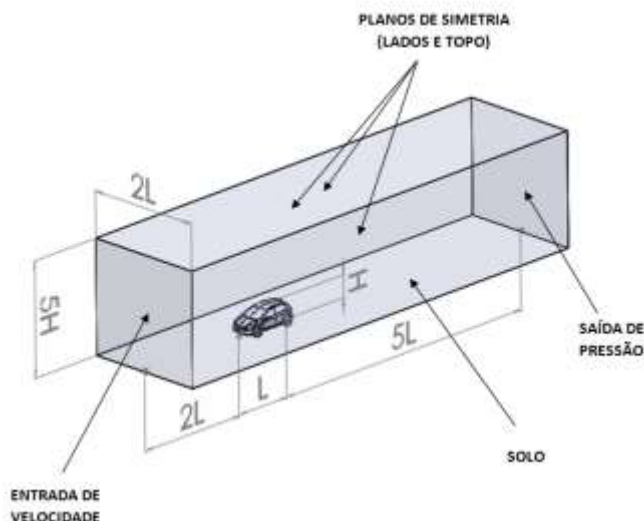


Figura 7. Vista inferior do veículo com os painéis montados .



## 2.3 CRIAÇÃO DO DOMÍNIO COMPUTACIONAL

O dimensionamento do túnel foi realizado de modo que nenhuma das paredes (com exceção ao solo) influenciasse a interface do escoamento entre fluido e superfície do veículo. As distâncias adotadas tomam como parâmetros a altura (representado por "H") e comprimento totais (representado por "L") do veículo. Dessa forma, o túnel foi dimensionado para possuir altura igual a 5H, espessura de 2L e comprimento de 8L, estando a dianteira do veículo posicionada a uma distância de 2L a partir da face frontal deste prisma.

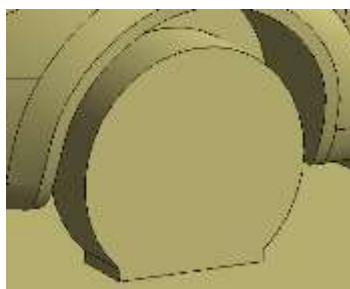


**Figura 8.** Dimensões do túnel de vento computacional e condições de contorno.

## 2.4 GERAÇÃO DA MALHA

Para facilitar a manipulação do dimensionamento dos elementos da malha foram criados blocos (*size boxes*) dentro do túnel de vento, sendo dois localizados à frente do veículo, um ao redor e dois posteriores. O tamanho de elemento a ser utilizado para cada um dos blocos aumenta à medida que estes se distanciam do veículo (de 50 mm a 100 mm). O tamanho de elemento para o restante do domínio foi estipulado a 500 mm.

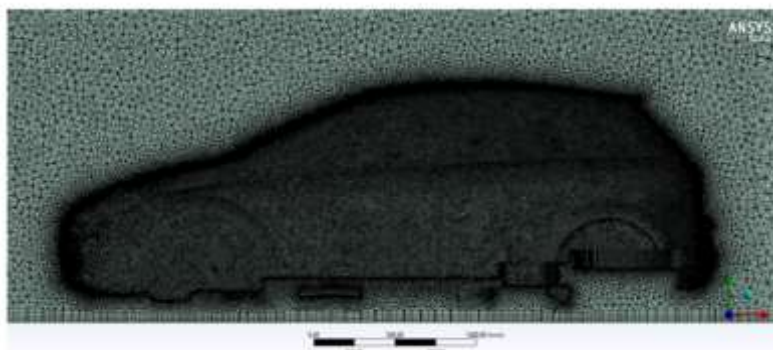
Projetou-se uma estrutura retangular que envolvesse a parte inferior das rodas e o solo, evitando assim uma condição de tangência indesejável em uma análise pelo método de volumes finitos (a interface roda-solo deixa de resultar em uma superfície de espessura nula), permitindo e facilitando a geração da malha da camada limite no local. Esta modificação está demonstrada na figura 9.



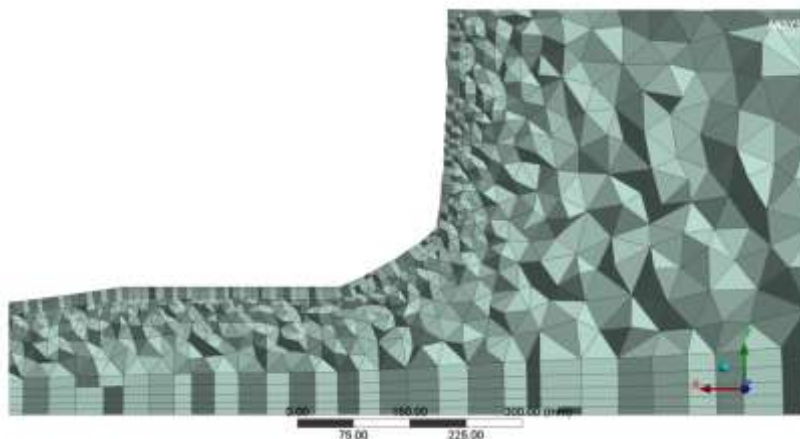
**Figura 9.** Adaptação geométrica próxima à base das rodas.

O tamanho de elemento adotado foi de 10 mm para todas as superfícies do veículo. A camada limite, por sua vez, foi ajustada para possuir cinco camadas prismáticas a uma taxa de crescimento de 1,2. O número de células entre duas paredes subsequentes foi alterado para garantir a transição por meio de cinco elementos.

Através das técnicas descritas acima atingiu-se uma malha mais refinada nas regiões mais importantes do túnel e ao mesmo tempo uma transição harmoniosa para as áreas mais distantes do veículo. Ambas as análises foram ajustadas sob os mesmos parâmetros para fins de comparação, resultando em um total de 11278533 elementos na condição com as modificações e 13172238 na condição original do assoalho. O resultado da malha pode ser verificada nas figuras 10 e 11.



**Figura 10.** Refinamento da malha sobre as superfícies do veículo.



**Figura 11.** Detalhamento da construção da camada limite próximo da superfície do assoalho e solo.

## 2.5 CONDIÇÕES DE CONTORNO E MÉTODO DE SOLUÇÃO

Utilizando a plataforma ANSYS *Fluent*, as condições de contorno foram ajustadas para simular um veículo em movimento. A análise propõe uma velocidade de deslocamento de 25 m/s (90 km/h), tanto para a velocidade do fluido como para o movimento de translação do solo. Considerando a dimensão dos pneus modelados para o veículo, a velocidade de rotação resultante é de 13,21 rad/s para esta condição. O critério de convergência para os valores residuais foi ajustado para  $1 \cdot 10^{-4}$ .

O modelo de turbulência escolhido para resolução das equações de Navier-Stokes foi o k-omega SST. Este modelo é composto por duas equações governantes: a de transporte de energia cinética turbulenta ( $k$ ) e a taxa de

dissipação específica de energia cinética ( $\omega$ ), respectivamente as equações 1 e 2, conforme ANDERSON<sup>(8)</sup>. A energia cinética turbulenta  $k$  é descrita por:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \hat{G}_k - Y_k + S_k \quad (1)$$

enquanto que a taxa de dissipação específica  $\omega$  de energia cinética turbulenta  $k$ :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \quad (2)$$

Onde:  $G_\omega$  e  $G_k$ : geração de taxa de dissipação específica  $\omega$ ;  $Y_k$  e  $Y_\omega$ : dissipação de  $k$  e  $\omega$  em função da turbulência;  $S_k$  e  $S_\omega$ : termos fonte definidos pelo usuário.

Para o modelo viscoso no ANSYS *Fluent* optou-se por utilizar esquema *Realizable* com funções de parede para situações de não-equilíbrio. Como método de solução foram selecionadas as seguintes configurações: esquema acoplado e *Upwind* de primeira ordem para momento, energia cinética turbulenta e para taxa de dissipação turbulenta.

Em função da divergência ao invés da convergência dos resíduos nas iterações iniciais, os critérios de sub-relaxação foram alterados para os valores da tabela 1. Conforme orientação do manual de operação do *Fluent*<sup>(9)</sup>, em casos de escoamentos mais complexos é possível que a solução não convirja utilizando-se os valores padrão do *software* e, portanto, devem ser adequados ao problema até que se atinja uma estabilidade dos fatores residuais.

Tabela 1. Valores de sub-relaxação utilizados nas análises.

Fatores de Sub-Relaxação	Padrão - ANSYS <i>Fluent</i>	Utilizados
Momento	0.5	0.1
Pressão	0.5	0.1
Densidade	1.225	1.225
Forças do corpo	1	0.8
Energia Cinética Turbulenta	0.8	0.8
Taxa de Dissipação Turbulenta	0.8	0.8
Viscosidade Turbulenta	1	0.8

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando somente o arrasto localizado na região do assoalho e, portanto, desconsiderando o efeito da região superior do veículo, os valores para o coeficiente de arrasto obtidos nas simulações podem ser vistos na tabela 2.

Tabela 2. Resultados obtidos para os coeficientes de arrasto nas duas análises.

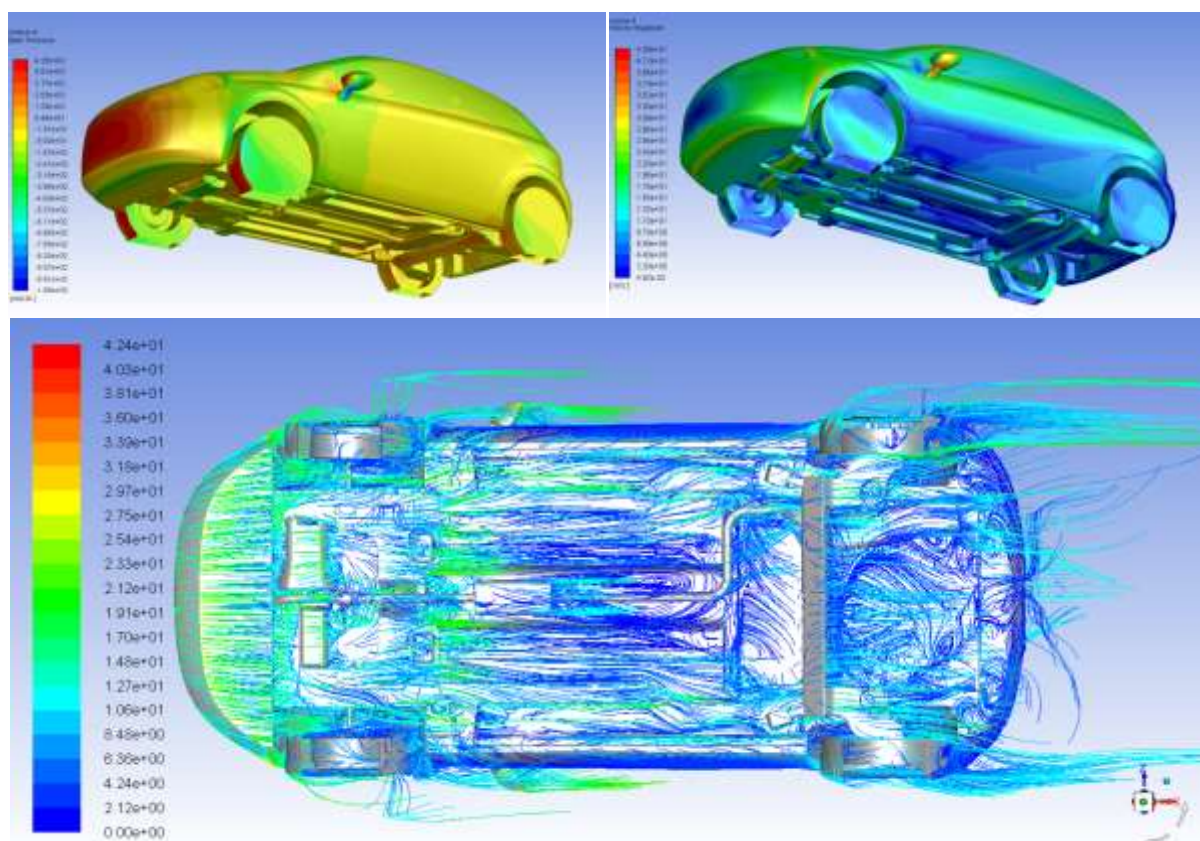
Condição de análise	CD NOMINAL ASSOALHO	$\Delta CD$	% $\Delta CD$
Sem coberturas	0,1536	0,0436	-28,39%
Com coberturas	0,1100		

A primeira análise considerou o veículo sem as coberturas, ou seja, como é o projeto original do veículo. Nesta condição o coeficiente de arrasto referente à parcela do assoalho resultou em um  $C_d$  de 0,1536. A segunda análise considerou o veículo com os painéis sugeridos, resultando em um coeficiente de arrasto referente à parcela do assoalho de 0,11.

Comparando os dois resultados, a variação nominal da redução no coeficiente de arrasto foi de 0,0436, o que resulta em uma variação percentual de 28,39% em relação ao assoalho original. A variação nominal do coeficiente de arrasto se aproxima bastante dos resultados obtidos por BUCHHEIM<sup>(3)</sup>.

### 3.1 ANÁLISE SEM PAINÉIS

Para entender melhor como está ocorrendo o escoamento ao redor do veículo e identificar possíveis melhorias, serão demonstrados os campos de pressão, contorno de velocidades e linhas de corrente, seguido de observações relevantes:



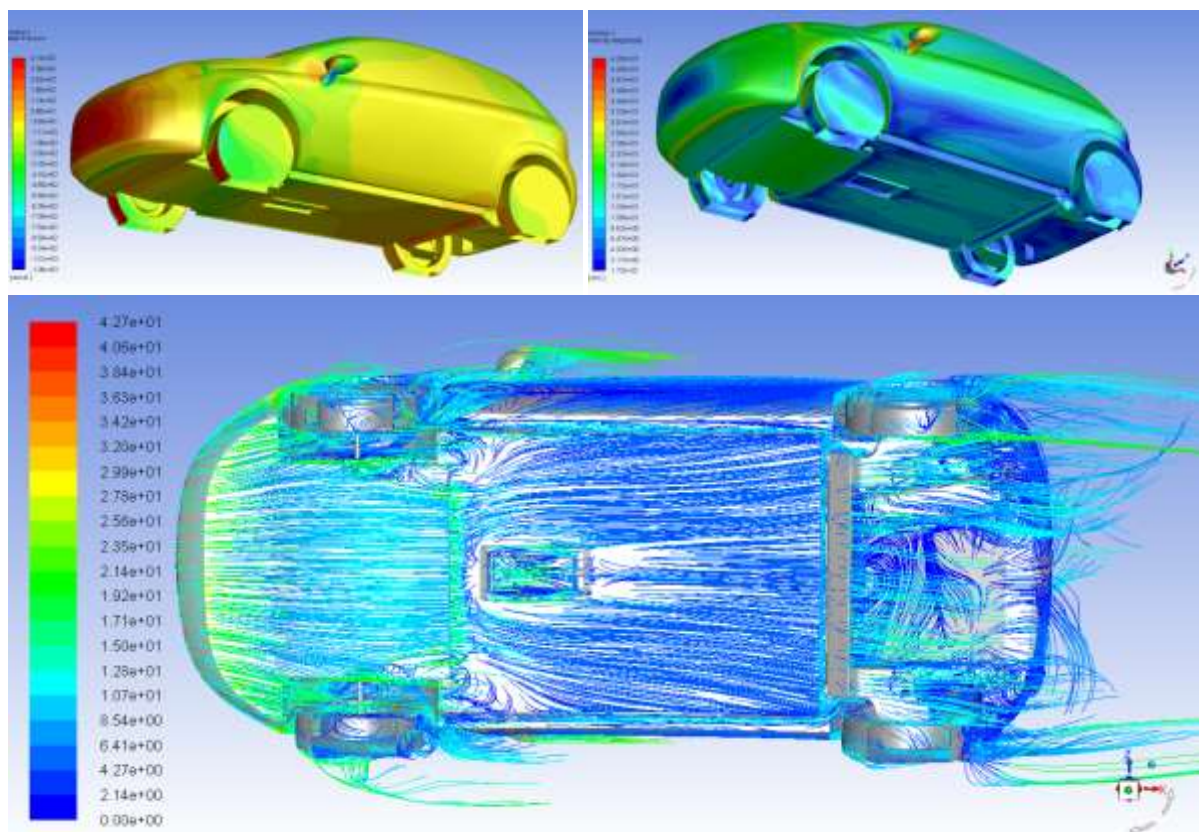
**Figura 12.** Campos de pressão e velocidades (acima) e linhas de corrente, configuração original.

- O escoamento se mostrou estável na região inferior do pára-choque dianteiro, porém, ao descolar-se desta superfície, existe uma tendência de o fluido, dotado de movimento rotacional, ingressar facilmente ao cofre do motor, colidindo então diretamente contra motor e transmissão. Essa condição facilita o arrefecimento do motor, porém, é ruim para a aerodinâmica.

- As longarinas e túneis da fiação elétrica guiam o escoamento nas laterais, auxiliando o fluido a permanecer congruente à superfície até este ser projetado contra o tanque de combustível e eixo traseiro.
- Pela trajetória das linhas de corrente na região central percebe-se que existe uma perturbação significativa no escoamento provocada pelo silenciador intermediário.
- Verifica-se que a geometria das longarinas incentiva o lançamento de uma parcela de fluido a se descolar da região inferior do veículo e partir em direção à lateral superior. Essa mesma parcela do escoamento é novamente capturada para baixo do assoalho ao se aproximar da caixa de roda traseira.
- À velocidade de 90 km/h, existe uma tendência de que o fluxo que passa pela parte inferior do eixo traseiro continue sua trajetória sem tocar novamente na superfície do veículo, em função do ângulo elevado formado em relação ao solo. Ainda com relação à zona traseira inferior do Fiat Punto, percebe-se a influência em termos de turbulência das caixas de rodas semi-abertas.

### 3.2 ANÁLISE COM PAINÉIS SUGERIDOS

Após analisar o comportamento do fluido na região inferior do veículo, foram propostos os painéis e realizada a segunda análise. Abaixo estão demonstrados os campos de pressão, contorno de velocidades e linhas de corrente, seguido de observações relevantes:



**Figura 13.** Campos de pressão e velocidades (acima) e linhas de corrente, configuração proposta.

- As linhas de corrente que escoam sobre o painel frontal desenvolvem uma trajetória harmoniosa sem ocorrência de descolamentos, exceto pela parcela de fluido que é capturada pelas rodas dianteiras.
- A queda de velocidade ao transitar entre as placas 1 e 2 se deve ao fato que a primeira placa está instalada a uma altura diferente da segunda. Ao ocorrer o descolamento o ar perde velocidade ao se chocar contra as paredes.
- Existe a ocorrência de vorticidades na parte interna do compartimento do silenciador traseiro. O ar acaba por recircular internamente e quando finalmente consegue deixar a cavidade, já perdeu velocidade.
- O pequeno ressalto nas laterais da placa 2 se mostraram eficientes ao proporcionar uma ligeira melhoria no efeito de fuga do fluido do assoalho para as laterais do veículo.
- Pela movimentação das linhas de corrente na região traseira do assoalho, percebe-se que há influência negativa das caixas de rodas traseiras abertas.
- O fluxo de ar que se desprende das rodas e ingressa ao assoalho traseiro o faz com uma grande quantidade de movimento, motivando boa parte do fluido que se encontra na região a rotacionar também. Esta condição é ainda mais significativa ainda na análise sem coberturas, pois existem mais estruturas para que o ar se choque contra, aumentando o nível de vorticidades na região.

#### 4 CONCLUSÃO

Analisando os painéis 1 e 2, percebe-se que estes contribuíram positivamente ao promover um escoamento mais harmonioso e congruente às superfícies das regiões frontal e intermediária, reduzindo assim o nível de recirculações. Com relação ao painel 3, a melhoria é, entretanto, pouco perceptiva. Em função da geometria do eixo traseiro, uma parte do escoamento acaba se descolando irreversivelmente, prejudicando a aerodinâmica. A parcela de fluido que permanece em contato com a região traseira enfrenta dificuldade em deixar o compartimento devido à geometria interna do pára-choque traseiro, ao passo em que o escoamento é prejudicado pela influência das caixas de rodas abertas, as quais incentivam a ocorrência de recirculações na região.

Relacionando os resultados da tabela com o coeficiente de arrasto total do Fiat Punto de 0,34, conforme divulgado por SAMAHÁ<sup>(10)</sup>, o Cd total do veículo com as proteções sugeridas instaladas cairia para 0,2964, resultando assim em uma redução de cerca de 13% do coeficiente de arrasto total. Caso o veículo tivesse saído de fábrica com estas proteções, o Fiat Punto 2012 alcançaria o mais baixo coeficiente de arrasto da sua categoria (*Hatch compacto*).

Desde que tomadas as devidas precauções para não obstruir o sistema de arrefecimento, painéis semelhantes podem ser aplicados a diferentes modelos de veículos, não limitados aos da fabricante italiana de automóveis.

## REFERÊNCIAS

- 1 GILLESPIE, T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. SAE: Warrendale, 1992.
- 2 HUCHO, W. H. Aerodynamics of Road Vehicles. 4. ed. SAE: International, 1998.
- 3 BUCHHEIM, R., LEIE, B., LÜCKOFF, H.-J., Der Neue Audi 100 - Ein Beispiel für konsequente aerodynamische Personenwagen-Entwicklung. ATZ, Vol 85, 1983.
- 4 KERSCHBAUM, H., Reifenuntersuchungen am BMW 318i. BMW Inc, 1991.
- 5 WICKERN, G., ZWICKER, K., PFADENHAUER, M. Rotating Wheels - Their Impact on Wind Tunnel Test Techniques and on Vehicle Drag Results. SAE International, 1997.
- 6 REHNBERG, S., KOITRAND, S. A computational investigation of Wheel and Underbody Flow Interaction. Chalmers University of Technology, Department of Applied Mechanics, 2013.
- 7 KATZ, J. Race Car Aerodynamics. Bentley Publishers, 1995.
- 8 ANDERSON JR, J. Fundamentals of Aerodynamics, 4. ed. McGraw-Hill, 2007.
- 9 ANSYS FLUENT. ANSYS FLUENT Theory Guide: Version 14.0. Canonsburg, ANSYS Inc. 2012.
- 10 SAMAHÁ, F. Punto Essence Vs Ford Fiesta SE Vs VW Polo, 2012. Disponível em: <<http://bestcars.uol.com.br/comp4/fiat-punto-ford-fiasta-vw-polo-1.htm/>>. Acesso em: 1 de maio 2017.

## SUBSTITUIÇÃO DO METAL DA CARÇAÇA DE UM INTERRUPTOR AUTOMOTIVO: DOS REQUISITOS DO PRODUTO À SELEÇÃO DO POLÍMERO

Basso, F.<sup>1</sup>

Calcagno, C. I. W.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, Fabiano Basso, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense – Campus de Sapucaia do Sul, [assfabiano@gmail.com](mailto:assfabiano@gmail.com).

<sup>2</sup> Doutora, Carmen Iara Walter Calcagno, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense – Campus de Sapucaia do Sul, [carmencalcagno@sapucaia.ifsul.edu.br](mailto:carmencalcagno@sapucaia.ifsul.edu.br).

### Resumo

Polímeros podem trazer flexibilidade de projeto, simplificação nos processos de montagem, bem como, a redução da massa total de um veículo que são características buscadas no setor automotivo. Esses materiais são considerados, frequentemente, como alternativas interessantes para a substituição de materiais metálicos na fabricação de peças automotivas. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi de buscar, pelo menos, um polímero que pudesse substituir o material metálico da carcaça de um interruptor automotivo. Partindo da definição dos requisitos do produto, utilizou-se a metodologia de seleção de materiais para buscar possíveis candidatos. Na etapa envolvendo o processo de projeto, os requisitos do produto foram classificados em dois grupos, contemplando em um deles, características de funcionamento, montagem e durabilidade e, no outro grupo, requisitos de menor relevância frente a aplicação do componente. Em seguida, o desenho preliminar da carcaça foi criado como etapa do projeto preliminar. Na seleção de materiais, diversos polímeros atenderam aos limites impostos com base nas traduções dos requisitos do produto. Dados comparativos do software de modelagem demonstraram que a massa da carcaça passaria de 75,7 g com material metálico para 10,7 g com o material polimérico selecionado. Tendo em vista as propriedades do polímero selecionado e o projeto preliminar da carcaça, o torque recomendado para a montagem do interruptor foi redimensionado na região inferior com rosca destinada à aplicação prática.

**Palavras-chave:** Carcaça do interruptor; Requisitos do produto; Seleção dos materiais.

### SUBSTITUTION OF HOUSING METAL FROM AN AUTOMATIC SWITCH: FROM PRODUCT REQUIREMENTS TO SELECTION OF POLYMER

#### Abstract

Polymers can bring design flexibility, simplification in the assembly processes, as well as, the reduction of the total mass of a vehicle that are characteristics sought after in the automotive sector. These materials are often considered as interesting alternatives for the substitution of metallic materials in the manufacture of automotive parts. In this context, the objective of this work was to search for at least one polymer that could replace the metal material of the housing of an automotive switch. Based on the definition of product requirements, the material selection methodology was used to search for possible candidates. In the stage involving the design process, the requirements of the product were classified into two groups, including one of them,



operating characteristics, assembly and durability, and in the other group, requirements of lesser relevance to the application of the component. Subsequently, the preliminary design of the housing was created as a preliminary design step. In the selection of materials, several polymers met the limits imposed based on the translations of the product requirements. Comparative data from the modeling software demonstrated that the housing mass would go from 75,7 g with metallic material to 10,7 g with the selected polymeric material. In view of the properties of the selected polymer and the preliminary design of the housing, the recommended torque for mounting the switch was resized in the lower region with a thread intended for practical application.

**Key words:** Switch housing; Product requirements; Selection of materials.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o aumento no conhecimento das propriedades estruturais e os investimentos tecnológicos destinados a descobrir novas formas para obtenção de produtos, os polímeros estão sendo utilizados na substituição de diversos tipos de materiais. Existe o crescimento, por exemplo, da aplicação dos plásticos de engenharia na substituição de materiais como madeira, alumínio, ferro fundido e aço. Esta condição é válida, pois os polímeros possuem características que atendem diversas especificações por meio de propriedades específicas (1).

O setor automotivo tem buscado cada vez mais a substituição de componentes metálicos, por fabricados em material polimérico que possuam propriedades semelhantes, ou até superiores. Vantagens, como permitir maior flexibilidade de projeto, economia na produção e alto índice de confiabilidade traduzem a importância desta categoria (2). Um destaque é o desenvolvimento e aplicação dos plásticos, pois possibilitam a redução do peso do veículo e contribuem para a simplificação dos processos de montagem (3).

Em relação aos ganhos com a aplicação de polímeros na indústria automotiva, a baixa densidade possibilita a redução do consumo de combustíveis. Na substituição de componentes de materiais diversos, onde somadas as massas pode variar de 200 a 300 kg, por aproximadamente 100 kg de plástico e, considerando em torno de 1.000 kg a massa de um automóvel, pode-se chegar a uma economia de 7,5 % de combustível (2).

Além disso, existe a atenção para aplicações considerando a segurança das pessoas, como em para-choques (absorção de impacto), airbags, proteções contra impacto lateral (não lascar) e cintos de segurança, diminuindo desta forma, fatalidades em acidentes (2).

O fator reciclagem remete também de forma precisa aos polímeros. Em um automóvel pode-se encontrar em média 40 tipos de plásticos diferentes, separados pela composição, aditivos e corantes. Na atualidade, tecnicamente todos os plásticos utilizados em veículos são recicláveis, constando somente a dificuldade da grande diversidade de especificações. Para isso, o projeto do produto deve considerar e buscar polímeros que permitam a reutilização, inibindo limitações posteriores (4).

No processo de projeto que envolve um produto existem fases relacionadas a atividades específicas, onde a saída (informações) de cada fase, consiste

diretamente na entrada para a fase seguinte. O início do processo de projeto contempla as fases do projeto informacional e o conceitual, sendo estas, relacionadas as necessidades dos clientes, obtenção dos requisitos do produto e posteriormente a criação de conceitos deste produto. A fase final responde pelos projetos preliminar e detalhado, tratando assim, da transformação de um conceito escolhido num projeto finalizado e disponível para fabricação (5).

O processo de projeto pode ser utilizado na busca de novas alternativas para os produtos, apesar de existir concepções definidas, como por exemplo, os interruptores automotivos. Os interruptores, em geral, possuem a função de ligar ou desligar um sistema e, estão presentes em diversos conjuntos de um veículo. Em específico, o interruptor de marcha à ré, localizado na carcaça da caixa de transmissão, sendo responsável por ascender as lanternas traseiras do veículo quando selecionado a devida marcha.

Quanto à carcaça do interruptor de marcha à ré, são poucos os modelos constituídos a partir de material polimérico, onde para este caso, prevalece os materiais metálicos. Assim, existe a possibilidade de aumentar o número de interruptores com carcaça fabricadas utilizando esta categoria de material. A Figura 1 apresenta um interruptor com carcaça em material metálico.



Figura 1. Interruptor com carcaça em material metálico.

No projeto preliminar, além de serem analisadas várias características, a escolha do material dos componentes com base nos requisitos do produto corresponde a um dos pontos nesta fase. Para isso, a aplicação de metodologia de seleção de materiais é coerente. O processo de seleção de materiais envolve sistêmicas que visam complementar com informações referentes aos materiais, buscando a escolha do mais conveniente.

A seleção ou substituição de materiais entende-se como uma atividade direcionada para vários aspectos como, estética, qualidade, custo, integridade química, física, funcional, de forma e de dimensões dos produtos. A importância da atividade reflete em menores custos, maior durabilidade e melhor desempenho do produto e podendo haver até certo ponto, outros benefícios (6).

Para a seleção de materiais no projeto do produto, os métodos podem seguir algumas sistêmicas distintas, como a análise, similaridade, síntese e inspiração. A análise consiste em buscar materiais em banco de dados numéricos por meio de atributos desejados ou condições restritivas. A similaridade é empregada na substituição de um material ou, utilizar um mesmo como referência para criação de outro (7).

Na sistemática por síntese, a base ocorre por uma prática já difundida entre os projetistas que seria a investigação de aspectos semânticos em produtos existentes no mercado (8). A inspiração está ligada diretamente na busca por materiais de forma aleatória ou direta por parte do projetista, proporcionando grande capacidade de incentivar inovações e permitindo que o profissional conheça novos materiais e processos de fabricação (9).

A seleção de materiais procura a melhor combinação entre os requisitos do produto e as propriedades dos materiais. No projeto mecânico é estabelecido que o processo de seleção de materiais está no centro das interações entre material, função, forma e processo. Na obtenção da forma, o material é submetido a processos de fabricação. A função influencia a escolha do material. A escolha do material influencia processos. E em consequência, o processo determina a forma (10).

A tradução dos requisitos de produto expressos como função, restrições, objetivos e variáveis livres determina o início do processo de seleção de materiais. As restrições são os aspectos exigidos necessários para que o produto possa desempenhar suas funções conforme o projeto. São mandatárias e consequentemente determinam limites de propriedades. Diferente disso, os objetivos definem índices de material buscando nas propriedades a diminuição do custo total do produto e somado a isso ou não, maior segurança em aplicação. As variáveis livres compreendem a otimização dos objetivos partindo de alterações que não afetam os requisitos de produto (10).

Na seleção de materiais, um fato iminente é a triagem. Este estágio corresponde na eliminação de materiais que não atendem já inicialmente às restrições. Com isso, abre-se caminho para uma posterior classificação de materiais que atendam os objetivos propostos. Com os dados levantados, a partir disso a recomendação consiste em selecionar os materiais com base em históricos de aplicação, estudos de casos, análises de falhas, abordando diretamente com referenciais de fornecedores (10). A Figura 2 ilustra um fluxograma considerando as etapas principais na seleção de materiais.

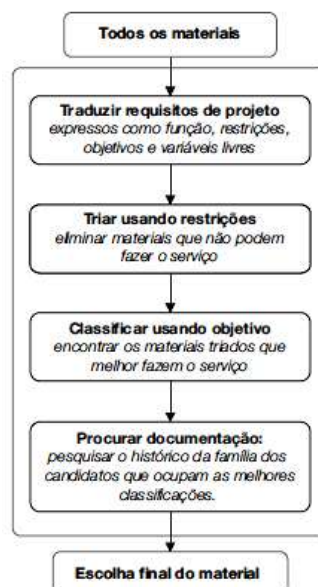


Figura 2. Etapas para a seleção de materiais (10).

Cada etapa descrita na figura torna-se importante não apenas para a seleção correta do material, mas também para que exista subsídios para trabalhar com um número limitado de materiais. A existência de uma grande lista de materiais é um fato presente e, o desperdício de recursos na busca do material adequado deve-se considerar desde o início das análises realizadas (10).

Ao tratar da substituição de um material por um polímero, ocorre um retrabalho e uma reconsideração das bases do projeto do produto. Diferenças inerentes entre as classes de materiais devem ser consideradas. Um produto projetado com outro tipo de material, na conversão para polímero, vantagens devem ocorrer para efetivamente atingir os objetivos de no mínimo manter as funções deste mesmo produto. O desenvolvimento de materiais poliméricos e seus compostos compreende um campo em evolução, competindo neste caso ao projetista, inovar e possibilitar a correta seleção do material (11).

Para o presente trabalho, o objetivo foi de buscar, pelo menos, um polímero que pudesse substituir o material metálico da carcaça de um interruptor de marcha à ré. A combinação dos requisitos do produto com as propriedades dos materiais foi envolvida para uma correta seleção, permitindo novas oportunidades em relação ao projeto referido. Dentre estas oportunidades, compreende-se a tentativa de selecionar um polímero passível de aplicação em prototipagem rápida, técnica FDM (*Fused Deposition Modeling*), visando testes futuros com o protótipo da carcaça.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Processo de Projeto**

Nos trabalhos que envolvem a parte de processo de projeto, diversas metodologias são utilizadas com base em referenciais de autores conhecidos. Para este trabalho, a metodologia de PAHL et al. (5) foi utilizada para organizar de maneira estruturada as informações referentes ao projeto informacional no que refere-se aos requisitos do produto. Estes requisitos foram concebidos por meio de pesquisa em catálogos dos diversos fabricantes existentes e do levantamento de dados do autor frente a uma análise do componente.

Para os requisitos que envolvem o dimensional da carcaça, seja na parte externa ou interna, foi realizado a medição utilizando uma Máquina de Medição por Coordenadas (MMC) Contura G2, fabricante Carl Zeiss, software Calypso 5.0. Para os detalhes que não puderam ser dimensionados com a MMC optou-se pelo projetor de perfil VB300, fabricante Starrett. Os passos das roscas existentes foram obtidos utilizando um calibrador de rosca, fabricante Mitutoyo.

Com a determinação dos requisitos do produto, os mesmos foram classificados em dois grupos, denominados de “Exigidos” e “Desejados”, conforme metodologia sugerida. A classificação para os “Exigidos” envolveu requisitos que devem ser atendidos obrigatoriamente, pois afetam a performance quanto componente aplicado, características de montagem e durabilidade da carcaça. Para os “Desejados”, a classificação ocorreu com base em decisões considerando uma perspectiva de buscar seus atendimentos, em vista que não impactam diretamente na aplicação e funcionamento do produto.

De modo a trazer uma melhor compreensão e encadeamento lógico, os requisitos do produto foram dispostos em uma tabela considerando a ordem de prioridade entre “Exigidos” e “Desejados”. Nesta tabela, detalhes pertencentes ao processo de seleção de materiais foram incluídos precocemente para auxiliar em

possíveis tomadas de decisões e conceder um indicativo da etapa posterior do trabalho.

Na modelagem do protótipo, respectiva ao projeto preliminar, utilizou-se o software *SolidWorks* 2015 x64 Edition. A etapa incluiu parte do processo de projeto, compreendendo as dimensões preliminares, disponibilizando desta forma um modelo preliminar da carcaça e completa do interruptor para análises e comparações. Nos resultados serão priorizadas a visualização de somente as partes do modelo preliminar da carcaça e do interruptor no qual remetem-se aos requisitos do produto.

## 2.2 Seleção de Materiais

Em relação à seleção de materiais, existe um número abundante de metodologias utilizadas de diversos autores conhecidos. Para este trabalho, a metodologia de ASHBY (10) foi empregada para auxiliar na escolha do material. A metodologia apresenta uma estratégia a ser seguida para selecionar o material com melhores características para desempenhar a função.

No processo de seleção do material polimérico utilizou-se o software *CES Edupack* 2013. Os valores de limites das restrições foram inseridos (alimentados / dados de entrada) no software e, com o banco de dados disponível na versão foi realizada a triagem. Os polímeros que não atendessem os limites impostos seriam descartados. Com os materiais triados, o passo seguinte foi incluir os valores de limites para os objetivos, onde uma classificação realizou-se disponibilizando somente os melhores polímeros para o atendimento dos requisitos do produto. A interface do software permitiu também elaborar os diagramas de propriedades como forma de auxiliar na visualização dos resultados.

Com a lista de polímeros classificados, dois critérios adicionais para a triagem foram considerados, sendo eles, a aplicação na indústria automotiva e disposição de matéria-prima para a prototipagem rápida. Na etapa final houve a definição do polímero, sendo posteriormente utilizado suas características para uma especificação de torque de montagem.

A geometria interna do protótipo testado teve que ser adaptada, pois houve dificuldade em encontrar no mercado os componentes para o modelo de interruptor que foi utilizado inicialmente nesse estudo. Sendo assim, para efeito de comparação da massa da carcaça envolvendo material metálico e polimérico foi utilizado o modelo em CAD de geometria interna adaptada com banco de dados do software *SolidWorks* 2015.

### 2.2.1 Cálculo de torque de montagem

No cálculo para atingir os limites de torque de montagem do interruptor de marcha à ré na carcaça da caixa de transmissão utilizou-se equações relacionadas a montagens de uniões parafusadas. Em diversos trabalhos pertinentes ao assunto, as equações podem envolver outros tipos de simbologia, sendo para este trabalho, utilizadas àquelas que facilitam para um melhor entendimento e compreensão frente a proposta envolvida.

Em primeiro momento, calculou-se a área resistiva ou líquida ( $A_s$ ) da região com rosca por meio do diâmetro nominal ( $\emptyset$ ) e passo ( $p$ ). Com este resultado e utilizando os limites de Tensão de Escoamento ( $\sigma_e$ ) disponibilizado pelo banco de dados do software *CES Edupack* 2013 foi calculado a força mínima ( $F_{\text{mín}}$ ) e

máxima ( $F_{\text{máx}}$ ) de aplicação. E por último, dispondo das forças, do diâmetro nominal, coeficiente de torque (adimensional) e acréscimo de 10 % (1,10) chegou-se no resultado final, sendo disponibilizado o torque mínimo ( $T_{\text{mín}}$ ) e máximo ( $T_{\text{máx}}$ ) (12) (13).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados os resultados e discussões referente a substituição do metal da carcaça do interruptor de marcha à ré. Em primeiro momento, os resultados e as discussões condizem com a apresentação das fases do projeto, tendo requisitos do produto e suas classificações e elementos do projeto preliminar. Deste conjunto de informações surge uma base intermediária para aplicação da metodologia de seleção dos materiais, sendo o foco a escolha por um polímero.

#### 3.1 Processo de Projeto

Os requisitos do produto constituem a parte final do projeto informacional, onde estas informações possibilitam gerar, adiante, concepções que o produto possa ter. Como a proposta deste trabalho foi apresentar a carcaça do interruptor de marcha à ré, fabricada a partir de um material polimérico, não foram geradas novas concepções, mas estes requisitos foram fundamentais para as fases seguintes e a busca de polímeros que pudessem os atender.

A partir da metodologia apresentada, os requisitos do produto foram selecionados e classificados para em seguida serem traduzidos, assumindo limites para a etapa do projeto preliminar e conforme o processo de seleção de materiais. Os requisitos de produto classificados como “Exigido”, dividem-se em requisitos destinados ao funcionamento direto do interruptor sob a perspectiva da carcaça, como também a características de montagem e durabilidade.

Para os requisitos classificados como “Desejado”, uma análise pode ser realizada com o intuito de buscar seus atendimentos, inclusive sendo acrescentados no processo de seleção de materiais. A Tabela 1 apresenta os requisitos do produto sobre os aspectos comentados. Em destaque os requisitos que serão associados à seleção de materiais.

**Tabela 1.** Requisitos do produto.

Nº	REQUISITOS DO PRODUTO	CATEGORIA	TRADUÇÃO	LIMITES
1	Suportar temperatura de trabalho	Exigido	Restrição	Temperatura de serviço máxima $\geq 130$ °C Temperatura de serviço mínima $\leq - 30$ °C
2	Não degradar em contato com agentes químicos			Boa resistência a óleo lubrificante
3	Suportar torque de fixação			Limite elástico
4	Possibilitar montagem dos componentes internos			Tolerâncias dimensionais (Sólido 3D)
5	Permitir movimento do pino de ponta esférica quando solicitado			Tolerâncias dimensionais (Sólido 3D)
6	Minimizar o contato da parte cilíndrica do pino de ponta esférica com a parte interna da carcaça			Concentricidade $\leq 0,10$ mm (Sólido 3D)
7	Distância de funcionamento do interruptor			$6,15 \pm 0,15$ mm (Sólido 3D)
8	Montagem por rosca direita na carcaça da caixa de transmissão			M12 x 1,00
9	Montagem por rosca direita na porca de fixação do conector			M27 x 1,00
10	Diminuição de massa	Desejado	Objetivo	Densidade $< 7,9$ g/cm <sup>3</sup>
11	Material reciclável			Ser reciclável
12	Montagem e desmontagem em relação a carcaça da caixa de transmissão por perfil sextavado	Desejado	Variável Livre	Faces planas, paralelas e com dimensão de 27 mm

### 3.1.1 Requisitos de funcionamento e aplicação

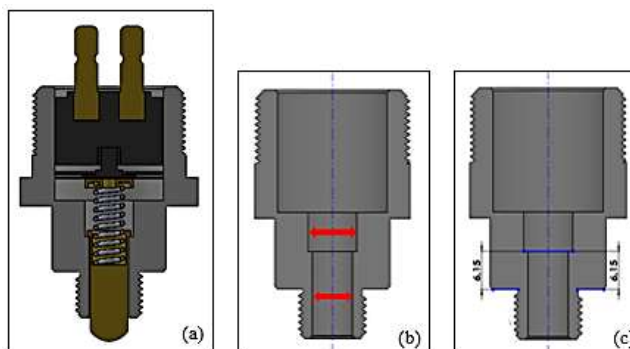
Nesta etapa serão explicados os motivos para a escolha dos requisitos do produto classificados como “Exigido” e, somado a isso, informações pertencentes ao projeto preliminar. Por meio de informações de catálogos de fabricantes e análise do componente, chegou-se ao consenso que tais requisitos são fundamentais, mas para a busca de um polímero para a fabricação da carcaça alguns destes não influenciam na seleção. O capítulo referente aos resultados e discussões da seleção de materiais trará argumentos mais detalhados frente ao assunto.

No requisito de suportar a temperatura de trabalho (-30°C a 130°C), esta informação foi retirada de catálogo de um dos fabricantes do interruptor (14). O pertinente para este requisito foi de trabalhar com os mesmos limites do interruptor fabricado em material metálico em vista que a região geográfica ou a medição de temperatura do próprio ambiente de funcionamento não foram considerados para neste trabalho.

Na desmontagem do interruptor percebeu-se o contato da parte inferior da carcaça com o óleo lubrificante da caixa de transmissão. O requisito de não degradar em contato com agentes químicos remete a esta situação, onde agentes externos como óleos lubrificantes causariam ataques químicos a determinados polímeros (15). Neste caso, o polímero selecionado deve obrigatoriamente resistir a este tipo de contato mantendo suas características de durabilidade.

Para o caso de suportar torque de fixação, dois motivos foram considerados, sendo eles, possibilitar a montagem correta do interruptor sem que haja esforço excessivo para danificar o mesmo. E, permitir aperto que iniba a desmontagem involuntária do mesmo sobre a carcaça da caixa de transmissão. Estas justificativas estão relacionadas a parte inferior da carcaça uma vez que a parte superior é montada manualmente por meio de porca recartilhada. Valores ideais de torque não são especificados em literatura, pois dependem de diversas variáveis, de modo que existem equações para chegar a um valor coerente. A força para gerar este torque deverá ser o suficiente para não ultrapassar o limite elástico, onde a partir disso deformações permanentes ocorreriam ou até a fratura dos filetes (16).

O requisito de possibilitar montagem dos componentes internos refere-se a parte interna da carcaça e todos os componentes deverão ser montados para o funcionamento correto do interruptor. Além disso, sendo a montagem possível em apenas uma das extremidades, o componente superior com terminais deve manter-se fixo após montado para assim manter o restante dos componentes, dispostos em posições únicas e, o próprio no interior da carcaça. A Figura 3 apresenta em corte, o sólido 3D do interruptor com montagem completa (a) e a carcaça com partes destacadas (b) (c) no qual serviram para justificar as tomadas de decisão de outros requisitos mencionados.



**Figura 3.** Vistas em corte do interruptor e da carcaça.

Dimensões e tolerâncias foram projetadas para que a montagem ocorra corretamente. Estas ações remetem também ao requisito de permitir movimento do pino de ponta esférica quando solicitado, onde a funcionalidade do interruptor de marcha à ré depende deste sistema mecânico com mola de deslocamento vertical para permitir ou inibir a passagem da corrente elétrica. Como o pino não será alterado neste trabalho, duas áreas da carcaça foram projetadas considerando uma folga que não restrinja a movimentação. As áreas comentadas estão identificadas na Figura 3 (b).

No projeto, além de prever o deslocamento vertical do pino, quando este ocorrer, não poderá ocasionar desgaste excessivo na carcaça. Esta situação permitiria uma remoção de material que ao passar do tempo criaria folgas indesejadas entre os dois componentes e somado a isso, conduzir partículas para o interior da caixa de transmissão. De forma oposta, prejudicaria o próprio movimento do pino em virtude de uma possível obstrução causado pelo acúmulo de material. Estudos demonstram o desgaste em componentes com deslocamentos relativos atribuindo técnicas para diminuição e controle. Para este caso, uma especificação de concentricidade entre os diâmetros destacados na Figura 3 (b) foi considerada para prevenir tais ocorrências e cumprir o requisito proposto (17) (18).



A funcionalidade do interruptor no veículo decorrerá não somente em virtude dos componentes internos atuando corretamente, mas também quando este for montado, onde especificações do projeto devem prever esta condição. A carcaça possui uma distância de funcionamento do interruptor de 6,15 mm que impacta diretamente quando o mesmo estiver disposto no veículo. A Figura 3 (c) indica a dimensão mencionada.

O não cumprimento dos limites especificados em projeto, independente da interpretação de qual das duas regiões que formam a dimensão da Figura 3 (c) perderia ou agregaria material, acarreta em problemas na função que o interruptor deva desempenhar no veículo. O interruptor poderia manter-se acionado involuntariamente, pois o pino não sofreria o esforço da parte inferior para comprimir a mola e cessar a passagem da corrente elétrica. Além disso, acredita-se que motivos para acontecer o efeito contrário também existam, como o pino manter-se-ia pressionado em virtude de haver um contato permanente com partes internas da caixa de transmissão.

A carcaça do interruptor possui em suas extremidades duas regiões com rosca. Na parte inferior, rosca direita M12 x 1,00 para montagem na carcaça da caixa de transmissão e, na parte superior, rosca direita M27 x 1,00 para montagem da porca de fixação. Ambos os requisitos são exigidos em virtude dos próprios componentes que o interruptor será montado. A fabricação da carcaça do interruptor com um tipo de rosca diferente ao encontrado impossibilitaria a montagem e a execução do quarto objetivo específico.

### 3.1.2 Requisitos remanescentes

Os requisitos do produto classificados como “Desejado” focam em características para reduzir desperdícios no processo de fabricação, na melhoria do interruptor ou no veículo quando aplicado. Estes requisitos foram retomados neste capítulo para justificar sua classificação, além de relacionar com as informações pertencentes ao projeto preliminar.

O projeto da carcaça em material metálico apresentou no *SolidWorks* 2015 uma massa de aproximadamente 75,7 g para um material com densidade em torno de 7,9 g/cm<sup>3</sup>. O interruptor sendo um produto aplicado diretamente em veículos e, neste segmento reduções frente ao consumo de combustível intensificam, quando aplicadas, mudanças em projetos, existe o desejo em reduzir a massa da carcaça por meio da utilização de materiais com menores densidades. Os polímeros, conforme presente na literatura trazem os benefícios e a praticidade necessária para satisfazer este requisito (2).

Em períodos onde o consumo de matérias-primas intensifica discussões na busca de soluções para permitir produzir com menos e reaproveitando o que for possível, o material da carcaça é preferível ser passível de reciclagem, em vista que o antecessor (de metal) já permitia tal benefício. Polímeros em sua grande maioria podem ser reciclados, mas existem algumas famílias que são impossibilitadas por meios de conversão ou custos elevados, prevalecendo neste caso a pesquisa e o discernimento para o atendimento (19).

A montagem do interruptor na carcaça da caixa de transmissão é realizada por meio de aperto no início manualmente, sendo posteriormente tendo o último aperto, acredita-se, por ferramenta manual ou equipamentos específicos para perfil sextavado de 27 mm (Figura 4).



**Figura 4.** Perfil sextavado.

A desmontagem ocorre de forma contrária ao descrito. Uma geometria diferente ao apresentado na Figura 4 poderia ser projetada, por exemplo, como um perfil quadrado, em vista da dificuldade em encontrar matéria-prima disponível ou também das limitações do equipamento para a fabricação da carcaça. O cuidado neste quesito seria em manter ainda as faces planas paralelas para possibilitar o encaixe de ferramenta. A preservação do perfil sextavado com dimensão de 27 mm é desejada para que comparações sejam realizadas frente ao modelo original.

### 3.2 Definição do polímero

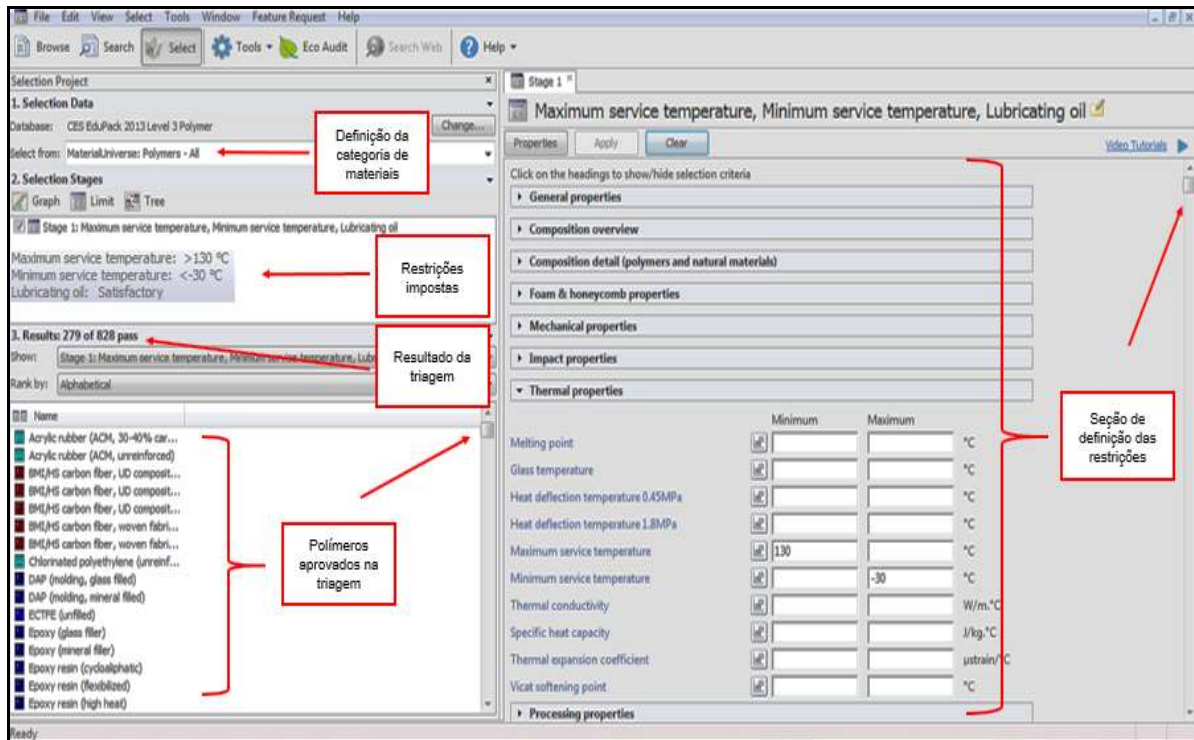
Como objetivo principal, este trabalho procura substituir o material metálico da carcaça de um interruptor automotivo para um material polimérico. Para isso, a metodologia de seleção de materiais permite buscar os polímeros possíveis de atendimento dos requisitos do produto por meio das traduções. Traduções estas, classificadas conforme a Tabela 1, onde a prioridade consiste no atendimento, em ordem, das restrições e dos objetivos. Alguns requisitos mesmo importantes para o produto não interfeririam na busca dos polímeros. Assim, para esta parte do trabalho, a Tabela 1 originou a Tabela 2, de forma a trazer somente os requisitos com as traduções e seus limites que impactam na seleção dos materiais.

**Tabela 2.** Requisitos do produto para seleção dos polímeros.

Nº	REQUISITOS DO PRODUTO	TRADUÇÃO	LIMITES
1	Suportar temperatura de trabalho	Restrição	Temperatura de serviço máxima $\geq 130$ °C Temperatura de serviço mínima $\leq -30$ °C
2	Não degradar em contato com agentes químicos		Boa resistência a óleo lubrificante
3	Diminuição de massa	Objetivo	Densidade $< 7,9$ g/cm <sup>3</sup>
4	Material reciclável		Ser reciclável

Como pode ser visualizado na Tabela 2, esta diminui em relação à sua antecessora para priorizar somente os requisitos necessários para a triagem. Diversas ferramentas poderiam ser empregadas para selecionar os polímeros como o *MatWeb – Material Property Data*, *ASM Material Handbook*, *Mapas de Propriedades dos Materiais*, *Materioteca Milão* e entre outros. Para este caso foi empregado o software *CES Edupack 2013* que permite o cruzamento de informações relacionadas aos materiais em um banco de dados com etapas progressivas e oferecendo acesso rápido aos dados provenientes (9).

Sendo assim, considerando as restrições da Tabela 2, o resultado gerado pelo *CES Edupack 2013* foi de 279 tipos de polímeros que atendem os limites impostos. Polímeros estes, naturais, com percentual de carga em sua composição, copolímeros e também plásticos de engenharia. Este resultado representa em torno de 33,7 % do total de polímeros dispostos no banco de dados do software. A Figura 5 exibe uma visão geral do software com as restrições e resultados encontrados.



**Figura 5.** Interface do software para seleção dos polímeros.

Para o caso das restrições, o descarte de grande parte dos polímeros é coerente pois a necessidade nesta etapa é de que os materiais obrigatoriamente possibilitem a realização do serviço. Na temperatura de serviço máxima, caso algum polímero fosse aceito estando abaixo do limite especificado, quando aplicado a períodos prolongados, ocorreria o amolecimento do material diminuindo as propriedades mecânicas (20). Para a temperatura de serviço mínima, o material tende a tornar-se frágil comparando com o grau de fragilidade em temperatura ambiente e inseguro de utilizar (10). A parte de ter boa resistência a óleo lubrificante, componentes presentes neste tipo de fluido acarretaria ataques químicos pertinente a incompatibilidade com certos polímeros (15).

A partir da seleção dos polímeros com as devidas restrições, uma classificação pode ser realizada afim de ordenar os postulantes viáveis frente aos objetivos, de modo a refinar o resultado possibilitando maximizar ou minimizar características frente ao produto. Com isso, 63 tipos de polímeros atenderam os objetivos de densidade e reciclagem, representando em torno de 7,6 % do total de polímeros presentes no banco de dados do software. A Figura 6 demonstra os polímeros aprovados em todos os estágios.

 Seleção de Materiais - All Stages		Page 1 of 1
<b>Name</b>		
ECTFE (unfilled)		
ETFE (unfilled)		
FEP (unfilled)		
PA (type 6, 40% mineral)		
PA (type 6, cast)		
PA (type 6, cast, heat stabilized)		
PA (type 6, cast, type 6:2 blend)		
PA (type 6, molding and extrusion)		
PA (type 6, MoS2 lubricated, anti-friction)		
PA (type 66, 40-45% mineral filled)		
PA (type 66, flame retarded)		
PA (type 66, lubricated, 10% PTFE)		
PA (type 66, lubricated, 5% silicone)		
PA (type 66, molding)		
PA (type 66, MoS2 lubricated, anti-friction)		
PA transparent (cycloaliphatic, microcrystalline)		
PAI (graphite and PTFE)		
PAI (graphite and PTFE, high PV)		
PAI (unfilled)		
PAS (unfilled)		
PC (10-15% PTFE, lubricated)		
PC (copolymer, high-heat)		
PE-HD (high molecular weight)		
PE-HD (low/medium molecular weight)		
PE-UHMW (molding and extrusion)		
PEEK (unfilled)		
PEK (unfilled)		
PES (20% mineral filled)		
PES (30% carbon filled)		
PES (extrusion/injection molding)		
PES (general purpose)		
PFA (unfilled)		
PI (15% graphite)		
PI (40% graphite)		
PI (unfilled)		
Polyester liquid crystal (30% mineral filled)		
Polyester liquid crystal (40% mineral filled)		
Polyester liquid crystal (unfilled)		
PPA (40% mineral)		
PPS (encapsulation)		
PPS (general purpose)		
PPSU (unfilled)		
PSU (30-40% mineral filler)		
PSU (extrusion and injection molding)		
PSU (flame retarded)		
PSU (modified, 10% mineral filler)		
PTFE (unfilled)		
PVDF (copolymer, wire and cable jacketing)		
TPC (Shore D40)		
TPC (Shore D55)		
TPC (Shore D55, flame retarded)		
TPC (Shore D70)		
TPV (PP+EP(D)M, Shore A40)		
TPV (PP+EP(D)M, Shore A55)		
TPV (PP+EP(D)M, Shore A55, flame retarded)		
TPV (PP+EP(D)M, Shore A70)		
TPV (PP+EP(D)M, Shore A85)		
TPV (PP+EP(D)M, Shore A85, flame retarded)		
TPV (PP+EP(D)M, Shore A90/D40)		
TPV (PP+EP(D)M, Shore A90/D40, flame retarded)		
TPV (PP+EP(D)M, Shore D50)		
TPV (PP+NBR, Shore A75)		
TPV (PP+NBR, Shore A90/D40)		

CES EduPack 2013 (C) Grantia Design Ltd

**Figura 6.** Polímeros aprovados em todos os estágios.

Um dos objetivos era atender uma densidade menor que  $7,9 \text{ g/cm}^3$  para diminuir a massa da carcaça, sendo que todos os polímeros atenderam este limite imposto. No entanto para a reciclagem como forma de reprocessamento para gerar matéria-prima com qualidade similar, a condição tornou-se um limitante. Este resultado pode gerar algumas contradições, mas para determinados polímeros ocorre inviabilidade em vista do custo da tecnologia disponível para o processo, do grau de dispersão do material ou da separação dos constituintes do composto final. Mesmo assim, alguns destes polímeros considerados como não recicláveis pelo software podem ser utilizados para geração de energia (10).

O andamento do trabalho com 63 polímeros classificados, mesmo sendo a condição de melhor resultado, torna-se um processo até certo ponto demasiado,

onde recomenda-se realizar uma nova busca com candidatos de melhores potenciais. Deste modo, polímeros mais confiáveis frente a aplicação tendo como referência estudos de casos de utilização, possíveis falhas ou inertes a elas e a disponibilidade de aplicação permitiriam criar uma nova lista para a etapa de documentação (10). Para isso, utilizou-se referenciais que traziam consigo polímeros utilizados na indústria automotiva (2) (21).

Assim, realizando o cruzamento dos polímeros classificados com aqueles utilizados na indústria automotiva, o resultado indicou cinco polímeros, sendo estes: PA (Poliamida), PC (Policarbonato), PEAD (Polietileno de alta densidade), PPS (Poli (sulfeto de fenileno)) e PTFE (Politetrafluoroetileno) (2) (21). A partir disso, uma análise mais detalhada foi possível frente a estes polímeros, pois, havendo um número maior de postulantes, algumas características encobertas poderiam causar impactos futuros, mesmo passando pela triagem e na classificação (10).

Conforme a metodologia proposta, a próxima etapa seria escolher o melhor entre os cinco candidatos. Como no início do trabalho mencionou-se sobre a possibilidade de selecionar um polímero passível de aplicação em prototipagem rápida, técnica FDM, a disponibilidade de polímero na forma de filamento deve ser considerada como uma restrição. Os polímeros que não podem ser utilizados neste processo ou não existe um embasamento consolidado para a técnica devem ser descartados. Deste modo, por meio da consulta em trabalhos sobre o assunto, apenas dois polímeros foram selecionados para análise final com base na possibilidade de fabricação pela FDM (22) (23). A PA e o PC com suas respectivas propriedades estão disponíveis na Tabela 3.

**Tabela 3.** Propriedades da PA e do PC (2).

POLÍMERO	PROPRIEDADES	APLICAÇÕES
Poliamida (PA)	Boa processabilidade	Dutos de captação de ar, engrenagens, conectores de sistema de injeção, sistema de freio de acionamento e escaninho do <i>airbag</i> .
	Resistência a tensão	
	Resistência a alta temperatura	
	Excelente estabilidade dimensional	
Policarbonato (PC)	Semelhante ao vidro	Faróis, lanternas e painel de instrumento.
	Alta resistência ao impacto	
	Boa estabilidade dimensional	
	Resistência a chama	
	Estabilidade a radiações de ultravioleta	
	Boa resistência às intempéries	
Capacidade de refletir a luz		

Como pode ser observado na Tabela 3, os polímeros selecionados oscilam de boa a excelente estabilidade dimensional. Esta propriedade é importante no que diz respeito a possibilidade de montagem dos componentes na carcaça e garantir o funcionamento do interruptor. Junto a isso, a qualidade de resistir a tensão e ao impacto traduzem confiabilidade frente a aplicação dos materiais. Em relação ao restante das propriedades que serão comentadas a seguir, a PA possui determinadas vantagens comparando com o PC para aplicação na carcaça.

O processamento de polímeros seja qual for o método é um aspecto com diversas variações intrínsecas. Sendo o material uma destas variações, o polímero com histórico de “boa processabilidade” auxilia para uma condução favorável do

processo, diminuindo o gasto com recursos e as próprias perdas de matéria-prima. Somado a isso, existe a vantagem da resistência a alta temperatura. Conforme resultado do software, o PC suportaria a temperatura de trabalho, mas o referencial de aplicação da indústria automotiva certifica apenas a PA, para esta condição de serviço (2).

Um outro ponto a ser considerado trata-se das aplicações de ambos os polímeros. O PC conforme demonstrado é utilizado com maior frequência em componentes que necessitam de translucidez e resistência a ambientes expostos a variadas condições climáticas. Diferente disso, a aplicação da PA é mais ampla, destacando nisso as engrenagens, onde comparando com a carcaça do interruptor automotivo, realiza funções em contato com óleos lubrificantes permitindo a manutenção da resistência mecânica (2). Ainda, conforme as informações extraídas no *SolidWorks* 2015, tendo por base as densidades dos dois polímeros, a carcaça sendo fabricada com PA teria 10,7 g, frente a 11,4 g com PC.

Além disso, propriedades como alta rigidez, boa dureza, boa resistência à fadiga e à abrasão favorecem sua aplicação na carcaça, pois aplica-se a PA também nos sistemas de combustível, arrefecimento e ventilação dos segmentos automotivos (24). Para tanto e em consideração aos dados apresentados, a PA foi o polímero escolhido para substituir o material metálico da carcaça do interruptor automotivo.

### 3.2.1 Torque de montagem

Como todo componente fixado por meio de rosca, as funções desta parte inferior na carcaça são de possibilitar a montagem correta sem que haja esforço excessivo para danificar e, também permitir o aperto inibindo a desmontagem involuntária em relação à carcaça da caixa de transmissão. Sendo um dos requisitos do produto considerado como uma restrição, não foi considerado como uma condição para definir o polímero, pois uma especificação de torque depende de diversas variáveis envolvidas. Uma dessas variáveis corresponde a tensão de escoamento ou limite elástico do material direcionada a uma força aplicada (12) (16).

Se o componente for fabricado com material polimérico, a especificação do torque de montagem deve ser diferente daquela existente para a fabricação com metal, uma vez que há diferença nos limites elásticos e, conseqüentemente, na força que deverá ser aplicada. Caso fosse utilizado uma mesma especificação poderia ocorrer em determinada situação, esforço excessivo aumentando a fadiga e causando até certo ponto a ruptura da seção. Em caso contrário, considerando uma força pequena ou até muita próxima de inexistência, devido às condições cíclicas do conjunto tem-se a possibilidade de desmontagem involuntária (16).

A região de fixação da carcaça assemelha-se a de um parafuso, sendo uma região com um corpo cilíndrico roscado (tronco) e uma base de atrito (encosto) como a cabeça do parafuso. A Figura 7 demonstra uma comparação entre as regiões mencionadas da carcaça e de um parafuso.

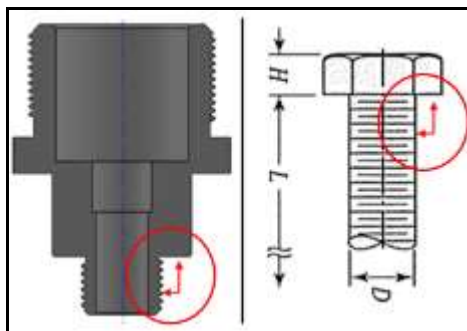


Figura 7. Comparação entre a carcaça e um parafuso (parafuso, figura proveniente de: (13)).

A partir da Figura 7 constata-se a possibilidade de utilizar as mesmas equações para determinar a especificação de torque partindo do limite elástico da PA, disponível no banco de dados do *CES Edupack* 2013. A Figura 8 apresenta todo o cálculo envolvido no qual originou como resultado a especificação de torque para montagem.

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot [\emptyset - (0,9382 \cdot p)]^2$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot [12 \text{ mm} - (0,9382 \cdot 1 \text{ mm})]^2$$

$$A_s = 96,10 \text{ mm}^2 = 0,0000961 \text{ m}^2$$

$F_{\text{mín}} = \sigma_e \cdot A_s$	$F_{\text{máx}} = \sigma_e \cdot A_s$
Sendo: $\sigma_e = 38,6 \text{ Mpa} = 38600000 \text{ Pa}$	Sendo: $\sigma_e = 48,2 \text{ Mpa} = 48200000 \text{ Pa}$
$F_{\text{mín}} = 38600000 \text{ Pa} \cdot 0,0000961 \text{ m}^2$	$F_{\text{máx}} = 48200000 \text{ Pa} \cdot 0,0000961 \text{ m}^2$
$F_{\text{mín}} = 3709,46 \text{ N}$	$F_{\text{máx}} = 4632,02 \text{ N}$
$T_{\text{mín}} = F_{\text{mín}} \cdot \emptyset \cdot k \cdot 1,10$	$T_{\text{máx}} = F_{\text{máx}} \cdot \emptyset \cdot k \cdot 1,10$
$T_{\text{mín}} = 3709,46 \text{ N} \cdot 0,012 \text{ m} \cdot 0,20 \cdot 1,10$	$T_{\text{máx}} = 4632,02 \text{ N} \cdot 0,012 \text{ m} \cdot 0,20 \cdot 1,10$
$T_{\text{mín}} = 9,79 \text{ N.m}$	$T_{\text{máx}} = 12,23 \text{ N.m}$

Figura 8. Cálculo de torque.

De acordo com a Figura 8, a especificação encontrada para o torque de montagem foi de 9,79 – 12,23 N.m. Os parâmetros utilizados nas equações foram o limite elástico, força aplicada, diâmetro nominal e área resistiva da região com rosca e de um coeficiente adimensional denominado de fator de torque. Este fator de torque representa o atrito da contra peça sobre a superfície da rosca e do encosto com a superfície de apoio, sendo responsável também por compreender a diferença entre os materiais envolvidos (12) (13).

Na parte final do cálculo tem-se ainda agregado um percentual de 10 % para gerar o torque resultante. Este aumento na especificação representa uma certeza de obtenção dos valores mínimo de torque, devido às perdas envolvendo características do material ou irregularidades próprias do processo de fabricação. Com isso, perdura também a imprecisão ou avarias da chave de aperto ou de equipamento específico utilizado para aplicar a força e, conseqüentemente, gerar o torque necessário (12).

## 4 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma proposta de desenvolver a carcaça de um interruptor de marcha à ré em material polimérico.

No objetivo de elaborar uma lista de requisitos do produto, o estudo particular relacionado a carcaça do interruptor de marcha à ré, pode-se definir doze requisitos do produto, envolvendo características para o funcionamento correto do interruptor, de montagem, aplicação e durabilidade. Com base em metodologia direcionada ao processo de projetos, estes requisitos puderam ser categorizados trazendo desta forma, nove como “Exigidos” para o cumprimento obrigatório e três como sendo “Desejados”, no qual buscou-se seu atendimento.

Na proposta de indicar, ao menos, um polímero para o atendimento dos requisitos do produto, a partir destes, traduções foram definidas, resultando em restrições, objetivos e variável livre. Com as restrições, o resultado da triagem utilizando o software *CES Edupack 2013* foi de 279 tipos de polímeros que atenderam os limites impostos. Na inserção dos objetivos, 63 polímeros foram classificados. No cruzamento deste último resultado com polímeros utilizados na indústria automotiva, cinco passaram para a etapa de documentação.

Na etapa de documentação, uma nova restrição foi imposta no que refere-se a necessidade de matéria-prima em forma de filamento. Dois polímeros restaram, sendo a escolha pela Poliamida (PA), em vista do histórico de aplicação, manutenção da resistência mecânica sobre determinadas situações e propriedades específicas. Na análise do projeto no *SolidWorks 2015*, a carcaça em material metálico possuía 75,7 g e na utilização da PA, a massa ficou em 10,7 g. Com o limite elástico da PA determinou-se o torque de montagem por meio de cálculos, originando como resultado a especificação de 9,79 – 13,23 N.m.

## REFERÊNCIAS

- 1 GALDINO, E. Fornecedores se preparam para suprir novas demandas de usinagem de plástico de engenharia. *Revista Máquinas e Metais*, n.587, p. 16-27, 2014.
- 2 HEMAIS, C. A. Polímeros e a indústria automobilística. *Revista Polímeros*, v.13, p. 107-114, 2003.
- 3 MEDINA, H. V. Desenvolvimento de novos polímeros: uma ferramenta para os avanços na indústria automobilística. *Revista Plástico Industrial*, v.48, p. 108-120, 2002.
- 4 MEDINA, H. V.; GOMES, D. E. B. A indústria automobilística projetando para a reciclagem. 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design – P&D Design 2002, Rio de Janeiro.
- 5 PAHL, G. et al. *Engineering Design – A Systematic Approach*. London: Springer, 2007. v.3.
- 6 TRINDADE, E. S. Propriedades mecânicas dos materiais aplicadas a um software para análise de falhas. 2013. 98f. Dissertação (Mestre em Materiais) – Programa de Mestrado Profissional em Materiais, Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, Rio de Janeiro.
- 7 ASHBY, M.; JOHNSON, K. *Materiais e Design – Arte e ciência da seleção de materiais no design de produto*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. v.2.



- 8 SILVA, B. M. et al. Investigação do método de seleção de materiais por síntese: ferramenta de auxílio para designers. Unopar Científica Ciências Exatas e Tecnológicas, v.8, p.59–63, 2009.
- 9 SCHELESKI, S. Seleção de materiais no projeto de máquinas e implementos agrícolas. Design & Tecnologia, v.9, p. 29-41, 2015.
- 10 ASHBY, M. Seleção de materiais no projeto mecânico. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. v.4.
- 11 SANT'ANNA, J. A. P. Subsídios para seleção de materiais poliméricos termoplásticos. 2007. 124f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Área de Concentração: Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 12 MONTEIRO, J. A. P. Ligações utilizando parafusos de alta resistência. 1979. 105f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, São Paulo.
- 13 SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. Projeto de Engenharia Mecânica. Porto Alegre: Bookman, 2005. v.7.
- 14 HEART+BUSS. Katalog13EN. Catalogue Electrics. 2016. Heart+Buss UK Ltd. Disponível em: <<http://www.herthundbuss.com/en/info/catalogues.html>> Acesso em: 11 set. 2016.
- 15 PAOLI, M. A. Degradação e Estabilização de Polímeros. Chemkeys, 2008. 2ª versão on-line. Disponível em: <<http://www.chemkeys.com/blog/wp-content/uploads/2008/09/polimeros.pdf>> Acesso em: 13 mar. 2017.
- 16 GRIZA, S. Efeito do torque na vida em fadiga de uniões parafusadas. 2000. 107f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.
- 17 ALI, S. H. R.; MOHAMED, H. H.; BEDEWY, M. K. Identifying cylinder liner wear using precise coordinate measurements. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, v.10, p. 19-25, 2009.
- 18 FLORES, P. Modeling and simulation of wear in revolute clearance joints in multibody systems. Mechanism and Machine Theory, v.44, p. 1211-1222, 2009.
- 19 SPINACÉ, M. A. S.; PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. Revista Química Nova, v.28, p. 65-72, 2005.
- 20 MCKEEN, L. W. The effect of temperature and other factors on plastics and elastomers. Norwich: William Andrew, 2008. v.2.
- 21 CASTRO, D. E. Reciclagem e sustentabilidade na indústria automobilística. JICA, 2012. Disponível em: <<https://www.jica.go.jp/brazil/portuguese/office/news/2013/c8h0vm00005knc8h0vm0005kn48g-att/c8h0vm00005kn4bu.pdf>> Acesso em: 14 abr. 2017.
- 22 MARCINCINOVA, L. N.; MARCINCIN, J. N. Applications of rapid prototyping fused deposition modeling materials. 23rd International DAAAM Symposium – 2012, Vienna, Austria.
- 23 TAO, Y. et al. Development and application of wood flour-filled polylactic acid composite filament for 3D printing. Materials, v.10, p. 1-6, 2017.
- 24 SANTOS, A. L. Aplicação de componentes em poliamida no sistema de refrigeração de transmissão automática em veículos pesados: estudo de caso. 2012. 32f. Monografia (Especialista em Engenharia Automotiva) – Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, São Paulo.

# OBTENÇÃO DE SUPERFÍCIES NANOESTRUTURADAS DE Ti6Al4V PARA AVALIAÇÃO DA BIOCOMPATIBILIDADE *IN* *VIVO*.

Elyseu, R.S.<sup>1</sup>  
Malfatti, C. F.<sup>2</sup>  
Camassola, M.,<sup>3</sup>  
Antonini, L. M.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro mecânico, Rafael de Souza Elyseu, LAPEC (UFRGS), [relyseu@hotmail.com](mailto:relyseu@hotmail.com).

<sup>2</sup> Doutora em Engenharia de Materiais, Célia de Fraga Malfatti, LAPEC (UFRGS)  
[celia.malfatti@ufrgs.br](mailto:celia.malfatti@ufrgs.br).

<sup>3</sup> Doutora em Genética e Biologia Molecular, Melissa Camassola, Laboratório de Células-Tronco e Engenharia de Tecidos (ULBRA) e [camassola@gmail.com](mailto:camassola@gmail.com).

<sup>4</sup> Doutor em Engenharia de Materiais, Leonardo Marasca Antonini, LAPEC (UFRGS),  
[leomantonini@gmail.com](mailto:leomantonini@gmail.com)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

## Resumo

O controle de parâmetros operacionais de eletropolimento, como tensão aplicada, tempo de eletropolimento e temperatura do eletrólito têm promovido a formação de superfícies nanoestruturas de Ti6Al4V as quais tem favorecido um a associação com células-tronco mesenquimais. Tais características influenciam diretamente na osseointegração trazendo benefícios no tempo de recuperação de pacientes e reduzindo os riscos de rejeição. Em meio a esse contexto estudos relacionados ao eletropolimento (nanotexturização) de ligas de titânio têm sido desenvolvidos com objetivo de potencializar a biocompatibilidade *in vivo* de implantes. Dessa forma o presente trabalho tem por objetivo: 1) reproduzir em componentes cilíndricos a obtenção de superfícies nanoestruturadas de Ti6Al4V a partir do tratamento eletroquímico por eletropolimento. Tais parâmetros já foram obtidos em substratos planos. 2) comparar os resultados encontrados em substrato cilíndrico com os resultados já alcançados em substratos de geometria plana. A caracterização morfológica será realizada por microscopia de força atômica (AFM), interferometria óptica e microscopia óptica, enquanto que a caracterização físico-química será realizada pelo método da gota séssil (medida de molhabilidade). Resultados preliminares mostraram que é possível obter superfícies nanoestruturadas em substratos cilíndricos a partir do tratamento eletroquímico por eletropolimento com grau de reprodutibilidade da morfologia, valores de rugosidade nanométrica e

micrométrica e de resultados de molhabilidade semelhantes aos que foram inicialmente alcançados em substratos planos.

**Palavras-chave:** superfícies nanoestruturadas, Ti6Al4V, eletropolimento, células-tronco, biocompatibilidade *in vivo*.

## **OBTAINING OF NANOESTRUTURED Ti6AL4V SURFACES TO EVALUATION OF THE *IN VIVO* BIOCOMPATIBILITY.**

### **Abstract**

The control of electropolishing operational parameters, as the voltage applied, electropolishing time and electrolyte temperature have promoted the formation of Ti6Al4V nanostructured surfaces which have favored the association with mesenchymal stem cells. These characteristics influence directly in osseointegration promoting decreasing in recovery time of patients and it can reduce the risks of rejection of the implant. In this context, studies related to the electropolishing (nano texturization) of titanium alloys have been developed aiming enhancing the *in vivo* biocompatibility of implants. Thus, the present work aims to: 1) reproduce in cylindrical components the obtaining of nanostructured surfaces of Ti6Al4V from the electrochemical treatment by electropolishing. Such parameters have already been obtained on flat substrates. 2) compare the results found in cylindrical substrates with the results already obtained in substrates of flat geometry. The morphological characterization will be performed by atomic force microscopy (AFM), optical interferometry and optical microscopy, while the physical-chemical characterization will be realized by the sessile drop method (wettability). Preliminary results showed that is possible to obtain nanostructured surfaces on cylindrical substrates from the electrochemical treatment by electropolishing with degree of reproducibility of the morphology, nanometric and micrometer roughness values and wettability results similar with results that were initially achieved in flat substrates.

**Key words:** nanostructured surfaces, Ti6Al4V, electropolishing, stem cells, *in vivo* biocompatibility.

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de diversos metais e suas ligas na fabricação de biomaterias vem crescendo significativamente nos últimos anos. Porém é importante, para que o material apresente bons resultados, ter propriedades como resistência à corrosão, boa biocompatibilidade, resistência mecânica e resistência à fadiga. Embora todas essas propriedades citadas sejam de extrema importância é necessário controlar a influencia e a forma de obtenção de cada uma delas no processo de fabricação de implantes pois podem trazer grandes variações nos resultados.

O titânio e suas ligas destacam-se entre os biomateriais principalmente devido à sua elevada força específica e excelente resistência à corrosão, com apenas metade do peso de aços e superligas à base de Ni<sup>(11)</sup>. Considerando as boas propriedades do Ti6Al4V em aplicações biomédicas e buscando otimizar o processo de osseointegração osso-implante pensou-se no tratamento superficial de eletro polimento para superfícies cilíndricas.

Estudos do processo de eletropolimento têm sido desenvolvidos visando à modificação da textura da superfície de titânio e suas ligas <sup>(2)</sup>. Através do processo de eletropolimento busca-se realizar um polimento superficial mantendo a estrutura de grão original <sup>(3)</sup>. O eletropolimento pode ser considerado um processo anódico em que ocorre a liberação de oxigênio simultaneamente com a remoção do material da superfície. Essa exposição do oxigênio à superfície poderá fazer com que ocorra a passivação da mesma por óxidos metálicos, aumentando desta forma a resistência à corrosão <sup>(4)</sup>.

O eletropolimento de superfícies cilíndricas permitira a fabricação de implantes para testes em vivo onde poderão ser comparados resultados de adesão celular, resistência a arranchamento do material e caracterização histológica do biomaterial implantado.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho está representada no fluxograma abaixo (Figura 1) e detalhada posteriormente.

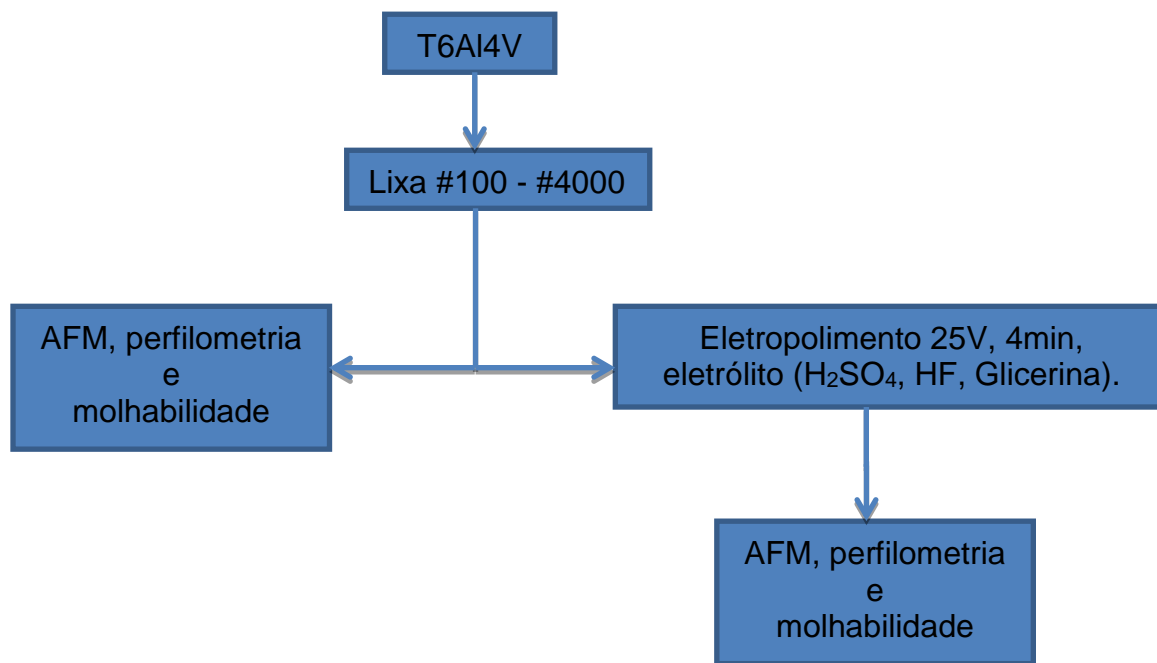


Figura 1: Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa.

### 2.1. Materiais empregados

As amostras foram obtidas a partir de uma barra redonda de Ti6Al4V com 3,2 mm de diâmetro e 1 metro de comprimento. Os substratos foram posteriormente cortados no comprimento de 15mm com serra de ourives para preparação em procedimento de lixamento.

Conforme especificação técnica disponibilizada pela empresa fornecedora da barra, que pode-se visualizar na tabela 1, a composição química do material, segundo a norma ASTM B348-11.

**Tabela 1:** Composição química da barra de titânio Ti6Al4V utilizada na pesquisa<sup>(5)</sup>.

Elementos	Composição % massa/massa
Nitrogênio máximo	0,05
carbono máximo	0,08
hidrogênio máximo	0,012
Ferro máximo	0,25
Oxigênio Máximo	0,13
Alumínio	5,5-6,50
Vanádio	3,5-4,5

**Tabela 2** Identificação das amostras.

Nome das amostras	Processo de preparação
L1	Amostra lixada até granulometria #4000
L2	Amostra lixada até granulometria #4000
E1	Amostra lixada até granulometria #4000 + eletropolimento
E2	Amostra lixada até granulometria #4000 + eletropolimento

## 2.2 Preparação do substrato metálico

Os substratos de Ti6Al4V foram lixados com auxílio de uma furadeira de bancada onde aproximadamente 4mm foram utilizados para fixação da amostra, restando em torno de 11mm de comprimento exposto ao lixamento (Área exposta ao lixamento de aproximadamente 103,7 mm<sup>2</sup>). O procedimento foi realizado com lixas de carbetto de silício com granulometria crescente iniciando em 100 até 4000 grãos por polegada quadrada; sabão neutro e água.

Depois disso, as amostras foram submetidas ao processo de limpeza por 5min em equipamento de ultrassom. Posteriormente após a secagem das amostras com secador foi realizado a limpeza a plasma a ar (potencia 65W, pressão de 250 µatm por 5min) como pode ser visualizada na figura 2. É importante destacar que todas as amostras foram preparadas e limpas individualmente.

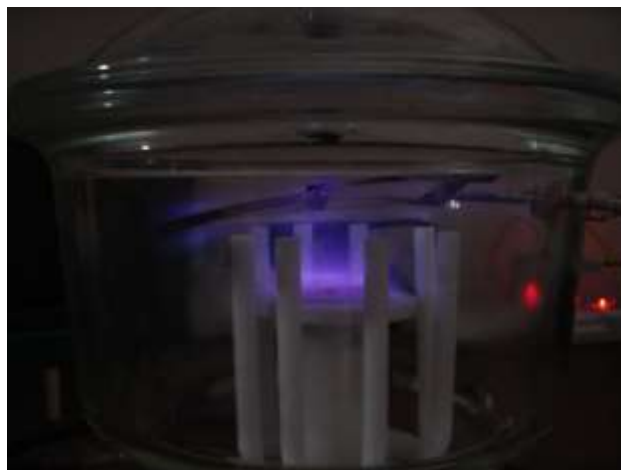


Figura 2 Sistema de limpeza a plasma de ar.

### 2.3 Eletropolimento (polimento eletroquímico)

Para o polimento eletroquímico, foi utilizada uma fonte geradora (HP 6294A DC power supply hewlett packard). A solução para o eletropolimento foi composta por 60% v/v ácido sulfúrico, 30% v/v ácido fluorídrico e 10% v/v glicerina. Como cátodo utilizou-se um fio de platina em espiral, pois a área a ser eletropolida é cilíndrica e como ânodo a amostra, conforme pode ser visto pela



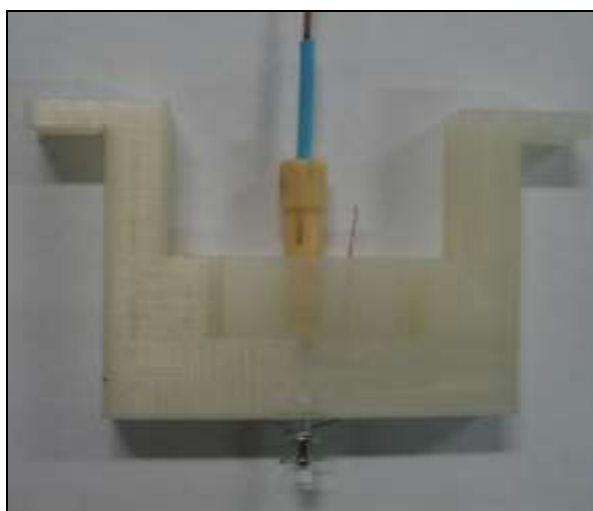
Figura 3 Sistema de eletropolimento.

É importante ressaltar que para o processo de eletropolimento, as amostras foram isoladas com fita teflon nas partes inferior e superior deixando exposta somente a superfície de interesse que deve ter diâmetro de 3mm e comprimento de 5mm (área de interesse de 47,12mm<sup>2</sup>) e a região do contato elétrico como mostra a figura 4.



**Figura 4** Amostra preparada para processo de eletropolimento.

O suporte para o processo de eletropolimento foi fabricado de PLA, material que foi previamente testado em contato com eletrólito e não apresentou reação. Os contatos elétricos foram feitos com fio de cobre e o contra eletrodo com um fio de platina como pode ser visto na figura 5.



**Figura 5** Suporte para eletropolimento, amostra e contra eletrodo de platina.

Foram realizados eletropolimentos com parâmetros de pesquisas anteriores até que se determina-se os melhores resultados que foram: tempo de 4 min, tensão de 25V, Temperatura de 7°C. Após cada eletropolimento as amostras foram limpas com água deionizada.

#### **2.4 Caracterização das amostras eletropolidas**

Após o eletropolimento as amostras foram caracterizadas por microscopia de força atômica (AFM); perfilometria de contato e pelo método gota séssil para



determinação do ângulo de contato com solução PBS (para determinar a molhabilidade da superfície).

#### 2.4.1 AFM (Microscopia de Força Atômica)

As imagens foram obtidas com o microscópio de força atômica SPM-9500J3 SHIMADZU operando em modo de contato, com sondas de nitreto de silício (NANOSENSORS) e scanner com variação vertical de 8  $\mu\text{m}$  e área de varredura de 125  $\mu\text{m}$  x 125  $\mu\text{m}$ . A avaliação da rugosidade da superfície através do AFM foi realizada através das medidas de Ra (média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento, dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição), Rz (média aritmética dos cinco valores de rugosidade parcial, considerando os pontos de maior afastamento, acima e abaixo da linha média) e Rms (rugosidade quadrática média).

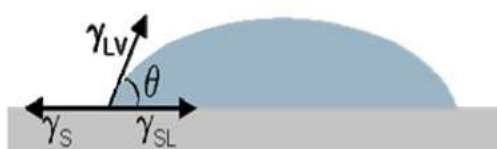
A partir dessas imagens geradas por AFM em 2D, realizou-se a determinação do diâmetro das nanoestruturas formadas. Estas medidas foram obtidas através do software Image J, através da média de vários pontos superficiais medidos para cada amostra.

#### 2.4.2 Interferometria óptica

A rugosidade micrométrica foi determinada utilizando um perfilômetro GT-K. A escala micrométrica da rugosidade da superfície foi determinada pela medição da Sa (Rugosidade Média avaliada sobre a superfície 3D) e a Sz (diferença média entre os cinco picos mais altos e cinco vales mais baixos sobre a superfície 3D).

#### 2.4.3 Molhabilidade

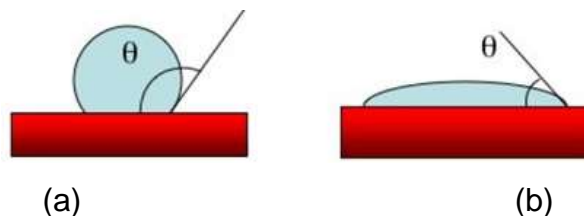
É uma técnica que envolve a medida do ângulo formado na interface líquido-ar-superfície; sendo em específico o ângulo formado entre um plano tangente a uma gota do líquido e um plano contendo a superfície onde o líquido se encontra depositado, conforme Figura 6.



**Figura 6:** Definição de ângulo de contato  $\theta$  entre uma gota líquida e uma superfície plana e horizontal.  $\gamma_S$  e  $\gamma_{LV}$  são a energia de superfície do sólido e a tensão superficial do líquido em equilíbrio com o vapor;  $\gamma_{SL}$  é a energia da interface sólido-líquido [adaptada de <sup>(6)</sup>].

A molhabilidade é um parâmetro que indica o quanto um líquido pode se espalhar sobre uma superfície. Quando uma gota líquida é depositada sobre uma superfície horizontal a molhabilidade estará ligada ao comportamento do ângulo de contato entre a linha tangente à superfície do líquido e esta superfície horizontal. Quando este ângulo de contato estiver acima de  $90^\circ$ , a superfície não molha, ou seja, é considerada hidrofóbica; se o ângulo estiver abaixo de  $90^\circ$ , a superfície molha e será chamada de hidrofílica. Logo, quanto menor o ângulo formado entre a gota e o substrato, mais hidrofílica será a superfície <sup>(7)</sup>.

Uma única superfície pode se comportar de maneira diversa quando em contato com diferentes líquidos; assim para um mesmo fluido pode este apresentar também um comportamento distinto ao estar em contato com diferentes superfícies <sup>(8)</sup>. Abaixo está representada a figura 7, mostrando a diferença em termos de uma superfície hidrofóbica e hidrofílica.



**Figura 7:** Representação do ângulo formado entre a gota e a superfície: (a) Superfície hidrofóbica (b) Superfície hidrofílica [adaptada de <sup>(6)</sup>].

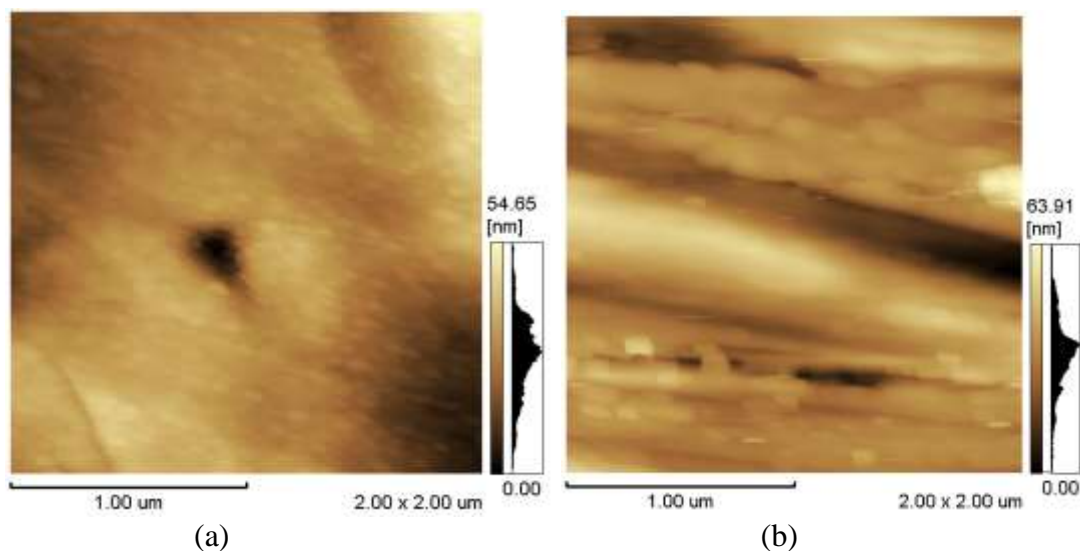
O teste foi realizado pelo método da gota séssil a partir de um aparato desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisa em Corrosão (LAPEC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul que determina o ângulo de contato formado através da interação entre a gota de água e o substrato analisado. Nessa técnica é analisado a maior ou menor capacidade hidrofílica do substrato. O ângulo de contato foi determinado por meio de um programa de análise de imagens adquirido pelo mesmo laboratório citado.

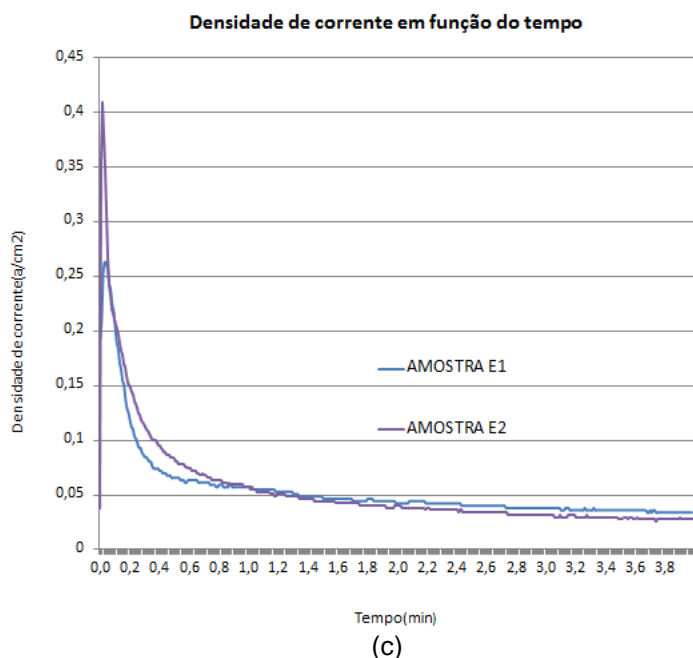
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 8 (c) apresenta o transiente de densidade de corrente das amostras eletropolidas, sendo possível observar que após 1,5 minutos de tratamento eletroquímico a densidade de corrente atinge um platô de estabilidade, indicando a formação de óxido sobre a superfície, da qual contribui para a diminuição da densidade de corrente em virtude do aumento da resistência.

Figura 8 apresenta a morfologia nanométrica das amostras obtida por AFM. A morfologia nanométrica das amostras após tratamento eletroquímico está apresentada na figura 8 (a), sendo possível evidenciar a presença de uma superfície nanoestruturada a partir do óxido formado durante o tratamento eletroquímico. A formação desse óxido durante o tratamento eletroquímico por eletropolimento em Ti6Al4V tem sido reportado por Antonini et al. 2017 <sup>(9)</sup>.

As nanoestruturas formadas sobre as amostras eletropolidas pode estar associada ao fato de que o processo de dissolução anódica prevaleceu em relação a formação de óxido.





**Figura 8:** Imagens 2D por microscopia de força atômica das amostras eletropolidas (a) e amostras lixadas (b) transientes do processo de eletropolimento (c).

Na tabela 3 é possível visualizar os valores de rugosidade nanométrica e micrométrica para as amostras estudadas. Para os resultados apresentados é possível observar que as amostras lixadas apresentaram maiores valores de rugosidade nanométrica  $R_z$  ( $43 \pm 12$  nm), esse aumento da rugosidade indica que antes do eletropolimento as amostras apresentam uma superfície mais irregular em virtude da preparação mecânica. Enquanto que para as amostras eletropolidas os valores de  $R_z$  ( $16 \pm 3$  nm) se apresentaram menores, o que indica que o tratamento eletroquímico exerceu efeito de polimento e comportamento de dissolução anódica sobre a superfície. Su et al. 2015 <sup>(10)</sup> realizou um estudo de superfícies com nanoporous de Ti6Al4V em contato com células-tronco e eles observaram que o melhor crescimento ocorreu em superfícies com rugosidade abaixo de 20 nm. Xing et al. 2014 <sup>(11)</sup> e Fujino et al. 2014 <sup>(12)</sup> também mostraram que superfícies com rugosidade nanométrica entre 13 nm e 16 nm induziram o crescimento de células-tronco. Estes valores de rugosidade nanométrica estão de acordo com os valores de  $R_z$  das amostras eletropolidas ( $16 \pm 3$  nm) apresentados nesse trabalho.

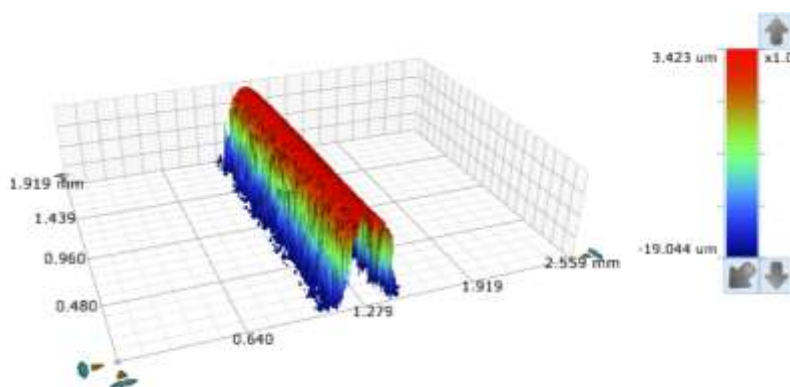
Diferentemente do que foi observado para a rugosidade nanométrica, não foi observado diferença entre os valores de rugosidade micrométrica ( $R_a$  and  $R_z$ ) das amostras eletropolidas e lixadas.

A partir dos resultados de molhabilidade apresentados na Tabela 3 é possível observar mais baixos valores de ângulo de contato em água para as amostras eletropolidas ( $20^\circ \pm 5$ ) comparado as amostras lixadas ( $59^\circ \pm 2$ ). A molhabilidade da superfície pode ter sido influenciada pela rugosidade superficial. As amostras eletropolidas apresentaram a presença de nanoestruturas na superfície além de menores valores de rugosidade nanométrica  $R_z$ , os quais podem ter contribuído para a diminuição no ângulo de contato em água, promovendo o comportamento hidrofílico. De acordo com Kim et al. (2016) <sup>(13)</sup>, menores valores de ângulo de contato foram obtidos sobre a superfície nanoestruturada de titânio. Além disso, foi evidenciado que as amostras eletropolidas apresentaram maiores valores de ângulo de contato em DMEM ( $42^\circ \pm 0,3$ ) e em Kokubo ( $41^\circ \pm 1$ ) do que nas amostras somente lixadas DMEM ( $14^\circ \pm 2$ ) e Kokubo ( $25^\circ \pm 2$ ). Esse comportamento mais hidrofóbico das amostras eletropolidas em DMEM e em solução Kokubo é justificado pelo fato de que na composição química dessas soluções substâncias a base de carbono como aminoácidos no DMEM e trishidroximetil-aminometano (TRIS) na solução Kokubo aumentam o caráter apolar das soluções. Esse caráter apolar acarretaria numa afinidade maior com as superfícies somente lixadas, uma vez que a formação de nanoestruturas tende a tornar a superfície mais hidrofílica e com maior afinidade em soluções de caráter polar, como por exemplo a água.

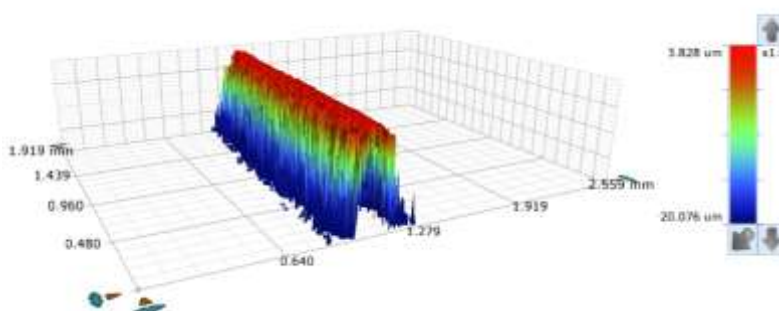
Além disso, o comportamento mais hidrofílico da amostra tratada eletroquimicamente pode ter sido influenciado pela presença de grupos funcionais OH e de grupos  $CF_3$  conforme mostrado nos resultados de composição química superficial por XPS do estudo realizado por Antonini et al. 2017 <sup>(9)</sup>. Tais grupos adsorvidos na superfície da amostra eletropolidada por 4 minutos possuem elementos como O e F, os quais conseguem fazer pontes de H com a água, aumentando a interação dessa superfície com o meio aquoso, o que conseqüentemente a torna com maior molhabilidade quando comparada a superfície eletropolidada por 12 minutos e lixada mecanicamente. Com relação as ligações de hidrogênio, alguns autores <sup>(14,15)</sup> tem destacado que superfícies nanoestruturadas interagem a partir de forças eletrostáticas e forças de van der Waals, das quais podem acarretar na mais alta afinidade da superfície com a adsorção de proteínas, o que iria acarretar no crescimento celular e proliferação celular.

**Tabela 3:** Medidas de rugosidade nanométrica, rugosidade micrométrica.

Sistemas	Rugosidade Nanométrica		Rugosidade micrométrica	
	Ra (nm)	Rz (nm)	Sa (µm)	Sz (µm)
Lixada	8 ± 2	43 ± 12	1,9 ± 0,2	22,8 ± 1,5
Eletropolidas	7 ± 1	16 ± 3	2,0 ± 0,01	20,4 ± 3,5



(a)



(b)

**Figura 9:** Imagem 3D por interferometria óptica das amostras eletropolidas (a) e das amostras lixadas (b).

**Tabela 4:** Medidas de ângulo de contato.

Amostras	Água	DMEM	Kokubo
Lixadas	59° ± 2	14° ± 2	25° ± 2
Eletropolidas	20° ± 5	42° ± 0,3	41° ± 1

## 4 CONCLUSÃO

O tratamento eletroquímico por eletropolimento promoveu a formação de uma superfície nanoestruturada. As amostras eletropolidas apresentaram menores valores de rugosidade nanométrica Rz, indicando que o tratamento eletroquímico

exerceu efeito de polimento e comportamento de dissolução anódica sobre a superfície.

Não foi observado diferença entre os valores de rugosidade micrométrica ( $R_a$  and  $R_z$ ) entre as amostras eletropolidas e lixadas.

A formação de nanoestruturas e menores valores de rugosidade nanométrica  $R_z$  para as amostras eletropolidas podem ter contribuído para a diminuição no ângulo de contato em água, promovendo o aumento da molhabilidade.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi desenvolvido com suporte da CAPES e CNPq, entidades do governo brasileiro focadas na formação de recursos humanos.

## REFERÊNCIAS

- 
- [1] DR. CHRISTOPH LEYENS,; DR. MANFRED PETERS,; Titanium and Titanium Alloys . *Copyright © 2003 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.*
- [2] CARVALHO, D. R.; CARVALHO, P. S. P.; MAGRO FILHO, O.; DE MELLO, J. D. B.; BE-LOTI, M. M.; ROSA, A. L. Characterization and *in vitro* cytocompatibility of an acid-etched-titanium surface. *Braz. Dent. J.*, v. 21, n. 1, pp. 3-11, 2010.
- [3] NISHIGUCHI, S.; NAKAMURA, T.; KOBAYASHI, M.; KIM, H. –M; MIYAJI, F.; KOKUBO, T. The effect of heat treatment on bone-bonging ability of alkali-treated titanium. *Biomaterials*, n. 5, v. 20, pp. 491-500, 1999.
- [4] ISSAC, J.; GALTAYRIES, A.; KIZUKI, T.; KOKUBO, T.; BERDAL, A.; SAUTIER, J. M. Bioengineered titanium surfaces affect the gene-expression and phenotypic response of osteoprogenitor cells derived from mouse calvarial bones. *European Cells and Materials*, v. 20, pp. 178-196, 2010.
- [5] ASTM F136-13, Standard Specification for Wrought Titanium-6Aluminum-4Vanadium ELI (Extra Low Interstitial) Alloy for Surgical Implant Applications (UNS R56401), West Conshohocken, PA, 2013.USA.
- [6] SANTOS. A. R. Efeito da oxidação anódica de titânio comercialmente puro revestido ou não com fibronectina na interface osteoblastos humanos-superfície de titânio. (Tese de Doutorado em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

- 
- [7] BURKARTER. E. Construção de imagens por padrões hidrofóbico/hidrofílico. (*Dissertação de Mestrado em Ciências*). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.
- [8] SHIRTCLIFFE, N. J.; McHALE, G.; ATHERTON, S.; NEWTON, M. I. An introduction to superhydrophobicity. *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 161, pp. 124 – 138, 2010.
- [9] L. M. Antonini, V. Kothe, G. C. Reilly, R. Owen, J. S. Marcuzzo, C. F. Malfatti. Effect of the Ti6Al4V surface morphology on the human embryonic stem cells osteogenic differentiation. *Journal Materials Research*. In Press, 2017.
- [10] Y. Su, S. Komasa, T. Sekino, H. Nishizaki and J. Okazaki, “Characterization and Bone Differentiation of Nanoporous Structure Fabricated on Ti6Al4V Alloy,” *Journal of Nanomaterials*, vol. 2015, pp. 1-12, 2015.
- [11] H. Xing, S. Komasa, Y. Taguchi, T. Sekino, and J. Okazaki, “Osteogenic activity of titanium surfaces with nanonetwork structures,” *International Journal of Nanomedicine*, vol. 9, no. 1, pp. 1741–1755, 2014.
- [12] T. Fujino, Y. Taguchi, S. Komasa, T. Sekino, and M. Tanaka, “Cell differentiation on nanoscale features of a titanium surface: effects of deposition time in NaOH solution,” *Journal of Hard Tissue Biology*, vol. 23, no. 1, pp. 63–69, 2014.
- [13] H.-S. Kim, Y.-J. Kim, J.-H. Jang, and J.-W. Park: Surface engineering of nanostructured titanium implants with bioactive ions. *J. Dent. Res.* 95, 558 (2016).
- [14] Kopf BS, Ruch S, Berner S, Spencer ND, Maniura-Weber K. The role of nanostructures and hydrophilicity in osseointegration: in-vitro protein-adsorption and blood-interaction studies. *J Biomed Mater Res A*. 2015;103:2661–72
- [15] Puleo DA, Nanci A. Understanding and controlling the bone–implant interface. *Biomaterials*. 1999;20:2311–21



## PERFIL TÉRMICO DA CARBONIZAÇÃO DE MADEIRA EM FORNO DE ALVENARIA APLICADO NA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL SIDERÚRGICO

Malta, M.V.S.<sup>1</sup>

Garcia, C.<sup>2</sup>

Oliveira, F. F.<sup>3</sup>

Silva, P.L.B.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Matheus Vinicius Santos Malta, graduando (IFMS), matheus3vinicius@gmail.com

<sup>2</sup> Claudinei Garcia, graduando (IFMS), claudinei.garcia@ifms.edu.br

<sup>3</sup> Dr. Felipe Fernandes de Oliveira, Professor (IFMS), felipe.oliveira@ifms.edu.br

<sup>4</sup> Dra. Paula Luciana Bezerra da Silva, Professora (IFMS), paula.silva@ifms.edu.br

### Resumo

Atualmente, a produção de carvão vegetal no Brasil é realizada por meio do processo de carbonização da madeira, na qual a maior parte é produzida utilizando fornos de alvenaria do tipo JG e rabo-quente. As tecnologias envolvidas oferecem baixo controle de processo e da qualidade do carvão vegetal. O estado de Mato Grosso do Sul vem aumentando sua produção em função da demanda gerada pelo setor siderúrgico. O presente trabalho tem por objetivo avaliar o funcionamento de um sistema de fornos tipo rabo-quente de uma empresa do município de Campo Grande-MS, estudando o perfil térmico gerado no interior dos fornos de alvenaria. As medidas de temperatura foram realizadas utilizando termopares do tipo K acoplados aos registradores de dados (*datalogger*), ao longo do ciclo de carbonização. Foram coletadas amostras de madeira e do carvão vegetal ao final do ciclo. Os resultados mostraram elevado gradiente de temperatura no forno durante a fase inicial de queima, necessária para gerar o calor da carbonização. A fase inicial é influenciada pela umidade da madeira, sendo maior o tempo para madeiras com maior teor de umidade. Além disso, a temperatura interna máxima ( $T = 600^{\circ}\text{C}$ ) ocorre ao final da fase inicial da queima.

**Palavras-chave:** Carbonização; madeira; carvão vegetal.

### THERMAL PROFILE OF WOOD CARBONIZATION PROCESS ON THE HOT TAIL KILNS FOR THE STEELWORKS

#### Abstract

Nowadays, the production of charcoal in Brazil is carried out by means of the process of carbonization of wood, in which the majority is produced using JG and hot tail kilns. The technologies involved offer low process control and consequently low charcoal quality. The state of Mato Grosso do Sul has been increasing its production in function of the demand generated by the steel sector. The present work has the objective of evaluating the operation of a furnace system in the city of Campo Grande-MS, studying the thermal profile generated inside the kilns. The temperature measurements were performed using K type thermocouples coupled to the data loggers on the carbonization cycle. The samples of wood and charcoal were collected. The results showed a high temperature gradient in the furnace during the

initial firing phase required to generate the carbonization heat. The initial phase is influenced by the moisture of the wood, being the time for wood with higher moisture content. In addition, the maximum internal temperature ( $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) occurs at the end of the initial firing phase.

**Key words:** carbonization, wood, charcoal.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil a produção de carvão vegetal é realizada através da pirólise na carbonização da madeira nativa, na qual está representa cerca 60% da produção nacional<sup>(1)</sup>. O produto final do processo de carbonização vem despertando um crescente interesse em todo mundo, sendo este uma fonte vital e muito contemplada de energia. A maior parte do carvão vegetal produzido no Brasil é destinado ao setor siderúrgico, sendo empregados em alto-fornos como fonte principal de carbono para redução da hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) em ferro metálico e devido ao elevado poder calorífico necessário para a fusão do ferro gusa<sup>(2)</sup>. O estado de Mato Grosso do Sul vem sendo um dos principais produtores de carvão vegetal, apresentando elevado crescimento em plantações de eucalipto tanto para produção do carvão como pela fábrica de celulose<sup>(3)</sup>.

Um dos grandes problemas enfrentados na fabricação do carvão vegetal, está relacionado ao controle subjetivo da carbonização da madeira impossibilitando o controle adequado da temperatura interna do forno, prejudicando desta forma a qualidade do mesmo e elevando a produção de madeira semicarbonizada (atiço). O forno “rabo quente” apresenta baixo rendimento gravimétrico, variando de 20 à 28%, devido ao excesso de queima da madeira e de suas características rudimentares, além disso, o rabo quente não possui um sistema para minimizar as emissões poluentes<sup>(5)</sup>.

O carvão vegetal deve apresentar algumas características para que o setor siderúrgico considere de boa qualidade, sendo necessário elevada densidade aparente, teor de carbono fixo de aproximadamente 75%, teor de materiais voláteis no intervalo de 20 a 25%, baixo teor de cinzas e de umidade.

Este trabalho tem por objetivo avaliar o funcionamento de um sistema de fornos do tipo rabo quente de uma empresa produtora de carvão vegetal do estado do Mato Grosso do Sul, monitorando o tempo e temperatura no ciclo de carbonização.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o monitoramento da temperatura do processo de carbonização foi escolhido um forno do tipo rabo quente, empregado por empresa parceira, situada na região rural do município de Campo Grande-MS. Portanto, a primeira etapa foi a realização de visita técnica para avaliar as características construtivas dos fornos, volume interno, número de portas, entre outros pontos observados em estudo de campo.

Posteriormente, o forno escolhido foi preparado com a fixação de termopares do tipo K, em posições próximas as baianas, visando acompanhar as mudanças de temperatura a medida que as mesmas são vedadas. A Figura 1 mostra um esboço das posições dos termopares ao longo do forno estudado. A nomenclatura

empregada nas medidas de temperatura foram topo 1 (T1), baiana 1 (B1), baiana 2 (B2) e baiana 3 (B3). As medidas na posição chamada de tatu não foram realizadas por falta de canais de entrada no *datalogger*, mas a vedação da B3 costuma ocorrer ao mesmo tempo que a vedação completa do forno.

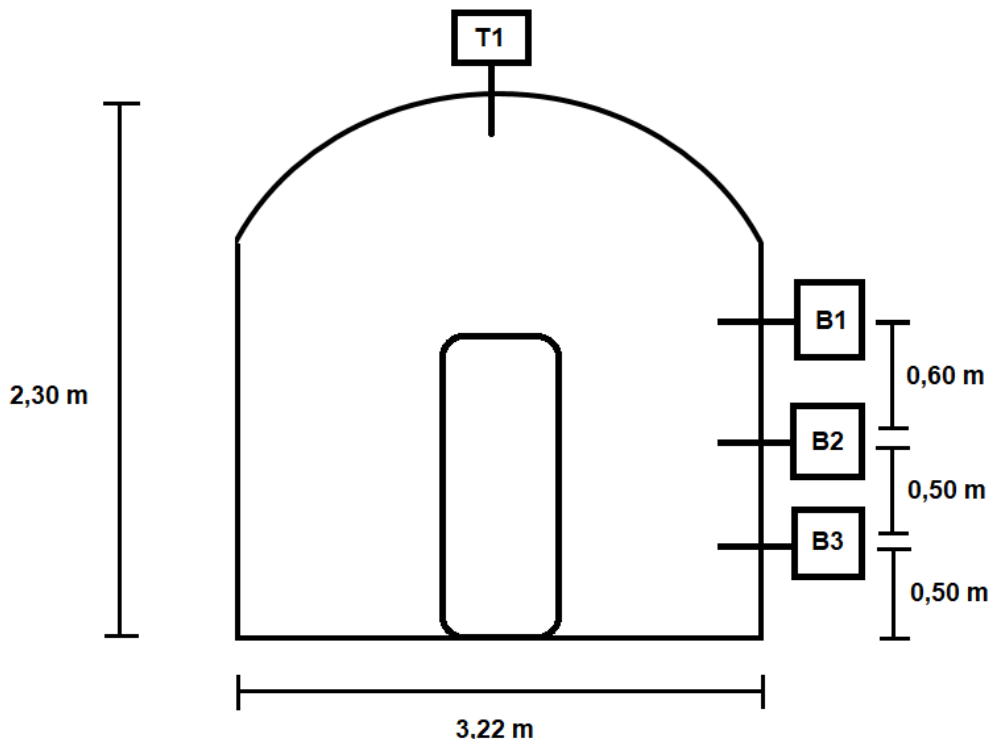


Figura 1 – Imagem da disposição dos termopares e dimensões aproximadas de largura e altura do forno.

Posteriormente, para avaliar a influência da umidade da madeira sobre o perfil térmico ao longo da carbonização, as medidas do termopar da posição B3 foram obtidas para 3 ciclos de carbonização. As medidas de umidade da madeira utilizada em cada ciclo foram correlacionadas com a temperatura e o tempo necessário para alcançar a temperatura máxima.

A morfologia das amostras de madeira e carvão vegetal foram realizadas utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV), da marca JEOL, modelo JSM 6380LV.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 2 (a) e (b) podem ser observadas as características dos fornos estudados, sendo construído com 2 portas, uma para enchimento e outra para a retirada do carvão vegetal. Além disso, os fornos são construídos com 3 linhas de baianas e a linha do tatu (altura do solo). Os fornos do tipo rabo quente apresentam baixo custo de fabricação, mas acabam oferecendo baixo controle de processo.



Figura 2 – Imagem dos fornos estudados: (a) mostra o forno com as linhas da baiana e tatu, e (b) apresenta a região de início da chama para a carbonização.

A Figura 3 apresenta o perfil de temperatura para o forno do tipo rabo quente. Verifica-se elevada diferença de temperatura entre as posições T1 e B3, nas primeiras 24 horas a diferença alcança valores superiores 300°C. Vale ressaltar que o aquecimento é iniciado na parte superior da porta do forno, próximo a posição B1. A medida que o tempo evolui, a frente de chama caminha para a parte inferior devido ao fechamento das baianas posicionadas na altura B1 e posteriormente B2.

A temperatura máxima do processo é atingida após 48 horas, com temperatura de 600°C. Com isso, o forno foi completamente vedado para que a madeira restante seja carbonizada.

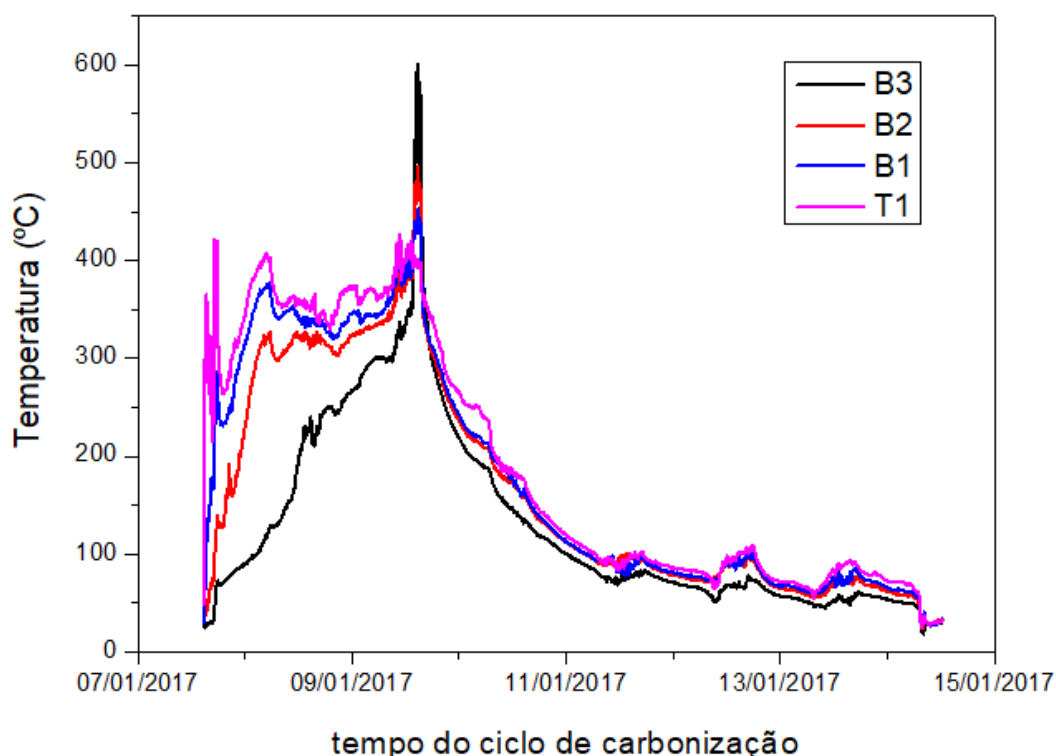


Figura 3 – Imagem da temperatura medida em diferentes pontos do forno do tipo rabo quente durante um ciclo de carbonização.

O resfriamento levou aproximadamente 5 dias para alcançar temperaturas inferiores a 100°C. É possível observar que após o fechamento do forno, a temperaturas nas posições do forno apresentaram um baixo gradiente, evidenciando

que a fase de resfriamento apresentou bom equilíbrio térmico. Em situações adversas tais como presença de trincas ou aberturas no forno, poderíamos detectar aumentos de temperatura localizadas e um alargamento da curva do perfil térmico.

Na Figura 4 é possível verificar a influência do teor de umidade da madeira no processo de carbonização. O ciclo com menor teor de umidade (24,7%) apresenta maior temperatura, bem como menor período de tempo para o completo fechamento do forno, aproximadamente 2 dias. Por outro lado, a medida que se emprega madeiras com elevada umidade, 49,87 e 76,74%, observa um aumento pronunciado no período de tempo necessário para a completa vedação do forno e início da etapa de resfriamento.

Além disso, a temperatura máxima atingida pelo forno diminui com o aumento do teor de umidade. As madeiras com as umidades de 49,87 e 76,74% são consideradas verdes e deveriam ser secas ao ar livre por 60 até 90 dias, visando aumento do rendimento e diminuição do tempo de carbonização.

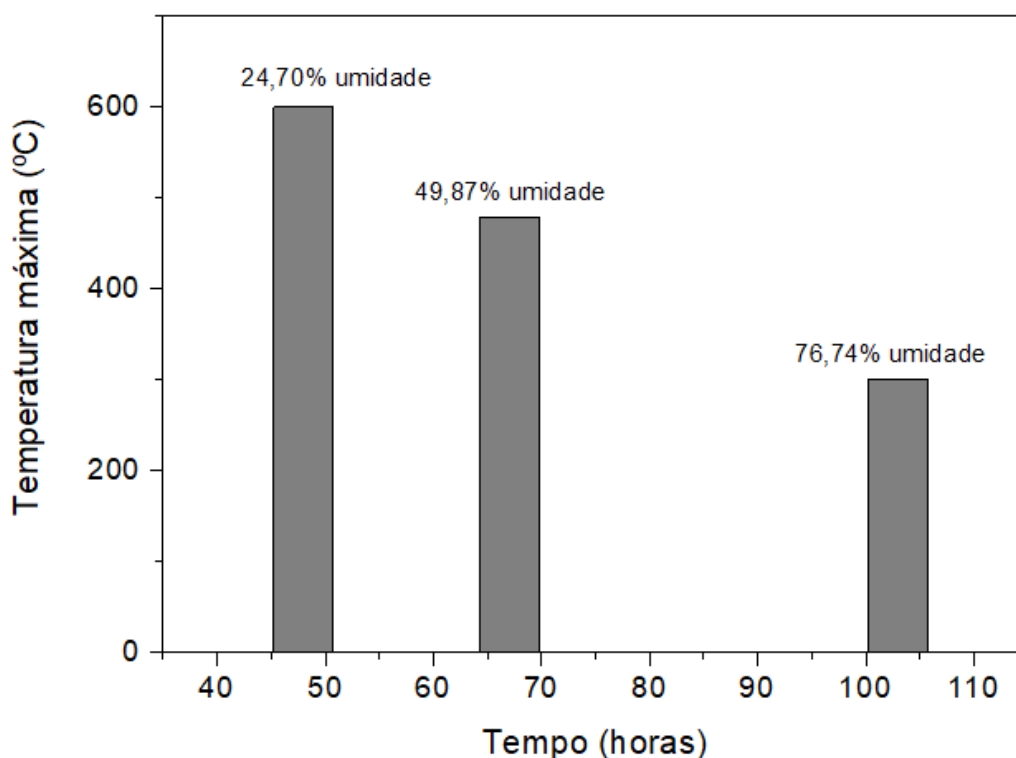


Figura 4 – Influência do teor de umidade da madeira inserida no forno no tempo necessário para alcançar a temperatura máxima do forno.

As amostras de madeira e de carvão vegetal referentes ao ciclo de carbonização mostrado na Figura 3 foram observadas por MEV para o estudo morfológico das amostras. A Figura 5 apresenta a imagem da madeira e do carvão vegetal, respectivamente.

A madeira apresenta aspecto fibroso com diâmetro de fibra de até 40  $\mu\text{m}$ , característica predominante da madeira. Após a carbonização, é possível observar um número enorme de poros ocasionado pela eliminação de material orgânico, decomposto durante o processo térmico. A decomposição da celulose e da lignina são os maiores causadores da formação da elevada porosidade observada<sup>(6-8)</sup>.

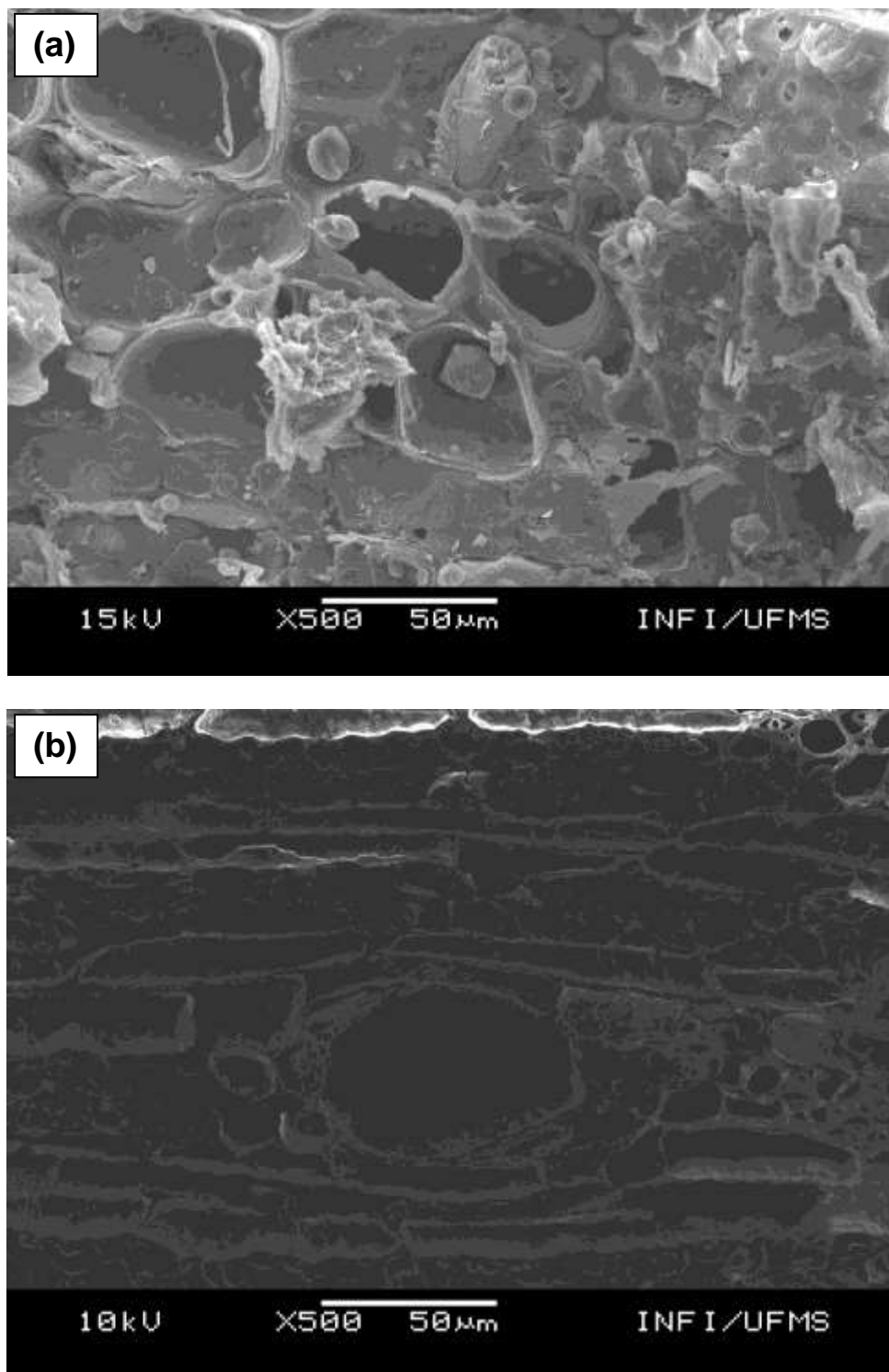


Figura 5 – Imagem de fratura por MEV das amostras de (a) madeira e (b) carvão vegetal coletadas antes e após o ciclo de carbonização.

#### 4 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi possível caracterizar o processo térmico envolvido em forno do tipo rabo quente, sendo observado uma região de aquecimento com alto gradiente térmico interno, um pico de temperatura máximo do forno e um subsequente resfriamento lento do forno. A primeira etapa é fortemente influenciada

pelo teor de umidade da madeira. Além disso, o período de tempo do resfriamento é predominante no ciclo de carbonização da madeira. As imagens de microscopia eletrônica de varredura mostraram a alteração morfológica da madeira para carvão vegetal, verificando elevada porosidade que pode estar associada à decomposição de celulose e lignina da madeira.

## Agradecimentos

Os autores agradecem pelo fomento obtido por meio do edital 006/2016-PROPI/IFMS para a execução do projeto de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em conjunto com a Unidade Produtora de Carvão Vegetal Coqueiro, empresa parceira do projeto. Além disso, aproveitamos para agradecer ao Laboratório Multiusuário (MULTILAM) do Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) pelas imagens de MEV obtidas.

## REFERÊNCIAS

- 1 VITAL, M. H. F. et al. Condições para a Sustentabilidade da Produção de Carvão Vegetal para Fabricação de Ferro-gusa no Brasil. BNDES Setorial. v. 30, p. 261-264, 2009.
- 2 ELYOUNSSI, k. et al. Improvement of charcoal yield by two-step pyrolysis on eucalyptus wood: A thermogravimetric study. Fuel 96, 2012.
- 3 Disponível em: <[http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br\\_carvao.asp](http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br_carvao.asp)> acesso em 10/03/2017.
- 4 MENDES, M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. de. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte: CETEC, p. 74-89, 1982. (Série Técnica, 8).
- 5 COUTO, A. M. et al. Qualidade do carvão vegetal de *Corymbia* e *Eucalyptus* produzido em diferentes temperaturas finais de carbonização. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 817-831, dez. 2015.
- 6 Tsujiyama, S; Miyamori, A. *Assignment of DSC thermograms of wood and its components. Thermochimica acta*, v. 351, n. 1-2, p. 177-181, 2000.
- 7 Delben, J.R.J. et al. *Vacuum pyrolysis of astronium urundeuva. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v 93 n 3, p 915-919, 2008.
- 8 Souza, N.D. et al. Estudo de caso de uma planta de carbonização: avaliação de características e qualidade do carvão vegetal visando uso siderúrgico. *Floresta e Ambiente*, v 23 n 2, p 270-277, 2016.

## APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE P + L EM UMA UNIDADE DE ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO LOCALIZADA EM UMA EMPRESA NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE – ESTUDO DE CASO

De Oliveira, A.P.B.<sup>1</sup>  
Bizani, D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mestre em Avaliação de Impactos Ambientais, Ana Paula Bandeira de Oliveira, Universidade La Salle, [anapbo@hotmail.com](mailto:anapbo@hotmail.com)

<sup>2</sup> Doutor em Ciências Veterinárias, Delmar Bizani, Faculdades Taquara FACCAT [delmib@terra.com.br](mailto:delmib@terra.com.br)

### Resumo

A Unidade de Alimentação e Nutrição (UAN) é uma operação com objetivo de nutrir coletividades. Este segmento alimenta, no Brasil, mais de 9,0 milhões de pessoas/dia, consumindo mais de 3 mil toneladas de alimento/dia e gerando resíduos decorrentes deste processo produtivo. Minimizar resíduos na fonte é uma das ações propostas pela produção mais limpa (P+L) na gestão de tecnologias voltadas para o desenvolvimento sustentável das organizações. Este trabalho foi desenvolvido em uma UAN com atendimento de 300 refeições/dia, em Porto Alegre - RS, com o objetivo de aplicar conceitos de P+L em uma UAN, onde coletou-se resíduos sólidos do processo produtivo deste cardápio, em 5 pontos, durante os meses de outubro de 2015 a março de 2016. Foi realizado monitoramento dos pontos: “não utilizado/vencido”, “pré-preparo” e “preparo comestíveis e não-comestíveis”, “sobra limpa”, “óleo queimado” e “borra de café”. Os dados foram organizados, categorizados e analisados à luz dos conceitos de P+L. O tratamento e análise dos resultados, no qual, dados foram coletados durante 6 meses, gerou 21 sugestões de melhoria, sendo que 4 foram implantadas pela UAN, tais como: a) controle de estoque ajustado a produção; b) aquisição de itens processados para saladas e guarnições; c) monitoramento da saturação do óleo; e, d) planejamento do cardápio com base no perfil do usuário. Os resultados obtidos foram de controle e fiscalização do processo minimizando resíduos, modificação de conduta operacional e adoção de novas práticas produtivas.

**Palavras-chave:** Unidades de alimentação e nutrição. Resíduos orgânicos. Produção mais limpa.



## APPLICATION OF THE CONCEPTS OF CLEANER PRODUCTION IN A FOOD AND NUTRITION UNIT LOCATED IN A COMPANY IN THE MUNICIPALITY OF PORTO ALEGRE - CASE STUDY

### Abstract

The nutrition and alimentation unit (UAN) is an area conjunct which has the purpose of operating the nutritional provision of collecting. The UANs this segment feeds, in Brazil, a

number over than 9.0 million meals/day. Consuming more 3 tons of food/day and creating leftovers caused by this productive process. Minimizing leftovers from the source is one of the actions offered by cleaner production (cp) on the management of technology according to the sustainable developing of organization. This project was develop in a UAN which makes 300 meals/day, in the city of Porto Alegre – rs, wich goal is to apply cp concepts in an UAN. Where was collected solid leftovers from this productive process of a menu, in 5 parts, during the months of October 2015 and march 2016. It was monitored the points: not utilized/expired, pre-prepare and comestible prepare and not comestible, clean leftover, burnt oil and coffee grounds. The data was organized, categorized and analyzed under the CP conception. The processing and analysis of the results from this project, in which, data was collected during 6 months created suggestions of improvements, given that 4 were implanted by UAN, such as: a) inventory control set to production; b) acquisition of processed items for salads and garnishes; c) oil saturation monitoring; and, d) menu planning based on the user profile. The results were of process control and inspection, minimizing leftovers, change of operational behavior and acquisition of new productive practices.

**Key words:** nutrition and alimentation unit, organic waste, cleaner production.

### 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, segundo dados da Associação Brasileira das Empresas de Refeições Coletivas (ABERC, 2009), o mercado de refeições coletivas, como um todo, forneceu 9,4 milhões de refeições/dia.

Devido esta demanda o setor é responsável por geração significativa de resíduos, principalmente orgânicos, geração de efluentes e consumo de água e energia elétrica. Estes impactos comprometem solo, recursos hídricos e atmosfera.

A atividade possui expressiva movimentação econômica e baseia-se sua matéria prima em alimentos, das mais diferentes categorias. Consome diariamente volume de 3,0 mil toneladas de alimentos e representa para os governos receita de um bilhão de reais anuais entre impostos e contribuições (ABERC, 2009).

Esta abordagem fundamenta-se na compreensão de que avaliação dos processos nela desenvolvidos são fundamentais para o desempenho superior, “[...] encontrando equilíbrio apropriado entre crescimento econômico e preservação dos

recursos naturais, objetivo conhecido como desenvolvimento sustentável”(TOMAS; CALLAN, 2007, p. 24).

A ferramenta inicial do processo produtivo da Unidade de Alimentação e Nutrição (UAN) é o cardápio, onde este “[...] serve como instrumento gerencial do restaurante. A partir de seu planejamento, podem ser dimensionados os recursos humanos e materiais, controle de custos, o planejamento de compras”, (ABREU; SPINELLI, 2009) e também recursos naturais a serem utilizados e geração de resíduos deste processo. Neste cenário, a contribuição da, P+ L apresenta um processo de melhoria contínua, o qual visa tornar a atividade produtiva menos danosa ao meio ambiente, tendo como mecanismo fundamental para realização das melhorias não apenas as tecnologias, mas também uma mudança de gestão da empresa e das pessoas envolvidas nos processos (SENAI/RS, 2003).

A referida abordagem propõe [...] a gestão chamada “fim de tubo”, é extremamente ineficiente, pois ocasiona o desperdício e perda das matérias-primas no processo e em seguida, o incremento do custo para disposição dos resíduos gerados em função do mesmo processo produtivo. A mudança de foco é fundamental (MENDES, 2009).

Segundo o Centro Nacional de Tecnologias Limpas (SENAI/RS, 2003), reduzindo resíduos e emissões, também diminuem custos com gerenciamento dos resíduos. Enfatizar ganhos em produtividade, colaborando indiretamente com o bem-estar do trabalhador.

Dados revelam que há perda relevante no processo produtivo da refeição coletiva. Os números expõem, que estabelecimentos jogam fora cerca de 15% do que é preparado para atender aos usuários, equivalente a 5% de faturamento bruto. Outros podem perder 50% de tudo aquilo que produz, representando 15% do faturamento mensal (ABRASEL apud BRADACZ, 2003, p. 13).

Desde a recepção de matérias-primas até a distribuição do alimento pronto para o consumo existem diversos tipos de controle em uma UAN. Em cada etapa do processo, controles específicos garantem maior praticidade, gera o fluxo de trabalho e chega o mais perto possível, do ideal dentro das condições gerais de desenvolvimento de tarefas (PROENÇA, 2005).

Comparar, analisar e avaliar a execução e o desempenho dos serviços da UAN, o controle de inúmeras tarefas, ou seja, quantidade, qualidade, nível de estoque, prazos, custos, características dos produtos e serviços, higiene e, etc. (PROENÇA, 2005). Sem estas informações não há controle sobre os processos de produção. Esses registros são fundamentais para serem implantadas medidas de racionalização, redução de desperdícios e melhora da produtividade (ABREU; SPINELLI; ZANARDI, 2003).

Segundo o CNTL (2008), a P + L, significa aplicação de uma estratégia ambiental, técnica e econômica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não – geração, minimização ou reciclagem dos resíduos gerados, com benefícios ambientais e econômicos para os processos produtivos.

O conceito P + L considera a variável ambiental em todos os níveis da organização, desenvolvimento de produtos e processos, melhoria dos processos já existentes, objetivando a redução dos impactos ambientais negativos gerados como um todo, relacionando as questões ambientais com ganhos econômicos para toda a empresa (CNTL, 2008).

Os benefícios desse conceito ocorrem por ações que buscam reduzir e eliminar os desperdícios dos processos, minimizar ou eliminar matérias – primas e insumos impactantes negativamente para o meio ambiente, gerando mais produtos e menos resíduos, redução de resíduos e emissões eficiência energética, produtos e embalagens, diminuição de passivos ambientais, melhorias na saúde e segurança no trabalho (CNTL, 2008).

O trabalho teve como objetivo geral aplicar conceitos de P + L numa Unidade de Alimentação e Nutrição para a redução do impacto ambiental dos recursos utilizados e dos resíduos gerados, durante o processo de fabricação da refeição final, especificamente em nível 1, conforme CNTL ( 2003 ) determinado pela minimização de resíduos e emissões, redução na fonte , modificação de processo e produto.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 MÉTODOS**

### **2.1.1 Delineamento da pesquisa**

O tema abordado neste trabalho trata da minimização de resíduos na unidade de alimentação e nutrição utilizando conceitos de P + L, buscando soluções racionais e sustentáveis para a produção de refeições. Define-se como um estudo de alternativas para a realização de novos processos, que minimizem agressões ao meio ambiente, otimizando o processo produtivo.

### **2.1.2 Unidade de análise**

#### **2.1.2.1 Localização**

O trabalho de pesquisa foi realizado em Unidade de Alimentação no município de Porto Alegre. Optou-se por esta UAN, visto que o cliente contratante possuía certificação ambiental e tem o assunto como valor em sua organização. E este processo produtivo contemplava os requisitos da legislação sanitária pertinente.

#### **2.1.2.2 Capacidade de atendimento**

A pesquisa foi realizada e desenvolvida, em UAN cujo serviço é *self-service*, com porcionamento apenas da proteína e que atende diariamente, em média, 300 clientes no horário do almoço das 11h00min às 14h00min. O cardápio foi caracterizado como de médio custo possui 3 opções de proteína, 2 guarnições, 5 tipos de saladas, como sobremesa: fruta, doce e ou gelatina.

### **2.1.3 Coleta de dados**

Os pontos de coleta de dados estão citados no fluxograma de produção de refeições abaixo citado, juntamente com os procedimentos para coleta de dados para a produção deste trabalho estão descritos a seguir:

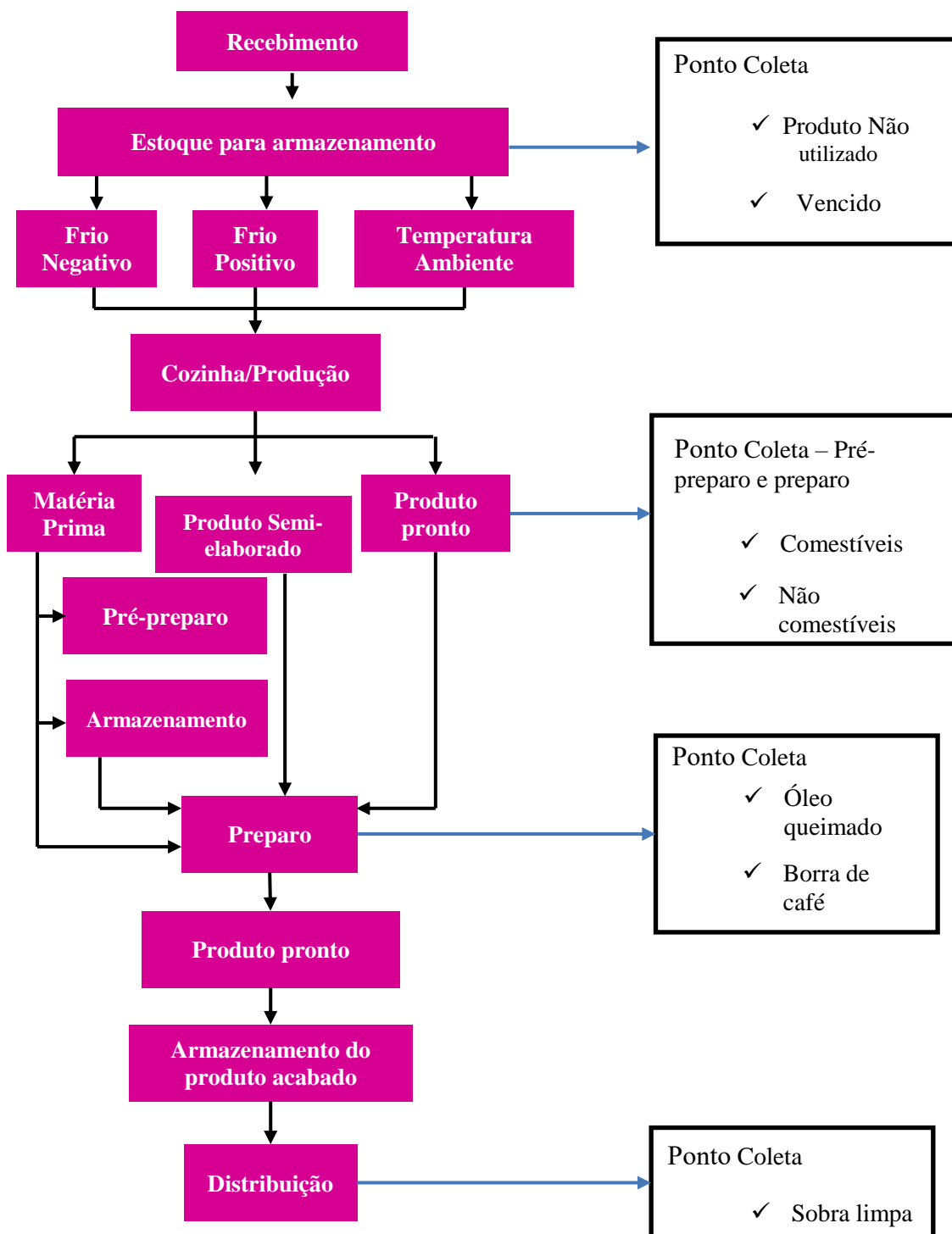


Figura 1- Localização dos Pontos de Coleta no Fluxograma Linear de produção

### **2.1.3.1 Análise de documentos**

Foi analisada a documentação referente ao processo produtivo da UAN e sua geração de resíduos no período de 18 meses entre outubro 2015 a março 2016.

### **2.1.3.2 Observações**

A sequencia metodologia apresentada no trabalho, detalha os conceitos dos diversos tipos de resíduos gerados neste processo produtivo, tais como:

- a) Conceito dos tipos de resíduos gerados;
  - Produto Não – Utilizado: define-se pela matéria – prima adquirida e não utilizada dentro de seu ciclo de vida. Por diversos motivos como: alteração de cardápio por solicitação do cliente, problemas com equipamentos, alteração do volume de serviços, impossibilidade de utilização por dificuldades de mão de obra.

Segundo GRSA (2015) oportunidade óbvia para reduzir resíduos em uma unidade é evitar, receber alimentos que não possam ser consumidos, base em conferência de todas as informações necessárias para que o recebimento ocorra de maneira adequada.

- Vencido: produto não utilizado dentro de seu prazo de validade, devendo ser descartado imediatamente sujeito à infração sanitária.

Descrito por GRSA (2015) para qualquer tipo de matéria prima, em qualquer condição de armazenamento, deverá ser adotado o critério para controle físico, onde o primeiro a vencer é o primeiro a sair (PVPS). Este item será controlado através da data de validade do produto. Os prazos de validade deverão ser verificados, a fim de evitar desperdício e manutenção em estoque de produtos vencidos. Alimentos deteriorados ou com prazo de validade vencido devem ser prontamente desprezados, bem como aqueles que apresentarem alterações na embalagem ou produto. A presença de produtos vencidos em estoque ou entregues aos consumidores caracteriza infração sanitária e crime contra as relações de consumo.

- Sobra Limpa: alimento pronto não distribuído, incluindo sobre dos buffets e de estufas tipo *passtrough* (equipamento de armazenamento intermediário) e ou banho-maria.
- Pré-preparo e Preparo (comestíveis e não-comestíveis): são resíduos gerados no preparo do cardápio de cada dia, nas áreas de pré-preparo e preparo de saladas, sobremesas, cocção e açougue: folhas, cascas, talos de legumes e frutas que não serão utilizados nas preparações, restos dos recipientes usados para cocção (CARVALHO 2011).
- Óleo de fritura: “óleo utilizado [...] nas preparações de frituras e que deve ser desprezado”. (CARVALHO, 2011, p. 37).

Segundo GRSA (2013, p. 1, módulo 3), um litro de óleo pode contaminar cerca de 1 milhão de litros de água (volume suficiente para consumo de uma pessoa por um período de 14 anos).

Assim, de acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2004) em sua NBR - 10.004 o óleo lubrificante usado é classificado como resíduo perigoso, Classe I e os resíduos de restaurante (restos de alimentos) estão na Classe II, resíduos não perigosos. No entanto, não se tem uma classificação clara para os óleos de fritura.

Avaliando seus impactos, pode-se dizer que se trata de resíduos perigosos, mas a legislação não o classifica nessa categoria (BOTARO, 2009).

O óleo não deve ser descartado na rede pública de esgoto, estes devem ser acondicionados em recipientes próprios e entrar em contato com empresas, órgãos ou entidades licenciados pelo órgão competente da área ambiental. Como os colaboradores das Unidades de Alimentação e Nutrição trabalham com o processo de fritura diariamente, eles precisam ser frequentemente melhor informados de onde e como um processo pode ser modificado para minimizar a geração de resíduos e a emissão de poluentes (BOTARO, 2009).

A literatura, no levantamento realizado, não registra nenhuma investigação que descreva a quantidade do descarte do óleo de fritura em RI. “[...] No restaurante estudado, o óleo de fritura é utilizado para preparo por três vezes e, logo após, é descartado em galões identificados com o nome do produto, setor do RI que gerou este resíduo, data e origem do produto, e armazenados na câmara-fria do lixo”. (CARVALHO, 2011, p. 54).

- Borra de café: são escassos os dados publicados sobre a reutilização de variedades de café. Visando aos compostos de valor agregado de extração, bibliografias mostraram que este resíduo de café constitui uma boa fonte de antioxidantes e fibras dietéticas e pode ser considerado como um novo ingrediente funcional (CRUZ, 2014);
- Monitorou-se e mediu as quantidades de resíduos gerados pela unidade, através de pesagem diária em recipiente específico, no período de 6 meses, outubro de 2015 a março de 2016;
- Horário de coleta: durante expediente de preparo do cardápio do dia (aproximadamente das 07 às 17 h);
- Cada ponto de coleta, contou com um recipiente específico em acrílico com capacidade de 14 kg;
- Mensurou-se o desperdício em planilha excel a ser preenchida manualmente;
- Efetuou-se consolidação, acompanhamento da coleta e análise os dados.

## **2.2 MATERIAL**

- a) Cardápio: descrito semanalmente, com as preparações servidas para o cliente, construído com informações do contrato de fornecedor x cliente, necessidades nutricionais do público-alvo, avaliação de custos, informativo de número e nome dos pratos a serem servidos, planejamento de etapas anteriores ao dia que este foi servido, dimensionamento de equipamentos e mão de obra disponíveis para a produção do mesmo;
- b) ficha de requisição diária: descritivo das receitas com dados per capita e volume total de itens necessários para produção de determinada receita, monitoramento de informações de itens ofertados a maior e ou menor, conforme características do estoque do dia;
- c) balança plataforma Toledo 2099 Bateria Std, capacidade de 300 kg;
- d) controles de entrada e saída de itens de estoque: procedimento onde a equipe estoque disponibiliza no dia anterior a quantidade de cada preparação para o cardápio do dia seguinte;
- e) treinamentos aplicados diariamente, semanal e mensalmente à equipe: materiais de treinamento diários, com assuntos de segurança alimentar boas



práticas de manipulação, meio ambiente, segurança do trabalho atendimento ao cliente, relacionamento interpessoal e demais assuntos que objetivam formar e qualificar o manipulador de alimentos;

f) planilha impressa em folha A4 ,de monitoramento de resíduos;

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Destinação dos resíduos**

Reunir os dados obtidos durante a pesquisa foi fundamental para identificar oportunidades de minimização de resíduos, avaliar oportunidades de modificar processo e propor boas práticas.

Os resíduos gerados nos pontos de coleta são armazenados em container específico para resíduo orgânico, localizado numa área dentro da planta da empresa cliente. A área possui barreiras físicas para controle de pragas e este local é de uso exclusivo para destinação de resíduos.

O recolhimento dos resíduos orgânicos ocorre três vezes na semana, por empresa contratada, onde são encaminhados para aterro sanitário municipal.

O óleo queimado fica armazenado em tonel azul, com identificação da empresa coletora e na presença de um dique de contenção, conforme determina a legislação ambiental. Seu recolhimento é quinzenal.

Segundo estudos apontados por CNTL (2003), uma série de barreiras potenciais é identificada e que estas podem impedir ou retardar a adoção de P+L nas empresas, dentre elas destacam-se: falta de percepção do potencial papel positivo da empresa na solução dos problemas ambientais, abrangência limitada das ações ambientais dentro da empresa, dentre outras são identificadas.

#### **3.2 Perfil dos resíduos gerados em cada etapa, durante os meses de outubro de 2015 a março de 2016**

A quadro 1 traça o perfil da evolução dos resíduos - alvo deste estudo. No período, foi gerada mais de uma tonelada de resíduos, sendo o pré-preparo e preparo a área mais significativa.

Nas demais áreas foram gerados, segundo os dados:

- ✓ 90 kg - Não utilizado/vencido
- ✓ 82 kg - Borra de café
- ✓ 395 kg - Sobra limpa
- ✓ 372 litros - Óleo de fritura

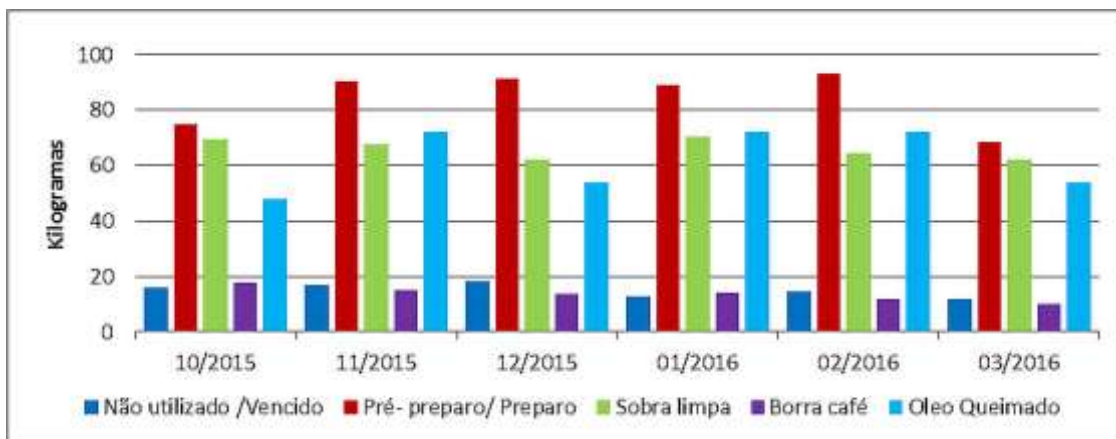
A análise dos dados obtidos, que traça o perfil apontado quadro 1, sugere que a sensibilização da equipe, as oportunidades de minimizar a geração de resíduos na fonte, as alterações de processo, a adoção de boas práticas são ações que permitiram a decisão de investirem P + L.

Portanto, é possível minimizar a geração de resíduos, buscar eficiência em uso de recursos naturais e gerar melhorias sustentáveis em longo prazo (CNTL, 2008).

A etapa de pré-preparo é a que produz a maior quantidade de resíduo em massa, representa o resíduo em 47% do volume coletado durante a pesquisa.

De igual importância, porém com menor impacto, o óleo queimado é um fator a ser considerado. Um maior controle no uso da fritadeira, análise crítica da utilização de frituras, são ações a serem revistas pelo gestor do processo com benefícios econômicos e ambientais “[...] como custo da má qualidade, citamos custos dos equipamentos, seja em más condições , subutilizados ou utilizados de forma inadequada”. (ABREU, 2009, p. 39).

A falta de gestão ou gestão inadequada e os dados coletados na sobra limpa necessitam uma análise apurada sobre o planejamento do cardápio e o perfil de consumo do usuário. De acordo com Abreu (2009) controlar consiste em comparar a execução com o planejamento dos objetivos fixados e com os resultados obtidos.



**Quadro 1.** Perfil dos resíduos gerados em cada etapa, durante os meses de outubro de 2015 a março de 2016.

Porém os resultados obtidos neste estudo indicam que ações de intensificação da gestão e modificação do comportamento da equipe de trabalhadores, são fatores importantes para reverter este cenário conforme dito por CNTL (2003, p. 39) “[...] P+L tem seu foco voltado a uma estratégia de reduzir continuamente a poluição e impactos ambientais através de reduções na fonte – eliminando os resíduos dentro do processo ao invés de tratá-los após terem sido gerados”.

## 4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que esta UAN, avançou em quantificar seus resíduos e sensibilizar sua equipe para o impacto ambiental gerado.

Obteve-se nos pontos de coleta, durante o período, a geração de 1.075 kg para o atendimento à 34.736 refeições.

Para o ponto de coleta não utilizado/vencido obteve-se redução de 45 % na geração de resíduos. Comparando-se o mês com maior número de quilos encontrados, frente ao mês com menor valor.

No ponto de coleta sobra limpa, existiu variação de 12% na geração de resíduos mensais, importante ressaltar que este ponto de coleta reflete diretamente a perda financeira da refeição produzida e não faturada.

Deve-se iniciar, a partir do Profissional Nutricionista, a sensibilização no uso de recursos naturais, assim como a análise crítica do processo produtivo, a fim de minimizar a geração de resíduos.

Identificaram-se pontos de geração de resíduos determinados pelo processo produtivo e aprofundou-se o conhecimento no perfil das matérias-primas, em procedimentos de monitoramento e controle. A partir desta identificação, aplicaram-se conceitos de P+L para a minimização de resíduos.

Um benefício que pode ser observado foi à mudança na gestão e rotinas da área de compras/estoque e armazenagem, com definições claras de procedimentos, tarefas e objetivos.

Salienta-se que a UAN entendeu a importância de planejar e executar seu cardápio, buscando minimizar resíduos; como ação resultante de mudanças técnicas, organizacionais, conceituais e tecnológicas.

As boas práticas propostas tais como elaboração do cardápio com requisitos de análise, busca de maior produtividade do óleo utilizado na fritadeira, destinação correta da borra de café, serviram para minimizar resíduos no processo, cumprindo o objetivo do nível 1 de P+L.

As boas práticas apoiam a UAN no objetivo de minimizar o resíduo gerado e trazem resultados que podem ser aplicados a outras UAN's.

A maior dificuldade encontrada foi à variedade de insumos contabilizados no ponto de coleta pré-preparo/preparo (ossos, cascas, aparas, talhos, caldos, raspas) reunidos em um único dado, onde tivemos uma variação de 34% no resíduo gerado, influenciado pelos meses onde adquiriu-se itens já processados. Futuramente, pode-se subdividir a área de processo à qual a matéria-prima pertence, a fim de individualizar o dado coletado.

Portanto, conclui-se que utilizar ferramentas de P+L é uma ação que a médio e a longo prazo proporcionará benefícios de ordem social, ambiental e econômica. Através da aplicação dos conceitos de nível 1 de P + L, embasou-se a avaliação da minimização da geração de resíduos, trazendo ganhos de produtividades e custos.

Percebeu-se ao longo da pesquisa a oportunidade de dar continuidade aos estudos da metodologia de P+L, em estudos futuros na produção de refeições, onde sugere-se a análise energética do processo produtivo, avaliando possíveis perdas e buscando maior eficiência e menor consumo do recurso natural.

## **Agradecimentos**

Agradecemos ao Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes - UNISINOS, pelo apoio durante a realização da pesquisa e incentivo na continuação dos estudos.

Agradecemos ao IFSul Sapucaia do Sul , pela realização do evento.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 ABERC. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE REFEIÇÕES COLETIVAS. Manual de práticas de elaboração e serviços de refeições para coletividade. 9. ed. São Paulo: ABERC, 2009.
- 2 THOMAS, J.M; CALLAN, S.J. Economia Ambiental: aplicações, políticas e teoria. São Paulo: Cengage Learning, 2007.
- 3 ABREU, E. S; SPNELLI, M. G. N. Avaliação da Produção. In: ABREU, E. S; SPNELLI, M. G. N; PINTO, A M. Gestão de Unidades de Alimentação e Nutrição: um modo de fazer. 3. ed. São Paulo: Metha, 2009. p. 107 - 118
- 4 SENAI./RS. SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL/RS. Centro Nacional de Tecnologias Limpas. Implementação de Programas de Produção mais Limpa. Porto Alegre: SENAI-RS/UNIDO/INEP, 2003.
- 5 MENDES, Fabiana Amaral Rodrigues. Produção Mais Limpa. [2009]. Disponível em: <[www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/abrirPDF/929](http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/abrirPDF/929)>. Acesso em: 07 jun. 2015.
- 6 ABRASEL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BARES E RESTAURANTES. 2012. Disponível em: <<http://www.abrasel.com.br/>>. Acesso em: 05 mar. 2016.
- 7 PROENÇA, R.P.C. et al. Qualidade nutricional e sensorial na produção de refeições. Florianópolis: UFSC, 2005.
- 8 ABREU, E. S.; SPINELLI, M. G. N.; ZANARDI, A. M. P. Gestão de Unidades de Alimentação e Nutrição: um modo de fazer. São Paulo: Metha, 2003.
- 9 CNLT. CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS. Produção mais limpa em padarias e confeitarias. Porto Alegre: Senai/Fiergs, 2008.
- 10 GRSA. Manual de Boas Práticas. São Paulo, 2015.
- 11 CARVALHO, Rita de Cássia Reis. Método para Determinação de Indicadores de Geração de Resíduos Sólidos em Restaurantes Industriais de Grande Porte. 2011. 105 f. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário de Araraquara, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Dinâmica Regional e Alternativas de Sustentabilidade, Araraquara - SP, 2011. Disponível em: <[http://www.uniara.com.br/arquivos/file/cursos/mestrado/desenvolvimento\\_regional\\_meio\\_ambiente/dissertacoes/2011/rita-de-cassia-reis-carvalho.pdf](http://www.uniara.com.br/arquivos/file/cursos/mestrado/desenvolvimento_regional_meio_ambiente/dissertacoes/2011/rita-de-cassia-reis-carvalho.pdf)>. Acesso em: 05 dez. 2015.
- 12 ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10004:2004: classificação de resíduos sólidos. São Paulo, 2014. 71 p.
- 13 BOTARO, Flavia Alessandra da Silva. Minimização do Resíduo de Óleo de Soja de Frituras de Unidades de Alimentação e Nutrição. 2009. 101 f. Tese

- (Doutorado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Faculdade de Engenharia, Ouro Preto, 2009. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/3326>>. Acesso em: 10 fev. 2016.
- 14 CRUZ, Rebecca. Coffee by-Products Sustainable Agro-Industrial Recovert and Impacton Vegetables Quality. 2014. 117 f. Tese (Doutorado) – Universidade do Porto, Faculdade de Farmácia, Porto, 2014. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/76762/2/102682.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2016

## CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE AEROGERADOR DE EIXO SAVONIUS

*Gabriel Petraglia*<sup>1</sup>;  
*Edmilson Domanski*<sup>2</sup>;  
*Leticia Rech*<sup>3</sup>;  
*Fidel Espinoza*<sup>4</sup>;  
*Marcos Espinoza*<sup>5</sup>

### Resumo

Este trabalho tem como objetivo construir um protótipo de turbinas eólicas de eixo vertical do tipo Savonius utilizando materiais de fácil acesso e disponíveis no mercado. Neste gerador a estrutura foi montada de tubos de aço com diâmetro de 3/4 de polegada e estrutura de um paralelepípedo de 131cm x 53,5cm x 53,5cm. As pás foram construídas de ferro galvanizado de 1 mm de espessura e foram colocados dois conjuntos de pás - cada um com duas pás e um acima do outro, com defasagem de 90° entre eles. A estrutura foi montada de tal modo que a turbina como um todo possa ser mudada de lugar facilmente para que seja possível realizar testes em vários locais e com isto experimentar vários tipos de ventos. A conexão da turbina eólica com o gerador é feita por meio de duas polias com tamanhos diferentes interligadas por meio de uma correia. O grande problema em utilizar um gerador comercial é que estes necessitam de altas rotações, entretanto as turbinas eólicas Savonius possuem alto torque com baixas rotações. Para o projeto, foi adaptado um dínamo de bicicleta de 16 volts e 8 watts de potência. Os testes para o cálculo da potência do dínamo foram feitos em um torno mecânico, em rotações variadas e os dados coletados com a ajuda de um multímetro. Depois de realizadas todas as medições, o dínamo foi conectado ao protótipo juntamente com as demais partes que o compõe, finalizando a turbina Savonius.

**Palavras-chave:** Energia Eólica; Protótipo; Turbina; Savonius.

### BUILDING AN AXIS WIND TURBINE SAVONIUS PROTOTYPE

#### Abstract

This work aims to construct a prototype of wind turbines of vertical axis of the type Savonius using materials of easy access and available in the market. In this generator the structure was assembled of steel tubes with 3/4 inch diameter and a parallelepiped structure of 131cm x 53.5cm x 53.5cm. The blades were constructed of 1 mm thick galvanized iron and two sets of blades were placed - each with two blades and one above the other, with a 90 ° gap between them. The structure has been assembled in such a way that the turbine as a whole can be easily moved so that it is possible to perform tests in various locations and thereby experience various types of winds. The connection of the wind turbine to the generator is made by means of two pulleys of different sizes interconnected by means of a belt. The big problem in using a commercial generator is that they need high rotations, however the Savonius wind turbines have high torque with low rotations. For the project, a 16-volt, 8-watt bike dynamo has been adapted. The tests for calculating the power of the

dynamo were made in a lathe, in varied rotations and the data collected with the help of a multimeter. After all measurements were taken, the dynamo was connected to the prototype along with the other parts that made it, finishing the Savonius turbine.

**Key words:** Wind Energy; Prototype; Turbine; Savonius.

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo principal construir um protótipo de turbinas eólicas de eixo vertical do tipo Savonius utilizando materiais de fácil acesso e disponíveis no mercado. Para a construção de um protótipo de um aerogerador de modelo Savonius em formato S, utilizamos materiais mais acessíveis no mercado, mas que ao mesmo tempo apresentem condições adequadas ao funcionamento. Para a montagem será analisado um gerador que seja leve de modo a não exigir muito força da turbina, mas que ao mesmo tempo gere energia, capaz de acender lâmpadas, carregar baterias e celulares.

Somos dependentes de energia de forma que podemos definir como sendo um dos assuntos mais importantes da atualidade. Todo país que se preocupa com o desenvolvimento precisa ter boa política energética e planejamento. O petróleo até hoje é a principal fonte energética mundial e, nas últimas décadas tem diminuído a abundância de suas reservas. Estão sendo encontrados grandes problemas ambientais que também colocam em risco a segurança energética, problemas em hidroelétricas quando eles são utilizados como fontes de energia e as mesmas sofrem com os períodos de estiagens (BRAGA, 2005).

As pesquisas em fontes alternativas como a eólica só começou a ganhar força a partir da década de 70 com a crise do petróleo (TOMASQUIM, 2003).

As turbinas aerogeradoras surgiram tornando possível fazer o aproveitamento cinético dos ventos convertendo-o em energia mecânica e através de um gerador de energia alternado gerando energia elétrica. Esta energia é retificada e utilizada para carregar baterias e demais fins (ANEEL, 2012).

O potencial eólico do Brasil é um dos maiores do planeta e mesmo assim esta fonte alternativa de energia ocupa apenas aproximadamente 4% da matriz energética do Brasil (FARRET, 1999). As turbinas eólicas mais conhecidas são as de eixo vertical como Darrieus e Savonius e, de eixo horizontal, as tradicionais turbinas de três pás fixada em ângulo de 120° uma com a outra (WOLFGANG, 1981).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS/METODOLOGIA

A Figura a seguir mostra o projeto do gerador Savonius de eixo vertical que foi desenvolvido.



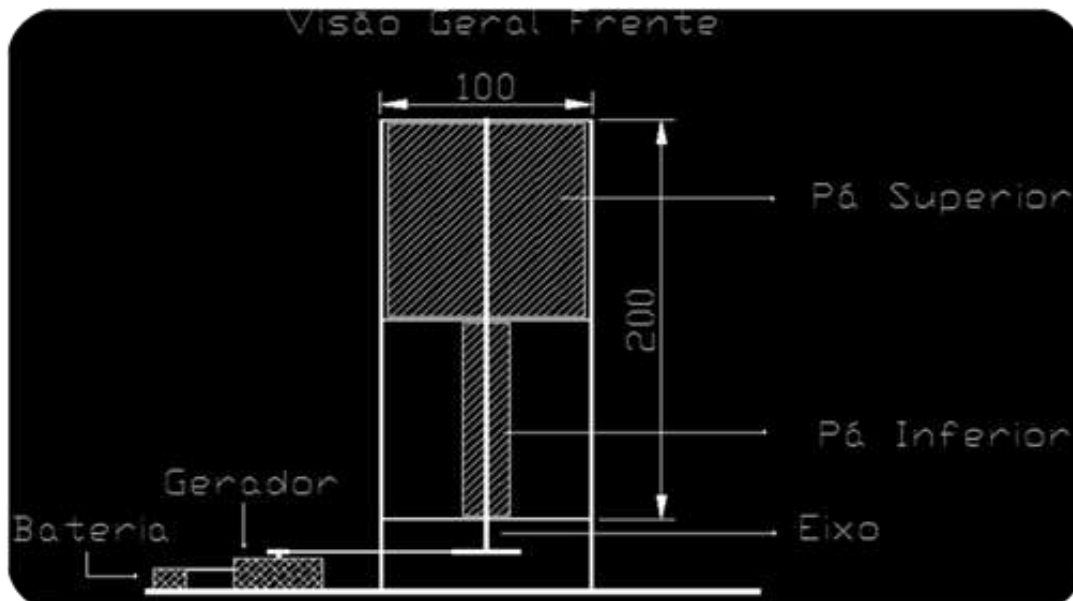


Figura 1 – Desenho do protótipo construído

### 2.1 Materiais Empregados na Construção do Gerador

- Dezessete metros de tubos metálicos de 1,90 cm de diâmetro.
- Três mancais de rolamento com 7,0 cm de diâmetro externo.
- Quatro chapas metálicas em formato de C, para as pás 45 cm x 45 cm dimensão.
- Um eixo metálico 1,90 cm de diâmetro com 115 cm de comprimento.
- Um dínamo de bicicleta de 16 V e 8 W.
- Uma polia de 3,4 cm de diâmetro.
- Uma polia de 13,0 cm de diâmetro.
- Uma correia de lona para transmissão.
- Um farol de bicicleta que possui duas lâmpadas de corrente alternada que absorvem a variação de energia do dínamo.

### 2.2 Etapas do trabalho

- Na primeira etapa, ocorreu o desenvolvimento do protótipo do aerogerador de eixo vertical, do modelo Savonius tipo S.
- Dimensões: 131 cm x 53,5 cm x 53,5 centímetros, no formato de paralelepípedo.
- Pás: ferro galvanizado de 1mm de espessura, colocados dois conjuntos de pás (cada um com duas pás) um acima do outro com defasagem de 90° entre eles.
- No segundo momento foi feita a montagem do protótipo e finalmente os testes de potência do dínamo gerador.



Figura 2 - Acoplamento entre o dínamo gerador ao eixo da turbina através de uma correia.



Figura 3 - Vista superior do aéro gerador.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para realizar os testes, foi conectada um farol de bicicleta a um torno mecânico de maneira a simular seu funcionamento real como é mostrado na figura a seguir.

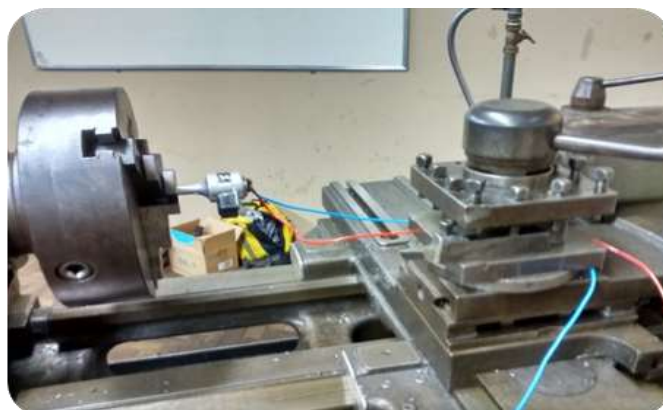


Figura 4 – Dínamo conectado ao torno mecânico



Figura 5 - Mostra os 0,90 Ampere gerados pelo dínamo na rotação de 3000 RPM

O teste do equipamento foi realizado através de um torno mecânico, onde foram experimentadas diferentes velocidades de rotação, e medidas as respectivas tensões e correntes, para que pudesse ser calculada a potência, conforme mostrada na figura a seguir.

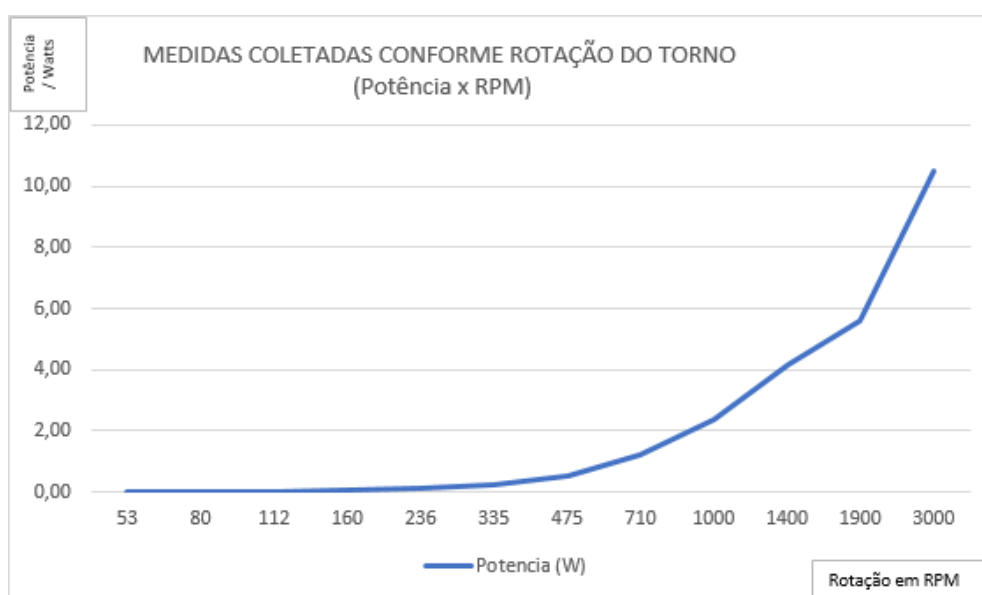


Figura 6 – Potencia x Rotação

## 4 CONCLUSÃO

A construção do protótipo de um aerogerador de Eixo Vertical foi realizada com baixo custo, utilizando materiais econômicos e fáceis de serem encontrados no mercado. Não foi possível testá-lo em um túnel de vento e nem a campo, pois no local da montagem do protótipo, não se observam condições adequadas de ventos e um local próprio para instalá-lo. Construir uma estrutura aonde pudesse fixá-lo acresceria um custo financeiro desnecessário ao projeto e um local adequado que não se dispõe.

Este trabalho nos permite demonstrar que é possível desenvolver um gerador eólico de eixo vertical utilizando recursos nacionais, além de permitir a capacitação dos envolvidos no projeto. Em comparação a uma usina hidroelétrica, temos a vantagem da área ocupada por um parque eólico poder continuar sendo utilizado para outros fins (agricultura, pecuária) ou preservado. O objetivo foi alcançado e a construção foi realizada, diante dos resultados obtidos conclui-se que este modelo de aerogerador não é adequado para geração de energia elétrica, mas sim para bombeamento de água. Ficando para estudos futuros testes práticos e uma real aplicação do sistema.

## REFERÊNCIAS

ANEEL - **Atlas do Potencial eólico e Energia eólica no Brasil**;2012. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-Energia\\_Eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-Energia_Eolica(3).pdf)> Acessado em 07/06/2015.

BRAGA, Benedito; HESPANHOL, Ivanildo; CONEJO, João e MIERZWA, José Carlos. **Introdução à Engenharia Ambiental: O Desafio do Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Pearson Pentrice Hall. ISBN 978-85-7605-041-4. 2005.

FARRET, Felix, Alberto. **Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica – Microcentrais com células de combustível – UFSM – Santa Maria – Brasil-1999**;

TIOMNO, Tolmasquim, Mauricio. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**; Centro de Economia Energética e Ambiental do Programa de Planejamento Energético-Rio de Janeiro – RJ - Brasil - 2003;

WOLFGANG, Palz. **Energia Solar e Fontes Alternativas** – Hemus, 1981.

# ANÁLISE DA LIGA DE MAGNÉSIO MRI230D OBTIDA POR PROCESSO DE TIXOFUNDIÇÃO UTILIZANDO O MÉTODO SIMA

Von Mühlen, M. A.<sup>1</sup>  
Fraga, C.A.S.<sup>2</sup>  
De Barcellos, V.K.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Matheus Ayala von Mühlen, UFRGS, [muhlen@hotmail.com](mailto:muhlen@hotmail.com)  
<sup>2</sup> Caroline Almeida Santos Fraga, UFRGS, [caroline.almeida@ufrgs.br](mailto:caroline.almeida@ufrgs.br)  
<sup>3</sup> Dr. Vinicius Karlinski de Barcellos, UFRGS, [vinicius.karlinski@ufrgs.br](mailto:vinicius.karlinski@ufrgs.br)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

## Resumo

O método SIMA, do inglês "*strain inducted melt activation*", é um processamento de ligas no estado semissólido (ESS), que tem se destacado sobretudo na indústria automobilística, principalmente pelo fato de ser uma alternativa aos processos convencionais de fundição sob pressão e forjamento. Esse processo busca a formação de uma estrutura globular, conferindo propriedades mecânicas superiores quando comparada à mesma liga com microestrutura dendrítica. Este trabalho analisa a influência do grau de deformação sobre a microestrutura da liga de Magnésio MRI230D (Mg-Al-Ca-Sr-Sn), a evolução da microestrutura com o tempo de permanência no ESS, sua correlação com a escala de dureza Brinell. Foi realizada a laminação das amostras em dois graus diferentes de deformação: 4% e 7%; e três tempos de tratamento térmico posterior à laminação: 20, 40 e 60 minutos. A microestrutura das amostras foi avaliada a partir de micrografia com reagente Nital 3%. Os resultados foram uma relação direta, tanto entre o grau de deformação, quanto entre o tempo de tratamento térmico com o aumento da dureza e grau de globularização das partículas. Em vista disso, a amostra com 7% de deformação e 60 minutos de tratamento térmico obteve o melhor resultado entre as amostras estudadas.

**Palavras-chave:** Método SIMA; semissólido; MRI230D; globularização.

## ANALYSIS OF THE MAGNESIUM ALLOY MRI230D OBTAINED BY THIXOCASTING UTILIZING THE SIMA METHOD

### Abstract

The SIMA Method (Strain inducted melt activation) is a semi-solid alloy processing, a rising technology mainly in automobile industry, for being an alternative to the conventional processes of pressure casting and forging. This deformation process in semi-solid state seeks forming a globular structure, which guarantees superior mechanical properties when compared to the same alloy with a dendrite morphology microstructure. This work analyses the influence of deformation degree over the microstructure of Magnesium alloy MRI230D (Mg-Al-Ca-Sr-Sn), the evolution of the

microstructure with how long it stays in semi-solid state, its correlation with Brinell Hardness Scale. The samples were rolled in two different deformation degrees: 4% and 7%; and three periods of heat treatment after rolling: 20, 40 and 60 minutes. The microstructure of the samples was evaluated from a metalography with Nital 3% reagent. The results were a direct relation between increasing deformation degree and time of heat treatment with increase in hardness and globularization degree. Thus, the sample with 7% deformation and 60 minutes of heat treatment achieved the best results among the studied samples.

**Key words:** SIMA Method, semi-solid, MRI230D, globularization.

## 1 INTRODUÇÃO

A busca contínua pela indústria por produtos cada vez mais sustentáveis, eficientes e com peso reduzido, fez do magnésio e suas ligas bons substitutos para o aço e alumínio na produção de componentes estruturais, automotivos e aeronáuticos. As ligas de magnésio mais comuns como, como a AZ91 (Mg-9Al-0,8Zn) possuem limitadas temperaturas de trabalho, sendo seu máximo em torno de 120°C, o que ocasionou uma busca por ligas com maior resistência à fluência. Os dois elementos mais importantes em ligas avançadas de magnésio, cálcio e estrôncio, são responsáveis por possibilitar uma maior redução de peso aliadas a boa precisão dimensional, boa reciclabilidade e possibilidade de processamento em larga escala. Neste contexto, foi desenvolvida a série Mg-Al-Ca-Sr, que oferece excelente resistência à fluência até 180°C e baixo custo se comparadas às ligas contendo ítrio e/ou demais terras raras, que são convencionalmente usados para aumentar a resistência à fluência. Uma liga típica que representa essa série é a MRI230D, que foi desenvolvida pela *Dead Sea Magnesium* em associação com a *Volkswagen AG*, com foco em aplicações como caixas de câmbio automático que operam em temperaturas de até 175°C.

Visando um processamento de ligas que possibilitasse melhor qualidade e acabamento superficial assim como propriedades mecânicas superiores e menor consumo de energia, surgiram os tratamentos no estado semissólido. O processamento no estado semissólido (ESS), tem como objetivo modificar a estrutura da matriz, que normalmente se apresenta de forma dendrítica, para uma com maior grau de globularização. Inicialmente este método foi mais difundido entre as ligas de alumínio, porém atualmente começou-se a explorar uma maior gama de aplicações, entre elas as ligas de magnésio. Os principais métodos de processamento no ESS são agitação mecânica (*mechanical stirring*), agitação eletro-magnética (*electro-magnetic stirring*) e ativação da fusão induzida por tensão (*strain-induced melt activation - SIMA Method*). O método SIMA tem como objetivo aplicar certo grau de deformação no material e, posteriormente, realizar o tratamento térmico no ESS. Este método possui uma temperatura de trabalho menor que a temperatura liquidus do material, resultando em menores gastos do que as outras opções.

Sendo assim, neste artigo foram estudadas as influências dos parâmetros grau de deformação e tempo de tratamento térmico na obtenção da liga MRI230D por tixofundição utilizando o Método SIMA, a fim de obter propriedades mecânicas superiores.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

Para a realização deste estudo utilizou-se um lingote da liga MRI230D do Laboratório de Fundição da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A composição química nominal da liga empregada é mostrada na tabela 1. O lingote foi cortado em quatro corpos de provas com 12 mm de espessura, figura 2, com auxílio de uma máquina de corte.

**Tabela 1** – Composição química nominal da liga MRI230D

Liga MRI230D	Al	Zn	Mn	Ca	Sr	Sn	Mg
% em peso	6,8	0,01	0,23	1,91	0,25	0,5	90,3

As deformações plásticas de 4% e 7% na altura das amostras foi efetuada através do processo de laminação realizado no laminador DEMAG com cilindros lisos de aço com diâmetro de 178,8 mm e velocidade de rotação de 28 rpm. Para o tratamento térmico no estado semissólido, utilizou-se um forno do tipo mufla. Um termopar do tipo k foi acoplado nas amostras para maior controle da temperatura. Para análise metalográfica foi realizado polimento com solução de alumina 0,03µm e microscópio óptico. Para as medições de dureza, utilizou-se durômetro para dureza Brinell. Todos os equipamentos acima citados encontram-se nas dependências dos laboratórios de pesquisa que compõem o centro de tecnologia da UFRGS.

### 2.2 MÉTODOS

O lingote original foi cortado em sete corpos de prova com aproximadamente 12 mm de espessura para permitir a laminação. Empregou-se uma amostra para cada tempo de tratamento térmico (20, 40 e 60 minutos) em cada grau de deformação (4% e 7%) e uma bruta de fusão.

Com a intenção de se obter um grau de deformação plástica mais acentuado, foi realizada laminação a quente. Para ligas de magnésio, têm-se uma temperatura de recristalização compreendida no intervalo de 200-250°C e, para este experimento, foi adotada a temperatura de 250°C. O tempo de encharque empregado foi de 30 minutos (espessura próxima à meia polegada).

Devido a reatividade do magnésio quando exposto a altas temperaturas na presença do oxigênio e pela impossibilidade de utilizar atmosfera inerte nos fornos disponíveis, os corpos de prova foram envolvidos com três camadas de folhas de alumínio com a finalidade de evitar a ignição durante o tratamento no estado semissólido.

Com os corpos de prova devidamente protegidos e com termopar tipo k devidamente acoplado as amostras, foi medida a temperatura até a considerada ideal. Para a tixofundição, é desejado que esta temperatura garanta uma fração sólida menor que 0,50. Para a liga MRI230D, que possui temperatura solidus e

liquidus de, aproximadamente, 522°C e 603°C respectivamente, foi considerada como ideal a temperatura de 575°C.

Assim que a temperatura medida pelo termopar atingiu a desejada, foram cronometrados os tempos de tratamento térmico (20, 40 e 60 minutos), de modo que aos 20 minutos foi retirado do forno um corpo de prova e assim sucessivamente aos 40 e 60 minutos. Após o tempo de forno, as amostras foram temperadas em água ainda protegidas pela camada de alumínio. Depois, repetiu-se o processo para os corpos de prova com grau de deformação de 4%.

Por fim foram realizadas as metalografias das amostras com lixamento começando em granulometria 80, e terminando em 1200, polimento com solução de alumina de 0,03 µm. O ataque químico foi realizado com Nital 3% durante 10 segundos. As microestruturas foram analisadas em microscópio óptico com aumentos de 50x e 100x, e, por auxílio de equipamento computacional, foram obtidas as imagens que foram analisadas.

A fim de quantificar de maneira mais objetiva a alteração nas propriedades mecânicas por conta do processamento no ESS, foi feito ensaio de dureza Brinell, sendo realizadas cinco endentações em cada uma das nove amostras (bruta de fusão, deformada 4%, deformadas 4% com tempo de tratamentos de 20 minutos, 40 minutos e 60 minutos, deformada 7% e deformadas 7% com tratamentos de 20 minutos, 40 minutos e 60 minutos).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 ANÁLISE AMOSTRAS DE LAMINAÇÃO

Durante a laminação a quente dos corpos de prova que se buscava atingir 7% de grau de deformação, ocorreu a abertura de 3 topos ao entrarem no cilindro de laminação. Este defeito deve-se a baixa ductilidade a quente de ligas metálicas, em especial para a liga MRI 230D. Segundo a literatura, este fenômeno ocorrido é chamado de "*alligatoring*", figura 4. A laminação a quente dos corpos de prova que se buscava atingir 4% de grau de deformação não apresentou qualquer problema.



Figura 4 – Defeito *alligatoring* ocorrido nas amostras.



## 3.2 ANÁLISES METALGRÁFICAS

### 3.1.1 AMOSTRA BRUTA DE FUSÃO

Na figura 5 abaixo, pode-se observar a microestrutura da amostra bruta de fusão (sem deformação e sem tratamento térmico).



**Figura 5-** Microestrutura dendrítica da amostra bruta de fusão da liga MRI 230D (aumento de 50x).

Conforme verifica-se na imagem, a microestrutura do corpo de prova bruto de fusão é totalmente dendrítica. Qualitativamente observam-se dendritas grandes com braços alongados e com pequeno espaçamento. Esta microestrutura é deletéria para propriedades mecânicas.

### 3.1.2 AMOSTRA DEFORMADA 7% E SEM TRATAMENTO TÉRMICO

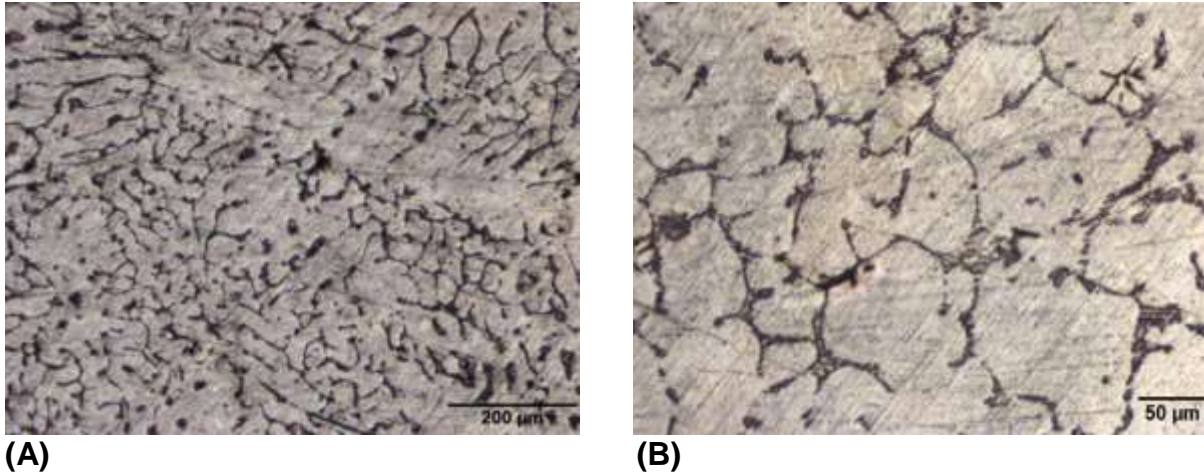
Com o grau de deformação de 7% aplicado sobre a amostra, nota-se na figura 6 que há uma pequena diminuição das dendritas presentes e elas organizam-se sutilmente na direção de laminação. Um certo nível de encruamento pode ser observado.



**Figura 6 -** Metalografia da liga MRI230D após redução de altura de 7% feita por laminação a quente (aumento de 50x)

### 3.1.3 AMOSTRAS DEFORMADAS 4% e 7% E SUBMETIDAS A 20 MINUTOS DE TRATAMENTO TÉRMICO

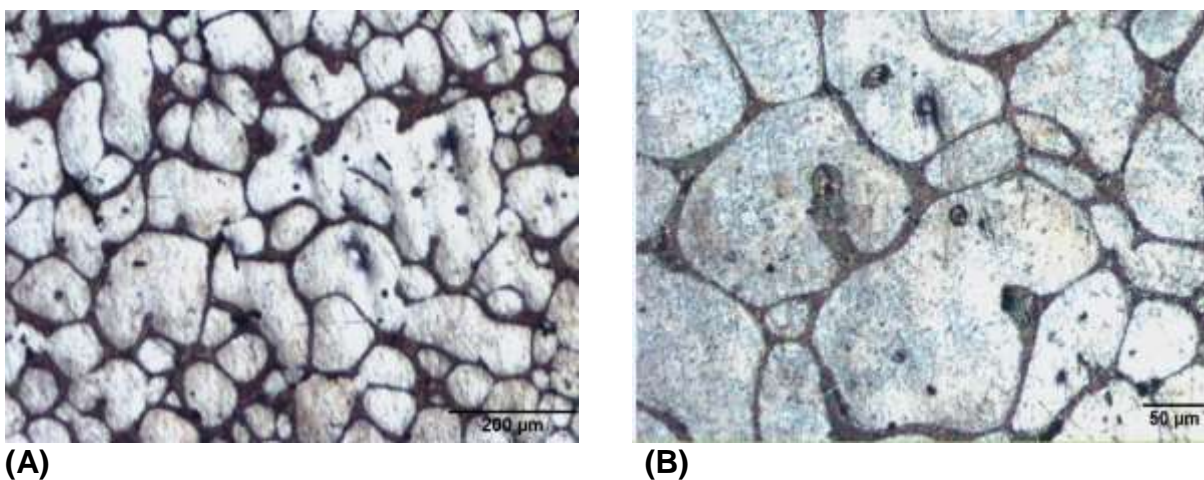
A microestrutura obtida para a amostra previamente deformada em 4% e submetida a 20 minutos de tratamento térmico encontra-se na Figura 7.



**Figura 7** - Metalografia da liga MRI230D após deformação de 4% e tratamento térmico de 20 minutos. (A) aumento de 50x. (B) Aumento de 100x.

A amostra deformada em 4% e tratada termicamente por 20 minutos apresenta uma microestrutura quase dendrítica, encontrando-se rosetas com frequência, havendo uma percepção de que o grau de deformação foi menor que o ideal para haver uma quebra de dendritas mais adequada.

A microestrutura obtida para a amostra previamente deformada em 7% e submetida a 20 minutos de tratamento térmico encontra-se na Figura 8.

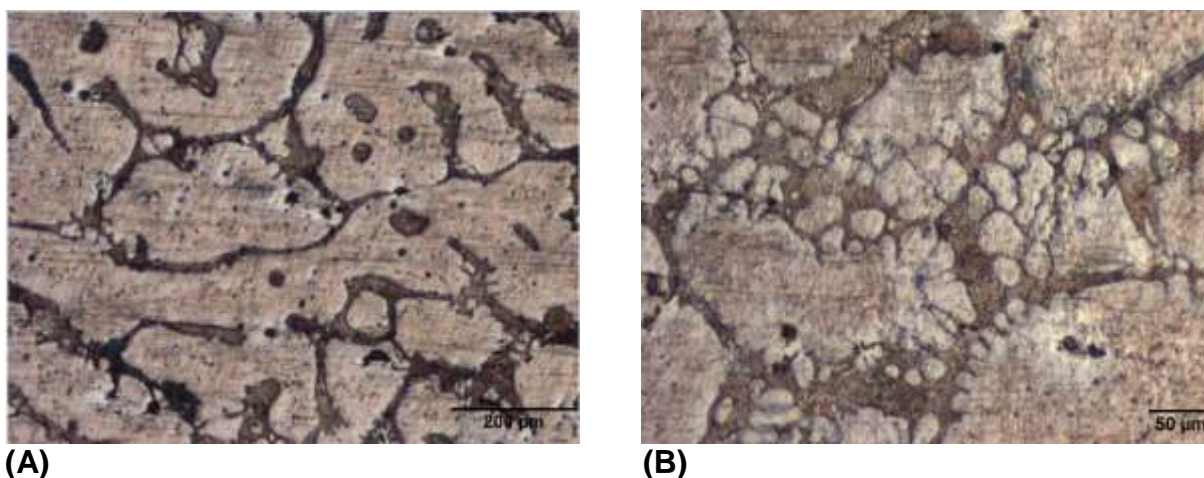


**Figura 8** - Metalografia da liga MRI230D após deformação de 7% e tratamento térmico de 20 minutos. (A) aumento de 50x. (B) Aumento de 100x.

A amostra deformada em 7% e tratada termicamente por 20 minutos apresenta uma microestrutura mais globular e uniforme comparada as outras anteriores. Rosetas não são encontradas com frequência.

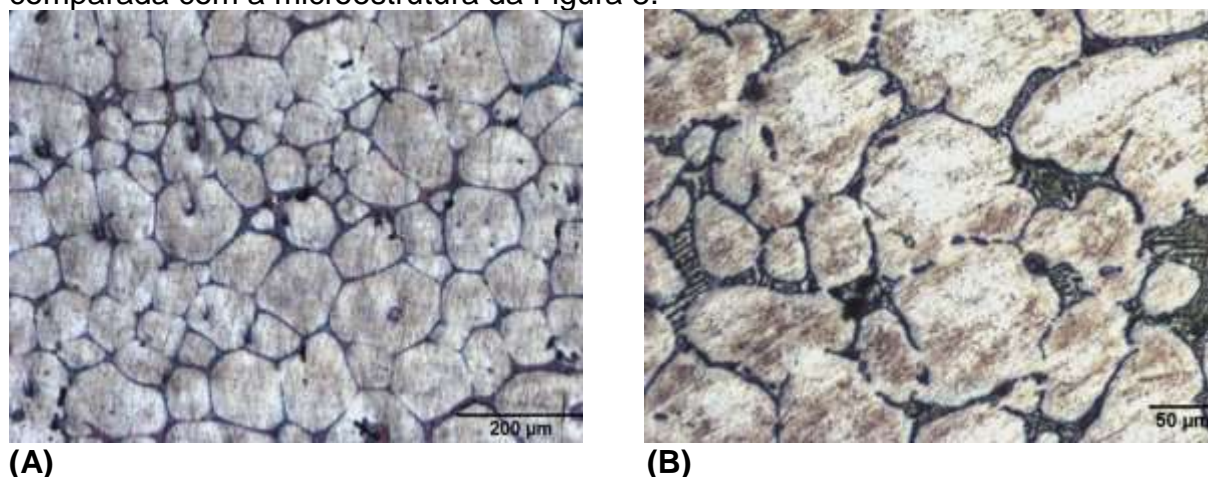
### 3.1.4 AMOSTRAS DEFORMADAS 4% e 7% E SUBMETIDAS A 40 MINUTOS DE TRATAMENTO TÉRMICO

Para os parâmetros de 4% de deformação e tempo de tratamento de 40 minutos, a metalografia obtida é mostrada na Figura 9, na qual é possível perceber uma microestrutura com grãos mais separados, ainda que um tanto alongados, mostrando uma maior globularização quando comparada com a microestrutura da Figura 7.



**Figura 9** - Metalografia da liga MRI230D após deformação de 4% e tratamento térmico de 40 minutos. (A) aumento de 50x. (B) Aumento de 100x.

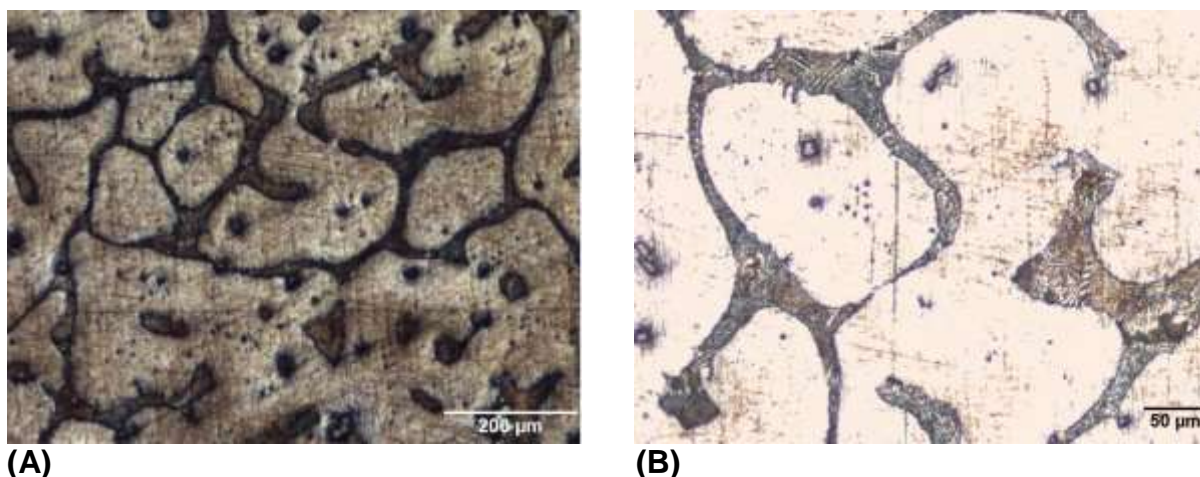
Para os parâmetros de 7% de deformação e tempo de tratamento de 40 minutos, a metalografia obtida é mostrada na Figura 8, na qual é possível perceber uma microestrutura com grãos mais equiaxiais e menos alongados quando comparada com a microestrutura da Figura 8.



**Figura 10** - Metalografia da liga MRI230D após deformação de 7% e tratamento térmico de 40 minutos. (A) aumento de 50x. (B) Aumento de 100x.

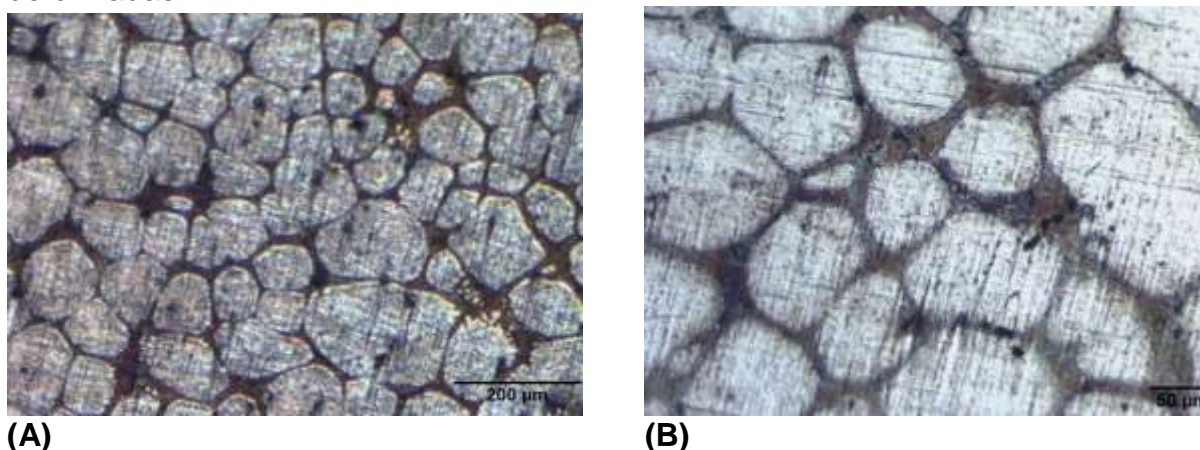
### 3.1.5 AMOSTRAS DEFORMADAS 4% e 7% E SUBMETIDAS A 60 MINUTOS DE TRATAMENTO TÉRMICO

As amostras com maior tempo de tratamento resultou nas micrografias exibidas nas Figura 11 e 12.



**Figura 11** - Metalografia da liga MRI230D após deformação de 4% e tratamento térmico de 60 minutos. (A) aumento de 50x. (B) Aumento de 100x.

Na amostra com 4% de grau de deformação e 60 minutos de tratamento térmico, constata-se um maior grau de globularização das partículas quando comparada com as de menor tempo de tratamento, e uma microestrutura mais homogênea, por efeito de maior penetração da fase líquida em razão do maior tempo de tratamento. Entretanto, percebe-se que, pelo baixo grau de deformação, não houve uma quebra tão eficiente dos grãos quanto nas amostras mais deformadas. .



**Figura 12** - Metalografia da liga MRI230D após deformação de 7% e tratamento térmico de 60 minutos. (A) aumento de 50x. (B) Aumento de 100x.

Na amostra com 7% de grau de deformação e 60 minutos de tratamento térmico, constata-se um alto grau de globularização das partículas e uma microestrutura mais homogênea, por efeito de maior quebra das dendritas em razão do alto grau de deformação, bem como o maior tempo de estadia no ESS. Esta

amostra obteve o resultado mais perto do desejado entre todas as amostras analisadas.

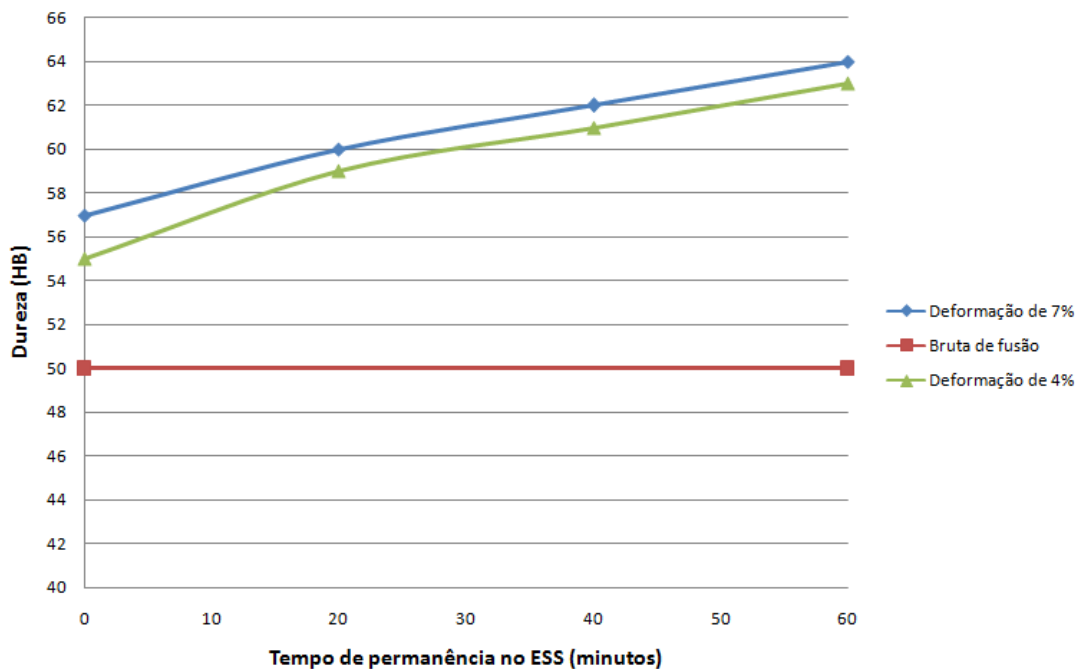
### 3.2 DUREZA BRINELL

A dureza é uma propriedade que permite avaliar a resistência que um material apresenta à deformação permanente, fornecendo dados sobre as condições de fabricação e tratamento das ligas metálicas. Assim, a tabela 2 exibe os resultados das médias dos cinco valores de dureza obtidos para cada amostra.

**Tabela 2** - Resultados de dureza Brinell obtidos para cada amostra.

<i>Grau de deformação</i>	<i>Tempo de Tratamento</i>	<i>HBW</i>
4%	0 min	55
	20 min	59
	40 min	61
	60 min	63
7%	0 min	57
	20 min	60
	40 min	62
	60 min	64
Amostra bruta de fusão		50

O gráfico da Figura 10 evidencia a comparação dos resultados obtidos no ensaio de dureza para os graus de deformação de 4% e 7% com tempos de tratamento térmico de 20, 40 e 60 minutos, bem como as amostras deformadas não submetidas ao tratamento. É visível que, tanto o maior grau de deformação, quanto a maior permanência no estado semi-sólido apresentaram valores mais satisfatórios no que diz respeito ao aumento da dureza.



**Figura 10** - Gráfico de comparação de dureza para os diferentes graus de deformação e tempos de permanência no ESS.

#### 4 CONCLUSÃO

Tendo em vista os resultados obtidos nas etapas experimentais, na análise metalográfica e no ensaio de dureza, pode-se concluir o seguinte:

- A liga MRI230D possui, quando submetida à laminação a quente (250°C), um limite de redução de altura de aproximadamente 7%;
- É possível utilizar papel alumínio como proteção contra Oxigênio na liga de Magnésio MRI230D em temperaturas próximas aos 600°C, ou seja, antes da liquidus;
- O tempo em que as amostras foram mantidas no estado semissólido obedece à relação direta com o grau de globularização: as amostras tratadas por 20 minutos apresentaram grau de globularização bem inferior às amostras tratadas por 60 minutos;
- O grau de deformação ao qual as amostras foram submetidas obedece à relação direta com o grau de globularização: as amostras deformadas 4% apresentaram um grau de globularização bem inferior às amostras deformadas 7%;
- Os valores de dureza Brinell são aumentados para maiores tempos de tratamento, bem como para o maior grau de deformação;
- A morfologia das amostras brutas de fusão e tratadas termicamente condizem com o esperado pela literatura e outros estudos realizados;
- A amostra submetida a grau de deformação de 7% e 60 minutos de tratamento apresentou melhor resultado no quesito globularização e dureza Brinell, dentre os parâmetros avaliados.

## 5 BIBLIOGRAFIA

CASTILHOS, M. Z. *Obtenção e Caracterização Metalúrgica e Mecânica da Liga de Alumínio A356 por Processo de Tixofundição Utilizando o Método SIMA*. Trabalho de Diplomação de Curso, UFRGS. Porto Alegre, Dezembro de 2016.

BRONFIN, B.; MOSCOVITCH, N. *New Magnesium Alloys For Transmission Parts*. Metal Science and Heat Treatment; N° 11, pp. 10-18. Novembro de 2006.

RZYCHON, T. *Quantitative procedure for evaluation of microstructure of cast Mg-Al-Ca-Sr magnesium alloy*. Department of Material Science, Silesian University of Technology. Katowice, Poland, Março de 2010.

HONG, Y.; ZHANG, F.; JIE, X.; *Structure evolution of AZ61 magnesium alloy in SIMA process*. School of Mechanical-Electrical Engineering, Nanchang University, China. Junho de 2005.

# SUBSTITUIÇÃO DE METAL POR POLÍMERO NA FABRICAÇÃO DA CARÇAÇA DE UM INTERRUPTOR AUTOMOTIVO: REESTRUTURAÇÃO DO PROJETO, FABRICAÇÃO E TESTE DO PROTÓTIPO

Basso, F.<sup>1</sup>

Calcagno, C. I. W.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, Fabiano Basso, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense – Campus de Sapucaia do Sul, [assfabiano@gmail.com](mailto:assfabiano@gmail.com).

<sup>2</sup> Doutora, Carmen Iara Walter Calcagno, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense – Campus de Sapucaia do Sul, [carmencalcagno@sapucaia.ifsul.edu.br](mailto:carmencalcagno@sapucaia.ifsul.edu.br).

## Resumo

O desenvolvimento de novos produtos traz consigo novas formas de aplicação de materiais e no setor automotivo, por exemplo, diversos produtos com histórico tradicional de fabricação utilizando materiais metálicos, passaram a ser constituídos de forma inovadora por materiais poliméricos. Ganhos como flexibilidade de projeto, simplificação nos processos de montagem e redução da massa total do veículo contribuem na aplicação desta categoria de material. O planejamento do processo de manufatura segue em paralelo às mudanças dos produtos, onde novas estratégias devem ser adotadas para atender os diferentes materiais empregados. Para tanto, objetivo deste trabalho foi fabricar a carcaça de um interruptor automotivo utilizando um material polimérico. Os processos envolvidos na fabricação foram a técnica FDM da prototipagem rápida e usinagem convencional, tendo como princípio as especificações do desenho preliminar da carcaça. Na fabricação por FDM diferentes parâmetros e estratégias de impressão foram testados, como temperatura, espessura de camada e suporte para sustentação dos filamentos depositados. Para permitir a montagem foi necessário desenvolver uma nova geometria, no qual apresentou-se três possibilidades. O teste prático com montagem em veículo validou as regiões com roscas, assim como as demais geometrias definidas para a carcaça por meio de um número monitorado de acionamentos. O resultado do trabalho comprovou a possibilidade de utilizar uma carcaça em polímero em um determinado período quando submetida ao teste de campo.

**Palavras-chave:** Carcaça do interruptor; Poliamida; Prototipagem rápida; Teste prático.

## SUBSTITUTION OF METAL BY POLYMER IN THE MANUFACTURE OF THE HOUSING OF AN AUTOMOTIVE SWITCH: PROJECT RESTRUCTURING, MANUFACTURE AND PROTOTYPE TESTING

### Abstract

The development of new products brings with it new forms of application of materials and in the automotive sector, for example, several products with a traditional history of manufacturing using metallic materials, have been incorporated in an innovative way by polymeric materials. Gains such as design flexibility, simplification in the assembly processes and reduction of the total mass of the vehicle contribute to the application of this category of material. The planning of the manufacturing process



follows in parallel to the changes of the products, where new strategies must be adopted to meet the different materials employed. For this purpose, the objective of this work was to fabricate the housing of an automotive switch using a polymeric material. The processes involved in the manufacturing were the FDM technique of rapid prototyping and conventional machining, having as principle the specifications of the preliminary design of the housing. In the manufacturing by FDM different parameters and printing strategies were tested, such as temperature, layer thickness and support for the deposited filaments. In order to allow the assembly it was necessary to develop a new geometry, in which three possibilities were presented. The practical test with vehicle assembly validated the regions with threads, as well as the other geometries defined for the housing by means of a monitored number of drives. The result of the work proved the possibility of using a polymer housing in a certain period when submitted to the field test.

**Key words:** Switch housing; Polyamide; Rapid prototyping; Practical test.

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de produtos pode ser considerado como um processo regido por vários outros processos, desde o planejamento até o descarte do produto. Um dos processos avaliado como um dos maiores, trata-se do processo de projeto, onde diversos autores apresentam metodologias específicas, mas semelhantes na atuação. O desdobramento do processo ocorre em atividades de planejar e esclarecer a tarefa, conceber, projetar e detalhar. Estas atividades compreendem, separadas, quatro fases do processo de projeto, sendo elas: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado (1).

O projeto preliminar constitui uma etapa que parte da concepção determinada, estabelecendo a estrutura da construção de um produto, com base em critérios técnicos e econômicos. Ao contrário da etapa conceitual, neste tipo de projeto as atividades contêm trabalhos corretivos, nas quais processos de análise e síntese se complementam. As atividades tendem a ser executadas de forma simultânea, etapas de trabalho precisam ser repetidas num nível de informação mais elevado e além da necessidade de alterações e adições em áreas antes definidas (1).

Esta fase compreende a escolha dos materiais, dos processos de manufatura e da definição das dimensões principais. As informações deixam de serem mais abstratas para serem analisadas e avaliadas sob a visão de engenharia, como a caracterização do produto com geometrias e formas, onde ferramentas são utilizadas para a modelagem. O projeto básico deve estar definido para viabilizar a avaliação final da função, durabilidade, possibilidades de produção, montagem e características de uso. Componentes padronizados e fornecedores podem ser incluídos com base nos critérios do projeto em relação à função principal (1).

Como os processos de manufatura são definidos nesta etapa, a fabricação de protótipos torna-se um meio necessário para realizar análises preliminares visando o produto final e o próprio processo de fabricação. Ao passar dos anos, novas tecnologias surgiram trazendo práticas que modificam a forma e o planejamento dentro de um desenvolvimento de produto. Uma destas práticas corresponde na fabricação de protótipos por meio da técnica conhecida como prototipagem rápida (2).

A expressão prototipagem rápida corresponde a um processo de fabricação baseado na adição de material por camadas planas sucessivas, tendo como princípio a manufatura por camada. Esta forma de fabricação desenvolvida inicialmente sob a perspectiva de construir protótipos tem-se aprimorado ao passar dos anos, sendo utilizado também em componentes para aplicações finais (3) (4).

A utilização da prototipagem rápida permite trazer algumas vantagens frente a outros processos de fabricação. Ao considerar a usinagem, por exemplo, na prototipagem existe: independência da complexidade geométrica do protótipo; não necessita de projeto de dispositivos de fixação; um único meio de processamento do material é utilizado, assim não requer troca de ferramenta; o protótipo é fabricado em apenas uma etapa de processo; o tempo de ciclo para determinados casos é menor (4).

A prototipagem rápida representa mais um, dentre os processos de adição ou deposição de material (soldagem, brasagem, colagem e entre outros), mas com a característica de construção em camadas planas sucessivas. Este tipo de característica a estabelece como um grande conjunto, onde em seu interior, diversas tecnologias cada qual com particularidades e meios, permitem a fabricação dos mais variados tipos de protótipos e produtos (4) (5).

Em pesquisa realizada em 1999, 40 diferentes tipos e aproximações de tecnologias foram identificadas envolvendo a prototipagem rápida (5) (6). A Tabela 1 apresenta algumas das principais tecnologias de prototipagem rápida por adição de material. As informações apresentadas não visam a comparação entre as mesmas, mas sim, possibilitar como material auxiliar para análise posterior, buscando o mais adequado frente a proposta deste trabalho.

**Tabela 1.** Características dos processos de prototipagem rápida (2) (7).

Características	Tecnologias				
	LOM	FDM	SLA	SLS	3DPrint
Variedade de Materiais	Pequena	Média	Pequena	Grande	Média
Translucidez	Não	Sim	Sim	Não	Não
Qualidade Superficial	Regular	Regular	Regular	Boa	Boa
Pós-Acabamento Superficial	Baixa	Regular	Regular	Boa	Boa
Precisão	Baixa	Regular	Excelente	Boa	Boa
Resistência ao Impacto (Polímeros)	Baixa	Boa	Regular	Boa	Baixa
Resistência a Flexão (Polímeros)	Baixa	Excelente	Baixa	Excelente	Baixa
Custo do Protótipo (Brasil)	Alto	Médio	Alto	Médio	Médio
Pós-Processo	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Pós-Cura	Não	Não	Sim	Não	Não

As tecnologias presentes na Tabela 1 representam algumas das mais utilizados no país. Suas especificações remetem a: LOM (*Laminated Object Manufacturing*), Manufatura Laminar de Objetos (a); FDM (*Fused Deposition Modeling*), Modelagem por Fusão e Deposição (b); SLA (*StereoLithography Apparatus*), Equipamento de Estereolitografia (c); SLS (*Selective Laser Sintering*), Sinterização Seletiva a Laser (d); 3DPrint (*Three Dimensional Printing*), Impressão Tridimensional (e) (2) (7). A Figura 1 demonstra uma esquematização das tecnologias mencionadas.

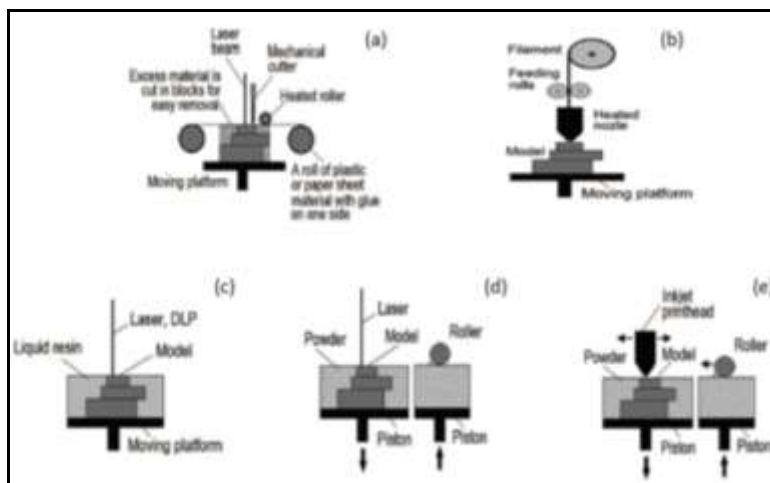


Figura 1. Tecnologias de prototipagem rápida (8).

As tecnologias apresentadas na Figura 1 são como processos independentes dentro da prototipagem rápida. No LOM, lâminas de papel especial são superpostas, coladas e recortadas por laser. O FDM remete a deposição de uma camada plástica de resina. No SLA, a resina líquida é curada por meio de um laser e, no caso do SLS, resina plástica em pó é sinterizada por laser. Para a 3DPrint utiliza-se aglutinante aspergido sobre pó plástico ou cerâmico ou, ainda, resina foto sensível como o aglutinante, onde sob o material é curada sob luz ultravioleta (9).

Para este trabalho, o objetivo foi de fabricar a carcaça de um interruptor de marcha à ré utilizando um material polimérico em substituição ao metal presente no componente. A Poliamida (PA) foi o polímero utilizado, sendo determinada em uma etapa anterior (10). Para o tipo de protótipo com intuito de fabricação e, considerando os recursos disponíveis, o método FDM foi utilizado.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Definição da carcaça

O produto utilizado neste trabalho compreendeu ao interruptor de marcha à ré. Este, responsável por acender as lanternas, lâmpadas brancas, localizadas na traseira do veículo quando selecionado a devida marcha no câmbio. O interruptor fica situado na carcaça da caixa de câmbio (11) (12) (13). Dentre os vários modelos, para o trabalho optou-se em utilizar como base, o interruptor com sua respectiva carcaça disponível na Figura 2.



Figura 2. Interruptor de marcha à ré (14).

Na modelagem do protótipo utilizou-se o software *SolidWorks* 2015 x64 Edition, utilizando as dimensões encontradas em uma etapa anterior. Esta modelagem incluiu as dimensões preliminares, disponibilizando desta forma um modelo preliminar e completo da carcaça do interruptor para análises e comparações. Nos resultados somente serão priorizadas a visualização das partes do modelo preliminar da carcaça e do interruptor no qual remetem-se ao processo de fabricação e montagem, não informando todas as dimensões dos componentes.

## 2.2 Polímero utilizado

Conforme apresentado no início do trabalho, o polímero definido para a confecção da carcaça foi a PA. Para isso, optou-se pela matéria-prima em forma de filamento, prevendo a aplicação em um equipamento de FDM. O filamento de PA utilizado possui como principais características, diâmetro de 1,75 mm, densidade de 1,12 g/cm<sup>3</sup>, resistência à tração de 57 MPa e temperatura de impressão de 230 – 260 °C (15).

## 2.3 Técnica de fabricação

Na confecção do protótipo buscou-se uma garantia frente a aplicabilidade da técnica FDM com relação ao projeto da carcaça. Assim, utilizando o *CES Edupack* 2013, alguns campos considerados como restrições puderam ser selecionados e inseridos limites para que o software criasse uma lista recomendada de processos de acordo com seu banco de dados.

A partir da definição em utilizar a técnica FDM para fabricação, criou-se o arquivo de exportação em formato *.stl* com base no modelo geométrico em CAD da carcaça criado na etapa prévia. Este arquivo foi executado no software *Cloner Print3D* 3.0 sendo utilizado com o equipamento escolhido para a fabricação. O equipamento selecionado foi a impressora 3DCloner DH que suporta filamentos com diâmetro de 1,75 mm e possui um bico com diâmetro de 0,40 mm. A Figura 3 ilustra o equipamento utilizado no trabalho.



Figura 3. Equipamento utilizado na fabricação da carcaça (16).

O equipamento possui para impressão, largura de 320 mm, profundidade de 210 mm e altura de 400 mm, sendo estas dimensões adequadas para a confecção da carcaça. O fabricante especifica a temperatura máxima de extrusão em 280 °C, o que atende à recomendação de 230 – 260 °C, para o material que foi selecionado.

Parâmetros como temperatura de extrusão, temperatura da mesa, espessura de camada, densidade e tipo de preenchimento foram testados em diferentes condições durante a confecção da carcaça. Para as velocidades de deposição e meios de refrigeração, não houve modificações, mantendo-se valores fixos e onde requeriam, ativados, de acordo com o disponível no software.

Na fabricação do protótipo da carcaça por usinagem, os equipamentos utilizados foram um torno universal, fabricante Nardini e uma fresadora ferramenteira Sunlike ISO 40. No torneamento envolveram operações de furação, faceamento, desbaste externo e interno, acabamentos e rosqueamento externo. Na fresagem ocorreu o desbaste e acabamento para confecção do perfil sextavado com auxílio do aparelho divisor universal. As medições foram realizadas utilizando um paquímetro digital, fabricante Pantec.

A geometria interna do protótipo testado teve que ser adaptada, pois houve dificuldade em encontrar no mercado os componentes para o modelo de interruptor que foi utilizado inicialmente nesse estudo.

## 2.4 Montagem e teste prático

A montagem dos componentes internos iniciou pelo lado com diâmetro interno maior da carcaça e seguiu a sequência correta de posicionamento dos componentes. Após cada ação de montagem foi observado se haviam folgas presentes entre os componentes e o encaixe envolvendo o conector com terminais.

O teste prático decorreu inicialmente com veículo sem movimento, realizando diversos acionamentos da respectiva marcha visualizando o acendimento das lanternas traseiras. Após conclusão desta primeira etapa e, certificando-se do funcionamento, o interruptor foi monitorado durante um período quando o veículo esteve em movimento, sendo contabilizados os acionamentos no câmbio quando acionada a devida marcha de reversão. Por fim, o interruptor pode ser desmontado para análise de possíveis problemas, chegando a um consenso sobre a viabilidade da proposta deste trabalho.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

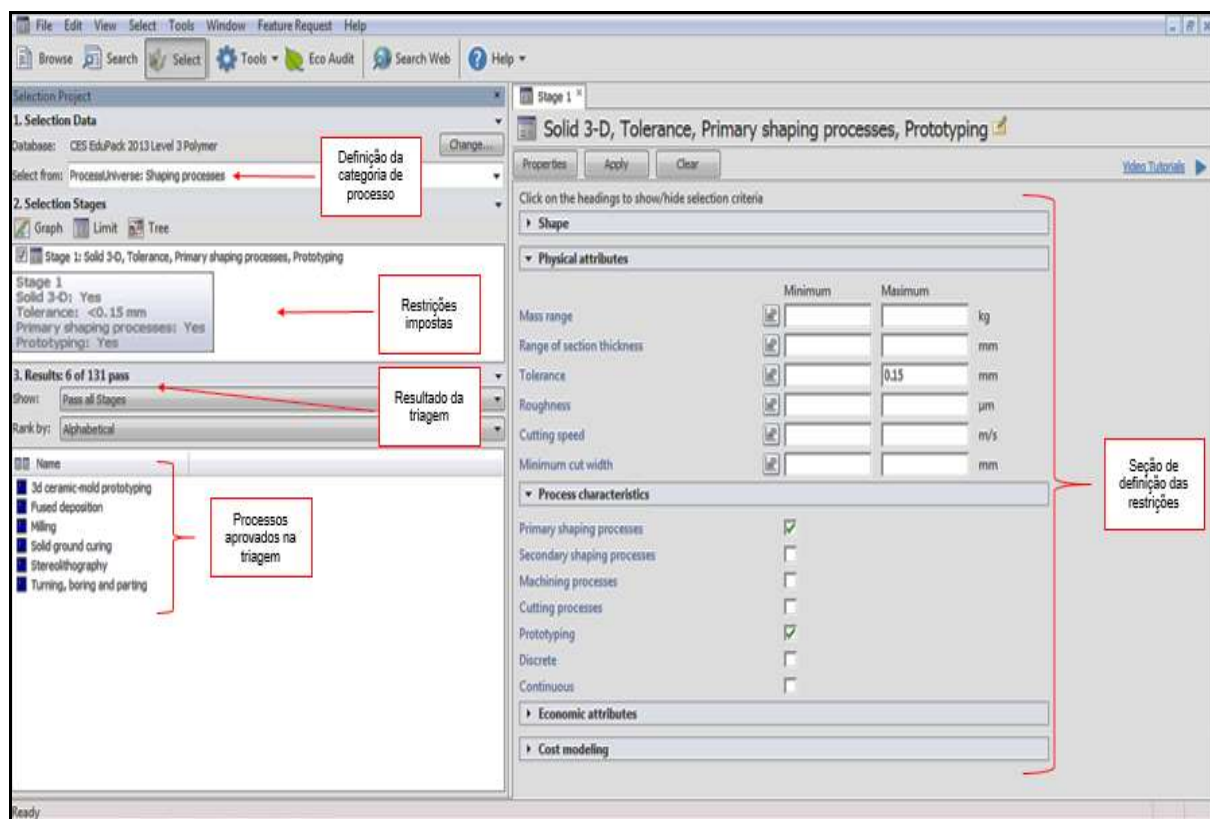
Neste capítulo estão apresentados os resultados e discussões referente a fabricação da carcaça do interruptor de marcha à ré em material polimérico. Os tópicos remetem em ordem, nas condições envolvidas para a fabricação da carcaça, seguido da montagem dos componentes internos e finalizando com o teste prático em veículo.

### 3.1 Fabricação da carcaça

#### 3.1.1 Aplicabilidade conforme processamento

A prototipagem rápida foi o método prioritário escolhido para o teste de fabricação carcaça do interruptor de marcha à ré. Uma vez definido o material, tornou-se presente uma necessidade de garantir a aplicabilidade da FDM frente as

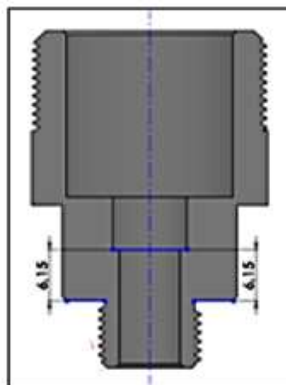
características geométricas do produto. Para isso, o *CES Edupack 2013* possui um banco de dados relacionados a processos, no qual foi colocado algumas restrições conforme disposição presente no próprio software para gerar uma seleção de possíveis formas de processamento. A Figura 4 exibe uma visão geral da interface do software com os resultados e critérios utilizados.



**Figura 4.** Aplicabilidade conforme processamento.

Com base nos resultados encontrados na Figura 4, constata-se a possibilidade de fabricação da carcaça pela técnica FDM (*Fused Deposition Modeling*) ou Modelagem por Fusão e Deposição e outros tipos de processamentos, caso fosse necessário. O processo pode ser definido com base na possibilidade de fabricação utilizando um modelo 3D, indiferente do formato da peça. Existe a coerência neste aspecto, pois para iniciar a fabricação é necessário um modelo geométrico em CAD que posteriormente gera um arquivo de exportação para o equipamento (4) (17) (18).

Além disso, está discriminado a viabilidade em termos de tolerância dimensional. Esta tolerância compreende a uma distância de  $6,15 \pm 0,15$  mm, necessária para o funcionamento correto do interruptor. A Figura 5 demonstra a característica mencionada.



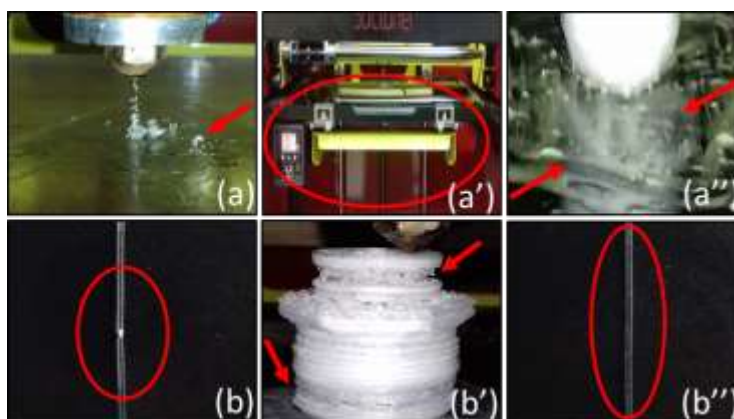
**Figura 5.** Distância de projeto.

No resultado apresentado confirma-se a FDM como sendo capaz de assegurar a fabricação tendo em consideração a distância com a tolerância imposta em projeto. Este resultado concorda com as informações encontradas em outros trabalhos utilizando a técnica mencionada (19) (20).

Para tanto, observa-se ainda os resultados frente as características do processamento, sendo possível como um processo primário, onde dá forma a um material não moldado ou, direcionado a fabricação de protótipos. Na prática, não existem divergências frente a estas opções, pois na maioria dos trabalhos encontrados comenta-se sobre as vantagens em construir protótipos ou até produtos finais pela FDM mesmo necessitando de um acabamento posterior. Uma observação considerando a carcaça do interruptor em estudo trata da existência de duas regiões com rosca, mas poucos trabalhos abordam a possibilidade da construção deste tipo de geometria como processo primário.

### 3.1.2 Tratamentos propostos

Sendo a FDM uma tecnologia utilizada mais recentemente, comparada a processos de adição ou deposição de material como soldagem e colagem por exemplo, ajustes iniciais devem ser realizados visando a retirada posterior de amostras em condições ideais para os testes de montagens. Neste trabalho, algumas etapas foram previamente exigidas envolvendo em primeiro momento, a disposição do equipamento e condicionamento da matéria-prima, situações estas, presentes na Figura 6.

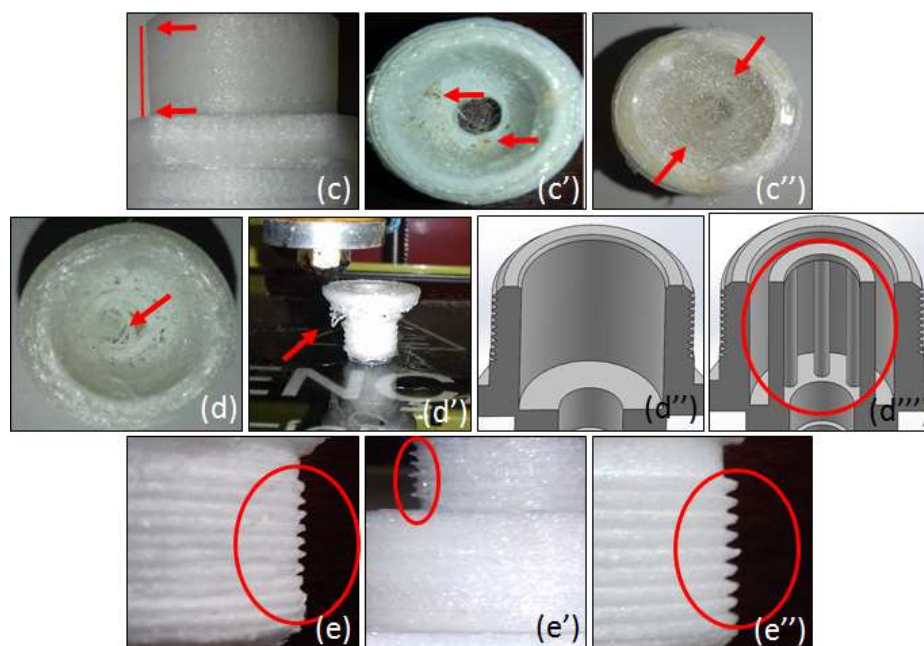


**Figura 6.** Etapas preliminares do processo.

De acordo com a Figura 6, determinadas situações aconteceram exigindo a busca de soluções imediatas para o andamento do trabalho. Na (a), sendo o início da tentativa de retirar amostras, ocorreu a não aderência do filamento extrudado junto a mesa, mesmo dispondo de um líquido recomendado para a aplicação. Para isso, dois métodos foram aplicados, no qual consiste no uso de uma mesa aquecida (a'), concomitante a aplicação de um adesivo à base de PVA (a''). Na temperatura de 110 °C da mesa constatou-se uma melhor aderência com este adesivo, concordando com o encontrado na literatura, onde temperaturas acima de 90 °C apresentam menores índices de falhas e deslocamentos (21).

Na extrusão manual do filamento, percebeu-se interrupções ao longo de sua extensão, como por exemplo na situação (b). O resultante disso pode ser visualizado na condição (b'), sendo uma amostra com falhas e imperfeições em diversas regiões devido à não deposição contínua e menores quantidades de material nas camadas. Na solução deste problema, o suporte técnico do equipamento recomendou uma limpeza de bico seguido de extrusões. O filamento passou a ser extrudado de forma consistente e contínua como visualizado em (b''), permitindo assim, uma forma mais apropriada para retirar amostras em melhores condições de aplicação.

A partir dessas alterações, partes das amostras puderam ser fabricadas, mas não por completo, pois novas dificuldades ocorreram e necessitaram de intervenções para realizar o processo com melhor performance. Assim, parâmetros de processo, a geometria do modelo e os métodos programados no FDM compuseram esta nova etapa de fabricação, sendo representados na Figura 7.



**Figura 7.** Problemas ocorridos durante a utilização da FDM.

Para as situações (c), (c') e (c''), as adversidades sucedidas envolveram a condição ambiental e temperatura de extrusão. Sendo a PA o material utilizado, poderia, pela sua característica higroscópica, sofrer avarias quando em processo, devido à ação da umidade relativa do ar e a possibilidade de degradação nas condições de processamento (22). Na ficha de dados do fabricante do filamento não eram recomendados cuidados para este material relativo às condições ambientais. Para tal, tentou-se compensar utilizando temperaturas acima de 260 °C e com isso



foram geradas deformações na amostra (c), mudança de textura e pontos pretos devido ao contato com material prendido no bico (c') e filamentos finos indesejáveis nos vazios (c''). Em trabalho semelhante envolvendo temperaturas superiores, no ABS, além das deformações e mudança de textura, observou-se a perda de resistência da peça que pode ter ocorrido também com a PA (21).

Para solucionar o problema, o material foi armazenado em um dessecador com sílica e retirado apenas no momento da aplicação. A temperatura utilizada foi de 250 °C, valor contido no intervalo especificado pelo fabricante do filamento (230 °C – 260 °C), afim de possibilitar uma temperatura que pudesse extrudar o material, mas não aderindo facilmente no bico. Com isso, visualmente as deformações diminuíram, além de ocorrer menor criação de filamentos finos indesejáveis nos vazios. A busca de um parâmetro ideal de temperatura para operação corresponde a uma atividade presente neste tipo de tecnologia, pois permite não somente uma melhor qualidade das peças, mas também o funcionamento correto do equipamento (21). No quesito resistência mecânica, optou-se por um preenchimento concêntrico, pois tendo como referência a aplicação com ABS, essa escolha propiciou maior módulo de Young, menores pontos críticos de concentração de esforços e melhor distribuição das cargas (23).

Nas partes (d) e (d') estão ilustradas a não aderência e, conseqüente falta de sustentação dos filamentos quando uma das respectivas faces era colocada para baixo. De certa forma acreditava-se que não ocorreriam essas dificuldades pois a área envolvendo as regiões era pequena. Trabalhos realizados com estruturas semelhantes recomendavam a inserção de suportes, estas podendo ser geradas no próprio programa de impressão. Estes suportes são retirados após a confecção, sendo necessário um acabamento nas regiões de união quando realizada a remoção mecânica (24).

No caso da carcaça, um suporte gerado pelo software acarretaria no fechamento da parte interna (d'') ou prenderia na região roscada. Para isso, projetou-se um suporte (d''') com oito pinos de 2,00 mm cada e uma coroa circular, espessura de 1,00 mm e diâmetros de 10,00 mm e 14,00 mm. Desta forma, o suporte poderia ser retirado facilmente sem comprometer a carcaça e, caso permanecessem pequenos picos sobressalentes não interferiria no funcionamento, pois existe uma distância segura em projeto de 3,80 mm de quando a mola está em descanso. Na situação de acionamento da mola a distância aumentaria, inibindo qualquer precaução. Pelo *SolidWorks* 2015, o suporte acrescentou 0,62 g de massa para a carcaça.

Em relação às condições (e) e (e'), na tentativa de confeccionar toda a carcaça pela FDM, os filetes das roscas apresentaram deformações e falta de material em alguns pontos do perfil. Para tanto, constatou-se como sendo um motivo crucial a utilização de uma altura de camada superior ao recomendado em trabalhos realizados, onde para um passo de 1,00 mm, o ideal seria utilizar espessuras menores que 0,125 mm. Por conta de uma deposição de material mais uniforme no perfil triangular e a diminuição do efeito escada, a partir disso, a espessura de camada adotada foi de 0,12 mm, viabilizando a confecção das regiões roscadas, como representado por um dos lados na condição (e'') e, permitindo a formação dos filetes próximos ao modelo geométrico (20).

Apesar de nas situações ocorridas haverem soluções que puderam ser implementadas, retirar uma amostra completa não foi possível. Além de condições de processamento talvez não exploradas, uma discutida junto ao suporte técnico do equipamento e que poderia trazer benefícios quanto a aplicação da PA seria a

utilização de um bico extrusor com revestimento em PTFE, conhecido comercialmente como teflon. Por conta do período disponível para aquisição, confecção da carcaça e análise posterior dos resultados, esta condição não foi executada. A Tabela 2 apresenta os últimos parâmetros utilizados no qual permitiram as melhores condições de análise conforme citadas nesse capítulo.

**Tabela 2.** Parâmetros selecionados na impressão.

PARÂMETROS	ESPECIFICADO
Temperatura de extrusão	250 °C
Temperatura da mesa	110 °C
Velocidade de deposição	30 mm/s
Velocidade de deposição 1ª camada	20 mm/s
Espessura de camada	0,12 mm
Densidade de preenchimento	99 %
Tipo de preenchimento	Concêntrico
Auto resfriamento	Ativado

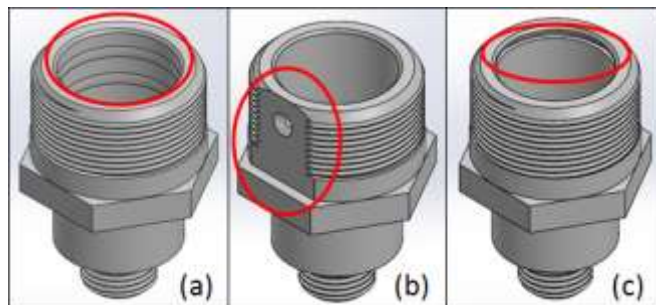
Em vista dos fatos apresentados, a carcaça também foi fabricada utilizando-se a usinagem convencional em uma barra cilíndrica de PA, o que possibilitou a montagem completa dos componentes internos e os testes de funcionalidade previstos no último objetivo específico desse trabalho.

## 3.2 Montagem

### 3.2.1 Componentes internos

A partir da obtenção da carcaça em PA, os componentes internos foram montados para posterior teste em veículo. No processo de montagem percebeu-se uma diferença quanto a forma de fixação do componente conector com terminais em relação à montagem em um interruptor com carcaça em material metálico. Neste último citado, havia na parte superior da carcaça uma conformação, a partir de uma espessura e raio específicos mantendo fixo o conector durante o manuseio no transporte, da montagem no veículo e também quando submetido aos ciclos de acionamento. Com a carcaça em material polimérico, este tipo de conformação não seria possível, devido às características do material e da geometria presente.

Uma possibilidade para este caso seria de comprimir as paredes na parte superior aquecendo o material, mas desta forma inibiria a retirada dos componentes caso ocorresse alguma falha ou também poderia danificar a região com rosca. Sendo assim, buscou-se algumas soluções no leiaute da carcaça para permitir a montagem fixa, sendo elas: inclusão de geometria com dois raios convexos no diâmetro interno (a), face plana paralela ao eixo da carcaça com furo para fixação com parafuso (b) e rasgo no diâmetro interno para montagem com anel elástico (c). Estas três soluções podem ser visualizadas na Figura 8.



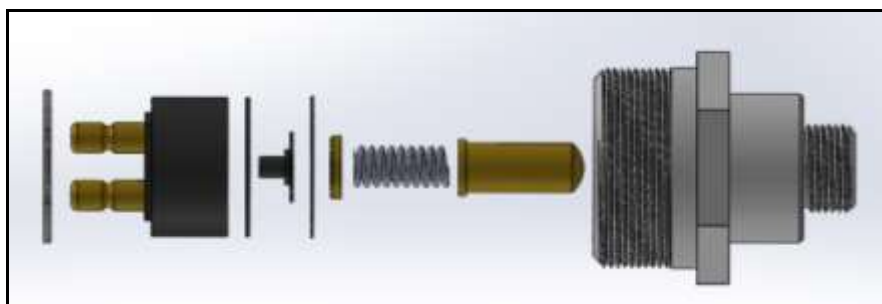
**Figura 8.** Soluções para montagem fixa.

As soluções presentes na Figura 8 podem ser fabricadas tanto pela FDM quanto por usinagem. A solução (a) permite a montagem com ajuste forçado, deformando os raios convexos na parte superior. Como a carcaça já havia sido usinada, esta possível solução foi descartada. Para as soluções (b) e (c) seria possível realizar operações adicionais de usinagem na carcaça já fabricada. Na solução (b), existe uma preocupação em não danificar o conector com terminais quando fixado o parafuso, pois existe uma dimensão máxima admissível.

Quanto a solução (c), esta permite uma maior segurança quanto a montagem sem danificar o conector quando inserido o anel elástico interno. A utilização deste elemento padronizado permite uma garantia de posicionamento dos componentes e assegura a devida fixação, sendo utilizado também para outras funções e tipos de montagens (25) (26). Tendo em vista as considerações apresentadas, a escolha foi pela solução (c), que inclui um rasgo no diâmetro interno para montagem com anel elástico interno.

Para a inserção do anel elástico interno, a carcaça foi usinada para fabricar o rasgo a 2,00 mm entre a face superior do conector e da carcaça. A dimensão projetada para o encaixe seguiu conforme as características do próprio elemento de fixação, código 0439100019 (27). O material removido equivale em projeto, a uma diminuição da massa da carcaça considerando a PA em 0,05 g.

A inserção de um anel elástico não interfere na forma de desmontagem dos outros componentes do interruptor quando existir necessidade de retirada. Ao considerar alguns modelos de interruptores fabricados em material metálico, para realizar a desmontagem, não havendo um equipamento próprio para um determinado interruptor, ocorre o corte e com isso, há mistura de materiais metálicos com polímeros, além da perda dos próprios componentes. A Figura 9 ilustra o interruptor construído neste trabalho com a vista dos componentes em ordem de montagem.



**Figura 9.** Vista dos componentes.

Ao considerar a Figura 9, o projeto traz consigo informações relativas a alguns conceitos de Projetos para Desmontagem DFD (*Design for Disassembly*) e

Reciclagem DFR (*Design for Recycling*). Onde em ambos, considera-se a prática de projetar para facilitar a desmontagem focando na reciclagem das partes do produto e materiais (28). Assim como os fabricantes de veículos, onde reiteram a utilização de projetos com componentes recicláveis que sejam facilmente desmontáveis por meio de ferramentas convencionais e acessíveis (29).

Além de possibilidade de reciclagem, caso houvesse oportunidade, os componentes do interruptor poderiam ser reaproveitados em outras aplicações, salvo aqueles com desgaste excessivo ou deformações por esforços de agentes externos. Com esta particularidade determinada, os componentes internos puderam ser montados na carcaça seguindo a disposição correta, iniciando pelo pino de ponta esférica e finalizando pelo anel elástico interno. Ao usufruir da concepção final do interruptor, a etapa posterior passou a ser o teste em veículo.

### 3.2.2 Teste prático em veículo

Para a última etapa deste trabalho previu-se um teste do interruptor de marcha à ré concebido por meio da montagem de componentes internos na carcaça fabricada em material polimérico. Pelos custos envolvidos e tempo disponível para montar uma bancada de testes, no qual deveriam conter acionadores, furo com rosca, reservatório com óleo lubrificante de caixa de transmissão, conector superior unido aos componentes da parte elétrica (fios, fonte e lâmpada), optou-se em testar o interruptor diretamente em veículo. A Figura 10 apresenta o interruptor montado em veículo.



Figura 10. Montagem do interruptor em veículo.

Por meio da Figura 10 é possível verificar a montagem da parte inferior do interruptor junto a carcaça da caixa de transmissão e na superior com a porca recartilhada. A hipótese de substituição dos materiais na carcaça não trouxe dificuldades para a montagem no veículo, validando as geometrias da carcaça definidas no projeto preliminar e posteriormente quando fabricadas.

Para as regiões roscadas, geometrias mais críticas para esta operação, não se constatou problemas da montagem na carcaça da caixa de transmissão e na parte superior da carcaça polimérica com a rosca interna da porca. Inclusive, amostras parciais fabricadas pela FDM com as regiões roscadas visualmente em perfeitas condições também foram testadas e apresentaram serem possíveis de montagem, demonstrando que a técnica e a estratégia adotada na fabricação por esse método também foram viáveis para este tipo de geometria.

O teste prático direto em veículo comercial permite trazer as condições reais de funcionamento, desempenho e durabilidade do componente quanto a aplicação. Diversos componentes ou conjuntos são testados nos veículos possibilitando dados

mais precisos e de melhor exatidão (30) (31) (32). A preocupação frente a isso parte dos cuidados quanto a segurança das pessoas, sejam elas ocupantes do próprio ou de outros veículos ou de pedestres. Para o caso de testar o interruptor, o cuidado está no não acendimento das lanternas e com isso não alertar que o veículo iniciaria um movimento de reversão a quem estiver visualizando a parte traseira.

No teste prático sem movimento do veículo foram realizados 50 acionamentos consecutivos do interruptor selecionando a marcha de reversão. Esse experimento preliminar comprovou o funcionamento do interruptor em serviço em todos os acionamentos realizados. O interruptor foi retirado do veículo e por meio de análise visual não foi constatada qualquer avaria na carcaça, no pino de ponta esférica e no conector com terminais. Com isso, o interruptor pode ser novamente montado para monitoramento do veículo em movimento.

O monitoramento do interruptor enquanto possível desaperto e não acendimento das lanternas traseiras ocorreu diariamente por duas semanas. Neste período, o interruptor esteve submetido a 35 acionamentos. O interruptor permaneceu em funcionamento correto até o fim do período mencionado. Após, o mesmo foi retirado do veículo e constatado nenhuma deformação nas regiões com rosca (a) (a'). Um fato a considerar, assim como no interruptor com carcaça metálica, presenciou-se óleo lubrificante na parte inferior da carcaça (b), mas sem qualquer deterioração visível por parte da PA, o que poderia ser percebido por deformações como inchamento ou distorções na peça. A Figura 11 demonstra a condição da carcaça após o teste prático.

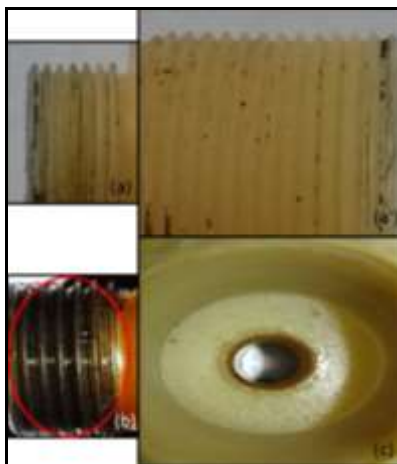


Figura 11. Condições da carcaça após o teste prático.

Na parte final, os componentes internos foram retirados da carcaça e por análise visual também não foi presenciado deformações nos mesmos ou na parte interna da própria carcaça (c). Com a substituição do metal pela PA, a massa da carcaça com base na geometria final do protótipo reduziu significativamente e ficou em torno de 14,1 % da massa original, passando de 75,7 g para 10,65 g.

Além de reduzir a massa, a carcaça fabricada em polímero possibilitou a aplicação sem o aparecimento de defeitos. Ensaios ou testes de durabilidade com diagnóstico de performance em produtos ocorrem geralmente em períodos maiores com monitoramento contínuo. Pela disponibilidade do veículo e tempo para eventual análise, o teste realizado permite concluir que é viável a aplicação da PA para substituir o material metálico na carcaça do interruptor de marcha à ré, pelo menos, no período testado.

## 4 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma proposta de fabricar a carcaça de um interruptor de marcha à ré utilizando um material polimérico.

A partir da escolha da PA, como método prioritário, optou-se pela prototipagem rápida, técnica FDM, na concepção do protótipo da carcaça. A aplicabilidade da FDM frente ao projeto da carcaça foi possível em vista da aprovação sobre algumas restrições impostas. A partir da utilização da técnica para a fabricação, condições tiveram que ser tratadas, compreendendo como soluções finais, a aplicação de adesivo à base de PVA, temperatura da mesa aquecida em 110 °C, limpeza de bico extrusor, armazenagem da matéria-prima, extrusão com temperatura de 250 °C, projeto de suporte para sustentar os filamentos e utilização de espessura de camada com 0,12 mm para viabilizar a confecção das regiões roscadas com uma qualidade adequada de aplicação.

Mesmo aplicando nas condições as soluções citadas, não foi possível retirar uma amostra completa, seja por condições de processamento não exploradas ou na falta de um bico com revestimento em PTFE, pois conforme suporte técnico do equipamento, possibilitaria melhores benefícios quanto a aplicação da PA. Para não comprometer o andamento do trabalho, por meio de usinagem convencional, fabricou-se uma carcaça seguindo o desenho do projeto preliminar da mesma.

Antes da montagem dos componentes na carcaça, verificou-se que da forma projetada poderia ocorrer a não manutenção fixa do conector com terminais. Uma solução para isso envolveu a usinagem de um rasgo na carcaça para inserção de um anel elástico interno. A partir disso, os componentes internos puderam ser montados seguindo uma ordem lógica, iniciando pelo pino de ponta esférica e finalizando pelo anel elástico. O projeto final do interruptor combinou com alguns conceitos como o DFD e DFR, onde facilitaria a desmontagem dos componentes do interruptor para reaproveitamento e reciclagem, inclusive a própria carcaça.

O teste prático em veículo trouxe resultados satisfatórios frente as decisões tomadas ao longo do trabalho. A partir da montagem do interruptor na carcaça da caixa de transmissão foram realizados 50 acionamentos com o veículo sem movimento. Em seguida, o veículo foi monitorado quando esteve em movimento, sendo o interruptor submetido nestas ocasiões a 35 acionamentos. Em ambas as situações se comprovou o funcionamento correto do interruptor, além de constatar nenhuma avaria, deformações ou possível desaperto. Ainda, com base na geometria final, a massa da carcaça ficou em torno de 14,1 % da massa original. O teste prático pode comprovar a aplicação do material polimérico, escolhido na carcaça do interruptor de marcha à ré no período testado.

## REFERÊNCIAS

- 1 PAHL, G. et al. Engineering Design – A Systematic Approach. London: Springer, 2007. v.3.
- 2 CANGIOLIERI JUNIOR, O.; SELHORST JUNIOR, A.; IAROZINSKI NETO, A. Processos de prototipagem rápida por deposição ou remoção de material na concepção de novos produtos – uma abordagem comparativa. 27º Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP 2007, Foz do Iguaçu, Paraná.

- 3 FOGGIATTO, J. A. et al. Estudos de parâmetros da tecnologia de prototipagem rápida FDM para melhorias no planejamento de processo. 5º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – COBEF 2009, Belo Horizonte, Minas Gerais.
- 4 VOLPATO, N. et al. Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações. São Paulo: Blucher, 2006.
- 5 SILVA, G. C. Prototipagem rápida e ferramental rápido aplicado às peças utilizadas em ensaios estáticos de embalagens para acondicionamento e transporte de peças automotivas. 2008. 174f. Dissertação (Mestre Profissional em Engenharia Automotiva) – Departamento de Engenharia Automotiva, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 6 UPCRAFT, S.; FLETCHER, R. The rapid prototyping technologies. Rapid Prototyping Journal, v.23, p. 318-330, 2003.
- 7 CANGIOLIERI JUNIOR, O.; SELHORST JUNIOR, A.; SANT’ANNA, A. M. O. Método de decisão dos processos de prototipagem rápida na concepção de novos produtos. Revista Gestão e Produção, v.22, p. 345-355, 2015.
- 8 MINEV, R.; MINEV, E. Technologies for rapid prototyping (RP) – Basic concepts, quality issues and modern trends. Scripta Scientifica Medicinae Dentalis, v.2, p. 12-22, 2016.
- 9 LIRA, V. M. Desenvolvimento de processo de prototipagem rápida via modelagem por deposição de formas livres sob temperatura ambiente de materiais alternativos. 2008. 199f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Área de Concentração: Engenharia Mecânica de Projeto e Fabricação, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 10 BASSO, F. Substituição de metal por polímero na fabricação da carcaça de um interruptor automotivo: do projeto ao teste do protótipo. 2017. 78f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenheiro Mecânico) – Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Campus de Sapucaia do Sul, Rio Grande do Sul.
- 11 PEÑAHERRERA, D. C. S. Construcción de un tablero didáctico de un sistema eléctrico de alumbrado del vehículo. 2011. 235f. Tesis de Grado (Ingeniería Automotriz) – Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.
- 12 TRIDON. Switches and Sensors Catalogue. 2013. TRIDON AUSTRALIA PTY. LTD. Disponível em: <<http://www.tridon.com.au/databank/documents/CAT079-Switch.pdf>> Acesso em: 31 out. 2016.
- 13 ZAMBRANO, G. A. C. Construcción e implementación de un banco de pruebas del sistema eléctrico de alumbrado y accesorios del Chevrolet Sail 1.6 2012. 2015. 102f. Trabajo de Titulación Previo a La Obtención del Título de Ingeniero en Mecánica Automotriz (Ingeniería Automotriz) – Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.
- 14 HEART+BUSS. Katalog13EN. Catalogue Electrics. 2016. Heart+Buss UK Ltd. Disponível em: <<http://www.herthundbuss.com/en/info/catalogues.html>> Acesso em: 11 set. 2016.
- 15 eSUN. Product Presentation. 3D Printing Filament, 2016.
- 16 3DCloner. 3DCloner DH. 2017. Indústria Schumacher Ltda. Disponível em: <[http://www.3dcloner.com.br/detalhes\\_produto/3/3dcloner\\_dh.html](http://www.3dcloner.com.br/detalhes_produto/3/3dcloner_dh.html)> Acesso em: 28 mai. 2017.
- 17 COOPER, K. G. Rapid prototyping technology: selection and application. New York: Marcel Dekker, 2001.
- 18 GIBSON, I. ; ROSEN, D. W. ; STUCKER, B. Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing. New York: Springer, 2010.

- 19 NERY, M. P. et al. Avaliação metrológica e superficial de peças poliméricas fabricadas em impressoras 3D. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECiMat 2016, Natal, Rio Grande do Norte.
- 20 TUTESKI, O.; KOCOV, A.; RIZOV, T. New product design development based on additive manufacturing & rapid prototyping methodology. Journal for Technology of Plasticity, v.40, p. 55-64, 2015.
- 21 AZEVEDO, F. M. Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D. 2013. 48f. Monografia (Engenheiro Elétrico com ênfase em Eletrônica) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, São Paulo.
- 22 DANTAS, R. L.; LIMA, C. A. P. Considerações sobre a qualidade de embalagens plásticas recicladas. 9º Congresso Brasileiro de Polímeros – CBPOL 2007, Campina Grande, Paraíba.
- 23 VILLAMIL, M. L. G. et al. Análise de parâmetros de impressão de corpos de provas usando modelagem por deposição de fundido (FDM). 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção – ConBRepro 2016, Ponta Grossa, Paraná.
- 24 CORDEIRO, M. J. E. Análise e otimização dos parâmetros processuais e dos sistemas funcionais de uma impressora 3D, que se baseia na técnica deposição de plástico fundido (FDM). 2014. 86f. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- 25 MELLO, C. H. P. et al. Projeto conceitual de componentes de um forno industrial por meio da integração entre a engenharia reversa e o DFMA. Revista Gestão e Produção, v.17, p. 497-511, 2010.
- 26 SANTOS, G. C. M. Projeto e dimensionamento de um sistema de freios aplicado a um veículo fórmula SAE. 2014. 150f. Projeto de Graduação (Engenheiro Mecânico) – Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- 27 WÜRTH. Catálogo Auto & Cargo. 2016. Würth do Brasil Peças de Fixação Ltda. Disponível em: <<http://www.flip3d.com.br/web//pub/wurth/?numero=1#page/780>> Acesso em: 01 jun. 2017.
- 28 MATUO, M. Y.; TRABASSO, L. G. Projeto para Reciclagem (Design for Recycling): protótipo de uma implementação computacional. 15º Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica – COBEM 1999, Águas de Lindóia, São Paulo.
- 29 MERCEDES-BENZ. Diretrizes para montagem de carroçarias e equipamentos. 2007. DaimlerChrysler do Brasil Ltda. Disponível em: < <http://www.mercedes-benz.com.br/resources/files/documentos/caminhoes/axor/manual-de-implementacao/manual-de-implementacao-euro-3-axor-pt.pdf> > Acesso em: 26 mai. 2017.
- 30 COSTA, W. Metodologia para conversão de veículos equipados com motores a combustão interna para tração elétrica: aplicação de motor síncrono de ímã permanente com fluxo magnético radial a um furgão. 2009. 134f. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- 31 NETO, E. F. B. Testes de fadiga de rodas veiculares – Proposta de estabelecimento, para os testes em laboratório, dos carregamentos que simulem os ocorridos no teste de durabilidade estrutural de veículo em pista. 2010. 104f. Dissertação (Mestre Profissional em Engenharia) – Área de Concentração: Engenharia Automotiva, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 32 PEIXOTO, D. R. S. et al. Desenvolvimento e montagem do sistema de frenagem de um veículo off-road. 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – COBEF 2013, Itatiaia, Rio de Janeiro.



# SISTEMA DE COLETA E ARMAZENAGEM DE ÁGUA DA CHUVA EM UMA EMPRESA DE TRANSFORMAÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS

Pereira, J. R. D.<sup>1</sup>

De Barba Junior, D. J.<sup>2</sup>

1

Engenheiro Mecânico, Jesus Rogério Damé Pereira, IFSUL, RS. [jrogeriodpereira@yahoo.com.br](mailto:jrogeriodpereira@yahoo.com.br)

2

Engenheiro Mecânico, Durval João De Barba Jr, IFSUL, RS. [debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br](mailto:debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br)

## Resumo

O aproveitamento das águas pluviais é uma fonte alternativa de abastecimento de água, sendo uma importante prática que visa à sustentabilidade hídrica, reduz o impacto no consumo de água potável demandado por indústrias e residências em aplicações que não necessitam de água potável. As indústrias possuem um grande potencial para a implantação de um sistema de coleta e armazenagem de água proveniente das chuvas por terem uma extensa área de captação (telhados). Nas indústrias de transformação de plásticos, existe alta demanda de água para utilização em seus processos de fabricação principalmente nos sistemas de refrigeração. O objetivo deste trabalho é reduzir o consumo de água potável em uma empresa de transformação de termoplásticos, comprovando o potencial do aproveitamento de água da chuva mediante sua captação, armazenamento e viabilidade de implantação do sistema de coleta e armazenagem. Para isso, baseado em ABNT NBR 10.844 e 15.527, foi realizado um estudo detalhado a fim de verificar a viabilidade de implantação de um sistema de coleta e armazenagem de água da chuva. Dados precisos são fundamentais para a conclusão e aprovação do projeto, tornando a empresa um pouco mais ecologicamente sustentável. Com estimativa de coleta anual em torno de 4.700 m<sup>3</sup> de água da chuva, calcula-se reduzir em 60% o custo com água comprada.

**Palavras-chave:** Água para reuso. Água da chuva. Projeto de sistema de coleta.

## **COLLECTION SYSTEM AND STORAGE OF RAINWATER IN A COMPANY OF THERMOPLASTIC TRANSFORMATION**

### **Abstract**

*The utilization of rainwater is an alternative source of water supply, an important practice that aims at water sustainability, reduces the impact on the consumption of potable water demanded by industries and homes in applications that do not need potable water. The industries have a great potential for the implantation of a system of collection and storage of water from the rains because they have an extensive catchment area (roofs). In the plastics processing industries, there is a high demand for water for use in its manufacturing processes, especially in refrigeration systems. The objective of this work is to reduce the consumption of potable water in a*

*thermoplastic processing company, proving the potential of the use of rainwater through its capture, storage and feasibility of implantation of the collection and storage system. For this, based on ABNT NBR 10.844 and 15.527, a detailed study was carried out to verify the feasibility of implantation of a system of rainwater storage. Accurate data is critical to the completion and approval of the project, making the company a little more ecologically sustainable. With estimated annual collection of around 4,700 m<sup>3</sup> of rainwater, it is estimated to reduce the cost of purchased water by 60%.*

**Key words:** *Water for reuse. Rain water. Collection system design.*

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população e o desenvolvimento da indústria aumentaram o consumo mundial de água doce ou potável. A escassez de água potável tem se tornado um grande problema nos centros urbanos, sendo um dos fatores que mais preocupam a sociedade em geral. A necessidade de economizar o uso da água, e fazê-lo de forma consciente, tem sido um dos grandes desafios das indústrias. Algumas ações vêm sendo tomadas, como modernização de equipamentos, monitoramento diário do consumo, multas cobradas por excesso de consumo, bem como captação e reaproveitamento da água das chuvas como fontes alternativas <sup>(1)</sup>.

A água da chuva é uma das mais ricas fontes alternativas para consumo em geral. Em pequenas propriedades rurais, a água da chuva já é usufruída há bastante tempo, em irrigação de plantações, para consumo de animais, lavagem de roupas etc. Devido ao aumento da demanda e problemas de abastecimento, os grandes centros urbanos também estão praticando a coleta da água da chuva para consumos menos nobres em suas residências. Indústrias viram esse potencial e estão concebendo sistemas que aperfeiçoem e colem a maior quantidade possível de água da chuva para o aproveitamento nos seus processos. Porém, na água da chuva coletada estão contidos os poluentes presentes na atmosfera e os contaminantes presentes nas superfícies de captação e armazenamento, tornando-a imprópria para o consumo humano. De qualquer forma, essa água pode ser utilizada para outros fins (menos nobres), tanto em caráter residencial como industrial <sup>(2)</sup>.

As indústrias possuem um grande potencial para a implantação de um sistema de coleta e armazenagem de água proveniente das chuvas, pois possuem uma extensa área de captação (telhados). Nas indústrias de transformação de plásticos, existe grande demanda de água para utilização em seus processos de fabricação principalmente nos sistemas de refrigeração.

O objetivo geral desse trabalho é reduzir o consumo de água potável em uma empresa de transformação de termoplásticos.

Reduzindo os gastos com a compra de água tratada, a Empresa irá se tornar mais economicamente sustentável, reduzindo uma de suas despesas industriais, e assim os custos de fabricação. Com o aproveitamento desse recurso hídrico, em substituição da água comprada, que teve de passar por processos de tratamento para deixá-la potável, a empresa também irá se tornar mais ambientalmente sustentável, reduzindo o consumo de água potável e disponibilizando uma maior oferta dessa água à sociedade.

## 1.1 Caracterização do local e regime das chuvas na região do estudo

Este estudo foi realizado no Município de Esteio, localizado a cerca de 20 km da Cidade de Porto Alegre. Esteio faz parte do Estado do Rio Grande do Sul e está situado a 12 metros de Altitude, Latitude: 29° 51' 40" Sul e Longitude: 51° 10' 51" Oeste. O município se estende por 27,7 km<sup>2</sup> e possui em torno de 81.000 habitantes<sup>(3)</sup>

Estudos apontam que a média anual de precipitação na Grande Porto Alegre, no período de 1970 a 2011, é de aproximadamente 1.470 mm. Os cinco meses que apresentam as maiores médias de precipitação são: junho, julho, agosto, setembro e outubro. Esses meses compreendem ao período de inverno e primavera, que no estado do Rio Grande do Sul é caracterizado pela presença das chuvas frontais de grande intensidade, resultantes das chegadas das frentes frias provenientes da massa polar marítima<sup>(4)</sup>

## 1.2 Concepção de um sistema de coleta e armazenagem de água da chuva

Um sistema de coleta e armazenagem de água da chuva pode ser considerado como uma fonte sustentável de suprimento de água. Seu objetivo é reduzir custos com compra de água, bem como, contribuir para a preservação dos recursos naturais finitos. Esse sistema coleta a água proveniente das chuvas que caem sobre as coberturas de prédios, canalizando-a e armazenando-a em reservatórios para tratamento e consumo posterior<sup>(5)</sup>

No Brasil, esse tipo de sistema de captação de água pluvial segue a norma ABNT NBR 15.527 para aplicações não potáveis<sup>(6)</sup>

A Figura 1 mostra um esquema básico para um sistema de coleta e armazenagem de água da chuva<sup>(7)</sup>

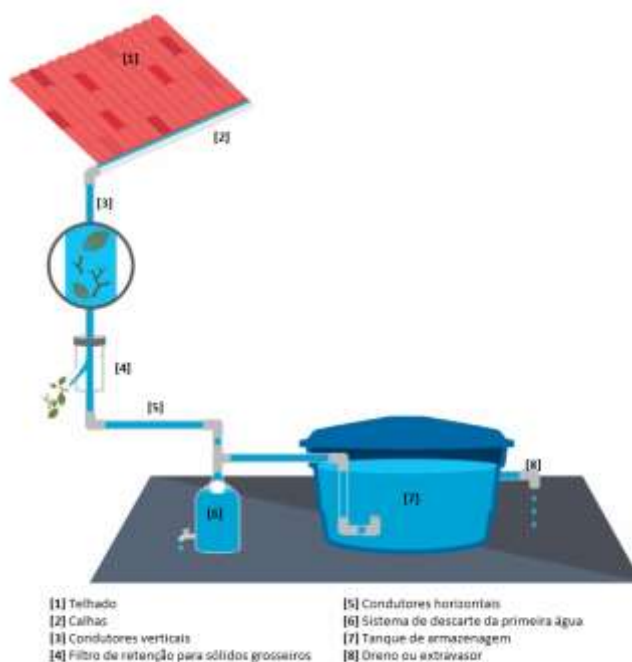


Figura 1 - Ilustração esquemática de um sistema de captação de água da chuva<sup>(7)</sup>

### 1.3 Área de captação

A área de captação resume-se no local onde ocorre a coleta da água pluvial que será armazenada. A partir do dimensionamento dessa área, será determinado o volume potencial de ser coletado por um determinado período. Os telhados são os principais pontos usados para a coleta de água pluvial, sua geometria e localização sem obstáculos propiciam ótimas condições para a captação e canalização da água durante a ocorrência das chuvas <sup>(5)(8)</sup>.

Os telhados podem ser constituídos de diversos materiais como metais, polímeros e cerâmicos, cada um deles com suas características físico-químicas. A composição do telhado pode influenciar no escoamento da água, sendo importante a sua definição para calcular o coeficiente de escoamento da água em fluxo <sup>(9)</sup>.

Telhados cerâmicos ou porosos diminuem o escoamento, pois absorvem água, enquanto que os telhados metálicos ou poliméricos apresentam pouca ou nenhuma absorção proporcionando um maior escoamento reduzindo as perdas. O uso de revestimentos também pode ser aplicado em telhados, nesse caso, os componentes desse revestimento precisam ser atóxicos, caso a aplicação da água seja para consumo humano ou de animais <sup>(8)</sup>.

Segundo Tomaz <sup>(8)</sup> o coeficiente de Runoff é a relação entre o volume de água de chuva precipitado pelo volume que pode ser aproveitado. Esta perda se deve à limpeza do telhado pela chuva, perdas por evaporação, dentre outras.

A Tabela 1 expressa os valores do coeficiente de Runoff usados de acordo com o material que compõem os telhados.

**Tabela 1** - Valores de coeficiente de Runoff aplicados para telhados <sup>(8)</sup>.

Material que compõem os telhados	Coeficiente de Runoff (C)
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Telhas de cimento e amianto	0,8 a 0,9
Telhas de plástico (PVC)	0,9 a 0,95

### 1.4 Remoção de sólidos grosseiros

Como os telhados ficam expostos a intempérie, faz-se necessário um sistema que remova os sólidos grosseiros que são transportados pelo escoamento inicial da água da chuva sobre essa área (fezes de animais, areia, folhagens e até mesmo sucatas de plásticos ou papel). Esses materiais podem contaminar a água no reservatório de armazenagem, bem como prejudicar a eficácia do sistema de coleta, transporte e distribuição <sup>(8)</sup>.

Diversos sistemas podem ser utilizados para a filtragem e separação dos sólidos grosseiros devendo ser projetados e dimensionados de acordo com as características dos sólidos encontrados no telhado. Dentre os diversos tipos de dispositivos, cabe citar grades, telas e filtros, podendo ser compostos dos mais variados tipos de materiais. Comumente são usados aço inox ou algum tipo de polímero, evitando assim a ocorrência de ferrugem que poderia contaminar a água <sup>(9)</sup>.

. Durante o projeto e especificação dos dispositivos de separação, é necessário

levar em conta toda a manutenção e limpeza periódica do sistema a fim de garantir a sua eficácia. Conforme a ABNT<sup>(9)</sup> inspeções mensais são recomendadas bem como a limpeza trimestral de todo o sistema, cabendo ao setor de manutenção uma análise mais criteriosa da periodicidade que realmente se faz necessária.

### 1.5 Calhas e condutores de transportes

As calhas e condutores têm o papel de coletar e transportar a água que esco do telhado até o reservatório de armazenagem. Os condutores verticais e horizontais devem ser compostos de materiais como: ferro fundido, fibrocimento, PVC rígido, aço galvanizado, cobre, chapas de aço galvanizado, chapas de cobre, aço inoxidável, alumínio ou fibra de vidro<sup>(10)</sup>. Todo o dimensionamento das calhas e das tubulações deve ser feito de acordo com o histórico pluviométrico da região e com a vazão requerida no projeto<sup>(6)</sup>. Conforme ABNT<sup>(10)</sup>, o dimensionamento das calhas deve ser feito utilizando-se da fórmula de Manning-Strickler, indicada na Equação 1, ou de qualquer outra fórmula equivalente.

$$Q = K \cdot \frac{S}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad (1)$$

Onde:

Q = Vazão de projeto, em litros por minuto (l/min)

S = Área da seção molhada, em metros quadrados (m<sup>2</sup>)

n = Coeficiente de rugosidade do material

R = Raio hidráulico, em metros (m)

R<sub>H</sub> = Perímetro molhado, em metros (m)

i = Declividade da calha, em milímetros (mm)

K = 60.000

A ABNT<sup>(6)</sup> recomenda que um plano de manutenção preventiva seja montado a fim de garantir a limpeza e conservação de todo o sistema e que este seja executado pelo menos semestralmente.

### 1.6 Descarte da primeira água da chuva

Os telhados estão expostos à atmosfera, sendo assim, as áreas de captação ficam suscetíveis ao acúmulo dos mais variados tipos de resíduos sólidos e seus poluentes. A parte inicial da chuva tende a lavar a área de captação, deixando a superfície livre desses poluentes. Devido à contaminação da água que esco inicialmente pela superfície de captação, esta é indesejável para a armazenagem, podendo contribuir negativamente no conteúdo global do reservatório. Faz-se necessário, então, um sistema que seja capaz de descartar de forma automática essa água que irá lavar inicialmente a superfície do telhado e calhas. A incorporação de um sistema de descarte dessa água, cerca de 2 mm da precipitação inicial, é recomendada pela ABNT<sup>(9)</sup>.

### 1.7 Armazenamento da água

O reservatório, além de ser responsável pelo armazenamento da água, também deve garantir a qualidade dessa água de acordo com a aplicação a que será destinada. Ele pode ser posicionado sobre o solo ou enterrado sob ele e,

sempre que possível, deve estar próximo à central de distribuição para reduzir custos com o transporte de água. Existem reservatórios dos mais variados tipos de materiais como compostos de alvenaria e concreto, fibras e polímeros e metais, sendo estes os de maiores custos devido ao uso de materiais nobres e anticorrosivos <sup>(9)</sup>.

Para a construção de um sistema de armazenagem, é de fundamental importância o correto dimensionamento dos reservatórios. Para isso deve-se subtrair mês a mês o volume de chuva coletado pelo volume da demanda (que será utilizado). A relação entre a menor e a maior diferença encontrada é utilizado como referência para dimensionar o volume do reservatório (método de Rippl) <sup>(8)</sup>.

### **1.8 Qualidade da água da chuva coletada**

Diversos aspectos podem influenciar na qualidade da água coletada. A região do ponto de coleta (urbana ou rural), presença de vegetação ou poluentes, concentração de aves ou pequenos animais, regime dos ventos e umidade ambiente, material que compõe o telhado e reservatório. Um aspecto bastante relevante é a poluição do ar que altera a qualidade da chuva trazendo junto com a água a presença de compostos de enxofre, carbono e nitrogênio e materiais particulados <sup>(8)</sup>.

O sistema de filtragem da água coletada deve ser eficaz o suficiente para eliminar qualquer tipo de contaminantes sólido presentes antes de a mesma chegar ao reservatório. Além da qualidade da água durante a coleta, a etapa de armazenagem pode influenciar diretamente na sua qualidade. A filtragem antes da armazenagem é uma etapa fundamental no processo. Recomenda-se uma vedação eficaz no reservatório para evitar a entrada de animais e da luz solar. Uma limpeza periódica no reservatório também contribui para a qualidade da água, pois no fundo do reservatório ficam sedimentados todos os sólidos em suspensão <sup>(11)</sup>.

### **1.9 Qualidade da água da chuva para reuso**

Os padrões de qualidade da água para fins não potáveis devem ser definidos pelo projetista, de acordo com a utilização prevista. No caso do presente trabalho, a água será usada para fins industriais, não sendo necessários tratamentos para deixá-la potável

### **1.10 O uso da água em uma Empresa de transformação de termoplásticos**

No caso da Empresa de transformação de plásticos em estudo, o principal uso da água é no processo industrial para resfriamento de moldes. A água faz a troca térmica dos moldes de injeção e posteriormente é resfriada em torres de arrefecimento. As torres de arrefecimento têm como finalidade a remoção de calor da água, que foi utilizada para troca térmica nos processos de refrigeração <sup>(12)</sup>.

Na maioria dos sistemas com torres de arrefecimento, a água a ser resfriada entra no topo da torre, é distribuída pelos canais internos e por ação da gravidade cai até o tanque coletor. Mediante aspersão na parte superior da torre, e em

contracorrente com outra de ar frio, acontece à evaporação da água, produzindo o fenômeno de resfriamento. A água resfriada retorna ao processo para ser reutilizada na refrigeração dos sistemas. A torre de resfriamento consome em média 20% a 30% do volume de água total do sistema <sup>(12)</sup>.

Devido ao consumo de água pelo processo de evaporação, é necessário que esta seja repostada. A água de reposição (também chamada de *make-up*) deve apresentar uma boa qualidade, possuindo baixas concentrações de sais e material orgânico, bem como baixos níveis de materiais suspensos e microrganismos a fim de evitar incrustações e corrosões em excesso. Sendo assim é importante manter o controle físico-químico da água usada no sistema de resfriamento com periodicidade conveniente, devendo ser feitas análises de pH, alcalinidade, concentração de íons, condutividade etc. <sup>(13)</sup>.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente são apresentadas informações sobre o estudo pluviométrico da região, bem como o consumo e demanda de água para as torres de resfriamento da empresa em estudo. Logo após, são apresentados os requisitos de qualidade da água para a aplicação, seguido do estudo da área de captação e por fim, o dimensionamento do sistema de coleta e armazenagem de água da chuva.

### 2.1 Estudos pluviométricos da região

Foi realizado um levantamento da série histórica de precipitação da região de Porto Alegre. Esse estudo serviu para estimar o volume de água a ser coletado mensalmente com o sistema de coleta de água da chuva.

Os dados históricos de precipitação pluviométrica da região foram coletados por meio de registros obtidos no site [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br), do Instituto Nacional de Meteorologia, no período de 1995 a 2015, fazendo uma média mensal da precipitação de chuva ao longo desse período. A estação de pesquisa usada foi a OMM: 83967, localizada na Cidade de Porto Alegre – RS, com localização geográfica: -30.05° Latitude, -51.16° Longitude e 46.97 metros de altitude.

### 2.2 Estudo do consumo e demanda mensal de água na Empresa.

Por meio dos registros internos da Empresa, foram obtidos os dados de consumo de água usada para o processo de resfriamento dos moldes de injeção. A análise desses registros compreende o período de 2013 a 2015. Os dados obtidos foram tabelados para análise da demanda de água.

Por meio do consumo médio de água praticado nos últimos dois anos, e com a projeção de crescimento da fábrica para os próximos três anos, foi possível projetar uma demanda de água a ser usada no sistema de refrigeração dos moldes da fábrica.

A demanda mensal foi calculada tendo como base os valores de consumo mensal de 2015, aplicando sobre eles percentuais de crescimento para os anos de 2016, 2017 e 2018. Os valores assumidos como demanda de água para o projeto foram os estimados para o ano de 2018.

## 2.3 Qualidade da água da chuva

Visando validar o uso da água da chuva no processo de resfriamento dos moldes de injeção, foi realizada uma análise laboratorial de água da chuva.

Os parâmetros da análise foram comparados com os valores de referência<sup>(14)</sup> para uso em torres de resfriamento conforme .

## 2.4 Estudo da área útil para captação de água da chuva

Com o estudo da planta baixa do prédio, foram obtidos os dados da área de construção dos telhados. Com base nesses dados foi possível dimensionar a área útil do telhado para captação de água da chuva.

Medições e inspeções em campo foram feitas para obter os dados de inclinação do telhado, bem como o material que o compõe.

A área nos arredores foi analisada visualmente, para que fosse possível dimensionar o sistema de coleta e armazenagem sem a presença de possíveis obstáculos.

Com base na planta baixa foi possível avaliar as áreas livres para a implantação do sistema de coleta e armazenagem. Medições e inspeções em loco foram feitas a fim de observar possíveis partes desatualizadas que pudessem vir a ocorrer nos registros da planta.

## 2.5 Dimensionamento do sistema de coleta e armazenagem de água

O potencial de água a ser armazenado foi dimensionado para período mensal, visto que ocorrem volumes de chuvas e demandas diferentes ao longo do ano.

A quantidade de água que poderá ser coletada e armazenada mensalmente foi calculada utilizando o diagrama de Rippl<sup>(8)</sup> para demanda variável. O cálculo do volume potencial de água a ser coletado, pode ser expresso pela Equação 2.

$$V = \frac{P \cdot A \cdot C}{1000} \quad (2)$$

Onde:

V = Volume de captação de água, em metros cúbicos (m<sup>3</sup>);

P = Precipitação pluviométrica, em milímetros (mm);

A = Área do telhado, em metros quadrados (m<sup>2</sup>);

C = Coeficiente de Runoff, adotado em 0,8 conforme<sup>(11)</sup>

O sistema de coleta compreende as calhas e condutores que farão a coleta da água que escoam pelos telhados e a levarão até os tanques de armazenagem. O dimensionamento do sistema de coleta foi feito de acordo com os métodos descritos em<sup>(10)</sup>, levando em conta a área física dos arredores do telhado e altura do chão até a cobertura do prédio.

Com base no potencial de água a ser armazenado e de acordo com a demanda projetada para uso da água, foram dimensionados os tanques para a armazenagem de água. O método usado para o dimensionamento dos tanques foi o de Rippl<sup>(6)</sup>, para a demanda variável e chuvas mensais.



O número de reservatórios foi dimensionado levando em conta a área física de captação, bem como o número de condutores verticais e o volume total de armazenagem.

O sistema de instrumentação e controle compreende todos os dispositivos de controle de nível e de vazão que propiciem o constante abastecimento de água para o processo fabril, sem que a demanda seja prejudicada. Neste projeto não foram tratados esses sistemas, ficando seu dimensionamento a cargo da Empresa contratada para execução do projeto piloto.

Os Dispositivos auxiliares ao sistema de coleta e armazenagem compreendem todo e qualquer aparato utilizado no sistema de coleta e armazenagem, que não tenham sido dimensionados nos itens anteriormente citados. Esses itens resumem-se em: telas para limpeza de resíduos sólidos, dispositivo de descarte da primeira chuva. Estes também não foram dimensionados.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Volume de precipitação mensal

Com a utilização dos dados das séries históricas de chuvas dos períodos de 1995 a 2015, na região de Porto Alegre, calculou-se a média mensal de precipitação de chuvas (Tabela 2). Os valores de precipitação são expressos em milímetros. Observou-se que a precipitação varia ao longo de cada mês, não sendo possível usar um único valor para calcular o volume potencial de água a ser coletado, sendo que este deve ser calculado separadamente para cada mês.

**Tabela 2 -** Dados de precipitação de chuvas e precipitação média mensal

MÊS	ANO DA ANÁLISE																				Precipitação média mensal (mm)	
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		2015
Janeiro	88	179	102	134	101	41	37	72	131	58	29	174	89	105	170	174	136	166	106	77	160	111
Fevereiro	86	87	126	128	80	108	98	83	199	87	41	89	168	72	111	111	120	140	113	148	95	109
Março	60	88	49	148	53	108	97	152	108	27	141	81	109	75	73	103	83	123	78	126	53	92
Abril	85	74	63	102	162	141	127	139	89	65	146	18	39	125	31	72	173	77	109	84	73	95
Mai	65	10	64	154	111	130	117	140	46	187	154	172	135	221	106	120	50	36	65	71	136	109
Junho	181	158	172	49	152	232	209	181	167	103	35	67	236	125	57	205	110	32	101	229	170	141
Julho	249	25	104	237	169	123	111	187	159	142	58	68	179	138	57	170	226	145	116	254	309	153
Agosto	153	157	185	146	72	94	85	155	58	72	156	84	149	122	265	96	182	94	247	129	109	134
Setembro	185	155	53	138	108	240	216	168	57	193	164	100	175	157	294	181	53	274	135	154	184	161
Outubro	88	186	266	44	116	142	130	178	190	76	271	39	70	220	125	58	124	121	132	185	307	146
Novembro	56	94	122	47	109	141	136	115	137	135	79	118	132	22	288	72	14	26	185	102	124	106
Dezembro	137	112	197	135	65	72	50	137	185	34	56	136	89	121	144	93	52	196	77	172	100	112
Média anual	119	110	125	122	108	131	118	142	127	97	111	95	131	125	143	121	110	119	122	144	152	123

#### 3.2 Estudo do consumo mensal de água na Empresa e projeção de demanda

O estudo do consumo e projeção de demanda de água foi calculado apenas para o sistema de resfriamento de moldes de injeção da fábrica. Não foram levados em consideração os dados de consumo e demanda de água para outras áreas e processos da fábrica, visto que a demanda para estes demais processos é muito baixa, representando em torno de 5% do consumo total da planta.

Levando em conta o histórico de consumo de água do ano de 2015, e aplicando a projeção de crescimento da fábrica para os próximos três anos, obteve-se um valor de demanda mensal de água projetada para 2018 (Tabela 3). Os dados de consumo dos anos de 2013 e 2014 não foram levados em consideração, pois em

junho de 2014 ocorreu uma mudança no sistema de refrigeração, que propiciou uma redução no consumo de água em torno de 47%.

**Tabela 3–** Consumo real e projeção da demanda de água

Meses	Consumo real em m <sup>3</sup>			Projeção de demanda em m <sup>3</sup>		
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
JAN	1088	1013	616	634	660	693
FEV	1808	1590	828	853	887	931
MAR	1320	1010	516	531	553	580
ABR	1400	946	723	745	774	813
MAI	1360	1018	656	676	703	738
JUN	996	542	551	568	590	620
JUL	840	475	492	507	527	553
AGO	707	518	458	472	491	515
SET	864	493	493	508	528	555
OUT	949	505	564	581	604	634
NOV	963	604	519	535	556	584
DEZ	1239	777	527	543	565	593
MÉDIA	1128	791	579	596	620	651

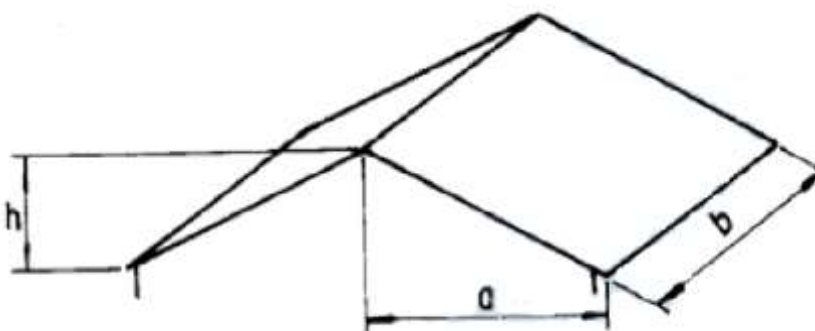
### 3.3 Qualidade da água da chuva

A validação da água da chuva para uso em torres de resfriamento baseou-se no resultado de análise técnica laboratorial. Por meio de amostras de água da chuva coletada na empresa, foram realizados testes em laboratório da empresa credenciada. Os dados obtidos na análise foram comparados com os valores de referência apresentados por <sup>(14)</sup>. Após a análise e comparação dos valores de referência, observou-se e definiu-se que a água da chuva não está apta para ser usada nas torres de resfriamento da empresa, sendo necessário, conforme orientação do laboratório, a correção de alguns parâmetros com o uso de biocidas, sais e cloro a fim de ajustar os parâmetros inadequados.

### 3.4 Dimensionamento do sistema de captação e armazenagem

A área de captação do telhado foi calculada com a utilização das dimensões contidas na planta baixa do prédio e com a Equação 3. Os parâmetros dessa equação estão representados na Figura 2.

$$A = \left(a + \frac{h}{2}\right) \cdot b \quad (3)$$



**Figura 2** - Parâmetros da equação para cálculo da área <sup>(10)</sup>

A área de captação disponível para a coleta de água da chuva obtida é de aproximadamente 4.000 metros quadrados. O telhado é composto de telhas com uma liga de alumínio e zinco.

Após a obtenção de dados das séries históricas de chuvas e da área útil de captação do telhado, foi possível calcular a vazão de projeto. A vazão de projeto serve como base para o cálculo das calhas e tubulações, sendo calculada de acordo

com a Equação 4 <sup>(10)</sup>.

$$Q = \frac{I \cdot A}{60} \quad (4)$$

Onde:

Q = Vazão de projeto, em litros por minuto (l/min)

I = Intensidade pluviométrica, em milímetros por hora (mm/h)

A = Área de contribuição, em metros quadrados (m<sup>2</sup>)

A vazão de projeto obtida é de 10.733 l/min ao longo de toda a extensão do telhado, assim, devido a esta grande vazão, dividiu-se a calha em diversos pontos de descida (condutores verticais), a fim de adequar a vazão na calha a um valor médio entre 384 e 829 l/min encontrado em <sup>(10)</sup>. A vazão média adotada para cada ponto de descida de água foi de 600 l/min.

As calhas devem possuir uma inclinação uniforme com valor mínimo de 0,5%, conforme recomendação de <sup>(10)</sup>, sendo este o valor adotado para o cálculo.

O tipo de calha adotado no projeto foi o modelo de calha semicircular fabricada em PVC, pois se encontra com alta disponibilidade no mercado e é de fácil aquisição.

De acordo com ABNT <sup>(10)</sup>, para calhas feitas de material plástico, deve-se adotar o coeficiente de rugosidade (n) 0,011 e um diâmetro de 200 mm

Ainda segundo a ABNT <sup>(10)</sup>, o diâmetro interno mínimo do condutor vertical deve ser de 70 mm. Quando existir a necessidade de desvio, devem ser usadas curvas de 90° (raio longo) ou curvas de 45°.

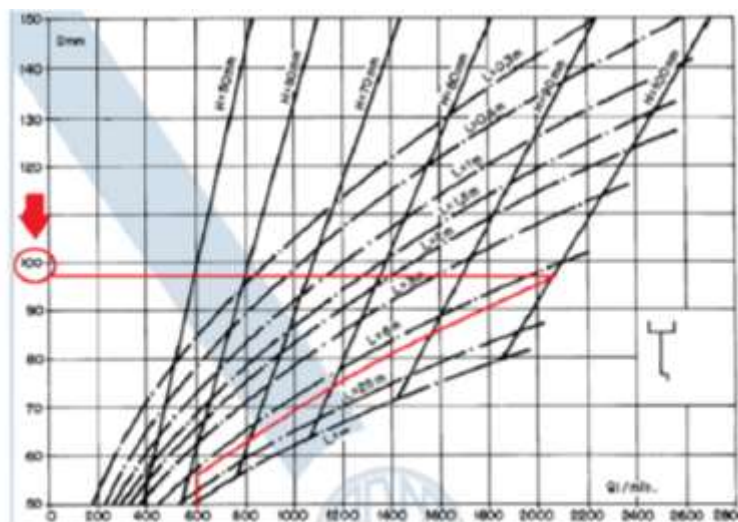
Para o cálculo dos pontos de descida da água do telhado, utilizou-se a vazão total (10.773 l/min) dividida pelo valor de 600l/min (médio entre 384 e 829 l/min), obtendo como resultado, em torno de 18 pontos de descida.

O dimensionamento do diâmetro dos condutores verticais deve ser feito com a utilização do gráfico (Figura 7) a partir dos seguintes dados <sup>(10)</sup>:

Q = Vazão de projeto, em litros por minuto (l/min)

H = altura da lâmina de água na calha, em milímetros (mm)

L = comprimento do condutor vertical, em metros (m)



Nota: Para verificar o valor do diâmetro do condutor vertical, levantar uma vertical por Q até interceptar as curvas H e L correspondentes. No caso de não haver curvas dos valores de H e L, interpolar entre as curvas existentes. Transportar a interseção mais alta até o eixo D. Adotar o diâmetro nominal cujo diâmetro interno seja superior ou igual ao valor encontrado.

Figura 3 – Gráfico usado para dimensionamento do diâmetro de condutores verticais <sup>(10)</sup>.

A vazão de projeto usada para o dimensionamento dos condutores verticais foi de 600 l/mim. A altura da lâmina de água na calha, usada no cálculo, foi de 100 mm, que corresponde a metade do diâmetro da calha. O valor do comprimento do condutor é de 8 metros, que corresponde à altura do chão até o telhado do prédio. Mediante a análise da Figura 3, o valor encontrado para o diâmetro dos condutores verticais foi 100mm.

A vazão de projeto usada para o dimensionamento dos condutores horizontais foi de 600 l/mim. O material do tubo será de PVC, com o valor de  $n=0,011$ . A inclinação será mínima, adotada em 0,5%. Sendo o valor encontrado <sup>(10)</sup> para o diâmetro dos condutores horizontais foi 150mm.

Para dimensionar o volume do reservatório foi necessário calcular o volume de chuva mensal com potencial de ser armazenado, de acordo com a área de telhado. O método usado foi o de Rippl <sup>(8)</sup> para demanda variável e chuvas mensais, com coeficiente de Runnof (C) 0,80 <sup>(8)</sup>. O resultado pode ser observado na Tabela 4.

A coluna E da Tabela 4 expressa o volume de água com potencial de ser armazenada ao longo do ano. O valor médio coletado fica em torno de 400m<sup>3</sup> por mês, logo, o reservatório precisa ser dimensionado para esse volume, haja vista que o telhado não possui capacidade de coleta de água para atingir toda a demanda da fábrica (observada na coluna C).

Tabela 4 – Diagrama de Rippl para demanda variável e chuvas mensais

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Meses	Precipitação (mm)	Demanda (m <sup>3</sup> )	Área de captação (m <sup>2</sup> )	Volume de chuva mensal (m <sup>3</sup> ) C=0,8	Volume de chuva acumulada (m <sup>3</sup> )	Demanda acumulada (m <sup>3</sup> )	Diferença entre os volumes da demanda e de chuva (m <sup>3</sup> )	Diferença entre volume de chuva e demanda (m <sup>3</sup> )
JAN	111	693	4000	356	356	693	-337	-337
FEV	109	931	4000	350	706	1624	-581	-918
MAR	93	580	4000	297	1002	2205	-284	-1202
ABR	96	813	4000	306	1308	3018	-507	-1709
MAI	110	738	4000	351	1659	3756	-387	-2097
JUN	142	620	4000	456	2115	4375	-164	-2261
JUL	154	553	4000	493	2608	4929	-60	-2321
AGO	134	515	4000	429	3037	5444	-86	-2407
SET	153	555	4000	490	3527	5998	-64	-2471
OUT	146	634	4000	467	3995	6633	-167	-2638
NOV	106	584	4000	340	4335	7216	-243	-2881
DEZ	112	593	4000	359	4694	7809	-233	-3115
		7809		4694				

## 4 CONCLUSÃO

Para executar a análise da possibilidade de substituir o uso da água potável pela água da chuva nos processos de fabricação na empresa, realizou-se um estudo pluviométrico da região da Grande Porto Alegre e comprovou-se o potencial de chuva em torno de 1.600 mm ao ano. Já para o consumo e demanda de água para as torres de resfriamento foram usados dados de registros internos da empresa, onde se verificou a demanda por água tratada aplicada no processo de fabricação, em torno de 7.800m<sup>3</sup> ao ano. Somado a isso, a qualidade da água chuva foi avaliada e constatou-se que a mesma necessita de alguns ajustes de parâmetros (como: dureza, condutividade e microbiológicos).

Ao dimensionar um sistema de coleta e armazenagem de água da chuva com o uso da norma ABNT<sup>(10)</sup>, verificou-se a área de captação e realizou-se o dimensionamento do sistema de coleta e armazenagem de água da chuva. Também se executou uma adequação do sistema de armazenagem para torná-lo compatível com itens disponíveis no mercado, visando aperfeiçoar o orçamento.

O volume de água da chuva com potencial de ser captado, e para qual o sistema foi dimensionado, é menor do que o volume consumido pelo sistema de torres de resfriamento da empresa. Dessa forma, a redução do uso da água potável é projetada em 60%, evitando que ao longo do ano aproximadamente 4.700m<sup>3</sup> de água potável deixe de ser consumida em uma aplicação que não exija esse nível de qualidade.

Se esse projeto for implantado na empresa, permitirá reduzir cerca de 4.700.000 litros de água potável no período de um ano. A economia de água gerada poderia atender a demanda de 260 pessoas ao longo de um ano. Esse tipo de iniciativa contribui para o desenvolvimento sustentável e incentiva as empresas a usarem, de forma racional, os recursos hídricos, garantindo mais água potável à sociedade.

## REFERÊNCIAS

1. PETERS, M.R. **Potencialidade do uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial**. 2006. 109f. Trabalho de Conclusão de Curso

- (Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, Florianópolis, SC.
2. CAMPOS, M.M; AZEVEDO, F.R. Aproveitamento de águas pluviais para consumo humano direto. **Jornal Eletrônico**. Ano V – Edição I – 2013 – ISSN 2176 – 1035 – 20 páginas.
  3. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo 2010**. [Online]. Brasil. 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em: 05 jun. 2016.
  4. LIMA, L.M.M **Mapeamento da suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do arroio do salso, Porto Alegre - RS**. 2010. 174f. Dissertação (Mestre em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.
  5. VASCONCELOS, L.F.; FERREIRA, O.M. **Captação de água de chuva para uso domiciliar: Estudo de caso**. Universidade Católica de Goiás – Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental. Goiânia – GO. p. 2-16, 2006.
  6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ABNT 15.527: Água da chuva: Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**, Rio de Janeiro, 2007.
  7. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Brasil. 2016. **Manual de captação de água da chuva** [Online]. Disponível em: <[www.ipt.br](http://www.ipt.br)>. Acesso em: 12 mai. 2016.
  8. TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. 2º ed. São Paulo: Navegar Editora, 2005. 184 p.
  9. HAGEMANN, S.E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. 2009. 141f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
  10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 10.844: Instalações prediais de águas pluviais**, Rio de Janeiro, 1989.
  11. FIGUEIRAS, L.F. **Avaliação da influência do descarte das primeiras águas de chuva sobre a qualidade bacteriológica da água captada em telhado**. 2013. 71f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Faculdade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Núcleo de Tecnologia, Caruaru, Pernambuco.
  12. CREDER, H. **Instalações de Ar Condicionado**. 6º ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
  13. Trovati, J. **Tratamento de água - Sistemas de resfriamento**: Cursos on-line. Disponível em: <<http://www.snatural.com.br>>. Acesso em: 01 jun. 2016.
  14. OENNING, A.J.; PAWLOWSKI, U. Avaliação de tecnologias avançadas para o reuso de Água em indústria metal-mecânica. **Eng. sanit. ambient.**, v.12, p. 305-316, 2007.

## ESTUDO DA VIABILIDADE DA OBTENÇÃO DE PROPANTES A PARTIR DA CINZA DA CASCA DO ARROZ

Figueiró, C.S.<sup>1</sup>  
Martins, V.<sup>2</sup>  
Fagundes, E.C.m.<sup>3</sup>  
Calcagno, C.I.W.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Mecânica, Instituto Federal Sul Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul, [camilafigueiro1991@gmail.com](mailto:camilafigueiro1991@gmail.com)

<sup>2</sup> Doutor, Instituto Federal Sul Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul, [viniciusmartins@sapucaia.ifsul.edu.br](mailto:viniciusmartins@sapucaia.ifsul.edu.br)

<sup>3</sup> Doutor, Instituto Federal Sul Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul, [eniofagundes@sapucaia.ifsul.edu.br](mailto:eniofagundes@sapucaia.ifsul.edu.br)

<sup>4</sup> Doutora, Instituto Federal Sul Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul, [carmencalcagno@sapucaia.ifsul.edu.br](mailto:carmencalcagno@sapucaia.ifsul.edu.br)

### Resumo

Na indústria de extração de petróleo se fazem necessárias técnicas que permitam aumentar a produtividade de poços. Um procedimento utilizado é a introdução nos poços de um agente de sustentação, esse material é denominado de propante. Comercialmente são utilizados como propantes areia e outros cerâmicos. A cinza da casca do arroz tem alto teor de sílica em sua composição e se apresenta como uma possível alternativa de fonte renovável para a obtenção de propantes, o que ampliará o ciclo de vida desse resíduo e originará um produto com valor agregado. O objetivo deste estudo é definir estratégias que possibilitem a transformação das cinzas da casca do arroz em particulados com as características desejáveis para aplicação em propantes. A análise do material de partida identificou que o mesmo não apresenta um tamanho de partícula adequado para a utilização direta como propante e foi necessário realizar procedimentos para a agregação de partículas. Para tanto, peças foram compactas e sinterizadas e, posteriormente, submetidas à moagem. As partículas que ficaram dentro da faixa de tamanho recomendado para aplicação como propante foram analisadas e quantificadas quanto a sua forma.

**Palavras-chave:** propante, cinza da casca do arroz, renovável, sinterização.

### STUDY OF THE FEASIBILITY OF OBTAINING PROPOSALS FROM ASH OF RICE

#### Abstract

In the oil extraction industry techniques are needed to increase the productivity of wells. A procedure used is the introduction into the wells of a holding agent, such material is termed proppant. Commercially they are used as propantes sand and other ceramics. Rice husk ash has a high content of silica in its composition and is presented as a possible alternative source for obtaining propants, which will extend the life cycle of this residue and will give rise to a product with added value. The objective of this study is to define strategies that allow the transformation of rice bark ash into particulates with the desirable characteristics for application in propants.

Analysis of the starting material identified that it does not exhibit a suitable particle size for direct use as a propellant and it was necessary to perform procedures for the aggregation of particles. For this, pieces were compacted and sintered and then subjected to grinding. Particles that were within the recommended size range for use as a propellant were analyzed and quantified for their shape.

**Key words:** Propant, rice husk ash, renewable, sintering.

## 1 INTRODUÇÃO

Na indústria de extração de petróleo se fazem necessárias técnicas que permitam aumentar a produtividade de poços. Neste processo, há a introdução de um material granular no canal com o intuito de mantê-lo aberto ao cessar o bombeamento, sendo esse material denominado de propante. Para a fabricação dele são comumente utilizados areia e outros cerâmicos. Uma fonte renovável de materiais cerâmicos que poderia ser utilizada no processo de fabricação de propantes é a cinza da casca do arroz, que possui alto teor de sílica.

### 1.1 Propantes

Em um reservatório de petróleo é necessária a utilização de técnicas para aumentar a produtividade dos poços. Um método utilizado é o fraturamento hidráulico, que consiste na injeção de um fluido sob pressão para fraturar a formação rochosa. Quando a pressão é interrompida, as forças tendem a fechar a fenda. Para evitar que isso ocorra é injetado na fratura um material de sustentação, denominado de propante, que é o responsável por manter a fratura aberta, formando um canal para o escoamento do hidrocarboneto.<sup>(1)</sup>

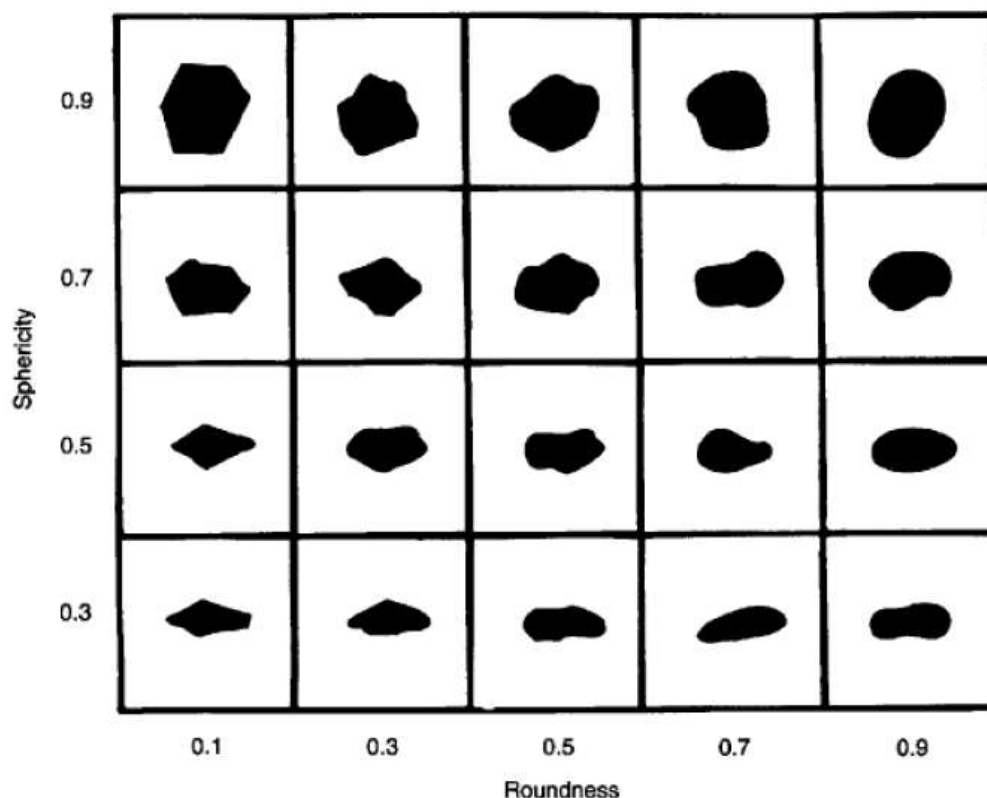
O propante é um material granular que deve possuir uma resistência mecânica suficiente para resistir a pressão de fechamento da fratura, essa pressão pode variar de 41 MPa à 68 MPa. Esse material não deve ter uma densidade elevada, pois isso dificulta o seu transporte pelo fluido de fraturamento, podendo sedimentar ao longo do caminho e obstruir o canal de escoamento, no caso da areia a sua densidade média do particulado para aplicação como propante é de 1,60 g/cm<sup>3</sup>.<sup>(2,3)</sup>

O material a ser usado como propante no processo de fraturamento hidráulico deve alcançar algumas características que lhe permitam um bom desempenho. Um ponto que deve ser observado é o tamanho dos grãos. Uma partícula grande permite um bom escoamento do hidrocarboneto, no entanto, não são recomendados para fraturas com pressões maiores (55 MPa – 68 MPa), pois eles são mais suscetíveis ao esmagamento. As partículas menores não oferecem uma boa condutividade inicial, contudo, propiciam uma melhor condutividade média ao longo da vida útil do poço.<sup>(4,5)</sup> Para o fraturamento hidráulico pode-se usar um variado tamanho de partículas, contudo o intervalo de mesh mais utilizado comercialmente é o mesh 20/40.<sup>(6)</sup> Para realizar essa classificação granulométrica são utilizados um conjunto de peneiras, elas devem ser agitadas por um determinado tempo, após isso se obtém uma distribuição granulométrica classificada por mesh. Uma boa



distribuição granulométrica deve apresentar mais de 90% das partículas no intervalo de mesh desejado.<sup>(3,7)</sup> É importante realizar a análise de uniformidade dos grãos, pois partículas de tamanho uniforme tendem a se arranjar de forma mais eficiente e a pressão se distribui de forma mais homogênea sobre o particulado, reduzindo assim o esmagamento e formação de finos.<sup>(3,7,8)</sup>

Outras propriedades importantes a serem determinadas são a esfericidade e o arredondamento. A esfericidade é uma medida dos raios da partícula, ela quantifica o quanto o grão se aproxima de um círculo. O arredondamento é uma medida da curvatura do grão, ele expressa o quanto a borda da partícula é pontiaguda. Essas propriedades afetam a porosidade e a condutividade da fratura, quanto mais próximo de uma circunferência são os grãos, maior é a porosidade. A esfericidade e o arredondamento também contribuem para uma distribuição de tensão mais homogênea, o que permite uma maior resistência ao esmagamento e uma menor produção de finos.<sup>(4)</sup> Para determinar essas características dos grãos é utilizado um comparador visual e um microscópio ótico. Segundo a norma API-RP-19C, as partículas são analisadas de forma aleatória, e a partir do comparador, são atribuídos valores para o grau de esfericidade e arredondamento de cada grão. A média do mesh utilizado será uma média aritmética dos valores determinados.<sup>(3,7)</sup> A Figura 1 mostra o comparador visual utilizado para realizar a quantificação da esfericidade e do arredondamento de cada grão.



**Figura 1:** Fator de forma desenvolvido por Krumbein e Sloss para a caracterização dos grãos.<sup>(3)</sup>

A partir deste comparador atribui-se um valor de 0,1 – 0,9 para o arredondamento, e um valor de 0,3 – 0,9 para a esfericidade. De acordo com a norma, para apresentarem boas características para o uso como propantes, os grãos devem apresentar uma esfericidade e um arredondamento mínimos de 0,7.<sup>(3,7)</sup>

Como foi mencionado anteriormente, quando cessa a pressão do fluido fraturante, ocorre uma tensão que atua tentando fechar a fratura. Por isso a importância de determinar a resistência ao esmagamento dos grãos e evitar que ocorra a fratura das partículas e a formação de finos. Esses finos podem ser carregados pelo fluxo ou então preencher os poros, desta forma bloqueando o escoamento do fluxo e reduzindo a permeabilidade da fratura.<sup>(8)</sup> O ensaio de resistência ao esmagamento é realizado com a utilização de uma matriz e uma prensa hidráulica, após o ensaio, a quantidade máxima de finos apresentados pela amostra não pode ser superior a 10% da massa testada.<sup>(3,7)</sup> Os propantes são classificados segundo a qual pressão são capazes de suportar produzindo um máximo de 10% de finos. O material é classificado de 1K a 15K, sendo a primeira aquela referente à pressão mínima para o ensaio, que é de 6,9 MPa. Na Tabela 1 estão apresentadas as tensões utilizadas para a classificação.<sup>(7)</sup>

**Tabela 1:** Tabela de classificação dos propantes segundo a tensão que suporta.<sup>(7)</sup>

Classificação para 10% de esmagamento	Tensão	
	MPa	psi
1K	6,9	1000
2K	13,8	2000
3K	20,7	3000
4K	27,6	4000
5K	34,5	5000
6K	41,4	6000
7K	48,3	7000
8K	55,2	8000
9K	62,1	9000
10K	68,9	10000
11K	75,8	11000
12K	82,7	12000
13K	89,6	13000
14K	96,5	14000
15K	103,4	15000

Se após um ensaio de resistência ao esmagamento utilizando uma pressão de 6,9 MPa a produção de finos for igual ou menor que 10%, esse material pode ser classificado como propante 1K.

## 1.2 Materiais usados comercialmente

O material mais comumente utilizado como propante é a areia. Esse mineral foi o primeiro a ser empregado como agente de sustentação para o processo de fraturamento hidráulico. A areia é extraída da natureza e passa por tratamento, onde seus grãos são dimensionados, uma vez que para a aplicação como propantes, o

material deve atender algumas especificações de tamanho, esfericidade e arredondamento do grão. Existem dois tipos de areia, a conhecida por branca e a castanha. A areia branca apresenta sua coloração clara devido à presença de um maior teor de sílica e menor de impurezas, desta forma apresentando uma resistência ao esmagamento melhor. A areia castanha apresenta em sua composição um menor teor de sílica, inferior a 95% de SiO<sub>2</sub>. Essas características tornam a areia castanha mais propensa a formação de finos mesmo quando submetida a pequenas pressões.<sup>(6,9)</sup>

Além da areia pura, também podem ser utilizados areia revestida com resina e propantes produzidos a partir de materiais argilosos. No caso da resina, ela possibilita uma distribuição mais homogênea da pressão, desta forma diminuindo a quebra dos grãos e a formação de finos.<sup>(9)</sup> Um exemplo de propantes argilosos são os produzidos a partir de bauxita sinterizada, caulim, silicato de magnésio ou uma mistura de bauxita e caulim. Esse material apresenta resistência ao esmagamento, esfericidade e arredondamento maiores se comparados a areia pura. Essas características fazem com que os propantes argilosos tenham um maior valor de fabricação do que os a base de areia.<sup>(9)</sup>

Todos os propantes mencionados até este momento são de fonte mineral cujas matérias-primas são extraídas da natureza. Contudo, existe um material de fonte renovável que pode vir a ser explorado para essa finalidade por ser rico em sílica, a sua origem é a queima da casca do arroz.

### 1.3 Cinza da casca do arroz

O Brasil é um dos maiores produtores de arroz do mundo, com uma produção de 12,04 milhões de toneladas. O Rio Grande do Sul possui a maior produção, correspondendo a 70,9% da produção do país.<sup>(10)</sup> A casca do arroz representa um quinto da massa da produção deste cereal.<sup>(11)</sup> A composição da casca do arroz pode ser dividida em 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica.<sup>(12)</sup> Na Tabela 2 são apresentadas a quantidade de cinza em toneladas.<sup>(10)</sup>

**Tabela 2:** Quantidade de cinza da safra de 2017.<sup>(10)</sup>

Local	Cinza da casca do arroz
Brasil	4,81 milhões de toneladas
Rio Grande do Sul	3,41 milhões de toneladas
Santa Catarina	0,44 milhões de toneladas

A forma de beneficiamento da casca do arroz mais utilizada é a sua queima, com temperatura controlada, para obtenção de energia. Quem mais utiliza esse recurso são as próprias indústrias do cereal para a secagem e para parboilização dos grãos.<sup>(13)</sup> No entanto, esse processo produz uma grande quantidade de cinza como resíduo. Dentre os resíduos agrícolas, o arroz é o que produz uma maior porcentagem de cinza em peso. Na

Tabela 3, são comparados a quantidade de cinza produzidas a partir da queima da casca de alguns produtos agrícolas.<sup>(12)</sup>

**Tabela 3:** Porcentagem de cinzas obtidas a partir da queima de resíduos agrícolas.<sup>(12)</sup>

Cereal	Parte da Planta	Cinza (% em peso)
Milho	Folha	12
Arroz	Casca	20
Arroz	Palha	14
Cana-de-açúcar	Bagaço	15
Girassol	Folha e Talo	11
Trigo	Folhas	10

Segundo a

Tabela 3, 20% da massa de resíduo do arroz que for queimado se transformarão em cinzas.

As cinzas são constituídas em grande parte por sílica, representando 94% a 96% das cinzas, o restante da composição são carbono e outras impurezas.<sup>(11)</sup> A coloração das cinzas da casca de arroz depende do teor de carbono presente no resíduo. Quanto maior a porcentagem de carbono, mais escura é a cinza, chegando a uma coloração quase preta. Uma boa queima das cascas do arroz resultam em cinzas mais puras e com coloração mais próxima do branco.<sup>(12)</sup>

As cinzas da casca do arroz já possuem algumas alternativas de utilização comercial, com grande participação na indústria da construção civil. Alguns estudos verificaram a possibilidade de acrescentar as cinzas na mistura de fabricação de argamassas e concretos. Na composição as cinzas são a menor parte, podendo chegar a 30%. Os resultados dos estudos apontaram que a incorporação das cinzas da casca do arroz não comprometeram o desempenho do concreto.<sup>(11)</sup> Em uma outra pesquisa utilizou-se a cinza da casca do arroz como aditivo no caulim para a produção de cerâmica refratária. O caulim foi substituído em até 20% pela cinza, e constatou-se que essa incorporação aumentou as propriedades mecânicas da cerâmica, como a resistência à tração e à compressão.<sup>(14)</sup>

O grupo de pesquisa do IFSUL realizou alguns testes utilizando a cinza da casca do arroz para a produção de propantes. Verificou-se que as cinzas apresentavam inicialmente um tamanho de partícula menor do que o necessário para a aplicação. A estratégia que foi adotada pelo grupo para obter particulados maiores foi a utilização do processo de sinterização.<sup>(15)</sup>

#### 1.4 Sinterização de Cerâmica

Existem parâmetros importantes que devem ser controlados durante o processo de sinterização, como a temperatura e o tempo. A variação nestes parâmetros pode gerar resultados diferentes. A temperatura ideal utilizada vai variar de acordo com cada material e tempo de sinterização.

Uma pesquisa utilizou a sinterização das cinzas da casca do arroz para a obtenção de um produto, os vidros bioativos que são utilizados na medicina. O trabalho verificou a influência da temperatura de sinterização das cinzas para as propriedades mecânicas e físicas do vidro bioativo. Para o ensaio foram confeccionados vidros bioativos obtidos da mistura de cinza da casca do arroz com os reagentes  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , o vidro bioativo foi moído, o pó foi

compactado e os corpos de prova foram sinterizados a temperaturas que variaram de 900°C até 1050°C, realizando uma isoterma de 2 horas nestas temperaturas. A fase cristalina apresentada pelo material aumenta com o aumento da temperatura de sinterização. A variação da temperatura de sinterização influenciou características como densidade e micro dureza, com o aumento da temperatura ocorrem um aumento nestas propriedades. Temperaturas mais altas de sinterização provocam uma segunda fase na microestrutura, isso melhora a resistência mecânica. Com o estudo verificou-se que as propriedades mecânicas do vidro cerâmico de cinzas são semelhantes ao de sílica comercial.<sup>(16)</sup> Em uma outra pesquisa as cinzas foram submetidas ao processo de sinterização para aumentar sua densidade e resistência. As cinzas foram obtidas por métodos diferentes e elas foram submetidas a sinterização a diferentes temperaturas. Na sinterização ocorreu um aquecimento até 600°C com uma isoterma de 1 hora e um posterior aquecimento até uma segunda temperatura que variou de 700°C a 1400°C, com uma isoterma de 2 horas. As diferentes temperaturas de sinterização foram utilizadas para avaliar qual a sua influência na formação de fase, densificação e resistência mecânica. O aumento da temperatura de sinterização aumentou a densidade do material, sendo o melhor resultado de 2,00 g/cm<sup>3</sup> na sinterização à 1200°C. Assim como a densidade, a resistência a compressão aumenta com o aumento da temperatura de sinterização.<sup>(17)</sup>

Outro parâmetro que influência nos resultados obtidos da sinterização é o tempo utilizado no processo. O tempo está relacionado com a temperatura, e alguns estudos avaliam o quanto a variação do tempo modifica os resultados obtidos. Um exemplo é a influência do tempo no tamanho do grão, em um estudo o material foi sinterizado a 1300°C e 1350°C durante 1 a 12 horas. O tempo de sinterização provocou uma variação do tamanho do grão maior para os sinterizados a 1300°C, apresentando um aumento de 45% no tamanho do grão comparando o menor e o maior tempo de sinterização. Com um maior tempo de sinterização ocorre uma diminuição dos poros presentes nos contornos de grãos, e um aumento do grão.<sup>(18)</sup> Em um outro estudo foi verificado a influência do tempo de sinterização em corpos de provas confeccionados a partir de resíduo do polimento de porcelanato. A sinterização foi realizada a 1200°C durante 5 a 20 minutos. O aumento do tempo de sinterização diminuiu a densidade aparente e a resistência a compressão do cerâmico. Os resultados obtidos permitem que o cerâmico obtido a partir do resíduo do porcelanato seja utilizado na indústria da construção civil.<sup>(19)</sup>

Em um trabalho do grupo de pesquisa do IFSUL, a cinza da casca do arroz (SILROZ 325) foi sinterizada na presença de 1% de estearato de zinco. O processo de sinterização ocorreu com um aquecimento até 600°C com uma isoterma de 1 hora, e um aquecimento até uma segunda temperatura com mais uma isoterma de 1 hora, foram testadas as temperaturas de 1200°C, 1400°C e 1500°C. A cinza utilizada nesse estudo apresentava carbono em sua composição e os resultados desse estudo sugerem que a presença de 20% de carbono dificultou o processo de sinterização e influenciou negativamente a resistência mecânica dos particulados sinterizados.<sup>(15)</sup>

O objetivo geral deste estudo foi definir estratégias que possibilitem a transformação da sílica verde em particulados com as características desejáveis para aplicação em propantes. Para tanto, os processos de sinterização e moagem foram investigados e os particulados foram avaliados quanto ao atendimento de especificações de propantes.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste estudo foram fornecidos pela empresa parceira Marina Tecnologia Ltda Serviços Ltda. Foram estudados dois materiais provenientes da cinza da casca do arroz, um dos materiais utilizados foi a *SILROZ HD* que apresenta na sua composição 99,9% de sílica. O outro material utilizado para os testes foi o *SILROZ HD-Si* que apresenta na sua composição química de 90 – 94% de sílica e de 6 – 10% de silano (tetrasulfeto de bis [3-(trietóxisilil) propila]).

Como esses materiais de partida têm particulados com tamanho menor do que o especificado para uso como propantes, foi necessário a aglomeração do material, que neste estudo foi realizado por meio da sinterização. Antes da compactação e sinterização foi realizada a classificação dos materiais quanto a sua granulometria com a utilização de peneiras com tamanhos de malhas variados e um agitador. A classificação granulométrica foi realizada de acordo com a norma API-RP-19C, e foram utilizadas as peneiras dos mesh 20, 25, 30, 35 e 40.<sup>(3)</sup> O material retido em cada mesh foi separado e pesado, desta forma foi determinada a distribuição granulométrica.

Para poder realizar a sinterização foi necessário a produção de corpos de prova obtidos a partir da compactação da sílica, proveniente da queima da casca do arroz. A compactação foi realizada com a utilização de uma prensa hidráulica e de uma matriz cilíndrica de diâmetro externo de 100 mm com um furo central de diâmetro de 13 mm e dois pistões para realizar a compressão do material. O material foi disposto na matriz e foi aplicada uma pressão de 25 MPa (0,33 toneladas), esses corpos de prova antes de passarem pelo processo de sinterização foram chamados de corpos de prova à verde. Os corpos de prova foram identificados e foi realizada a medição da altura, do diâmetro e da massa o que possibilitou o cálculo da densidade à verde utilizando-se, no mínimo, 20 corpos de prova. As médias e desvio-padrão foram determinados.

O processo de sinterização foi utilizado para aumentar o tamanho de partícula e resistência mecânica do material. A sinterização foi realizada em um forno tubular Sanchis com a capacidade de aquecimento até 1200°C. O processo de sinterização foi programado para uma taxa de aquecimento de 10°C/min, aquecendo até uma temperatura de 600°C e posteriormente até uma segunda temperatura de 1200°C, foi realizada uma isoterma de 1 hora à 600°C e uma de 2 horas à 1200°C, esses parâmetros foram determinados de acordo com os resultados obtidos por Nayak e Bera e estudos anteriores do grupo de pesquisa. O resfriamento do material foi realizado de forma natural ainda dentro do forno.<sup>(17)</sup> O material que ficou retido nas peneiras de mesh 16/20 na etapa de classificação granulométrica foi sinterizado sem a compactação prévia.

Após o processo de sinterização, os corpos de prova compactados foram submetidos a novas medições de altura, diâmetro, massa e as densidades do sinterizado foram calculadas utilizando-se, no mínimo, 20 corpos de prova. As médias e desvio-padrão foram determinados.

Para obter um material particulado a partir dos corpos de prova compactados e sinterizados foi realizada a moagem do material. Nesta etapa foram testados dois tipos de moinhos com dois procedimentos diferentes em cada equipamento. Para o processo realizado com o moinho rotor à martelo foram utilizadas duas aberturas de peneira (1 mm e 1,5 mm) e a menor velocidade de rotação praticável no equipamento (7000 rpm). Os corpos de prova foram soltos na entrada do moinho um de cada vez, e em cada teste foram utilizados um total de três corpos de prova. Na

moagem realizada no moinho de bola SL 38 utilizou-se esferas de tamanhos e em quantidades diferentes. Em um dos ensaios foram utilizadas três esferas de 16mm com 16,4 gramas cada uma, enquanto no outro procedimento, foram utilizadas as três esferas anteriores e acrescentou-se duas esferas com diâmetro de 11 mm e massa de 5,4 gramas cada uma. Os três corpos de prova, que somam uma massa de aproximadamente 4,3 gramas, foram dispostos inteiros dentro do moinho e ele funcionou por 5 segundos. Após essa etapa foram separados os particulados menores que o mesh 20 e os maiores foram colocados novamente no moinho por mais 5 segundos, repetindo o procedimento descrito por 7 vezes. Ao fim, todo material obtido em cada um dos quatro testes de moagem foram classificados quanto à granulometria, sendo determinada a porcentagem em massa nas frações 20/40, os finos produzidos e comparadas as eficiências das moagens realizadas. As amostras do material do intervalo de mesh 20/40 também foram avaliadas segundo suas características de esfericidade e arredondamento.

As características do formato das partículas são propriedades importantes para a permeabilidade da fratura. Por isso foi feita a quantificação da esfericidade e do arredondamento das partículas. Para analisar essas características foram utilizados um microscópio ótico e uma tabela, desenvolvida por Krumbein e Sloss (Figura 1), que apresenta possíveis formatos das partículas com valores. Para realizar o ensaio foram escolhidas 20 partículas de cada material de forma aleatória e elas foram analisadas de forma individual em relação a sua esfericidade e arredondamento. No microscópio foi utilizando uma aproximação que permitiu uma visualização eficiente das características da superfície dos particulados, e a partir de uma comparação visual foi possível determinar valores para a esfericidade e o arredondamento de cada partícula, formando uma tabela de valores para essas características. Os valores de esfericidade e arredondamento das partículas dos materiais foram a média aritmética das 20 partículas analisadas. Também foi calculado o desvio padrão para avaliar a homogeneidade da amostra quanto ao seu formato. Esse ensaio de esfericidade e arredondamento foi baseado na norma de propantes.<sup>(3)</sup> As características morfológicas das partículas obtidas em diferentes condições também foram comparadas por análise de variância (ANOVA fator único), com 95% de confiança.

### 3 RESULTADOSE DISCUSSÃO

A queima incompleta da casca de arroz resulta em uma cinza contendo carbono que dificulta a sinterização desse tipo de material.<sup>(15)</sup> Nesse trabalho a sílica purificada, proveniente da cinza da casca de arroz foi fornecida pela empresa e sua distribuição granulométrica está apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4:** Distribuição granulométrica do material original.

SÍLICA HD			SÍLICA HD-Si		
Mesh	Massa (g)	%	Mesh	Massa (g)	%
<b>Grossos</b>	43,8526	43,896	Grossos	28,8358	28,94
<b>&gt;16</b>	12,7785	12,791	>16	14,7568	14,81
<b>&gt;18</b>	4,223	4,227	>18	4,493	4,509
<b>&gt;20</b>	5,2072	5,212	>20	5,7534	5,774

<b>Finos</b>	33,8395	33,873	Finos	45,8004	45,966
--------------	---------	--------	-------	---------	--------

O material com tamanho de partícula maior e menor que os mesh 16/20 foram compactados, sinterizados e moídos, os resultados foram apresentados e discutidos nos capítulos compactação e sinterização, obtenção de particulado por moagem e material particulado.

### 3.1 Compactação e sinterização

Nesta etapa de preparação da amostra o material foi compactado e os corpos de prova foram caracterizados segundo suas densidades e características de compactação.

Antes da compactação, os materiais foram macerados e peneirados com objetivo de homogeneizar o tamanho do particulado. A compactação sob diferentes pressões foi testada objetivando a construção de uma curva de compressibilidade. No entanto, o material se mostrou frágil a pressões superiores a 25 MPa. O *SILROZ HD* apresentou um bom resultado no processo de compactação, os corpos de prova apresentaram um aspecto visual da superfície lisa e sem fraturas, como pode ser visto na Figura 2. Os corpos de prova obtidos permitiram o cálculo das densidades e desvios padrão. Após o processo de sinterização alguns corpos de prova apresentaram fraturas, como podem ser visto na Figura 3.



**Figura 2:** Corpos de prova da *SILROZ HD* após a compactação.





**Figura 3:** Corpos de prova da *SILROZ HD* após a sinterização.

O material *SILROZ HD-Si* apresentou maior dificuldade de compactação do que o *SILROZ HD* e, mesmo em uma pressão tão baixa quanto 25 MPa, a maioria dos corpos de prova apresentaram fraturas após a compactação e, portanto, as densidades à verde e dos sinterizados não foram determinadas.

O processo de sinterização ocasionou uma variação perceptível de volume nas amostras testadas, como pode ser visualizado na Figura 4.



**Figura 4:** Corpos de prova antes e depois da sinterização.

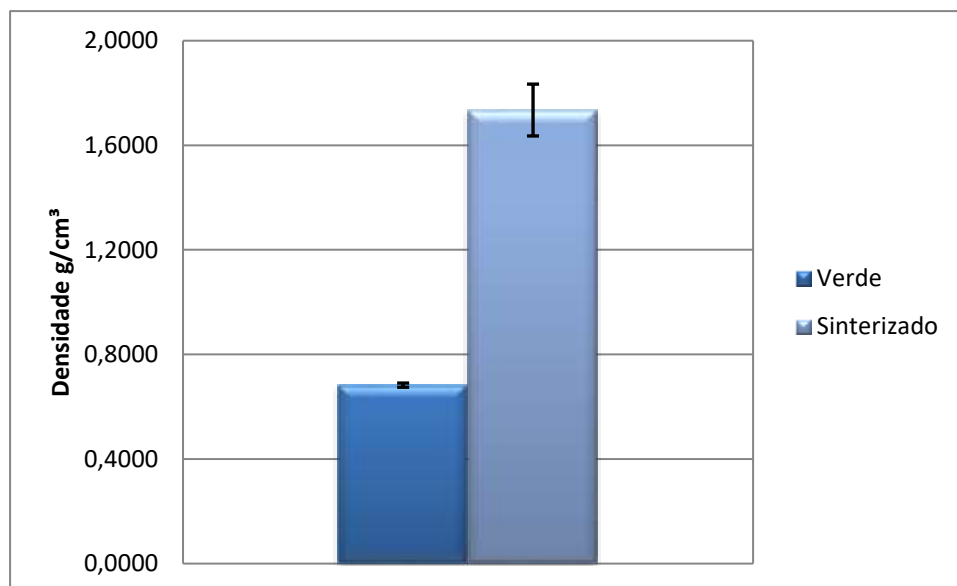
A Figura 4 ilustra a redução de volume observada nas amostras de *SILROZ HD* que foi de aproximadamente 34%. Na sílica *HD-Si* também foi observada a redução de volume.

Na

Tabela 5 estão apresentadas as densidades individuais determinadas para um conjunto de corpos de prova do *SILROZ HD* e no gráfico da Figura 5 pode ser observado o aumento da densidade após a sinterização.

**Tabela 5:** Tabela com os valores médios da densidade antes e depois da sinterização.

Amostra	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	
	À verde	Sinterizado
E17	0,66	1,80
E18	0,67	1,83
E19	0,68	1,82
E20	0,68	1,81
E21	0,69	1,81
E22	0,69	1,82
E23	0,69	1,75
E24	0,69	1,76
E25	0,69	1,78
E26	0,68	1,81
E27	0,69	1,67
E28	0,69	1,66
E29	0,69	1,69
E30	0,69	1,54
E31	0,68	1,52
E32	0,67	1,67
<b>Média</b>	<b>0,68 ± 0,01</b>	<b>1,73 ± 0,10</b>



**Figura 5:** Gráfico representando o aumento de densidade nos dois processos de sinterização.

A densidade do material aumentou, em média, 1,5 vezes após a sinterização. A densidade média obtida dos corpos de prova foi 1,73 g/cm<sup>3</sup> que foi menor do que aquela observada na sinterização de sílica comercial de alta pureza (1,87 g/cm<sup>3</sup>).<sup>(20)</sup> No estudo Nayak e Bera (2009), eles realizaram a purificação da sílica obtida a partir

da cinza da casca do arroz, obtendo um material com 99,8% de sílica e que, após a sinterização a 1200°C por 2 horas, apresentou uma densidade média de 2,00 g/cm<sup>3</sup>.<sup>(17)</sup> No estudo de Paschoal (2016), os autores tiveram dificuldades na sinterização da sílica verde, o que foi atribuído à presença de até 20% de carbono na composição química da mesma. Essa menor pureza fez com que o material sinterizado apresentasse uma densidade menor.<sup>(15)</sup> Assim, na estratégia adotada nesse estudo, o uso de sílica purificada, proveniente da cinza da casca de arroz, resultou maior densificação e, provavelmente, melhoria nas propriedades mecânicas. Ainda, pode-se afirmar que o processo testado nesse estudo é reproduzível, uma vez que o processo de sinterização foi realizado em um conjunto de corpos de prova mais de uma vez, e os resultados obtidos foram semelhantes em todos os ensaios.

### 3.2 Obtenção de particulado por moagem

Na etapa anterior desse estudo, a sinterização precedida de compactação foi utilizada como estratégia para aumentar o tamanho de partícula da sílica proveniente da cinza da casca de arroz. Os sinterizados produzidos apresentaram tamanhos maiores do que os especificados para propantes e, com o objetivo de produzir particulados com tamanho e morfologia adequados a essa aplicação, as amostras foram submetidas a diferentes testes de moagem.

Essa etapa do estudo demandou alguns testes com o objetivo de obter uma maior eficiência no que se refere à produção de um maior percentual em massa de material com tamanho dos mesh 20/40 e resultados satisfatórios de esfericidade e arredondamento.

Neste estudo foram testados dois tipos de moinhos com dois procedimentos diferentes em cada equipamento. O primeiro teste foi realizado em um moinho rotor à martelo, utilizou-se a rotação mínima do equipamento e foi testado duas peneiras com aberturas diferentes. Os resultados obtidos nas duas moagens estão apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6:** Resultados da moagem no moinho rotor à martelo.

Mesh	Peneira de 1 mm				Peneira de 1,5 mm			
	Massa (g)	%	Esfericidade	Arredondamento	Massa (g)	%	Esfericidade	Arredondamento
Grossos	0,0364	1,1			0,1445	3,2		
>25	0,0205	0,6	0,8 ± 0,1	0,5 ± 0,2	0,1341	3,0	0,9 ± 0,1	0,6 ± 0,2
>30	0,0777	2,3	0,7 ± 0,2	0,6 ± 0,2	0,2869	6,4	0,8 ± 0,2	0,6 ± 0,2
>35	0,097	2,9	0,9 ± 0,1	0,7 ± 0,2	0,3519	7,8	0,8 ± 0,1	0,6 ± 0,2
>40	0,3056	9,0	0,8 ± 0,2	0,6 ± 0,2	0,5136	11,4	0,7 ± 0,2	0,6 ± 0,2
Finos	2,8522	84,1			3,0557	68,1		
<b>Média</b>			<b>0,8 ± 0,1</b>	<b>0,6 ± 0,2</b>			<b>0,8 ± 0,2</b>	<b>0,6 ± 0,2</b>

Ao analisar os resultados das duas moagens no moinho rotor à martelo, pode-se observar que os dois processos produziram uma alta porcentagem em massa de finos, sendo o melhor resultado de aproximadamente 68%. Essa fração de material classificado como finos só poderia ser reutilizada para o mesmo fim se fosse

compactada e sinterizada novamente, o que significa retrabalho. O processo que utilizou a peneira com abertura maior apresentou um melhor resultado de eficiência, de aproximadamente 28% em massa retidos nos mesh 20/40.

Segundo a norma de aplicação de propantes, a esfericidade e o arredondamento devem ser iguais ou superiores a 0,7.<sup>(7)</sup> Ao observar a Tabela 6 é possível concluir que ambas as moagens atenderam a especificação de esfericidade, apresentando uma média de 0,8 em ambos os procedimentos. Contudo, o arredondamento do particulado das duas moagens não atendeu a especificação, apresentando uma média de 0,6 em ambas.

Apesar dos bons resultados de esfericidade da partícula, as moagens no moinho rotor à martelo produziram um alto percentual de finos e não atenderam a especificação de arredondamento. Com o objetivo de melhorar esses parâmetros que não foram alcançados com os processos de moagem anteriores, foram testados dois procedimentos diferentes utilizando um outro tipo de moinho, o moinho de bolas. Nos testes no moinho de bolas foram usadas quantidades e diâmetros das esferas diferentes, e os resultados estão apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7:** Resultados obtidos nos processos de moagem no moinho de bolas.

Mesh	3 Esferas (D=16 mm)				3 Esferas (D=16 mm) + 2 Esferas (D=11 mm)			
	Massa (g)	%	Esfericidade	Arredondamento	Massa (g)	%	Esfericidade	Arredondamento
Grossos	0,5772	31,1			0,8707	49,9		
>25	0,0600	3,2	0,8 ± 0,1	0,4 ± 0,2	0,0476	2,7	0,8 ± 0,1	0,5 ± 0,2
>30	0,0907	4,9	0,7 ± 0,2	0,5 ± 0,1	0,0541	3,1	0,8 ± 0,2	0,4 ± 0,2
>35	0,0794	4,3	0,7 ± 0,1	0,5 ± 0,2	0,0425	2,4	0,7 ± 0,2	0,5 ± 0,2
>40	0,0898	4,8	0,7 ± 0,2	0,5 ± 0,2	0,0602	3,4	0,6 ± 0,2	0,4 ± 0,2
Finos	0,9580	51,6			0,6709	38,4		
<b>Média</b>			<b>0,7 ± 0,2</b>	<b>0,5 ± 0,2</b>			<b>0,7 ± 0,2</b>	<b>0,5 ± 0,2</b>

Esse processo de moagem foi realizado de forma intermitente e com separação granulométrica com o objetivo de diminuir a produção de finos, uma vez que retirar o particulado que já atende o tamanho especificado evita que essas partículas continuem fraturando e formando finos. Se comparar os resultados da Tabela 7 com os resultados da moagem no moinho rotor à martelo da Tabela 6, a moagem no moinho de bolas produziu uma menor porcentagem em massa de finos, sendo o melhor resultado de aproximadamente 38% de finos obtido no procedimento que utilizou dois tamanhos de esferas concomitantemente. No trabalho de Compazzi et al. (2017) foi testado um procedimento sem o uso de moinhos, o resultado obtido foi de 46% em massa de finos e esse resultado foi pior do que o alcançado com o moinho de bolas nesse estudo.<sup>(20)</sup> Ao comparar as características morfológicas de esfericidade e arredondamento nos dois tipos de moinhos utilizados, foi possível observar que os resultados de esfericidade atenderam a especificação, apresentando uma média de 0,7 no moinho de bolas e 0,8, no moinho de rotor à martelos. Contudo, assim como no moinho rotor à martelo, os resultados de arredondamento não atenderam a especificação, apresentando uma média de 0,5 nos dois procedimentos testados no moinho de bolas. Comparando os resultados da moagem nos moinhos com o procedimento sem moinho realizado anteriormente, é possível constatar que a moagem nos equipamentos gerou particulados com maiores valores de esfericidade e arredondamento. Na moagem sem moinho foram

obtidos 0,6 e 0,4 para esfericidade e arredondamento, respectivamente. No que se refere a moagem manual, nenhuma das duas características morfológicas atenderam as especificações.<sup>(20)</sup>

Após analisar e comparar os resultados dos processos de moagem nos moinhos e sem a utilização de um equipamento foi possível sugerir qual dos métodos foi o mais eficiente. Segundo a ANOVA foi possível afirmar com 95% de confiança que os resultados de esfericidade dos particulados obtidos a partir dos quatro testes de moagem não apresentaram diferença significativa. E como os resultados de arredondamento não atenderam a especificação em nenhum dos testes, as características morfológicas não foram consideradas relevantes nessa sugestão de melhor método. Assim, o processo de moagem que utilizou, concomitantemente, esferas de dois tamanhos (16 mm e 11 mm) formou a menor porcentagem de finos (38%), além de ter sido o processo com a maior porcentagem de grossos (49%), por isso foi considerado a melhor opção entre àquelas testadas. Esse material classificado como grossos pode ser colocado para moer novamente, com isso é possível aumentar a eficiência do processo pelo aumento da porcentagem em massa de material retido nas peneiras de mesh 20/40.

A moagem de sinterizados ainda traz desafios quanto ao alcance das características necessárias para aplicação em propantes, em especial, no parâmetro arredondamento e, também, quanto à eficiência para minimizar a produção de particulados de tamanho menor do que a especificação. Neste estudo se testou alguns procedimentos utilizando dois tipos de moinhos, contudo, como o arredondamento do particulado não atende a especificação, são necessários estudos futuros para solucionar essa dificuldade.

### **3.3 Material Particulado**

Como mencionado no capítulo anterior, às estratégias testadas para produzir os particulados ainda não permitiram alcançar a especificação de arredondamento. Uma outra hipótese que foi testada para alcançar as características morfológicas consistiu em sinterizar o material particulado original como foi fornecido pela empresa. Para isso foi necessário partir de um tamanho de partícula maior que o especificado para o uso como propante, isto é, maior que as peneiras de mesh 20/40.

Para tanto, particulados retidos no intervalo de mesh 16/20 foram sinterizados nas mesmas condições testadas anteriormente. A escolha desse tamanho de partícula para sinterização teve origem no resultado de contração volumétrica que foi estimado como 34%. Na

Figura 6 é possível visualizar o material particulado antes e depois da sinterização.



Figura 6: Material particulado antes e após o processo de sinterização.

A

Figura 6 mostra que, semelhante ao observado na outra etapa de estudo, o particulado sinterizado apresentou redução de volume.

Após a sinterização, o particulado foi classificado quanto à distribuição granulométrica utilizando o mesmo procedimento descrito anteriormente, e o resultado está apresentado na Tabela 8.

Tabela 8: Resultado da classificação granulométrica do particulado sinterizado.

Mesh	Massa (g)	%
Grossos	7,3432	37,6

<b>&gt;25</b>	3,6522	18,7
<b>&gt;30</b>	4,4454	22,7
<b>&gt;35</b>	3,1505	16,1
<b>&gt;40</b>	0,8315	4,3
<b>Finos</b>	0,1315	0,7

Ao analisar a Tabela 8 pode-se dizer que o processo de sinterizar o material original apresentou bons resultados, sendo um deles a baixa geração de partículas menores do que a especificação, apresentando aproximadamente 0,67% em massa.

Ainda, a sinterização desta amostra produziu 37,6% de material maior que o tamanho da especificação e identificou-se que esse material foi proveniente da sinterização de parte do particulado do mesh 16. Analisando as massas originais foi possível identificar que essa fração com particulados maiores representam aproximadamente 57% da massa do mesh 16 antes da sinterização. Assim, em testes futuros, sugere-se que sejam sinterizados os particulados classificados nas peneiras dos mesh 18/20.

Outro aspecto positivo deste processo foi a boa eficiência da sinterização que resultou em 61,8% de material retido nas peneiras dos mesh 20/40. A obtenção da sílica aglomerada em dimensões maiores, provavelmente, exige etapas extras durante a obtenção do material. No entanto, eliminaria a etapa de compactação e, conseqüentemente, a moagem, que apresentaram diversas dificuldades no processo de obtenção de particulados com características necessárias para aplicação em propantes.

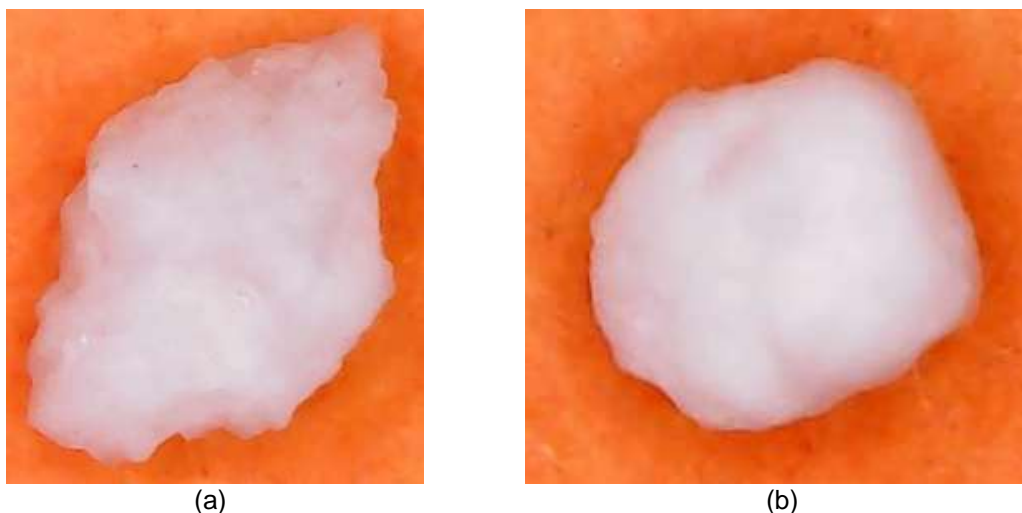
Pode-se destacar também que o processo de sinterização direta da partícula pode trazer benefícios ao controle das características morfológicas do particulado. Na Tabela 9 podem-se comparar os valores destas características antes e após a sinterização.

**Tabela 9:** Dados de esfericidade e arredondamento antes e depois de sinterizar o particulado.

	<b>Esfericidade</b>	<b>Arredondamento</b>
<b>Verde</b>	0,8 ± 0,1	0,6 ± 0,1
<b>sinterizado</b>	0,8 ± 0,1	0,6 ± 0,2

Ao analisar as características morfológicas do material particulado antes e após a sinterização foi possível constatar que a redução de volume pode ser considerada isométrica, uma vez que a redução ocorre de forma homogênea, mantendo a esfericidade e o arredondamento da partícula original.

Na Figura 7 é possível comparar as características morfológicas do material que passou pelo processo de moagem e um que o particulado original foi sinterizado.



**Figura 7:** (a) particulado moído. (b) particulado que foi sinterizado sem compactação.

Nas imagens das partículas fica evidente que o formato do material que não sofreu moagem se aproxima mais de uma circunferência do que o que foi moído. As pontas na imagem (a) podem afetar a porosidade e a condutividade da fratura, pois quanto mais próximos de uma circunferência são os particulados, maior é a porosidade. A esfericidade e o arredondamento também contribuem para uma distribuição de tensão mais homogênea, o que permitiria uma maior resistência ao esmagamento e uma menor produção de finos.<sup>(4)</sup>

#### 4 CONCLUSÃO

A queima incompleta da casca de arroz resulta em uma cinza contendo carbono que dificulta a sinterização desse tipo de material. Por isso neste estudo foi utilizada sílica purificada também obtida a partir das cinzas da casca do arroz. O material mostrou um comportamento frágil durante a compactação, fraturando com pressões maiores que 25 MPa. O processo de sinterização resultou em uma redução de volume de 34% e um aumento de densidade de 1,5 vezes, esses resultados foram melhores que os obtidos da sinterização da sílica com carbono. O melhor processo de moagem dentre os testados foi o que utilizou, concomitantemente, esferas de dois tamanhos (16 mm e 11 mm), pois foi o procedimento que formou a menor porcentagem de finos (38%). As amostras que foram compactadas, sinterizadas e moídas não atenderam a especificação de arredondamento. Na sinterização direta de materiais particulados foi observada a redução isométrica de volume e a partir desse resultado é possível supor que, se o particulado original apresentar características morfológicas que atendam as especificações, o material sinterizado também atenderá. A obtenção da sílica aglomerada em dimensões maiores e atendendo as especificações de esfericidade e arredondamento, provavelmente, exige etapas extras durante a obtenção do material. No entanto, eliminaria a etapa de compactação e, conseqüentemente, a moagem, que apresentaram diversas dificuldades no processo de obtenção de particulados com características necessárias para aplicação em propantes.



## Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Marina, parceira no desenvolvimento do projeto Riceprop, à PROPESP/IFSUL e ao CNPq pelo apoio financeiro através da Chamada CNPq – SETEC/MEC N. 17/2014 – Apoio a Projetos Cooperativos de Pesquisa Aplicada e Extensão Tecnológica com o projeto “RICEProp – BIOMassa em materiais para a indústria de petróleo e gás’.

## REFERÊNCIAS

- 1 FILHO, V.J.M.F.; CASTRO, A.O.S. Selecting Oil Wells for Hydraulic Fracturing: A Comparison between Genetic-Fuzzy and Neuro Fuzzy Systems. *American Journal of Operations Research*, v. 4, p. 202-216, 2014.
- 2 CARVALHO, R.L. **Estimulação em reservatórios carbonáticos**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Petróleo) - Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro.
- 3 AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, PRÁTICA RECOMENDADA 19C (**API-RP-19C**). Measurement of Properties of Proppants Used in Hydraulic Fracturing and Gravel-packing Operations, 2008.
- 4 VELOZO, L.T. **Estudo da estabilidade do material de sustentação de fraturas estimuladas hidraulicamente em poços de petróleo**. 2006. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- 5 ZOVEIDAVIANPOOR, M.; GHARIBI, A. Characterization of agro-waste resources for potential use as proppant in hydraulic fracturing. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, v. 36, p. 679 - 691, 2016.
- 6 BENSON, M. E.; WILSON, A. B. Frac Sand in the United States—A Geological and Industry Overview. Departamento do Interior e Departamento de Pesquisas Geológicas. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2015.
- 7 ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). **NBR/ISO 13503-2**: Indústria do petróleo e gás natural – Fluidos e materiais de completação. Parte 2: Medição das propriedades de propantes usados em operações de fraturamento hidráulico e *gravel-packing*. Rio de Janeiro, 2011.
- 8 BARRETO, M.N. **Caracterização de materiais para garantir a condutividade de fraturas hidraulicamente induzidas em poços de petróleo e gás**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de pós-graduação em Engenharia mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- 9 LIANG, F. *et al.* A comprehensive review on proppant technologies. **Journal Petroleum**, v. 2, p. 26 - 39, 2016.

- 10 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Brasil, 2017. [Online]. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 16 de maio 2017.
- 11 WEBER, S.L. **Metodologia para obtenção de sílica de elevada reatividade para uso em concreto de alto desempenho a partir do processamento de cinza de casca de arroz**. 2001. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina.
- 12 SOUSA, S. P. B. **Betões ecos-eficientes com cinza de casca de arroz**. 2005. Tese (Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil) - Faculdade de engenharia da universidade do Porto, Porto, Portugal.
- 13 TASHIMA, M.M. *et al.* Reaproveitamento da cinza de casca de arroz na construção civil. **Holos Environment**.2011. v. 11, p. 81.
- 14 SABROSA, F.Z. *et al.* Development of refractory ceramics from residual silica derived from rice husk ash. **Ceramics International**. 2017. v. 43, p. 7142–714.
- 15 PASCHOAL *et al.* Estudo de sinterização da cinza da casca de arroz para obtenção de filtros cerâmicos. **5º Seminário de Inovação e Tecnologia do IFSUL – INOVTEC**, 2016.
- 16 LEENAKUL *et al.* Effect of sintering temperature variations on fabrication of 45S5 bioactive glass-ceramics using rice husk as a source for silica. **Materials Science and Engineering C**. 2016. v. 61, p. 695–704.
- 17 NAYAK, J.P.; BERA, J. Effect of sintering temperature on phase-formation behavior and mechanical properties of silica ceramics prepared from rice husk ash. *Phase Transitions*, Vol. 82, p. 879–888, 2009.
- 18 SANTOS, P.A. A importância do tempo de sinterização sobre as propriedades de varistores de SnO<sub>2</sub>. *Anais do 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica*, 2003.
- 19 GUIMARÃES, A.F. *et al.* Cerâmicas celulares obtidas a partir de resíduo de polimento de porcelanato: influência do tempo de sinterização. **Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense**, Criciúma, Santa Catarina. 2010.
- 20 DA SILVA, C. *et al.* Influência da distribuição granulométrica na resistência ao esmagamento de propantes. **6º Seminário de Inovação e Tecnologia do IFSUL – INOVTEC 2017**

## AUSTÊMPERA EM BANHO DE ZAMAC 5: INFLUÊNCIA DO TEMPO DE AUSTÊMPERA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO FERRO FUNDIDO NODULAR

Pereira, L.<sup>1</sup>

Seibel, L. F. Jr.<sup>2</sup>

Karlinski, V. de B.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Eng. Metalúrgica, Leonardo Pereira, Laboratório de Fundição – LAFUN, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, leonardo.pereira@ufrgs.br.

<sup>2</sup> Mestrando em Engenharia, Eng. Luiz Francisco Seibel Júnior, Laboratório de Fundição – LAFUN, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, luiz.seibel@hotmail.com.

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia, Prof. Vinicius Karlinski de Barcellos, Coordenador do Laboratório de Fundição – LAFUN, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, vinicius.karlinski@ufrgs.br

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo

Neste trabalho avaliou-se a influência do tempo de austêmpera nas propriedades mecânicas de um ferro nodular. Utilizou-se como meio de austêmpera uma liga de Zn-Al-Mg-Cu, cuja composição corresponde ao Zamac 5. Para avaliação das propriedades mecânicas, corpos de prova de ferro fundido nodular de matriz predominantemente perlítica foram austenitizados a 900°C por 90 minutos, posteriormente resfriou-se os mesmos no banho de Zamac a 380°C, no qual permaneceram por intervalos de tempo de 15, 30, 60, 90 e 120 minutos. sendo resfriados ao ar até a temperatura ambiente, completando assim todo o ciclo de austêmpera. O melhor resultado no ensaio de impacto Charpy foi de 68 J, obtido nas amostras austemperadas por 90 min. Se obteve melhores resultados no ensaio de tração no ciclo de austêmpera de 120 minutos, com resistência máxima de 945 MPa, resistência ao escoamento de 688 MPa e alongamento de 8,5%.

**Palavras-chave:** Austêmpera; Zamac; ADI; Ferro

### AUSTEMPERING IN BATH OF ZAMAK 5: INFLUENCE OF AUSTEMPERING TIME ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF DUCTILE CAST IRON

#### Abstract

In this work, the influence of the austempering time on the mechanical properties of a ductile iron was evaluated. A Zn-Al-Mg-Cu alloy was used as a way of austempering, which composition corresponds to the Zamak 5. For evaluation of mechanical properties, specimens of nodular cast iron of predominantly pearlite matrix were austenitized at 900 °C for 90 minutes, followed by cooling without Zamak bath at 380 °C, where they remained for times of 15, 30, 60, 90 and 120 minutes, and cooled in air to atmospheric temperature, completing the austempering cycle. The best result in the Charpy impact test was 68 J, obtained in samples austempered for 90 min. The best results of the tensile test were obtained in the 120 minute cycle, with a tensile strength of 945 MPa, yield strength of 688 MPa and elongation of 8.5%.

**Keywords:** Austempering, Zamak, ADI, Iron

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de fundição é amplamente utilizado para fabricação dos mais variados itens de engenharia, com diferentes níveis de responsabilidade e precisão. Keough e Kathy [1] relatam que o ferro fundido dúctil foi apresentado ao mundo no final da década de 40, sendo as técnicas de fabricação aperfeiçoadas nas décadas seguintes. O tratamento de austêmpera já era conhecido na década anterior, onde encontrou primeiramente aplicação em aços, com objetivo de obtenção da estrutura bainítica. Durante a década de 70, teve início a fabricação do ferro fundido nodular austemperado, conhecido pela sigla ADI (Austempered Ductile Iron). A obtenção do ADI tem início com a fabricação do ferro fundido nodular, que posteriormente é submetido a um ciclo de tratamento térmico de austêmpera.

De acordo com Kovacs [2] o ADI combina propriedades como a resistência mecânica e tenacidade de maneira única, ambas associadas também, à elevada resistência ao desgaste. Devido a essa combinação única de propriedades, o ADI permitiu novas possibilidades a engenheiros e projetistas. O material encontra aplicações na indústria agrícola, automobilística, de máquinas e ferramentas e de mineração. Alguns exemplos de componentes mecânicos fabricados em ADI são virabrequins, cubos de roda, engrenagens, eixos de came e diversos tipos de suportes.

A combinação de vantagens do processo de fabricação por fundição com as propriedades do material, permitiram ao ADI ocupar uma posição de material alternativo e/ou substituto a componentes que antes eram somente fabricados em aço. Keough, Hayrynen e Pioszak [3] concluíram que a robustez do ADI garante o desempenho necessário para ser uma alternativa a redução de peso e de custos quando comparados a componentes de alumínio e de aços fabricados tanto por fundição como por forjamento ou soldagem.

Para a obtenção de um componente em ADI é necessário rigoroso controle das variáveis de fabricação. Essas variáveis dizem respeito à composição da liga, geometria da peça, o método de fundição e os parâmetros do ciclo de tratamento térmico utilizado, os quais são: temperatura de austenitização ( $T_V$ ), tempo de austenitização ( $t_V$ ), temperatura de austêmpera ( $T_A$ ) e tempo de austêmpera ( $t_A$ ) [4].

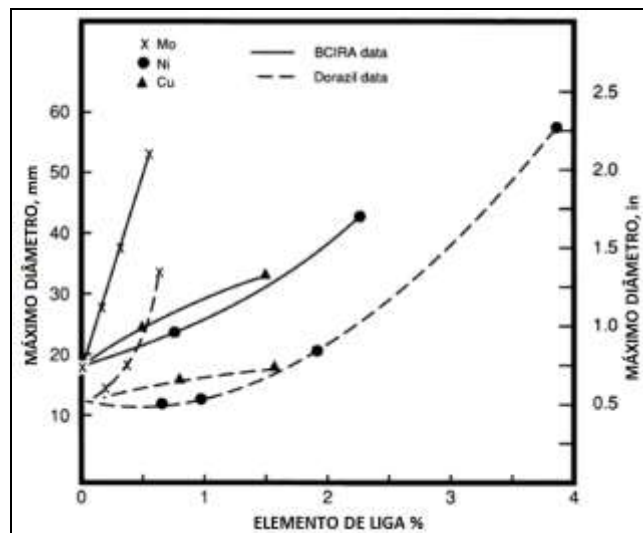
Conforme revisão realizada por Susil et al [5] a austêmpera pode ser realizada na faixa de temperatura compreendida entre 260°C e 420°C, a partir de uma austenitização entre 870 e 980°C. A diminuição da temperatura de austêmpera eleva a resistência máxima, ao escoamento e a dureza, porém reduz os ganhos de tenacidade e de alongamento [6]. O tratamento habitualmente é realizado em banho de sais fundidos, que necessitam de uma série de cuidados. Souza [7] verificou ser possível realizar o tratamento de austêmpera em um banho metálico de Zn-Al ao invés do tradicional banho de sais.

Em avaliação anterior, Pereira et al [8], verificou-se que o Zamac 5 atende as necessidades como meio de austêmpera, obtendo-se a microestrutura característica do ADI. Na avaliação, as taxas de resfriamento mostraram-se suficientes para evitar a formação de perlita, sendo superiores a 6°C/s. A liga de Zamac mostrou-se adequada para manutenção em patamar de temperatura, condição necessária ao tratamento isotérmico de austêmpera. Constituiu-se como fator limitante o intervalo de temperatura em que a austêmpera pode ser realizada no Zamac 5, onde a faixa de temperatura deve ser superior a 375°C.

O teor de carbono ao fim do tratamento de austenitização não depende apenas da temperatura e tempo de austenitização, sofrendo grande influência dos

elementos de liga e contaminantes, pois estes atuam na difusão do carbono e na sua solubilidade na austenita. O manganês atua diminuindo a tendência de formação de perlita na etapa de austêmpera, porém em quantidades inadequadas pode segregar na solidificação e formar carbonetos, sendo adequado alta contagem de nódulos/mm<sup>2</sup> e teor de Mn não superior a 0,35%. O molibdênio é um dos principais elementos de liga de um ADI, atuando no aumento da austemperabilidade. Porém, possui o efeito deletério de diminuir a solubilidade do carbono da austenita, podendo levar a formação de martensita durante o resfriamento. O cobre tem grande importância como grafitizante, sua capacidade de aumentar a austemperabilidade é bem menor do que a do Molibdênio, por outro lado é mais barato e atua aumentando a ductilidade em ADIs austemperados em temperaturas inferiores a 350°C. O níquel possui efeito grafitizante, não dificulta a difusão do carbono, melhora a tenacidade e ductilidade e aumenta a austemperabilidade do material [9,10].

Na figura 1 [10] é possível observar a contribuição do Mo, Cu e Ni na austemperabilidade, fato que se reflete na possibilidade de obter-se ADI em peças de maior espessura.



**Figura 1.** Influência da quantidade de Mo, Cu e Ni no diâmetro máximo que pode ser austemperado a 350°C.

A temperatura e o tempo de austenitização devem ser adequados para promover a saturação da austenita com carbono, que deve ficar entre 1,1 e 1,3%, sendo que a solubilidade de carbono aumenta com o aumento da temperatura [10, 11]. Em temperaturas de austêmpera da ordem de 400°C obtêm-se ADIs de menor resistência ao escoamento, por outro lado a ductilidade, tenacidade e vida em fadiga são superiores a de um ADI austemperado a 260°C. Nessas faixas inferiores de temperatura, o ADI terá elevada resistência ao escoamento e dureza, entretanto terá baixa ductilidade e tenacidade [10].

A composição química e a temperatura de austêmpera influenciarão na velocidade em que é realizada a transformação da austenita em ferrita acicular e austenita de alto carbono ( $\gamma_{HC}$ ), etapa que constitui o 1º estágio. Desta forma, o tempo ideal de austêmpera é aquele que reúne a melhor combinação de propriedades mecânicas, definido este tempo como a “janela de processo de austêmpera”. Com tempo demasiadamente longo de austêmpera, teremos a ocorrência de degradação da austenita estabilizada de alto carbono, dando origem à formação de carbonetos e ferrita, constituindo esse o 2º estágio [10, 12].

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O Zamac 5 em forma de lingotes comerciais teve sua composição química analisada em espectrômetro de emissão óptica, cujo resultado se encontra na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição química do ZAMAC 5 utilizado (% em peso)

Al	Cu	Mg	Fe	Si	Zn	Outros
4,24	1,9	0,12	0,3	0,02	93,4	0,02

O lingote de Zamac foi fracionado de modo a permitir a introdução em um cadinho de carbetto de silício, com capacidade de três litros para realização da austêmpera.

Confeccionaram-se corpos de prova (CPs) de ferro fundido nodular de matriz perlítica, provenientes de peças brutas de fusão. Os CPs destinados à fabricação de corpo de prova para ensaio de tração medem 12x12x105mm enquanto os CPs destinados a obtenção de corpos de prova para ensaio de impacto Charpy medem 12x12x50mm. A liga utilizada, cuja composição química consta na tabela 2, é própria para aplicação do ciclo de tratamento térmico de austêmpera, visando à obtenção de ADI.

**Tabela 2.** Composição química do Ferro Fundido Nodular (% em peso)

C	Si	Mn	Mg	Cu	Ni
3,6	2,3	0,3	0,03	0,7	0,5
Mo	Sn	S	P	Cr	Fe
0,2	0,02	0,007	0,02	0,03	Bal.

Realizou-se o tratamento térmico de austenitização em forno elétrico resistivo do tipo mufla, aquecido previamente. A austenitização ocorreu na temperatura de 900°C durante 90 minutos. O tratamento isotérmico de austêmpera, realizado em Zamac 5 na temperatura de 380°C ( $\pm 5$ ). Manteve-se a temperatura do banho por meio de um forno resistivo do tipo poço, com controlador eletrônico de temperatura. Nos diferentes ciclos de tratamento, variou-se apenas o tempo de austêmpera. Os tempos de austêmpera foram de 15, 30, 60, 90 e 120 minutos.



**Figura 2.** Remoção da camada de Zamac 5 dos CP após a austêmpera.

Após a finalização da etapa de austenitização, o conjunto de CPs de cada ciclo foi conduzido rapidamente para o banho metálico de Zamac 5 com a finalidade de realizar o resfriamento e tratamento isotérmico de austêmpera. Para cada ciclo,

utilizou-se um conjunto de três CPs destinados ao ensaio de tração e um conjunto de quatro CPs destinados ao ensaio de impacto Charpy. Os conjuntos foram submetidos ao ciclo de tratamento em momentos distintos, conforme intervalos de tempo de austêmpera anteriormente estabelecidos.

Ao final de cada ciclo resfriou-se ao ar os CPs, com posterior limpeza manual da camada de Zamac que recobria totalmente ou parcialmente os corpos de prova, como observa-se na figura 2. Posteriormente os corpos de prova, devidamente identificados, foram enviados para usinagem final. Os CPs destinados ao ensaio de tração foram submetidos a operações de torneamento, enquanto que para os CPs destinados ao ensaio de impacto, foram realizadas operações de fresamento.

Os ensaios de impacto seguiram as determinações da ASTM E.23 [13]. Os ensaios de tração foram realizados de acordo com ASTM E8M [14]. O Laboratório de Inovação Metrológica – LaßIM, foi responsável pela realização de todos os ensaios mecânicos utilizados neste experimento.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propriedades mecânicas avaliadas por meio dos ensaios de tração, dos diferentes tempos de austêmpera constam na Tabela 3. O tempo de austêmpera de 120 minutos contribuiu com maior relevância para o aumento na resistência máxima (Rm), resistência ao escoamento (Re) e no alongamento (A).

**Tabela 3.** Propriedades mecânicas com relação ao tempo de austêmpera.

Tempo (min)	CP	Rm (MPa)	Re (MPa)	A (%)
Bruto	0-1	826	559	4,1
Bruto	0-2	808	518	3,8
15	III-1	951	660	4,4
15	III-2	926	655	4
30	IV-1	924	676	5,6
30	IV-2	869	689	5,2
30	IV-3	816	644	4
60	V-1	912	670	5,6
60	V-2	908	687	5,8
60	V-3	933	669	6
90	II-1	860	681	4,3
90	II-2	987	691	7,1
90	II-3	870	673	5,2
120	I-1	901	674	6,6
120	I-2	1003	684	10
120	I-3	931	706	8,9

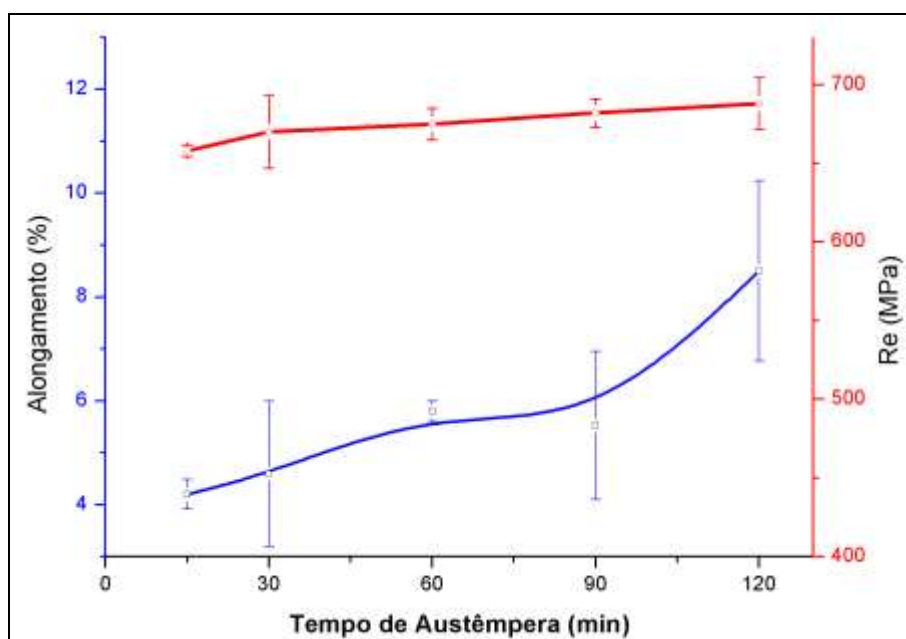
Os ganhos médios relacionados aos diferentes ciclos de austêmpera em relação ao material bruto de fusão. O cálculo foi realizado com base nas médias dos valores dos ensaios de tração, de cada ciclo de austêmpera realizado.

**Tabela 4.** Média das propriedades mecânicas e ganhos em relação ao bruto de fusão.

	Bruto	15 min	30 min	60 min	90 min	120 min
<b>Rm (MPa)</b>	817	939	870	918	906	945
<b>Re (MPa)</b>	539	658	670	675	682	688
<b>A (%)</b>	3,95	4,20	4,60	5,80	5,53	8,5
<b>Ganho médio Rm</b>	0	15%	6%	12%	11%	16%
<b>Ganho médio Re</b>	0	22%	24%	25%	27%	28%
<b>Ganho médio A</b>	0	6%	16%	47%	40%	115%

Apesar de existir dispersão nos resultados, de até 10% na tensão de ruptura entre os CPs integrantes do ciclo de 120 minutos, os valores de resistência ao escoamento apresentam maior uniformidade. A tensão de escoamento é de fundamental importância aos engenheiros projetistas, pois os projetos de engenharia levam em consideração o seu valor, com uma razoável margem de segurança associada à aplicação e aos níveis de garantia de qualidade que o componente possui ou necessita demonstrar.

Observando a Figura 3, pode-se estimar que o material não atingiu o tempo de transição entre o primeiro e o segundo estágio de austêmpera, pois existe a tendência de aumento da tensão de escoamento e do alongamento com o tempo [15].



**Figura 3.** Gráfico da Tensão de Escoamento (○) e Alongamento (□) em função do tempo.

A tabela 5 apresenta os resultados dos ensaios de impacto Charpy. O ciclo com 90 minutos de austêmpera apresentou o maior valor de tenacidade média e tenacidade conforme a ASTM E23 (que considera apenas os 3 maiores valores dentre os 4 realizados).

**Tabela 5.** Tenacidade de acordo com o tempo de austêmpera.

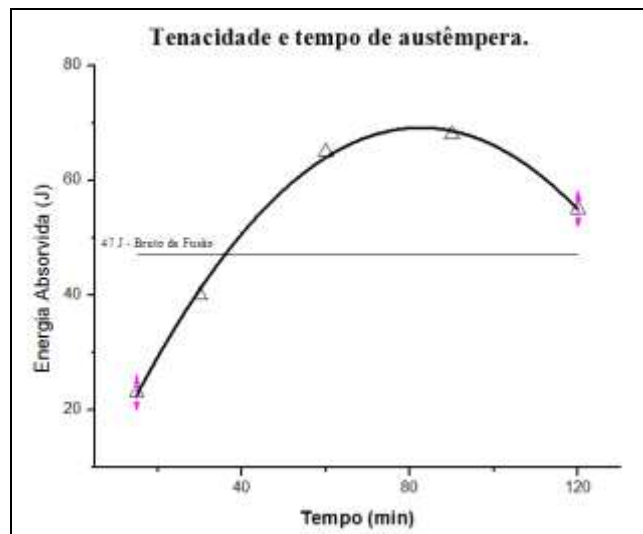
Tempo [min]	CP1 [J]	CP2 [J]	CP3 [J]	CP4 [J]	Tenacidade Média	Tenacidade ASTM E23	Ganho Em relação ao Bruto [%]
120	54,8	47	63,7	41,1	51,7	55	17
90	66,6	64,6	60,7	71,5	65,9	68	44
60	70,5	61,7	63,7	46	60,5	65	39
30	32,3	42,1	26,4	46	36,7	40	-15
15	16,6	29,4	21,5	12,7	20,1	23	-52
<b>Bruto</b>	43,1	45	52,9	28,4	42,4	47	0

Diferentemente das conclusões provenientes da análise dos ensaios de tração, os resultados do ensaio de impacto Charpy, possibilitam concluir que em intervalos próximos ao tempo de 90 minutos ocorreu a transição entre o 1º e 2º estágio da austêmpera. Observa-se na figura 4, que em ciclos de tempos de 15 e 30



minutos ocorreu diminuição na tenacidade do material, sendo que nos demais tempos ocorre aumento na energia absorvida, em comparação ao bruto de fusão.

No grão austenítico, contendo aproximadamente 1,2% de carbono em solução sólida, ocorre a nucleação de ferrita acicular durante o resfriamento. Para que as agulhas de ferrita cresçam, é necessário que ocorra difusão de carbono das regiões adjacentes, aumentando assim o teor de carbono na austenita remanescente. No ponto ótimo restará apenas a austenita estabilizada com elevado teor de carbono. Esse processo demanda tempo, pois é controlado pela velocidade de difusão do carbono. Espera-se que em tempos curtos, existam muitos sítios de austenita não estabilizada termicamente e mecanicamente.



**Figura 4.** Tenacidade (ASTM E.23) em função do tempo de austêmpera.

A austenita não estabilizada com alto teor de carbono, quando submetida a tensões térmicas ou mecânicas sofrerá a transformação adifusional. A martensita não revenida, é possivelmente a explicação para os baixos valores de tenacidade resultante dos ciclos de austêmpera de 15 e 30 minutos.

## 4 CONCLUSÃO

Foi possível a realização de austêmpera utilizando o Zamac 5 como meio de resfriamento e manutenção em patamar de temperatura, sendo possível reutilizar os resíduos de Zamac que aderiram mecanicamente aos CPs.

Todos os ciclos registraram melhora nas propriedades avaliadas no ensaio de tração. Contudo, no ciclo da austêmpera de 120 minutos, ocorreu o maior aumento na tensão de ruptura, na tensão de escoamento e no alongamento, as quais passaram respectivamente de 817/539/3,95 no bruto de fusão para 945/688/8,5 no ADI. O maior ganho de tenacidade ocorreu no ciclo em que a austêmpera foi realizada por 90 minutos, onde passou de 47 J no bruto de fusão para 68 J no ADI. Nos ciclos de 15 e 30 minutos registrou-se decaimento na tenacidade do material.

Para a liga estudada, com austenitização realizada a 900°C por 90 minutos e austêmpera na temperatura de 380°C, o tempo de austêmpera que resultou na melhor combinação de propriedades mecânicas é o de 90 minutos.

## REFERÊNCIAS

- 1 KEOUGH, John R.; HAYRYNEN, Kathy L. **Automotive Applications of Austempered Ductile Iron (ADI): A Critical Review**. SAE Technical Paper, 2000.
- 2 KOVACS, B. V. **Development of austempered ductile iron (ADI) for automobile crankshafts**. *Journal of Heat Treating*, v. 5, n. 1, p. 55-60, 1987.
- 3 KEOUGH, J. R.; HAYRYNEN, K. L.; PIOSZAK, G. L. **Cast Design & Purchasing Designing with Austempered Ductile Iron (ADD)** (10-129). *Transactions of the American Foundrymen's Society*, v. 118, p. 503, 2010.
- 4 TRUDEL, A.; GAGNE, M. **Effect of composition and heat treatment parameters on the characteristics of austempered ductile irons**. *Canadian Metallurgical Quarterly*, v. 36, n. 5, p. 289-298, 1997.
- 5 PUTATUNDA, Susil K. et al. **Development of austenite free ADI (austempered ductile cast iron)**. *Materials Science and Engineering: A*, v. 435, p. 112-122, 2006.
- 6 ZHANG, Jiwang et al. **Microstructure and mechanical properties of austempered ductile iron with different strength grades**. *Materials Letters*, v. 119, p. 47-50, 2014.
- 7 SOUZA, Bruno Vaz de. **Desenvolvimento de ferro fundido austemperado (ADI) em banho de zinco-alumínio**. 2015. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
- 8 Pereira L. et al. **Obtenção de ADI por tratamento de austêmpera utilizando banho de Zamac 5**. 72° Congresso Anual ABM, 2017
- 9 DAVIS, Joseph R. et al. (Ed.). **Metals Handbook: Irons, Steels, and High-performance Alloys. Properties and Selection**. ASM International, 1990.
- 10 SOREMETAL, **Ductile Iron Data for Design Engineers, Section IV, Austempered Ductile Iron**, Rio Tinto Iron & Titanium, 1990, Montreal.
- 11 PUTATUNDA, Susil K.; GADICHERLA, Pavan K. **Influence of austenitizing temperature on fracture toughness of a low manganese austempered ductile iron (ADI) with ferritic as cast structure**. *Materials Science and Engineering: A*, v. 268, n. 1, p. 15-31, 1999.
- 12 CAKIR, M. Cemal et al. **The effects of austempering temperature and time onto the machinability of austempered ductile iron**. *Materials Science and Engineering: A*, v. 407, n. 1, p. 147-153, 2005.
- 13 **ASTM, E. 23. 23; Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials**. *Annual Book of ASTM Standards*, v. 3, 2016.
- 14 **STANDARD, A. S. T. M. E8/E8M**. *Standard test methods for tension testing of metallic materials*, v. 3, p. 66, 2011.
- 15 BAHMANI, M.; ELLIOTT, R.; VARAHRAM, N. **The austempering kinetics and mechanical properties of an austempered Cu-Ni-Mo-Mn alloyed ductile iron**. *Journal of materials science*, v. 32, n. 18, p. 4783-4791, 1997.

# ANÁLISE MICROESTRUTURAL E DUREZA DE PEÇAS PÓS FORJAMENTO A QUENTE DO AÇO DIN 20MnCr5 RESFRIADAS EM CÂMARA COM DIFERENTES TAXAS DE RESFRIAMENTO

de Rodrigues, D. R.<sup>1</sup>  
Aguiar, F.<sup>2</sup>  
Rec, M. F.<sup>3</sup>  
Amara, R. F.<sup>4</sup>  
de Barcellos, V. K.<sup>5</sup>

- <sup>1</sup> Graduando em Engenharia Metalúrgica, Douglas R. de Rodrigues, (INPEL) [douglas.rodrigues@inpel.com.br](mailto:douglas.rodrigues@inpel.com.br).
- <sup>2</sup> Graduando em Tecnologia de Fabricação Mecânica, Fernando Aguiar, (INPEL) [fernando.aguiar@inpel.com.br](mailto:fernando.aguiar@inpel.com.br)
- <sup>3</sup> Eng. Mec, Mozart Fernando Rech, (INPEL) [mozart@inpel.com.br](mailto:mozart@inpel.com.br).
- <sup>4</sup> MSc. Eng. Met., Régis Fabiano Amaral, (LAFUN-UFRGS) [regis.amaral@ufrgs.br](mailto:regis.amaral@ufrgs.br).
- <sup>5</sup> Prof. Dr. Vinicius Karlinski de Barcellos, (LAFUN-UFRGS) [vinicius.karlinski@ufrgs.br](mailto:vinicius.karlinski@ufrgs.br)

## Resumo

A busca por tratamentos térmicos na indústria metalúrgica tem sido de grande importância para a otimização dos processos produtivos. O presente trabalho tem por objetivo utilizar das altas temperaturas do processo de forjamento à quente de peças em aço 20MnCr5, visando correlacionar as diferentes taxas de resfriamento com as microestruturas e durezas obtidas em comparação ao tratamento térmico convencional de normalização. Como metodologia empregada, foram realizados testes em câmara contínua de resfriamento por aeração forçada, variando-se os parâmetros de vazão, a fim de se obter diferentes taxas de resfriamento nas peças produzidas. As caracterizações e resultados obtidos foram feitos através das análises microestruturais e dureza superficial das amostras testadas. O objetivo de um tratamento alternativo ao tratamento de normalização seria a melhoria dos tempos de produção, com diminuição dos custos operacionais de produção.

**Palavras-chave:** Forjamento a quente; Resfriamento controlado; Microestrutura.

## MICROSTRUCTURAL ANALYSIS AND HARDNESSES OBTAINED BY DIFFERENT COOLING RATES ON PARTS AFTER DIN 20MnCr5 STEEL HOT FORGING IN COOLING CHAMBER

### Abstract

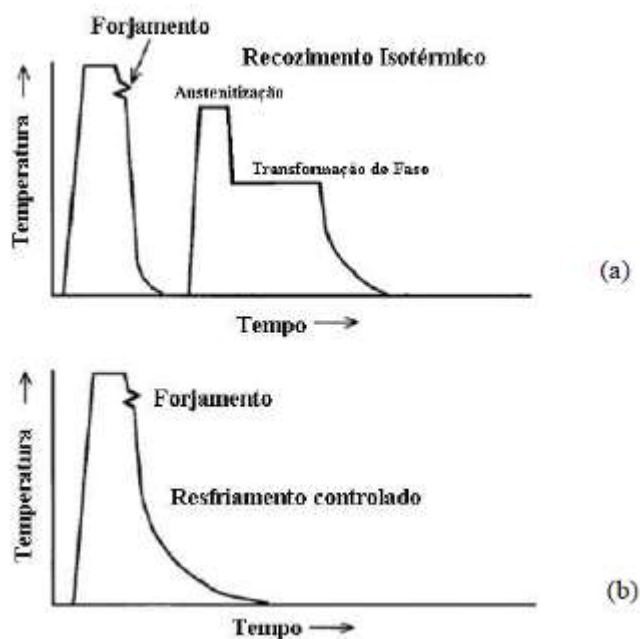
The search for thermal treatments in the metallurgical industry has been of great importance for the optimization of the productive processes. The present work aims to use the high temperatures of the hot forging process of DIN 20MnCr5 steel parts, in order to correlate the different cooling rates with the microstructures and hardness obtained in comparison with conventional heat treatment of normalization. As a methodology, tests were carried out in a continuous cooling chamber by forced aeration, varying the flow parameters in order to obtain different cooling rates in the produced parts. The characterizations and results were obtained through microstructural analysis and surface hardness of the samples tested. The objective of

an alternative treatment to the normalization treatment would be the improvement of the lead time, with a decrease in the operational costs of production..

**Key words:** Hot Forging; Controlled cooling; Microstructure, Hardness.

## 1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais a substituição, ou a eliminação de operações com redução de custo e de tempo nos processos produtivos tem sido um objetivo traçado por empresas em todo o mundo para assegurar a sua competitividade. Nos processos de forjamento a quente de aços, segue-se uma sequência de operações de aquecimento dos *blanks* até a faixa de temperatura indicada por cada aço, conformação plástica resultando na forma desejada da peça, rebarbação e resfriamento até temperatura ambiente<sup>(1)</sup>. O resfriamento normalmente é feito sem controle dos parâmetros, seguindo de tratamentos térmicos de normalização ou de recozimento para se alcançar microestrutura e dureza desejável para as operações de usinagem, conforme Figura 1. O não aproveitamento do calor contido após as operações de conformação plástica a quente, promovem dissipação de energia, que poderia ser melhor reaproveitada em um resfriamento controlado das taxas de resfriamento, aproveitando das mudanças de fases difusionais desejadas<sup>(2)</sup>.



**Figura 1.** Tratamentos térmicos para aços forjados. (a) Recozimento Isotérmico; (b) Resfriamento Controlado. Adaptado de Bhadeshia (2001).

Em 2005, Yamakami<sup>(3)</sup> mostrou que é possível a utilização do controle do resfriamento, desde que as peças pós forjadas permaneçam em forno por uma temperatura específica a 600°C em substituição ao tratamento térmico de normalização, eliminando-se assim a necessidade de um tratamento térmico convencional e um novo ciclo térmico de gasto de energia e *lead time*. O autor ressalta que esta fora a condição de melhor microestrutura obtida, com perlita e ferrita bem distribuídas em uma forma homogênea. Entretanto, esta rota alternativa com obtenção de microestruturas diretamente de forjados a quente, apresenta dificuldades no controle das taxas de resfriamento, pelas variáveis intrínsecas ao

processo, como a temperatura ambiente, o turno de trabalho, refrigeração das ferramentas, complexidade dos mecanismos envolvidos nas transformações de fase podem ainda ter como resultado final heterogeneidades microestruturais nas peças ou entre as peças de um mesmo lote, o que acaba por comprometer e prejudicar a completa implementação deste processo<sup>(4)</sup>.

O presente trabalho tem como objetivo a análise resultante do resfriamento controlado de peças forjadas a quente do aço DIN 20MnCr5. Para tanto, duas amostras foram utilizadas para se estudar a existência ou não de alterações significativas quanto a microestrutura e durezas obtidas para uma pequena variação nas taxas de resfriamento.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

Para este trabalho, foi utilizado como material o aço DIN 20MnCr5, vindo na forma de barras laminadas de secção redonda, com de 6m de comprimento e 1.1/3” pol de diâmetro que foram cortadas por serra circular nas dimensões de 40mm de comprimento para o posterior aquecimento e forja na produção das peças. Tendo sua composição química dada pela Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição química do aço DIN 20MnCr5 (% em peso)

%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cr
0,21	1,21	0,026	0,027	0,38	1,1

Para o aquecimento dos *blanks*, foi utilizado forno indutor elétrico a uma potência de 45 kW até a temperatura de 1000°C por um tempo de 30 segundos. Para o forjamento foi utilizado uma prensa de fricção FISAME, em matriz fechada, com capacidade de 400 TF. Na rebarbação das peças, após o forjamento, foi utilizado uma prensa rebarbadora com capacidade de 20 TF.

### 2.2 Resfriamento Controlado

Para o resfriamento controlado foi utilizado uma câmara industrial, dotada de transportadora interna com esteira de 6m de comprimento, dividida em quatro segmentos contínuos, tendo um ventilador do tipo siroco de 50cm de diâmetro em cada um dos três primeiros segmentos instalados na parte inferior, conforme Figura 2. As rotações dos ventiladores para forçar a aeração e a velocidade de transporte na esteira eram controladas por potenciótatos em um painel de comando central manipulado conforme se desejasse alcançar determinada taxa de resfriamento.



**Figura 2.** Câmara de resfriamento empregada no estudo.

Para a realização do experimento, foram colocadas peças na câmara de resfriamento, uma peça por vez, e medidas as suas temperaturas de entrada e de saída. O tempo de permanência para cada uma das peças foi o mesmo, 8min e 20s. Através das variações provocadas nos ventiladores para promoverem diferentes aerações em cada uma das peças tratadas, foi possível se obter duas taxas de resfriamento distintas, uma vez que o tempo poderia ser considerado como uma variável fixa para este processo. Após este tratamento, as peças foram deixadas ao ar calmo até atingirem a temperatura ambiente.

### **2.3 Análise Metalográfica**

As análises metalográficas foram empregadas a fim de se ter um comparativo microestrutural ao final do processo. Para preparação dos corpos de prova as peças foram cortadas e posteriormente foram lixadas com lixas d'água de granulometria de #100 até #450, alternando-se em 90° a orientação de lixamento a cada nova lixa que fosse empregada. No polimento, utilizou-se pano metalográfico e alumina em suspensão de granulometria de 3µm. No ataque químico, utilizou-se Nital 3% por imersão em vidro relógio por 10s. Os registros das imagens foram feitos através de microscópio óptico, marca TOKYO, com duas amplitudes de resolução, uma em 100x e outra em 400x.

### **2.4 Ensaio de Dureza**

Com o objetivo de se ter uma medida quantitativa a respeito das propriedades mecânicas macroscópicas finais obtidas nas peças resfriadas, utilizou-se como meio o ensaio de dureza superficial em escala Brinell. Realizado em um durômetro Georg Reicherter, modelo BVR-187.5, com esfera de aço de 3mm de diâmetro e carga de 187,5kg, aplicado por 15s. A Figura 3, mostra as duas peças onde foram feitos os ensaios de dureza.



**Figura 3.** Amostras identificadas como 1 e 2 para o estudo comparativo após forjamento e resfriamento, cada uma com um diâmetro de 80mm e altura de 28.8mm .

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Resfriamento Controlado

A taxa média de resfriamento (Tx) de cada uma das peças foi obtida pela diferença entre a temperatura de entrada na câmara de resfriamento (°C) e a temperatura de saída (°C), dividido pelo tempo decorrido deste intervalo (s), taxa em (°C/s)

$$Tx = \Delta T / \Delta t$$

Tx: taxa de resfriamento [°C/s]

$\Delta T$ : variação entre a temperatura inicial menos a temperatura final [°C]

$\Delta t$ : intervalo de tempo entre as medições [s]

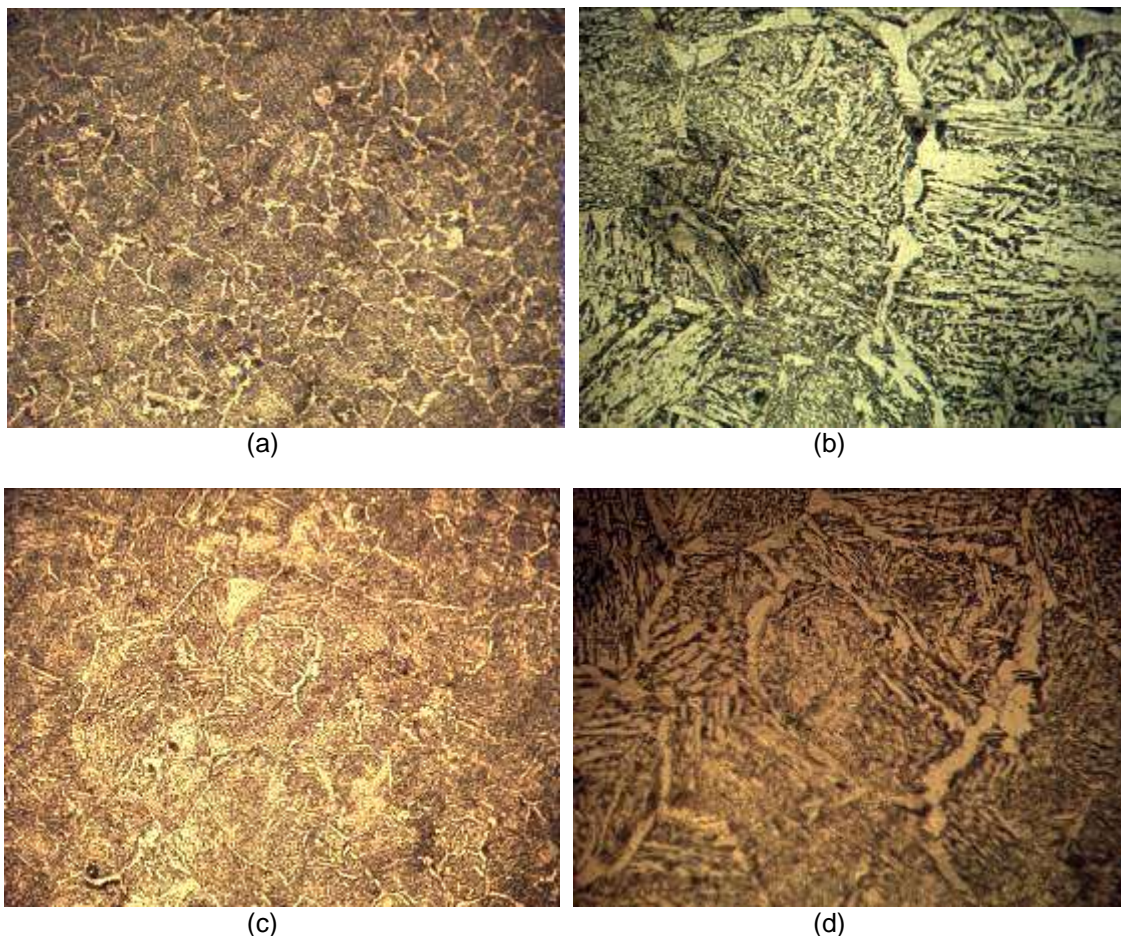
Pode-se observar na Tabela 2, além das temperaturas de forjamento, as temperaturas de entrada e de saída da câmara de resfriamento, bem como, as taxas de resfriamento obtidas por cada amostra resfriada controladamente.

**Tabela 2.** Medições de temperatura e das taxas de resfriamento das amostras.

Amostras	Temperatura de Forjamento (°C)	Temperatura de Entrada na Câmara (C°)	Temperatura de Saída da Câmara (C°)	Taxa Média de Resfriamento (°C/min)
01	980	943	458	58,43
02	980	942	408	64,34

#### 3.2 Análise microestrutural

As microestruturas observadas são apresentadas na Figura 4, como segue:

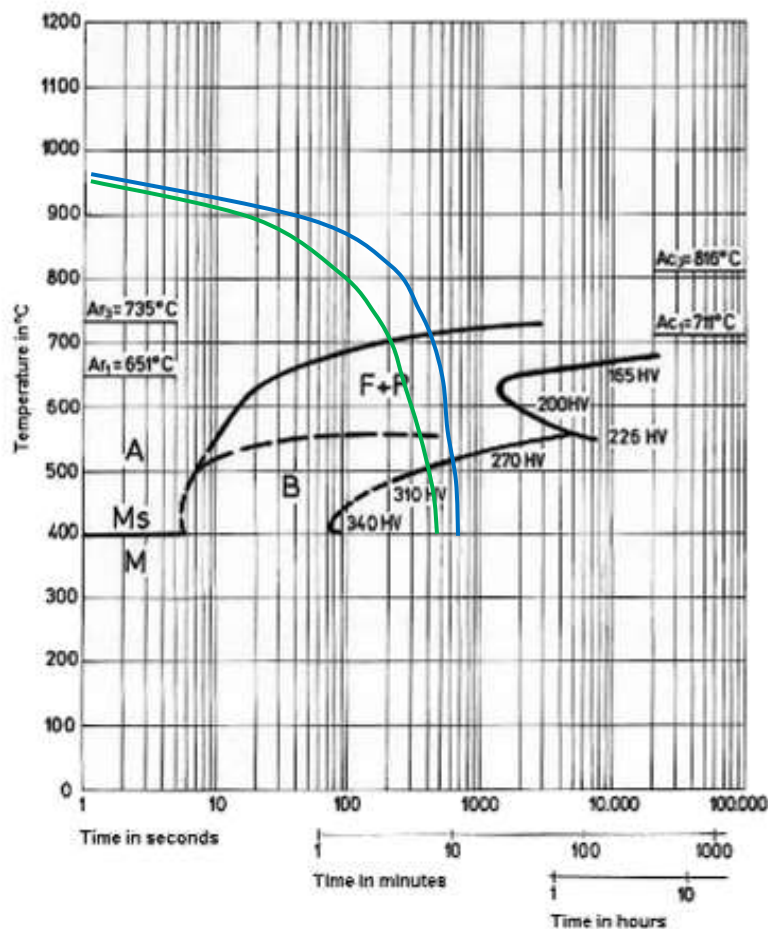


**Figura 4.** Micrografias obtidas, nas amostras analisadas. (a) Amostra 01, aumento 100X. (b) Amostra 01, aumento 400X. (c) Amostra 02, aumento 100X. (d) Amostra 02, aumento 400X.

No experimento desenvolvido por resfriamento forçado em câmara fechada, percebe-se a presença dos mesmos constituintes microestruturais nas duas amostras compostos por grãos grosseiros em colônias de perlita, ferrita primária e ferrita acicular, a explicação para isso se deve as taxas médias de resfriamento não terem sido lentas o suficiente para que se tivesse tempo para que os mecanismos difusionais produzissem uma microestrutura mais refinada.

É conhecido já na literatura especializada em tratamentos térmicos que em meios mais severos de resfriamento hajam maiores taxas de resfriamento, o que conseqüentemente leva a mecanismos de transformações da austenita em diferentes constituintes seja por cisalhamento, por difusão ou mesmo pela combinação destes. Para que fosse obtido uma microestrutura ferrítica-perlítica, típica encontrada em peças normalizadas, as taxas de resfriamento deveriam ser da ordem de 28°C/min a partir do campo austênitico até a temperatura ambiente, como pode ser notado na Figura 5 do diagrama TTT.<sup>(6)</sup>





**Figura 5.** Curva Tempo-Transformação-Temperatura (TTT) para o aço DIN 20MnCr5 adaptado para as taxas observadas no experimento. Curva azul representando a taxa de 58,43°C/min e curva verde representando a taxa de 64,34°C/min. Fonte: Adaptado de Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle (1972).

Um ponto a ser considerado ao se analisar as microestruturas é o fato de que aços submetidos a trabalho a quente convencional têm, normalmente, ao fim da conformação, estruturas pouco homogêneas e com tamanho de grão grosseiro, o que poderia vir a influenciar os resultados obtidos no experimento. (6)

### 3.3 Ensaio de Dureza

Apresenta-se na Tabela 3, os valores de dureza medidos e as taxas de resfriamento para comparação nas duas amostras. É possível se constatar que houve coerência com as taxas de resfriamento da curva TTT do já referido aço, como pode ser apontado na Figura 5.

**Tabela 3.** Ensaios de dureza obtidas nas duas condições do estudo.

Amostras	Taxa Média de Resfriamento (°C/min)	Dureza (HB)
01	58,43	286
02	64,34	293

## 4 CONCLUSÃO

Foi possível notar que para peças de aço 20MnCr5 sem grandes diferenças de secções forjadas à quente e submetidas a tratamento em câmara de resfriamento por aeração forçada em taxas entre 58,43°C/min e 64,34°C/min, não se observam grandes diferenças microestruturais ou de dureza que possam ser expressivas ou prejudiciais para o processo de resfriamento controlado, caso estas sejam os objetivos desejados. Os valores de dureza e microestruturas obtidas no experimento são coerentes com a curva TTT teórica apresentada, comprovando que o resfriamento controlado pode ser implementado desde que se tenham equipamentos e se possam parametrizar as taxas de resfriamento na produção da microestrutura final e propriedades mecânicas desejadas.

## Agradecimentos

Agradecemos o apoio da empresa INPEL S.A. pelo espaço e equipamentos. Ao Laboratório de Fundição - Lafun (UFRGS) pelo apoio técnico.

## REFERÊNCIAS

- 1 CHIAVERINI, 1996, "Aços e Ferros Fundidos", Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, São Paulo, Brasil.
- 2 BHADESHIA, H. K. D. H., 2001, "Bainite in Steels: Transformation, Microstructure and Properties", 2ª Ed. London: The Institute of Materials, University of Cambridge, pp 377-382.
- 3 YAMAKAMI, Wyser José; REIS, Maria Beatriz. Eliminação de Tratamento Térmico Usando Resfriamento Controlado, 2004.
- 4 PETRILLI, Fabio. Metodologia para Avaliar a Vida Útil de Ferramenta de Usinagem em Forjados Resfriados Controladamente, 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2013.
- 5 Atlas zur Warmbehandlung der Stähle, 1972, "Verlag Stahleisen mbH, Dusseldorf", vol. 2, Germany.
- 6 COULPAERT, H., Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns, 3ª. ed. São Paulo, Edgard Blucher, 1974.

## REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PAPÉIS EM COMPOSIÇÃO COM O AMIDO: UMA OPÇÃO DE MATERIAL PARA O DESIGN SUSTENTÁVEL

Cardoso, G.<sup>1</sup>  
Angrizani, C.C.<sup>2</sup>  
Porto, J.S.<sup>3</sup>  
Calcagno, C.I.W.<sup>4</sup>

- <sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, Gustavo Cardoso, IFSUL/Sapucaia do Sul, guga.cardoso@hotmail.com.
- <sup>2</sup> Doutora em Engenharia de Materiais, Clarissa Coussirat Angrizani, IFSUL/Sapucaia do Sul, cangrizani@gmail.com.
- <sup>3</sup> Doutoranda em Design, Jussara Smidt Porto, UFRGS, jussara.porto@ufrgs.br.
- <sup>4</sup> Doutora em Ciências dos Materiais, Carmen Iara Walter Calcagno, IFSUL/Sapucaia do Sul, carmencalcagno@sapucaia.ifsul.edu.

### Resumo

Diante da problemática do volume de resíduo de papéis gerados pela sociedade, que somam um montante de 64% que ainda podem ser reciclados, as pesquisas geradas para o seu reaproveitamento, constituem-se como uma alternativa para a redução dos problemas ambientais gerados por este descarte. Neste artigo buscamos apresentar possibilidades de reutilização do resíduo de papel gerados na Gráfica da UFRGS, que possam constituir-se como uma alternativa para o desenvolvimento de materiais que venham contribuir para o design de produto. Para tanto, utilizou-se composições contendo resíduos de papel em diferentes proporções adicionado ao amido, um polímero biodegradável de fonte renovável, para que pudessem ser analisadas em suas características tangíveis e intangíveis. Assim, testou-se a máxima incorporação de papel nesta mistura, que mantivesse a processabilidade e, a partir dessas condições encontradas, foram produzidas placas com geometrias variadas, para a avaliação da moldabilidade da mistura, das propriedades, das características visuais e de manufatura (corte e furação). Os resultados demonstram boa processabilidade da mistura e facilidade na moldagem deste material, indicando um potencial de uso na fabricação de produtos rígidos, com geometrias simples ou complexas, aceitando uma incorporação de 40% de resíduo, bem como, a incorporação de corantes, vislumbrando-se um promissor desenvolvimento de produtos para a área do design sustentável.

**Palavras-chave:** Resíduo de papel; Design de produto; Amido.

### REUSE OF PAPER WASTES IN COMPOSITION WITH STARCH: AN OPTION OF MATERIAL FOR SUSTAINABLE DESIGN

#### Abstract

In front of the problem of the waste volume of paper generated by society, which adds up to a total of 64% that can still be recycled, the research generated for its reuse, constitute an alternative to reduce the environmental problems generated by this disposal. In this paper, we present possibilities for the reuse of paper waste

generated in the Graph of UFRGS, which may constitute an alternative for the development of materials that contribute to product design. Therefore, compositions containing paper residues in different proportions were added to the starch, a renewable source biodegradable polymer, so that they could be analyzed in their tangible and intangible characteristics. Thus, the maximum incorporation of paper was tested in this mixture, maintaining the processability and, from these found conditions, plates were produced with varied geometries, for the evaluation of the moldability of the mixture, properties, visual characteristics and manufacture (cutting and drilling). The results demonstrate good processability of the mixture and ease in the molding of this material, indicating a potential of use in the manufacture of rigid products with simple or complex geometries, accepting a incorporation of 40% residue, as well as the incorporation of dyes, glimpsing a promising development of products for the area of sustainable design.

**Key words:** Paper waste; Product design; Starch.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, estão sendo tomadas medidas nas quais os aspectos ambientais, sociais e econômicos se fundem para soluções que sinalizam um maior comprometimento em relação ao meio ambiente. A poluição ambiental, o acúmulo de resíduos gerados e as consequências disso, cada vez mais, são preocupações por parte das indústrias e da sociedade.

As políticas ambientais são necessárias nas empresas públicas e privadas para que possam tratar da geração de resíduos a fim de reduzi-los ou elimina-los. Com isso, a reutilização é uma forma de inovar no uso desse resíduo, podendo trazer benefícios à sociedade e ao meio ambiente.

Para o designer, segundo Calegari <sup>(1)</sup> o reaproveitamento de resíduos surge como um desafio. Cada vez mais buscam soluções para o desenvolvimento de projetos desta natureza. Krucken <sup>(2)</sup> afirma que é a percepção sistêmica que caracteriza e estimula a atuação do designer na busca de novos padrões de produção e de consumo sustentável. Percebe-se que a criação de projetos sustentáveis por designers e o seu desenvolvimento por empresas e por instituições de ensino, tem aumentado ao longo das últimas décadas, sinalizando a atualidade e a importância deste tema. Cita-se como exemplo a Universidade de Brasília, com O Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília (CDS/UnB) que tem Projetos voltados para o estudo de energias alternativas, sustentabilidade e inclusão social, tecnologia social, etc. <sup>(3)</sup>.

Neste contexto, em busca de inovações nesta área, este artigo relata o estudo feito no Laboratório do DIMP (Desenvolvimento Integrado de Materiais e Produtos) através da parceria do IFSUL Sapuçaia com a UFRGS, na qual se buscam o desenvolvimento de novos materiais que não agridam a natureza. Para tanto, esta pesquisa objetiva dar outras formas de reutilização do resíduo de papéis gerados no parque gráfico da Gráfica da UFRGS com a incorporação de um polímero biodegradável, cuja escolha foi o amido de mandioca, que pode ser obtido por meio de cultura agrícola e se caracteriza por ser um recurso renovável, biodegradável e de baixo custo, tornando vantajosa a sua utilização como matrizes em composições de materiais.

Buscou-se na literatura pesquisas com composições destes dois materiais, mas não foram encontradas, apesar de haver muitos estudos do amido com outros

componentes, e também, alguns estudos com a reutilização do resíduo de papel, não foi encontrado na literatura uma pesquisa que apresentem os dois materiais juntos. Este estudo constitui-se inédito e justifica-se a sua pesquisa em função de buscar-se desenvolver materiais biodegradáveis, que auxiliem na reutilização do resíduo de papel, sem o comprometimento do meio ambiente, nem no processo de desenvolvimento de produto e nem no final do seu ciclo de vida.

Os materiais de fonte renováveis estão sendo bastante utilizados no desenvolvimento de novos materiais. Segundo Vilaplana <sup>(4)</sup> o interesse pelo uso destes materiais se deu a partir das duas últimas décadas, em função da crescente preocupação ambiental e da possibilidade do esgotamento dos recursos fósseis.

A escolha do resíduo de papel para o estudo de reutilização justifica-se pelo fato de, apesar das indústrias reciclarem o papel e produzirem alguns materiais, no Brasil a sua utilização para o reuso chega somente a 37% do resíduo descartado <sup>(5)</sup>.

O papel é um material constituído por elementos fibrosos de origem vegetal, e é fabricado de fibras de celulose extraídas de árvores com um alto teor de celulose <sup>(6)</sup>. Segundo Passos <sup>(7)</sup> as fibras com grande quantidade de celulose seriam econômicas e tecnicamente viáveis para serem usadas na produção de têxteis e papel. Hoje, a celulose é mais usada para a fabricação do papel, mas, segundo Barroso <sup>(8)</sup>, existem inúmeras pesquisas de variados usos para este material que revelam possibilidades em relação à qualidade e inovação, da qual o designer pode produzir novos objetos e utiliza-los como reforços em materiais compósitos. Alguns designers chegam a trabalhar com o deslocamento da função do material, trazendo as mais diversas formas e utilidades, tanto para o resíduo da madeira, quanto do próprio resíduo de papel.

Segundo Barroso <sup>(8)</sup>, designers estão utilizando esses materiais como matéria prima para o seu trabalho, citando-se como exemplos, o designer Domingos Tótora, que cria móveis e peças de decoração e o caso da Padreca, empresa que, através de parceria com catadores de papel e empresas recicladoras, desenvolve novos produtos, com design diferenciado e criativo, agregando maior valor aos mesmos.

A indústria Gráfica possui uma grande disponibilidade deste resíduo para serem reaproveitados, que podem ser utilizados para a fabricação de novos papéis, ou como reforço de materiais compósitos. Diversos tipos de sobras de papel são disponibilizados após a elaboração de materiais gráficos e estão disponíveis dos mais diferentes formatos e cores, conforme a Figura 1.



**Figura 1.** Diferentes tamanhos e formatos das sobras de papéis dos materiais produzidos no processo gráfico.

Em relação ao amido, é um carboidrato com propriedades nutricionais e é uma das principais fontes de carboidrato presente na dieta dos animais. Além do seu uso na produção de alimentos, o amido é empregado na indústria de papel, têxtil, farmacêutica e outras <sup>(9)</sup>. Quimicamente o amido é um polissacarídeo constituído por amilose e amilopectina que podem ser facilmente hidrolisadas, produzindo carboidratos de baixo peso molecular <sup>(10)</sup>.

O amido encontrado na natureza não é considerado um polímero, no entanto, quando submetido a condições adequadas de temperatura e pressão, além da adição de um agente plastificante, pode ser gelatinizado, e sob o efeito de cisalhamento transformar-se em um material com capacidade de fluxo, originando o amido termoplástico <sup>(11)</sup>. Quando absorvem água através das ligações de hidrogênio com seus grupos hidroxilas livres, os grânulos de amido incham e mantêm sua ordem e cristalinidade. Mas quando aquecidos, as ligações de hidrogênio entre as unidades de glicose adjacentes são rompidas e o mesmo perde sua cristalinidade, ocorrendo o processo de gelatinização produzindo um material amorfo <sup>(12)</sup>. Dessa forma, para a obtenção do amido termoplástico é preciso destruir a estrutura semicristalina original dos grânulos. Para isto, o amido nativo deve ser aquecido na presença de um plastificante, na temperatura de 90 a 180°C.

O uso do amido termoplástico, apesar das vantagens citadas anteriormente, possui propriedades mecânicas inferiores aos dos polímeros convencionais e alta sensibilidade à umidade, sendo estes os principais fatores limitantes para a sua aplicação <sup>(13)</sup>.

Para esta pesquisa será usado o amido termoplástico, gelatinizado no Laboratório do DIMP (Desenvolvimento Integrado de Materiais e Produtos) agregado ao papel oriundo do resíduo da fabricação de materiais gráficos da Gráfica da UFRGS, na qual se pesquisou a máxima incorporação de papel para esta mistura, procurando manter a processabilidade e, a partir dessas condições encontradas, produzir placas com geometrias variadas, para a avaliação da processabilidade da mistura, das propriedades, das características visuais e de manufatura (corte, furação).

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 MATERIAIS**

- Água
- Amido de mandioca (polvilho azedo).
- Corantes na forma de pó (azul, chorela e verde).
- Resíduo de papel picado de revista.
- Resíduo de papel picado (resíduo pequeno) proveniente da máquina de cola de lombada de livros Eurobind – Heidelberg.
- Resíduo de papel picado (resíduo maior) proveniente da máquina de perfurar papel Mini Max.

### **2.2 EQUIPAMENTOS**

- Estufa da marca DELEO 2A SED.
- Ferramentas de corte – estilete, faca, parafuso e tesoura.
- Furadeira manual da marca DWT modelo SBM-600.
- Laminadora da marca ARKE SF-300.

### **2.3 MÉTODOS**

A metodologia adotada neste trabalho, consistiu no desenvolvimento de placas com a mistura de amido e papel para a obtenção de um novo material. Em todas as etapas do trabalho, as amostras foram analisadas durante o processamento (incorporação dos materiais, conformação e aderência) e após a sua secagem, em relação aos aspectos táteis (flexibilidade, textura, condições de manufatura para montagem) e visuais (aspecto, opacidade, transparência, forma, aparência marmorizada, brilho). Os resultados foram registrados a partir das observações citadas acima e representadas por imagens.

Os testes foram realizados com papel de revistas picadas, e dois tipos diferentes de resíduos oriundos da impressão da Gráfica da UFRGS, com proporções que variaram em percentual mássico de papel/amido de: 32/68; 40/60 e 47/53.

Procedimentos de incorporação utilizando papel seco e papel molhado foi testado. O papel foi imerso durante 02 dias em água. Nas situações em que o papel ficou imerso em água previamente, foi retirado o excesso da água manualmente antes da inserção do amido, determinando a escolha pelo papel seco nos testes seguintes.

Nesta sequência, com três pessoas diferentes, foram realizadas triplicatas com três amostras de 25, 35 e 40% papel, na qual procurou-se reduzir a quantidade

de amido seco. A seguir são apresentadas as composições e quantidades das três amostras:

- 50% amido gelatinizado (3 gramas) / 25% amido seco (1,5 gramas) / 25% de papel seco (1,5 gramas) em massa.
- 43% amido gelatinizado (3 gramas) / 22% amido seco (1,5 gramas) / 35% de papel seco (2,42 gramas) em massa.
- 45% amido gelatinizado (2,88 gramas) / 15% amido seco (1 grama) / 40% de papel seco (2,54 gramas) em massa.

Também foram preparadas amostras incorporando corantes na composição de 40% em massa de papel. As amostras pigmentadas foram divididas em dois grupos: primeiro foi realizada uma pigmentação monocromática nos percentuais mássicos de 0,8% a 1,6% de pigmento na forma de pó, nas cores azul e verde, após foi desenvolvido um material multicolorido (pigmentos azul, verde e vermelho).

Nas operações finais pós-processamento selecionou-se uma amostra produzida com cada tipo de resíduo (G, C e J) e submeteu-as a processos de corte com o uso de estilete, faca e tesoura, e a processos de furação com o uso de parafuso e broca (diâmetro 5 mm).

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE O PROCESSAMENTO DA MISTURA DO PAPEL AO AMIDO**

Como resultados, serão apresentados primeiramente, a gelatinização do amido, na qual chega-se a uma mistura homogênea. Os tipos de resíduos e suas proporções com a escolha do composto que obteve a melhor processabilidade com maior adição do papel no amido. Descreve-se a processabilidade e aspectos visuais obtidos nos procedimentos. Além disso, é descrito os resultados dos processos usados para o corte e furação e finalmente o estudo das formas e cores.

##### **3.1.1 GELATINIZAÇÃO DO AMIDO**

O amido utilizado nestas experiências foi exposto a uma temperatura de 90°C para se transformar em amido gelatinizado. Neste processamento observou-se, em algumas situações, a formação de grumos que ocasionaram efeitos indesejados no aspecto visual das placas produzidas. A Figura 2 ilustra a presença de grumos que pode se originar na etapa de gelatinização. Essa consistência, diferente em relação ao restante do gelatinizado, traz dificuldades na etapa de dispersão do papel no amido e, se os grumos não forem eliminados na etapa de mistura, ocasiona a formação de heterogeneidades no material final. Em destaque na Figura 2 está exemplificado o defeito visual originado nessa situação. Assim, as características do gelatinizado devem ser observadas e é desejado que ele tenha aparência homogênea, como pode ser observado na Figura 3a, e na amostra em que o amido foi bem gelatinizado, conforme a Figura 3b.





**Figura 2.** Grumos presentes no amido durante o processamento (a) e no material final (b) identificados pelo círculo.



**Figura 3.** Amido gelatinizado com aparência homogênea processamento (a) e resultado final (b).

### 3.1.2 DIFERENTES TIPOS DE RESÍDUOS E ESTUDO DO PONTO DE SATURAÇÃO DO PAPEL NO AMIDO

Para o desenvolvimento deste estudo, trabalhou-se com três diferentes tipos de resíduos conforme a Figura 4. Os quais foram papéis de revistas picados (G), e resíduos de papéis obtidos na Gráfica da UFRGS: papéis picados pequenos (C) e papéis picados grandes (J). Nos equipamentos do setor de acabamento da gráfica, o papel pequeno é oriundo do equipamento de colocar capas de livros e o papel grande é oriundo da máquina de furar cadernos conforme a Figura 5. Optou-se pelo uso destes resíduos do parque gráfico porque são os de maior disponibilidade na gráfica.



**Figura 4.** Papéis de revista (a), pequeno (b) e grande (c).



**Figura 5.** Máquina de cola de lombada de livros Eurobind - Heidelberg (a) e máquina de perfurar papel Mini Max da Gráfica da UFRGS (b) destas máquinas foram retirados o papel pequeno (G) e grande (J), respectivamente.

Quanto aos testes de saturação de papel na mistura, utilizou-se, inicialmente, 32% de papel e os teores foram aumentados até a saturação. A saturação se manifestou quando a operação de incorporação do papel no amido começou a originar uma mistura esfarelada, tornando-se quebradiça após a secagem, inviabilizando a fabricação do material. A Figura 6 ilustra o esfarelamento (Figura 6a) e o aspecto visual do material após a secagem. Ao mesmo tempo, quando se colocou pouco papel (Figura 6b), a mistura manteve-se aderente, sem condições de moldagem, apesar da incorporação do amido seco no gelatinizado. Nestas condições também não apresentou um aspecto visual homogêneo e, além disso, não se conseguiu chegar às condições mínimas de processabilidade.



**Figura 6.** Resultado do processamento com máxima (a) e mínima (b) incorporação do reforço deste estudo.

O teor máximo de incorporação de papel, com os métodos testados nesse trabalho, foi de 47%. Após esta etapa da escolha dos tipos de papeis e o estudo da máxima adição de papel pode-se identificar as proporções ideais. A partir destes dois extremos optou-se em utilizar 40% papel/60% amido em massa.

### 3.1.3 PROCESSABILIDADE E ASPECTOS VISUAIS OBTIDOS NO PROCESSO

Além de se trabalhar com três diferentes tipos de resíduos, houve três procedimentos com três pessoas diferentes, no sentido de conhecer como esses materiais se comportariam nas diversas etapas de processamento. Nesta fase pode-se observar o aspecto táctil e visual que a mistura poderia oferecer, mantendo uma boa moldabilidade.

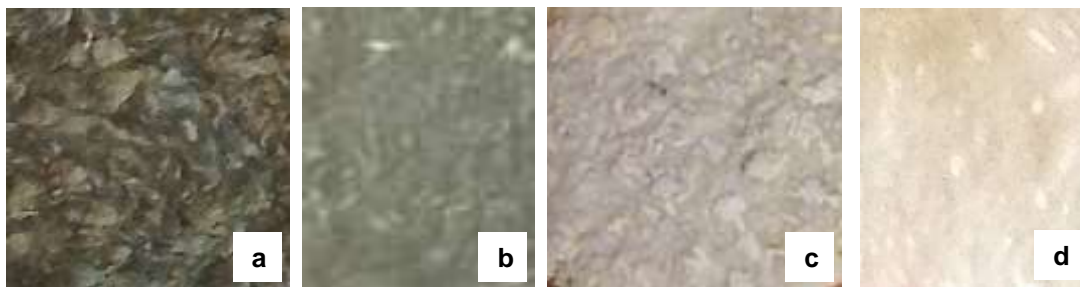
Alguns experimentos iniciais foram importantes para a tomada de decisão quanto ao processamento dos materiais. Durante os testes, ora o amido foi misturado ao papel molhado ora ao papel seco, mas, ao verificar os resultados, concluiu-se que não havia necessidade de umedecê-lo, pois o processamento e o resultado final não se alteravam. Diante disso, optou-se por usar o amido seco, para reduzir o tempo de processamento, visto que não é necessário deixá-lo de molho por 24h, e também a extrair o excesso de água manualmente. Assim, seu tempo e custo de processamento se tornaram menor.

Primeiramente, gelatinizou-se o amido e após, com o amido ainda quente, próximo a 90 °C misturou-se o papel seco e o amido seco gradativamente. Este processo foi de forma manual, e buscou-se misturar de uma forma rápida e constante. Logo após o composto estar misturado levou-se à laminadora. A Figura 7 apresenta as etapas do processo até ir à estufa para evaporação da água do material.



**Figura 7.** Etapas de processamento para obtenção do material amido/papel: amido gelatinizado (a); inserção do amido gelatinizado sobre um pouco de papel (b); mistura ao amido seco (c); mistura final dos dois tipos de amido com papel (d); entrada do material no laminador (e); saída do material do laminador (f) e aparência final do material após extração da água (g).

Como resultado do trabalho feito por três pessoas, observou-se que, dependendo do esforço mecânico na qual eram misturados os materiais, as amostras apresentavam textura e visual diferenciados. À medida que se colocava mais esforço, mais macerava o papel, modificando seu aspecto visual e tornando o papel imperceptível (Figura 8 (a) e (d)); como também, diminuindo o trabalho mecânico, mantinha-se visível a aparência do papel na amostra (Figura 8 (b) e (c)). Este detalhe será relevante observar, caso venha-se a utilizar um equipamento para fazer esta mistura, pois terá que cuidar-se a velocidade e o tempo de manuseio.



**Figura 8.** Diferente aspecto visual devido à maior (a,d) e menor(b,c) intensidade no trabalho mecânico manual de mistura do amido com o papel.

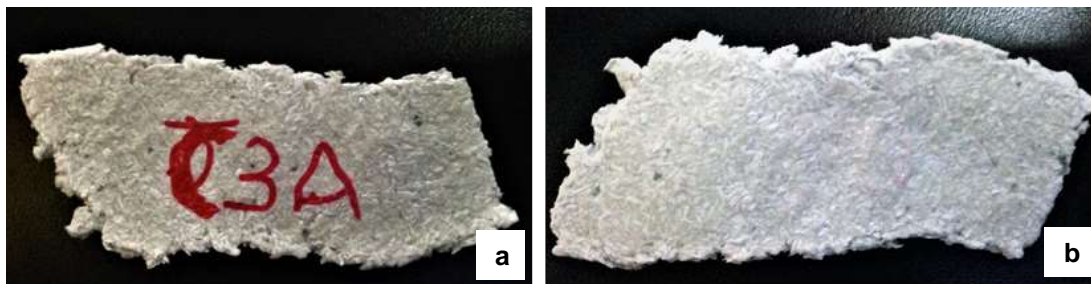
Assim, estas observações quanto aos aspectos visuais foram importantes porque se pode observar como a forma de incorporação dos materiais pode influenciar na aparência do composto (opaco, brilhante, translucido), constatando-se que esta etapa será essencial para a definição do artefato, onde a aparência pode direcionar a vários estilos e características do design de produto.

Nestes estudos também foram produzidas amostras com espessuras menores, com a mesma forma de processamento, mantendo a aparência característica do papel e verificou-se, como diferencial, a passagem de luz através da amostra. A amostra, conforme Figura 9, apresentou um aspecto mais rugoso, com aspecto rústico e translucido, mantendo uma rigidez que possibilita o uso como matéria prima para o desenvolvimento de produtos.



**Figura 9.** Transparência obtida no material.

Com os variados resultados apresentados, pode-se dizer que todas as amostras poderão trazer, pelo ponto de vista da construção, grande possibilidade de produção da massa, pois demonstraram ter alcançado as características mínimas necessárias para serem moldadas sem se deformarem plasticamente após estarem secas. Mas, para fins de continuidade deste estudo, foi escolhida apenas a amostra (Figura 10) com as seguintes proporções: 45% amido gelatinizado / 15% amido seco / 40% de papel pequeno seco em massa. A questão visual teve um peso significativo na escolha desta amostra, pois, além da facilidade na incorporação dos diferentes tipos de materiais e de conseguir-se o mais alto teor de resíduo de papel, mantendo a processabilidade, permite a produção de uma gama de formas, estruturas e objetos, cuja aparência pode remeter ao mármore.



**Figura 10.** Frente (a) e verso (b) da amostra C3A.

### 3.1.4 Manufatura, Formas e Cores

Após o domínio no processamento, testou-se uso de diferentes ferramentas no pós processamento, o desenvolvimento de modelos geométricos mais complexos e a incorporação de corantes durante a criação do material, que possibilitaram uma gama de aplicações, texturas e aparências.

O acabamento dos materiais cortados e furados obtiveram bons resultados, podendo-se afirmar que, para o desenvolvimento de produtos, caso seja necessário o corte ou furação, este novo material permite um padrão aceitável sob o ponto de vista de acabamento.

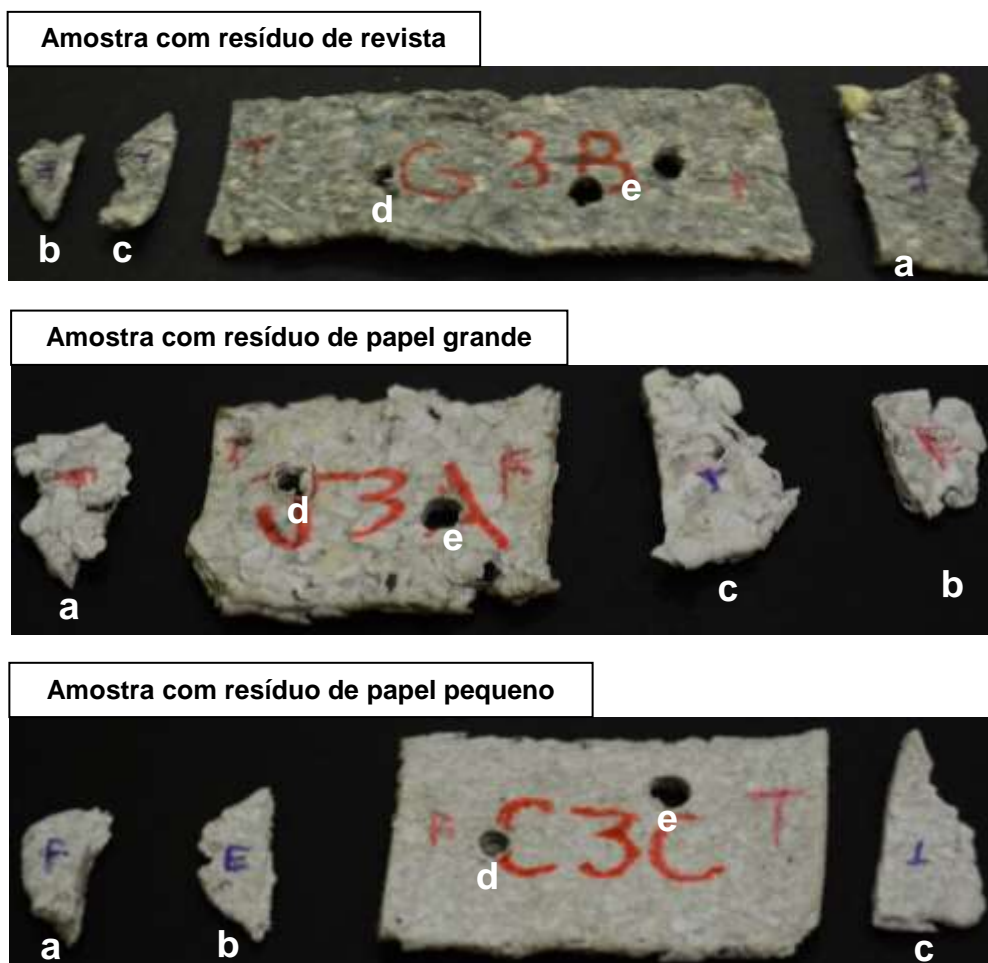
O acabamento dos materiais, especificados na Tabela 1, apresenta os resultados qualitativos em relação aos processos de corte (estilete, faca e tesoura) e furação (furadeira e parafuso).

**Tabela 1.** Resultados obtidos na operação de corte.

	Amido/Papel Jornal	Amido/Papel Pequeno	Amido/Papel Grande
Estilete	Difícil	Impossível	Impossível
Faca	Moderado	Moderado	Moderado
Tesoura	Fácil	Fácil	Fácil

O estilete foi a ferramenta que efetivamente obteve-se maior dificuldade para cortar o material, tanto que as amostras com papéis oriundos da Gráfica da UFRGS não foram capazes de ser cortadas por este meio, devido a maior gramatura do papel neste material. Entre a tesoura e a faca, o corte com a tesoura apresentou um acabamento melhor como pode ser visto na Figura 11.

Em relação à etapa de furação, as amostras com papel resíduo da gráfica apresentaram maior dificuldade para furar com parafuso em relação à amostra de papel de revista. No quesito corte com a furadeira todas as amostras apresentaram facilidade para obter o furo. Durante a operação de furação com a furadeira houve resvalo no início do contato da furadeira com o material de papel grande. Os três materiais no processo de furação com o parafuso apresentaram rebarba no lado oposto ao da entrada do parafuso como pode ser visualizado na Figura 11.



**Figura 11.** Amostras que foram submetidas as operações de corte (faca (a), estilete (b) e tesoura (c)) e furação (parafuso (d) e furadeira (e)).

Os experimentos identificaram que as amostras configuram-se como um material rígido e difícil de quebrar, demonstrando que, a partir da união destes dois materiais (papel/amido) pode-se agregar valor a estes dois constituintes. É possível ainda afirmar que peças com formatos mais complexos e de maiores espessuras deverão ser cortadas com equipamentos com maior potência, como serra elétrica, laser, etc.

Buscou-se também explorar o aspecto visual pela coloração das amostras. No sentido de promover maiores possibilidades de recursos ao material e ainda para manter-se o foco no aspecto ambiental, procurou-se utilizar corantes naturais que pudessem ser agregados à mistura. Foram utilizados nessa experiência, corantes alimentícios nas cores, azul, clorela e vermelho bordô.

Os corantes, azul e clorela foram testados em dois percentuais mássicos a fim de verificar a tonalidade das amostras. O corante foi incorporado ao amido gelatinizado antes da adição do papel conforme a Figura 12. Este procedimento se justifica pelo fato do amido estar em um estado gelatinoso e assim possibilitar a

melhor incorporação do pigmento, entretanto, salienta-se que podem ser testadas outras formas de incorporação do pigmento na mistura.



**Figura 12.** Incorporação do pigmento ao amido gelatinizado (a) com posterior adição de papel (b).

Como pode ser observado, na Figura 13 foi obtida uma mistura bastante homogênea, demonstrando-se que houve uma boa incorporação do corante aos componentes. Na Figura 13 visualiza-se as proporções testadas nas amostras, 0,05 g no primeiro experimento e 0,1 g para o segundo, na cor verde. Assim, é possível explorar diversas tonalidades, dependendo da quantidade de corante que é incorporado à mistura.



**Figura 13.** Tonalidades obtidas para os dois corantes testados.

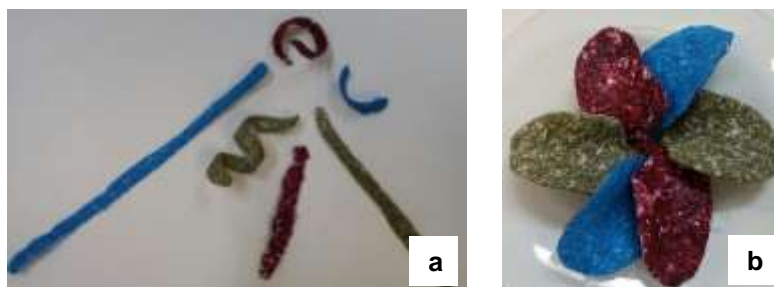
A coloração obtida na mistura vislumbra-se como uma das alternativas para somar aos objetivos desta pesquisa, pois através dela, pode-se reforçar o valor sustentável do material. Pode-se exemplificar isto com a incorporação da cor verde, que remete à natureza e ao aspecto ambiental.

Durante a etapa de pigmentação também foi avaliada a possibilidade de adesão de três massas de amido com cores distintas no sentido de explorar os aspectos visuais do material. Este procedimento aconteceu com a união manual dessas massas e após o mesmo foi laminado. Para esse experimento utilizou 0,16% em massa dos corantes azul e verde, e 0,48% em massa do corante bordô. Os resultados deste teste demonstraram que a união das amostras é viável uma vez que apresentaram boa aderência, não ocorrendo descontinuidade entre as massas com diferentes corantes, conforme demonstrado na Figura 14.



**Figura 14.** Amostra de amido/papel com os três pigmentos.

Ao agregar outras cores cria-se um universo a ser explorado. Mantendo a linha da sustentabilidade, a natureza através dos seus corantes naturais oriundos de plantas e minerais também possibilita a incorporação de outras cores, além da criação de cores secundárias e terciárias. A Figura 15 remete a estas percepções, pois cria-se diferentes formas do material como pode ser visto na Figura 15 além de explorar diferentes cores.



**Figura 15.** Apresentação de diferentes modelos geométricos (a) e possibilidade de montagem de formas variáveis (b).

#### 4. Conclusão

Esta pesquisa possibilitou transformar o amido alimentar em um biopolímero, e, além disso, dar um maior valor agregado ao resíduo de papel quando o mesmo foi incorporado ao amido termoplástico.

Esta pesquisa possibilitou conhecer o material misturado, através dos diversos processamentos. Foi possível observar suas características e obter o controle do processo. Com os testes elaborados, foi possível ainda, encontrar a quantidade máxima de cada material e buscar formas de reduzir tempo e custo para o processamento da mistura. Uma das etapas eliminadas, em função das observações constatadas, foi a necessidade ou não, de molhar o papel antes de iniciar o processo, certificou-se que era possível fazer a mistura com o papel seco, uma vez que não havia mudança nas características do material obtido.

Pelo processo de reprodutibilidade viu-se que a variação na maneira de mesclar os elementos e a pressão incorporada ao misturá-los, influenciou no ponto de massa, tornando-os mais esfarelados ou obtendo-se uma maior interação entre eles. Observou-se que o controle sobre a mistura se dá pelo domínio desse manuseio dos dois materiais. Dependendo da pressão colocada ao misturar os componentes, perdia-se a referência do papel, ocorrendo mudanças nos aspectos visuais. Observando-se assim a possibilidade de explorar diferentes aspectos das amostras. As amostras podem ficar com papel mais aparente ou menos aparente, dando um aspecto mais rústico, caso diminua o tempo de mistura, ou dando um aspecto mais sofisticado, caso aumente o tempo de mistura, respectivamente.



A opção em utilizar quantidades reduzidas de materiais foi positiva porque não ocorreu desperdício no processo. No entanto, uma vez que venha-se produzir uma quantidade maior desta mistura, optando-se por utilizar equipamentos que comportem maior volume, julga-se que, a partir do conhecimento adquirido, do controle do processo e da massa, além das proporções adequadas encontradas, será perfeitamente possível a sua elaboração numa escala maior; possibilitando o desenvolvimento dos mais diversos tipos de produtos que venham a ser criados.

Assim, os resultados demonstram que o material produzido tem um potencial de uso na fabricação de produtos rígidos, aceitando uma incorporação de 40% de resíduos de papel, bem como, a incorporação de corantes, vislumbrando-se um promissor desenvolvimento de produtos para a área do design sustentável.

## 5. Referências

- 1 BARROSO, C.R. A gestão do design na otimização do uso de recursos naturais. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação Gestão do Design), Centro Universitário Belas Artes de São Paulo, São Paulo, 2006.
- 2 CALEGARI, E.P. Estudo da aplicação de compósitos biodegradáveis à base de biopolímero e fibras de curauá no design de produto. Dissertação (Mestrado em Design). Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre, 2013.
- 3 COLLINS, P.M.; FERRIER, R.J. Monosaccharides. Their chemistry and their roles in natural products. Ed. John Wiley and Sons Ltd., 1995.
- 4 E. Corradini, A. J. F. Carvalho, A. A. S. Curvelo, J. A. M. Agnelli, L. H. C. Mattoso. Preparation and characterization of thermoplastic Starch/zein blends. *Material Research*, 10(3) (2007) 227-231.
- 5 F.J. Rodriguez - Gonzalez, B.A. Ramsay, B.D. Favis. High performance DPE/thermoplastic starch blends: a sustainable alternative to pure polyethylene. *Polymer*, 44 (2003) 1517-1526.
- 6 KRUCKEN, L. Design e território: Valorização de identidades e produtos locais. São Paulo: Studio Nobel, 2009.
- 7 E.P. Nascimento, M. Amazonas, A. Vilhena. Sustentabilidade e interdisciplinaridade: inovações e desafios dos programas de Pós-graduação em Ambiente e Sociedade. O caso do Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília. *Experiências RBPG*, Brasília, 10(21) (2013) 665-695.
- 8 PASSOS, P.R.A. Destinação sustentável de cascas de coco (cocos nucifera) verde: obtenção de telhas e chapas de partículas. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético). Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- 9 Portal resíduos sólidos: Reciclagem de papel. Disponível em: <<http://www.portalresiduossolidos.com/reciclagem-de-papel-2/>>. Acesso em: 10/07/2016.
- 10 Reciclagem industrial de papel. Disponível em: <<http://www.portalresiduosolidos.com/reciclagem-de-papel-2/#more-2030>>. Acesso em: 11/12/2016.
- 11 A. Sankri, A. Arhaliass, I. Dez, A. C. Gaumont, Y. Grohens, D. Lourdin, I. Pillin, A. Rolland-Sabaté, E. Leroy. Thermoplastic starch plasticized by an ionic liquid. *Carbohydrate Polymers*, 82(2) (2010) 256-263.
- 12 SUGIH, A.K. Synthesis and Properties of Starch Based Biomaterials. Tese (Doutorado). Universidade de Groningen, 2008.
- 13 F. Vilaplana, R.G. Gilbert. Characterization of branched polysaccharides using multiple-detection size separation techniques. *Journal of Separation Science*, 33 (2010) 3537-3554.

# AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA À TRAÇÃO E COMPRESSÃO EM AREIA VERDE CONTAMINADA COM DIFERENTES QUANTIDADES DE RESÍDUOS DE MACHARIA CURA FRIO

Amaral, R. F.<sup>1</sup>  
Nascimento, T. S.<sup>2</sup>  
Pereira, L.<sup>3</sup>  
Pasini, W. M.<sup>4</sup>  
Barcellos, V. K.<sup>5</sup>

- <sup>1</sup> Mestre em Eng. Metalúrgica, Regis Fabiano do Amaral, LAFUN-UFRGS, [regis.amaral@ufrgs.br](mailto:regis.amaral@ufrgs.br).  
<sup>2</sup> Graduando Proc. Metalúrgicos, Tulio S. Nascimento, IFRS, [tulio.nascimento@caxias.ifrs.edu.br](mailto:tulio.nascimento@caxias.ifrs.edu.br).  
<sup>3</sup> Graduando de Eng. Metalúrgica, Leonardo Pereira, LAFUN-UFRGS, [leonardo.pereira@ufrgs.br](mailto:leonardo.pereira@ufrgs.br).  
<sup>4</sup> Engenheiro Metalúrgico, Willian Martins Pasini, LAFUN-UFRGS, [willian.pasini@ufrgs.br](mailto:willian.pasini@ufrgs.br).  
<sup>5</sup> Prof. Dr. Vinicius Karlinski de Barcellos, LAFUN-UFRGS, [vinicius.karlinski@ufrgs.br](mailto:vinicius.karlinski@ufrgs.br)

## Resumo

Este trabalho versa sobre a avaliação dos efeitos de diferentes teores de areia cura frio, resina fenólica uretânica, proveniente do sistema de macharia, adicionada a areia verde, através do preparo de mistura padrão e subseqüente ensaios de tração e compressão. Preparou-se uma mistura padrão com areia base 40 a 50 AFS, 7,5% de bentonita, 1,5% de água, assim realizou-se ensaios com a adição de 5, 10, 15 e 20% de resíduos de macharia não recuperada. Preparou-se a mistura padrão nestas condições citadas, respeitando a compactabilidade de 47%. Os resultados mostraram que não houve alteração nas propriedades mecânicas com o aumento de contaminantes oriundos de macharia.

**Palavras-chave:** Areia Verde; Macharia; Cura Frio; Ensaios de areia.

## EVALUATION OF MECHANICAL RESISTANCE (TRACTION AND COMPRESSION) IN GREEN SAND CONTAMINED WITH DIFFERENT QUANTITIES OF WASTE FROM CORE MAKING SYSTEM

### Abstract

This work deals with the evaluation of the effects of different levels of cold box sand, phenolic urethane resin, from the core making system, added to the green sand, through preparation of standard mixture and subsequent tensile and compression tests. A standard mixture was prepared with 40 to 50 AFS sand, 7.5% bentonite, 1.5% water. Thus, the tests were performed with the addition of 5, 10, 15 and 20% of unrecovered waste of core making. The standard mixture was prepared under these conditions, respecting the compactability of 47%. The results showed that there was

no change in the mechanical properties with the increase of contaminants from core making.

**Key words: Green Sand, Core making, Cold Box, Sand testing.**

## 1 INTRODUÇÃO

A técnica de fabricação por moldagem em areia é dos mais antigos meios de produção de peças fundidas, pois os componentes utilizados na areia verde possui disponibilidade em todo o mundo, além de apresentar custos competitivos e versatilidade em termos de escala de produção. A areia verde é utilizada na fabricação de componentes ferrosos e não ferrosos, sendo a sua moldagem facilmente mecanizada. Por outro lado a macharia passou a ser produzida com areias curadas quimicamente, isso ao fato da areia curada apresentar elevada resistência, bom acabamento e relevante tempo de armazenamento após a confecção<sup>(1)</sup>.

Após a desmoldagem ocorre uma contaminação da areia verde com areia curada quimicamente da macharia. Com vistas a reduzir resíduos e custos de disposição, técnicas de recuperação da areia verde devem ser utilizadas<sup>(2)</sup>.

Dos estudos realizados pode-se concluir que a diluição de areia de cura frio, utilizada na macharia, e apenas parcialmente calcinada no molde pelo metal, com uma camada gráfica que pode ter um efeito maior na areia de moldagem é que prejudicaria a qualidade do fundido. Não foram documentadas efeitos de maior importância nas propriedades a verde da areia de moldagem<sup>(3,4)</sup>. Como areia de macho passa por diversos estados de degradação térmica, isso pode explicar algumas das conclusões conflitantes encontradas na literatura<sup>(3,4)</sup>.

Pedicini e Krysiak<sup>(5)</sup> concluíram com base em diversos estudos que a resistência a verde, um dos testes mais comumente utilizado para areia de moldagem, não mostra efeitos da diluição da areia de macharia na areia verde. Esta conclusão baseou-se em estudos realizados com areia de processo, que a priori já sofreram um nível de degradação térmica e mecânica. Neste trabalho buscou-se avaliar a influencia de diferentes níveis de diluição de areia de macharia, apenas destorroada e que não sofreu nenhum nível de degradação térmica. As propriedades a verde de uma areia padrão, não degradada termicamente e mecanicamente, foram avaliadas em testes de resistência de compressão e tração a verde.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

Para este trabalho, utilizamos areia base de sílica, a qual apresentou os resultados de qualificação de matéria prima conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização da areia base de sílica.

Umidade	0,01%
Modulo	48,13 AFS
Teor de finos	1,16%
Argila AFS	0%

Para cada diluição de macharia, na mistura padrão foram mantidas as propriedades iniciais, mostradas na Tabela 1, tais como: umidade, argila AFS, teor de finos e módulo, com o objetivo de manter esses parâmetros constantes durante os ensaios.

Utilizou também bentonita sódica ativa como aglomerante da areia verde, apresentando a qualificação de matéria prima conforme Tabela 2. Para areia de macharia utilizou-se resina fenólica uretânica, feita conforme a seguinte mistura 0,5% de resina parte I e 0,5% de resina parte II, e 10 % de catalisador sobre o peso da resina parte II, misturados em misturador de Mós.

**Tabela 2.** Caracterização da argila bentonita sódica ativada.

Umidade	11,5%
Inchamento	35,0 ml
Adsorção	53,15 ml

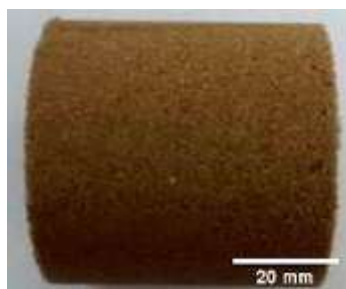
## 2.2 Moldagem e confecção dos corpos de prova

Os corpos de prova foram confeccionados a partir do preparo de mistura padrão com 5,0 kg de areia base, 7,5% de bentonita sódica ativada, 1,5% de água e obtendo assim 47% de compactabilidade, Figura 1.



**Figura 1.** Equipamento para moldagem dos corpos de prova.

Após fixada a compactabilidade de trabalho em 47%, confeccionou-se os corpos de prova para o ensaio de resistência compressão a verde, e ensaio de tração a verde em equipamento próprio, conforme Figura 2.



**Figura 2.** Corpo de prova para ensaio de tração e compressão.

Para a realização dos próximos ensaios adicionou-se a misturas padrão 5%, 10%, 15% e 20% de areia de macharia isenta de regeneração, somente na condição de destorroada. Procedeu-se os ensaios de tração e compressão a cada novo acréscimo de contaminante de areia de macharia, mantendo tão somente a compactabilidade em 47%.

### 2.3 Ensaio de Compressão a Verde - RCV

Com o objetivo de se ter uma medida quantitativa a respeito das propriedades mecânica da mistura, após diluição da areia de macharia nas porcentagens anteriormente informadas, realizou-se ensaio de compressão em equipamento universal de ensaios +GF+, Figura 3, seguindo a Norma CEMP060 <sup>(6)</sup>.



Figura 3. Equipamento Universal de ensaios para realização de ensaio de compressão.

### 2.3 Ensaio de Tração a Verde - RTV

Com o objetivo de se ter uma medida quantitativa a respeito das propriedades mecânica da mistura, após a adição das porcentagens de contaminante, realizou-se ensaio de tração em equipamento próprio, Figura 4, seguindo a Norma CEMP202 <sup>(6)</sup>.



Figura 4. Equipamento para realização de ensaio de tração.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Ensaio de compressão da mistura padrão

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de compressão da mistura padrão, considerada para qualificar o processo de moldagem.

**Tabela 3.** Resultados dos ensaios de compressão da mistura padrão.

CPs	RCV (N/cm <sup>2</sup> )
01	12,00
02	12,00
03	12,40
04	13,40
05	12,80
06	13,90
Média	12,75
Desvio-Padrão	0,774

Após a primeira mistura, seguido da confecção dos primeiros corpos de prova e ensaio dos mesmos, a areia foi novamente preparada e acrescida de 5% de areia de macharia cura frio, novamente feito os ensaios de compressão, o que se repetiu a cada adição de areia de macharia até o total de 20%, mantendo para cada nova mistura a compactabilidade em 47%, os resultados estão apresentados conforme Tabela 4.

**Tabela 4.** Resultados dos ensaios de compressão com adições de areias de macharia.

CPs	5% RCV (N/cm <sup>2</sup> )	10% RCV (N/cm <sup>2</sup> )	15% RCV (N/cm <sup>2</sup> )	20% RCV (N/cm <sup>2</sup> )
01	12,80	13,20	12,90	12,80
02	12,60	12,00	12,40	12,00
03	12,10	12,80	12,80	12,50
04	12,40	13,60	12,60	11,90
05	12,90	12,80	12,60	12,90
06	12,00	13,70	12,10	13,10
Média	12,47	13,02	12,57	12,53
Desvio-Padrão	0,367	0,627	0,288	0,493

#### 3.1 Ensaio de Tração da mistura padrão

A Tabela 5 apresenta os resultados dos ensaios de tração da mistura padrão, considerada para qualificar o processo de moldagem.

**Tabela 5.** Resultados dos ensaios de tração da mistura padrão.

CPs	RTV(N/cm <sup>2</sup> )
01	2,10
02	1,90
03	1,90
04	2,20
05	2,20
06	2,20
Média	2,08
Desvio-Padrão	0,147

Após a primeira mistura, seguido da confecção dos primeiros corpos de prova e ensaio dos mesmos, a areia foi novamente preparada e acrescida de 5% de areia de macharia cura frio, novamente feito os ensaios de tração, o que se repetiu a cada adição de areia de macharia até o total de 20%, mantendo para cada nova mistura a compactabilidade em 47%, os resultados estão apresentados conforme Tabela 6.

**Tabela 6.** Resultados dos ensaios de tração com adições de areias de macharia.

CPs	5% RCV (N/cm <sup>2</sup> )	10% RCV (N/cm <sup>2</sup> )	15% RCV (N/cm <sup>2</sup> )	20% RCV (N/cm <sup>2</sup> )
01	2,20	2,30	2,30	2,30
02	2,10	2,40	2,30	2,20
03	2,10	3,00	2,00	2,00
04	2,10	2,50	2,00	2,20
05	2,10	2,30	2,20	2,20
06	2,30	2,30	2,30	2,20
Média	2,15	2,47	2,18	2,18
Desvio-Padrão	0,08	0,273	0,147	0,098

Como pode-se observar na Figura 5, após os quatro teores de diluição de areia de macharia, a mistura não teve mudança significativa na propriedade de resistência a compressão ou na resistência a tração.

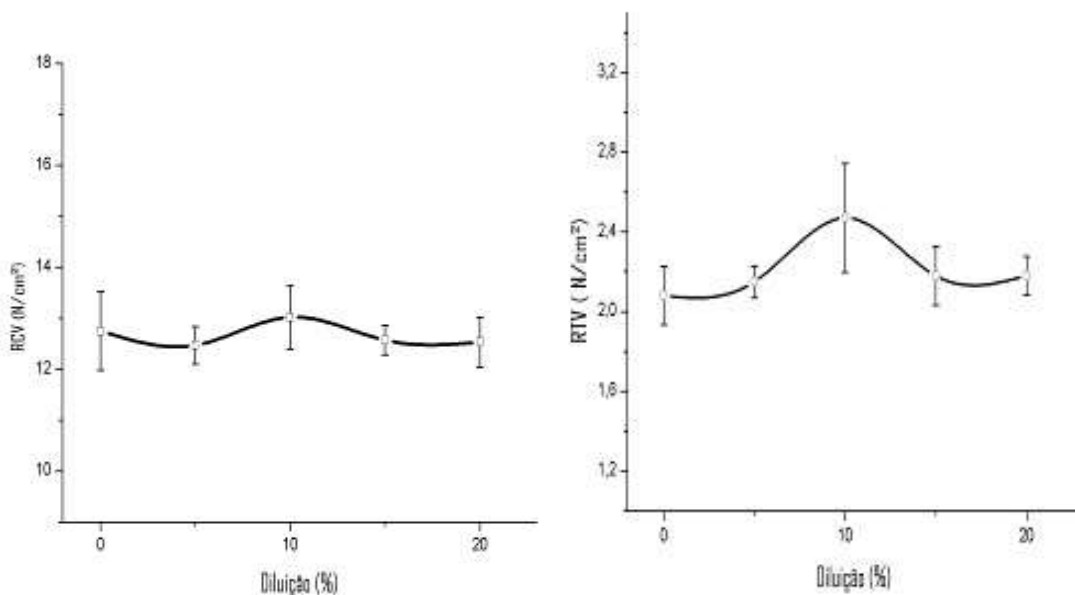


Figura 5. Resistência à compressão (esquerda) e tração (direita) após as adições de areia de macharia.

#### 4 CONCLUSÃO

Conclui-se que considerando a adição de areia de macharia, na proporção de diluição conforme citado neste trabalho, não houve alteração nas propriedades de moldagem, tais com resistência a compressão e tração da mistura padrão inicial.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao LAFUN e a Escola de Engenharia da UFRGS, pelo uso dos laboratórios e da infraestrutura da universidade. Agradecem também ao CNPq e a CAPES pelo apoio financeiro e investimento na área de pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

- 1 DIEHL, M. **Estudo das areias silicosas do Rio Grande do Sul aglomeradas com bentonita através de ensaios tecnológicos de fundição**. 1986. Dissertação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- 2 ABIFA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE. **Manual de Regeneração e Reuso de Areias de Fundição**. São Paulo: Associação Brasileira de Fundição, p.1-49, 1999
- 3 R. Naro, J. Plummer **Influence of nobake core sand contamination on the properties of green molding sands**, AFS Transactions, vol.87, pp. 39-46 (1979).



- 4 A.E. Graham, G. Good **Particulated core scraps as replacement for new sharp sand additions to gren molding sand line**, AFS Transactions, vol.90, pp. 215-225 (1982).
- 5 L. J. Pedicini, M. B. Krysiak A diluição de macho em areia verde influencia os fundidos. Fundição e Serviços, pp. 52-69 (1994)
- 6 **Manual de Recomendações** – Associação Brasileira de Fundição – ABIFA/CEMP, São Paulo, 2015.

## CARACTERIZAÇÃO DE ACABAMENTO SUPERFICIAL E POROSIDADE DE FUNDIDOS EM ALUMÍNIO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE VAZAMENTO

Schmitzhaus, T.E.<sup>1</sup>

Simoni, L.<sup>2</sup>

Schmitzhaus, W.C.<sup>3</sup>

Jesus, L.G.M.<sup>4</sup>

Vargas, E.J.M.V.<sup>5</sup>

Mairinque, W.M.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Mestre, Tobias Eduardo Schmitzhaus, IFMS, [tobias,schmitzhaus@ifms.edu.br](mailto:tobias,schmitzhaus@ifms.edu.br).

<sup>2</sup> Mestre, Leonardo Simoni, IFMS, [leonardo.simoni@ifms.edu.br](mailto:leonardo.simoni@ifms.edu.br).

<sup>3</sup> Engenheiro, Wagner Cristiano Schmitzhaus, IFMS, [wagner.schmitzhaus@ifms.edu.br](mailto:wagner.schmitzhaus@ifms.edu.br).

<sup>4</sup> Mestre, Leandro Gustavo Mendes de Jesus, IFMS, [leandro.mendes@ifms.edu.br](mailto:leandro.mendes@ifms.edu.br)

<sup>5</sup> Estudante, Erick Junior Mendes Vargas, IFMS, [erickmendes8@gmail.com](mailto:erickmendes8@gmail.com)

<sup>6</sup> Estudante, Wallace Messias Mairinque, IFMS, [w.mairinque2015@gmail.com](mailto:w.mairinque2015@gmail.com)

### Resumo

Em 1958 surgiu o processo de fundição por molde cheio, o qual consiste no vazamento do metal líquido sobre um modelo de poliestireno expandido de alta densidade que se encontra no interior de uma caixa de areia. Quando o metal líquido é vazado no molde, o poliestireno se degrada rapidamente e dessa maneira o metal líquido ocupa o espaço vazio criado. O presente trabalho de pesquisa tem como objetivo avaliar a influência da temperatura de vazamento do metal líquido em relação ao acabamento superficial e em relação à porosidade de peças obtidas a partir de fundição por molde cheio de alumínio. Foram preparados corpos de prova com geometria escolhida de "IF" e os canais de ataque e saídas de gases foram posicionados de maneira estratégica e mantidos constante. Além disso, nesse processo, foi utilizado um revestimento alternativo nos modelos de poliestireno expandido de alta densidade baseado em uma mistura de sulfato de cálcio hidratado (gesso), areia e água em uma proporção de 1:1:1, o qual foi aplicado aos modelos pela imersão dos mesmos nessa mistura ainda sem cura. A matéria prima utilizada para a fundição foi sucata de alumínio selecionada que foi fundida dentro de um cadinho de grafita em forno mufla. O vazamento do metal líquido ocorreu em três temperaturas diferentes (750 °C, 850 °C e 950°C). As caracterizações resultados mostraram que a temperatura de vazamento de 850°C apresentou a menor porosidade (0,2457%) e a presença de agulhas de intermetálicos de Fe-Al na microestrutura.

**Palavras-chave:** Fundição; Alumínio; Temperatura de vazamento; porosidade.

### CHARACTERIZATION OF SURFACE FINISH AND POROSITY OF ALUMINUM CASTING IN THE FUNCTION OF THE LEAKAGE TEMPERATURE

#### Abstract

In 1958, the lost-foam casting process was developed, which consists on pouring the molten metal into a high density expanded polystyrene model inside a sandbox. When the molten metal is poured into the mould, the polystyrene vaporizes quickly

and occupies the void created thereby. The present research aims to evaluate the influence of molten metal pouring temperature in the surface finishing and porosity of pieces obtained by lost-foam casting process of aluminum. The specimens were prepared with "IF" geometry and pouring gate and gas outlet were strategically positioned and kept constant. Besides that, in this process, an alternative coating on low density expanded polystyrene patterns based on a mixture of hydrated calcium sulfate (gypsum), sand and water was used, which was applied to the patterns by immersion in this mixture before curing. The raw material used was selected aluminum scrap, which was melted in a graphite crucible in a muffle furnace. The liquid metal was poured in three different temperatures (750 °C, 850 °C and 950°C). The results showed that the pouring temperature of 850°C demonstrated the lowest porosity (0.2457%) and the presence of Fe-Al intermetallic needles in the microstructure.

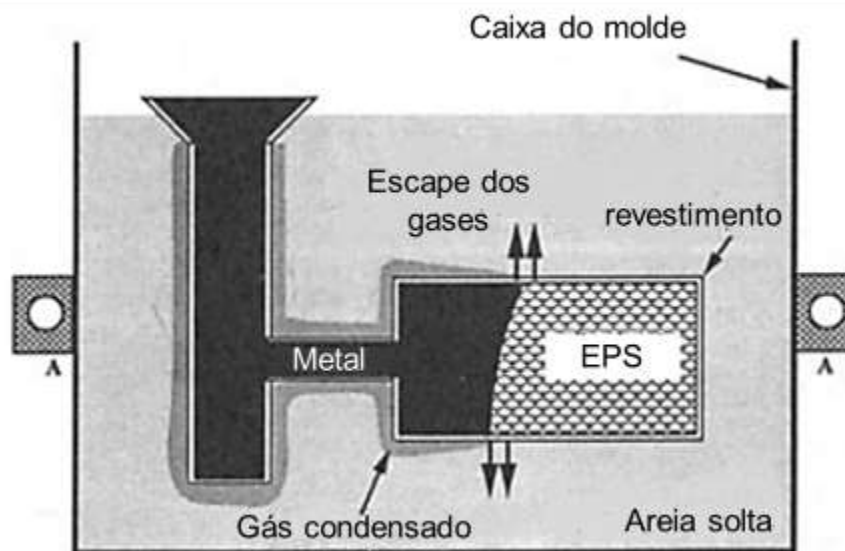
**Key words:** foundry; Aluminum; Leakage temperature, porosity.

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade do mercado entregar produtos de alta qualidade, reduzir custos de produção e minimizar impactos ambientais incentiva a busca de alternativas de produção em diversas áreas. No caso da indústria de fundição, algumas modificações fundamentais têm acontecido com o desenvolvimento de novos processos baseado no aprimoramento dos já existentes.

Na busca por um processo mais eficiente, em 1958 H.F Shroyer desenvolveu um método alternativo para a produção de uma ampla variedade de peças fundidas, chamado de processo por molde cheio (SHROYER. H.F,1958). Este apresenta características essenciais para um processo de fundição competitivo tais como menor consumo de energia, custo de produção e impacto ambiental quando comparado a outros processos de fundição (MARTINS.F.G, 2003; SHIVKUMAR.S, APELIAN.L.W.D, 1990).

De acordo com Martins, o processo molde cheio é um processo de fundição em areia sem aditivos, em que se emprega um modelo (réplica da peça) confeccionado em poliestireno expandido (EPS) (MARTINS.F.G, 2003). Este modelo é preparado e normalmente pintado por uma tinta refratária e permanece no molde durante o vazamento, sofrendo degradação térmica pelo metal líquido que penetra no molde através dos canais de alimentação, reproduzindo assim a forma do modelo degradado. Durante o vazamento, os gases gerados pela degradação do poliestireno expandido escapam pela camada de tinta e penetram na areia solta, além de escaparem pela saída de gases previamente projetada, permitindo assim o reaproveitamento da areia solta. A Figura 1 mostra esquematicamente o processo de fundição por molde cheio.



**Figura 1.** Esquema do processo de fundição por Molde Cheio. Fonte: Adaptado de SHIVKUMAR, S., L.WANG, D.APELIAN, 1990

O processo de Shroyer foi inicialmente usado para a produção de peças fundidas grandes e únicas que foram esculpidas em tarugos de isopor. Posteriormente, um grande interesse no processo emergiu para produção de alto volume de fundidos comerciais através do uso de moldes de injeção para produção de poliestireno. Quando a patente de Shroyer expirou em meados dos anos 70, o processo ganhou aceitação ainda maior, especialmente pela indústria automotiva (HOWELL. J.S, 1993).

Segundo Martins para assegurar a eliminação rápida e sem resíduos dentro da cavidade do molde são empregados materiais poliméricos que apresentam uma degradação térmica rápida frente ao calor do metal líquido (MARTINS.F.G, 2003). Assim os polímeros que melhor adaptam-se à produção de modelos para fundição por molde cheio são o poliestireno expandido (EPS) e o polimetilmetacrilato ou uma mistura de ambos. Os polímeros empregados em modelos de fundição devem apresentar certas características para produzir peças fundidas de qualidade, sendo as principais: estabilidade dimensional, produzir um baixo volume de gases, excelente acabamento superficial e resistência mecânica.

O EPS normalmente é um polímero que funde a 164 °C, volatiliza a 316 °C e queima a 576 °C. Na fundição, no entanto, quando um metal tal como o alumínio, o qual funde em uma temperatura de aproximadamente 670 °C, entra em contato com o EPS ocorre uma passagem instantânea pelos três estados físicos. Segundo LEE, os gases formados, que se enriquecem de carbono em temperaturas mais elevadas, devem deixar o sistema durante a queima através das paredes do molde e saídas de gases. Assim, quanto maior o tempo de aprisionamento desses gases maiores serão as concentrações de carbono e hidrogênio na fase gasosa e menor a concentração de hidrocarbonetos.

O hidrogênio é o único gás que apreciavelmente solúvel no alumínio e suas ligas. Sua solubilidade é diretamente dependente da temperatura. Na Figura 2 observa-se que a solubilidade do hidrogênio é consideravelmente maior no estado líquido do que no estado sólido. Durante o resfriamento e solidificação do alumínio

fundido, o hidrogênio dissolvido em excesso devido à baixíssima solubilidade do mesmo no estado sólido, pode precipitar sob a forma molecular, resultando na formação de porosidades primárias e/ou secundárias (ASM INTERNATIONAL,1988).

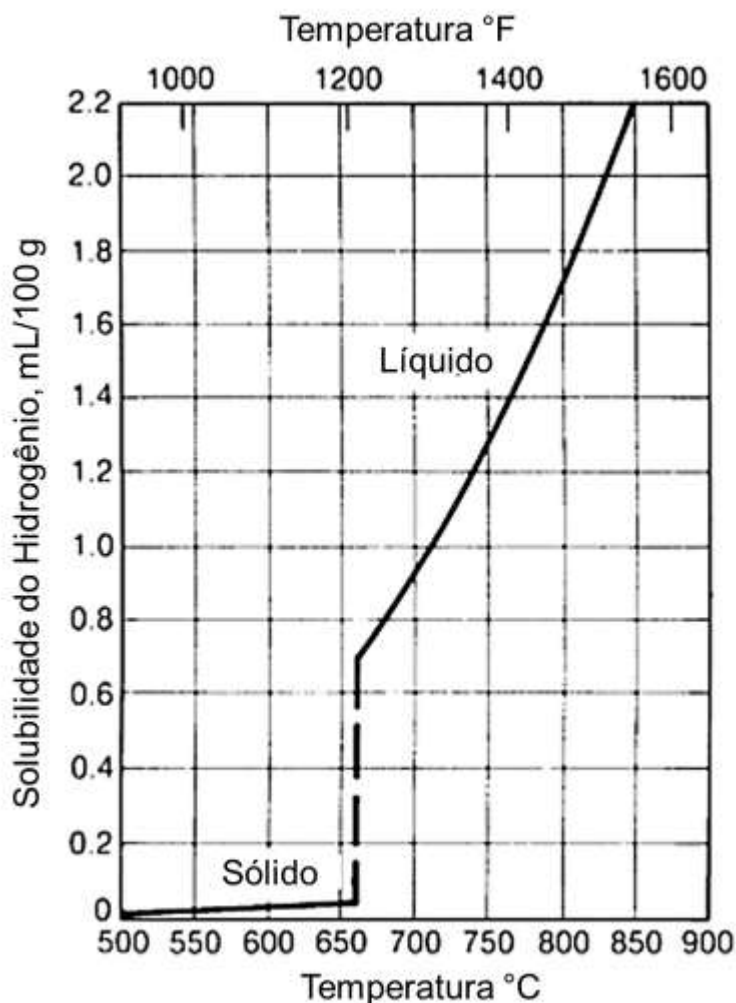
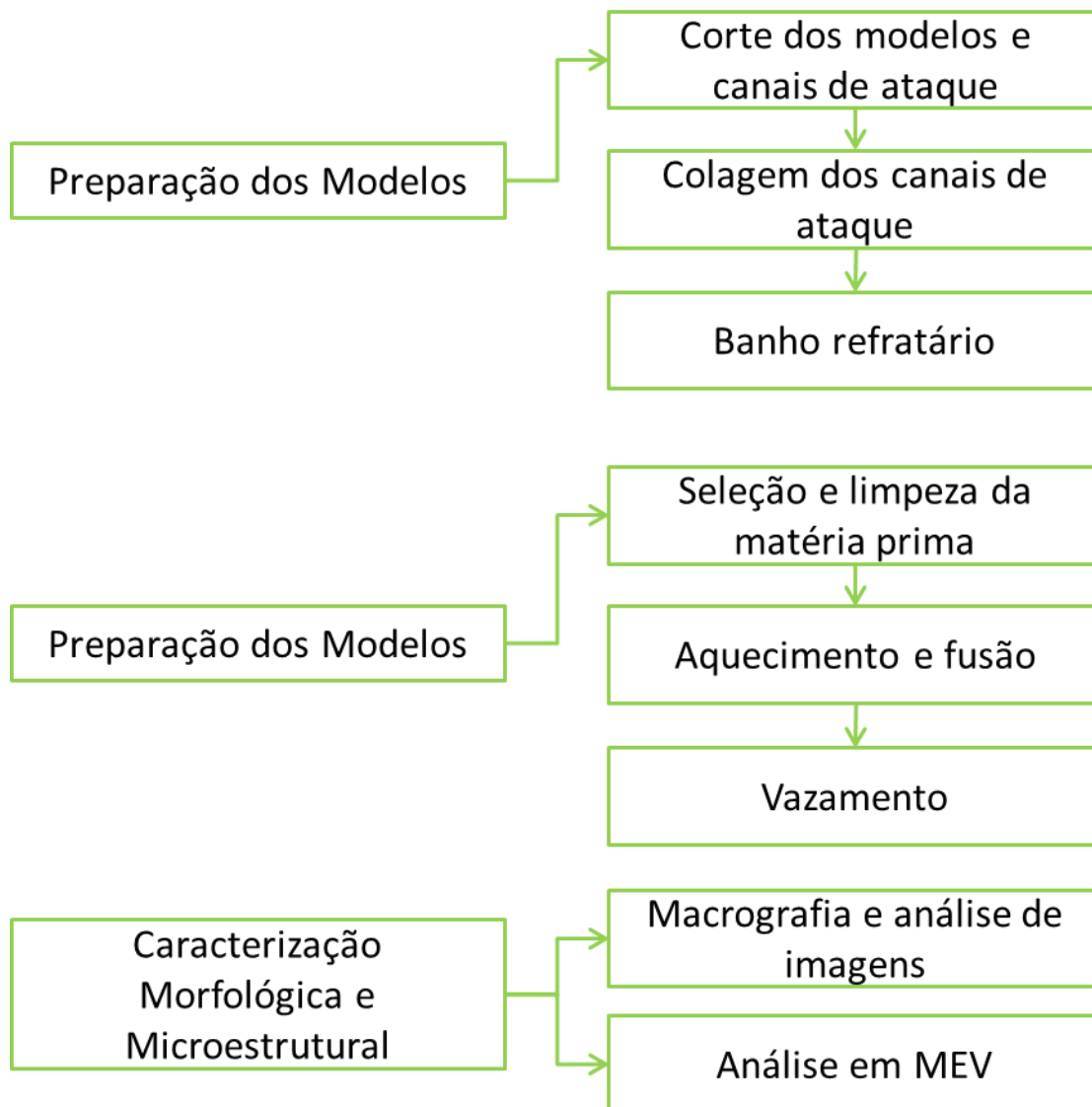


Figura 2. Solubilidade do Hidrogênio em função da temperatura no alumínio. Fonte: Adaptado de ASM INTERNATIONAL,1988.

Nesse sentido o objetivo deste trabalho de pesquisa é avaliar a influência da temperatura de vazamento no processo de fundição por molde cheio quanto ao preenchimento dos modelos, tamanho médio dos poros assim como a quantidade percentual de poros.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 3 apresenta um fluxograma das etapas do presente trabalho de pesquisa, sendo esse dividido em três etapas principais: a preparação dos modelos, o processo de fundição e a caracterização do fundido, as quais são descritas nas seções 2.1, 2.2 e 2.3.



**Figura 3.** Fluxograma detalhado da metodologia do trabalho de pesquisa.

## 2.1 PREPARAÇÃO DOS MODELOS

A etapa de preparação dos modelos foi dividida em três partes conforme o fluxograma

(  
3) indica. Foi utilizado poliestireno expandido de baixa densidade (densidade de aproximadamente  $0,0205 \text{ g/cm}^3$ ) para a confecção do modelo, realizando-se o corte da forma do modelo e dos canais de ataque com auxílio de um cortador de isopor marca Styroform Elétrico. Estes foram dimensionados de acordo com as dimensões apresentadas na Figura 4 e cortados manualmente.

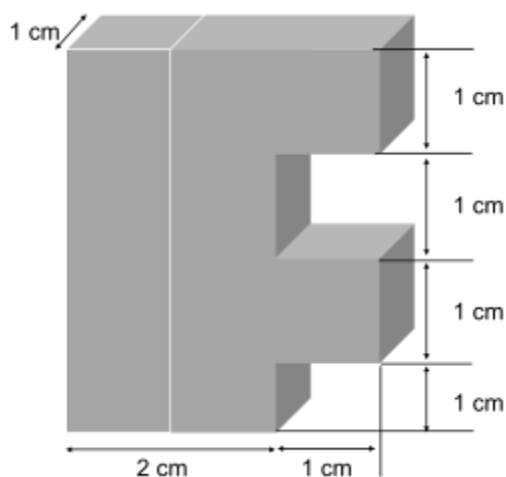


Figura 4. Dimensões do modelo em EPS.

A colagem foi realizada utilizando uma cola específica para EPS, esperando 24 horas para a cura total da cola para então seguir a próxima etapa.

O banho refratário foi preparado usando uma proporção de 1:1:1 em volume de água, sulfato de cálcio hidratado (gesso) e areia (90% retido em 100 *mesh* e 10% passante), misturado até atingir a homogeneidade completa. Após, os modelos foram imersos no banho refratário por 3 vezes consecutivas e deixados curar em temperatura ambiente por pelo menos 24 horas. A Figura 5 apresenta as etapas da preparação dos modelos.

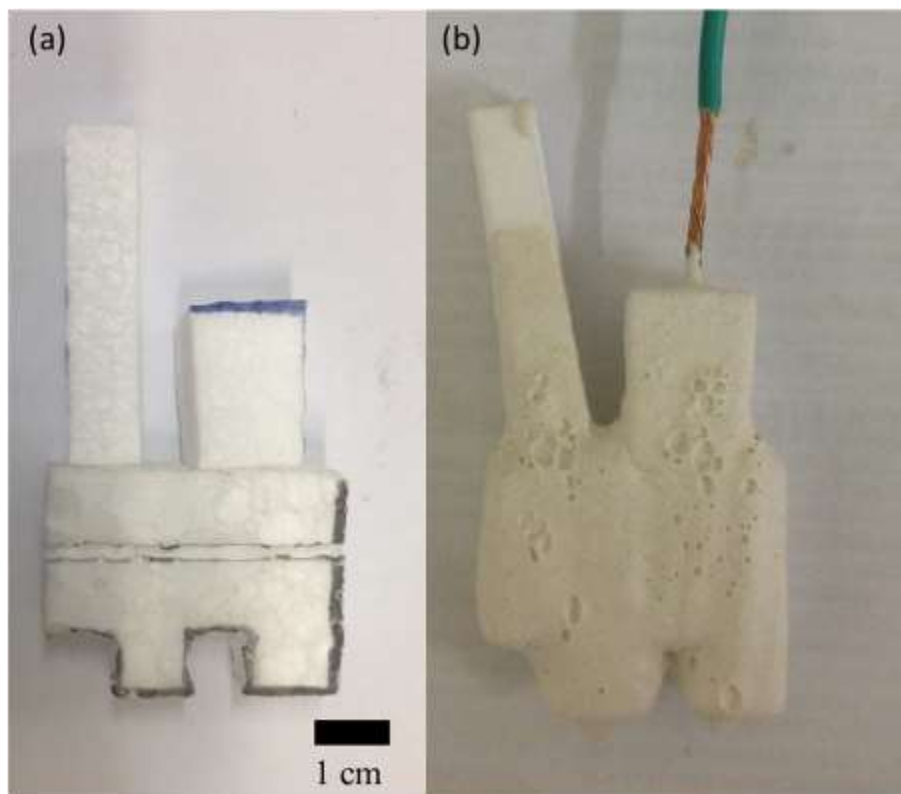


Figura 5:(a) modelo cortado e com canais de ataque colados (b) modelo após os banhos refratários

## 2.2 FUNDIÇÃO

Para a etapa de fundição, foram utilizadas sucatas selecionadas de alumínio as quais foram limpas quimicamente (decapagem química) e mecanicamente. Para o carregamento foi utilizado um cadinho de grafita/argila da Corona Cadinhos® modelo GA001. O aquecimento e a fusão foram realizados em um forno tipo Mufla (Zezimaq). O procedimento realizado consistiu em alimentar o cadinho e posicioná-lo dentro do forno com todo sistema em temperatura ambiente; em seguida o forno foi ligado nas temperaturas de 750°C, 850°C e 950°C respectivamente, para se realizar a fusão da carga metálica e posteriormente o vazamento do metal líquido. Este consistiu em posicionar o modelo em um balde de areia (90% retido em 100 *mesh* e 10% passante) deixando apenas a face superior do canal de ataque à



mostra, conforme ilustrado na Figura 6, para então o metal ser vertido com auxílio de uma tenaz.



Figura 6: Aparato utilizado para o vazamento.

### 2.3. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E MICROESTRUTURAL

A caracterização morfológica e microestrutural foi realizada através de macrografias e micrografias. Para isso, os fundidos foram lixados de grana 80 até 1200 e polidos com pasta de diamante 1  $\mu\text{m}$  e atacados com uma solução de 10% em peso de NaOH.

As imagens macrográficas foram adquiridas em uma lupa de aumento de 20x (Physis). As medidas quantitativas de tamanho médio de poro e percentual de porosidade foram obtidas através da análise de imagem das macrografias com auxílio do *software ImageJ*.

As micrografias foram realizadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) da marca JEOL modelo JSM-6380LV operando em 10 kV com o objetivo de revelar as fases presentes, precipitados e defeitos de fundição não detectáveis pela macrografia.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

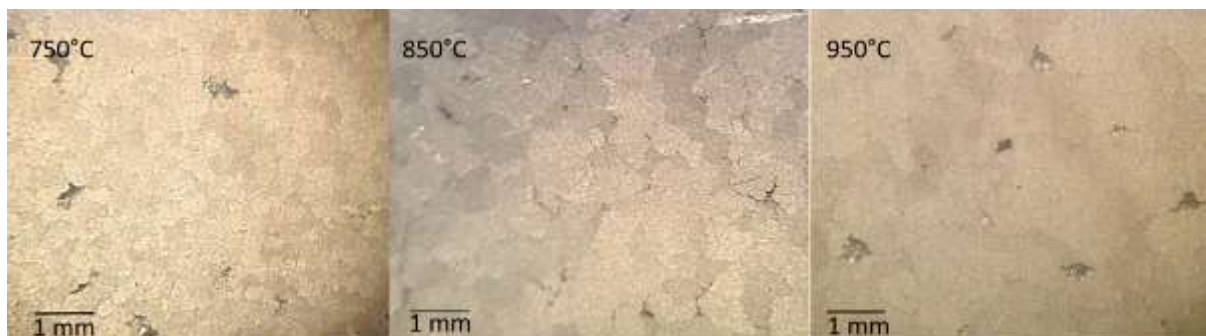
O aspecto visual das peças vazadas é apresentado na Figura 7. Pode-se verificar que houve preenchimento pleno em todas as temperaturas de vazamento, indicando, assim, que o revestimento refratário cumpriu seu papel de fornecer sustentação para o pleno preenchimento do modelo. Na temperatura de 750°C não houve o preenchimento da saída de gases devido ao fato do alumínio líquido estar muito próximo a sua temperatura de solidificação.



**Figura 7.** (a) Resultado dos vazamentos ainda com canal de ataque (b) peças após o canal de ataque ter sido retirado

A Figura 8 apresenta as macrografias das amostras analisadas quanto ao tamanho médio de poro e quantidade percentual de poros. A Tabela 1 mostra os resultados obtidos a partir da análise de imagem realizada via *ImageJ*. Pode-se observar que a quantidade de poros e tamanho médio de poro não obedeceu a um comportamento linear, como se poderia esperar teoricamente, já que a solubilidade do hidrogênio cresce com a temperatura (ASM INTERNATIONAL, 1988). Esse comportamento não linear se deve ao fato de existirem fenômenos concorrentes na solidificação do alumínio:

- O aumento da solubilidade de hidrogênio com o aumento da temperatura;
- O aumento da fluidez do metal líquido e do tempo de solidificação com o aumento da temperatura, isto é, em maiores temperaturas de vazamento o alumínio permanece líquido durante mais tempo, propiciando aos gases aprisionados (principalmente H<sub>2</sub>) uma maior probabilidade de escape para o canal de ataque/saída de gases ou para a atmosfera.



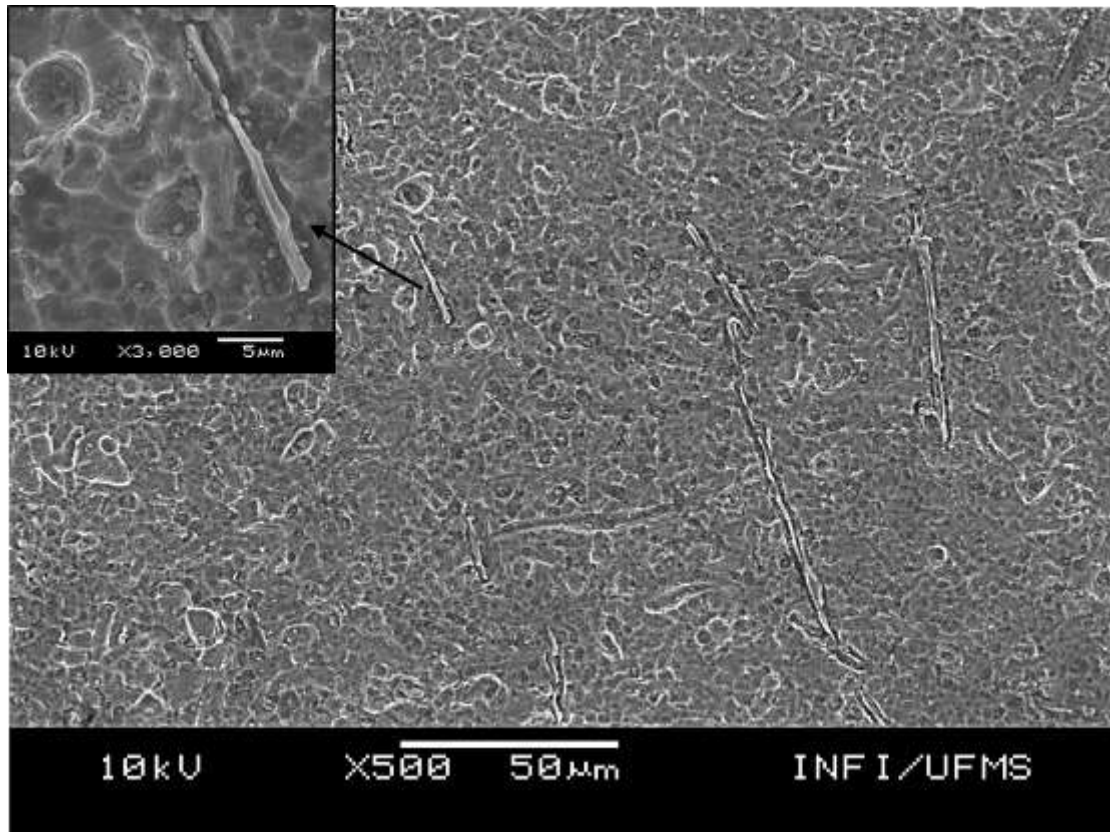
**Figura 8.** Imagens analisadas quanto a tamanho médio de poro e quantidade de poro

**Tabela 1.** Resultados de tamanho médio de poro, percentual de poro em função da temperatura de vazamento.

Temperatura (°C)	Tamanho médio de poro (mm)	Porosidade (%)	Desvio Padrão
750	0,043	1,4877	0,3272
850	0,010	0,2457	0,0556
950	0,079	1,6100	0,3944

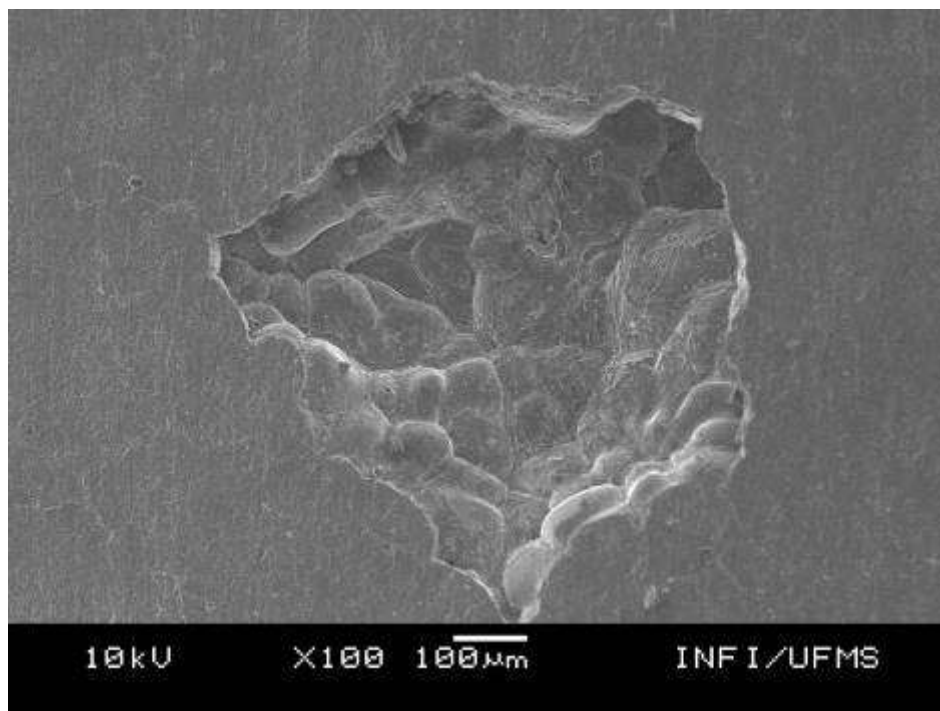
Pode-se notar que a temperatura de vazamento de 850°C foi a que apresentou a menor quantidade de poros e o menor tamanho de poro médio. Tal resultado está provavelmente associado ao fato de que no caso da menor temperatura de vazamento o hidrogênio não teve tempo hábil para escapar para a atmosfera e, portanto, ficou aprisionado, causando porosidade. Para o caso da temperatura de vazamento mais alta (950°C) a porosidade alta (~1,61%) está relacionada com a alta solubilidade de hidrogênio nessa temperatura e, mesmo tendo mais tempo para este escapar, a quantidade dissolvida é demasiada, causando este nível de porosidade. Tais resultados evidenciam o mecanismo de concorrência anteriormente proposto.

A Figura 9 apresenta a micrografia obtida por MEV da liga fundida. Em todas as três temperaturas de vazamento se observou a presença de um intermetálico de Al-Fe, típico de ligas de alumínio fundidas. Estes intermetálicos apresentam morfologia de agulhas, sendo prejudiciais para a tenacidade do material (ZHANG et al, 2012).



**Figura 9.** Micrografia do intermetálico Al-Fe na liga de alumínio vazada a 850°C.

A Figura 10 apresenta uma imagem de um poro presente na peça vazada a 750°C. Esse mesmo tipo de poro foi observado nas outras temperaturas de vazamento. A morfologia da porosidade apresenta linhas arredondadas sem sinais de dendritas, indicando, assim, que se trata de um poro devido ao aprisionamento de gases durante a solidificação e não de um eventual rechupe.



**Figura 10.** MEV de um poro da peça vazada na temperatura de 750°C

## 4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que a temperatura de vazamento não influenciou no que se refere ao preenchimento dos modelos de poliestireno expandido. Quanto ao tamanho médio e quantidade de poros conclui-se que a temperatura influencia tanto no tamanho quanto na quantidade de poros, sendo que a temperatura em que se detectou menor quantidade e menor tamanho de poro foi a de 850°C. Foi possível concluir que existem fenômenos concorrentes que influenciam a quantidade e tamanho de poros.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao IFMS por disponibilizar sua infraestrutura para execução do trabalho e à UFMS e ao professor Felipe Fernandes pelo auxílio na execução do MEV.

## REFERÊNCIAS

- 1 LEE, H.S., Forming Conditions of Gray Iron Casting in Full Mold Process with Unbonded Sand Molds, art. AFS Transactions, vol. 84, 1976, pg. 559-570.
- 2 HOWEL, J.S. **Evaporative Polystyrene Metal Casting Technology: Current Technique and Potential Application**. Publicado em: APT Bulletin, Vol. 25, N°. 3/4, pp. 60-63, 1993.
- 3 SHIVKUMAR, S., L.WANG, D.APELIAN, **The Lost Foam Casting of Aluminum Alloy Components**, Journal of Material, Novembro, 1990.
- 4 SHROYER. H.F., U.S. patent no. 2,830,343 (1958).
- 5 MARTINS, G. F. **Estudo da viabilidade técnica do processo molde cheio para fundições em areia**. Florianópolis, 2003.
- 6 ASM INTERNATIONAL. Metals Handbook, Casting, volume 15, 1988
- 7 ZHANG, L. GAO, J. NANA, L. DAMOAH, W. ROBERTSON, D.G. **Removal of Iron From Aluminum: A Review**, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review: An International Journal, 33:2, 99-157, 2012.

## FABRICAÇÃO SUSTENTÁVEL DE UMA ROUTER CNC

Gomes, J.C.<sup>1</sup>

Mendes, O. F.<sup>2</sup>

Da Silva, P. J.<sup>3</sup>

1 *Tecnologia em Automação Industrial, Jacó Cirino Gomes, Instituto Federal de Brasília, jaco.gomes@estudante.ifb.edu.br.*

2 *Tecnologia em Automação Industrial, Oscar Fonseca mendes, Instituto Federal de Brasília, oscarfsmendes@gmail.com.*

3 *Mestre em Ciências Mecânicas, Pablo Josué da Silva, Instituto Federal de Brasília, pablo.silva@ifb.edu.br*

### Resumo

O trabalho aborda o desenvolvimento de uma *Router* CNC (Comando Numérico Computadorizado) de baixo custo, utilizando um *software* de código aberto chamado GRBL, que executado em um Arduino é capaz de controlar o movimento de máquinas no plano cartesiano XYZ, através de comandos *G-code*. Com foco na sustentabilidade, o projeto foi desenvolvido com materiais reutilizados, mas que possibilitam a adequação aos movimentos e melhoria na precisão. Para minimizar as diferenças entre o projeto e uma máquina industrial quanto à precisão dos movimentos, foram realizados testes de repetibilidade de trajeto, configuração dos *drivers* de controle dos motores, de forma a manter a melhor relação entre torque e velocidade pretendida nos eixos, além de ajustes mecânicos para obtenção de dados. Avaliou-se que com o conjunto de ferramentas utilizadas, pode-se garantir bons resultados para fabricação em material MDF, bem como na fabricação de placas de circuito impresso. Esses resultados podem ser mais satisfatórios quando utilizado um conjunto mecânico mais robusto preservando o *software* e a eletrônica, assim, o sistema pode ser implementado quando se busca a melhor relação entre aplicação e custo benefício. A máquina em estudo possui características semelhantes às de modelos existentes no mercado, capaz de executar usinagem tanto em madeira como em metais a depender de sua estrutura mecânica.

**Palavras-chave:** Router; CNC; Sustentabilidade.

### SUSTAINABLE MANUFACTURE OF A ROUTER CNC

#### Abstract

The paper discusses the development of a CNC Router (Computerized Numerical Control) low cost by using an open source called GRBL, that runs on an Arduino is

able to control the movement of Cartesian plan XYZ, through G-code commands. Focusing on sustainability, the project was developed with materials reused, but that allow the adaptation to the movements and improvement in the precision. In order to minimize the differences between the design and an industrial machine in terms of movement accuracy, path repeatability tests were performed, engine control driver configuration was maintained, maintaining the best torque to desired speed ratio in the axes, as well as mechanical adjustments for obtaining of data. It was evaluated that with the set of tools used, it is possible to guarantee good results for manufacturing in MDF material as well as in the manufacture of printed circuit boards, these results can be more satisfactory when using a more robust mechanical set preserving the software and the electronics, thus, the system can be implemented when seeking the best relationship between application and cost benefit. The machine under study has characteristics similar to those of existing models in the market, able to perform machining in both wood and metals depending on its mechanical structure.

**Key words:** Router; CNC; Sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

Máquinas comandadas numericamente são cada dia mais comuns em processos de fabricação no setor industrial. Com a evolução da tecnologia esses comandos passaram a ser computadorizados o que revolucionou o setor.

A partir da década de 50, as máquinas ferramenta utilizadas para fabricação de peças através da usinagem ganham um novo conceito de funcionamento com a implementação do NC (Comando Numérico). As máquinas NC funcionavam através de cartões perfurados, apesar de ser em grande avanço para a indústria o sistema ainda necessitava ser aprimorado para atuar em grande escala. Na década seguinte com a criação e padronização do G-code através do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) o processo fica mais atraente e funcional, abrindo caminho para o desenvolvimento de comandos computadorizados. Com a evolução da tecnologia CNC (Comando Numérico Computadorizado), as máquinas manuais foram sendo substituídas rapidamente nos processos de fabricação.

O avanço da eletrônica no que se refere a hardware e custo, permitiu novas pesquisas com resultados significativos, a utilização de microprocessadores viabiliza a aplicação da tecnologia tornando-a mais acessível, aumentando a utilização em empresas de pequeno porte. Um projeto chamado EMC2 (*Enhanced Machine Controller*) propõe um programa de código aberto (*open-source*) que opera em Linux para controle de CNC. Recentemente Simen Svale Skogsrud apresentou um projeto chamado GRBL capaz de controlar um CNC de até 3 eixos através de um micro controlador, o GRBL é um código aberto e pode ser modificado o que torna a tecnologia cada vez mais utilizada tanto para uso comercial, acadêmico ou até para *hobby*.

Atualmente há vários tipos de máquinas CNC como impressoras 3D, tornos CNC, fresadoras CNC e *Routers CNC*.

Polastrini (2016), afirma que a tecnologia auxilia no desenvolvimento de projetos acadêmicos reduzindo tempo em trabalhos manuais e reforça sobre a

importância do custo “[...] já que, tecnologias que automatizam o processo se mostram muitas vezes inacessíveis financeiramente à realidade acadêmica”.

Nesse contexto, com o objetivo de contribuir com a popularização de máquinas CNC, tendo em vista a validade de sua aplicação tanto no meio acadêmico como para *hobby*, visando a sustentabilidade e um custo relevante, propomos um modelo *Router* construído a partir de materiais reutilizados, que seriam descartados, mas que permitam um projeto com qualidade suficiente para usinagem de pequenas peças com uma boa resolução. No método 1 utilizou-se MDF como estrutura, no segundo método foram feitos testes com estrutura metálica para comparação de desempenho. Para o controle da máquina, utilizou-se hardware e software livres que tornam o projeto de acordo com o objetivo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O projeto foi desenvolvido em três etapas, na primeira etapa foi realizada a seleção de elementos estruturais, fabricação e montagem da mecânica, na segunda etapa foi realizado os procedimentos de seleção e implementação da parte eletrônica, a terceira etapa consistiu na seleção do software de controle bem como o programa de interpretação de código G.

Com objetivo de testar diferentes materiais a *Router* foi desenvolvida em dois materiais, primeiramente em MDF, em seguida com estrutura metálica ambos reutilizados.

A figura a seguir mostra os sentidos de movimentação de uma CNC de três eixos, que é basicamente o funcionamento para todas as máquinas CNC existentes no mercado, conforme o plano cartesiano, ou seja, os eixos de movimentação X, Y e Z, podem ser identificados de acordo com a regra da mão direita:

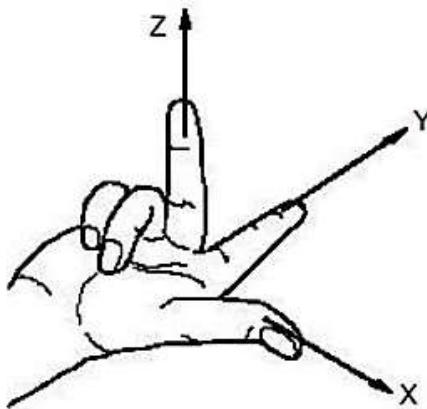


Figura 1 – Plano cartesiano, eixos de movimentação. Fonte Manual CNC Siemens 808D

### 2.1 MECÂNICA

#### 2.1.1 Seleção de elementos de máquina

##### 2.1.1.1 Estrutura

A estrutura é parte fundamental na seleção dos equipamentos, ela é quem vai garantir a precisão da máquina ou se haverá grandes vibrações, para tanto, é



necessário a definição das dimensões do modelo que se deseja, essas dimensões dependerão do comprimento das guias lineares retiradas de impressoras de jato de tinta descartadas, as mais comuns possuem guias de até 50cm de comprimento. Partindo do pressuposto decidiu-se utilizar MDF para a primeira montagem e perfil estrutural de chapa conformada de aproximadamente 1,5mm usada em gavetões de datacenter sendo que a conformação em que foi submetido nos daria uma resistência confiável para as dimensões da máquina para a segunda montagem.

As guias lineares utilizadas em impressoras de jato de tinta são retificadas e possuem um tratamento superficial para melhoria da resistência do material, utilizou-se guias cujo diâmetro é de 10mm e comprimento de aproximadamente 43cm para o eixo Y e 41,5cm para o eixo X, como o curso do eixo Z não será extenso, e em busca de redução de peso, verificou-se que um diâmetro de 8mm para as guias do eixo Z seria suficiente para suportar os esforços durante a usinagem.

### 2.1.1.2 Mancais de rolamento

Para o deslizamento da estrutura nos eixos através das guias lineares, utilizou-se rolamento linear LM8UU para o eixo z, com comprimento de 24mm, diâmetro interno aproximadamente 8mm e diâmetro externo de 15mm, além rolamento linear LM10UU para os eixos X e Y, com comprimento de 29mm, diâmetro interno aproximadamente 10mm e diâmetro externo de 19mm, são rolamentos de baixo custo e muito utilizados em *Routers* e em impressoras 3D. Para o acoplamento do fuso no eixo Z, utilizou-se mancais de rolamento radial.

### 2.1.1.3 *Pillow block*

Os *Pillow blocks* são elementos de acoplamento para os rolamentos lineares, através dele será fixado a estrutura para deslocar-se no curso do eixo. Devido ser um elemento de custo elevado, blocos de fixação em alumínio descartados foram adaptados para o encaixe dos mancais utilizando uma furadeira de bancada, isso causa uma redução de custo considerável, além de proporcionar aos alunos aprendizado em operação de máquinas, estimula a criatividade para adaptação de peças a partir de materiais reutilizados. Para a fixação dos rolamentos utilizou-se anéis de retenção.

### 2.1.1.4 Sistema de movimentação

Em busca da melhor precisão possível, a *Router* com estrutura em MDF os movimentos dos eixos eram por barras roscadas de  $\frac{1}{2}$ " (meia polegada) com rosca de 13 fios por polegada e porca sextavada, porém, há dúvidas se conjunto trará agilidade na movimentação.

Fachim (2013) refere-se a fresadoras de baixo custo como “[...] faz-se necessário construir uma plataforma que traga resultados rápidos, e obtidos de maneira mais simples que o mercado oferece atualmente”. Nesse sentido, o movimento dos eixos X e Y da *Router* com estrutura metálica será realizado através de um sistema correia polia, isso garante mais agilidade na movimentação rápida G0, a correia GT2 possui 6mm de largura e passo de 2mm com uma polia de 20 dentes, já o eixo Z que não necessita de grandes velocidades de avanço linear a

transmissão se dá por meio de um fuso trapezoidal THSL-300-8D dimensionado para suportar alto torque, acoplado no motor por um acoplamento flexível.

Os limites de curso da máquina, que possui área útil 230x250x100mm ou 5750cm<sup>3</sup>, são definidos por fins de curso *Micro Switch* na posição normalmente aberto (NA) que ao ser acionado emite um comando para o controlador. Cada eixo possui um *micro switch*.

## 2.2 ELETRÔNICA

### 2.2.1 Seleção da Eletrônica

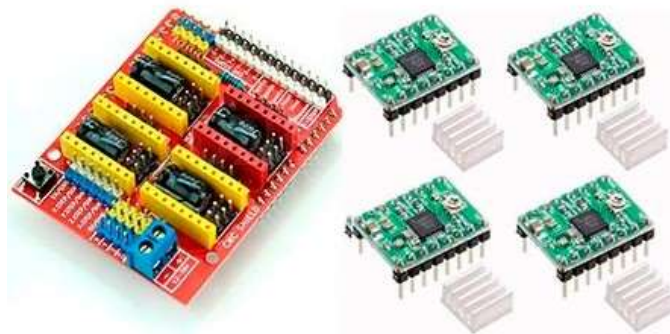
#### 2.2.1.1 Micro controlador

O controlador utilizado foi um Arduino Uno, é uma placa controladora baseada no micro controlador ATmega328P e possui 14 pinos de entrada e saída sendo que 6 podem ser utilizados como saída PWM, além de 6 entradas analógicas, a tensão recomendada de operação fica entre 7V e 12V.

#### 2.2.1.2 Drivers e *shield* CNC

A comunicação entre o Arduino e todo o sistema é feito através da placa CNC *shield*, que é uma *shield* de acoplamento específica para *Router* e apropriada para o Arduino Uno, a seleção da placa é justificada pelo baixo custo. Essa placa possui apoio para quatro drivers de motores que apesar de dar suporte ao uso do quarto eixo é limitado devido ao GRBL (versão até 0,9) controlar por enquanto apenas máquinas de até 3 eixos, portanto, geralmente o quarto driver é um espelho para o eixo Y para reduzir os esforços com uso de dois motores, a tensão de alimentação da *shield* pode variar de acordo com os componentes utilizados em sua construção, portanto recomenda-se utilizar 12V.

Os motores são controlados por um conjunto de *drivers* A4988 que foram selecionados devido seu baixo custo, comparado aos do mercado, além de serem facilmente acoplados à *shield*. Devido ao aquecimento proveniente da corrente elétrica que passa pelos *drivers*, são utilizados dissipadores de calor nos circuitos de *driver*. Esse modelo de driver garante o funcionamento de pequenos motores, suportando assim, uma corrente de até 2 ampères, o ponto de operação é controlado através de um potenciômetro, que deve ser ajustado com o auxílio de um multímetro o valor de tensão de acordo com as especificações do motor.



**Figura 2** – CNC *shield* e drivers A4988 com dissipadores de calor.

Segundo Lyra (2010) “Com o objetivo de aumentar o desempenho e a eficiência, usa-se uma controladora bipolar”, sendo controladores bipolares, os drivers A4988 proporcionam a utilização de motores para trabalho com melhores torques.

Uma das práticas que tomaram mais tempo foi a montagem dos conectores MODU figura 3, esses devem ser encaixados com precisão para que não haja falha de conexão entre os motores e a placa de controladora.



**Figura 3** – Conectores MODU, terminal e alojamento.

Para conectar os motores de passo aos *drivers* é necessário identificar os pares das bobinas dos motores e realizar a conexão mantendo a ordem das bobinas. A identificação dos pares das bobinas é realizada através de um multímetro a sequência de posição dos pares no MODU não importa, somente a posição de encaixe na *shield*, que é verificado acionando o movimento do motor no *software* de controle da *Router* e verificando se o eixo moveu-se na direção correta, caso o movimento ocorra no outro sentido o conector deve ser invertido na placa.

### 2.2.1.3 Motor de passo

Devido às suas características intrínsecas de controle de velocidade e inversão de rotação os motores de passo são muito utilizados, principalmente em equipamentos de automação e indispensáveis em *Routers* e impressoras 3D.

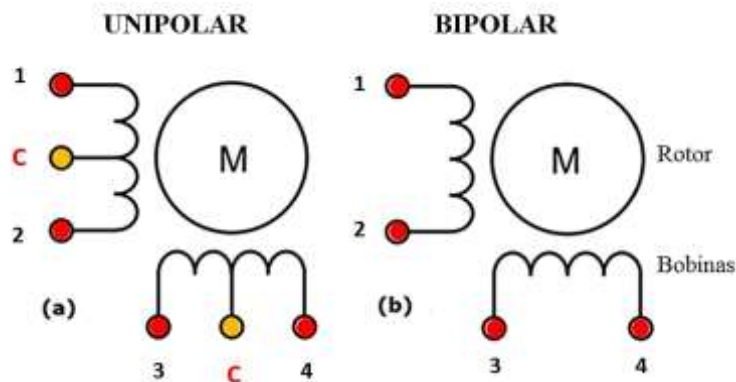
Na tabela a seguir alguns dados dos motores:

Tab. 1 – Dados do motor de passo.

CONEXÃO	NEMA	Tensão nominal V / Fase	Corrente A / Fase	Torque N · m (Kgf · cm)	ÂNGULO DE FASE	PASSOS POR REVOLUÇÃO	FASES
Bipolar Série	23	6,0	1,2	0,5 (5,0)	1.8°	200	2

Os três motores NEMA 23 da fabricante Tamagawa-seik, foram utilizados na forma Bipolar, ou seja, 4 fios de saída.

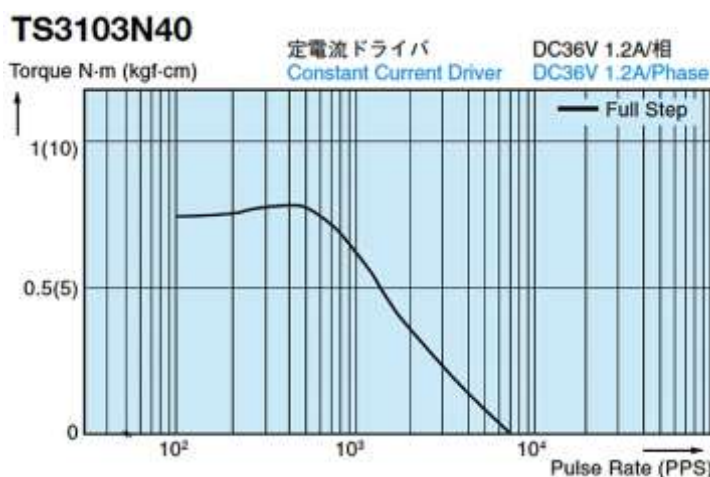
Através do diagrama abaixo podemos identificar as bobinas e tipo de ligação dos motores Bipolar e unipolar:



**Figura 4** – Diagrama de ligação do motor.

O diagrama da figura 4 representa os motores mais comuns no mercado, há motores de passo com 4, 5, 6 e 8 fios de saída, porém, com as configurações semelhantes às aqui descritas. A figura 4 mostra a configuração de motores unipolar e Bipolar em que cada ponto indica a saída de um fio, facilmente observamos que um motor unipolar pode ser utilizado como bipolar, basta isolar os fios do comum (C) separadamente (geralmente as cores são, preto e branco), dessa maneira temos um ganho no torque e atende aos *drivers* controladores utilizados compatíveis com motores de 4 fios.

Podemos analisar um gráfico disponibilizado pelo fabricante através do *datasheet* do motor para a ligação bipolar, que relaciona o torque e velocidade de rotação em pulsos por segundo:



**Figura 5** – Gráfico de desempenho. Fonte *datasheet* motor TS3103N40 Tamagawa

Nessa configuração *Full Step* o motor executa 200 pulsos para um giro de 360°, podendo ser ajustada através do driver A4988 que pode controlar o giro em até 3200 pulsos. Observamos que quanto maior a velocidade do motor menor o torque, isso é importante para a relação entre o peso da mecânica utilizada e a velocidade que se deseja alcançar em cada eixo, o que influenciará no tempo de usinagem.

Para suportar a carga dos 3 motores e um *cooler* para resfriamento da eletrônica, utilizou-se uma fonte chaveada de 24V e 10A, já que a corrente total de utilização seria em torno de 5A.

#### 2.2.1.4 Spindle

Na pesquisa sobre o *spindle* a ser utilizado, verificou-se que seria viável o uso de uma Dremel 4000 devido ao peso que a estrutura suporta, é facilmente encontrada no mercado nacional, o que é interessante caso necessite de assistência, além de melhor custo benefício.

### 2.3 SOFTWARE

#### 3.3.1 Seleção do Software

##### 2.3.1.2 O bCNC

A *Router* deve ser controlada por um *software* que funciona a partir de uma plataforma *Open Source*, ou seja, livre, para que seja mantida a ideia de baixo custo, existem várias opções de software, como o bCNC, o Universal G-code Sender, o Easel baseado em navegador, entre outros, por ser mais completo, que permite por exemplo um auto nivelamento, utilizou-se o bCNC. O *software* se comunica com o Arduino através de um cabo USB.

##### 2.3.1.2 O GRBL

O GRBL é um interpretador de código G, possui domínio público e tem um alto desempenho para controle de máquinas cartesianas de até 3 eixos, já que suporta as principais funções preparatórias modais utilizadas em CNC, como descrito a seguir:

**Tabela 2-** Funções preparatórias suportadas

Grupo Modal	Comandos
Modo de movimento	G0, G1, G2, G3, G38.2, G38.3, G38.4, G38.5, G80
Seleção de sistema de coordenada	G54, G55, G56, G57, G58, G59
Seleção do plano de trabalho	G17, G18, G19
Modo de distância	G90, G91
Modo de distância Arco IJK	G91.1
Modo taxa de alimentação	G93, G94
Modo Unidades	G20, G21
Compensação do raio do cortador	G40
Comprimento da ferramenta	G43.1, G49
Modo de Programação	M0, M1, M2, M30
Estado do <i>spindle</i>	M3, M4, M5
Estado do refrigerante	M7, M8, M9

O objeto a ser usinado é criado em um *software* de modelagem 3D e gerado um código chamado código G ou Gcode através do CAM (Computer Aided Manufacturing), após a leitura do código pelo bCNC é transferido para a *Router* que executa os movimentos.

## 2.4 Simulação 3D

A avaliação mecânica das guias lineares não pode ser feita numericamente devido não termos acesso às informações das propriedades do material, porém, através da representação do modelo de acordo com a estrutura selecionada, pode-se observar os esforços que atuarão no equipamento através de uma análise estática para as duas estruturas estudadas:

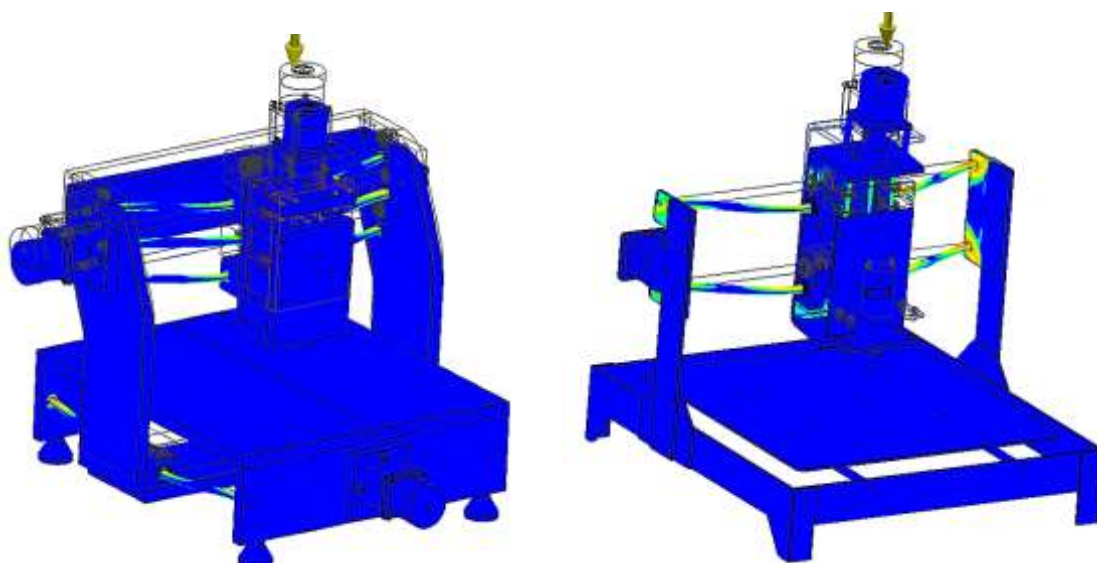


Figura 6 – Análise estrutural no software Autodesk Inventor. Fonte autor.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira montagem, em MDF, não obtemos resultados satisfatórios no teste de repetitividade, o uso do MDF não permitiu rigidez estrutural suficiente para o objetivo devido ao peso do material e à propagação de pequenas folgas do material após algumas movimentações dos eixos, com o uso de porca sextavada no fuso para a movimentação dos eixos foi visível uma certa folga que poderia ser compensada via programação se o GRBL suportasse o comando G60.

A figura 7 mostra a *Router* em 3D e confeccionada:



Figura 7 – Projeto Router MDF. Fonte Autor.

Já a estrutura metálica apresentou melhores resultados, não havendo folgas devido ao uso de correias de transmissão além de apresentar firmeza estruturalmente, observe a figura a seguir:

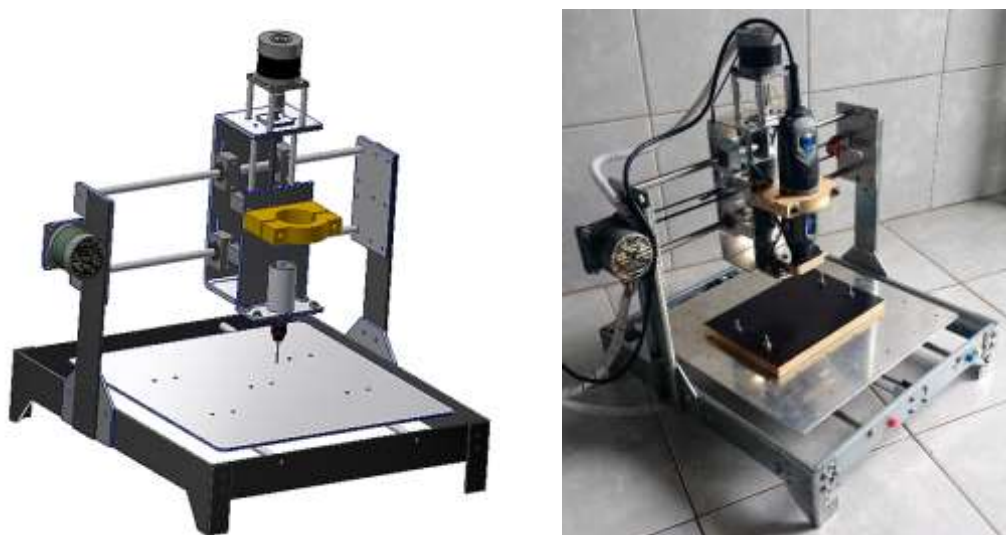


Figura 8– Projeto Router Metálico. Fonte Autor.

### 3.1 Análise estatística

Para os testes de repetitividade utilizou-se uma caneta de bico esférico, a avaliação da Router de madeira terminou nesse teste já que não obtemos resultados satisfatórios, se tratando da segunda Router, foram utilizados dois métodos avaliativos, o de repetitividade e a usinagem de uma peça simples, de acordo com a figura 9:

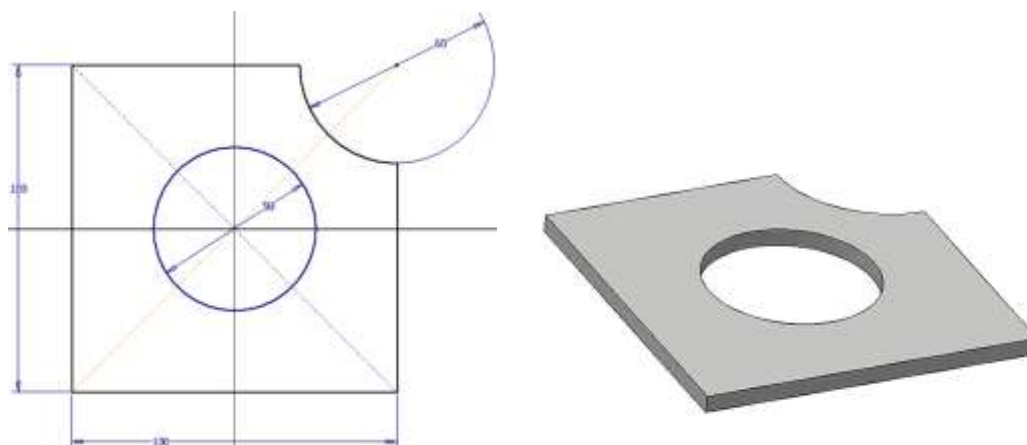


Figura 9– Desenho técnico. Fonte Autor.

A figura 10 mostra o desenho marcado com a caneta que foi submetido a 10 repetições:

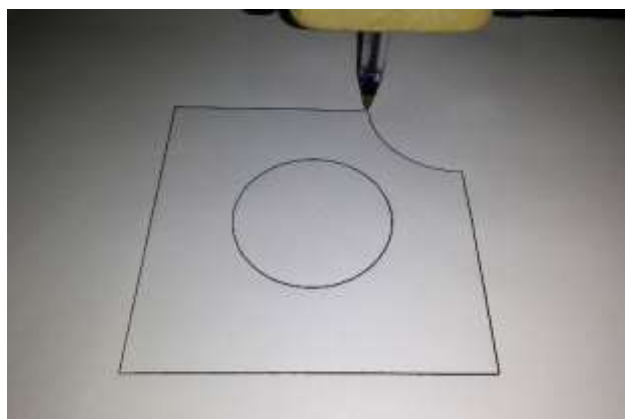


Figura 10– Testes de repetitividade. Fonte Autor.

Como vemos os traços ficaram bem visíveis, e não houve grandes desvios de trajeto, pelo menos visto a olho nu.

Para consolidar o teste, utilizando as mesmas dimensões do desenho, a peça da figura 9 foi usinada em MDF conforme a figura 11:

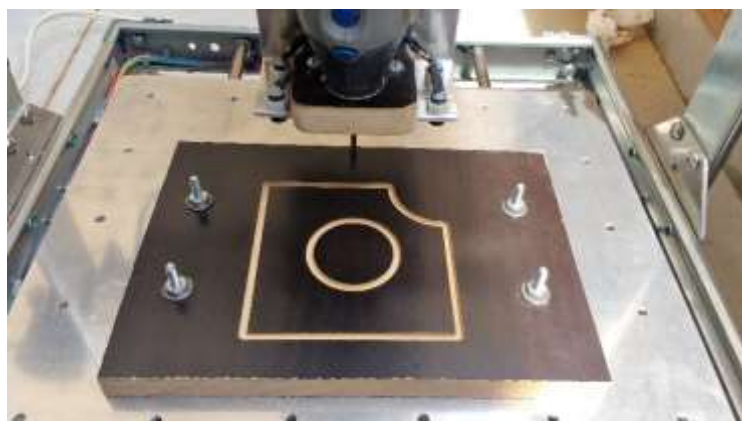


Figura 11– Peça usinada. Fonte Autor.



As amostras de medições foram obtidas através de um paquímetro com resolução de 0,1mm, a partir dos dados obtemos um desvio padrão de 0,6mm e erro aleatório de 0,2mm tanto para a parte externa da peça como para o círculo, na medida externa obtemos uma média de  $100,1 \pm 0,2$ mm o que está muito próximo do esperado, o diâmetro médio do círculo  $49,9 \pm 0,2$ mm e também está de acordo. Com a análise podemos dizer que os valores estão dentro de uma faixa aceitável, confirma-se a eficiência do projeto de baixo custo a partir de materiais reutilizados, os resultados poderiam ser ainda melhores se utilizado um paquímetro com melhor exatidão.

### 3.2 Custos e Mercado

Em análise, os resultados indicam que a implementação do sistema é viável quando se busca uma resolução de 0,1mm associado a um baixo custo.

No mercado, uma *Router* com especificações semelhantes à aqui desenvolvida custa entre R\$3000,00 a R\$5000,00, e são destinadas a corte e gravações, funções que essa pode executar. No quadro a seguir estão listados os custos investidos no projeto, alguns itens como estrutura, *Pillow block* e mancal de rolamento axial por exemplo, não constam na lista por se tratar de material totalmente reutilizado, ou seja, que seria descartado e não tiveram custo.

Qtde.	Descrição	Local de compra (R\$)	Valor Unitário (R\$)	Total (R\$)
3	Motores	Brasil	25,00	75,00
2	Guia Linear 8mmx300mm	Brasil	2,00	4,00
4	Guia Linear 10mmx400mm	Brasil	2,00	8,00
16	Anel de retenção	China	0,65	10,40
8	Rolamento linear LM10UU	China	4,00	32,00
4	Rolamento linear LM8UU	China	3,00	12,00
1	Acoplamento flexível	China	7,00	7,00
1	Fuso trapezoidal THSL-300-8D	China	16,00	16,00
2	Correia GT2-6mm	China	5,00	10,00
2	Polia 20 dentes	China	5,00	10,00
1	Tubo alumínio 10mmx200mm	Brasil	2,00	2,00
8	Alojamento MODU 4 vias	Brasil	0,10	0,80
20	Alojamento MODU 2 vias	Brasil	0,08	1,60
64	Terminal MODU	Brasil	0,09	5,76
1	Termo retrátil 3mm	Brasil	0,91	0,91
1	Arduíno UNO	China	25,00	25,00
1	CNC <i>Shield</i>	China	8,00	8,00
3	Drivers A4988	China	7,00	21,00
1	Fonte 24V 10A	Brasil	75,00	75,00
3	MicroSwitch ( <i>end stop</i> )	Brasil	5,00	15,00
6	LED	Brasil	0,25	1,50
6	Suporte para LED	Brasil	0,35	2,10
2	Chave mini Alavanca	Brasil	1,90	3,80
3	Chave tátil ( <i>Push button</i> )	Brasil	0,20	0,60
1	Chave gangorra	Brasil	0,85	0,85
6	Terminal Forquilha	Brasil	0,12	0,72
8	Cabo (cores)	Brasil	0,54	4,32

4	Parafuso allen M3-0,50x10	Brasil	0,25	1,00
6	Parafuso allen M3-0,50x16	Brasil	0,30	1,80
6	Parafuso allen M4-0,70x10	Brasil	0,20	1,20
16	Parafuso allen M4-0,70x40	Brasil	0,43	6,88
8	Parafuso allen M4-0,70x40 CH	Brasil	0,44	3,52
10	Parafuso allen M5-0,80x16	Brasil	0,25	2,50
4	Parafuso allen M5-0,80x60	Brasil	0,99	3,96
20	Parafuso allen M6-1x12	Brasil	0,35	7,00
30	Porca Aut. Trav. Ma 4-0,70	Brasil	0,13	3,90
14	Porca Aut. Trav. Ma 5-0,70	Brasil	0,10	1,40
20	Porca Aut. Trav. Ma 6-1	Brasil	0,10	2,00
10	Porca sextavada M3	Brasil	0,04	0,40
1,5	Cabo paralelo 1,5m (cabo de força)	Brasil	2,00	3,00
1	Pino macho p/ tomada	Brasil	2,50	2,50
1	Dremel 4000	Brasil	328,00	328,00
<b>Valor Total</b>				<b>722,42</b>

**Quadro 1 - Custos**

#### 4 CONCLUSÃO

O projeto desenvolvido demonstra sua sustentabilidade ambiental e econômica, notou-se que com criatividade, materiais que poderiam ser nocivos ao meio ambiente se transformam em bens que ajudam ou facilitam algumas atividades como fabricação de peças para desenvolvimento de projetos acadêmicos ou em qualquer área, de maneira acessível.

No desenvolvimento do projeto em que se buscou eficiência através de uma estrutura não específica, conseguiu-se baixo custo, eficiência no processo de usinagem e eficácia comprovada com o resultado, isso evidencia a viabilidade de implementação.

O modelo da *Router* em MDF pode ser aprimorado utilizando materiais de melhor qualidade como uso de fuso trapezoidal, porém, há um grande esforço para eixo y, já que se movimenta com a carga do eixo Z acoplado, como mostrado na figura 6 pode haver deformação na guia linear necessitando de dimensionamento que levaria a compra de guias com diâmetro maior, no sentido de baixo custo, é viável o uso independente dos eixos como no modelo da *Router* metálica, que além de menor esforço radial nas guias imposta pela carga, o sistema correia polia pode ser implementado, o que traz mais velocidade no avanço rápido reduzindo tempo de usinagem.

A análise da precisão pode ser mais satisfatória ao utilizar um paquímetro com melhor resolução, contudo, o objetivo foi alcançado para a resolução de 0,1mm, sendo possível a usinagem em madeira e plásticos. Com uma estrutura mais robusta é possível a usinagem em metais. Tanto o GRBL como o software de controle CNC oferecem suporte para resolução na casa de centésimo de milímetro.

O valor da *Router* desenvolvida, além de incentivar práticas sustentáveis, apresenta custo seis vezes menor do que os valores praticados no mercado, demonstrando que essa tecnologia pode se difundir para diversas escolas e

indústrias incentivando a pesquisa e desenvolvimento de outros projetos a partir da Router CNC.

## Agradecimentos

Nossos sinceros agradecimentos ao professor Pablo Josué, que não mediu esforços para a orientação, sem ele esse trabalho não seria possível.

Gratos a essa instituição federal IFB pelo apoio no desenvolvimento do ensino e formação de pessoas.

Agradecemos aos professores do IFB campus Taguatinga que de alguma forma nos ajudaram.

## REFERÊNCIAS

1 POLASTRINI, F. H. Desenvolvimento de uma Máquina CNC de baixo custo com *software* e *hardware* abertos. Relatório (Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Minas Gerais-campus Formiga, Formiga – MG, 2010.

2 Manual de programação e de utilização CNC Siemens 808D. Disponível em [http://w3.siemens.com.br/topics/br/pt/cnc4you/Documents/Sinumerik%20808D/SINUMERIK%20808D\\_Fresagem%20Parte%201\\_Opera%C3%A7ao.pdf](http://w3.siemens.com.br/topics/br/pt/cnc4you/Documents/Sinumerik%20808D/SINUMERIK%20808D_Fresagem%20Parte%201_Opera%C3%A7ao.pdf) acesso em 20 de setembro de 2017

3 Datasheet Motor de passo Nema 23 Tamagawa disponível em <http://www.tamagawa-seiki.com/pdf/download/1648n4ej2.pdf> acesso em 22 de setembro de 2017

4 FACHIM, ALAN. Projeto fresadora CNC com plataforma livre Arduino. Relatório (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre – RS, 2013.

5 LYRA, P, V, A. Desenvolvimento de uma Máquina Fresadora CNC Didática. Relatório (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

6 GITHUB. About Grbl. GitHub wiki. Disponível em <https://github.com/grbl/grbl/wiki> Acesso em 22 setembro de 2017.

7 GITHUB. Grbl Comand. GitHub wiki. Disponível em <https://github.com/gnea/grbl/wiki/Grbl-v1.1-Commands> acesso em 23 de setembro de 2017.

## AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA À TRAÇÃO EM AREIA FENÓLICA URETÂNICA APÓS 5 CICLOS DE RECUPERAÇÃO TÉRMICA À 650°C

Amaral, R. F.<sup>1</sup>  
Nascimento, T. S.<sup>2</sup>  
Pereira, L.<sup>3</sup>  
Pasini, W. M.<sup>4</sup>  
Barcellos, V. K.<sup>5</sup>

- <sup>1</sup> Mestre em Eng. Metalúrgica, Regis Fabiano do Amaral, LAFUN-UFRGS, [regis.amaral@ufrgs.br](mailto:regis.amaral@ufrgs.br).  
<sup>2</sup> Graduando Proc. Metalúrgicos, Tulio S. Nascimento, IFRS, [tulio.nascimento@caxias.ifrs.edu.br](mailto:tulio.nascimento@caxias.ifrs.edu.br)  
<sup>3</sup> Graduando de Eng. Metalúrgica, Leonardo Pereira, LAFUN-UFRGS, [leonardo.pereira@ufrgs.br](mailto:leonardo.pereira@ufrgs.br)  
<sup>4</sup> Engenheiro Metalúrgico, Willian Martins Pasini, LAFUN-UFRGS, [willian.pasini@ufrgs.br](mailto:willian.pasini@ufrgs.br)  
<sup>5</sup> Prof. Dr. Vinicius Karlinski de Barcellos, LAFUN-UFRGS, [vinicius.karlinski@ufrgs.br](mailto:vinicius.karlinski@ufrgs.br)

### Resumo

Este trabalho reporta sobre o processo de recuperação térmica à 650°C de areia aglomerada com resina fenólica uretânica, após 5 ciclos de recuperação seguido de preparação e moldagem, tendo como método de avaliação a resistência à tração. Utilizou-se areia base de sílica com granulometria entre 40 a 50 AFS, preparou-se uma mistura padrão inicial com 0,5% de resina parte I e 0,5% parte II, sobre o peso da areia, e 10% de catalisador, sobre a parte II, logo após foram confeccionados os corpos de prova para ensaio de tração. Após os ensaios dos corpos de prova, destorronou-se a areia durante 30 minutos em misturador de Mós, seguindo para calcinação durante 3 horas à 650°C em forno resistivo elétrico. O processo de preparo e ensaios repetiu-se por 5 ciclos, sem a adição de areia nova. Na análise dos resultados, a resistência a tração manteve-se praticamente constante para os ciclos de 1 a 3, com RT de 23 N/cm<sup>2</sup> em média, e decresce a partir deste em 25% para o ciclo 4 e 40% para o ciclo 5.

**Palavras-chave:** Areia; Resina fenólica uretânica; Recuperação térmica.

### EVALUATION OF MECHANICAL RESISTANCE TO THE TRANSFER IN URETHANE PHENOLIC SAND AFTER 5 THERMAL RECOVERY CYCLES AT 650°C

### Abstract

This work reports on the thermal reclaimer process at 650°C of sand agglomerated with phenolic urethane resin, after 05 cycles of reclaimer followed by preparation and molding, having as an evaluation method the tensile strength. Base sand of 40-50 AFS was used, an initial standard mixture was prepared with 0.50% of part I, 0.50% part II on the weight of the sand and 10% of catalyst on part II, soon after the test

specimens were made for tensile testing. After testing the specimens, the sand was scoured for 30 minutes in a blender, followed for calcination for 3 hours at 650 °C in an electric resistive furnace. The preparation and testing procedure was repeated for 5 cycles without addition of fresh sand. In the analysis of the results of the traction tests of the reclaimer from 1 to 3 results has been kept constant, and decreased after that.

**Key words:** Sand; Phenolic urethane resin; Thermal reclaimer.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Dantas<sup>(1)</sup>, o setor de fundição apesar de consumir sucatas metálicas como matéria prima, gera grandes volumes de resíduos sólidos, entre os quais, areia de moldagem e poeiras diversas. O processo de fabricação de peças fundidas utiliza grande quantidade de areia para confecção dos moldes e machos. Para fabricação de peças maiores, geralmente são utilizados moldes e machos, constituídos por areia misturada com resina e catalisador, mostrado na Figura 1, que conferem maior resistência aos moldes. A areia com resina dificulta a sua recuperação e reutilização, gerando assim grande quantidade de descarte aos aterros industriais e conseqüentemente onerando ainda mais o custo de produção.



**Figura 1.** Moldes em areia curada, processo cura frio.

O principal componente da areia de moldagem ou de macharia utilizada nas fundições é um agregado fino, mineralogicamente puro, denominado “areia-base”<sup>(2,3)</sup> com granulometria que varia de 0,05 mm a 2 mm em seu diâmetro, sendo os tipos mais usados na indústria de fundição a areia de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), de olivina ( $(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$ ), de zirconita ( $\text{ZrSiO}_4$ ) e de cromita ( $\text{FeCr}_2\text{O}_5$  ou  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ )<sup>(3,4,5,6)</sup>.

As fundições utilizam areias com características refratárias para a preparação dos moldes e machos que conformam as peças metálicas. De modo simplificado, pode-se dizer que os moldes conformam as faces externas da peças e os machos às faces internas<sup>(2)</sup>. Segundo apresenta Mariotto<sup>(7)</sup>, uma vez montado o molde com os respectivos machos, o metal líquido é vazado em seu interior e ali permanece até

solidificar. Após a solidificação, o molde é desagregado (desmoldagem) e a peça metálica é separada da areia, que retorna quase integralmente ao processo, onde é beneficiada e destinada à confecção de novos moldes e machos. Assim, a areia para a moldagem propriamente dita, é quase totalmente proveniente da reciclagem interna de areia já usada, a qual inclui parte da areia que constituía os machos e que, então, fica misturada à areia do molde. No entanto, a atual tecnologia de confecção de machos requer areias excepcionalmente limpas, empregando-se, para essa finalidade, areia nova. Essa entrada de areia nova na fundição gera um excedente de areia. Desta forma, busca-se regenerar a areia utilizada, agregando novamente a propriedades requeridas para confecção de moldes, assim evitando o uso de areia nova, diminuindo o impacto ambiental.

De acordo com Mariotto<sup>(8)</sup>, não se deve confundir regenerar com recuperar ou recircular. A recirculação da areia usada no próprio sistema que a gerou, requer em geral, tratamentos tais como desagregação de grumos, remoção de poeiras e remoção de materiais metálicos, que em seu conjunto constituem o que no Brasil denominamos recuperação da areia usada. A regeneração de uma areia de fundição implica a limpeza superficial de seus grãos e remoção das partículas resultantes dessa limpeza, com o objetivo de reconduzir a areia usada a uma condição semelhante à de uma areia nova, permitindo sua reutilização no processo sem detrimento das qualidades dos moldes ou machos produzidos.

Para realizar a etapa de limpeza dos grãos, os seguintes tipos de tratamentos têm sido empregados mais frequentemente, isoladamente ou de forma combinada: tratamento mecânico; tratamento úmido; tratamento térmico; tratamento químico<sup>(2,7)</sup>.

Nesse trabalho objetivou-se a regeneração térmica de uma areia proveniente do sistema de moldagem fenólica uretânica.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

Para este trabalho, foi utilizado areia base de sílica, a qual apresentou os resultados de qualificação de matéria prima conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Propriedades da areia base de sílica.

Umidade	0,01%
Módulo	48,13 AFS
Teor de finos	1,16%
Argila AFS	0%

Para cada ciclo de regeneração térmica foram mantidas as propriedades iniciais, mostradas na Tabela 1, tais como: Umidade, argila AFS, teor de finos e módulo, com o objetivo de manter esses parâmetros constantes durante os ensaio.

### 2.2 Moldagem e confecção dos corpos de prova

Os corpos de prova foram confeccionados com 8,0 Kg de areia base de sílica. A mistura consiste em adicionar 0,5% de resina parte I e 0,5% de resina parte II, e 10 % de catalisador sobre o peso da resina parte II, misturados em misturador de

mós. Em seguida os corpos de prova foram moldados em placa padrão confeccionada de acordo com a norma CEMP 163<sup>(8)</sup>, Figura 2.



**Figura 2.** Placa para moldagem dos corpos de prova.

Após o tempo de cura que foi de 5 minutos, desmoldou-se os corpos de prova como mostra a Figura 3, e foi respeitado o tempo de bancada de 2 horas para iniciar o ensaio de tração nos mesmos.



**Figura 3.** Corpo de prova para ensaio de tração.

Para a realização dos próximos ensaios estabeleceu-se ciclos de destorroamento por 30 minutos em misturador de mós e calcinação a 650°C por 3 horas. Esta etapa foi repetida até completar os 5 ciclos de destorroamento, calcinação e moldagem, partindo da mistura e moldagem inicial.

## 2.3 Ensaio de Tração

Com o objetivo de se ter uma medida quantitativa a respeito das propriedades mecânica da mistura, realizou-se ensaio de tração após cada mistura, observando o tempo de bancada de 2 horas após a confecção dos corpos de prova para tração em equipamento universal de ensaios +GF+, conforme Figura 4, seguindo procedimento padrão.



**Figura 4.** Equipamento Universal de ensaios com acessório para realização de ensaio de tração.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Ensaio de Tração

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à tração (RT) da mistura inicial considerada a padrão para qualificar o processo de moldagem.

**Tabela 2.** Ensaio de tração mistura Inicial.

Corpos de prova	RT ( N/cm <sup>2</sup> )
01	27
02	37
03	36
04	45
05	31
06	25
07	37
08	42
09	44
10	39
Média	36,3
Desvio-Padrão	6,47

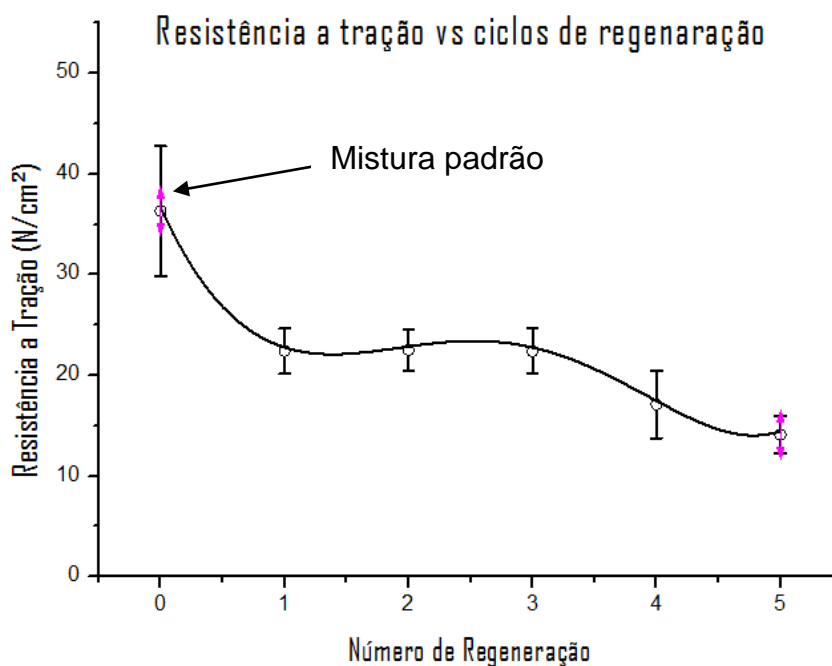


Após a primeira mistura, seguido da confecção dos primeiros corpos de prova e ensaio dos mesmos, a areia foi destorroada e calcinada, assim preparando a mesma para um novo ciclo de mistura e moldagem dos corpos de prova, denominado ciclo 1. Repetiu-se os procedimentos até completar o quinto ciclo. Os resultados dos ensaios dos ciclos 1 ao 5 estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Ensaio de tração dos ciclos.

Corpos de prova	Ciclo 1 RT N/cm <sup>2</sup>	Ciclo 2 RT N/cm <sup>2</sup>	Ciclo 3 RT N/cm <sup>2</sup>	Ciclo 4 RT N/cm <sup>2</sup>	Ciclo 5 RT N/cm <sup>2</sup>
01	24	20	24	18	13
02	24	25	24	14	14
03	22	23	22	15	12
04	21	25	21	18	14
05	22	25	22	21	12
06	19	24	19	19	17
07	25	20	25	14	17
08	22	21	22	15	15
09	19	25	19	24	12
10	26	25	26	13	15
Média	22,4	23,3	22,4	17,1	14,1
Desvio-Padrão	2,24	2,05	2,24	3,36	1,81

Como pode-se observar na Figura 5, a resistência à tração diminui após o primeiro ciclo de regeneração, mantendo-se estável até o terceiro ciclo de regeneração. Após o quarto ciclo de regeneração observa-se uma tendência de queda mais significativa na resistência à tração.



**Figura 5.** Resistência a tração após os ciclos de regeneração da areia.

Após o primeiro ciclo de calcinação observou-se resíduos de resina aderidas ao grão de areia, como mostra a Figura 6, sendo este o provável fator que contribuiu para a queda de resistência após o primeiro ciclo de regeneração.



**Figura 6.** Comparativo areia base (direita) e areia após o quinto ciclo (esquerda).

Devido a não calcinação total da resina, e novas adições a cada nova moldagem, observou-se uma tendência de queda na resistência a tração, sendo mais acentuada a partir do quarto ciclo.

#### **4 CONCLUSÃO**

A regeneração da areia fenólica uretânica calcinada na temperatura de 650°C, utilizando somente o processo de regeneração térmica, resultou na presença de partículas de resina aderidas ao grão de areia. A resistência a tração manteve-se praticamente constante para os ciclos de 1 a 3, com RT de 23 N/cm<sup>2</sup> em média, e decresce a partir deste em 25% para o ciclo 4 e 40% para o ciclo 5, sendo assim, conclui-se que é possível moldar durante 3 ciclos de regeneração sem a necessidade de areia nova no sistema, mantendo constante as propriedades requeridas de resistência a tração para os moldes de fundição.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao LAFUN e a Escola de Engenharia da UFRGS, pelo uso dos laboratórios e da infraestrutura da universidade. Agradecem também ao CNPq e a CAPES pelo apoio financeiro e investimento na área de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- 1 DANTAS, J. M. **Montagem, Comissionamento e Operação de um Sistema de Recuperação de Areia de Fundição: Regenerador Térmico** - Plano de Trabalho da Fase II. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – São Paulo. Nov. 2003.
- 2 ABIFA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE. **Manual de Regeneração e Reuso de Areias de Fundição**. São Paulo: Associação Brasileira de Fundição, p.1-49, 1999
- 3 MARINO, R. **Utilização de areia de fundição em concreto**. Projeto premiado pela Bayer “Prêmio de Meio Ambiente”. USP, 2003.
- 4 WEDDINGTON, V.L. e MOBLEY, C.E. **Influence of Sand Surface Chemistry on Bonding**. American Foundrymen’s Society Transactions, v.99, p.825-870, 1991.
- 5 FERNANDES, D. L. **Areias de Fundição Aglomeradas com Ligantes Furânicos**. Itaúna: SENAI-DR. MG, 2001.
- 6 RAMPAZZO, D., JERONYMO, J. R., BEGALLI, L., MONTANARI FILHO, P. **Resinas Sintéticas para Fundição**. ALBA QUÍMICA Indústria e comércio Ltda, 1989.
- 7 MARIOTTO, C. L. **Regeneração de Areias: Uma Tentativa de Discussão Sistemática**. Fundição & Matérias-Primas. Caderno Técnico, nº.42, v.33, p.A - T, 2000.
- 8 MARIOTTO, L. C. **Regeneração de Areias de Fundição**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A, 2001.

## Áreas Impactadas pela Mineração - Uso Após o Fechamento de Mina

Schmitzhaus, W.C.<sup>1</sup>

Peroni, R.L.<sup>2</sup>

Schmitzhaus, T.E.<sup>3</sup>

Witt, F.A.R.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Eng. Minas, Wagner Cristiano Schmitzhaus, IFMS, Instituto Federal do Mato Grosso do Sul, wagner.schmitzhaus@ifms.edu.br.

<sup>2</sup> Eng. Minas, MSc, Dr. Eng, Rodrigo de Lemos Peroni, LabFSG – UFSC, 00015547@ufrgs.br

<sup>3</sup> Eng. Metalúrgico, Msc Tobias Eduardo Schmitzhaus, IFMS, tobias.schmitzhaus@ifms.edu.br.

<sup>4</sup> Técnico em Hidrologia, Francisco Aureliano Rocha Witt, Estudante Eng. Agrônômica – UFRGS - emaildowitt@gmail.com

### Resumo

A desativação de empreendimento mineiro, e conseqüentemente, utilização posterior, desta área, ainda representa um desafio para o setor mineral, necessitando um planejamento eficiente durante a operação da mina, para fechamento da mesma. A não reabilitação de áreas, anteriormente utilizadas para a mineração, ou aplicação de técnicas inadequadas na execução de planos de fechamento, podem gerar passivos ambientais. Estudos devem ser realizados para que o fechamento da mineração ocorra de modo mais sustentável possível, devendo compreender sugestões e planejamentos de usos futuros. O planejamento de fechamento adequado pode proteger acionistas, governos, fornecedores, comunidades locais e gerações futuras, dos impactos socioeconômicos. Este trabalho de pesquisa se baseia no estudo de caso de uma mineração de agregados para construção civil em que diversos planejamentos de mina são realizados, onde cada um deles propõe um uso futuro diferenciado e conseqüentemente, diferentes quantidades de material a ser extraído, após a análise destes dados é possível selecionar o melhor caso para diferentes objetivos, como obter máxima extração, ou melhor utilização futura, por exemplo. Diante do exposto, nota-se a importância do estudo da área, tendo em vista diversas opções, para que o minerador tenha visão do melhor caso, quando analisadas diversas variáveis, como impactos socioambientais, opções de uso futuro da área, e quantidade de material possível de ser extraída.

**Palavras-chave:** Fechamento de mina; Uso futuro; Recuperação Ambiental; Mineração.

### AREAS IMPACTED BY MINING - USE AFTER MINE CLOSURE

#### Abstract

Mine closure and, subsequent use of this area, still represents a challenge for the mineral sector, necessitating efficient planning during the operation of the mine, to close the mine. Failure to rehabilitate areas previously used for mining or the application of inadequate techniques in the execution of closure plans may generate environmental liabilities. Studies must be carried out so that mining closure occurs in

the most sustainable way possible, and must include suggestions and plans for future uses. Proper closure planning can protect shareholders, governments, suppliers, local communities and future generations from socio-economic impacts. This research is based on the case study of a mining of aggregates for construction in which several mine plans are carried out, where each of them proposes a different future use and consequently different amounts of material to be extracted after the analysis of these data it is possible to select the best case for different objectives, such as obtaining maximum extraction, or better future use, for example. In view of the above, it is important to study the area, considering several options, so that the miner can see the best case, when analyzed several variables, such as socio-environmental impacts, options for future use of the area, and quantity of material possible to be extracted.

**Key words:** Mine closure; Future use; Environmental Recovery; Mining.

## 1 INTRODUÇÃO

Em determinados países desenvolvidos, o setor mineral não é bem aceito, pois é visto como um responsável por danos ambientais passados, mesmo atualmente sendo desenvolvido com técnicas modernas e sob regulamentos rígidos <sup>(1)</sup>. Países em desenvolvimento tem a mesma visão, porém com a necessidade de geração de riqueza, as questões econômicas são postas em prioridade em relação às ambientais, no entanto, em locais onde a legislação é frágil ou pouco severa, após o fechamento, o passivo ambiental é muitas vezes deixado para a sociedade. Outro grande problema é a disseminação desordenada de mineração informal de areia e brita próximo de grandes centros, que são amplamente divulgados devido aos impactos negativos na sociedade e meio ambiente.

A desativação de empreendimento mineiro, e conseqüentemente, utilização posterior, desta área, ainda representa um desafio para o setor, necessitando um planejamento eficiente durante a operação da mina, para posterior fechamento da unidade. Para que isso ocorra, é necessário que se tenha um planejamento para remoção de estruturas instaladas, reabilitação das áreas impactadas, requerimento não só legal, mas também da sociedade e do próprio meio ambiente, para que se tenha uma área passível de instalação de novos empreendimentos com valor agregado. A preocupação ambiental não pode focar apenas na operação da mina, mas sim considerar a desativação e posterior fechamento como parte do ciclo de vida da mesma.

Após a finalização da vida útil de uma jazida, o Plano de Fechamento de Minas (PFM) deve ser executado, a fim de reabilitar a área e remover instalações físicas e equipamentos. A não reabilitação destas áreas, anteriormente utilizadas para a mineração, ou aplicação de técnicas inadequadas na execução destes planos, podem gerar passivos ambientais <sup>(2)</sup>.

Empreendimentos mineiros possuem impactos positivos e negativos, porém, a mineração é vista como um grande vilão do meio ambiente e desenvolvimento sustentável. A imagem de que a lavra destrói o ambiente, promovendo desmatamento, alterações topográficas, impacto visual, erosão e poluição dos rios, ar e solo, foi transmitida nas últimas décadas e influenciou a opinião pública a esse respeito <sup>(3)</sup>.

A singularidade no processo de fechamento de uma mina vem do processo de modificação do uso dado para a área, onde é necessário que sejam analisadas as imposições legais para que isso ocorra, como a necessidade novo licenciamento ambiental, a responsabilidade do minerador pelo cumprimento da obrigação de executar o plano de recuperação. Com base nisso, nota-se que o minerador tem obrigação de implantar o plano de recuperação de área degradada, aprovado pelo órgão ambiental competente, contendo sugestões de uso futuro da área de extração, após seu fechamento <sup>(4)</sup>.

O futuro das áreas impactadas pela mineração, bem como suas áreas de influência deve ser pensado de modo sustentável. O planejamento de fechamento adequado pode proteger acionistas, governos, fornecedores, comunidades locais e gerações futuras, dos impactos socioeconômicos deste fechamento, bem como reduzir os passivos ambientais, podendo resultar em aspectos positivos para a região onde a extração está inserida <sup>(3)</sup>.

A incorporação da questão social, além da ambiental, é importante no processo de fechamento, até mesmo o redimensionamento da questão ambiental, para uma concepção mais atual, de desenvolvimento sustentável <sup>(5)</sup>. É necessário que o planejamento seja efetivo desde a implantação do projeto, pois assim, quando ocorrer o fechamento, os impactos tanto sociais como ambientais serão minimizados, possibilitando enquadrar a atividade no conceito de desenvolvimento sustentável.

Em um planejamento de fechamento de mina, existem quatro objetivos chave a serem considerados:

- Proteger a segurança e saúde pública;
- Minimizar ou eliminar impactos ambientais;
- Obter uma terra produtiva, ou devolvê-la a condições próximas a situação prévia da mineração;
- Garantir, na medida do possível, os benefícios econômicos e sociais provenientes da mineração.

Um fechamento de mina bem-sucedido depende da conquista dos objetivos de fechamento, alinhados com os requisitos da empresa, dos órgãos fiscalizadores e da comunidade, para que percebam os benefícios que continuarão a existir mesmo sem contribuição da empresa <sup>(6)</sup>.

Alguns cases de sucesso podem ser citados, como exemplos de fechamentos de minas, com devolução da área para a comunidade, como:

- Ópera de Arame, localizada em Curitiba/PR, foi construída na antiga cratera de uma pedreira desativada, Pedreira Gava, a Ópera está integrada à paisagem por meio dos blocos de fundação apoiados diretamente na rocha.
- Mina de Águas Claras, localizada em Nova Lima/MG, uma mina explorada por quase 30 anos, desativada desde 2002, onde a proprietária é empreendedora de um projeto imobiliário, com a utilização de 194 hectares para a formação do bairro.
- Mina do Recreio, Localizada em Minas do Leão/RS, é um projeto resultante do aproveitamento a condição gerada pela extração de carvão a céu aberto, e da hidrogeologia adequada, para a implantação de um aterro sanitário.

Baseado nestas informações, este trabalho pretende desenvolver diferentes alternativas de planejamento mineiro, aliadas a propostas para diferentes usos futuros da área estudada, analisando o retorno para cada cenário. Para ilustrar a metodologia proposta, foi feito um estudo de caso em uma unidade extratora de rocha basáltica e saibro.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O método utilizado neste trabalho de pesquisa está demonstrado, de forma esquemática, pelo fluxograma na Figura 1.

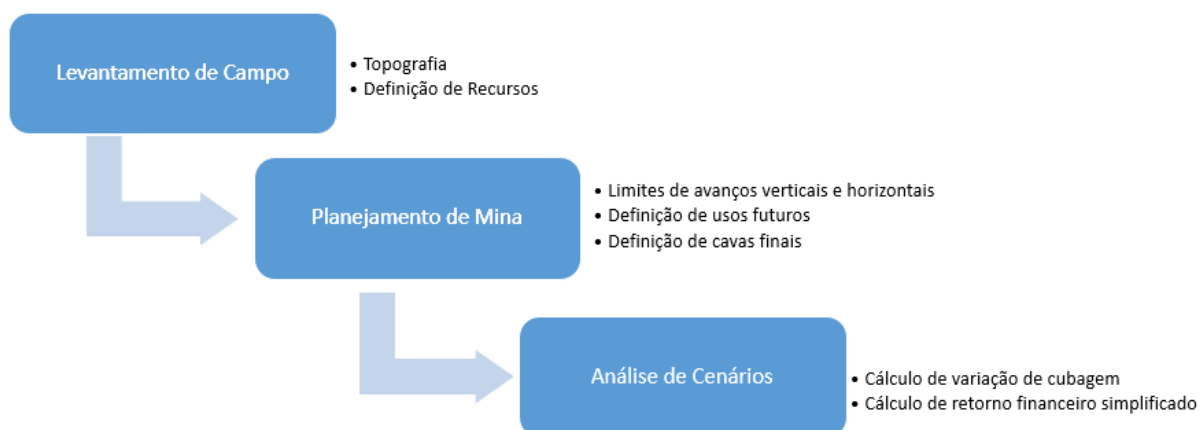


Figura 1 Ciclo de Estudo. Elaborado pelo autor

O levantamento de campo realizado consiste na coleta de dados iniciais para um pré-projeto de mineração. Este levantamento se baseia na caracterização do meio físico, considerando aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, localização e topografia. O levantamento topográfico é realizado utilizando medições angulares, lineares, de desníveis e coleta de coordenadas obtidos por equipamentos de alta precisão como GPS geodésico (GNSS marca Leica Geosystems, modelo GS-20 (L1)) e um drone Dji Phantom 3 sendo georreferenciados pelo sistema geodésico brasileiro.

Cálculos utilizando os dados coletados são realizados visando determinar o perímetro, desníveis e georreferenciar a área, realizando também a correção das coordenadas coletadas pelos equipamentos utilizando como referência, marcos geodésicos conhecidos. *Drones* também são utilizados a fim de aumentar e velocidade e precisão da coleta dos dados durante os levantamentos.

Baseado nos dados coletados inicia-se os cálculos para definição de recursos, ou seja, de cubagem e avaliação de reservas existentes. A primeira etapa é a definição da espessura de material estéril e matéria orgânica a ser retirada, até que se chegue no minério. Define-se o topo e base do corpo rochoso, bem como seus limites horizontais de extração e cotas operacionais. O cálculo de cubagem é feito utilizando a extensão horizontal e vertical do depósito mineral, excluindo-se as áreas impeditivas como vegetação nativa, barreiras naturais ou artificiais e condições socioambientais.

O planejamento de lavra é baseado inicialmente em dados já definidos, como os limites do corpo mineral, que são gerados através da interpretação geológica. A partir destes dados se desenvolve o planejamento, que vai desde a fase inicial de pré-extração, até o fim da vida útil da cava, onde se deve buscar o maior aproveitamento econômico, redução de custos e menor impacto ambiental. O planejamento de longo prazo visa definir uma cava final onde se obtenha o maior retorno financeiro, cumprindo com todas as condicionantes ambientais e legais. Propostas de uso futuro da área já devem ser consideradas nesta etapa, pois cada uso futuro analisado vai requerer geometrias e dimensões de bancadas e taludes distintos.

Cada plano de desenvolvimento e fechamento de mina compreende desenhos e especificações que definem como serão construídos e operacionalizados. O projeto é realizado a fim de satisfazer critérios operacionais e critérios técnicos definidos por órgãos reguladores. Os planejamentos são reavaliados de acordo com o desenvolvimento da mina, com as condições encontradas durante a operação, desenvolvimento de novas tecnologias, e mudança de normas regulamentadoras, podendo assim modificar o plano de fechamento de mina e uso futuro

Diferentes usos para a área, após o fechamento da mineração são propostos, considerando fatores como: máxima extração mineral, impacto socioambiental, maior retorno para a comunidade, fechamento emergencial e peculiaridades locais, como a existência de vizinhança, acesso a pontos turísticos e belas paisagens. Cada cenário possui diferentes impactos e recuperação mineral, conseqüentemente, gerando diferentes retornos financeiros.

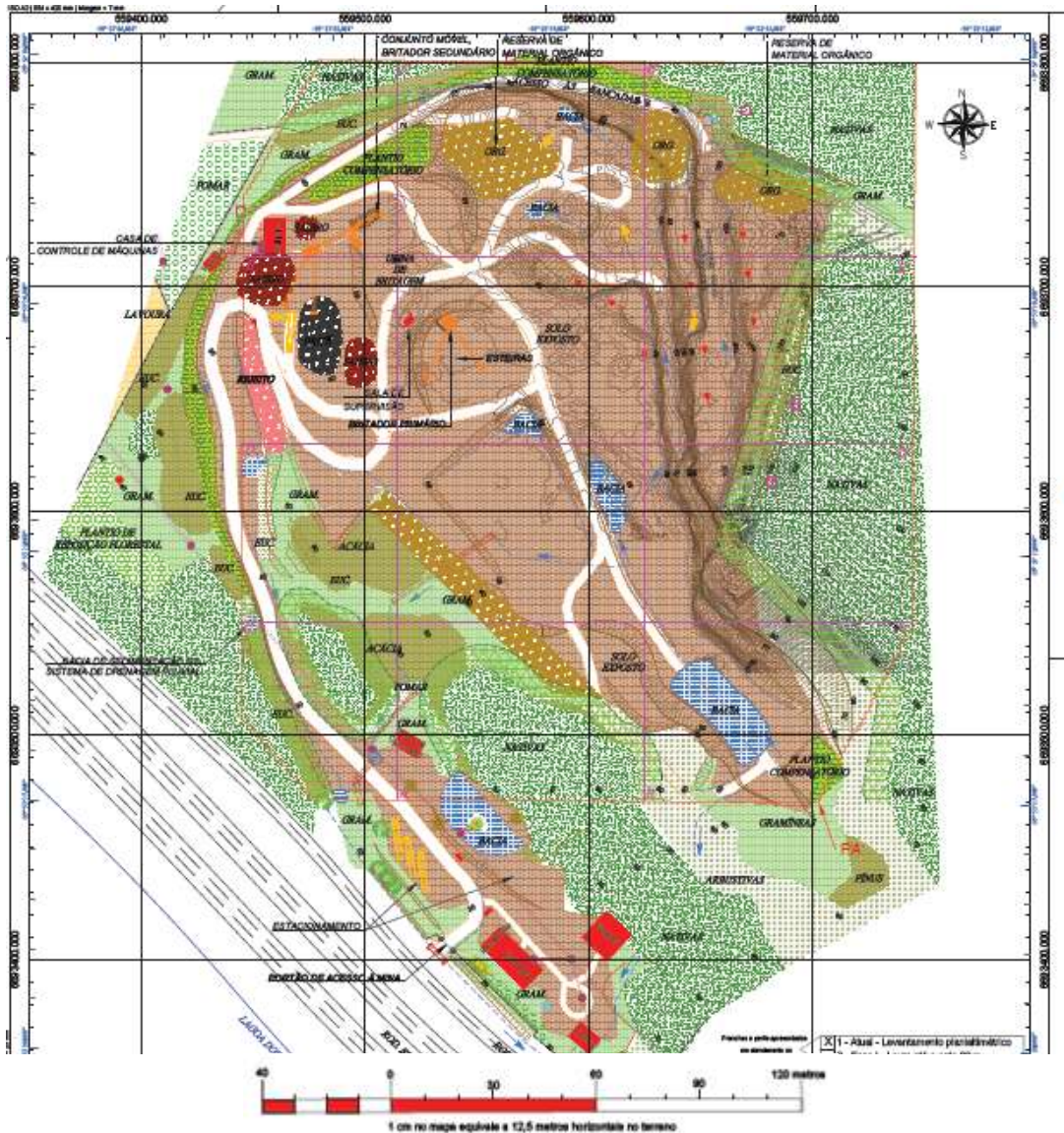
Após a definição de diferentes parâmetros, e variação dos mesmos, estuda-se a influência que têm na recuperação de material extraído, onde cada cenário proposto tem características próprias que são comparadas entre si. O estudo de caso foi utilizado para testar diferentes hipóteses, mostrando assim, diferentes cenários possíveis de se planejar para uma mesma mineração, também servindo de alternativa em caso de mudanças bruscas não planejadas que possam influenciar negativamente o retorno financeiro do empreendimento.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os levantamentos topográficos foram realizados em duas etapas, na primeira foram coletados dados em campo com o GPS, L1, onde foram pós processados utilizando a base do IBGE, estações POA e Santa Maria (Simar). Já na segunda etapa do levantamento (aerofotogrametria), foram coletadas as coordenadas dos alvos determinados em solo, onde seguiu-se para a coleta de imagens com a utilização do drone Phantom 3 e processamento no software Photoscan, após adicionados os dados dos pontos de controle definidos em campo.

Foram gerados os mapas topográficos da jazida. As figuras 2 e 3 mostram a situação topográfica da jazida em 2017.





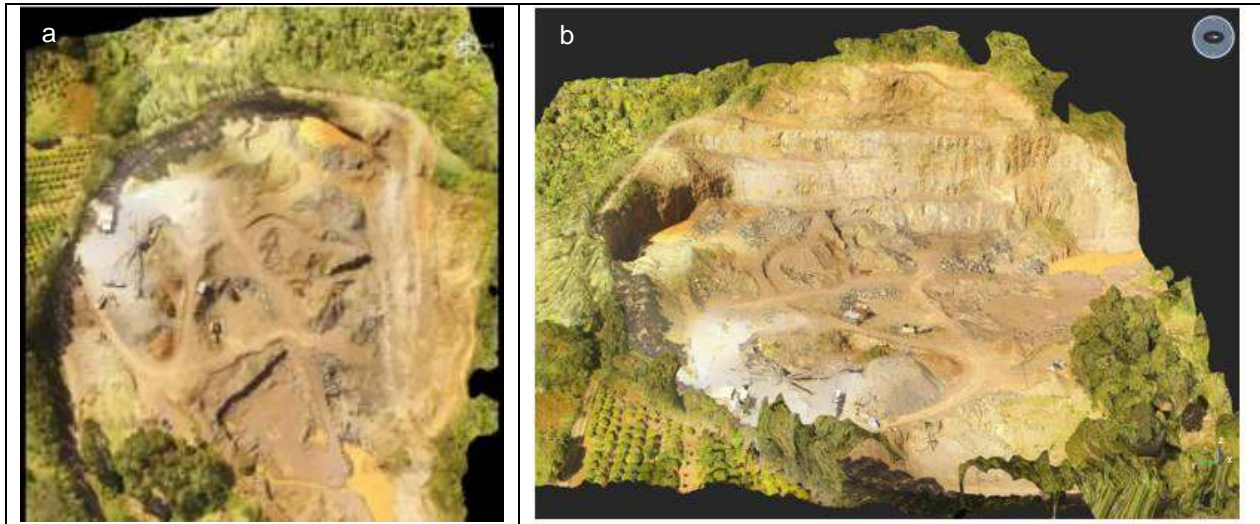
**Figura 2** Mapa Topográfico - Situação em 2017



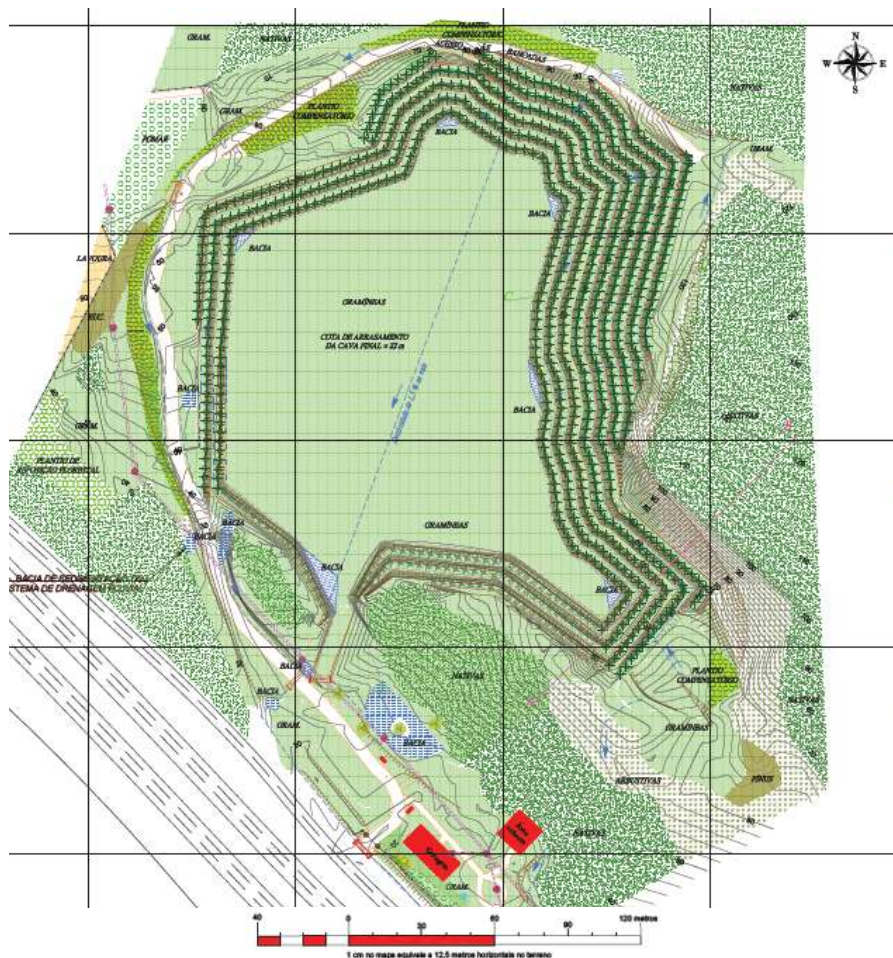
**Figura 3** Vista isométrica da jazida

Para a definição de reservas e vida útil da mina, foi considerada a extração máxima desejada, considerando os limites físicos e do DNPM, sem levar em conta

diferentes geometrias que outros usos futuros propostos pudessem exigir, para tais considerações as figuras 4(a) e 4(b) foram utilizadas como ferramenta de auxílio para determinar os limites de lavra, tanto horizontais como verticais. Neste planejamento considera-se a cota máxima de 110 metros, sendo a parte superior da encosta, que encontra a vegetação nativa, e a cota mínima de 22 metros. Estima-se que a reserva resulta em um volume “*in situ*” de 1.410.621 m<sup>3</sup> de material basáltico.



**Figura 4** Vista superior da jazida (a); vista isométrica da frente da jazida (b)



**Figura 5** Configuração final na máxima recuperação mineral

Após o estabelecimento da reserva total e vida útil para máxima extração, representado na figura 5, efetuaram-se planejamentos para usos futuros alternativos, definindo dimensões de bancadas e bermas. O primeiro uso alternativo proposto é a de utilização da área para construção de loteamento de médio a alto padrão de construção. Esta proposta é baseada devido à existência de um valor cênico, com vista da Lagoa dos Barros. A facilidade de locomoção também é levada em conta nesta proposta, a região fica em uma localização estratégica, a aproximadamente 100km de Porto Alegre, e a 20km das principais praias do litoral norte Gaúcho, a existência de vias de acesso facilitadas também é uma vantagem deste projeto.

Para a definição deste cenário de planejamento, foi definida uma cota mínima de extração referente à elevação 30m. A mineração é feita a partir da cota mais alta (110m), até a cota 60m em bancadas de 10 metros de altura e bermas de 4 metros de largura, finalizando assim a sua regularização e estabilização. A partir da cota 60m são definidos 3 patamares para a construção de lotes, nas cotas de 60m, 50m e 40m, com bermas aproximadamente de 30 m, permitindo a construção de lotes de no mínimo 360m<sup>2</sup> e acessos, como exigido no plano diretor da cidade. Aprofunda-se mais 10 metros, chegando à cota de 30m, onde é construída uma área de lazer e estacionamentos. Assim, é possível a construção de 60 lotes, e a extração de material ficará em 620.853m<sup>3</sup>.

A figura 6 representa a previsão da geometria final da cava, após a instalação do loteamento.



**Figura 6** Configuração final – Loteamento  
A figura 7 mostra vistas isométricas de áreas do loteamento planejado.



**Figura 7** vistas isométricas - geometria loteamento

Em caso de necessidade de fechamento emergencial, outro plano de uso futuro é proposto, onde a mineração das bancadas inicia na cota máxima de 110m e avança somente até a cota 40m. Uma área plana na cota 40m é projetada para que possa abrigar campos de futebol, tênis, piscinas e um pequeno centro de convenções, sendo a ideia de utilização da área para um parque poliesportivo totalizando aproximadamente 2,6 ha de área útil, podendo ser aproveitado pela população em geral. A cubagem de material neste plano é de 590.944 m<sup>3</sup>. A figura 8 representa a previsão de configuração final em caso de fechamento emergencial.



**Figura 8** Configuração final - parque poliesportivo

A figura 9 mostra vistas isométricas da área planejada para criação de um centro poliesportivo.



**Figura 9** Vistas isométricas - Parque Poliesportivo

Após a definição das propostas de plano de uso futuro, e impactos socioambientais, uma análise comparativa entre os diferentes cenários propostos é realizada a fim de auxiliar o empreendedor na escolha da opção mais viável para a realidade em que a mineração está inserida.

Como meio comparativo, foi utilizada a recuperação mineral possível de cada caso e seu retorno financeiro e socioambiental. Para cálculo de retorno financeiro foi considerado um preço médio de venda dos produtos de R\$23,00/m<sup>3</sup>. No cenário de loteamento, foi definido o valor do lote em R\$ 120.000,00 para lotes de 400m<sup>2</sup> em média. Para a proposta de que seja feito o parque poliesportivo, sugere-se que a área seja doada para órgãos públicos, ou que seja vendido para a iniciativa privada.

A tabela 1 mostra o comparativo de retorno entre os três principais casos propostos considerando apenas a extração mineral e seus respectivos custos e receitas dentro do balanço financeiro.

**Tabela 1** Comparativo de retorno para cenários de fechamento

Caso	Cubagem (m <sup>3</sup> )	Vida Útil (anos) *	Faturamento Mineração (R\$)	Custo Mineração (R\$)	Lucro (R\$)	% Minerada
Máxima Extração	1.410.621	20	32.444.283	28.184.208	4.260.075	100%
Loteamento	620.853	9	14.279.619	12.404.643	1.874.976	44%
Poliesportivo	590.944	8	13.591.712	11.807.061	1.784.651	42%

\*Considerando produção de 6000 m<sup>3</sup> *in situ* por mês

Para a construção do parque poliesportivo foi considerado um valor reduzido, devido à menor infraestrutura exigida, sendo considerado um custo de R\$ 20,00/m<sup>2</sup>

para urbanização da área. A tabela 2 mostra a estimativa de custos e retorno dos diferentes usos futuros propostos.

**Tabela 2** Comparativo de custos e retorno pós fechamento

Caso	Custo Infraestrutura (R\$)	Retorno Pós Fechamento (R\$)
Máxima Extração	N.D	N.D
Loteamento	R\$ 599.040	R\$ 7.200.000
Poliesportivo	R\$ 520.000	R\$ 2.000.000 *

\* Baseado em estimativas e consultas previamente feitas por possíveis compradores da área na região

O caso que fornece o maior retorno financeiro para o empreendimento considerando apenas as receitas provenientes da mineração é o cenário da máxima extração. Já o cenário menos atrativo economicamente é o de utilização como parque poliesportivo.

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho realizou uma análise comparativa de diferentes cenários pós fechamento de mina, evidenciando alguns fatores:

- 1) Com base em dados obtidos desde o planejamento inicial, é possível que se tenha conhecimento de diversos cenários para o fechamento de mina e seus respectivos impactos socioambientais e econômicos, podendo auxiliar o empreendedor tanto no caso de um fechamento prematuro ou fechamento com utilização futura da área bem definida.
- 2) É importante que órgãos públicos fiscalizem, sugiram e até exijam planos de fechamento e utilização futura bem definidos e trabalhem em parceria com mineradores, pois só assim, é possível mitigar os passivos causados pelo abandono de uma área minerada e não recuperada.
- 3) A avaliação de uso futuro torna-se ainda mais atrativa para o empreendedor quando é mostrado que mesmo após o fechamento da mineração, a área ainda pode possuir um valor econômico bastante elevado e novos empreendimentos rentáveis podem ser instalados em uma área considerada “morta”.
- 4) As sugestões de uso futuro alternativo propostas para a área em estudo não devem ser considerados fixas e como únicas alternativas.

#### Agradecimentos

O autor agradece a ao PPGEM/UFRGS e IFMS pelo suporte.

#### REFERÊNCIAS

- 1 TAVEIRA, A.L.S. 2003. Provisão de Recursos Financeiros para Fechamento de Empreendimentos Mineiros. São Paulo, 2003. Tese de Doutorado. Escola

Politécnica de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo.  
209p.

- 2 TONIDANDEL, R. de Paula – Aspectos legais e ambientais do fechamento de Mina no Estado de Minas Gerais – Dissertação de Mestrado UFMG – Belo Horizonte/MG:2011.
- 3 FERNANDES, F. R. C., LUZ; A. B., MATOS, G. M. M. Matos; CASTILHOS, Z. C. - Tendências Tecnológicas Brasil 2015: Geociências e Tecnologia Mineral - CETEM/MCT - Rio de Janeiro/RJ: 2007 - 380 p.: il
- 4 FARIAS, C. E. G., Mineração e meio Ambiente no Brasil – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Outubro, 2002.
- 5 VILLAS BÔAS, R. C. & BARRETO, M. L. 2000 *Cierre de minas: experiencia em Iberoamerica*. Rio de Janeiro: Cyted/I
- 6 IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira, 7º Edição, Dezembro, 2012. Pg. 17-20.

# ANÁLISE QUALITATIVA NA RECUPERAÇÃO DE COBRE COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE GALVANIZAÇÃO A FOGO

*Kanno, R.<sup>1</sup>*

*Buzin, P. J. W. K.<sup>2</sup>*

*Tubino, R. M. C.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Eng. Rodrigo Kanno, UFRGS, (rodrigokanno@hotmail.com)*

<sup>2</sup> *Eng. Dr. Pedro Jorge Walburga Keglevich de Buzin, UFRGS, (pedrobuzin@gmail.com)*

<sup>3</sup> *Eng. Dra. Rejane Maria Candiota Tubino, UFRGS, (rejane.tubino@ufrgs.br)*

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

## Resumo

O presente estudo tem como objetivo estudar qualitativamente a recuperação de cobre na forma metálica a partir de uma solução sintética contendo cobre, simulando placas de circuito impresso descartados, com auxílio de resíduos da galvanização a fogo. Em um primeiro momento, os resíduos são analisados para selecionar os que apresentam condições mais favoráveis para recuperar o cobre. Na segunda etapa se realiza um estudo com uma solução de acetato de chumbo trihidratado para analisar o zinco metálico presente nas amostras de resíduos da galvanização a fogo. Finalmente, recupera-se o cobre utilizando resíduos de zinco da galvanização. Os resultados mostraram o potencial de utilização de resíduos contendo zinco metálico, proveniente da indústria de galvanização, para a produção de cobre na forma de pó.

**Palavras-chave:** Recuperação de cobre; Galvanização a fogo; Resíduo de zinco.

## QUALITATIVE ANALYSIS ON THE RECOVERY OF COPPER WITH USE OF RESIDUES FROM THE HOT-DIP GALVANIZATION INDUSTRY

### Abstract

The present study aims qualitatively study the recovery of copper in metallic form from a synthetic solution containing copper, simulating discarded printed circuit boards, with the aid of residues from the hot-dip galvanization. Initially, the residues analyzed to select those with the most favorable conditions to recover copper. In the second stage, a study carried out with a solution of lead acetate trihydrate to analyze the metallic zinc present in samples of residues from hot-dip galvanization. Finally, the copper recovered using zinc residues from the galvanizing. The results showed the potential of using zinc - containing waste from the galvanizing industry to produce copper in the form of powder.

**Key words:** Copper recovery; Hot-dip galvanizing; Residue of zinc.



## 1 INTRODUÇÃO

A reciclagem ou recuperação de metais que constituem recursos não renováveis ou escassos na natureza, o que torna mais difícil sua extração, vem sendo estudada com objetivo de buscar soluções para sua reciclagem. Estes metais podem ser encontrados em alguns tipos de resíduos industriais e domésticos que muitas vezes eram descartados, sem a preocupação de um aproveitamento. Esta atividade, principalmente no que se refere a metais preciosos, tem recebido o termo de mineração urbana. Os metais encontrados em computadores, em especial nas placas de circuito impresso (PCI) descartadas por obsolescência e resíduos da galvanização a fogo são exemplos de resíduos dos quais é possível a recuperação de metais através de tratamentos específicos. Muitas vezes estes resíduos contêm concentrações metálicas superiores aos minerais comumente obtidos em uma mina de onde são extraídos tais elementos (1) (2).

### 1.1 RESÍDUOS DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO - PCIS

As placas de circuito impresso descartadas são fonte de diversos metais. Seu conteúdo metálico apresenta em torno de 40% de sua massa, sendo o restante composto de polímeros, 30% e os outros 30% na forma de componentes cerâmicos, em microcomputadores (3).

O ouro é um metal cuja recuperação das PCI é bastante estudada devido ao fato de que seu valor de mercado é superior a de outros metais, estando também presente em concentrações superiores às encontradas em depósitos minerais (4) (5). Por outro lado, o cobre é o metal que apresenta o maior teor, em relação a outros metais das placas de circuito impresso, representando em torno de 20% em massa das PCI provenientes de computadores (6), podendo alcançar valor superior a 34% em massa de cobre nas PCIs originadas de aparelhos de celular (7). O cobre e ouro são os metais que apresentam maior quantidade de estudos (4) (5) (6) (7) (8) (9).

A recuperação de metais de placas de circuito impresso apresenta três rotas mais desenvolvidas: (i) hidrometalúrgica; (ii) pirometalúrgica e (iii) biometalúrgica. Na Figura 1 pode ser visualizado o aspectos de placas de PCI descartadas.



**Figura 1.** Placas de circuito impresso descartadas. Fonte: OCAMPO

Em geral, o processo hidrometalúrgico segue uma etapa de pré-tratamento que inclui a cominuição, classificação e separação. A cominuição facilita a exposição do metal e permite a classificação granulométrica e posterior separação da parte metálica da não metálica, por processos eletromagnéticos (9) (10), gravimétrica (9)

(11) e eletrostática (10). Após a separação é feito a lixiviação, onde ocorre a solubilização dos metais em meio aquoso com o uso de um ácido (8) (12) ou uma base (13), sucedida pela precipitação dos metais (11).

O processo pirometalúrgico se caracteriza pela utilização da energia, geralmente proveniente da combustão de combustíveis fósseis. As PCIs para o procedimento não necessitam de um pré-tratamento, mas podem emitir gases tóxicos como dioxinas, furanos e organoclorados (11) (14).

O processo biometalúrgico se caracteriza por se caracteriza pela utilização de micro-organismos para a lixiviação das placas de circuitos impressos. A biolixiviação tem sido utilizada em sulfetos metálicos para recuperar os metais presentes em resíduos eletroeletrônicos (11) (14) (15).

## 1.2 RESÍDUOS DA GALVANIZAÇÃO A FOGO

Outra fonte produtora de grandes quantidades de resíduos é a indústria de revestimento de zinco, conhecida como galvanização, onde o zinco é depositado na camada superior de uma peça metálica evitando que o aço entre em contato com o ar, assim evitando sua corrosão (16) (17).

A galvanização a fogo é uma das técnicas utilizadas para colocação de uma camada protetora de zinco sobre o aço. Esta técnica é bastante utilizada para recobrimento com zinco de estruturas metálicas que ficarão ao ar livre em razão da possibilidade de colocação de um recobrimento mais espesso de zinco com esta técnica e com boa aderência. O processo, após etapas preparatórias (decapagem, desengraxe, etc...) é efetivado em uma cuba onde o zinco se encontra fundido, em uma temperatura de aproximadamente 450°C. A peça metálica a ser galvanizada é imersa, por um tempo médio de 4 a 5 minutos, ocorrendo o recobrimento da superfície com uma fina camada de zinco, de aproximadamente 0,15 mm, fornecendo uma camada protetiva contra corrosão (18) (19) (20).

Um fluxograma resumido do processo é apresentado na figura 2.



Figura 2. Fluxograma do processo de galvanização.

Esse processo gera resíduos que podem ser recuperados com conteúdo variável de zinco. Os principais resíduos encontrados em estudos são o lodo/lama e as cinzas (21) (22) (23).

Vários estudos têm sido efetuados para efetivar a recuperação de zinco destes resíduos, também podendo abordar processos piro e hidrometalúrgicos. Na rota hidrometalúrgica verificou-se que soluções de ácido sulfúrico são mais eficientes para recuperação de metais contidos no lodo de galvanização e nos resíduos de galvanização a fogo, se comparado com o uso da amônia ou carbonato de amônia (21) (22).

Considerando a recuperação do cobre das PCI e do zinco dos resíduos de zincagem, verifica-se que os estudos existentes abordam esta reciclagem de forma isolada, considerando os resíduos separadamente. Neste trabalho o objetivo é verificar qualitativamente a possibilidade de utilização de alguns tipos de resíduos da indústria de galvanização a fogo na recuperação de cobre sob a forma metálica a partir de PCIs descartadas.

No processo a ser desenvolvido, será também gerado um coproduto representado por sulfato de zinco, o qual possui ampla utilização na agricultura como suplementador do micronutriente zinco e também em produtos de alimentação animal, com a mesma função.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizada uma amostra sintética para simular a presença de cobre presente nas placas de circuito impresso. Uma solução de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) a 5% foi produzida.

Em visita a uma indústria de galvanização a fogo pode-se verificar as seguintes etapas para o procedimento da galvanização à quente, conforme figura 3.



Figura 3. Fluxograma do processo de galvanização da indústria visitada.

Deste processo de galvanização a fogo são produzidos os seguintes resíduos de zinco descritos a seguir:

- Zinco Tipo 1 (figura 4 – A) → advindo do soprador, em processo posterior a imersão da peça;
- Zinco Tipo 2 (figura 4 – B) → originado na coifa localizada acima da galvanização a fogo, onde é segundo a literatura composto de óxido de zinco, zinco metálico e hidroxicloreto de zinco ( $Zn_5(OH)_8Cl_2 \cdot H_2O$ ) e outros metais (24);
- Zinco Tipo 3 (figura 4 – C) → ocorre do contato da peça com a amônia, na fluxagem, para melhor aderência do zinco;
- Zinco Tipo 4 (figura 4 – D) → decorrente do sobrenadante da cuba de imersão da peça de aço em zinco fundido;
- Zinco Duro (Figura 5 – E) → proveniente do lodo que se forma no fundo da cuba, onde é realizada a imersão do aço para a galvanização a fogo.



Figura 4. Resíduos da galvanização a fogo. A – Zinco Tipo 1, B – Zinco Tipo 2, C – Zinco Tipo 3 e D – Zinco Tipo 4.



Figura 5. Resíduos da galvanização a fogo. E – Zinco Duro.

Primeiramente o resíduo denominado pela empresa de “Zinco Duro” cuja composição indicada pela literatura contém 90 a 95% de massa de zinco <sup>(25)</sup> não foi considerado devido ao seu significativo valor de revenda e amplo mercado em empresas recicladoras de zinco. Considerando o objetivo desse trabalho que é a recuperação de cobre metálico foram efetuados testes qualitativos, buscando identificar aqueles com maior potencial de identificação.

## **2.1 ESCOLHA DOS RESÍDUOS**

Inicialmente, todos os demais resíduos foram cominuídos e passados em peneiras com a fração passante de 0,25 mm (60 mesh). Em seguida uma massa de 0,5 grama do resíduo foi colocado em um copo becker de 50mL. Na sequência foi adicionado 10mL de uma solução de 5% de sulfato de cobre, aquecendo sob agitação por 30 minutos a 50°C. Após o resfriamento das soluções verificou-se o aspecto visual das amostras, sendo em seguida adicionado 20mL de solução 10% de ácido sulfúrico em cada amostra. Neste experimento os resíduos que apresentaram maior produção de cobre foram escolhidos para os testes posteriores.

## **2.1 ANÁLISE DE ZINCO METÁLICO NO RESÍDUO**

Outro experimento realizado determinou a concentração de zinco metálico presente nos resíduos mais promissores. Utilizando uma solução de acetato de chumbo trihidratado ( $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) a 10%.

Uma amostra de 1 grama dos resíduos de zinco foi adicionada com 60mL da solução de acetato de chumbo e aquecida por 1 hora em temperatura de 50°C. Após o aquecimento a amostra foi drenada e lavada diversas vezes com água destilada, objetivando a remoção de qualquer contaminante. Realizou-se outra lavagem com ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) a 10%. Novamente se aqueceu a solução para dissolução de ácidos metálicos não dissolvidos pelo chumbo. O concentrado foi lavado e filtrado e colocado para secar em estufa. Finalmente foi pesado.

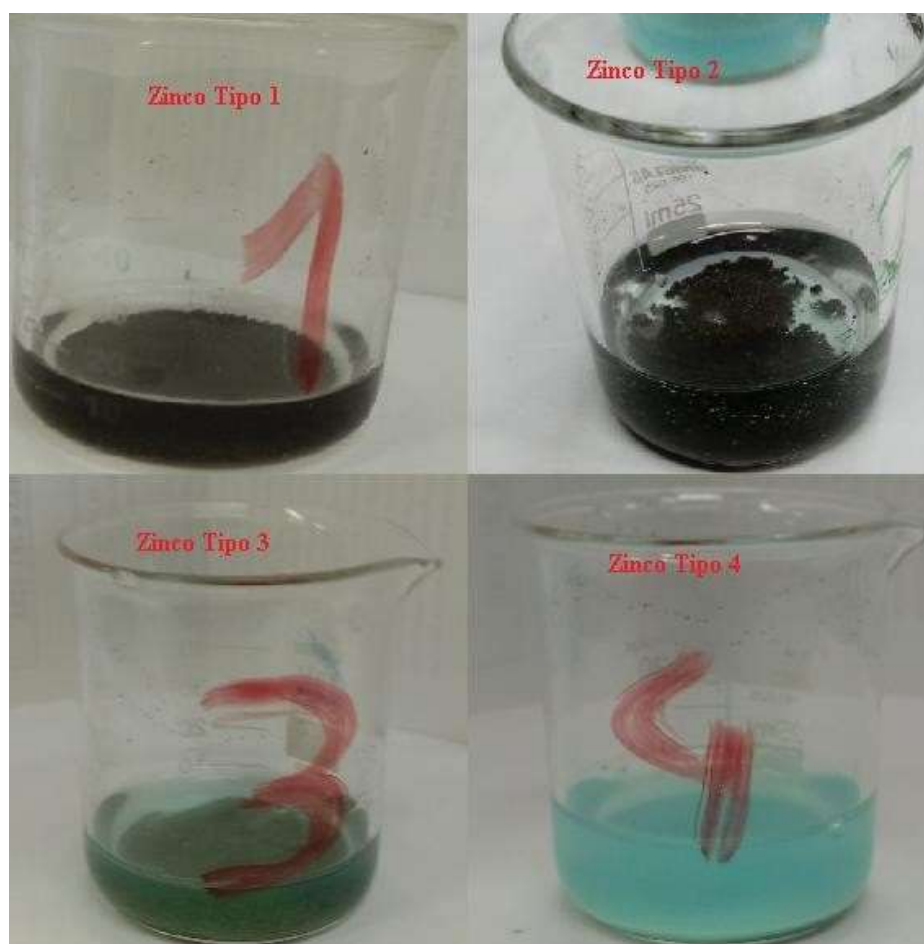
## **2.2 RECUPERAÇÃO DO COBRE**

Nos resíduos que apresentaram resultados mais promissores uma análise em maior escala foi realizada, estudando a recuperação do cobre com a utilização de resíduos da galvanização a fogo. Usou-se uma massa de 5 gramas do resíduo com adição de 400mL de solução a 10% de  $\text{CuSO}_4$ , sob aquecimento (50°C) e agitação, pelo período de 1 hora. Após esse período, resfriou-se a solução e adicionou-se 10mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  em solução padrão, sob agitação. Posteriormente filtrou-se a solução e lavou-se o filtro com uso de água destilada. Em seguida com a remoção de contaminantes e o ácido realizou-se a lavagem com utilização de água com um tensoativo, objetivando que o cobre não sofresse corrosão. Transferiu-se o material do filtro para uma placa de petri e secou-se as amostras. Finalmente a massa de cobre seco foi pesada.

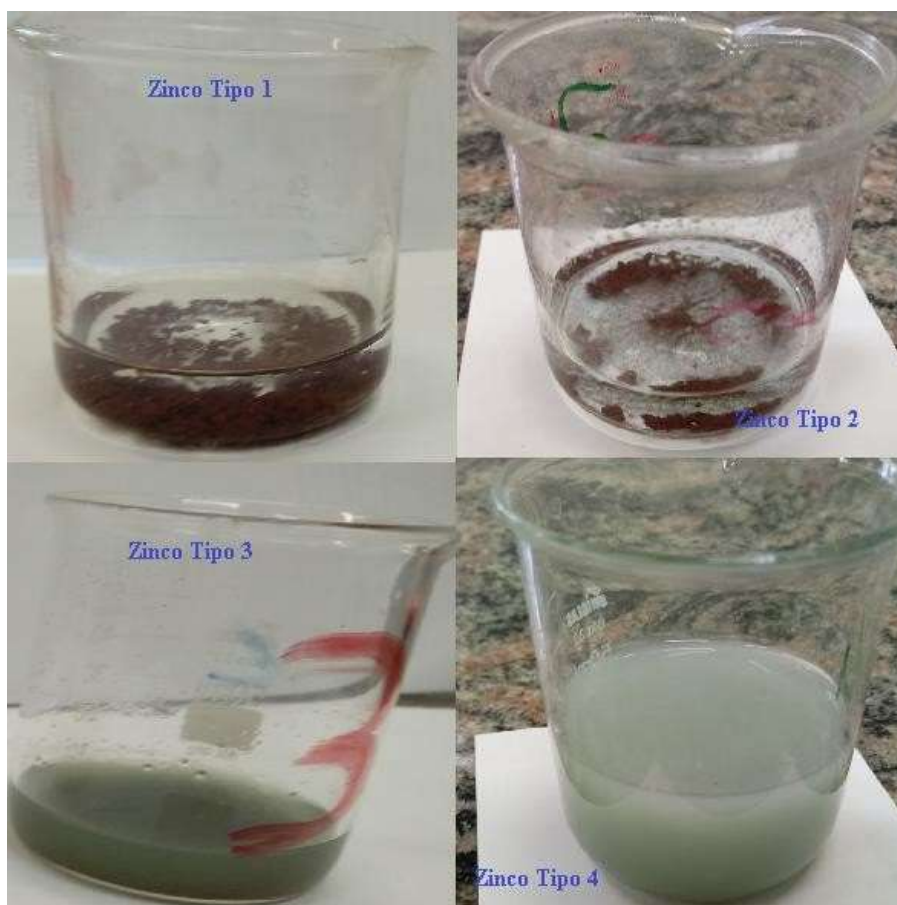
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 ESCOLHA DOS RESÍDUOS

No primeiro experimento realizado com 0,5 grama de cada resíduo de zinco com adição de 10mL de sulfato de cobre a 5% e 20mL de ácido sulfúrico a 10%, verificou-se que os resíduos do Tipo 1 e 2 apresentaram uma maior reação em contato com o sulfato de cobre, depositando cobre no fundo do copo de becker, conforme figura 6. Com a adição de ácido sulfúrico foram eliminados impurezas e o excesso de cobre (figura 7). Conforme as figuras 6 e 7, foi possível observar que o cobre está presente nas amostras do Tipo 1 e 2. A amostra 3 apresentou um pouco de cobre depositado, na amostra do Tipo 4 não foi verificada nenhum cobre. Por essa razão os resíduos de Zinco do Tipo 1 e 2 foram utilizados para os experimentos posteriores, sendo descartados mais análises nos resíduos de Zinco do Tipo 3 e 4.



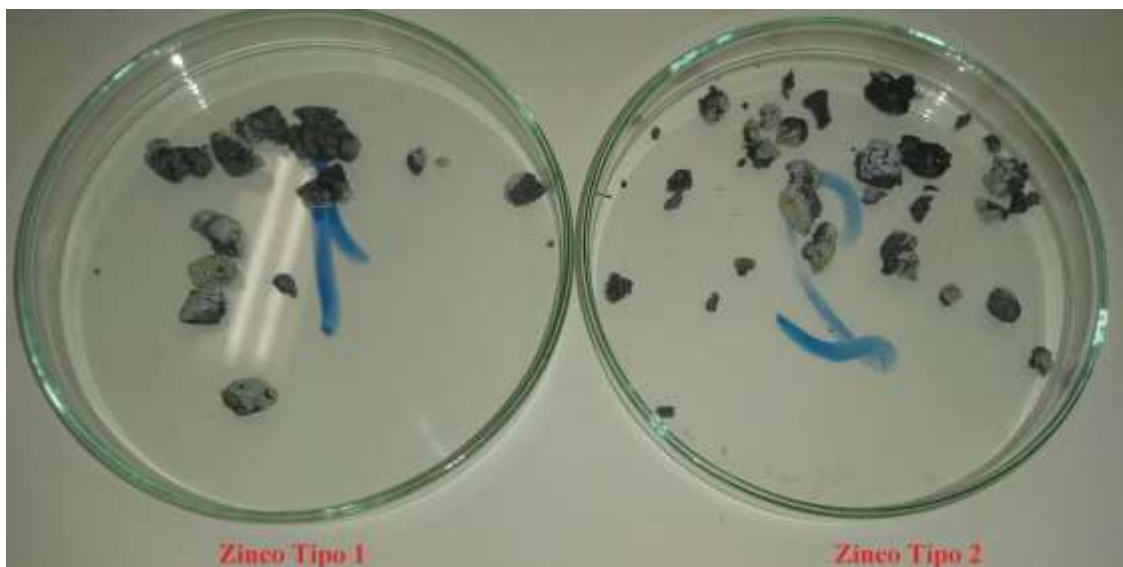
**FIGURA 6.** Amostras de Resíduos com adição de 5mL de Sulfato de Cobre.



**FIGURA 7.** Amostras após adição de ácido sulfúrico.

### **3.2 ANÁLISE DE ZINCO METÁLICO COM PB**

Na análise de zinco metálico com adição de acetato de chumbo foram encontrados 2,844 gramas e 2,753 gramas de chumbo após a secagem dos resíduos de zinco do Tipo 1 e 2, respectivamente (figura 8). Para cada 1,0 grama de resíduo da galvanização à quente observou-se os seguintes percentuais de zinco metálico para o resíduo de zinco do Tipo 1 de 89,7% e 86,9% de zinco metálico para os resíduos de zinco do Tipo 2 (Tabela 1).



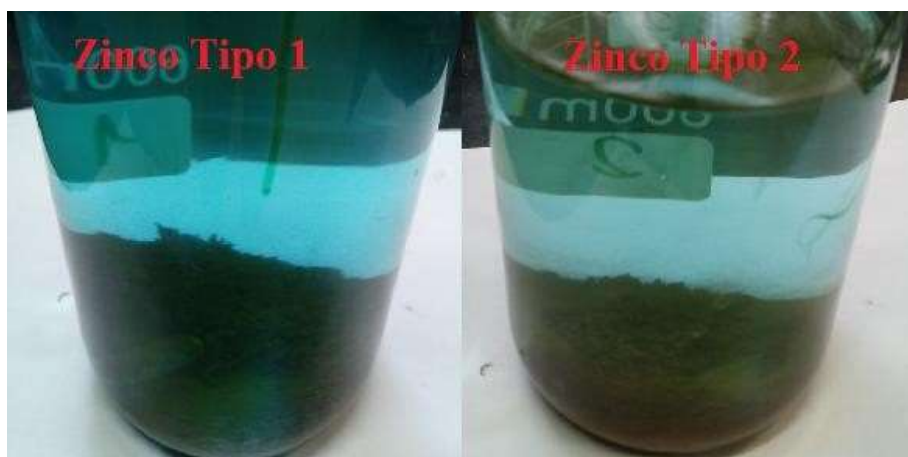
**Figura 8.** Chumbo do Acetato de Chumbo.

**Tabela 1 –** Massa de Chumbo e % de Zinco Metálico.

	<b>Massa de Chumbo (gramas)</b>	<b>% Zinco Metálico</b>
<b>Resíduo Tipo 1</b>	<b>2,844</b>	<b>89,7</b>
<b>Resíduo Tipo 2</b>	<b>2,753</b>	<b>86,9</b>

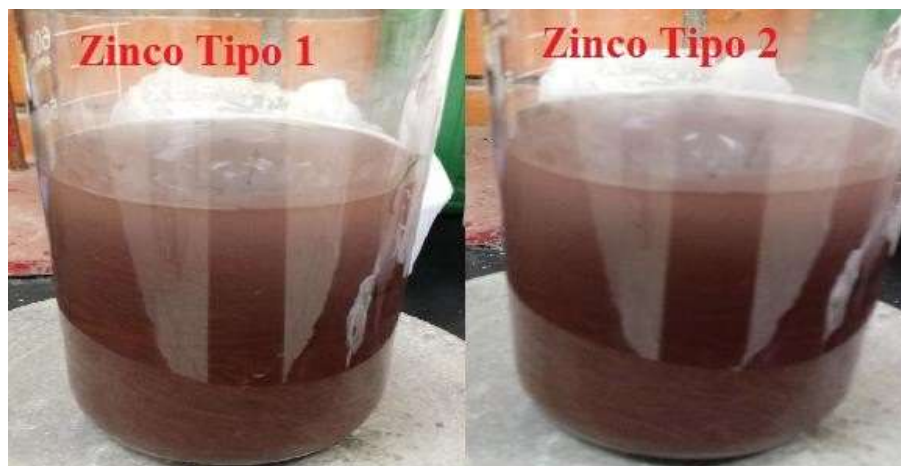
### 3.3 RECUPERAÇÃO DE COBRE

O seguinte experimento realizado com uma adição maior de resíduos de zinco com 5 gramas e 400mL de  $\text{CuSO}_4$ , conforme figura 9. Com a adição do ácido sulfúrico e sob agitação se observou uma coloração marrom na reação (figura 10). Após essa etapa resfriou-se a reação e filtrou-se a solução para separação do cobre retido no filtro. O material retido foi colocado em forno estufa por 24 horas a  $100^\circ\text{C}$  e verificado sua massa.



**Figura 9.** 5 gramas do resíduo de zinco com sulfato de cobre.





**Figura 10.** 5 gramas do resíduo de zinco com sulfato de cobre e ácido sulfúrico sob agitação.

A massa de cobre (Tabela 2) encontrada na solução com resíduo de Zinco do Tipo 1 foi de 4,133 gramas e do Tipo 2 foi de 4,255 gramas (figura 11). Com esses resultados observou-se a possibilidade de utilização de resíduos da indústria da galvanização a fogo para recuperação de cobre.

**Tabela 1** – Recuperação de cobre e percentual de zinco nos resíduos da galvanização a fogo.

	<b>Cobre Recuperado (gramas)</b>
<b>Resíduo Tipo 1</b>	<b>4,133</b>
<b>Resíduo Tipo 2</b>	<b>4,255</b>



**Figura 11.** Amostras de cobre.

#### 4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos nas análises foi possível observar que:

- Os resíduos da indústria da galvanização a fogo advindos do soprador (Tipo

1) e da coifa (Tipo 2), apresentaram melhores resultados determinando sua utilização nos experimentos;

- Na análise da fração metálica de zinco com acetato de chumbo o valor encontrado foi superior a 86% de zinco metálico presente nos resíduos da galvanização a fogo;
- A recuperação de cobre sintético foi possível com a utilização das duas amostras escolhidas. Sendo o resíduo do Tipo 2 o que apresentou maior quantidade de cobre recuperado.

Em um segundo momento, esse experimento deve ser realizado com a utilização de placas de circuito impresso obsoletas para comprovar a eficácia do modelo adotado, visando a recuperação de cobre e produção de sulfato de zinco.

## REFERÊNCIAS

1. BONIFAZI, G.; COSSU, R. The Urban Mining concept. **Waste Management**, 2013.
2. COSSU, R.; WILLIAMS, I. D. Urban mining: Concepts, terminology, challenges. **Waste Management** , n. 45, p. 1-3, 2015.
3. GRECO, N. R. et al. **Recuperação dos metais presentes em placas de circuito impresso**. São José dos Campos – SP: 6º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. 2015.
4. IMRE-LUCACI, Á. et al. Technical and environmental assessment of gold recovery from secondary streams obtained in the processing of waste printed circuit boards. **Chemical Engineering Journal**, 2016.
5. LEKKA, M. et al. Gold recovery from Waste Electrical and Electronic Equipment by electrodeposition: A feasibility study. **Hydrometallurgy**, 2015.
6. XUA, Y.; LIA, J.; LILILIU. **Current status and future perspective of recycling copper by hydrometallurgy from waste printed circuit boards**. The Tenth International Conference on Waste Management and Technology (ICWMT). [S.l.]: Procedia Environmental Sciences 31. p. 162 – 170. . 2016

7. SCHLEMMER, D. F. et al. **Recuperação de cobre de placas de circuito impresso esgotadas a partir de extração com co2 supercrítico**. XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Campinas - SP: [s.n.]. 2015.
8. OCAMPO, E. J. M. F. **Produção de pó de cobre eletrolítico a partir de resíduos de placas de circuito impresso**. [S.l.]. 2017.
9. VENTURA, E. A. C. C. **Tese Mestrado - Estudo de Processos Físicos para Recuperação de Metais de Placas de Circuito Impresso**. [S.l.]. 2014.
10. VEIT, H. M. et al. Recovery of copper from printed circuit boards scraps by mechanical processing and electrometallurgy. **Journal of Hazardous Materials B137**. p. 1704–1709 , 2006
11. GERBASE, A. E.; OLIVEIRA, C. R. D. RECICLAGEM DO LIXO DE INFORMÁTICA: UMA OPORTUNIDADE PARA A QUÍMICA. **Quimica Nova**, v. 35, n. 7, p. 1486-1492, 2012.
12. HANAFIA, J. et al. **Material Recovery and Characterization of PCB from Electronic Waste**. International Conference on Asia Pacific Business Innovation and Technology Management, 2012.
13. GUO, X. et al. Recovery of metal values from waste printed circuit boards using an alkali fusion–leaching–separation process. **Hydrometallurgy** , v. 156, p. 199- 205, 2015.
14. CUI, J.; ZHANG, L. Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review. **Journal of Hazardous Materials**, p228–256, 2008.
15. SIMONE DI PIAZZA A, G. C. et al. Penicillium expansum Link strain for a biometallurgical method to recover REEs from WEEE. **Waste Management**, 2016.
16. GENTIL, V. **Corrosão**. 3ª. ed. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996.

17. MAAß, P.; PEIßKER, P. **Handbook of Hot-Dip Galvanization**. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2011.
18. VINTER, S. et al. Stabilization/solidification of hot dip galvanizing ash using different binders. **Journal of Hazardous Materials**, p. 105–113, 2016.
19. SHIBLI, S. M. A.; MEENA, B. N.; REMYA, R. A review on recent approaches in the field of hot dip zinc galvanizing process. **Surface & Coatings Technology**, 2014.
20. SHIBLI, S. M. A.; MEENA, B. N.; REMYA, R. A review on recent approaches in the field of hot dip zinc galvanizing process. **Surface & Coatings Technology**, 2015.
21. SILVA, J. E. et al. Leaching behaviour of a galvanic sludge in sulphuric acid and ammoniacal media. **Journal of Hazardous Materials**, n. B121 , p. 195–202, 2005.
22. HUYEN, P. T. et al. Electrochemical copper recovery from galvanic sludge.  
**Hydrometallurgy**, n. 164, p. 295–303, 2016.
23. NG, K. S. et al. A multilevel sustainability analysis of zinc recovery from wastes.  
**Resources, Conservation and Recycling** , 2016.
24. DVORČ, P.; JANDOVA, J. Hydrometallurgical recovery of zinc from hot dip galvanizing ash. **Hydrometallurgy 77**, 2005.
25. PINTO, F. M. - **Resíduo de Lodo Galvânico: Caracterização, Tratamento, Recuperação e Reuso**. Tese (Mestrado), 2012

# PROTÓTIPO DE UM QUADRICICLO URBANO NÃO MOTORIZADO: REQUISITOS DE PROJETO E PESQUISA COM POTENCIAIS CLIENTES

Garcia, P. R. L.<sup>1</sup>

De Barba Jr., D. J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, Pablo Roberto de Lima Garcia, IFSul pabloroberto2011@gmail.com.

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico, Durval J. De Barba Jr. IFSul. debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br

## Resumo

Na constante busca por uma melhor qualidade de vida, dentre uma rotina apertada de horários para a prática de exercícios físicos, e uma constante observância do aumento da poluição de nosso planeta, eis que se apresenta neste trabalho o projeto prototipado de um quadriciclo urbano não motorizado, que se declara como um substituto dos automóveis em deslocamentos urbanos curtos. Sendo esta uma opção com emissão zero e que possibilita a prática regular de exercícios físicos, já que o quadriciclo é movido por propulsão humana. As pesquisas com clientes e com o time de projeto, nortearam o desenho do quadriciclo a um melhor estado, podendo atender vários nichos da sociedade e ser aplicado em diversos usos, contudo os resultados mais expressivos foram as pessoas que gostariam de se exercitar durante o seu deslocamento ao seu trabalho e que desejam usar um veículo menos poluente, dando destaque assim para o uso diário e cotidiano do quadriciclo, desta forma o seu conforto e leveza ao pedalar foram itens prioritários no seu projeto. Dentre os usos possíveis identificados pelos testes com o protótipo, foi de grande destaque o seu desempenho seguro em meio urbano, dado as suas características de dirigibilidade.

**Palavras-chave:** Quadriciclo; Veículo Urbano; Propulsão Humana, Bicicleta.

## PROTOTYPE OF A NON-MOTORIZED URBAN QUADRICYCLE: PROJECT AND RESEARCH REQUIREMENTS WITH POTENTIAL CUSTOMERS

### Abstract

In the constant search for a better quality of life, among a tight routine of physical exercise schedules, and a constant observance of the increase of pollution of our planet, we present in this work the prototyped project of a non-motorized urban quadricycle, whose main goal is to replace cars in short urban journeys. This is a viable option for zero emission displacement and allows regular practice of physical exercises, since the quadricycle is driven by human propulsion. Research with clients and the project team guided the design of the quadricycle to a better state, being able to attend to various niches of the society and to be applied in several uses, however the most expressive results were people who would like to exercise during their

displacement to their work and who wish to use a less polluting vehicle, thus giving prominence to the daily use of the quadricycle, so their comfort and lightness when pedaling were priority items in their project. Among the possible uses identified by the tests with the prototype, its safe use in the urban environment, given its handling characteristics, was of great importance.

**Key words:** Quadricycle; Urban Vehicle; human propulsion, bicycle.

## 1 INTRODUÇÃO

A sociedade moderna atual é refém de um estilo de vida onde invariavelmente polui o ambiente. Sendo assim, a poluição está ligada a muitas atividades cotidianas, desde uma embalagem que é jogada no lixo até os deslocamentos feitos com veículos automotores. A poluição gerada pelos automóveis, de uma família que tenha mais de um automóvel, é superior ao somatório de todas as outras emissões destas pessoas, como: o consumo de energia, a produção de resíduos, a contaminação de água dentre outras. Um outro dado relacionado à frota brasileira, revela que em 1992 apenas 14,6% dos domicílios possuíam carros, e, em 2012, esse percentual já ultrapassava os 50% dos domicílios e em 2016 o total de veículos somados no país ultrapassam os 84 milhões com a população em mais de 207 milhões de habitantes<sup>(1) (2) (3)</sup>.

Desta maneira este trabalho se propõe a apresentar uma solução segura e sustentável, para frear o contínuo aumento da poluição gerada por automóveis, na configuração de um quadriciclo movido por propulsão humana. Este quadriciclo apresenta emissão zero no seu uso e suporta duas ou mais pessoas, sendo utilizado para deslocamentos urbanos curtos, visto que, em média, os carros, nas grandes metrópoles, rodam aproximadamente 40 km por dia e também uma grande parcela da população perde mais de uma hora no deslocamento de retorno do trabalho para o lar<sup>(3)</sup>.

O projeto do quadriciclo tem como fim substituir o veículo automotor para deslocamentos breves, ou, até mesmo, deslocamentos rotineiros, de forma a trazer redução das emissões de gases nocivos à atmosfera, bem como para o ambiente, e também pode trazer um bem ao usuário por meio de uma prática de exercícios físicos.

Este trabalho se dedicou a gestão de projeto de um quadriciclo urbano não motorizado, obedecendo às entradas do projeto com os preceitos do *Project Management Institute* PMI<sup>(4)</sup>.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Fez-se uso da metodologia de gerenciamento de projeto difundida pelo *Project Management Institute* (PMI)<sup>(4)</sup> para o gerenciamento do projeto. “O PMI é a maior associação sem fins lucrativos do mundo para profissionais de gerenciamento de projetos, com mais de meio milhão de associados e de Profissionais Certificados em 185 países”<sup>(4)</sup>. Esta metodologia de gerenciamento de produto tem por finalidade garantir o sucesso do projeto, sendo que o sucesso é o atendimento dos objetivos

estabelecidos pelos *stakeholders* dentro do prazo acordado entre as partes.

A Figura 1 representa o fluxo do processo de projeto e construção do quadriciclo urbano utilizado neste trabalho. As duas colunas de retângulos da esquerda representam as etapas de um projeto e sua cronologia, já as setas a direita dos retângulos representam as etapas do *Product Life Cycle Management* (PLM), segundo o PMI, que foram usadas neste trabalho. Estas etapas estão com as suas respectivas atribuições resumidas nos retângulos mais à direita.

As setas a direita da Figura 1 mostram os passos recomendados pelo PMI para uma metodologia de gerenciamento de projeto, contudo ainda nestas setas é possível perceber um passo dedicado ao DfX, metodologia usada para o projeto do produto, que foi inserida no passo-a-passo do gerenciamento de forma a tornar a construção do protótipo do quadriciclo urbano viável e executável.

Desta forma criou-se uma metodologia híbrida para a criação deste produto, unindo duas técnicas e metodologias com funções diferenciadas, a de gerenciamento de projeto e a de projeto de produto. Assim o trabalho está amparado por preceitos de garantia de sucesso tanto no âmbito organizacional e de vida do produto quanto da qualidade do seu projeto e atendimento as expectativas dos clientes.

Este artigo se dedicou aos itens que definem detalhadamente o Produto. Sendo assim, o artigo apresentará os passos “Escopo de Projeto” e “Requisitos de Engenharia” que são, basicamente, o desejo do projeto e resposta ao desejo do projeto e como será atendido o desejo, respectivamente.

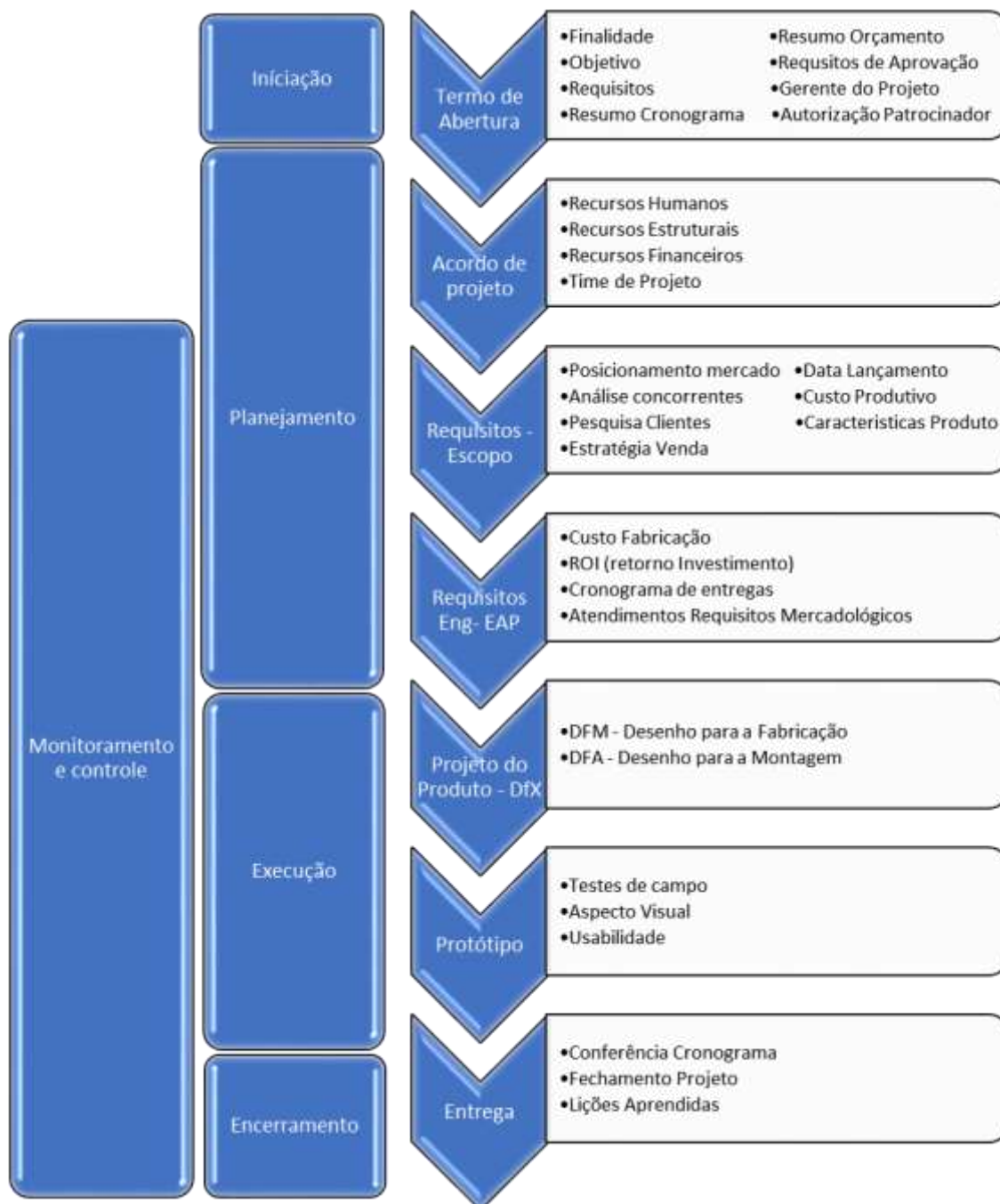


Figura 1 - Representação do fluxo do projeto do quadriciclo urbano<sup>(4)</sup>

## 2.1 ESCOPO DO PROJETO - REQUISITOS MERCADOLÓGICOS DO PROJETO

Neste momento do projeto o gerente de projeto tem a missão de coletar todas as entradas necessárias para o sucesso do trabalho, essas entradas são os requisitos mercadológicos que foram descritos em nível não detalhado na intenção do projeto, porém neste documento o escopo do projeto deve estar bem definido quanto aos subtítulos descritos<sup>(5)</sup> <sup>(6)</sup>:

**Posicionamento de Mercado:** É uma análise da posição atual de mercado da empresa com o portfólio atual e a sua projeção no mercado, após a finalização do



projeto, podendo ser um indicador do sucesso, ou não, do projeto. Este posicionamento foi feito levando em consideração a capacidade produtiva da empresa em questão de fabricar o quadriciclo, no poder de investimento do patrocinador e no tamanho do mercado. Os levantamentos de dados precisam ser feitos em campo e na internet, com empresas que trabalham no mesmo ramo ou em área de atuação semelhante, de forma genérica, estes dados são levantados em entidades de classe ou órgãos de pesquisa<sup>(5)</sup>.

**Análise de concorrentes:** Esta avaliação dos concorrentes é utilizada para tornar tangíveis os desejos colocados no Termo de Abertura do Projeto. Ponderar preços praticados pelos concorrentes, formas de demonstração e entrega do produto devem ser levantadas neste ponto, afim do projeto ter alguma vantagem competitiva perante o mercado pesquisado. Para o projeto do quadriciclo urbano executou-se a análise de preço com produtos semelhantes, dado ao caráter pioneiro de aplicação neste projeto<sup>(5)</sup>.

**Pesquisa com clientes em potencial:** A pesquisa com um potencial mercado pode ser feita por entrevista direta, enquanto não há protótipo funcional, utilizando-se um questionário mais lúdico, de forma a trabalhar com questões hipotéticas. Após a confecção de um protótipo as questões podem ser diretas e claras, sobre os requisitos de projeto, quanto à dirigibilidade do quadriciclo, por exemplo. O sigilo do projeto deve ser mantido na pesquisa com clientes em potencial, caso clientes externos ao projeto não possam testar para comprovar as pesquisas, o time de projetos deve testar o produto na posição de consumidor<sup>(5)</sup>.

**Estratégia de Vendas:** Uma estratégia de vendas deve ser pensada antes do início do desenho do produto, pois este requisito pode influenciar na embalagem, cor, manual de instrução, *design*, quantidades produtivas para o lançamento, margem de lucro, datas do cronograma entre outros itens<sup>(5)</sup>.

**Data de Lançamento:** Esta data de lançamento deve ser um desejo dos especialistas em vendas, principalmente se for um produto de venda sazonal. Esta data deve ser factível com todas as outras decisões e em concordância com o time de projetos<sup>(5)</sup>.

**Custo máximo de produção:** Após a análise do preço de mercado e de uma análise da margem desejada no produto, é definido o custo máximo de produção, isso permite ao patrocinador do projeto fazer promoções de lançamento com preços atrativos sem trabalhar com margem negativa<sup>(5)</sup>.

**Características funcionais do produto:** O documento completo do escopo deve conter requisitos detalhados de características funcionais do produto. Estas entradas devem ser oriundas das pesquisas com os clientes, análise da concorrência e todos os *insights* necessários para definir o produto mais adequado dentro dos objetivos do projeto. Aqui são definidos requisitos que afetam diretamente o cliente e que são argumentos de venda. Este também é o lugar para se colocar as restrições e os limites do produto, enquanto características de qualidade<sup>(5)</sup>.

**Características de segurança:** englobam as legislações em vigor para o produto, e estas, como as características funcionais, também servem como

argumento de venda e devem ser inspecionadas por um controle de qualidade fora do time de projeto, o que garante a idoneidade da decisão<sup>(5)</sup>.

**Características sustentáveis do produto:** Como o objetivo do projeto é um transporte urbano com viés sustentável, este item foi incluído no documento de escopo de forma a garantir o requisito de emissão zero e a menor emissão durante a manufatura do quadriciclo.

**Características organizadas segundo Kano:** A organização de características de um produto utilizando-se da metodologia de Kano melhora o desempenho em desenvolvimento e melhoria de produtos tornando o produto mais assertivo perante os olhos do consumidor, pois a organização baseia-se na caracterização das necessidades dos clientes. A pesquisa de Kano tem um formato com perguntas funcionais e disfuncionais com possíveis consumidores ou patrocinadores para avaliação de características. Desta forma norteia-se um projeto com os requisitos que se apresentem mais importantes segundo o cliente ou o patrocinador, classificando-as como<sup>(5)</sup>:

- Requisitos esperados ou obrigatórios – é aquilo que o cliente espera encontrar no produto, dificilmente melhoram a satisfação do cliente por conter a característica, mas se não a apresentar pode ter um efeito devastador na satisfação do consumidor.
- Requisitos explícitos ou de desempenho – são os que o cliente manifesta querer no produto e quanto mais o produto tem, mais aumenta a sua satisfação.
- Requisitos inesperados ou de encantamento – é o que o cliente não espera, talvez nem saiba que o produto ofereça, mas o surpreende positivamente.

## **2.2 REQUISITOS DE ENGENHARIA APÓS ANÁLISE MERCADOLÓGICA: ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO (EAP)**

A importância da análise dos requisitos mercadológicos pelo corpo técnico é dar subsídio suficiente aos patrocinadores para que eles tomem a decisão quanto a continuidade ou não do projeto. Este é o ponto em que os requisitos mercadológicos são estudados ao nível de prever se são factíveis ou não. Nesta etapa do projeto existe um estudo de viabilidade técnica de todos os requisitos colocados no escopo, sempre levando em consideração as variáveis de tempo limite para a entrega do projeto e verba máxima disponível<sup>(4)</sup> <sup>(6)</sup>.

Os limites mínimos e máximos aceitáveis dos requisitos colocados no escopo são negociados nesta fase de detalhamento e resposta ao escopo. “Criar a EAP é o processo de subdivisão das entregas e do trabalho do projeto em componentes menores e mais facilmente gerenciáveis”. A subdivisão de tarefas é feita nesta fase também, junto com o cronograma detalhado de tempo e de investimentos<sup>(6)</sup>.

Este ponto de tomada de decisão deve ser acompanhado por todos os envolvidos no projeto, inclusive o patrocinador, pois dificilmente todos os requisitos serão atendidos em sua plenitude dentro dos objetivos de tempo e de capital investido.

Ocorre então, uma negociação entre o corpo técnico, time que redige a EAP e os patrocinadores. Após o acordo redigido e firmado as ações são estruturadas de forma concreta e assertiva. Esta Estrutura Analítica de Projeto não pode ser alterada sem prévia autorização dos patrocinadores e toda alteração feita deve ser justificada e documentada<sup>(4)</sup> <sup>(6)</sup>.

As etapas do item Requisitos de projeto e EAP, são descritas a seguir<sup>(5)</sup> <sup>(8)</sup>.

**Custo máximo de fabricação:** compõe um dos principais itens a ser analisado do escopo. Deve ser feito o estudo do custo máximo de fabricação, utilizando técnicas de modelamento em CAD, orçamento de materiais, simulações de montagem e estimativas de tempo de montagem. A fim de atender os limites requeridos no escopo. Requisitos financeiros, técnicos e cronológicos<sup>(5)</sup> <sup>(8)</sup>.

**Estudo de Retorno Financeiro (ROI):** O estudo do retorno financeiro é o primeiro item a ser analisado pelos *stakeholders*. Aqui eles veem a resposta do tempo e do valor do lucro do investimento. Este estudo baseou-se na projeção de vendas anual do quadriciclo e na projeção da margem de lucro<sup>(5)</sup> <sup>(8)</sup>.

**Cronograma de Projetos e Entregas:** Neste momento construiu-se um cronograma detalhado, levando em considerações todas as etapas do projeto. Neste cronograma é possível verificar: se a data requerida no escopo e no termo de abertura é possível de ser atingida, quais etapas são críticas ou gargalo para a entrega com sucesso do projeto, e quanto é preciso ajustar a data de entrega do projeto ou a data de lançamento do produto. É importante fazer um cronograma pessimista, levando-se em consideração todos os riscos de atraso possíveis, e um otimista, no qual todos os prazos e realizações estão com seus menores tempos e sem qualquer retrabalho ou atraso<sup>(5)</sup> <sup>(8)</sup>.

**Atendimento aos Requisitos Mercadológicos:** O documento da EAP deve responder a todos os requerimentos do escopo. As respostas podem ser positivas ou negativas. Caso o ponto requerido no escopo tenha uma resposta positiva na EAP, deve-se apresentar a metodologia de como a solicitação será atendida. Por outro lado, quando não há uma maneira factível de atender ao requisito do escopo, deve-se dar uma alternativa viável ao ponto mercadológico solicitado<sup>(5)</sup> <sup>(8)</sup>.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão dispostos em acordo com a metodologia apresentada. Na Figura 1 se detendo nos pontos de “Escopo de Projeto” e “Requisitos de Engenharia”.

#### 3.1 ESCOPO DO PROJETO

O escopo de projeto é basicamente a materialização dos desejos do patrocinador, aliado a um trabalho fundamentado em pesquisa e conhecimentos técnicos. Esses anseios do patrocinador são pautados no escopo de projeto e checados suas possibilidades de execução nos Requisitos de Engenharia, Estrutura Analítica de Projeto – EAP

O escopo de projeto é dividido em várias áreas de conhecimento, pois deve

ambicionar abranger todo o planejamento para o produto<sup>(5)</sup>.

### **3.1.1 Posicionamento de Mercado**

Após busca por bicicletas customizadas com três ou quatro rodas, em empresas especializadas em montagens de bicicletas da região vale dos sinos, foi constatado que:

- Existem modelos de bicicletas com três rodas em lojas de venda de bicicletas, sendo a marca encontrada South Bike fabricante de bicicletas com um grande portfólio, mas não possui customização e nenhum quadriciclo em seu leque de opções.
- Dentre as lojas visitadas algumas indicam pessoas com conhecimento para construir veículos customizados com base em peças de bicicletas, mas não existe uma linha de produtos clara com ênfase na comercialização para a mobilidade urbana.
- Outro setor de mobilidade que tem crescido, segundo os proprietários das lojas visitadas, é o ramo de Food Bikes, bicicletas adaptadas para transporte e comercialização de comidas e bebidas, em eventos ou pontos itinerantes, seguindo a tendência dos Food Trucks.

Dado ao atual poder produtivo da empresa, levando em consideração as suas instalações e pessoas disponíveis, não é possível uma produção do tamanho da demanda. Pesquisas em sites de vendas de triciclos indicam saídas da ordem de 30 itens mensais. A capacidade produtiva mensal atual é de dois quadriciclos de linha, com o projeto já pronto e um quadriciclo com projeto especial. Esta estimativa é baseada no tempo de construção e projeto do protótipo, que somou um total de três semanas, adicionando a isto duas semanas de meio turno, de usinagem pelo mesmo capital humano disponível para montagem, projeto e compras.

Com a utilização de serviços de usinagem terceirizados, dado a melhor qualidade e a não acumulo de tarefas, o cronograma de execução tem a montagem e a usinagem como itens paralelos, ou até mesmo, peças usinadas viram itens de estoque, o que reduziu o tempo total de entrega do produto.

### **3.1.2 Análise de concorrentes**

Por este ser um produto que ainda não está estabelecido no mercado brasileiro não existem concorrentes formais com produtos similares. É esperado, que após o lançamento do quadriciclo não motorizado um enfrentamento por concorrentes autoproulsionados. Então, acredita-se que esta deve ser a linha de evolução do portfólio, veículos urbanos autoproulsionados com energia limpa. Mesmo que este seja um segmento que irá atingir um público com maior poder aquisitivo e perderá o

atrativo do cliente exercitar-se ao se deslocar, é uma evolução quase que natural para o portfólio.

Outra possibilidade de concorrência, levantada em pesquisa com potenciais clientes na fase de projeto, são os quadriciclos para passeios em parques, com fim recreativo, como exemplo os que estão disponíveis para locação no gasômetro aos finais de semana. Levando em conta esta possibilidade, algumas características diferencias devem estar presentes no projeto do quadriciclo alvo deste trabalho: leveza ao pedalar; fácil dirigibilidade; freios eficientes; velocidade de deslocamento compatível com o trânsito urbano; acessórios que auxiliem a dirigibilidade: velocímetro e luzes de identificação e posição ergonomicamente correta.

Em uma pesquisa por possíveis concorrentes, foi encontrada a empresa holandesa Berg que vende um produto com características semelhantes ao pensado neste projeto, contudo não é um concorrente em potencial dado ao valor do produto, fixado em US\$ 5.000,00 e por não o vender no mercado brasileiro<sup>(9)</sup>.

### **3.1.3 Pesquisa com potenciais clientes**

Foi realizada uma pesquisa utilizando a ferramenta Google Formulários, afim de identificar um possível nicho de mercado para o quadriciclo urbano, dentro de seu propósito, de atender curtos trechos de deslocamento, substituindo veículos movidos a combustão e proporcionando a prática segura de exercícios em meio ao trânsito.

Após a análise dos dados é possível concluir que existe um mercado possível do produto ser inserido, visto que 47,6% dos respondentes vão para seus empregos de carro; 30,8% se deslocam até de 5 km para chegar ao seu trabalho; 55,3% dos entrevistados se deslocam menos de 11 km para chegar ao seu trabalho; 75,6% das pessoas afirmam que gostariam de praticar exercícios durante sua ida e volta ao trabalho; e 82,5% das respostas demonstram um desejo das pessoas de utilizar veículos menos poluentes em seus deslocamentos diários.

Este comportamento mostra a inclinação do mercado à prática de exercícios físicos, além dos dados também indicarem uma proximidade das pessoas ao seu destino diário e o seu deslocamento com veículos autopropulsionados.

A não poluição do ambiente pelo quadriciclo também apresenta-se como um atrativo a sua penetração no mercado, já que a imensa maioria dos respondentes demonstram seu desejo de poluir menos durante o seu caminho até o trabalho.

### **3.1.4 Estratégia de Vendas**

A estratégia de vendas será pautada em sustentabilidade, com o foco na não utilização e conseqüente economia de combustíveis fósseis, e na saúde proveniente da prática de exercícios físicos. Mas o principal desafio da venda do quadriciclo urbano não motorizado será a inserção de um novo veículo dentro do contexto atual de trânsito, onde 75% dos acidentes tem como causa raiz o condutor do próprio veículo, dado a sua imprudência e desrespeito às leis de trânsito, principalmente limites de velocidade<sup>(10)</sup>.

Com a atual condição de trânsito que se enfrenta no país, onde em 2013 morreram 120 pessoas por dia, e mais de 500 ficaram feridas diariamente, é comum

a segurança no tráfego ser um fator importante perante uma decisão de compra. Contudo, como já constatado neste trabalho, a imensa maioria dos acidentes é dado pelo comportamento ou imprudência dos motoristas. Em uma situação hipotética, na qual o carro fosse uma exceção no trânsito e os quadriciclos autopropulsionados a maioria, é provável que estes números trágicos caíssem drasticamente, dada redução de velocidade imposta pelo próprio veículo de propulsão humana<sup>(10)</sup>.

O argumento de saúde, pode se estender ao uso do quadriciclo por pessoas com deficiências assistidas por tutores. Uma possibilidade de uso é a estimulação dos movimentos de portadores de Síndrome de Down pelo exemplo do movimento do tutor, já que para andar no quadriciclo não é necessário o aprendizado do equilíbrio sobre rodas.

Pessoas com certas dificuldades motoras, que precisam ser estimuladas, podem ter, neste tipo de veículo, um estímulo para a sua melhora ou simplesmente um divertimento. Como a utilização do quadriciclo por pessoas idosas.

Ainda dentro da estratégia de vendas, é preciso de um nome mais atrativo para o Quadriciclo Urbano Não Motorizado. E em rápida pesquisa com as pessoas envolvidas no projeto (devido ao sigilo do assunto só pessoas envolvidas foram consultadas) o nome acordado que foi mais atrativo é o de Bicicletão. Este nome remete a uma bicicleta, produto de conhecimento do senso comum e o fato da palavra estar no aumentativo remete a robustez. E por trás do conceito de robustez pode-se admitir mais alguns adjetivos, como segurança, rigidez, proteção, entre outros.

A estratégia de relacionamento com o cliente, para a venda do quadriciclo, dar-se-á por meio da internet, utilizando-se do site Facebook para relacionamentos e postagens mais frequentes, além de um site com domínio próprio, o que agrega credibilidade a marca. Uma loja física para demonstrações também é fator de grande valia para a venda, pois os testes no protótipo demonstraram grande satisfação dos usuários. Deste modo, é interessante que seja feito um estudo afim de utilizar salas alugadas para empresas modelos *startups* em universidades da região. Os quadriciclos devem ser fabricados em uma metalúrgica a ser instalada em local ainda não definido.

### **3.1.5 Custo máximo de Produção**

Foi estipulado um limite máximo produtivo com base em um preço final de venda e um lucro mínimo para que se mantenha a empresa saudável. O custo máximo inicial de produção foi locado somente quanto aos itens comprados, já que a mão de obra para fabricação seria própria. Custos como energia e alimentação foram retirados para fins de facilitar o apontamento inicial. Após o protótipo entrar em ritmo de produção deverá ser feito um novo estudo de custo para se precisar melhor o lucro líquido da venda sobre o produto.

Então para um protótipo funcional foi estipulado um limite de R\$2.000,00 para se gastar, com compras de peças de bicicletas e materiais de construção.

### **3.1.6 Características funcionais do produto**

Como característica mais importante este produto deve manter a posição de

dirigibilidade de um carro popular, com o objetivo de não o tornar um veículo onde o seu condutor fique com uma posição de visão prejudicada no trânsito. Estas posições devem ser próximas na altura dos olhos e no acento, a posição do mecanismo de direção, também, deve aproximar a posição do volante de um carro.

O quadriciclo deve ser leve, e principalmente, parecer leve ao usuário enquanto ele dirige, pedala e movimenta o volante. Em pesquisa de campo, com ciclistas, foi notória a preocupação de todos com o peso, inclusive esta era quase sempre a primeira pergunta: quanto pesa? Por isso a característica peso deve ser levada tanto a sério. Em pesquisas de campo também foram verificadas bicicletas com peso entre 7,5 kg e 15 kg, desta forma é lógico pensar que uma bicicleta para duas pessoas possa ter no máximo 30 kg, mesmo que quadriciclo vendidos fora do Brasil sejam mais pesados, aproximadamente 100 kg conforme a fabricante Berg.

O produto também deve passar confiança por utilizar um sistema de freios reconhecidamente bom pelo senso comum, a qualidade deve estar presente em todos os itens do quadriciclo. De maneira a demonstrar um alto valor agregado ao projeto. Sistemas de controle como velocímetro também devem ser considerados no protótipo. Para o transporte do quadriciclo ele deve contar com um adaptador para ser rebocado por um carro comum com engate de reboques padrão de 50 mm.

### **3.1.7 Características de segurança**

O sistema de freios deve ser altamente confiável, partindo do princípio que ele deve parar um conjunto bastante pesado de peças e mais duas pessoas, com possível bagagem, os freios a disco usados nas bicicletas atuais são bastante confiáveis além de terem uma característica de impacto visual quando apresentado ao cliente.

Um sistema de iluminação também deve estar disposto no veículo, para facilitar o seu tráfego noturno e sua fácil visualização durante o dia, pois não é um veículo comumente visto no trânsito.

### **3.1.8 Características sustentáveis**

O quadriciclo deve ter como base, em sua concepção, características sustentáveis, pois isto deve fazer parte de seu projeto mais íntimo, dada a sustentabilidade ser o seu maior argumento de venda junto com sua potencialidade para a prática de exercícios regulares.

Seguindo esta linha de pensamento, o primeiro quadriciclo não deve ter qualquer tipo de motor, deve contar somente com propulsão humana.

Após a construção do protótipo, foram verificados os custos de produção com energia e houve uma busca pela redução destes, com estudos entre gastos com soldas e uso de parafusos.

### **3.1.9 Características organizadas segundo Kano**

As características de um produto organizadas segundo Kano possibilitam a caracterização de medidas e tomadas de decisões no desenvolvimento e melhoria de produtos. Contudo, na contramão deste método Kahney<sup>(11)</sup> destaca algumas lições de Steve Jobs: Quando perguntado como faz as pesquisas de desenvolvimento de

produto com seus clientes ele responde que não faz pesquisas com clientes, pois “as pessoas não sabem o que querem até você mostrar a elas” e ainda faz uma analogia dizendo: “Se Henry Ford tivesse perguntado ao mercado o que eles queriam antes de inventar o modelo de carro Ford T, ele teria a resposta de que o mercado queria uma carroça com mais cavalos”<sup>(11)</sup>.

Aliando estas duas metodologias de trabalho, foram organizadas na Figura 2 as características mais relevantes do quadriciclo, que surgiram em conversas informais com pessoas do meio ciclístico, junto com os aspectos relevantes para os idealizadores do projeto. Desta forma será mesclado tanto o pensamento conservador de Kano quanto a ideia menos ortodoxa de Jobs. Assim foi criado um método de análise híbrido para a este produto.

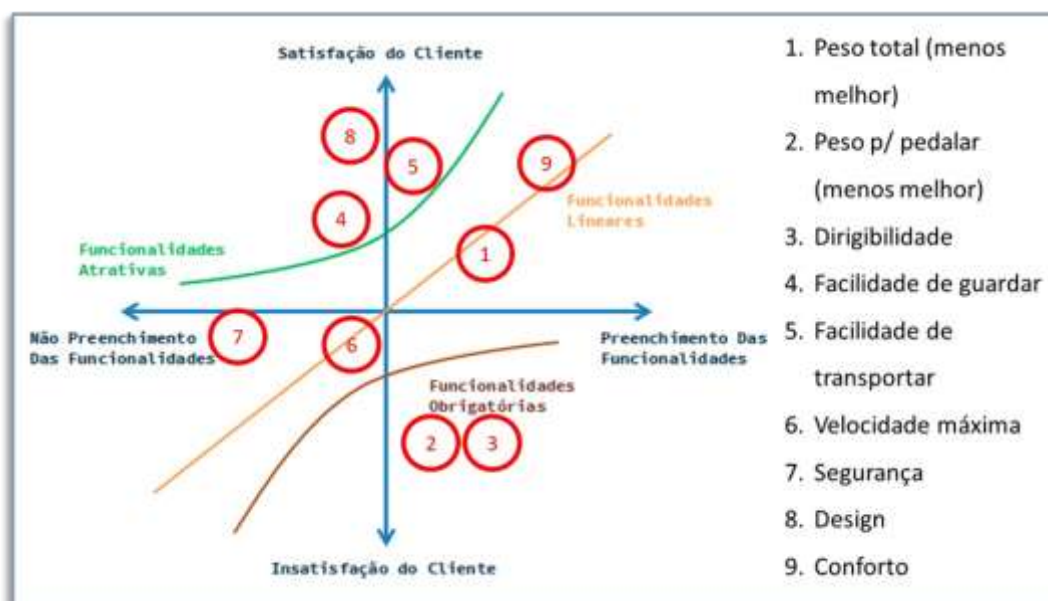


Figura 2 - Gráfico de Kano com características funcionais do quadriciclo

Retomando os pontos da classificação dos aspectos de produto segundo Kano, tem-se<sup>(12)</sup>:

- **Requisitos esperados ou obrigatórios** – A característica mais expressiva dos requisitos obrigatórios (2 e 3) é a não agregação de satisfação do cliente em frente ao produto, contudo o seu não atendimento, caso esteja à esquerda da linha de satisfação do cliente, causará, certamente, insatisfação do cliente e desistência de compra. No trabalho apresentado, o quadriciclo deve ter sensação de baixo peso ao pedalar e ser fácil de dirigir, estes são requisitos diretos para aprovação do protótipo. Leveza ao pedalar e boa dirigibilidade são as funções básicas a serem atendidas pelo produto, sem isto ele não deve ser qualificado como aprovado.



- **Requisitos explícitos ou de desempenho** – Habitam a parte central do gráfico, (1, 6, 7 e 9), e possuem um comportamento linear, sendo a satisfação do cliente proporcional a quantidade do item encontrado. As características com comportamento linear são, normalmente fatores de desempate, ou comparação entre um produto e outro, mas dificilmente são, sozinhas, responsáveis pela satisfação total do cliente perante o produto. Os pontos acima da linha horizontal do gráfico, que representa o preenchimento das funcionalidades ou grau de realização dela perante a percepção do cliente (1 e 9), são pontos que dificilmente ocasionarão uma insatisfação ao cliente, no caso analisado. Por outro lado, os pontos abaixo desta linha (6 e 7) podem ser responsáveis por insatisfação do cliente caso o produto não atenda de forma melhor estas características.
- **Requisitos inesperados ou de encantamento** – Características como, facilidade de armazenamento (4), facilidade de transportar (5) e design (8) não são preponderantes para a funcionalidade que o produto se propõe, e o cliente talvez nem espere que elas estejam presentes em seu processo de compra, contudo podem ser preponderantes para a decisão de compra quando há comparação com um produto similar. Se os itens de encantamento quando não estão em sua funcionalidade plena não são responsáveis por alguma insatisfação que o cliente tenha. Entretanto os atributos de encantamento migram ao longo do tempo para requisitos de desempenhos e posteriormente para requisitos obrigatórios. Exemplificando esta migração existe o case das câmeras fotográficas dos celulares que quando esta foi lançada no primeiro celular era uma característica de encantamento. Após todos os celulares compartilharem deste recurso, a câmera passou a ser um requisito de desempenho: quanto mais definição, melhor. E atualmente as câmeras de alta qualidade em celulares já são itens obrigatórios: caso o celular não possua uma câmera de alta resolução é motivo de insatisfação do cliente.

### **3.2 REQUISITOS DE ENGENHARIA, ESTRUTURA ANALÍTICA DE PROJETO – EAP**

Os requisitos de engenharia são a tradução dos desejos do patrocinador e das entradas de mercado, feitas no Escopo do Projeto, para itens palpáveis e mensuráveis. Desta forma, cria-se a Estrutura Analítica de Projetos (EAP), que é a

espinhal dorsal que deve ser seguida pelo corpo de projetistas e construtores do produto, todo requisito do Escopo de Projeto foi respondido no Requisito de Engenharia, deixando clara a forma como o requisito será atendido e as razões pelas quais outros não serão atendidos. Quando o problema de atendimento a um desejo é o conflito de atendimento a outro, deve-se ter uma revisão dos desejos de forma aos dois passos entrarem em acordo, por exemplo: é desejável que se gaste um valor máximo no projeto, contudo o projeto deve ter a mais alta tecnologia existente. Normalmente estes são dois itens não coexistem, limite baixo de gasto e tecnologia de ponta, nestes casos devem ser estabelecidos quais são os requisitos que podem ser flexíveis, se o gasto ou o emprego de tecnologia<sup>(4) (6)</sup>.

### 3.2.1 Custo máximo de fabricação

O custo máximo de fabricação do protótipo está descrito na Tabela 1, contudo o protótipo ainda requer melhorias de projeto e alteração em alguns processos de fabricação antes de se definir como o preço final de produção.

Tabela 1 - Itens comprados

<b>Itens comprados</b>	<b>Valor</b>
Peças de bicicletas	R\$ 1.494,80
Material metalúrgico	R\$ 337,30
Peças de máquinas	R\$ 147,33
Acentos e periféricos	R\$ 276,59
<b>Total comprados</b>	<b>R\$ 2.256,02</b>

Após a entrega deste primeiro protótipo, o próximo projeto deve sofrer uma alteração drástica no valor, pois pretende-se usar perfis de alumínio, já que a redução no peso do quadro seria da ordem de 60%. Assim ocasionar-se-á uma necessidade de revisão dos custos da manufatura.

### 3.2.2 Estudo de retorno Financeiro (ROI)

Para o estudo do Retorno Financeiro (ROI) foram montados cenários que levam em consideração a aquisição de um torno mecânico e sem a aquisição do mesmo maquinário, também foram feitas projeções considerando-se variações no volume de vendas, onde o máximo fora fixado no teto da capacidade produtiva da empresa. Desta forma denominam-se os 4 cenários montados para o estudo:

1. ROI com torno pessimista;
2. ROI com torno otimista;
3. ROI sem torno pessimista;
4. ROI sem torno otimista.

Feita a análise dos resultados das previsões determina-se que o caminho mais vantajoso a se seguir é onde não se investe em um torno, mesmo que isto faça com que a margem caia, dado ao aumento dos custos. Considerando-se que o ponto de

equilíbrio, ponto no qual as entradas se igualam as saídas e a partir deste momento começa-se a ter lucro, acontece antes nos cenários pessimistas e otimistas, comparativamente aos cenários que incluem a compra do torno.

Ponto de equilíbrio nos 4 cenários:

1. ROI com torno pessimista – Ponto Equilíbrio no início 4º ano;
2. ROI com torno otimista – Ponto Equilíbrio no meio 3º ano;
3. ROI sem torno pessimista – Ponto Equilíbrio no início 2º ano;
4. ROI sem torno otimista – Ponto Equilíbrio no final 1º ano.

No entanto, o impacto na margem do produto é visível sem a aquisição de um torno mecânico:

1. ROI com torno pessimista – margem igual a 17,5%;
2. ROI com torno otimista – margem igual a 15%;
3. ROI sem torno pessimista – margem igual a 12,5%;
4. ROI sem torno otimista – margem igual a 10%.

### 3.2.3 Cronograma de projeto

O projeto está descrito em pontos macros no cronograma da Figura 2 com suas respectivas datas programadas e de execução até o momento da entrega do trabalho. O cronograma é um documento vivo do projeto, que pode ser alterado em qualquer momento durante sua execução, além de suas datas serem também completadas conforme o andamento das fases. Para fins de organização o PMBOK recomenda que o cronograma seja um documento controlado com suas revisões, contudo não exige isto, já que os marcos principais do projeto estão descritos no Termo de Abertura<sup>(8)</sup>.

### 3.2.4 Atendimento aos Requisitos Mercadológicos

Junto com a explicitação dos requisitos apresentados no documento Escopo de Projeto, estão descritas as providências do projeto de engenharia para atender às características esperadas.

- **Leveza ao pedalar** – o projeto contemplou um sistema de marchas, semelhante ao usado tradicionalmente em bicicletas. Outro mecanismo que reduz a força aplicada nos pedais é um sistema de cubo com rolamentos, o que aumenta o aproveitamento da força nos pedais por ser um sistema com menor atrito do que os tradicionalmente usados com colar de esfera. E a posição sentada, ao invés de montada, como em uma bicicleta comum, traz mais conforto à pedalada.
- **Fácil dirigibilidade** – a dirigibilidade é conferida por um sistema de alavancas que permite, com um movimento de aproximadamente 45° para cada lado do guidão, executar facilmente as manobras das rodas dianteiras. Esse jogo de

alavancas foi construído em material leve com uniões de precisão, utilizando-se de terminais rotulares de primeira linha com folgas imperceptíveis. Uma inclinação no guidão também tornou a sensação de dirigir mais fácil, já que o ângulo de rotação é o mesmo do volante de um carro popular.

- **Freios eficientes** – no protótipo foram instalados freios a disco de alto desempenho nas duas rodas dianteiras, dado a eficiência de parada ser maior quando a frenagem é feita pelas rodas dianteiras, devido ao fenômeno de transferência dinâmica de peso. Como o tempo hábil para a apresentação do protótipo foi curto, não foi executado um divisor de freio para as quatro rodas, já que foram instaladas somente duas alavancas de acionamento, logo estas alavancas são as responsáveis somente pela frenagem frontal, sendo uma em cada roda dianteira. Os freios a disco foram projetados nas quatro rodas nos produtos de linha.
- **Velocidade de deslocamento compatível com o trânsito** – Segundo o código de trânsito Brasileiro, vias locais e vias coletoras tem seus limites de velocidades fixados em 30km/h e 40km/h, respectivamente. A velocidade média no trânsito da capital gaúcha é 25 km/h. Já um estudo feito com ônibus de transporte de passageiros mostrou que a média de velocidade de seus deslocamento era de 18,3km/h, em 2015 na cidade de São Paulo, mesmo em suas vias exclusivas. Então uma velocidade média de 20km/h do quadriciclo atende aos requisitos mínimos de tráfego em vias coletoras e mantém 80% da média de deslocamento urbano em Porto Alegre. Para que o quadriciclo atinja, e se mantenha em tal velocidade, foram montadas transmissões com marchas especiais para alta velocidade, rodas de tração com aro de 26 polegadas, maiores que as encontradas nos quadriciclos pesquisados, e pneus com desenho para velocidade, conhecidos como pneu slick(13) (14).
- **Acessórios de que auxiliem a dirigibilidade** – foram dispostas duas lanternas próprias para bicicletas na frente do veículo, retrovisores, pisca indicador de conversão, luzes de acionamento freio, sinaleira traseira e buzina.
- **Posição ergonomicamente correta** – este quadriciclo tem sua posição de pedais e bancos projetados conforme bicicletas ergométricas horizontais, posição de guidão conforme posição de volante de carros populares e freios e trocadores posicionados conforme em bicicletas tradicionais, próximos à mão.

- **Peso máximo de 30kg** – este requisito de peso máximo não foi atingido, pois foi necessário manter o custo de produção máximo de R\$2.000,00 em materiais comprados e atender o prazo de entrega e apresentação do protótipo. Para uma otimização do peso foi utilizado um quadro de tubo retangular de aço com a menor espessura de parede possível dentro dos limites de resistência mecânica e possibilidades de solda, o peso ficou próximo dos 70kg.
- **Sistema de reboque** – foi projetado um sistema de reboque para adaptar no quadriciclo e poder transportá-lo de forma segura e confortável.
- **Sistemas de controle** – foi instalado um velocímetro que permite ter acesso a velocidade instantânea, média e máximas do trecho.
- **Carregamento de bagagem** – o veículo foi projetado de forma a ter um cesto bastante espaçoso para bagagens a serem carregadas na parte traseira do veículo.
- **Facilidade de guardar** – por não ser um veículo pequeno como uma bicicleta, é requerido um maior espaço para o seu estacionamento. Para projetos futuros deverá ser estudado uma forma de desmontagem rápida para sua redução no espaço de armazenamento.
- **Conforto** – foram utilizadas cadeiras estofadas para os acentos, além da posição requerida para se pedalar ser igual a posição de bicicletas ergométricas horizontais, que são mais ergonômicas do que bicicletas de posição montadas ou verticais. A altura dos olhos também foi aproximada a de uma pessoa em um carro popular, tornando, assim, a visibilidade semelhante a estes.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo atingido o objetivo principal deste trabalho, o projeto de um veículo alternativo aos carros, que tenha emissão zero e ainda possibilite a prática segura de exercícios físicos durante o cotidiano das pessoas, faz-se o fechamento do projeto com sucesso.

O protótipo funcional fora projetado dentro dos procedimentos de DfM e DfA, o que conferiu e possibilitou a construção do quadriciclo urbano não motorizado dentro dos prazos máximos estipulados e dentro das tolerâncias de custos. O uso de requisitos de projeto e pesquisas com clientes, obedecendo aos processos de gerenciamento de projeto do PMI, direcionou o projeto ao atendimento das expectativas de todos os interessados no produto, uma vez que seus desejos estavam

claros em forma de requisitos funcionais, garantindo a satisfação e o prazer de guiar o quadriciclo.

A metodologia do PMI, que foi seguida por este trabalho, proporcionou uma garantia de atendimento de requisitos comuns a potenciais clientes e o preenchimento de uma lacuna em um mercado que está sem fortes representações atualmente, constatações feitas por pesquisas de campo e comprovadas durante a confecção deste trabalho. Isto pode ser comprovado com o fato de, mesmo com pouca divulgação e o protótipo ainda em testes, foram solicitados dois orçamentos para a construção de veículos.

Para quem segue a metodologia de gerenciamento de projeto do PMI, o gerenciamento de custos é fator fundamental para análise de sucesso ou insucesso do projeto, esta análise financeira dá uma previsão do retorno monetário do investimento, que aplicada ao presente projeto ficou clara a possibilidade de retorno financeiro para este produto.

Ainda dentro do propósito deste trabalho, existe um desejo de melhora da qualidade de vida da população, sendo esta dada pela prática de exercícios físicos regularmente, e com segurança, e pela redução da poluição causada pelos carros. Com isto o quadriciclo urbano não motorizado, chamado de Bicicletão, tem uma finalidade nobre e sustentável de melhorar a vida das pessoas, o que pode acontecer com o seu uso cotidiano pela população.

## REFERÊNCIAS

1. Site Curiosidades. **11 curiosidades sobre carros e poluição.** [on line]. Disponível em: <<http://www.sitedecuriosidades.com/curiosidade/11-curiosidades-sobre-carros-e-poluicao.html>>. Acesso em: 21/03/17.
2. G1. **Carros são responsáveis por 90% da poluição do ar em São Paulo.** Jornal Nacional, São Paulo, 04 abr. 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2011/04/carros-sao-responsaveis-por-90-da-poluicao-do-ar-em-sao-paulo.html>> Acesso em: 21/03/17
3. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Infográficos: frota municipal de veículos.** Brasil, 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/frota.php>> Acessado em 07/07/2017.
4. Project Management Institute (PMI). **Sobre o PMI.** Brasil. 2017. Disponível em: <<https://brasil.pmi.org/brazil/AboutUS.aspx>>. Acessado em: 18/05/2017
5. Project Management Institute (PMI), Inc. **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK)** Brasil : Saraiva, 2013.
6. SOTILE, M. **Capacitação em Gerenciamento de Projetos** Brasil: PM tech, 2016.
7. MORIOKA, Sandra Naomi. **Análise de fatores críticos de sucesso de projetos em uma empresa de varejo.** 2010. 110 p. (Trabalho de Conclusão de Curso)

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção. São Paulo.

8. Project Management Institute (PMI). **Sobre o PMI**. Brasil. Disponível em: <<https://brasil.pmi.org/brazil/AboutUS.aspx>>. Acessado em: 18/05/2017
9. HAMMACHER, S. **The Touring Quadracycle**. New York. Disponível em: <<http://www.hammacher.com/Product/11968?promo=search&cmp=cel&trigger=ac&query=quad>>. Acessado em: 09/06/2017
10. Companhia de Engenharia de Transporte de São Paulo (CETSP) **Rodízio municipal como funciona**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/consultas/rodizio-municipal/como-funciona.aspx>>. Acessado em: 25/03/2017
11. KAHNEY, L. **A cabeça de Steve Jobs**. Brasil: Agir, 2009
12. ROOS, C.; Sartori, S.; Godoy, L. Modelo de Kano para a identificação de Atributos capazes de supercar as expectativas do cliente. **Revista Produção on Line, Associação Brasileira de Produção – ABEPRO**, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2009, Brasil.
13. AFFONSO, N. S. Automóveis e sustentabilidade. **Desafios do Desenvolvimento**, Brasil, Edição 53, ano 6, 3 ago. 2009. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1049:catid=28&Itemid=23](http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=1049:catid=28&Itemid=23)> Acesso em: 21/03/17
14. Portal do Trânsito Brasileiro. **Acidentes – causas**. [on line] Brasil. Disponível em: <[http://transitobr.com.br/index2.php?id\\_conteudo=8](http://transitobr.com.br/index2.php?id_conteudo=8)>. Acessado em: 09/06/2017

## EFEITOS DOS PARÂMETROS DO PROCESSO SOBRE O DIMENSIONAL DA PEÇA: ANÁLISE DE VARIAÇÕES CONFORME TOLERÂNCIA ESPECIFICADA

Reichert, F. A.<sup>1</sup>  
Coelho, M. V. F.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bacharelado em Engenharia Mecânica, Felipe Augusto Reichert, Instituto Federal Sul-Rio-grandense – Campus Sapucaia do Sul, far91@outlook.com.

<sup>2</sup> Professor Mestre em Engenharia, Marcus Vinicius Farret Coelho, Instituto Federal Sul-Rio-grandense – Campus Sapucaia do Sul, mvinicius@sapucaia.ifsul.edu.br.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo

Durante o processo de injeção de termoplásticos podem ocorrer muitas variações nas peças, que normalmente são causadas devido a variações na máquina ou na matéria-prima. Estas variações muitas vezes causam problemas de qualidade, principalmente na aparência das peças, então para eliminar estes problemas, existem algumas variáveis que podem ser controladas, que em geral são tempos, pressões, temperaturas e velocidades. Porém, alterações nestes parâmetros de processo devem ser controladas e para tanto, foram definidas tolerâncias afim de que sejam limitadas as magnitudes das alterações. O problema é que estas tolerâncias foram definidas de forma empírica e sem um estudo aprofundado. Então no presente trabalho buscou-se avaliar se variações nos limites mínimos e máximos de alguns dos principais parâmetros de processo poderiam causar alterações significativas no dimensional das peças. Para isto, foi escolhida uma peça com maior criticidade em relação a problemas dimensionais e a mesma foi injetada com algumas variações nos parâmetros do processo, alterando-os para os limites mínimos e máximos. Após as análises dimensionais das amostras foram realizados estudos de análise de variância para verificar se ocorreram alterações significativas nas dimensões das peças injetadas com diferentes parâmetros de processo. Os resultados das análises mostraram que alguns parâmetros afetam significativamente o dimensional da peça e deveriam ter sua tolerância de processo reduzida, enquanto outros parâmetros não afetavam de forma tão significativa as dimensões da peça, podendo ter sua tolerância de processo aumentada.

**Palavras-chave:** injeção, tolerância de processo, parâmetros de processo, contração.



## EFFECTS OF PARAMETERS OF THE PROCESS ON THE PART DIMENSIONAL: ANALYSIS OF CHANGES AS SPECIFIED TOLERANCE

### Abstract

During thermoplastic injection process many variations may occur in parts that are ordinarily caused due to variations in the machine or raw material. These variations often cause quality problems, especially in the appearance of parts, then to eliminate these problems, there are some variables that can be controlled, which are generally times, pressures, temperatures and speeds. However, changes in these process parameters must be controlled and, in order to control the magnitude of these changes, tolerances of the process have been defined. The problem is that these tolerances were defined empirically and without a thorough study. So in this study we sought to evaluate whether changes in the minimum and maximum limits of some of the main process parameters could cause significant changes in the dimensional of the parts. For this, a piece with greater criticality in relation to dimensional problems was chosen and it has been injected with some variations in process parameters by changing them to the minimum and maximum limits. After the dimensional analyzes of the samples, a variance analysis studies were performed to see if there were significant changes in the dimensions of molded parts with different process parameters. The results of the analysis showed that some parameters significantly affect the dimensional of the parts and should have reduced process tolerance, while other parameters did not affect so significantly the dimensions of the piece and may have increased the process tolerance.

**Key words:** injection, process tolerance, process parameters, shrinkage.

## 1 INTRODUÇÃO

Por meio do processamento de polímeros podem ser desenvolvidos vários produtos para inúmeras aplicações, porém nem todos os materiais processados se tornam um produto para uso comercial. A razão para esta quantidade de materiais inutilizáveis é a inabilidade da manutenção da produção de qualidade, geralmente devido a ignorar o processamento de polímeros sem os devidos cuidados. Assim como estes problemas afetam a produtividade eles também afetam o resultado econômico e a qualidade do produto (SHENOY e SAINI, 1996).

No processo de injeção podem ocorrer muitas variações. Estas variações podem estar associadas a variações na matéria-prima e na máquina injetora, sendo que variações da máquina estão associadas, basicamente, as alterações decorrentes das condições ambientais que afetam características do equipamento, como temperaturas e viscosidade do óleo. Para adequar o processo as variáveis que ocorrem, existem algumas variáveis de processo que podem ser controladas. De modo geral estas variáveis são tempos, pressões, temperaturas e velocidades (HARADA e UEKI, 2012).

Devido a estas variações, é comum ocorrerem ajustes no processo de injeção a fim de eliminar defeitos no produto, principalmente visuais, que ocorrem durante as produções. Porém estes ajustes devem ser controlados, pois os parâmetros de processo são previamente definidos por profissionais especializados e as peças são testadas e aprovadas em laboratórios dimensionais e físicos. Então, para este controle e para atender as normas de qualidade, são aplicadas tolerâncias nas variações permitidas dos parâmetros de processo. A questão é que estas tolerâncias

foram definidas, na indústria que será analisada, de forma empírica e sem um estudo aprofundado, então espera-se com este estudo avaliar se variações, dentro da tolerância, em diferentes parâmetros de processo podem causar alterações dimensionais significativas no produto.

O objetivo geral da pesquisa será avaliar se a tolerância de processo está adequada aos principais parâmetros de injeção, de forma que as variações dos parâmetros realizadas dentro do campo de tolerância não alterem significativamente as características dimensionais de um determinado produto.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

A metodologia utilizada neste estudo consistirá em uma pesquisa bibliográfica e após um estudo de caso. Estudos de caso, segundo Prodanov e Freitas (2013, p. 60), consistem em “coletar e analisar informações sobre determinado indivíduo, uma família um grupo ou uma comunidade, a fim de estudar aspectos variados de sua vida, de acordo com o assunto de pesquisa.” Ele pode ser entendido como uma categoria de investigação, com a finalidade de uma análise mais aprofundada (PRODANOV e FREITAS, 2013). Os estudos de caso contribuem de forma inigualável na compreensão de diversos fenômenos individuais, organizacionais, social e políticos (YIN, 2001).

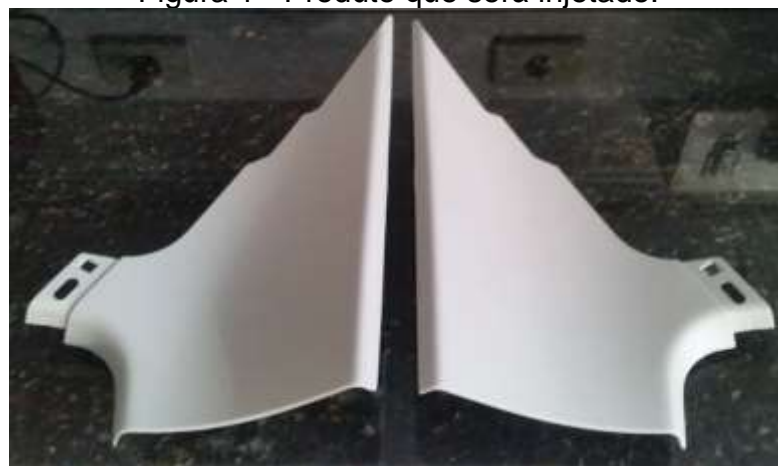
### **2.1 Análise Bibliográfica**

A análise bibliográfica será realizada com base no referencial teórico. O objetivo desta análise será a definição dos parâmetros de injeção que mais influenciam nas dimensões do produto após a injeção, como contração.

### **2.2 Injeção das amostras com alterações nos parâmetros**

Dentre as muitas peças plásticas injetadas pela empresa, existem algumas que geram um maior índice de problemas dimensionais. O produto escolhido para realização da injeção das amostras é um destes produtos com alto índice de problemas dimensionais. Este produto é uma peça destinada a montagem de um automóvel e portanto é composto por dois lados, que são exatamente iguais porém um lado é espelho do outro, como visualizado na Figura 1.

Figura 1 - Produto que será injetado.



As amostras serão injetadas na empresa onde será realizado este estudo e a empresa disponibilizara uma injetora da marca MIR, dimensionada para atingir uma força de fechamento de até 830 toneladas. A injetora possui como acessório uma unidade de água gelada com controlador térmico digital, para realizar o resfriamento do molde. O molde de injeção possui duas cavidades, uma para injetar a peça lado esquerdo e a outra para injetar a peça lado direito. A cavidade foi fabricada conforme características necessárias para atingir as dimensões nominais do produto após a contração. A matéria-prima necessária para a injeção das amostras será o polipropileno.

A injeção de todas as amostras será realizada em sequência, para evitar que ocorram alterações devido as condições ambientais. Serão realizados 15 ciclos de injeção para cada parâmetro alterado, gerando um total de 30 amostras para cada parâmetro. O primeiro parâmetro de injeção será com a condição do processo sem nenhuma alteração e após isto serão realizadas alterações nos parâmetros de injeção, variando os valores dos parâmetros nas condições máximas e mínimas definidas pela tolerância da ficha técnica dos parâmetros.

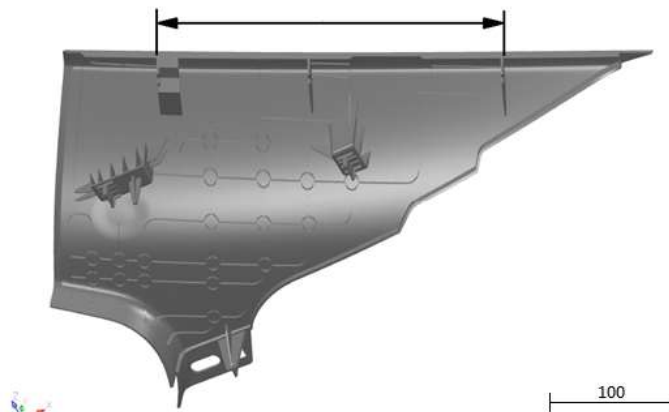
Após a injeção as peças serão acomodadas em prateleiras, de forma que não haja nenhum contato entre as amostras, para que as mesmas não sofram influências ou deformações devido as condições de acomodação. As peças ficarão nestas condições por um período de, no mínimo, 72 horas, que é o período máximo em que as peças poderão sofrer contração, conforme definição do fabricante da matéria prima.

### 2.3 Aferição das amostras

Após as peças atingirem o tempo máximo de contração, de 72 horas, as mesmas serão aferidas. A aferição será realizada em ambiente de laboratório com temperatura controlada de 20°C, localizado na empresa onde será realizado este estudo.

O método de aferição será através da medição da contração linear, que será realizada na região traseira da peça, no sentido do fluxo, e aonde a peça possui maior comprimento, como pode ser visto na Figura 2. Está será realizada com auxílio de um paquímetro digital com capacidade de 300 mm, calibrado.

Figura 2 - Local do produto onde será realizada a medição de contração linear.



## 2.4 Análise Estatística

A análise estatística dos dados será realizada primeiramente através do método ANOVA de um critério e após, a análise será complementada pelo teste de Tukey para comparação das médias. Estes métodos serão calculados pelo software Minitab, que é um software voltado para cálculos estatísticos.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão descritos e discutidos os resultados obtidos durante o desenvolvimento do estudo, conforme etapas da metodologia. Os resultados serão apresentados em subtítulos de forma a abranger todas as etapas da metodologia.

### 3.1 Definição dos Parâmetros de injeção

A primeira etapa da metodologia foi a realização de uma análise bibliográfica para definição dos parâmetros de injeção que seriam alterados, com o objetivo de alterar apenas os parâmetros que possuem maior influência no dimensional da peça. Devido à grande quantidade de parâmetros e variedade de efeitos que podem causar na peça, foi realizado o agrupamento dos dados conforme mostrado na Tabela 1, onde na primeira linha estão listados as principais variáveis do processo de injeção e na primeira coluna estão indicados as principais efeitos ou problemas que as variações nos parâmetros podem causar no produto ou no equipamento, seja aumentando ou diminuindo a variável do parâmetro.

Tabela 1 - Relação entre variável do processo e efeito no produto ou equipamento.

VARIÁVEL DO PROCESSO EFEITO	Temp. de Proces.	Temp. do Molde	Pressão de Injeção	Pressão de Recalque	Rotação da Rosca	Contra-pressão	Velocidade de Injeção	Tempo de Recalque	Pressão de Fecham.	Tempo de Resf.
Varição na Contração	I	I	IP	I	NI	NI	NI	I	NI	I
Empenamento da peça	IP	I	IP	I	NI	NI	NI	I	NI	I
Degradação térmica do material	I	NI	NI	NI	I	I	I	NI	NI	NI
Rechupes	IP	IP	I	IP	NI	NI	NI	I	NI	NI
Injeção Incompleta	I	I	I	IP	NI	NI	I	NI	NI	NI
Linha de solda fraca	I	I	I	NI	NI	NI	IP	NI	NI	NI
Problema de Aparência	I	IP	I	NI	NI	NI	I	NI	NI	IP
Bolhas	NI	NI	I	NI	NI	I	NI	NI	NI	NI
Extração deficiente	I	I	IP	IP	NI	NI	NI	NI	NI	I
Rebarbas na Peça	I	I	IP	IP	NI	NI	IP	NI	I	NI
Tensões residuais	I	IP	NI	NI	NI	NI	NI	IP	NI	NI
Baixa cristalinidade	IP	I	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	IP
Danos ao equipamento	IP	NI	IP	NI	NI	NI	I	NI	I	NI

LEGENDA: I - Influencia IP - Influencia Parcialmente NI - Não Influencia ou Influencia pouco

A partir da análise da Tabela 1, verifica-se que os parâmetros que podem causar variações dimensionais na peça, como variação na contração, são a temperatura de processamento, a temperatura do molde, a pressão de injeção, a pressão de recalque, o tempo de recalque e a temperatura de processamento. Porém, além de influenciar no dimensional, estes parâmetros também influenciam

em outras características, que devem ser levadas em consideração para a escolha dos parâmetros a serem alterados. Devido a isto, destes seis parâmetros de processamento que podem alterar dimensionalmente o produto, optou-se por não realizar testes alterando os valores da temperatura de processamento e da pressão de injeção, pois alterações nestes parâmetros possuem um grande potencial de causar degradação térmica do material e principalmente devido ao fato de poderem causar danos ao equipamento ou molde.

### **3.2 Injeção e Aferição das amostras**

Com a máquina injetora em processo de produção normal iniciaram se os testes. Os testes foram realizados com 9 parâmetros diferentes em cinco etapas, conforme identificado na sequência:

- Etapa 1: injeção de peças sem alterações nos parâmetros, conforme definido na ficha técnica de processo. Nesta peça os parâmetros a serem analisados estavam em 4 bar para pressão de recalque, 2 segundos para tempo de recalque, 25 segundos para tempo de resfriamento e 25 °C para temperatura do molde;
- Etapa 2: injeção de peças com alteração no tempo de resfriamento. A ficha técnica definia uma tolerância de  $\pm 10\%$  para este parâmetro, podendo variar de 22,5 a 27,5 s. Durante a injeção das amostras verificou que o software da injetora possuía uma resolução de 1 segundo para este parâmetro. Devido a esta limitação, optou-se por realizar os testes aumentando a tolerância para o próximo valor possível, então foram injetadas peças com o tempo de resfriamento de 22 e 28 segundos, aplicando-se assim uma tolerância de  $\pm 12\%$ ;
- Etapa 3: injeção de peças com a alteração na pressão de recalque. A ficha técnica permitia também uma variação de  $\pm 10\%$  para este parâmetro, podendo variar de 3,6 a 4,4 bar. Novamente verificou-se uma limitação do software na resolução deste parâmetro, pois o software permitia apenas variações com 0,5 bar de resolução. Devido a esta limitação, optou-se por realizar os testes aumentando a tolerância para o próximo valor possível, então foram injetadas peças com a pressão de recalque de 3,5 e 4,5 bar, aplicando-se assim uma tolerância de  $\pm 12,5\%$ ;
- Etapa 4: injeção de peças com alteração no tempo de recalque. A ficha técnica permitia também uma variação de  $\pm 10\%$  para este parâmetro, podendo variar de 1,8 a 2,2 segundos, então foram injetadas amostras com estes parâmetros;
- Etapa 5: injeção de peças com alteração no tempo de resfriamento. A ficha técnica permitia uma variação de  $\pm 10$  °C neste parâmetro, podendo variar de 15 a 35 °C, então foram injetadas amostras com estes parâmetros.

Após a injeção das amostras obteve-se um total de 270 amostras, sendo 135 do lado direito e 135 do lado esquerdo. Estas amostras foram acomodadas de forma que não sofressem alterações dimensionais devido a embalagem e ficaram desta forma durante 7 dias. Após isto elas foram aferidas em um laboratório com temperatura controlada de 20°C, conforme definido na metodologia.

### 3.3 Resultados estatísticos

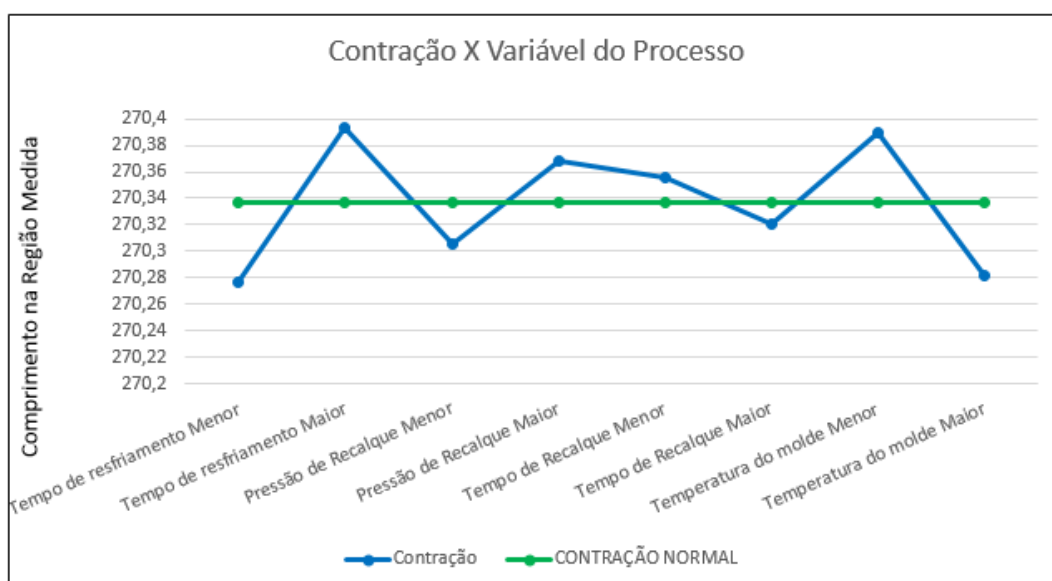
Após a medição das amostras, os dados foram lançados em uma planilha, e então foram calculadas as médias de todas as alterações. Pela análise prévia das médias, verificou-se que haviam diferenças dimensionais entre a peça lado direito e a peça lado esquerdo. Devido ao fato de as duas peças serem injetadas durante o mesmo ciclo, estas diferenças não são causadas pelo processo e podem ser atribuídas a variações entre as duas cavidades do molde, que, conforme relatado por Pötch e Michaeli (2008), podem não ser apenas na geometria da cavidade mas também nos canais de distribuição ou no sistema de resfriamento, pois estes afetam também a qualidade do produto.

Na Tabela 2 são apresentadas as médias da contração entre as duas peças para cada variável do processo alterada, e a Figura 8 apresenta um gráfico de linhas que mostra a distribuição destas médias em relação à média da peça normal, sem alteração nos parâmetros definidos em ficha técnica.

Tabela 2 – Tabela das médias da contração em relação a variável do processo.

VARIÁVEL DO PROCESSO	MÉDIA CONTRAÇÃO (mm)
Normal	270,336
Tempo de resfriamento Menor	270,276
Tempo de resfriamento Maior	270,393
Pressão de Recalque Menor	270,306
Pressão de Recalque Maior	270,368
Tempo de Recalque Menor	270,356
Tempo de Recalque Maior	270,321
Temperatura do molde Menor	270,389
Temperatura do molde Maior	270,281

Figura 3 – Gráfico comparativo entre contração em relação a variável do processo alterada e a média das peças sem alteração no processo.



Através da análise dos dados da Tabela 2 e do gráfico da Figura 3, verifica-se que houve comportamentos diferentes da contração para cada parâmetro de processo alterado.

Para o tempo de resfriamento menor a peça apresentou uma maior contração e o contrário aconteceu para testes com tempo de resfriamento maior.

Os testes com alterações na pressão de recalque mostraram que para maiores pressões de recalque, menor é a contração da peça e o contrário acontece para testes com pressão de recalque menor. Segundo Harada e Ueki (2012) para maiores pressões de recalque menor será a contração, conforme resultados deste teste.

Os testes com alterações no tempo de recalque apresentaram as mesmas tendências dos testes com alteração nas pressões de recalque, comprovando a relação existente entre estas duas variáveis, conforme citado por Harada e Ueki (2012), porém as variações apresentaram uma magnitude menor do que as causadas por alterações na pressão de recalque.

Os testes com variações na temperatura do molde mostraram que para menores temperaturas do molde ocorre uma menor contração do produto. O contrário ocorreu para maiores temperaturas do molde. Estas variações dimensionais podem ser atribuídas as variações na cristalinidade da estrutura do produto, pois conforme citado por Harada e Ueki (2012), quando ocorre um aumento da temperatura do molde a cristalinidade do produto aumenta, e conforme apresentado por Erhard (2006), quando a cristalinidade aumenta, ocorre um aumento da contração do produto, devido ao aumento da densidade da massa polimérica nas regiões mais cristalinas.

Após a análise das médias de cada variável alterada e comprovação de que houve variações entre estas médias, procurou-se saber se estas variações podem ser consideradas significativas. Para isto foram realizados estudos de ANOVA de um critério, em relação a contração das peças lado direito e lado esquerdo, com auxílio do software Minitab. Para este estudo foi utilizado o nível de significância mais usual, que é de 0,05. Os resultados destas duas análises estão expostos na Tabela 3 e na Tabela 4.

Tabela 3: Análise de variância para a contração da peça lado direito.

**One-way ANOVA: CONTRAÇÃO LD versus TESTE**

Method

Null hypothesis All means are equal  
Alternative hypothesis At least one mean is different  
Significance level  $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TESTE	8	0,2192	0,027395	25,27	0,000
Error	126	0,1366	0,001084		
Total	134	0,3558			

Tabela 4: Análise de variância para a contração da peça lado esquerdo.

### One-way ANOVA: CONTRAÇÃO LE versus TESTE

Method

Null hypothesis All means are equal  
Alternative hypothesis At least one mean is different  
Significance level  $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TESTE	8	0,2489	0,031117	26,16	0,000
Error	126	0,1499	0,001189		
Total	134	0,3988			

Comparando estes valores com 1,94, que é o valor de F crítico obtido através da Tabela de valores críticos de F para um nível de significância de 0,05, obtida de Freund (2006), utilizando 8 como graus de liberdade do numerador e 126 como graus de liberdade do denominador, verificamos que o valor F obtido em ambas as análises de variâncias é maior do que o valor de F crítico. Através disto podemos concluir que ao menos um dos testes afeta significativamente a contração da peça quando os parâmetros são alterados para o seu valor mínimo ou máximo da tolerância especificada.

Para verificar qual dos parâmetros que possui maior nível de significância nas variações dimensionais da contração ocorridas no produto foi realizado o teste comparativo de Tukey, conforme Tabela 5 para as peças do lado direito e Tabela 6 para as peças do lado esquerdo.

Neste teste o software classifica as médias em grupos identificados por letras. As médias que compartilham os mesmos grupos possuem um grau de similaridade maior entre si, do que as médias que não compartilham do mesmo grupo.

Tabela 5: Teste comparativo de Tukey para a contração das peças do lado direito.

#### Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

TESTE	N	Mean	Grouping
TEMPO RESF. MAIOR	15	270,290	A
TEMPERATURA DO MOLDE MENOR	15	270,281	A B
PRESSÃO DE RECALQUE MAIOR	15	270,273	A B
TEMPO DE RECALQUE MENOR	15	270,244	B C
NORMAL	15	270,244	B C
TEMPO DE RECALQUE MAIOR	15	270,221	C
PRESSÃO DE RECALQUE MENOR	15	270,209	C D
TEMPO RESF. MENOR	15	270,180	D
TEMPERATURA DO MOLDE MAIOR	15	270,172	D

Means that do not share a letter are significantly different.

Tabela 6: Teste comparativo de Tukey para a contração das peças do lado esquerdo.



### Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

TESTE	N	Mean	Grouping
TEMPERATURA DO MOLDE MENOR	15	270,497	A
TEMPO RESF. MAIOR	15	270,496	A
TEMPO DE RECALQUE MENOR	15	270,467	A B
PRESSÃO DE RECALQUE MAIOR	15	270,463	A B
NORMAL	15	270,429	B C
TEMPO DE RECALQUE MAIOR	15	270,421	C
PRESSÃO DE RECALQUE MENOR	15	270,403	C D
TEMPERATURA DO MOLDE MAIOR	15	270,391	C D
TEMPO RESF. MENOR	15	270,372	D

Means that do not share a letter are significantly different.

Pelo análise dos resultados através do teste de Tukey pode-se verificar que nos testes com temperaturas do molde e tempo de resfriamento alteradas para os valores mínimos e máximos permitidos pela tolerância de processo houve uma menor similaridade dos resultados com os resultados dimensionais das peças com processo normal, pois os resultados destes parâmetros não compartilham das mesmas letras de grupos dimensionais que possui os resultados dos testes com parâmetros normais. Para o tempo de recalque e pressão de recalque as médias também foram classificadas em grupos diferentes, mas com maior similaridade dos resultados em relação a peça normal.

## 4 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho era verificar se as alterações nos parâmetros de processo que ocorrem dentro da tolerância especificada iriam afetar de maneira significativa o dimensional das peças. Após análise dos resultados pode-se concluir que alguns parâmetros de processo quando alterados na condição mínima ou máxima de sua tolerância afetam significativamente o dimensional das peças.

Conforme resultados, a contração é afetada de forma significativa por alterações na temperaturas do molde e tempo de resfriamento. Diante deste fator é fundamental que ocorra uma redução na tolerância do processo. Porém, para o parâmetro de tempo de resfriamento, inicialmente foi aplicada uma tolerância maior de processo devido a limitações do software do equipamento. Pela análise das médias pode-se indicar que este aumento na tolerância não possui um grande nível de significância no resultado final, devido a maior magnitude da variação em relação a outros parâmetros. Porém é recomendado que seja incluído na ficha técnica uma informação que reforce o fato de que não podem ser realizadas alterações nos parâmetros caso a variação mínima permitida pelo software da máquina injetora seja maior do que a tolerância do processo.

Outro fator importante que pode ser verificado a partir das análise estatísticas é que não ocorreram alterações dimensionais significativas na contração quando foram realizadas alterações no tempo de recalque. Desta forma, seria possível aumentar a tolerância de processo deste parâmetro, permitindo assim uma janela de processo maior para os técnicos de processo.

Para o parâmetro pressão de recalque, houve pequenas variações dimensionais e foi julgada adequada a tolerância de processo.

Estes resultados comprovam a suspeita inicial, de que problemas dimensionais no produto pudessem estar sendo causados devido a alterações nos parâmetros de processo dentro da tolerância especificada. Assim sendo, a redução

da tolerância de processo irá também proporcionar uma maior garantia de qualidade do produto.

## REFERÊNCIAS

1. Erhard, G. (2006). *Designing with Plastics*. Munich: Hanser Publishers.
2. Freund, J. E. (2006). *Estatística Aplicada: economia, administração e contabilidade* (11ª Edição ed.). Bookman.
3. Harada, J., & Ueki, M. M. (2012). *Injeção de Termoplásticos: Produtividade com qualidade*. São Paulo: Artliber Editora.
4. Pötch, G., & Michaeli, W. (2008). *Injection Molding: An Introduction* (2ª Edição ed.). Munich: Hanser Publishers.
5. Prodanov, C. C., & Freitas, E. C. (2013). *Metodologia do Trabalho Científico: Método e Técnicas de Pesquisa e do Trabalho Acadêmico* (2ª Edição ed.). Novo Hamburgo - RS: Editora Feevale.
6. Shenoy, A., & Saini, D. (1996). *Thermoplastic melt rheology and processing* (1ª Edição ed.). New York.
7. Yin, R. (2001). *Estudo de Caso: Planejamento e Métodos* (2ª Edição ed.). Porto Alegre: Bookman.

# ANÁLISE DA PRESSÃO E VAZÃO DE UM VENTILADOR AXIAL E DETERMINAÇÃO DA MELHOR DISTÂNCIA PARA O CONFORTO TÉRMICO

Da Silva, R. M.<sup>1</sup>

Curi, E. I. M.<sup>2</sup>

Castro, R. de M.<sup>3</sup>

Da Silva, L. J.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Acadêmico de Engenharia Mecânica, Rodrigo Metzger da Silva, Laboratório de Vibrações e Tribologia LAVITRI (Faculdade SATC) – metzger.rodrigo@gmail.com.

<sup>2</sup> Dr. Eng. Elvys Mercado Curi, Laboratório de Vibrações e Tribologia – LAVITRI (Faculdade SATC) elvys.curi@satc.edu.br.

<sup>3</sup> MSc. Eng. Richard de Medeiros Castro, Laboratório de Automação e Simulação em Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos – LASPHI (Faculdade SATC) - richard.castro@satc.edu.br.

<sup>4</sup> Acadêmico de Engenharia Mecânica, Lucas Januário da Silva, Laboratório de Vibrações e Tribologia LAVITRI (Faculdade SATC) – lucas\_januariodasilva@outlook.com.

## Resumo

O uso do ventilador axial na produção agrícola permite o conforto térmico com o qual é possível aumentar a produção e reduzir o estresse dos animais. Para avaliar o desempenho de um ventilador axial é necessário definir uma área como espaço físico e uma distância, já que a pressão, vazão e velocidade do ar produzidos pelo ventilador se modificam em função destes parâmetros. Nos ensaios, foi avaliado o funcionamento de um ventilador axial de 150 W de potência e 0,65 m de diâmetro, usando um anemômetro com tubo de Pitot, que mensura a pressão, velocidade e vazão em um ponto espacial. Para o processamento de dados, foi usado conceitos de medição de campo acústico, devido ao ventilador funcionar em um espaço aberto. Os resultados mostraram que a determinadas distância, a vazão total aumenta e a pressão diminui, chegando até um nível inferior da pressão atmosférica. No espaço onde a vazão e velocidade aumenta, localmente se define como a área de melhor desempenho do ventilador. A detecção do espaço onde se produz a maior vazão seria a posição de melhor conforto térmico ao ambiente.

**Palavras-chave:** Conforto térmico; Ventilador axial; Vazão máxima; Pressão.

## ANALYSIS OF THE PRESSURE AND FLOW OF AN AXIAL FAN AND DETERMINATION OF THE BEST DISTANCE FOR THE THERMAL COMFORT

### Abstract

The use of the axial fan in agricultural production allows the thermal comfort, which it is possible to increase the production and reduce the stress of the animals. In order to evaluate the performance of an axial fan, it is necessary to define an area as physical space and a distance, since the pressure, flow rate and speed of the product produced by the fan are modified according to this parameter. In the tests, an axial fan of 150 W of power and 0.65 m in diameter was evaluated using a Pitot tube anemometer, which measures pressure, velocity and flow at a spatial point. For data processing, acoustic field measurement concepts were used due to the operation in an open space. The results showed that in certain distances, has an increase of the flow rate and a decreased pressure, reaching a lower level of atmospheric pressure.

The space where there is the maximum flow and velocity, defines itself as an area of better performance of the fan. A detection of the space where it produces a greater flow would be the position of better thermal comfort to the environment.

**Key words:** Thermal comfort; Axial fan; Maximum flow; Pressure.

## 1 INTRODUÇÃO

Os ventiladores axiais proporcionam o conforto térmico, e seu uso em ambientes de trabalho incrementa a produção. Em ambientes agrícolas foi observado que a ventilação forçada promove a redução do estresse térmico em vacas em lactação, aumentando a produção de leite <sup>(1)</sup>. Na reprodução de suínos o sistema de ventilação refrigerada e ventilação forçada proporcionaram melhoria nas condições térmicas ambientais dentro das instalações, influenciando na resposta produtiva dos animais <sup>(2)</sup>.

Os principais métodos experimentais que avaliam as características dos ventiladores são: o americano estabelecido pela AMCA – Air Moving and Conditions Association; do caixão retangular de grandes proporções, adotado na Europa; e do caixão reduzido, caracterizado pela norma francesa NF-X100-200 de 1967 <sup>(3)</sup>. Nas medições experimentais de um ventilador foi observado que a vazão mássica depende da massa específica do ar, e esta por sua vez é muito suscetível a variações de pressão e temperatura modificando-se os resultados <sup>(4)</sup>. Nos ensaios com fluxo de ar em uma seção convexa e côncava aberta, se produz o estrangulamento do ar. Henn <sup>(5)</sup>, descreve que ao passar pela menor seção da garganta, se a pressão continua a diminuir e sua velocidade a aumentar, seria devido à inércia do fluido que tende a manter-se em movimento no sentido do escoamento.

Amboni et al <sup>(6)</sup>, realiza as medições da distribuição da pressão de um equipamento, para avaliar e identificar o nível de ruído local e sua fonte. Nos ensaios utiliza um sonômetro para mapear em uma área espacial, a pressão do campo acústico e detectar a fonte do ruído no maior valor dessas medidas.

No caso de fluidos que escoam em ambientes abertos, Lemberg e Mercier <sup>(7)</sup>, observaram que o ventilador se torna mais eficiente quando foram posicionados em uma distância de 1,6 m, devido à força de arrasto que influencia na vazão e pressão.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O cálculo da velocidade do ar dos ventiladores, instalados em tubulações, se realiza utilizando a equação de Bernoulli generalizada, com a adição do termo da carga adicionada pelo ventilador. Neste caso, o termo positivo permite o aumento de pressão <sup>(8)</sup>. A equação de Bernoulli para o ventilador se define na equação 1.

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 - \Delta H_T + \Delta H_{vent} \quad (1)$$

Sendo:  $p_1$  [Pa] é a pressão de sucção do ventilador;  $p_2$  [Pa] é a pressão de saída do ventilador;  $v_1$  [m/s] é a velocidade de entrada do fluido;  $v_2$  [m/s] é a velocidade de saída do fluido;  $z_1$  [m] nível de referência na entrada do fluido;  $z_2$  [m] nível de referência na saída do fluido;  $\Delta H_T$  [m] é a perda de carga total produzido

pelo atrito uma parcel pela viscosidade do ar e outra parcela pelo atrito entre os componentes das tubulações ou pelas variações na condução do fluido;  $\Delta H_{vent}$  é devido às cargas adicionadas pelo fluxo ao ventilador.

Para Clezar e Nogueira <sup>(9)</sup>, a vazão volumétrica de ar com abertura se determina através do diferencial de pressão entre a saída e entrada com a equação 2.

$$Q_v = K \cdot A_v \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{ar}}} \quad (2)$$

Sendo:  $Q$  [ $m^3/s$ ] é a vazão volumétrica de ar;  $K$  [--] é o coeficiente de vazão volumétrica referido à área frontal da abertura;  $A_v$  [ $m^2$ ] é a área frontal da abertura;  $\Delta p$  [Pa] é o diferencial de pressão através da abertura;  $\rho_{ar}$  [ $kg/m^3$ ] é a massa específica do ar;

A área frontal da abertura do ventilador axial se calcula com a equação 3:

$$A_v = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \quad (3)$$

Onde:  $D$  [m] é o diâmetro maior da hélice;  $d$  [m] é o diâmetro menor da hélice; A vazão volumétrica de ar na área medida se calcula com a equação 4.

$$Q_i = v_i \cdot A_i \quad (4)$$

Sendo:  $Q_i$  [ $m^3/s$ ] é a vazão volumétrica de ar do espaço retangular;  $v_i$  [m/s] é a velocidade do ar no ponto de medida;  $A_i$  [ $m^2$ ] é área por onde escoo o fluxo de ar.

Para um ventilador axial aberto a perda de carga depende do espaço, condições climáticas e obstáculos ao fluido. O fluido dificilmente se comportará como uma linha de corrente, quanto mais próximo do ventilador, os cálculos terão valores aproximados aos medidos. Quanto mais afastado, as perdas modificarão os resultados. Os parâmetros de velocidade, pressão e vazão serão medidos e apresentadas de forma gráfica, para cada distância medida, utilizando medidas espaciais <sup>(6)</sup>.

Para os ensaios, foi utilizado um ventilador axial de parede de 150 W e 0,65 m de diâmetro. Para as medidas de pressão, vazão, velocidade e temperatura foi usado um anemômetro com tubo de Pitot. As medidas espaciais foram baseadas no método do campo acústico, considerando um espaço físico retangular, com divisões e distâncias iguais para cada aquisição de dados. As medidas de altura e largura são expostas na figura 1.

Largura \ Altura	0	0,1	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7
0,90						0,95 x 0,32					
1,00											
1,10											
1,20	1,22 x 0,5					1,22 x 0,32					1,22 x 0,65
1,30											
1,40											
1,50						1,55 x 0,32					
1,60											

Figura 1 – Divisão dos pontos para aquisição de dados.

As indicações destacadas em vermelho da figura 1, representam a projeção dos limites do diâmetro do ventilador. As medições foram divididas em 11 pontos de análise à frente do ventilador, visando cobrir toda sua área de funcionamento. O afastamento dos primeiros e os últimos pontos de medida têm 0,1 m e os destacados à 0,05 m, com o intuito de obter maior precisão dos dados no meio do ventilador. Já as alturas foram divididas em 8 pontos, suficientes para cobrir todo o diâmetro do ventilador, espaçadas em 0,10 m.

O ventilador estava a uma altura de 0,95 m do chão, para que não influenciasse no escoamento do ar. Desta forma, foi necessário utilizar um suporte que permitisse o deslocamento dos equipamentos de medição à frente do ventilador em cada ponto de medida. Além da divisão do campo de medida, determinou-se três distâncias em relação ao ventilador, para aquisição dos dados, que foi de 0,5, 1,5 e 2,5 m.

Durante a medida, definiu-se o tempo de 10 s de aquisição, utilizando uma frequência 1 Hz. O anemômetro utilizado foi o modelo HD350 da marca *Extech Instruments*. A figura 2 apresenta o ventilador e os equipamentos de medida.

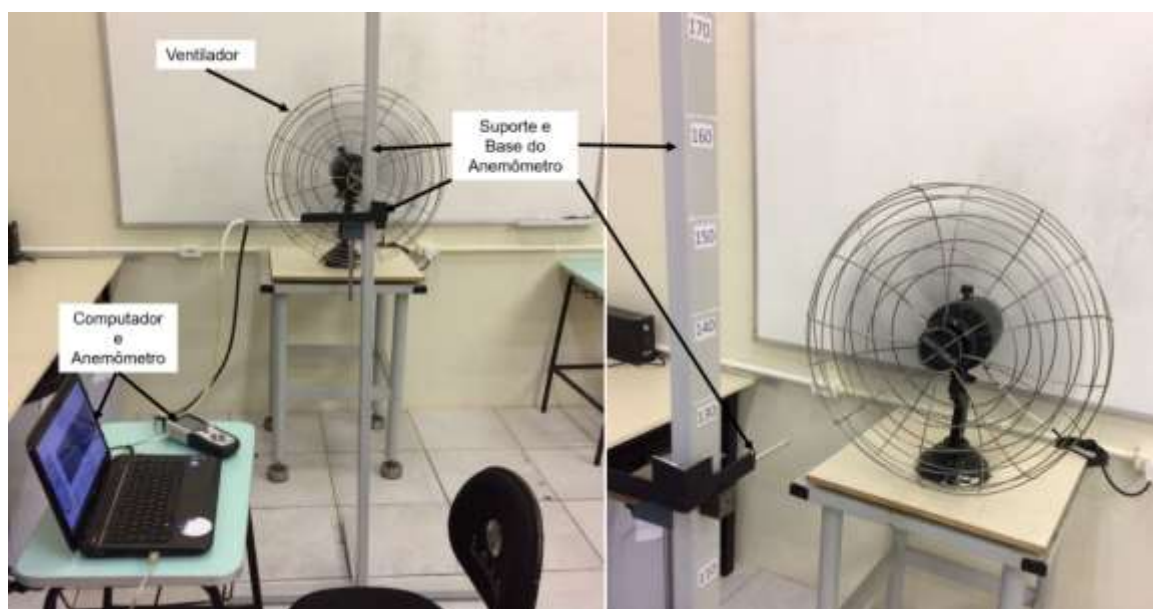


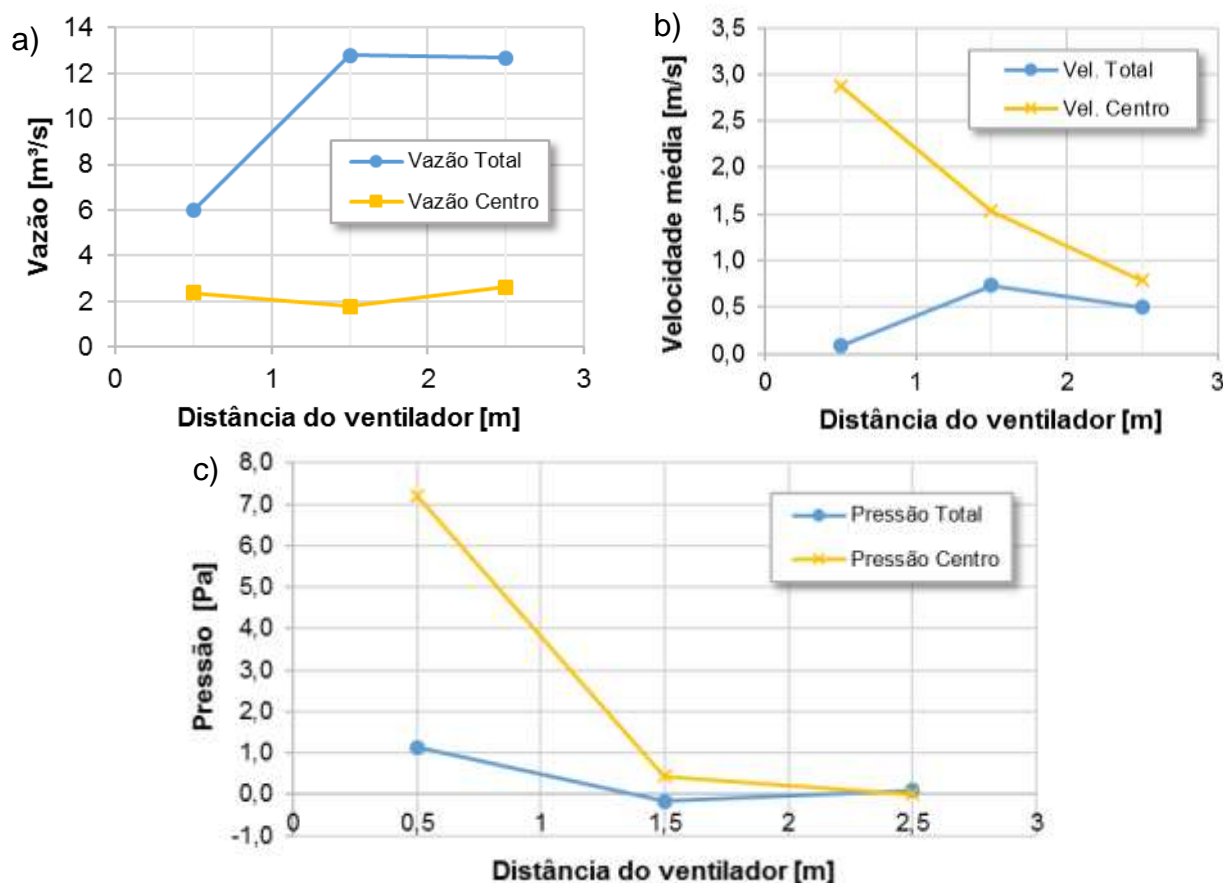
Figura 2 – Bancada para Aquisição a 0,5 metros.

Para o processamento dos dados, foi utilizado o *software* Excel® obtendo-se resultados em grupos ou seguindo uma direção frente ao ventilador. Obteve-se as médias de cada ponto para dez dados coletados, concluindo-se com a plotagem dos gráficos. Para o processamento de dados em 3D, utilizou o *software* Matlab® R2010a. Após obter os valores, criou-se um algoritmo para a plotagem dos gráficos em cores.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processamento de dados da vazão, velocidade e pressão dos valores médios de todas as medidas da área espacial e das medidas dentro da área circular ou de influência do ventilador são apresentados na figura. 3. Os cálculos foram obtidos utilizando as equações 2, 3 e 4.

Das medidas da vazão, apresentados na figura 3-a, se observa que a uma distância de 1,5 m, a vazão total medida aumentou significativamente, e no afastamento, a vazão diminui levemente (linha azul). Entretanto, no centro do ventilador (linha amarela), forma-se uma espécie de corredor, reduzindo-se a vazão e depois tende a se manter constante.

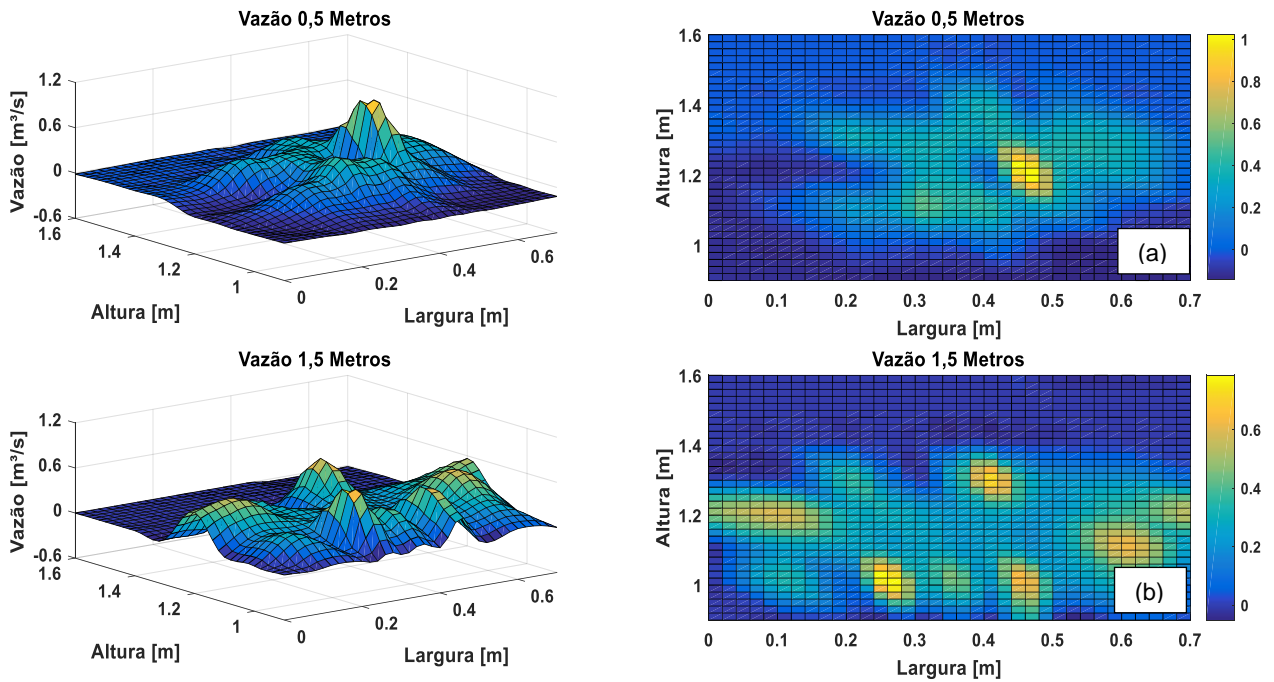


**Figura 3** – Medidas em função da distância. a) Vazão máxima e no centro do ventilador em cada distância. b) Velocidade média total e no centro do ventilador. c) Pressão manométrica total e no centro do ventilador.

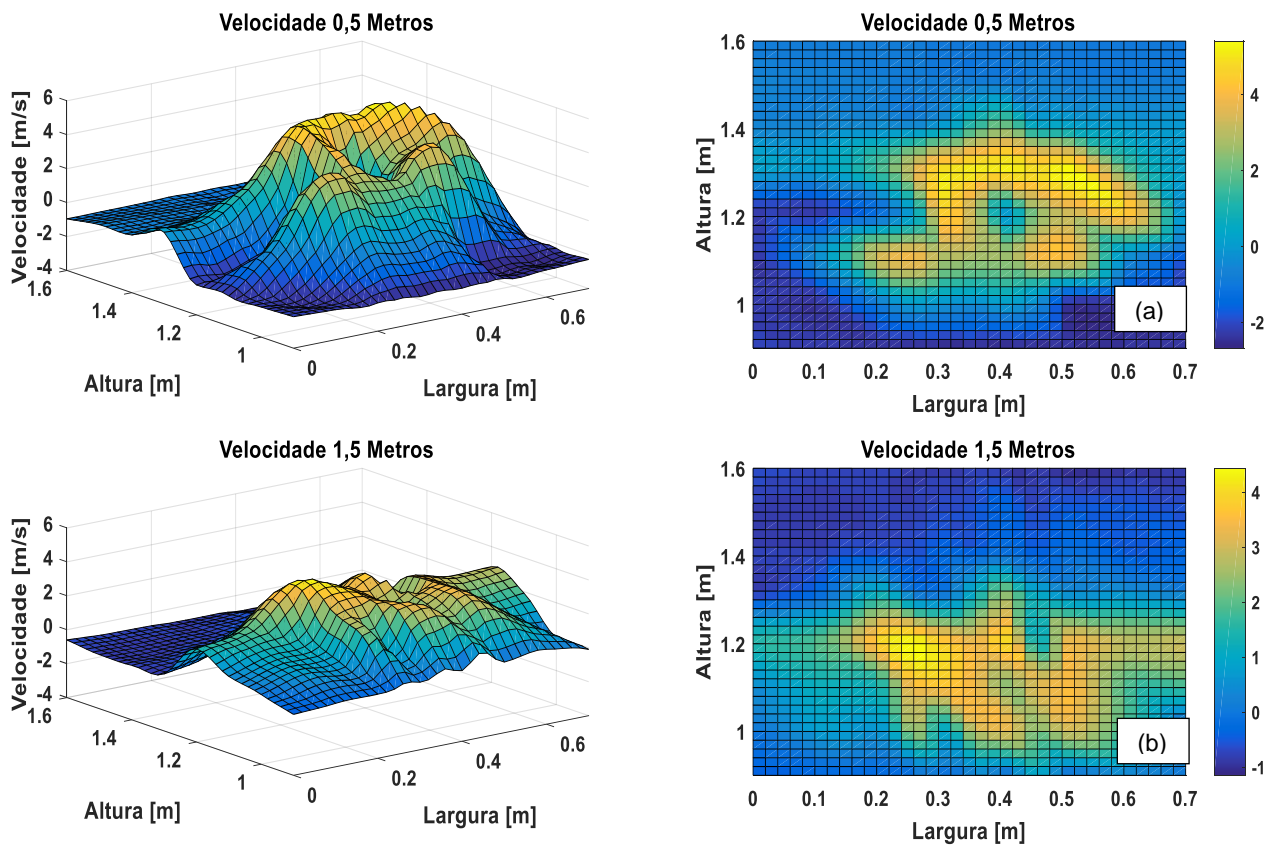
As medições das velocidades apresentaram uma resposta semelhante à vazão. A figura 3-b mostra o aumento da velocidade média total, correspondente a distância de 1,5 metros e depois reduz-se lentamente. Entretanto, no centro a velocidade média foi decaindo provavelmente, pelo efeito de espalhamento, devido algumas perdas por toda a área de atuação do ventilador.

A pressão se comportou diferente à vazão, conforme a figura 3-c, a queda da pressão média total, diminuiu até um valor inferior e negativo na distancia de 1,5 m. Já com o aumento da distância a 2,5 m a pressão manométrica tende a se equilibrar com a pressão atmosférica. A pressão média no centro do ventilador se mostrou maior no ponto mais próximo do ventilador, logo cai significativamente a 1,5 m e se nivela com a pressão atmosférica a 2,5 m.

A análise detalhada se realizou com o processamento espacial em 3D no software Matlab®. A figura 4 mostra o comportamento da vazão para a distância de 0,5 m e 1,5 m. Os valores das médias da velocidade são apresentas na figura 5. Finalmente na figura 6, se apresenta os resultados das pressões em função das duas distâncias analisadas.

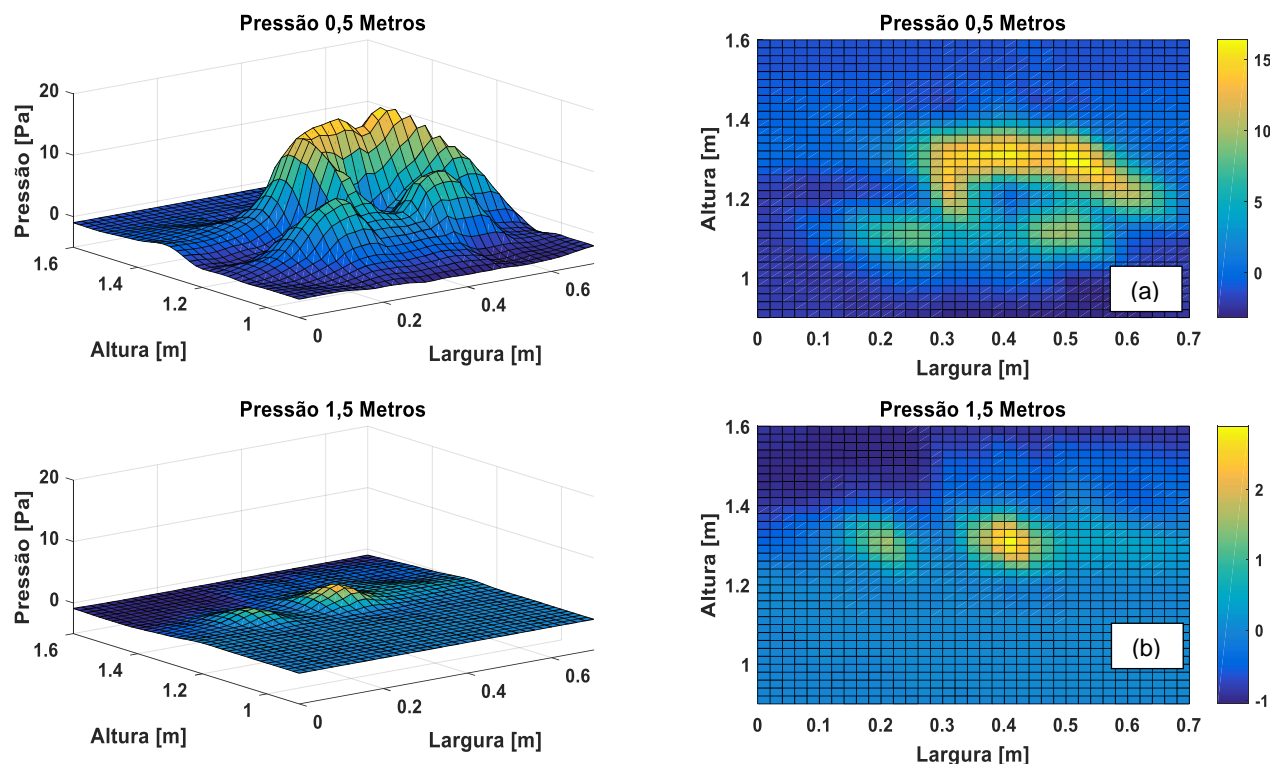


**Figura 4** – Mapa de cores das vazões. (a) 0,5 metros de distância e (b) 1,5 metros de distância.



**Figura 5** – Mapa de cores da velocidade. (a) 0,5 metros de distância e (b) 1,5 metros de distância.





**Figura 6** – Mapa de cores das Pressões. (a) 0,5 metros de distância e (b) 1,5 metros de distância.

Através das análises dos resultados em 3D (figuras 4, 5 e 6), para a vazão, velocidade e pressão, se observou:

- Inicialmente a vazão (figura 4) é maior no centro, depois se espalha por toda a área visível. Destacam-se ainda alguns pontos com maior vazão, afastados do centro.
- O mapa de cores da velocidade (figura 5) mostra no centro do ventilador um destaque circular. Por mais que ocorra uma maior distância de medição, a velocidade se espalha sem reduzir significativamente, correspondendo-se conforme o ocorrido com a vazão.
- Com os mapas de cores referente a pressão (figura 6), é possível visualizar melhor o seu comportamento com o aumento da distância. A figura 6-b, apresenta uma pressão menor e mais espalhada, destacando-se apenas um ponto de maior pressão no centro do mapa. É possível visualizar a presença de pressões negativas em alguns pontos, ocasionando a diminuição da pressão média total e o arrasto do ar.

## 4 CONCLUSÃO

A 0,5 m o ventilador cria maior pressão no centro desta, possibilitando o escoamento do fluido para a região de menor pressão. A 1,5 m a pressão é negativa, isto se deve à inércia do fluido que mantém alta sua velocidade afetando a pressão local, depois as pressões tendem ao equilíbrio reduzindo-se a vazão. Este fato se explica com o aumento da velocidade do ponto mais próximo 0,5 m para o ponto de 1,5 metros, sendo esta a distância de melhor aproveitamento do ventilador e de máxima vazão.

## Agradecimentos

A instituição Faculdade SATC, que forneceu o ambiente e os recursos necessários para realização deste estudo.

## REFERÊNCIAS

- 1 NÄÄS Irenilza de A. JÚNIOR I. A., Influência de Ventilação e Aspersão em Sistemas de Sombreamento Artificial para Vacas em Lactação em Condições de Calor. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.1, p.139-142, 2001.
- 2 TOLON Yamilia B., NÄÄS Irenilza de A., Avaliação de Tipos de Ventilação em Maternidade de Suínos. Engenharia Agrícola., Jaboticabal, v.25, n.3, p.565-574, set./dez. 2005.
- 3 LACERDA FILHO Adilio Flauzino., MELO E. C., Medição de Vazão de Ar. Apostila, Universidad Federal de Viçosa, Centro de Ciencias Agrarias - MG 2008.
- 4 LUDWIG Glauber, TEDESCO H. T., SCHNEIDER P. S., DE PAULA, Alexandre V. Medidor de Vazão Mássica com Uso de Arduino, Trabalho Disciplina de Medições Térmicas, UFRGS, Engenharia Mecânica, Porto Alegre, Julho de 2015.
- 5 HENN, E. A. L., Máquinas de Fluído, 2ª Edição, Editora UFSM. 2006,
- 6 AMBONI, O. R., DA SILVA, R. M., CURTI, E. I. M., CASTRO, R. M., DA ROSA, C., Detecção Pontual da Fonte de Sonora de um Ventilador Utilizando Sinais do Campo Acústico e Processando com Software Matlab, 5º SICT-Sul, Outubro, 2016.
- 7 LAMBERT, Karel; MERCI, Bart. Experimental study on the use of positive pressure ventilation for fire service interventions in buildings with staircases. Fire Technology, v. 50, n. 6, p. 1517-1534, 2014.
- 8 BARBOSA M. F. Desenvolvimento de Ferramenta de Cálculo para Dimensionamento de Redes Aerúlicas. U. do Minho, Dissertação de Mestrado, 2011.
- 9 CLEZAR, C. A., NOGUEIRA, A. C. R., "Ventilação Industrial", 2ª ed., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, Brasil, 2009.

## AVALIAÇÃO DA TAXA DE DEPOSIÇÃO DE PRATA PELO PROCESSO DE *ION PLATING*

Canabarro, F. A. F. <sup>1</sup>

Canabarro, N. A. F. <sup>2</sup>

Zamboni, T. P. S. <sup>3</sup>

Aguzzoli, C. <sup>4</sup>

Malfatti, C. F. <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Felipe Ariel Furlan Canabarro, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Universidade de Caxias do Sul (UCS) - felipe.canabarro@outlook.com.

<sup>2</sup> Níkolos Andrei Furlan Canabarro, Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS) - Universidade de Caxias do Sul (UCS) - nikolascanabarro@gmail.com.

<sup>3</sup> Tatiane Pacheco Soares Zamboni, doutora, Universidade de Caxias do Sul (UCS) - tatiana.enq@gmail.com.

<sup>4</sup> Cesar Aguzzoli, doutor, Universidade de Caxias do Sul (UCS) - caguzzol@ucs.br.

<sup>5</sup> Célia de Fraga Malfatti, doutora, LAPEC/PPGE3M, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Célia.malfatti@ufrgs.com.

### Resumo

Pela extensa utilização de componentes biomédicos destinados a próteses, surge à necessidade de combater infecções provenientes do processo cirúrgico. Um dos artifícios é a utilização de materiais compatíveis com o corpo humano que apresentam íons de prata implantados que auxiliam na assepsia de efeito oligodinâmico para prevenção de infecções. Dessa forma, a engenharia de superfícies adiciona uma propriedade as que já existiam anteriormente. Nos biomateriais, existem contaminantes que podem cobrir toda a superfície do substrato. Tais contaminantes são definidos como qualquer material no ambiente que interfira nas propriedades específicas do íon implantado, como é o caso de reações de oxidação. O contato com o oxigênio acaba prejudicando sua finalidade bactericida. O presente trabalho propõe depositar uma camada superficial de prata em substrato de silício por PVD através do equipamento de *ion plating*. Logo, espera-se que esta camada tenha adesão moderada e oxide primeiro, protegendo os átomos de prata implantados para continuar a atuar na prevenção de formação de biofilmes. O substrato utilizado foi *wafer* de silício monocristalino com orientação 100. A caracterização físico-química foi realizada pelas técnicas de RBS e GD-OES. Foi possível obter uma equação para taxa de deposição de prata para filmes extremamente finos, em escala nanométrica. Pela deposição através de um equipamento de *ion plating*, pode-se atingir boa reprodutibilidade indicando que o resultado obtido pode ser facilmente reproduzido em outros substratos.

**Palavras-chave:** Deposição; Filme fino; *Ion plating*; Biomateriais.

### EVALUATION OF SILVER DEPOSITION RATE BY ION PLATING PROCESS

#### Abstract

By extensive use of components for biomedical prostheses, arises the need to avert infections from the surgical process. One artifice is the usage of human body matching materials along with implanted silver ions that help the asepsis of oligodynamic effect for infections prevention, thus the surface engineering adds a new property to the existing ones. The biomaterials, there are contaminants that can cover the entire surface of the substrate. Such contaminants are defined as any

material in the environment in which interfere with the specific properties of the implanted ion, as the oxidation reactions. The contact with oxygen harms their bactericidal purpose. The present paper suggests depositing a silver thin layer on the surface of silicon substrate by PVD process with an ion plating equipment. Therefore, it is expected a moderate layer adhesion and prior oxidation, protecting the implanted silver atoms to continue performing the prevention of biofilm formation. The substrate was a monocrystalline silicon wafer with orientation of 100. The physicochemical characterization was carried by RBS and GD-OES techniques. It was possible to obtain an equation to the rate of silver deposition for extremely thin films at nanoscale. Deposition through ion plating equipment may achieve good reproducibility, indicating that the result obtained can be easily reproduced on other substrates.

**Key words:** Deposition; Thin film; Ion plating; Biomaterials.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a engenharia de superfícies aplicada aos biomateriais é amplamente visada pelas maiores empresas do ramo médico voltadas para a fabricação de próteses e componentes ortopédicos que constituem partes de implantes e dispositivos extracorpóreos. Os trabalhos de engenharia de superfícies são motivados pela combinação benéfica de características específicas de cada material, pelo aumento de qualidade de vida do paciente e principalmente por diminuir consideravelmente as infecções hospitalares que são consideradas as mais custosas e complicadas de tratar. <sup>(1,2)</sup>

Essa combinação de características pode ser obtida através da implantação iônica, mais precisamente de íons de prata no substrato selecionado, auxiliando na assepsia de efeito oligodinâmico para prevenção de infecções. Dessa forma a engenharia de superfícies adiciona uma nova propriedade as que já existiam anteriormente. <sup>(1,2,3)</sup>

Sabe-se que o efeito dos íons de prata é aplicável para fins bactericidas, no entanto, o mecanismo exato de ação ainda é controverso, sendo regido por dados empíricos e teorias ainda não consolidadas. Essa atividade inibitória depende diretamente da concentração de íons de prata encontrada no material base, que deve ser controlada, pois a saturação do mesmo pode causar toxicidade à saúde humana. <sup>(4,5)</sup>

A partir de tais fatores, a implantação iônica realizada a partir de um equipamento de *ion plating* a baixas energias vem sendo motivo de estudo pelo seu potencial de produção em larga escala industrial e confiabilidade. A remoção de contaminantes, qualquer material no ambiente que interfira nas propriedades específicas do íon implantado, que podem cobrir toda a superfície do substrato é um desafio. Além disso, a camada implantada de íons de prata pode sofrer oxidação ao entrar em contato direto com o oxigênio atmosférico tanto no interior do equipamento como na sua utilização em forma de produto final, prejudicando assim sua finalidade bactericida. <sup>(6,7,8)</sup>

Existem diversas descrições teóricas sobre a taxa de oxidação, sendo que estas dependem da combinação entre dados empíricos e considerações, o mesmo se aplica ao sistema gás/metál. Em uma superfície de prata com formação de AgO exposta ao oxigênio atmosférico, espera-se encontrar uma média de espessura na

faixa de 10 a 20 Å. <sup>(9)</sup> Em temperatura ambiente, espera-se um comportamento de crescimento parabólico do óxido prata em função do tempo, formando AgO. Acima de 100 °C existe uma variação no tipo de óxido formado, sendo este o Ag<sub>2</sub>O. Essa camada criada apresenta severo índice de descamação, pois com o espessamento, gera uma tensão de compressão superior a sua resistência mecânica levando a fraturas e apresentando espessura média de 5 µm. No entanto, mesmo havendo remoção parcial da área mais externa, geralmente há uma segunda camada fortemente aderida. <sup>(9)</sup> Metais resistentes à corrosão seguem a lei assintótica que prevê oxidação rápida em praticamente qualquer temperatura abaixo do ponto de fusão do material. Com o aumento da espessura da camada ou variações cíclicas de temperatura, as propriedades de adesão são prejudicadas, assim como a incidência de fraturas superficiais é acrescida. <sup>(10)</sup>

Existem diversos métodos para deposição de filmes finos com finalidade de proteção superficial, sendo que cada processo apresenta vantagens, desvantagens e aplicações recomendadas. <sup>(7)</sup> Os métodos mais visados na deposição física de vapor de filmes finos são a evaporação e a pulverização catódica denominada *sputtering*, com mecanismo de deposição baseado na transferência controlada de átomos de uma fonte emissora para a amostra a ser revestida onde será dada a nucleação e formação da película do filme. <sup>(11)</sup>

A adesão é fundamental para o desenvolvimento dos principais sistemas de deposição correlacionados entre filme e substrato. Na deposição física de vapor, essa adesão deve ser adequada, pois impacta diretamente na característica específica do filme e sua vida útil. Para obter êxito no processo é necessário que haja uma força de coesão intermolecular na interface do material na qual esteja mecanicamente livre de falhas. <sup>(7)</sup> Na maioria dos casos, uma boa adesão dá-se, sobretudo às ligações químicas estáveis entre os componentes na área interfacial. <sup>(6)</sup>

Uma vez que a implantação iônica e deposição de filmes finos podem ser realizados no mesmo equipamento de *ion plating*, o presente trabalho levanta a hipótese de que depositando uma camada superficial de prata no material estudado, espera-se que esta camada oxide primeiro provendo uma maior vida útil ao biomaterial. A partir de dados empíricos, o estudo visa a futura proteção de íons de prata implantados. No entanto o foco é dado essencialmente para a obtenção da taxa de deposição do filme. A adesão deve ser moderada de fácil remoção a ponto que não altere as propriedades do biomaterial e ainda haja a reação de oxidação do filme depositado, continuando a perpetuar suas propriedades bactericidas minimizando possíveis intervenções e/ou manutenções futuras que agregam custos adicionais.

Através da literatura, estimasse que a taxa de deposição média típica obtida pelo processo de PVD para filmes finos em um substrato varia entre 10 e 100 nanômetros por segundo. <sup>(12)</sup> Com o progresso do tempo, a espessura da película aumenta e as propriedades deste podem sofrer variações ao longo do filme que são provenientes da interação com características específicas do substrato. <sup>(7)</sup>

Segundo Mattox <sup>(7)</sup> o crescimento do filme ocorre pela condensação dos átomos na superfície do substrato. Suas propriedades derivadas de qualquer método PVD dependem, além de sua reprodutibilidade, de fatores importantes que afetam o crescimento do filme e suas propriedades: a) morfologia da superfície do substrato; b) detalhes do processo de deposição como sistema geométrico do ângulo de incidência; c) características do crescimento do filme no substrato como nucleação e interface de formação; e) reações pós deposição em relação ao

ambiente; f) deformações térmicas e mecânicas; g) contaminação de processo e h) homogeneidade da deposição.

A resultante de um filme pode variar de um cristal unitário para amorfo, completamente denso ou não tão denso, puro ou impuro, fino ou espesso. <sup>(7)</sup> No caso do filme fino, o processo é iniciado pelos chamados *clusters* ou aglomerados nucleados na superfície do substrato. Os *clusters* crescem em ilhas que coalescem para a formação de um filme contínuo. <sup>(13)</sup> Geralmente os filmes são formados por grãos monocristalinos dispostos em diversas direções cristalográficas. <sup>(14)</sup> A nucleação e crescimento de sólidos cristalinos através do vapor é um processo que pode ser dado através da cinética de formação de uma partícula inicial de uma fase sólida com o aglomerado de átomos em fase gasosa, seguido da interação com átomos de vapor com a película em crescimento. <sup>(15)</sup>

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O material selecionado para atuar como substrato no presente trabalho foi um *wafer* de silício em forma de lâminas com espessura nominal de 0,4 mm indicado para uso na microeletrônica. Apresenta orientação monocristalina, (100), com uma das faces polida. O silício é comumente utilizado como substrato, pois pode atuar a altas temperaturas e apresenta a característica da formação de um óxido de proteção superficial nativo, podendo atuar como uma barreira difusora. <sup>(16)</sup> A prata utilizada na deposição foi da empresa *Kurt J. Lesker Company*, situada nos Estados Unidos. Sua pureza é 99,99%, disposta em forma de pequenos *pellets*.

### 2.1 Preparação das amostras

Inicialmente o substrato de silício foi clivado em forma quadrangular com dimensões de aproximadamente 20 mm x 20 mm x 0,4 mm sendo dispostas em 03 grupos com 05 amostras cada, totalizando 15 corpos de prova, objetivando testes com diferentes formas de operação. A limpeza superficial foi conduzida por imersão em solução ácida de HF 10% durante 10 minutos e posteriormente limpa com solução de acetona P.A. em ultrassom por mais 30 minutos. A prata utilizada no experimento não necessitou de tratamentos prévios, pois depende somente de sua alta pureza.

Por conseguinte, foi fixado o silício no porta amostra do *ion plating* com espaço físico para as primeiras 05 amostras. A prata em *pellets* foi colocada no cacinho do equipamento. Logo, sucedeu a deposição do filme fino.

### 2.2 Ion plating

O dispositivo de *ion plating* disponível para a deposição do filme fino foi construído e adaptado pelo Laboratório de Engenharia de Superfícies e Tratamento Térmico (LESTT) da Universidade de Caxias do Sul, com finalidade de pesquisa em implantação iônica. A câmara foi construída em aço inoxidável AISI 304 e consiste em um cilindro de diâmetro 600 mm e altura de 900 mm, vedado e operando em vácuo conforme ilustra Figura 1.



**Figura 1.** Equipamento de *ion plating* e sistema de controle do LESTT

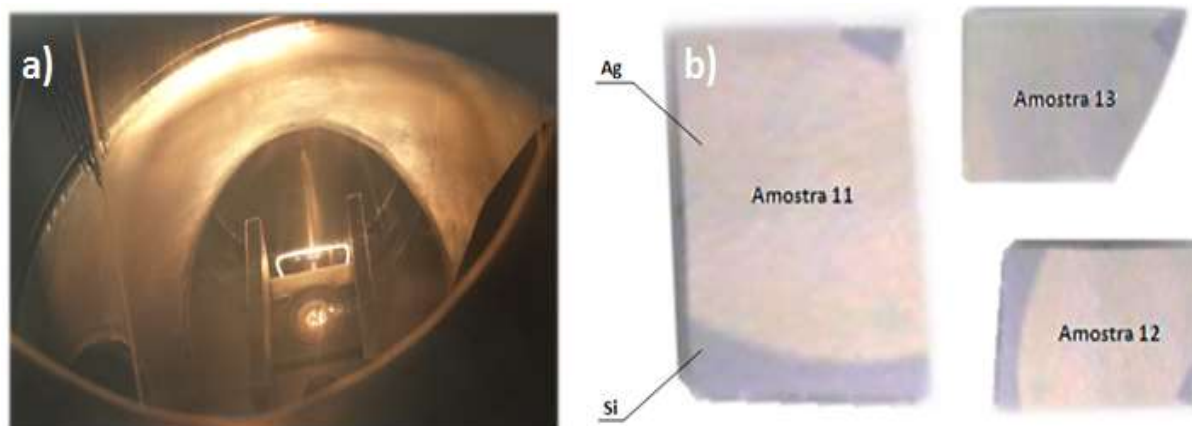
As amostras foram inseridas na parte superior do equipamento e após o tempo necessário para atingir a estabilização da pressão, foram depositados os filmes. Os parâmetros descritos na Tabela 1 foram os utilizados para a deposição dos filmes de prata. A pressão de base foi  $4 \times 10^{-7}$  mbar.

**Tabela 1.** Parâmetros de processo

Amostra	Corrente de Filamento (A)	Tempo (min)	Corrente de Emissão (mA)	Corrente na Bobina (A)	Tensão (kV)	Pressão de Trabalho (mbar)
01	14,50	20	10,00	1,60	6,0	$3,2 \times 10^{-6}$
02		15				$1,8 \times 10^{-6}$
03		10				$1,8 \times 10^{-6}$
04		05				$1,6 \times 10^{-6}$
05		02				$1,6 \times 10^{-6}$
06	15,00	20	17,00	2,00	6,0	$1,1 \times 10^{-6}$
07		15				$1,0 \times 10^{-6}$
08		10				$9,5 \times 10^{-7}$
09		05				$9,0 \times 10^{-7}$
10		02				$8,9 \times 10^{-7}$
11	16,00	20	50,00	2,00	6,0	$8,9 \times 10^{-7}$
12		15				$8,9 \times 10^{-7}$
13		10				$8,9 \times 10^{-7}$
14		05				$8,9 \times 10^{-7}$
15		02				$8,9 \times 10^{-7}$

A Figura 2-a ilustra a sublimação da prata pelo efeito termoiônico propiciado pelo canhão de elétrons. Para ocorrer esse efeito térmico, existe um filamento de tungstênio acoplado a uma bobina defletora na parte inferior do equipamento de *ion plating* por onde passa alta corrente. A corrente fornecida incide no aumento da energia cinética dos elétrons livres que são atraídos pelos íons positivos da rede cristalina do material metálico e formam uma nuvem eletrônica. Quando sua energia for suficiente para superar o potencial da superfície do material então ocorre a emissão dos elétrons no canhão colidindo com a prata provocando sua evaporação.

Visualmente houve constatação da deposição aparente da prata somente nas amostras que estiveram submetidas a corrente de filamento de 16 A, conforme apresentado pela Figura 2-b. Essa visualização é possível pelo fato do filme de prata apresentar coloração distinta em comparação com o silício. Todavia, deve se levar em conta que a não constatação visual dessa deposição nas amostras não exclui o fato da mesma não existir, possivelmente sendo esta dada em escala menor.



**Figura 2.** a) Incidência do canhão de elétrons nos *pellets* de prata b) Amostras com visualização aparente de deposição de prata.

### 2.3 Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS)

A análise da taxa de deposição do filme juntamente com sua espessura foram caracterizados por RBS, realizado no Laboratório de Implantação Iônica do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em Porto Alegre. O equipamento utilizado foi um acelerador de íons do tipo *tandem* de 3 MeV, utilizando íons de He<sup>+</sup> com energia de 2 MeV e ângulo de retroespalhamento de 165°.

Inicialmente os corpos de prova foram alocados em um porta amostra, tendo seu espaçamento medido para que houvesse a incidência dos íons de He<sup>+</sup> acelerados dentro de sua área útil. Na sequência as amostras foram inseridas no equipamento juntamente com um padrão de bismuto implantado em silício com densidade areal de  $1,49 \times 10^{16}$  átomos.cm<sup>-2</sup>.

### 2.4 Glow discharge-optical emission spectroscopy (GD-OES)

A análise das amostras por GD-OES procedeu-se no Laboratório de Caracterização de Superfícies em Nanoescala da Universidade de Caxias do Sul a partir de um equipamento denominado GD-Profiler 2 da empresa Horiba Scientific.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Caracterização por RBS

Na caracterização por RBS foi possível determinar os elementos contidos no conjunto de amostras. A Figura 3-a apresenta a relação de contagens por canais em unidades arbitrárias da amostra 11, evidenciando a formação do filme fino a partir da corrente de emissão de 16 A com tempo de processo de 20 min.

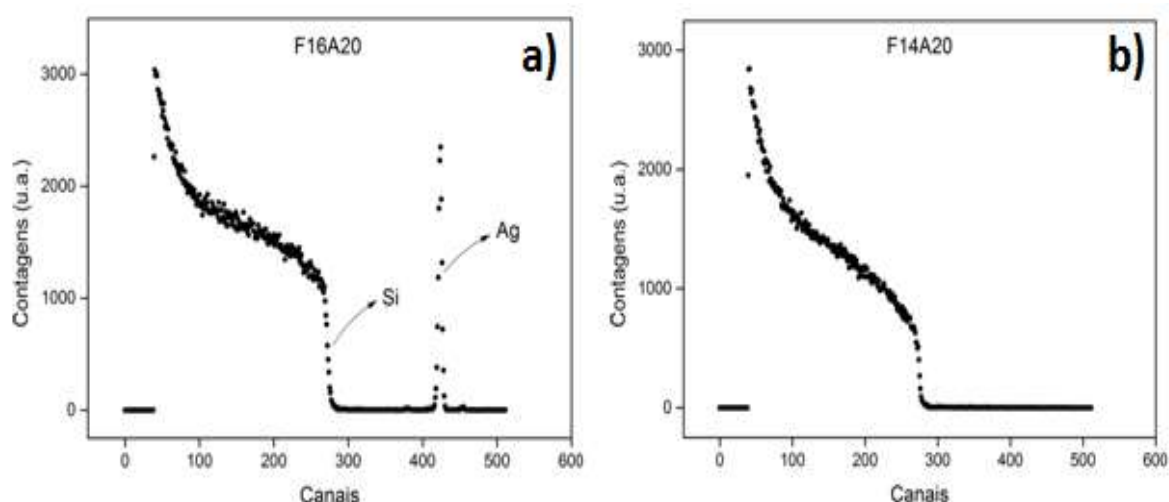
O canal referenciado em aproximadamente 425 é o que determina o elemento de prata contido no substrato original de silício. Como não houve picos excedentes com quantidades significativamente relevantes, pode-se inferir que não há contaminantes nas amostras, como oxigênio.

Para obtenção da concentração quantitativa da deposição de prata em átomos.cm<sup>-2</sup> e posteriormente projeção de sua espessura de camada, é necessário a obtenção da área gráfica resultante da análise RBS. O cálculo integral de área foi



obtido com o auxílio do software OriginPro 9.0 da OriginLab Corporation. Para essa projeção integral foi escolhido uma faixa de 30 canais, por onde se julgou pertinente devido à constatação visual gráfica, tendo início no canal 410 até o canal 440 para todas as amostras.

O mesmo processo foi realizado para as outras amostras, iniciando nas que foram depositadas prata com maior corrente de filamento e decrescendo, porém as contidas no intervalo numerado entre 02 a 05 não houve necessidade da aplicação da análise, pois foi constatado, durante a caracterização, que o substrato com corrente de filamento de 14,5 A com tempo máximo de 20 minutos aplicado não apresentou leitura significativa de prata conforme denota a Figura 3-b. Uma hipótese é de que a faixa de sensibilidade do equipamento RBS foi excedida, assim os testes para as amostras 02, 03, 04 e 05 foram encerrados antecipadamente, pois não apresentaram deposição aparente.



**Figura 3.** a) Espectro RBS da amostra 11 b) Espectro RBS da amostra 01

A partir dos dados obtidos pelo RBS juntamente com o conhecimento da quantidade de átomos por centímetro quadrado do padrão de bismuto, pode-se aplicar a Equação 1, que relaciona a área do elemento, o número de íons incidentes  $N$  e o número atômico  $Z$ , deste modo estimar a quantidade de átomos de elemento  $A$  por centímetro quadrado,  $Q_A$ , do filme. A quantidade de átomos estimada para as cinco amostras com corrente de filamento de 16 A e para mais cinco com corrente de filamento de 15 A, são respectivamente apresentadas na Figura 4. Tais gráficos foram plotados com uma margem de erro de cinco pontos percentuais.

$$Q_A = Q_{Bi} \cdot \frac{A_A}{N_A} \cdot \frac{N_{Bi}}{A_{Bi}} \cdot \frac{Z_{Bi}^2}{Z_A^2} \quad (1)$$

Tendo em vista o coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9944$  e os gráficos apresentados, pode-se aplicar a técnica da regressão linear para determinar a Equação 2 que é traduzida em uma densidade média pontual de átomos por centímetro quadrado da amostra, denominada densidade areal,  $D_{Areal}$ . Quando relacionada com o tempo  $T$  é possível estimar a quantidade de átomos depositados no substrato em qualquer instante de tempo para o processo.

$$D_{Areal} = 2,16 \times 10^{15} \times T \quad (2)$$

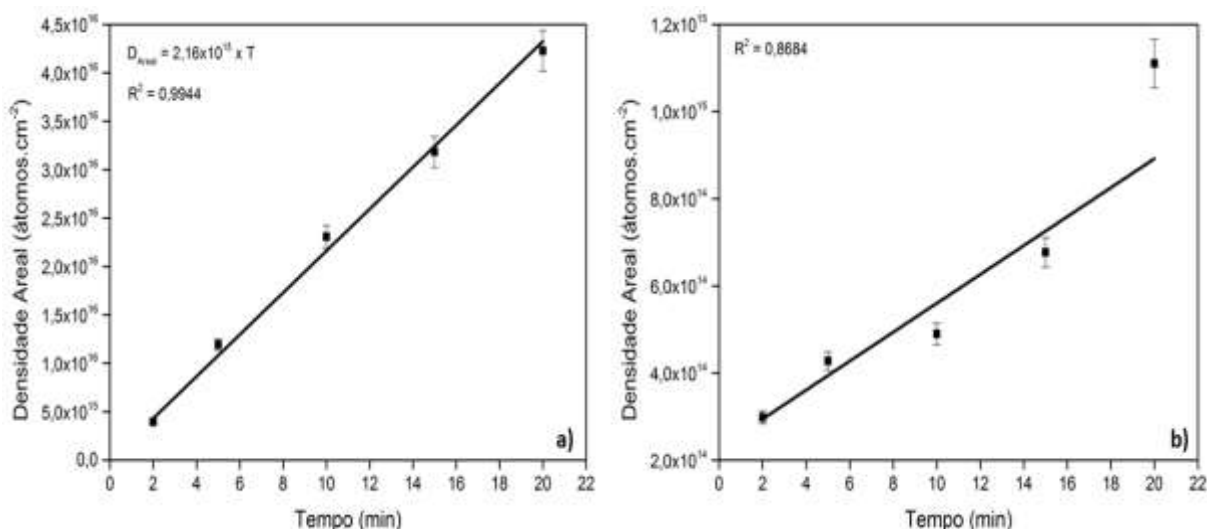


Figura 4. a) Densidade areal de átomos de prata por tempo de deposição para 16 A b) Densidade areal de átomos de prata por tempo de deposição para 15 A

Na determinação da espessura do filme fino é necessário fazer uma relação entre a quantidade de átomos por centímetro cúbico com a quantidade de átomos por centímetro quadrado que podem ser descritos pelas Equações 3 e 4, onde  $N_A$  constante de Avogadro,  $MM$  massa molecular,  $\rho$  densidade,  $Q_A$  quantidade de átomos.cm<sup>-2</sup> e  $Q^o$  quantidade de átomos.cm<sup>-3</sup>. Os dados e resultados dos cálculos estão contidos na Tabela 2.

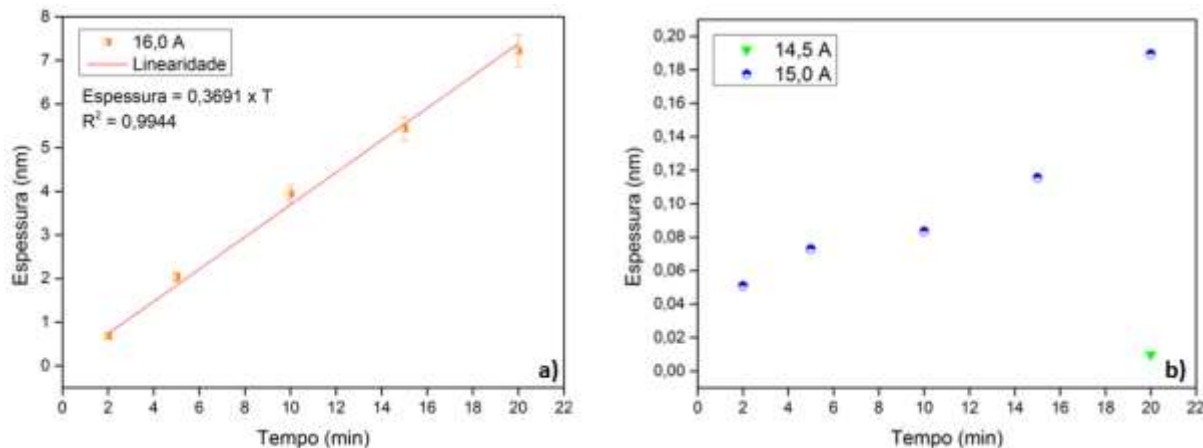
$$Q^o = \frac{N_A}{MM} \cdot \rho \quad (3)$$

$$\text{Espessura} = \frac{Q_A}{Q^o} \quad (4)$$

Tabela 2. Dados e cálculo de espessura de camada

Amostra	Corrente (A) e Tempo (min)	Carga (x10 <sup>3</sup> )	Área (u.a.)	Q <sub>a</sub> (átomos/cm <sup>2</sup> )	Q <sup>o</sup> (átomos/cm <sup>3</sup> )	Espessura (nm)
Padrão Bi	-	55	4115,00	1,490E+16	5,8564E+22	-
11	16 A / 20 min	200	13615,80	4,228E+16		7,2197
12	16 A / 15 min	200	10253,14	3,184E+16		5,4367
13	16 A / 10 min	200	7432,55	2,308E+16		3,9411
14	16 A / 05 min	200	3839,59	1,192E+16		2,0359
15	16 A / 02 min	200	1273,66	3,955E+15		0,6754
06	15 A / 20 min	250	446,66	1,110E+15		0,1895
07	15 A / 15 min	252	274,65	6,769E+14		0,1156
08	15 A / 10 min	300	236,58	4,898E+14		0,0836
09	15 A / 05 min	300	206,56	4,276E+14		0,0730
10	15 A / 02 min	451	216,68	2,984E+14		0,0510
01	14,5 A / 20 min	200	18,51	5,748E+13		0,0098

A partir da análise dos dados, pode-se constatar que o tempo de processo influencia diretamente na quantidade de átomos de prata depositados no substrato de silício, porém o fator determinante é a corrente de emissão. Quanto maior a corrente aplicada durante a deposição no equipamento de *ion plating* maior será a espessura da camada superficial formada conforme ilustra a Figura 5. Nesses termos é preferível reduzir o tempo de processo consideravelmente aplicando maior corrente no filamento ao processo como é o caso da comparação entre as amostras 06 e 15.



**Figura 5.** a) Espessura do filme por tempo de processo em 16 A b) Espessura do filme por tempo de processo em 14,5 e 15 A

Através da técnica de regressão linear, pode-se determinar a Equação 5 que relaciona o tempo de deposição com a espessura do filme depositado. O mais indicado para a realização do procedimento é utilizando os elementos ilustrados na Figura 5 que englobam as amostras numeradas de 11 à 15, pois o conjunto apresentou a melhor linearidade, proporcionando o coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9944$ . O incremento da espessura com característica linear é dado pela relação com a energia aplicada durante o procedimento que favorece a nucleação contínua do filme.

$$\text{Espessura} = 0,3691 \times T \quad (5)$$

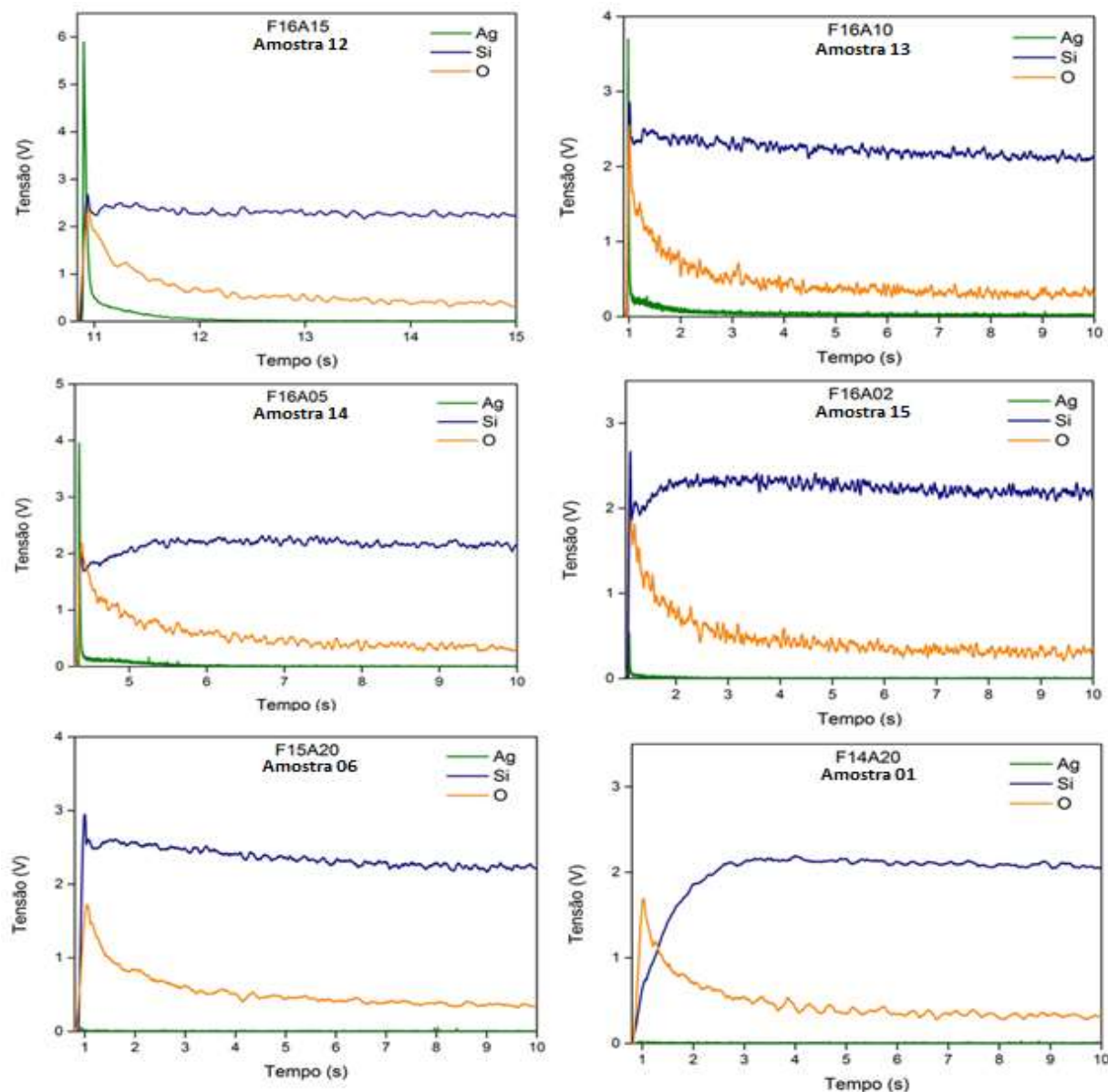
### 3.2 Estimativa da espessura ótima

Através de dados empíricos existentes na literatura, espera-se encontrar uma espessura média de 1 a 2 nm em uma camada de prata oxidada naturalmente e caracterizada pela formação superficial de AgO. <sup>(9)</sup> Nesses termos as amostras 11, 12, 13 e 14 com deposição superior ao esperado de 2 nm, já estariam aptas a suportar a oxidação sem total remoção da camada aderida ao substrato de silício.

Utilizando a equação 10 da taxa de deposição, juntamente com um acréscimo de 50 % como coeficiente de erro na espessura relatada pela literatura de 2 nm chega-se ao valor de 3 nm de espessura de camada de óxido. Aplicando o novo valor de espessura na equação da taxa, constata-se um tempo operação no equipamento de *ion plating* de aproximadamente 8,12 min com corrente de emissão de 16 A. Essa estimativa torna-se importante para a possível aplicação na indústria, pois estimando-se o tempo e espessura corretamente é possível reduzir despesas sobressalentes com filmes superdimensionados aplicados aos biomateriais ou a qualquer outro tipo de substrato.

### 3.3 Caracterização por GD-OES

Sendo o GD-OES amplamente utilizado em caracterização de filmes devido seu perfil de análises quantitativas, pode-se determinar as concentrações dos elementos presentes nas amostras pelo período de tempo. O foco foi mantido nos elementos principais presentes no substrato de silício, como é o caso da prata depositada e da presença de oxigênio atmosférico conforme demonstra Figura 5.



**Figura 5.** Caracterização do perfil dos elementos Ag, Si e O por GD-OES

Assemelhando-se com a análise por RBS, foi constatado que o perfil de espessura de prata aumenta proporcionalmente com o acréscimo da corrente provida pelo processo de deposição no equipamento de *ion plating*. Nesses termos o perfil com corrente de filamento de 16 A no tempo mais longo, apresentou maior espessura de camada.

Através da análise gráfica, fica evidenciado que o perfil das curvas de tensão versus tempo, de fato, caracteriza o comportamento de presença de filmes finos.

Esse comportamento é descrito graficamente pela curva da prata antever o silício de forma abrupta e não gradual, além das curvas da prata e do oxigênio não transporem a curva do silício, nos períodos decorrentes do tempo onde o sistema está estabilizado. Os picos nas curvas do silício ainda indicam que não houve migração dos átomos de prata para o interior do substrato, reforçando a característica de revestimento por filme fino.

A presença do oxigênio nas amostras já era esperada. Possivelmente sua presença está ligada à prata e ao silício na forma de óxidos, porém com a carência de uma análise mais detalhada sobre sua ligação aos elementos do substrato não há como sustentar uma hipótese. No entanto, percebe-se que o oxigênio não apresenta grandes oscilações quantitativas ao comparar as amostras de diferentes tempos e parâmetros de processo, sugerindo um possível padrão linear.

#### 4 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo a deposição de um filme fino de prata em substrato de silício através do processo de PVD, seguido pela obtenção da taxa de deposição por dados empíricos. A deposição do filme fino atingiu as expectativas tanto na condensação junto ao substrato, como também na linearidade dos resultados obtidos. A caracterização realizada por RBS e GD-OES foram determinantes não só para constatação dos elementos presentes, mas também para a análise da espessura de filme. As duas técnicas aplicadas podem ser consideradas complementares, pois auxiliam na quantificação dos componentes, corroborando entre si.

Pode-se afirmar que o fator determinante para a nucleação e crescimento constante do filme fino é a corrente aplicada no dispositivo sendo intensificado com o tempo de exposição no equipamento de *ion plating*. As amostras com correntes de emissão de 14,5 A apresentaram formação de um filme abaixo da espessura ótima estimada para o presente estudo, além de não atingir a espessura mínima necessário para a criação da camada de óxido protetor naturalmente encontrado no filme fino de prata. Sendo esta determinada pela possível formação de ilhas ou pequenos aglomerados de átomos na superfície do substrato. De qualquer modo, não atendendo o objetivo do presente estudo.

Combinando o cálculo da taxa de deposição, que foi assinalado pela linearidade na corrente de emissão de 16 A, com o coeficiente de erro estimado para a espessura da camada de óxido natural de prata, pode-se chegar a um valor teórico de aproximadamente 8,12 min de tempo de deposição. Esse tempo projeta a formação de uma camada de 3 nm de prata, que é o suficiente para a formação do óxido. Com o tempo e espessura estimados é possível reduzir despesas sobressalentes com filmes superdimensionados, sendo essencial para futura aplicação em larga escala. Tal tempo ainda é caso de estudo, pois é necessário prever a eficiência do método perante novas correntes de emissão, novos materiais para o substrato como é o caso dos biomateriais e homogeneidade da camada. O oxigênio atômico que era previsto ser encontrado nas amostras foi mínimo, porém mais testes de caracterização são necessários na determinação das ligações químicas existentes e composições dos óxidos formados.

Este estudo visa à aplicação futura em biomateriais, novas análises ainda devem ser realizadas, como é o caso da deposição dessa camada de prata em um substrato que apresenta íons de  $Ag^+$  previamente implantados. A película depositada poderá agir como uma proteção catódica dos íons implantados, não

alterando as propriedades bactericidas e ainda ocorrendo a reação de oxidação do filme depositado. Nesses termos, tal processo poderá minimizar possíveis intervenções e/ou manutenções futuras que agregam custos adicionais. Pela deposição através de um equipamento de *ion plating*, pode-se atingir boa reprodutibilidade e os resultados apresentados aqui, podem facilmente ser reproduzidos em outros substratos.

## **Agradecimentos**

Ao Laboratório de Engenharia de Superfícies e Tratamentos Térmicos (LESTT) da UCS, ao Instituto de Física e Implantação Iônica da UFRGS, e à empresa Canamor Metalúrgica Ltda.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 SIOSHANSI, P; TOBIN, E. J. Surface treatment of biomaterials by ion beam processes, *Surface and Coatings Technology* 83 (1996) 175-182.
- 2 RODRIGUES, L. B. Aplicação de biomateriais em ortopedia. *Estudos Tecnológicos em Engenharia* 9 2 (2013) 63-76.
- 3 LALLEY, Jacob et al. Silver-based antibacterial surfaces for drinking water disinfection: an overview, *Current Opinion in Chemical Engineering* 2014 3 (2017) 25–29.
- 4 FENG, Q. L. et al. A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*, *Journal of Biomedical Materials Research* 52 4 (2001) 662-668.
- 5 SÁNCHEZ-LÓPEZ, J. C. et al. Influence of silver content on the tribomechanical behavior on Ag-TiCN bioactive coatings, *Surface and Coatings Technology* 206, (2012) 2192-2198.
- 6 TECHNOLOGY UTILIZATION CONFERENCE, 1972, Washington. *Proceedings...* Washington: National Aeronautical and Space Administration, 1972.
- 7 MATTOX, D. M. *Handbook of physical vapor deposition (PVD) processing*. 2. ed. Elsevier, 2010.
- 8 MATTOX, Donald M. Ion plating: past, present and future, *Surface and Coatings Technology* 133-134 (2000) 517-521.
- 9 DE ROOIJ, A. The oxidation of silver by atomic. *ESA Journal* 13 (1989) 363-382.
- 10 GENTIL, Vicente. *Corrosão*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 360 p.
- 11 DIAS, Claudio A. C. M. *Produção e caracterização de filmes finos de óxido de zinco intrínsecos e dopados com alumínio e boro*. 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado em engenharia e ciência dos materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campo dos Goytacazes, 2005.
- 12 DOS SANTOS, Heberton W. L. *Síntese de nanopartículas metálicas por deposição física de vapor em líquidos iônicos e óleos vegetais*. 2011. 123 f. Tese (Doutorado em física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- 13 WASA, K.; KITABATEKE, M.; ADACHI, H. *Thin films material technology: sputtering of compound materials*. Norwich: William Andrew Publishing, 2004.

- 14 TAMULEVICIUS, S; PRANEVICUS, L. Ion-beam-activated processes on the surfaces of solids, *Surface and Coatings Technology* 71 (1995) 239-249.
- 15 HUDSON, John B. *Surface science: an introduction*. New York: J. Wiley, 1998.
- 16 PETERSEN, K. E. Silicon as a mechanical material. In: *INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, 1982, [S.I.]. Proceedings...* [S.I.]: IEEE, 1972.

## DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA ENSAIOS TRIBOLÓGICOS DO TIPO PINO-SOBRE-DISCO

Accadrolli, G.<sup>1</sup>  
de Verney, J. C. K.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eng. Mecânico, Gláucio Accadrolli, AGCO, [glaucio.acc@hotmail.com](mailto:glaucio.acc@hotmail.com)

<sup>2</sup> Dr. Eng. Metalúrgico, José Carlos Krause de Verney, ULBRA/PPGEMPS, [jcverney@ulbra.br](mailto:jcverney@ulbra.br)

### RESUMO

Terminologia proveniente da palavra grega *tribos*, traduzida como “atrito”, a tribologia trata-se da ciência que estuda as diversas manifestações do fenômeno do atrito entre materiais. Embora a utilização de ensaios tribológicos represente inúmeras vantagens no desenvolvimento de projetos, principalmente no que diz respeito à escolha mais assertiva de materiais, esta ciência ainda é pouco explorada. No Brasil, há uma grande dificuldade de acesso a dispositivos adequados para este tipo de ensaio, e a literatura nacional disponível é escassa e pouco aprofundada. Buscando colaborar com o preenchimento destas lacunas, o presente trabalho teve o objetivo de desenvolver e validar um dispositivo do tipo pino-sobre-disco para a realização de ensaios tribológicos, tendo como referência a norma ASTM G 99. Após o aprofundamento teórico e construção do equipamento, o mesmo foi testado de acordo com os parâmetros ditados pela norma de referência, sob as condições determinadas pela mesma, e os resultados comparados com os apresentados pelo regulamento a fim de possibilitar a validação dos testes. Os resultados apresentados demonstraram excelente reprodutibilidade em relação à norma, verificada a partir do desgaste observado nos materiais, confirmando o potencial do dispositivo desenvolvido em ser utilizado para uma infinidade de outros testes. A variação de materiais, cargas, lubrificações, condições atmosféricas, velocidade, entre outros parâmetros, torna possível a utilização do tribômetro projetado na realização de testes com as mais diversas finalidades e aplicações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tribologia, desgaste, pino-sobre-disco, ASTM G 99.

### DEVELOPMENT OF A PIN-ON-DISC DEVICE FOR TRIBOLOGICAL TESTS

#### ABSTRACT

The terminology from the Greek word *tribos*, translated as "friction", tribology is the science that studies the manifestations of the phenomenon of friction among materials. Although the use of tribological trials represents a number of advantages in the projects development, especially in the more assertive choice of materials, this science is still little explored. In Brazil, there is a great difficulty in accessing suitable devices for this kind of test, and the available national literature is scarce and in little depth. The aim of this study was to develop and validate a pin-on-disk device for the tribological tests performance, with reference to ASTM G 99. After the theoretical study and equipment construction, it was tested according to the parameters dictated by the reference standard, under the conditions determined by the same, and the results compared with



those presented by the regulation in order to allow the validation of the tests. The results demonstrated excellent reproducibility with respect to the norm, verified from the observed wear on the materials, confirming the potential of the developed device to be used for a great number of other tests. The variation of materials, loads, lubrications, atmospheric conditions, velocity, among other parameters, makes possible the use of the designed tribometer in the accomplishment of tests with the most diverse purposes and applications.

**KEYWORDS:** Tribology, wear, pin-on-disk, ASTM G 99.

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade de submeter materiais a análises tribológicas é cada vez mais indispensável na indústria, como por exemplo, para definir os parâmetros corretos e os lubrificantes mais adequados nos processos de conformação mecânica ou até mesmo auxiliar no planejamento de rotinas de manutenções de máquinas e equipamentos. Estas análises permitem conhecer o comportamento tribológico de dois materiais (diferentes ou não) atuando em conjunto (par de materiais), para que seja possível determinar o melhor meio de lubrificação e avaliar o seu comportamento mediante as influências intrínsecas da aplicação, tais como: temperatura, deslocamento, tempo, lubrificação, materiais dos componentes, etc. Os dois principais critérios da aplicação tribológica na indústria são a confiabilidade e a durabilidade dos componentes, pois para o desenvolvimento de projetos, dados como materiais, lubrificantes e fatores ambientais devem ser integrados com a finalidade de produzir um componente confiável e durável<sup>(1-14)</sup>.

Os ensaios tribológicos são de grande importância, pois o atrito e o desgaste são causados por complexos conjuntos de múltiplos contatos mecânicos de ordem microscópica entre superfícies deslizando umas em relação às outras. O impacto do contato entre as superfícies é o resultado da seleção de material, da geometria, da topografia e das condições em que ocorre a interação entre as partes, como por exemplo, a carga, temperatura, meio atmosférico, tipo de contato, entre outros fatores. Em síntese, o atrito e o desgaste não podem ser considerados simplesmente parâmetros de materiais, são características ímpares de um sistema tribológico em que um determinado par de material é submetido<sup>(1-14)</sup>.

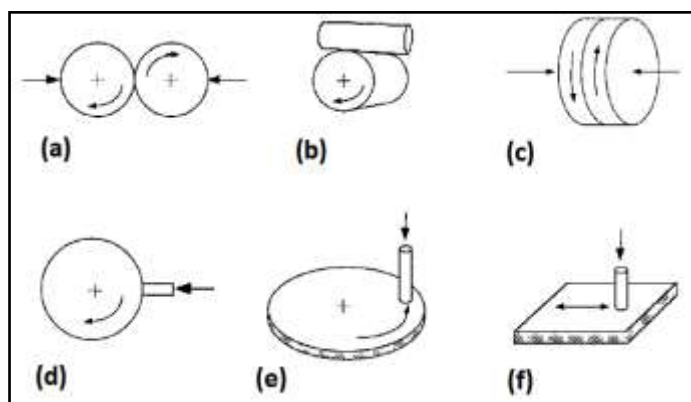
A modelagem do problema de sistema tribológico é de fato complexa, pois a percepção de como ocorre o contato real de uma superfície em deslizamento ou rolamento em comparação ao contato nominal é turva, pois a carga real é conduzida pela rugosidade de uma superfície e não por toda a região aparentemente em contato, caracterizando elevadas pressões e tensões cisalhantes, assim como elevadas temperaturas pontuais. Há poucos meios de ensaios tribológicos que expressam resultados confiáveis ou até mesmo razoáveis dos processos de atrito e desgaste, além de não haver uma correlação simples entre os dois fenômenos tribológicos, como por exemplo, um baixo coeficiente de atrito não sugere baixas taxas de desgaste<sup>(1-14)</sup>.

Um sistema tribológico não deve ser julgado como algum tipo de material, mas sim como uma etapa no desenvolvimento de materiais ou na seleção de materiais destinados a aplicações em que envolvam critérios tribológicos. Isto porque há uma vasta gama de materiais que possuem um baixo coeficiente de atrito ou alta resistência

ao desgaste na maioria das aplicações mecânicas e devem ser referenciados como materiais de baixo coeficiente de atrito ou resistentes ao desgaste<sup>(1-14)</sup>.

Ao selecionar o teste para realizar o ensaio tribológico do material de um componente, torna-se imprescindível simular as condições de aplicação em que o mesmo irá atuar. A interpretação dos resultados do teste de desgaste por deslizamento geralmente possui maior dificuldade quando comparado aos testes de abrasão ou erosão. Como consequência, a taxa de desgaste geralmente não é proporcional à distância de deslizamento e às vezes também não possui relações com as propriedades dos materiais ensaiados, como por exemplo, dureza<sup>(1-14)</sup>.

Há uma grande variedade de formas geométricas de testes de desgaste por deslizamento (Figura 1). Porém, é usual distinguir as amostras do ensaio quanto à classificação de elementos simétricos ou assimétricos. A Figura 1a e Figura 1c ilustram tipos simétricos de amostras, nos quais os resultados devam ser semelhantes, contudo tais arranjos não são usados frequentemente, pois ensaios utilizando amostra assimétricas (Figura 1d, Figura 1e e Figura 1f) são mais comumente utilizados pelo fato do contato não ser uma característica dominante, por produzirem resultados diferentes até mesmo no próprio posicionamento da amostra durante o ensaio. Axén, Hogmark e Jacobson<sup>(2)</sup> creem que devido à simplicidade e flexibilidade empregadas nas condições do teste e das formas das amostras, a configuração assimétrica da metodologia de determinação do desgaste do tipo pino-sobre-disco (Figura 1e), torna-se uma das metodologias de ensaio mais utilizadas para avaliar o desgaste deslizante<sup>(3)</sup>.



**Figura 1.** Ilustrações de testes utilizados para determinação do desgaste deslizante<sup>(3)</sup>.

Em sua maioria as configurações de desgaste por deslizamento são normalizadas. Organizações como a *American Society for Testing and Materials* (ASTM) e *Deutsches Institut für Normung* (DIN), regem os procedimentos e recomendações para a realização da grande maioria dos ensaios tribológicos<sup>(2)</sup>.

Para analisar o comportamento do desgaste dos materiais, os parâmetros devem ser controlados de maneira a reproduzir sem interferências externas as condições de aplicabilidade do material. Para a determinação de desgaste e atrito, um bom método a ser adotado é o ensaio tribológico do tipo pino-sobre-disco. Esse ensaio consiste em aplicar uma força controlada exercida através de um pino estático deslizando sobre um disco em giro constante de velocidade uniforme. O deslizamento desse par de materiais é parametrizado com uma dada distância a ser percorrida em

uma circunferência onde ocorrerá o desgaste, distância esta que dita o início e o término do ensaio. Condições climáticas como temperatura e umidade relativa do ar foram controladas no laboratório onde foram realizados os ensaios tribológicos. O motor que faz o disco girar tem reserva suficiente de torque para garantir que a velocidade do disco seja constante, além de não vibrar a ponto de interferir significativamente nos resultados do ensaio. O braço de fixação do pino foi confeccionado também com o propósito de diminuir as interferências causadas pelas vibrações do dispositivo. As amostras foram devidamente preparadas antes do início do ensaio tribológico, e características como rugosidade, forma, geometria e limpeza foram consideradas. O equacionamento do desgaste tem como base a perda volumétrica do par de material (de forma individual), assim como suas respectivas formas geométricas e sua densidade<sup>(15)</sup>.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho tem como principal finalidade projetar e construir um dispositivo denominado tribômetro do tipo pino-sobre-disco, equipamento este que é empregado em avaliações do comportamento tribológico dos materiais. Para viabilizar essa ideia, foi necessário organizar as etapas do projeto em três partes: Desenvolvimento, construção e ensaio avaliativo.

O projeto do dispositivo para ensaios tribológicos do tipo pino-sobre-disco foi desenvolvido para atender os requisitos abordados na norma ASTM G 99<sup>(15)</sup>. Para o desenvolvimento do dispositivo foram adotados os seguintes critérios:

Sistema gerador de movimento

Controle de velocidade

Estrutura do dispositivo pino-sobre-disco

Porta amostra (Disco): DIN100Cr6<sup>(16)</sup> temperados – três amostras: DA, DB e DC

Porta amostra (Pino): esferas DIN100Cr6<sup>(16)</sup> temperadas

Para a realização do ensaio tribológico, foram adotadas condições semelhantes para a validação do dispositivo, informados pela norma ASTM G 99 (Tabela 1)<sup>(15)</sup>.

**Tabela 1.** Condições de ensaio tribológico informado na norma ASTM G 99<sup>(15)</sup>

Parâmetro	Força	Velocidade	Distância de Deslizamento	Temperatura [1]	Umidade Relativa do Ar [a]
Valor	10 N	0,1 m/s	1000 m	23°C ± 1°C	12 a 78 %

[a]: Valores aplicados no laboratório.

### Amostras

O material selecionado para as amostras do pino foram esferas que compõem conjuntos de rolamentos e do disco foram anéis de rolamentos, ambos confeccionados em aço DIN100Cr6<sup>(16)</sup>. Além de atender o material referenciado na norma, os componentes atendem os critérios de dureza e rugosidade, informados pela norma ASTM G 99 (Tabela 2)<sup>(15)</sup>.

**Tabela 2** - Características interlaboratoriais dos corpos de prova confeccionados em aço DIN100Cr6<sup>(16)</sup> citados e utilizados na norma ASTM G 99<sup>(15)</sup>.

Amostra	Composição (% do peso)	Microestrutura	Dureza (HV10)	Rugosidade	
				R <sub>z</sub> (µm)	R <sub>a</sub> (µm)
Esfera de aço DIN100Cr6	Cr 1,35 a 1,65	Martensítica com menores carbonetos e austenita	838 ± 21	0,100	0,010
	C 0,95 a 1,10				
	Si 0,15 a 0,35				
	Mn 0,25 a 0,45				
Disco de aço DIN100Cr6	P < 0,030	852 ± 14	0,952	0,113	
	S < 0,030				

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estrutura do dispositivo foi projetada em aço para ser robusta e suportar as solicitações geradas pelo sistema de transmissão. Os componentes selecionados são aços estruturais comumente empregados na construção mecânica, unidos pelo processo de soldagem e também por elementos de fixação (Figuras 2 a 4).



**Figura 2.** Concepção do projeto estrutural do dispositivo



**Figura 3.** Conceito do projeto do dispositivo



**Figura 4.** Equipamento com montagem finalizada para ensaio.

Os parâmetros utilizados para a realização do ensaio tribológico e as informações das amostras utilizadas estão listadas resumidamente abaixo:

- Força: 10 N;
- Velocidade: 0,1 m/s (877 RPM);
- Tempo de duração do ensaio: 262 s (4,22 minutos).
- Pista de desgaste <sup>[b]</sup>: Ø 86 mm;
- Amostra Disco <sup>[c]</sup>: Anel de rolamento Ø 106,60 mm e espessura de 4 mm (marca: INA);
- Amostra Pino <sup>[d]</sup>: esfera de rolamento Ø 10,20 mm (marca: INA);
- Condição de desgaste: Não lubrificado;
- Distância de deslizamento: 1000 m;
- Temperatura laboratorial: 23,3 a 23,7 °C;

Umidade relativa do ar (no laboratório): 12 a 78 %.

<sup>[b]</sup>: A norma ASTM G 99 utiliza um diâmetro de 32 mm como pista de desgaste.

<sup>[c]</sup>: A norma ASTM G 99 utiliza um diâmetro de 40 mm para amostras do tipo disco.

<sup>[d]</sup>: A norma ASTM G 99 utiliza esferas com diâmetro de 10 mm.

## Amostras

Com o propósito de validar o dispositivo em questão, foi utilizado como amostra o mesmo material exemplificado na norma que rege o ensaio, tanto para o disco como para o pino.

Com o auxílio de um microdurômetro (marca: Insize, modelo: ISH-TDV1000), foram realizados ensaios para obter a microdureza das amostras de disco em quatro pontos equidistantes. Os valores de microdureza obtidos estão levemente inferiores com os dados informados na pela norma (64 a 66 HRC), os valores verificados em laboratório são informados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Microdureza HV1 dos discos.

Disco	Ponto 1 (HV 1)	Ponto 2 (HV 1)	Ponto 3 (HV 1)	Ponto 4 (HV 1)	Média (HV 1)	Média (HRC)
DA	701	700	688	686	694	60
DB	763	731	739	747	745	62
DC	700	720	740	730	722	61

DA: amostra Disco "A", DB: amostra Disco "B" e DC: amostra Disco "C".

A dureza das esferas após a têmpera está compreendida entre 62 HRC a 66 HRC, confirmada com o auxílio do microdurômetro, aplicando-se uma carga de HV 0,2. A dureza da esfera foi de 883 HV (65 HRC).

### Rugosidade Superficial das Amostras

As amostras dos três discos, nomeados como DA, DB e DC, foram preparadas antes do início do ensaio com a finalidade de manter-se um padrão, analisando características como: acabamento superficial (corrosão e marcas de ferramenta), detritos e impurezas. A rugosidade inicial (Tabela 4 e Tabela 5) foi medida com um rugosímetro eletrônico portátil (marca: Starrett, modelo: SR200).

**Tabela 3.** Rugosidade Rz inicial dos discos

Disco	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Média
	R <sub>z</sub> (µm)	R <sub>z</sub> (µm)	R <sub>z</sub> (µm)	R <sub>z</sub> (µm)	R <sub>z</sub> (µm)
DA	7,8	8,9	8,2	8,5	8,350
DB	7,5	8,0	8,1	7,5	7,775
DC	7,5	6,8	7,1	7,1	7,125

**Tabela 4.** Rugosidade Ra inicial dos discos

Disco	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Média
	R <sub>a</sub> (µm)	R <sub>a</sub> (µm)	R <sub>a</sub> (µm)	R <sub>a</sub> (µm)	R <sub>a</sub> (µm)
DA	1,58	1,64	1,62	1,62	1,615
DB	1,54	1,48	1,46	1,40	1,470
DC	1,42	1,34	1,36	1,36	1,370

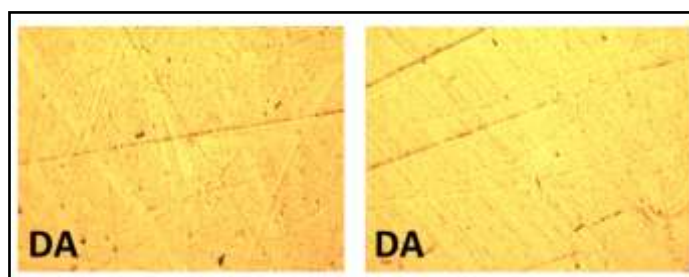
Observando-se a Figura 5, é possível caracterizar os riscos das amostras DA e DB como sendo provenientes do processo de torneamento, além de se enquadrarem na classe de rugosidade N7 (R<sub>a</sub> próximo ao valor 1,6 µm). A amostra DC apresenta uma rugosidade levemente menor em relação às outras amostras, porém há indícios de danos superficiais como pontos de desgaste corrosivo.

Para chegar aos valores de rugosidade superficial indicados na norma ASTM G 99<sup>(15)</sup>, as amostras DA e DB passaram por um processo de lixamento com a utilização de diferentes tipos de grão.

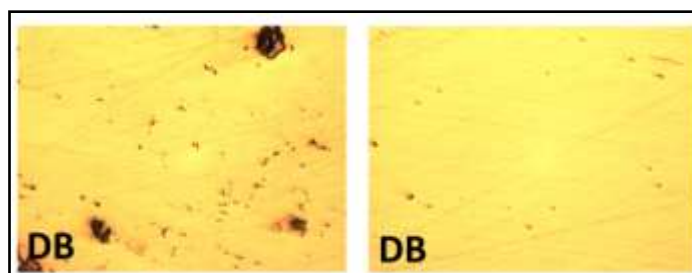
A superfície da mostra DA (Figura 6) foi uniformizada através do processo de lixamento com lixas grão: 120, 320, 400 e 1200. Após realizou-se o processo polimento com o uso de alumina 1 µm, resultando o acabamento superficial polido. A superfície da mostra DB foi uniformizada, porém com lixas de grão: 400 e 1200, após realizou-se o processo polimento com o uso de alumina, resultando num acabamento superficial polido (Figura 7). A utilização de diferentes granulometrias para o lixamento das amostras DA e DB, tem por finalidade de avaliar a influência da rugosidade na validação do dispositivo. A superfície da amostra DC foi mantida conforme recebida, sem nenhum processo de lixamento e mantendo os pontos de desgaste corrosivo, para verificar a sua influência na validação do ensaio tribológico.



**Figura 5.** Riscos superficiais provenientes do processo de fabricação (DA e DB) e indícios de desgaste corrosivo (DC), ampliados 40X



**Figura 6.** Estado superficial da amostra DA após a preparação superficial, ampliadas em 40X e 100X, respectivamente.



**Figura 7.** Estado superficial da amostra DB após a preparação superficial, ampliadas em 40X e 100X, respectivamente.

Após o processo de lixamento e polimento, as amostras de discos foram devidamente limpas utilizando álcool etílico. A rugosidade das amostras foi mensurada novamente utilizando o rugosímetro eletrônico portátil. Os valores obtidos nas amostras DA e DB são informados na Tabela 6 e Tabela 7. Os valores de rugosidade da amostra DB estão mais próximos aos valores informados na norma ASTM G 99<sup>(15)</sup> (Tabela 2), em relação à amostra DA.

**Tabela 6.** Rugosidade Rz após a preparação dos discos.

Disco	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Média
	R <sub>z</sub> (µm)	R <sub>z</sub> (µm)	R <sub>z</sub> (µm)	R <sub>z</sub> (µm)	R <sub>z</sub> (µm)
DA	0,3	0,4	0,6	0,5	0,450
DB	0,8	1,0	0,9	0,9	0,900

DA: amostra Disco "A" e DB: amostra Disco "B".

**Tabela 7.** Rugosidade Ra após a preparação dos discos.

Disco	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Média
	R <sub>a</sub> (µm)	R <sub>a</sub> (µm)	R <sub>a</sub> (µm)	R <sub>a</sub> (µm)	R <sub>a</sub> (µm)
DA	0,06	0,06	0,07	0,07	0,065
DB	0,08	0,10	0,14	0,10	0,105

DA: amostra Disco “A” e DB: amostra Disco “B”.

### Ensaio Tribológico

As amostras foram limpas cuidadosamente com álcool etílico, em seguida, foram desumidificadas em uma estufa a 110 °C por 60 minutos.

Após a remoção das amostras da estufa, as mesmas foram expostas por 60 minutos no laboratório com a finalidade de obterem um equilíbrio térmico com o ressoito.

### Medição da perda de massa

A medição da massa dos discos (Tabela 8) foi obtida através da utilização de uma balança analítica com capacidade de 500,000 g e resolução de 0,001 g (marca: Bel, modelo: Mark 500CP).

Para realizar a medição da massa das esferas (Tabela 8), foi utilizada uma balança analítica com resolução de 0,0001 g e capacidade para amostras até 210,0000 g (marca: Bosch, modelo: SAE200).

**Tabela 8.** Mensuramento das massas das amostras nas condições laboratoriais

Amostra	Massa			Laboratório	
	Inicial (g)	Final (g)	Perda de Massa (g)	Temperatura (°C)	Umidade (%)
DA	238,737	238,731	0,006	23,70	49
EA	4,4705	4,4700	0,0005		
DB	240,512	240,516	0,004 (Ganho)	23,70	51
EB	4,4803	4,4787	0,0016		
DC	241,050	241,050	0,000	23,30	50
EC	4,4780	4,4744	0,0036		

DA: amostra Disco “A”, DB: amostra Disco “B”, DC: amostra Disco “C”, EA: amostra Esfera “A”, EB: amostra Esfera “B” e EC: amostra Esfera “C”.

A mudança de massa das esferas foi mensurada conforme visto na Tabela 8, medindo a diferença de massa antes e depois da realização do ensaio tribológico. A fim de obedecer às recomendações ditadas pela norma, critérios como controle climático, manuseio e limpeza pós-ensaio foram empregados. A amostra DB foi utilizada para realizar a validação, pois a rugosidade mensurada na mesma (Tabelas 6 e 7) assemelha-se as características superficiais informadas na norma (Tabela 2). A perda volumétrica mensurada na amostra EB, exemplificado por Neale e Gee<sup>(6)</sup>, reproduziu de forma satisfatória o resultado informado pela norma ASTM G 99<sup>(15)</sup> (Tabela 9), com uma variação de aproximadamente 1%.



**Tabela 9.** Comparativo da perda volumétrica da esfera ensaiada com os resultados da norma ASTM G 99<sup>(15)</sup>

Esfera-Disco	Par de material (Aço-aço)	
	ASTM G 99	Amostras EB
Diâmetro da cicatriz de desgaste da esfera (mm)	2,11 ± 0,27	2,15
Volume gasto da esfera (10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> )	198	204
Largura da cicatriz de desgaste do disco (mm)	[1]	[1]
Volume gasto do disco (10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> )	[1]	[1]

[1]: Valores considerados menores que o limite reprodutivo de medição (ASTM G 99).

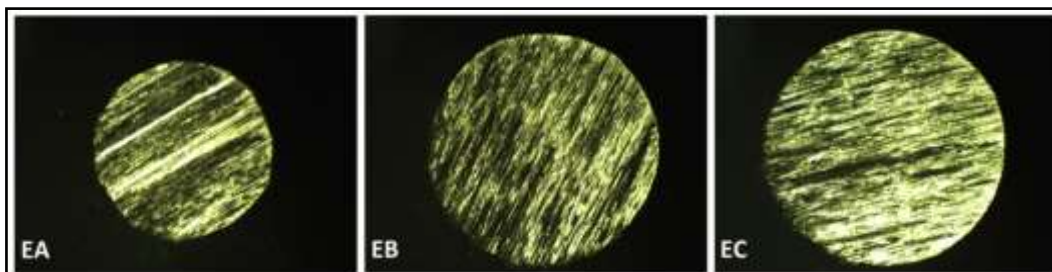
### Influência da Rugosidade no Desgaste

A influência na preparação da superfície das amostras dos discos foi expressiva, pois a amostra com maior rugosidade (DC) ocasionou um maior desgaste na amostra EC, resultando conseqüentemente em um diâmetro de cicatriz maior quando comparado às amostras EA e EB (Tabela 10).

**Tabela 5.** Diâmetro da cicatriz de desgaste das esferas.

Amostras Esfera	Média da rugosidade (Amostras Discos)		Cicatriz de Desgaste Ø (µm)
	Ra (µm)	Rz (µm)	
EA	0,065	0,450	1629,865
EB	0,105	0,900	2149,089
EC	1,370	7,125	2175,872

A diferença entre patamares de rugosidade das amostras DA e DB também são significativos, pois o desgaste verificado na Figura 8 da amostra EA em relação EB é muito menor, tornando o acabamento superficial um fator de grande relevância em ensaios tribológicos (Figura 9).



**Figura 8.** Desgaste das esferas em função dos diferentes patamares de rugosidade dos discos (ampliado em 50X).

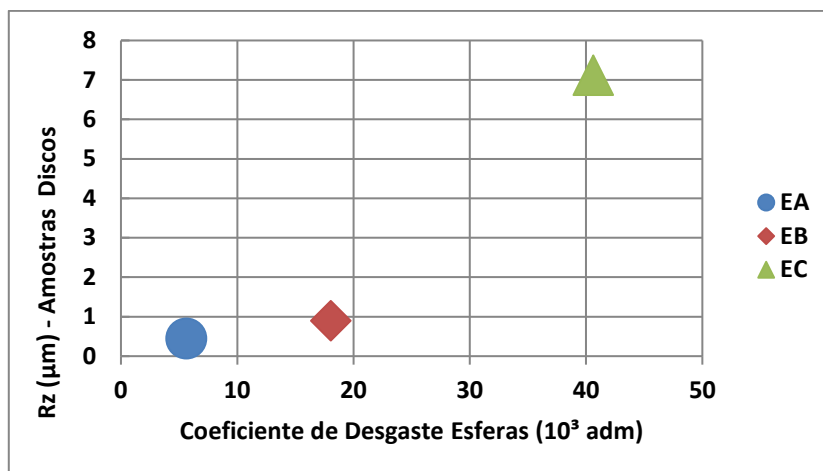


Figura 3. Influência do acabamento superficial no coeficiente de desgaste das esferas.

### Comportamento das Amostras dos Discos

A Figura 10 destina-se a exemplificar o comportamento das amostras dos discos, onde brevemente é abordada uma análise tribológica das mesmas.

A amostra DA sofreu um desgaste não significativo em relação a sua massa inicial, caracterizada pela baixa rugosidade da superfície da mesma.

Na amostra DB ocorreu uma adição de massa oriunda da amostra EB devido ao mecanismo de desgaste adesivo (Figura 11). Um provável fator que contribuiu para ocorrência desse fenômeno é esclarecido por Norton<sup>(17)</sup>, por uma baixa rugosidade superficial da amostra juntamente com a ausência de contaminantes.

A amostra DC não sofreu desgaste significativo em relação à resolução da balança analítica em que foi mensurada sua massa final.

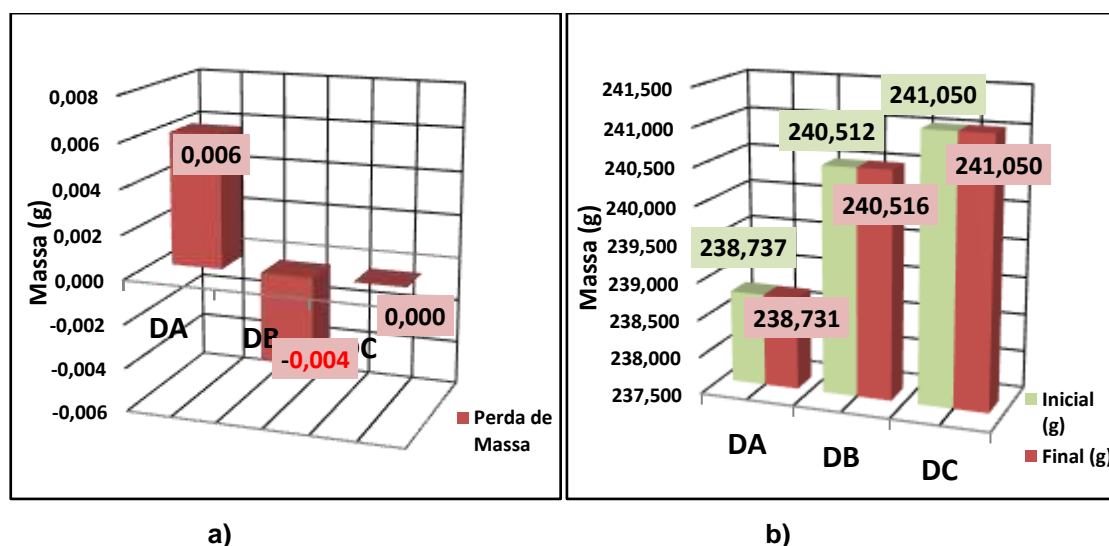
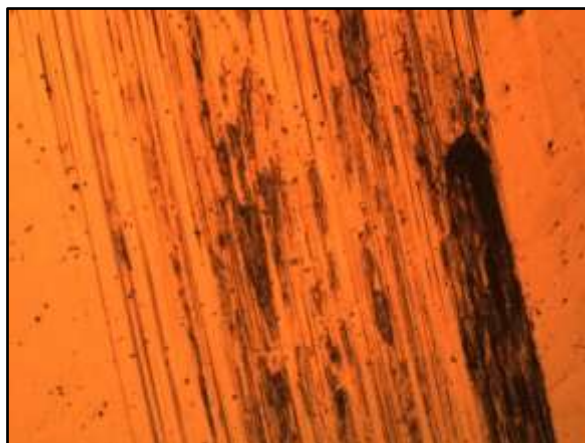


Figura 10. Comportamento tribológico dos discos, em a) análise da perda de massa e em b) a massa dos discos antes e após ensaio.



**Figura 11.** Adesão de massa da amostra EB na superfície do disco, ampliado em 40X.

## CONCLUSÃO

### Em relação ao dispositivo:

- As premissas iniciais de projeto juntamente com a concepção do mesmo através da modelagem em ferramenta CAD auxiliaram na construção do dispositivo, possibilitando a utilização de elementos de máquinas disponíveis comercialmente. Com isso, o desenvolvimento do dispositivo tornou-se viável.
- O comportamento mecânico do dispositivo não influenciou nos resultados dos ensaios tribológicos, tão pouco na validação do mesmo. Porém, detectou-se que o batimento axial das amostras dos discos estava acima do recomendado na literatura, entretanto, não houve influências perceptivas de tolerância geométrica na validação do dispositivo.

### Em relação aos ensaios tribológicos:

- Com a reprodução das condições laboratoriais e os parâmetros informados pela norma ASTM G 99, foi possível obter uma reprodutibilidade satisfatória dos resultados utilizando o mesmo par de materiais exemplificado em norma. Os dados de perda volumétrica da amostra estacionária (esfera) e o diâmetro da cicatriz de desgaste gerada na mesma durante o ensaio tribológico foram referências utilizadas para validar o dispositivo. A diferença entre os resultados obtidos após o ensaio e as informações da norma é de 1,17 % para a perda volumétrica e de 1,10 % para o diâmetro da cicatriz de desgaste, ambas a diferença para mais.
- As amostras dos discos não sofreram desgaste significativo, apenas na amostra DB ocorreu um fenômeno tribológico relevante pelo registro da adesão de material em sua superfície. Isso se deve a influência do fator da baixa rugosidade entre as amostras ensaiadas. As amostras das esferas sofreram um desgaste proporcional aos diferentes estágios de rugosidades das amostras rotativas (discos). A rugosidade dos discos foi um fator incisivo no desgaste das esferas.

## REFERÊNCIAS

- 1 HSU, S. M.; BHUSHAN B. **Modern tribology handbook**. Vol. 1. CRC press, 2001.
- 2 AXÉN, N.; HOGMARK, S.; JACOBSON, S. **Modern tribology handbook**. Vol. 1. CRC press, 2001.
- 3 BAYER, R. G. **Mechanical Wear Fundamentals and Testing, revised and expanded**. CRC Press, 2004.
- 4 BHUSHAN, B. **Introduction to tribology**. John Wiley & Sons, 2013.
- 5 CHENG, H. S. **ASM handbook: Friction, lubrication, and wear technology**. Vol. 18. ASM International, 1992.
- 6 NEALE, M.; GEE, M.. **A guide to wear problems and testing for industry**. William Andrew, 2001.
- 7 DA SILVA, F. A. P. **Tribologia: noções gerais**. Fundação Calouste Gulbenkian, 1985.
- 8 TYLCZAK, J.H. **ASM handbook: Friction, lubrication, and wear technology**. Vol. 18. ASM International, 1992.
- 9 DOWSON, D. **History of Tribology**. In: BHUSHAN, B. **Introduction to tribology**. John Wiley & Sons, 2013.
- 10 GLAESER, W. A. **ASM handbook: Friction, lubrication, and wear technology**. Vol. 18. ASM International, 1992.
- 11 GLAESER, W. A. **Modern tribology handbook**. Vol. 1. CRC press, 2001.
- 12 HOGMARK, S.; JACOBSON, S.; VINGSBO, O. **ASM handbook: Friction, lubrication, and wear technology**. Vol. 18. ASM International, 1992.
- 13 HUTCHINGS, I. M. **Tribology: friction and wear of engineering materials**. 1992.
- 14 LARSEN-BASSE, J. **ASM handbook: Friction, lubrication, and wear technology**. Vol. 18. ASM International, 1992.
- 15 ASTM International. **ASTM G 99 - 04: Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus**, 2004.
- 16 Upsteel, **1.3505, DIN 100Cr6, AISI 52100**. [s.d.] Disponível <http://www.upsteel.com/index.php?c=index&a=show&catid=17&id=9406> Acesso em: 28 mai. 2017.
- 17 NORTON, R. L. **Projeto de máquinas**. Bookman Editora, 2013.

## ANÁLISE DE ACABAMENTO SUPERFICIAL NA USINAGEM DE PEÇAS DE AÇO OBTIDAS POR METALURGIA DO PÓ

Machado, R.<sup>1</sup>

Martins, V. F.<sup>2</sup>

Hernandez, Jr, P. C.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico Ramiro Machado, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Campus de Sapucaia do Sul, ramiro.mchd@gmail.com.

<sup>2</sup> Professor Dr. Vinicius Martins, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Campus de Sapucaia do Sul, viniciushiper@yahoo.com.br.

<sup>3</sup> Professor Dr. Pedro Carlos Hernandez Junior, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Campus de Sapucaia do Sul, Pedro@sapucaia.ifsul.edu.br.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo

Este estudo buscou analisar o comportamento dos aços sinterizados quando submetidos ao processo de usinagem com base em resultados de acabamento superficial. Os principais fatores observados foram velocidade e profundidade de corte visando encontrar valores que produzissem a menor rugosidade superficial possível. A necessidade de estudos como este está na carência de informações a respeito dos aços sinterizados e sobre o seu comportamento quando submetido à processos subseqüentes, tais como a usinagem. As amostras de aço sinterizado Distaloy AE, obtidas por metalurgia do pó, foram submetidas ao torneamento de face com a variação dos fatores mencionados, utilizando dois tipos de ferramenta de corte: aço rápido e metal duro. Em seguida foram realizadas medições de rugosidade superficial para analisar as variações no acabamento superficial. A pesquisa possibilitou relacionar o comportamento dos aços obtidos pela metalurgia do pó com os aços comuns e observar semelhanças e diferenças. A descontinuidade de corte e a porosidade foram características observadas durante os ensaios. Foi possível verificar que as velocidades de corte mais altas utilizadas com a ferramenta de metal duro, juntamente com as profundidades de corte mais altas, mostraram-se mais adequadas para obter um acabamento superficial com menor rugosidade. A usinagem com este tipo de ferramenta parece não ter sido influenciada de maneira significativa pela descontinuidade de corte promovida pela porosidade.

**Palavras-chave:** Metalurgia do pó, Usinagem; Acabamento superficial, Porosidade.

### ANALYSIS OF SURFACE FINISH IN MACHINING OF STEEL PARTS MANUFACTURED BY POWDER METALURGY

#### Abstract

This study aimed to analyze the behavior of sintered steels when subjected to machining process based on surface finish results. The main factors observed were speed and depth of cut, searching for values that produce the smallest possible

surface roughness. The necessity of studies like this is in the lack of information about the sintered steels and on their behavior when subjected to subsequent processes, such as machining. Samples of sintered steel Distaloy AE, obtained by powder metallurgy, were submitted to the face turning with variation of the factors already mentioned, using two types of cutting tool: speed steel and carbide. Then were performed measurements of surface roughness to analyze changes in the surface finish. The research allowed relates the behavior of the steel obtained by powder metallurgy with ordinary steels and observes similarities and differences. The cutting discontinuance and the porosity were the observed characteristics during the tests. It was possible to verify that the highest cutting speeds used with the hard metal tool, together with the higher cutting depths, proved to be more adequate for surface finish with less roughness. Machining with this type of tool does not seem to have been influenced significantly by cutting discontinuance promoted by porosity.

**Key words:** Powder metallurgy, Machining, Superficial finish, Porosity.

## 1 INTRODUÇÃO

O presente estudo relaciona as questões de aperfeiçoamento de processos de fabricação e de sustentabilidade ambiental. Uma vez que a usinagem, como processo subsequente de trabalho para peças sinterizadas, traz novas possibilidades de geometrias e formas para os produtos da metalurgia do pó e melhores condições para a realização de ajustes que venham a ser necessários para suas aplicações.

Segundo Salak *et al* (2006), a usinagem de materiais obtidos por metalurgia do pó é caracterizada principalmente por quantidades pequenas de material que deve ser removido da peça na forma de cavaco em comparação com a produção de componentes estruturais pela usinagem convencional de aço forjado. Apesar desta vantagem, a usinabilidade de materiais sinterizados é considerada baixa e de alto custo, devido às muitas características específicas.

De acordo com Causton e Cimino (1998), muitos materiais sinterizados são usinados com condições de corte e ferramentas que foram otimizadas para trabalhar com os seus respectivos forjados. Quando este método não fornece bons resultados, a conclusão é que a usinabilidade do aço obtido por metalurgia do pó é inferior ao seu concorrente. A conclusão mais correta é que os aços sinterizados são diferentes e muitas vezes podem ser otimizados por melhorias nas condições de usinabilidade e nas ferramentas de corte. Assim, o conhecimento necessário para usinar de maneira eficiente as peças obtidas por metalurgia do pó precisa ser aprimorado e divulgado.

Este estudo teve como objetivo estudar a usinabilidade com base no acabamento superficial do aço sinterizado Distaloy AE e observar o seu comportamento durante a usinagem. Buscou-se minimizar possíveis problemas com o processo e obter as melhores condições de trabalho para o material, a fim de encontrar resultados de condições e parâmetros adequados para usinagem do aço sinterizado, de maneira a definir um padrão inicial de configuração de máquina e parâmetros de usinagem como: velocidade de corte, rpm em função da rugosidade superficial desejada. Procurou-se também averiguar a existência de influência da porosidade das superfícies das peças sinterizadas sobre a usinagem.

Segundo Causton e Cimino (1998) e Robert-Perron *et al* (2005), a presença de porosidade em componentes sinterizados modifica severamente o processo de usinagem. O primeiro e provavelmente mais significativo efeito é sobre o corte, que se torna descontínuo e sobre a aresta de corte que irrompe da peça no encontro dos poros. Esta sucessão de pequenos impactos na aresta de corte faz com que a ferramenta venha a falhar mais cedo do que em operações de corte contínuo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Definição de Materiais

Os materiais utilizados como corpos de prova foram engrenagens fabricadas através da metalurgia do pó. Dez peças de aço sinterizado foram fornecidas pela Empresa Aron Metal Ltda. Os ensaios foram realizados principalmente no Laboratório de Usinagem e no Laboratório de Metrologia do Instituto Federal Sul-Rio-grandense, Campus Sapucaia do Sul. A usinagem foi feita com ferramentas de corte de aço rápido e metal.

#### 2.1.1 Material das Amostras

As amostras foram sinterizadas a partir da mistura de dois pós metálicos: o pó de liga de aço Distaloy AE (30%) e o pó de ferro AHC 100.29 (70%) com adição de 0,8% de estearato de zinco e 0,3% de grafite. A Figura 1 apresenta as engrenagens que foram ensaiadas.



**Figura 1** - Engrenagens utilizadas como corpos de prova.

#### 2.1.2 Materiais das Ferramentas de Corte

A ferramenta de aço rápido utilizada foi um bits quadrado Stelly Cutter com 10% Cobalto 5/16 x 4".

A ferramenta de metal duro utilizada foi uma pastilha com cobertura de nitreto de titânio da classe ISO P de formato triangular 60° com fixação por parafuso positiva.

### 2.1.3 Equipamentos

A usinagem das amostras foi feita no Torno Nardini MS 205. Para possibilitar a usinagem das engrenagens no torno foi necessário confeccionar um dispositivo com encaixe para as mesmas. Este permitia encaixar e prender o corpo de prova com auxílio de três parafusos M5 com 120º de distância entre eles, possibilitando centrar e fixar a amostra de maneira precisa para impedir que a mesma tivesse qualquer liberdade de movimento durante os ensaios. A parte de trás do dispositivo permitia que o mesmo fosse fixado pelas castanhas no torno. O desenho do dispositivo pode ser observado na Figura 2.



Figura 2 - Dispositivo para Fixação das Amostras.

Para as medições de rugosidade superficial foi utilizado o Rugosímetro Mitutoyo SJ 201P.

## 2.2 Ensaio

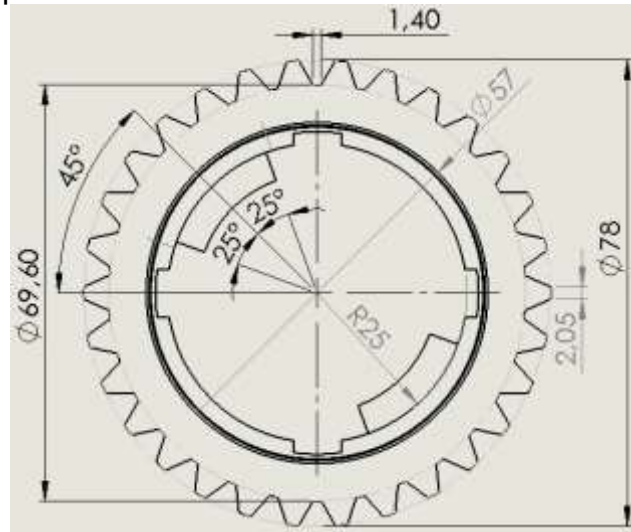
O ensaio a ser realizado teve como objetivo verificar a influência do avanço e da rotação em função do acabamento superficial. Primeiramente a peça foi medida para a obtenção das dimensões dos diâmetros maior e menor e cálculo do diâmetro médio. Em seguida obteve-se a velocidade de corte ( $V_c$ ) e através dela outros valores próximos foram escolhidos arbitrariamente. As rotações correspondentes foram calculadas e em seguida adaptadas para as possibilidades verificadas no torno. Depois de determinados, os valores de rotação, as profundidades de corte ( $A_p$ ) foram determinadas de maneira arbitrária. Por fim, foram medidas as rugosidades para as regiões de corte contínuo e corte interrompido.

### 2.2.1 Relatório dimensional

Foram realizadas medições com auxílio de um paquímetro universal analógico da marca Mitutoyo para um dimensionamento aproximado da engrenagem. A partir destas informações a peça foi desenhada no *software* Solidworks. Com o desenho finalizado foi obtida uma ficha de detalhamento onde foi possível ver com clareza as dimensões da amostra, dentre elas os diâmetros que



delimitam as regiões de corte. A Figura 3 apresenta as dimensões da engrenagem que são relevantes para os ensaios.



**Figura 3** - Detalhamento de Vista Superior do Corpo de Prova.

O diâmetro médio, dimensão utilizada no cálculo da velocidade de corte ( $V_c$ ) em função da rotação, é obtido pela média aritmética entre o maior e o menor diâmetro que delimitam a região de ensaio na amostra.

Para estas dimensões tem-se:

- Diâmetro Maior = 78 mm
- Diâmetro Menor = 57 mm

E para o diâmetro médio têm-se a Equação 1:

$$D_{med} = \frac{DM + Dm}{2} = \frac{78 + 57}{2} = 67,5 \text{ mm} \quad (1)$$

### 2.2.2 Determinação de Avanço, Rotação e Velocidade de Corte

Devido à incerteza inicial quanto à composição da liga metálica das amostras fornecidas, utilizou-se um material de referência para obter-se o parâmetro que seria o ponto de partida deste estudo. Neste caso, devido à similaridade aparente com as peças a serem analisadas, o aço SAE 1045 foi escolhido para fornecer a velocidade de corte inicial que depois definiu as diferentes rotações utilizadas na usinagem.

A Tabela 1 apresenta uma série de valores de velocidades de corte utilizadas com ferramentas de aço rápido e de metal duro para usinar materiais mais comuns dentro do cotidiano da indústria metal-mecânica.

**Tabela 1** - Tabela de Velocidades de Corte para o Torno.

(Fonte: <<http://www.cncmania.com.br/site/tabelas.asp>>)

<b>TABELA DE VELOCIDADE DE CORTE (V) PARA O TORNO</b> (EM METROS POR MINUTO)					
MATERIAIS	FERRAMENTAS DE AÇO RÁPIDO			FERRAMENTAS DE CARBONETO-METÁLICO	
	DESBASTE	ACABAMENTO	ROSCAR RECARILHAR	DESBASTE	ACABAMENTO
AÇO 1020	25	30	10	200	300
AÇO 1045	20	25	8	120	160
AÇO EXTRADURO 1060	15	20	6	40	60
FERRO FUNDIDO MALEÁVEL	20	25	8	70	85
FERRO FUNDIDO GRIS	15	20	8	65	95
FERRO FUNDIDO DURO	10	15	6	30	50
BRONZE	30	40	10-25	300	380
LATÃO E COBRE	40	50	10-25	350	400
ALUMÍNIO	60	90	15-35	500	700
FIBRA E EBNITE	25	40	10-20	120	150

Conforme a Tabela 1, as velocidades selecionadas com referência no aço SAE 1045 foram 20 e 25m/min para usinagem com ferramenta de aço rápido e 120 e 160m/min para usinagem com ferramenta de metal duro.

Com base nestes valores, foram estabelecidas arbitrariamente oito velocidades que identificassem uma região de resultados envolvendo dados que tivessem representatividade para o estudo. As velocidades foram as seguintes:

- 20; 25; 30 e 40m/min para a ferramenta de aço rápido.
- 70; 140; 210 e 280m/min para a ferramenta de metal duro.

Para cada nova velocidade obtida foi calculada a rotação da peça por meio da inversão da equação da velocidade de corte. A Equação 2 foi utilizada para obter a rotação correspondente à cada velocidade.

$$\eta = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} \quad (2)$$

Onde:

$\eta$  = rotação da peça (rpm)

$V_c$  = velocidade de corte (m/min)

$d$  = diâmetro ou diâmetro médio da peça (mm)

A Tabela 2 contém os valores de velocidade de corte e as rotações correspondentes resultantes do cálculo.

**Tabela 2** - Velocidade de Corte e Rotação para Usinagem com Aço Rápido e Metal Duro.

Velocidades de Corte e Rotações					
Aço Rápido			Metal Duro		
Velocidade de Corte (m/min)	Rotação (rpm)	Rotação no Torno (rpm)	Velocidade de Corte (m/min)	Rotação (rpm)	Rotação no Torno (rpm)
20	94,36	100	70	330,27	315
25	117,95	125	140	660,53	630
30	141,54	160	210	990,80	1000
40	188,72	200	280	1321,07	1250

Na Tabela 2 observa-se que a terceira e a sexta coluna compreendem aos valores de rotação disponíveis no Torno Nardini que são mais próximos aos obtidos pela cálculo.

Foram ainda escolhidos arbitrariamente três profundidades de corte ( $A_p$ ) de maneira que abrangesse a utilizações mais comuns deste parâmetro. São elas:

- $A_p = 0,5$  mm
- $A_p = 1,0$  mm
- $A_p = 2,0$  mm

### 2.2.3 Torneamento de Faceamento

A superfície analisada foi submetida a um torneamento de faceamento combinando as variáveis mencionadas anteriormente para os dois tipos de ferramenta utilizados. Importante ressaltar que não foi utilizado qualquer tipo de fluido de corte para nenhum dos ensaios. O procedimento ainda envolveu parâmetros que se mantiveram inalterados ao longo dos testes. São estes:

- Velocidade de avanço da ferramenta: 1,75 mm/min
- Ângulo de ataque da ferramenta: 90° em relação à peça (perpendicular).

O dispositivo fixado ao torno e prendendo a amostra poder ser visualizado na Figura 4.



Figura 4 - Amostra e o Dispositivo de Fixação anexados ao Torno.

Depois de usinada a amostra, o suporte contendo a engrenagem era retirado do torno e o conjunto era imediatamente levado para Laboratório de Metrologia para o ensaio de rugosidade superficial.

#### 2.2.4 Análise de Rugosidade Superficial

As medições de rugosidade superficial foram realizadas no Laboratório de Metrologia com auxílio do Rugosímetro Mitutoyo SJ-201P. O Sistema de medição de rugosidade selecionado no aparelho foi o Parâmetro Ra, e o *cutoff* utilizado que é o comprimento de amostragem, dado em mm x nº comprimentos de amostragem (Mitutoyo Corporation – SJ-201 - Surface Roughness Tester – User's Manual) foi de 0,25x5. O resultado da medição é informado em  $\mu\text{m}$  e pode ser visualizado no *display* do equipamento ao final do procedimento.

O movimento da agulha durante a medição foi feito na transversal, ou seja, a varredura foi em direção perpendicular ao sentido de usinagem. Observa-se na Figura 5 o posicionamento da agulha na superfície da engrenagem.



Figura 5 - Direção de Movimento da Agulha durante o Teste de Rugosidade Superficial.

Foram realizadas 5 medições na região de corte contínuo e 5 medições na região de corte interrompido para cada corpo de prova. A Figura 6 mostra as regiões na superfície de corte.



Figura 6 - Regiões de Corte no Corpo de Prova.

Conforme observado na Figura 6, a região de corte contínuo trata-se da parte da superfície contínua do material sem qualquer obstrução enquanto a região de corte interrompido é a região das extremidades onde se encontram os dentes da engrenagem.

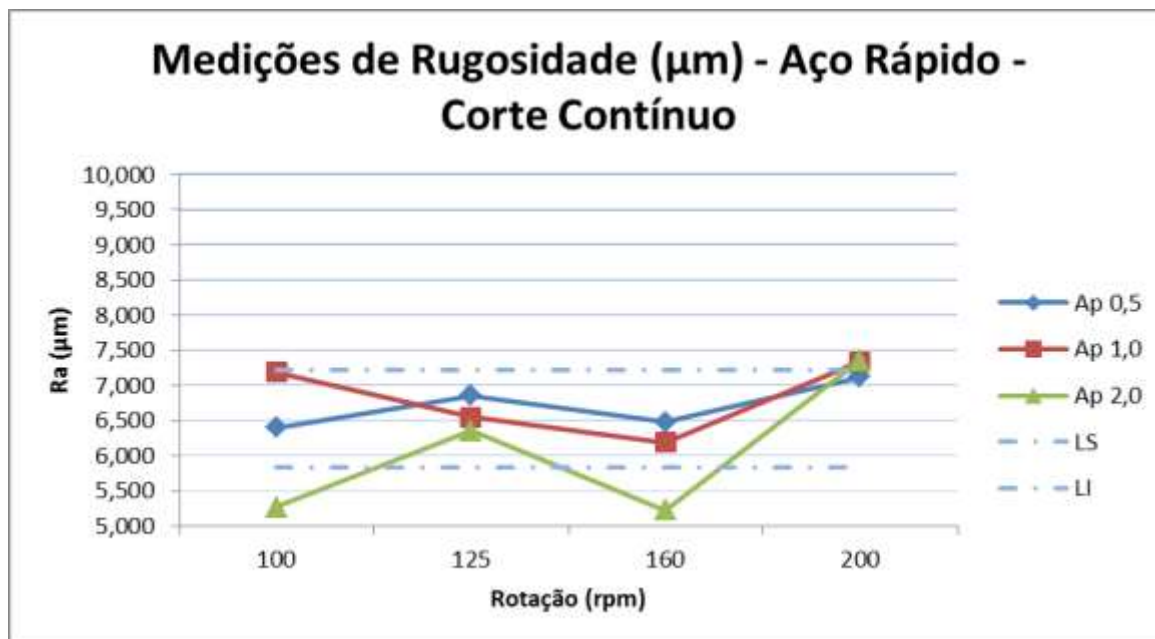
Depois de coletados os dados, foram obtidas as médias dos valores para serem ordenadas graficamente.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção do artigo foram apresentados graficamente os resultados dos ensaios e medições da rugosidade superficial para as regiões de corte contínuo e interrompido das superfícies geradas. Os gráficos ainda contêm os Limites Inferior e Superior (LI e LS), definidos a partir da soma do desvio padrão com a média aritmética dos resultados.

#### 3.1 Resultados de Rugosidade Média para Ferramenta de Aço Rápido

Os resultados da rugosidade em função da rotação, para cada profundidade de corte, com ferramenta de aço rápido para a região de corte contínuo são mostrados na Figura 7.



**Figura 7** - Ra (Rugosidade Superficial) x Rotação para a Superfície de Corte Contínuo usinada com Ferramenta de Aço Rápido.

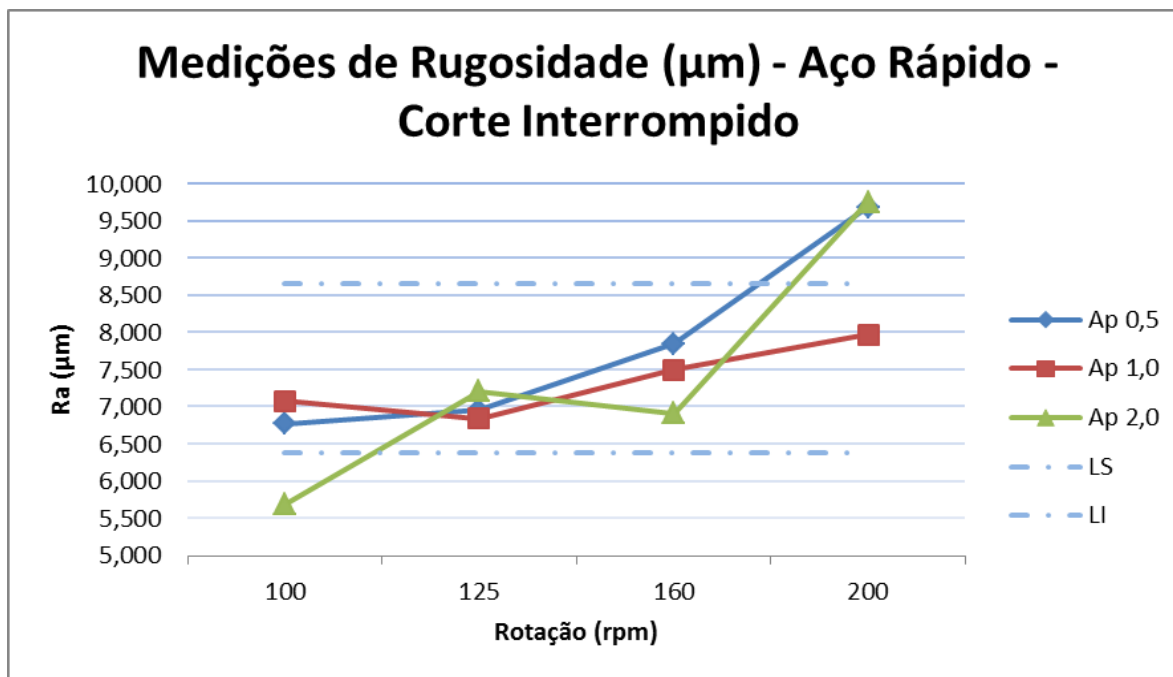
Os resultados obtidos com a ferramenta de aço rápido não mostram tendências muito claras, uma vez que é possível observar a discrepância entre os comportamentos das linhas de dados. No entanto, entre as rotações 125 e 160 rpm os valores de rugosidade (Ra) diminuem e partindo da rotação de 160 rpm o gráfico mostra um aumento acentuado na rugosidade superficial.

De acordo com Stemmer (1993), e ao contrário do que se verifica na Figura 7, o aumento na velocidade de corte ou na rotação mostrada nos gráficos deveria provocar uma diminuição nos valores de rugosidade (Ra), pois junto ao aumento da velocidade ocorreria a constante redução das dimensões do gume postiço de corte. O gume postiço de corte é uma quantidade de massa de material que adere a superfície do ângulo de saída da ferramenta. Isto ocorre devido ao forte atrito com o cavaco, que produz a remoção de pequenas partículas de metal quente do cavaco e a soldagem das mesmas, ao longo do gume ativo, o que acaba prejudicando a superfície da peça.

Logo, o acabamento superficial possui ligação com todos os fatores que podem diminuir a altura das raia e as dimensões do gume postiço. No entanto, Stemmer também observa que o gume postiço de corte se solda mais fortemente em ferramentas de aço rápido, e que o metal duro oferece menos aderência. Isto por sua vez possibilita a hipótese de que o fenômeno de crescimento do gume postiço aliado aos possíveis danos na ferramenta de aço rápido tenha ocasionado o aumento dos valores de rugosidade e a piora no acabamento superficial.

A profundidade de corte ( $A_p$ ) também mostra influência sobre o acabamento superficial, mas não define tendências de comportamento para os dados.

Os resultados da rugosidade em função da rotação, para cada profundidade de corte, com ferramenta de aço rápido para a região de corte interrompido estão representados na Figura 8.



**Figura 8** - Ra (Rugosidade Superficial) x Rotação para a Superfície de Corte Interrompido usinada com Ferramenta de Aço Rápido.

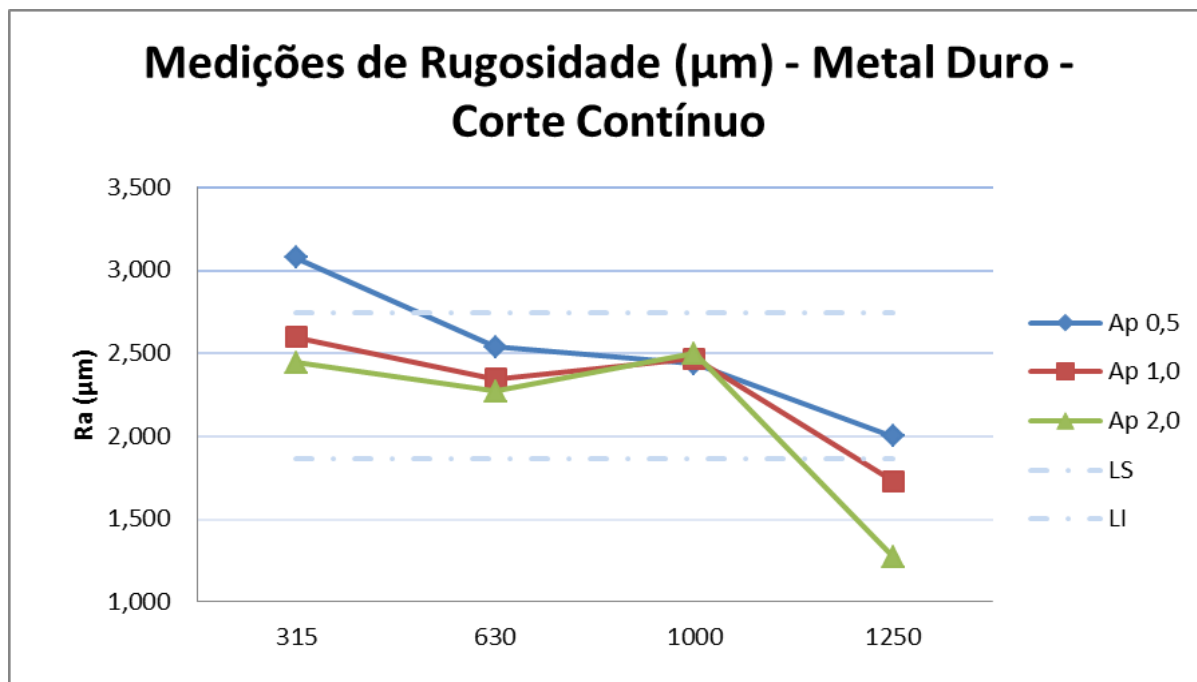
A porosidade encontrada em algumas das superfícies obtidas pela usinagem também é um fator importante que ocasiona baixas qualidades superficiais. As superfícies porosas foram geradas principalmente nos ensaios com velocidades de corte mais baixas. O efeito mais severo é em relação à intermitência na superfície que influi diretamente no corte, tornando-o descontínuo. Isto acaba por ocasionar maior desgaste de ferramenta e um endurecimento da peça, dificultando os cortes de acabamento (CAUSTON; CIMINO, 1998).

A Figura 8 mostra os resultados na região de corte interrompido, o gráfico também apresenta tendências de aumento para os valores de rugosidade que são acentuadamente maiores que na região de corte contínuo (Fig. 7).

É possível atribuir esse agravamento de baixa qualidade superficial ao efeito do corte interrompido, que não foi diretamente investigado neste estudo, mas possivelmente possui comportamento semelhante ao efeito da porosidade e da descontinuidade do corte. Observou-se visualmente o surgimento de um desgaste severo na margem dos dentes da engrenagem, que iam de encontro ao sentido de corte, possivelmente gerado pela ação conjunta da porosidade com os sucessivos pequenos choques da ferramenta com as superfícies.

### 3.2 Resultados de Rugosidade Média para Ferramenta de Metal Duro

Os resultados da rugosidade em função da rotação, para cada profundidade de corte, com ferramenta de metal duro para a região de corte contínuo são mostrados na Figura 9.



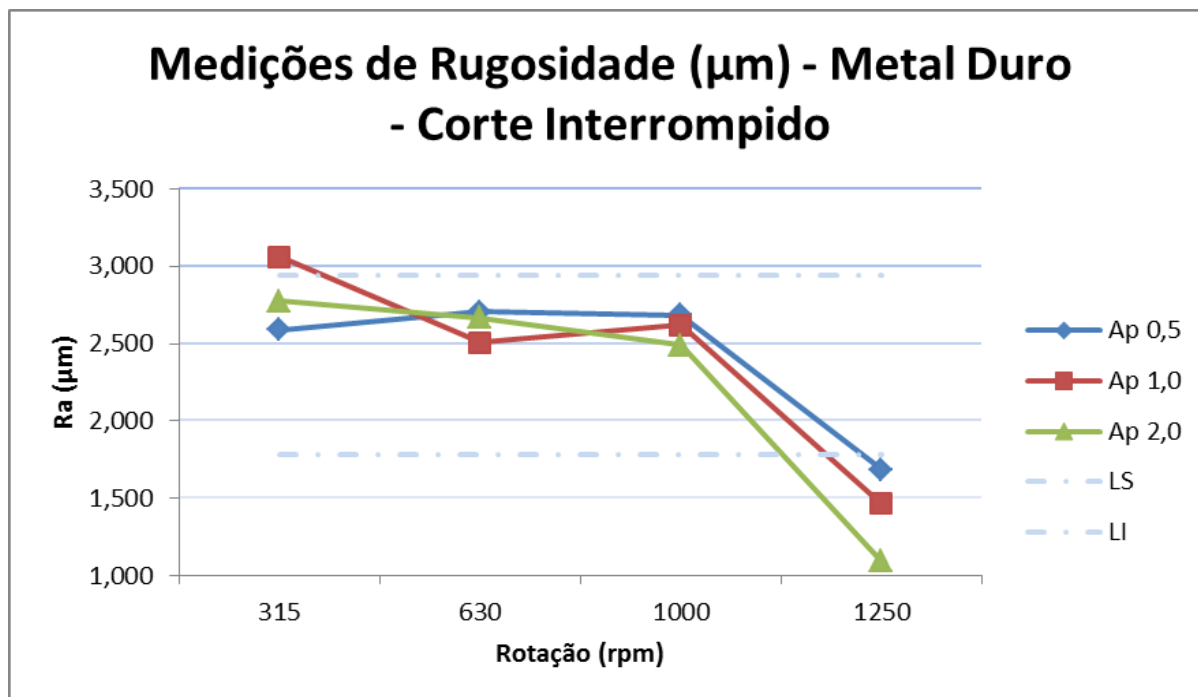
**Figura 9** - Ra (Rugosidade Superficial) x Rotação para a Superfície de Corte Contínuo usinada com Ferramenta de Metal Duro.

Os resultados obtidos com a ferramenta de metal duro, ao contrário dos anteriores, mostram tendências mais claras em relação ao comportamento de diminuição nas linhas de dados.

O decrescimento dos valores de rugosidade junto ao aumento (agora mais acentuado) da rotação confirma o comportamento previsto por Stemmer (1993). O aumento da velocidade acaba por reduzir constantemente as dimensões do gume postiço, que possui ainda menos aderência ao metal duro, e por fim proporciona um melhor acabamento superficial.

Segundo Stemmer (1993) a velocidade de corte melhoraria o acabamento superficial de maneira rápida até atingir um valor de velocidade crítica situado geralmente entre 90 e 150 m/min. Observa-se que, tanto para a região de corte contínuo (Fig. 9) quanto para a região de corte interrompido (Fig. 10), entre as rotações 630 e 1000 rpm que correspondem, segundo a Tabela 2, às velocidades de corte 140 e 210 m/min, os valores de rugosidade variam pouco, mostrando um possível intervalo de velocidade crítica. No entanto, de 1000 a 1250 rpm, ou 210 a 280 m/min, a rugosidade volta a cair, o que sugere tendências de acabamentos ainda melhores para valores de velocidade de corte mais elevados. A Figura 10 mostra os resultados da rugosidade em função da rotação, para cada profundidade de corte, com ferramenta de metal duro para a região de corte interrompido.





**Figura 10** - Ra (Rugosidade Superficial) x Rotação para a Superfície de Corte Interrompido usinada com Ferramenta de Metal Duro.

Apesar das dificuldades do corte descontínuo previstas por Causton e Cimino (1998), observa-se que a usinagem da região de corte interrompido com ferramenta de metal duro (Fig. 10) mostra resultados, em termos de rugosidade, tão baixos quanto a usinagem da região de corte contínuo (Fig. 9), e para algumas rotações é possível observar valores ainda menores.

Entretanto observa-se para as duas regiões de corte um distanciamento dos valores de rugosidade (Ra) no extremo do gráfico, com destaque para a rotação de 1250 rpm que mostra uma melhora no acabamento superficial com o aumento da profundidade de corte (Ap).

#### 4 CONCLUSÃO

Neste estudo foram correlacionadas as principais características dos materiais obtidos pela metalurgia do pó com alguns dos fatores mais importantes dentro do processo de usinagem. A partir de variações na velocidade de corte e na profundidade de corte analisou-se o acabamento superficial obtido na usinagem com dois tipos de ferramenta distintos. Foram observados os métodos e ensaios mais usuais de usinabilidade em função do acabamento superficial, para definir a metodologia apresentada neste estudo. Por meio da pesquisa bibliográfica junto aos testes práticos foi possível entender melhor o comportamento dos aços sinterizados quando submetidos ao corte.

Os resultados obtidos para a ferramenta de aço rápido mostraram uma possível inadequação da mesma para a usinagem do aço sinterizado em questão, já que a rugosidade não mostrou tendências de diminuição com o aumento da velocidade de corte. A presença da porosidade também foi observada como um possível agravante destes resultados, uma vez que a mesma dificulta o corte.

Já os resultados da usinagem com ferramenta de metal duro mostraram tendências claras a respeito da melhora do acabamento superficial junto ao aumento da velocidade de corte, sendo que os resultados que apresentaram menores rugosidades superficiais foram obtidos a partir das maiores velocidades de corte, tanto para o corte contínuo quanto para o corte interrompido. Este comportamento é comum nos aços forjados e mostrou-se presente também nos aços sinterizados apesar das complexas características dos mesmos.

Ainda é importante ressaltar a existência da possibilidade de que o fenômeno da velocidade crítica observado por Stemmer (1993), que delimita a diminuição na rugosidade média (Ra) junto ao aumento da velocidade de corte, esteja além dos valores verificados neste estudo. Conforme a tendência de decrescimento observada nas maiores velocidades de corte seria possível a obtenção de resultados ainda melhores do ponto de vista do acabamento superficial em velocidades mais altas com a ferramenta de metal duro.

Foi possível verificar que as velocidades de corte mais altas utilizadas com a ferramenta de metal duro, juntamente com as profundidades de corte utilizadas, mostraram-se mais adequadas para a obtenção de acabamento superficial com menor rugosidade. A usinagem com este tipo de ferramenta parece não ter sido influenciada de maneira significativa pela descontinuidade de corte promovida pela porosidade e pela região de corte interrompido.

Por fim, os resultados encontrados sugerem possibilidades de velocidades de corte, rotações e profundidades de corte em função do acabamento superficial, podendo assim, gerar padrões iniciais de configuração do processo de usinagem para peças obtidas pela metalurgia do pó.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Setor de Manutenção, ao Laboratório de Usinagem, ao Instituto Federal Sul-riograndense Campus Sapucaia do Sul e à Empresa Aronmetal por todo apoio a este projeto.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 Salak, A.; Vasilko, K.; Selecká, M.; Denninger, H. New short time face turning method for testing the machinability of PM steels. *Journal of Materials Processing Technology*, Editora Elsevier , v. 176 (2006), 62-69, 17 de fevereiro de 2006.
- 2 CAUSTON, R. J.; CIMINO, T. - ASM Handbook Volume 7 - Powder Metal Technologies and Applications - Editora ASM International, 1998.
- 3 STEMMER, Caspar Erich, *Ferramentas de Corte I*, 3ª Edição, Editora da UFSC, Florianópolis, 1993.
- 4 Robert-Perron, E.; Blais C.; Thomas Y.; Pelletier S.; Dionne M. An integrated approach to the characterization of powder metallurgy components performance during green machining. *Materials, Science and Engineering A*, Editora Elsevier , v. A 402 (2005), 325-334, 11 de maio de 2005.

- 5 AMORIM, H. J. Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro. 2002. 131 f. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 13 de maio de 2002.
- 6 FERRARESI, Dino - Fundamentos da usinagem dos metais - Editora Edgard Blücher, 1970, 10ª reimpressão - 2000.
- 7 TRENT, Edward M.; WRIGHT, Paul K. - Metal Cutting– Quarta Edição – Editora Butterworth–Heinemann, 2000.
- 8 Robert-Perron, E.; Blais C.; Thomas Y.; Pelletier S.; Dionne M. An integrated approach to the characterization of powder metallurgy components performance during green machining. Materials, Science and Engineering A, Editora Elsevier, v. A 402 (2005), 325-334, 11 de maio de 2005.
- 9 ESPANHOL, V. Análise dos esforços de corte e acabamento superficial no torneamento de aço com ferramenta de superfície lisa e com quebra-cavaco. 2008. 84 f. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Maio de 2008.
- 10 Lalbondre R., Krishna P., Mohankumar G. C. An Experimental Investigation of Machinability Studies of Steels by Face Turning. Procedia Materials Science, Editora Elsevier, v. 6 (2014), 1386-1395, julho de 2014.

# ANÁLISE DO PERFIL DE GÊNERO E DESEMPENHO ACADÊMICO NO CURSO DE FRESADOR MECÂNICO NA MODALIDADE FIC NO IFSUL/CÂMPUS SAPUCAIA DO SUL

Martins, V.<sup>1</sup>

Porto, H. M. R. F. <sup>2</sup>

Hernandez. Jr, P. C.<sup>3</sup>

Porto, M. F. <sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Doutor em Engenharia, Vinicius Martins, IFSul Campus Sapucaia do Sul e-mail.*

<sup>2</sup> *Titulação, Henrykheta Maria Rodrigues Fernandes Porto, IFSul Campus Sapucaia do Sul e-mail.*

<sup>3</sup> *Doutor em Engenharia, Pedro Carlos Hernandez Junior, IFSul Campus Sapucaia do Sul e-mail.*

<sup>4</sup> *Doutor em Engenharia, Maria de Fátima, IFSul Campus Sapucaia do Sul e-mail.*

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

## Resumo

O curso de fresador mecânico na modalidade de formação inicial e continuada é focado para o ramo metalúrgico sendo um profissional altamente requisitado na fabricação de diversos utensílios e ferramentas. A partir desta premissa foi implementado o curso em Sapucaia do sul, devido ao mercado de trabalho estar disponível na região metropolitana em que a cidade está inserida. O objetivo deste trabalho é analisar o perfil de gênero em relação ao desempenho acadêmico dos estudantes no curso supracitado em relação aos anos em que ocorreram turmas.

**Palavras-chave:** Fresador mecânico; Pronatec; Perfil de gênero; Desempenho acadêmico dos estudantes.

## ANÁLISE DO PERFIL DE GÊNERO E DESEMPENHO ACADÊMICO NO CURSO DE FRESADOR MECÂNICO NA MODALIDADE FIC NO IFSUL/CÂMPUS SAPUCAIA DO SUL

### Abstract

The milling operator cours in initial and continuing training mode is focused to the metallurgical branch being a professional highly required in the manufacture of various utensils and tools. From this premise was implemented the course in Sapucaia do sul, because the labor market is available in the metropolitan area where the city is located. The objective of this paper is to analyze the gender profile in relation to the academic performance of students the course aforementioned for the years in which they occurred classes.

**Key words:** Milling operator; Pronatec; Genre profile; Academic performance of students.

## 1 INTRODUÇÃO

A Assembleia Geral da ONU criou a ONU Mulheres em julho de 2010, a Entidade das Nações Unidas para a Igualdade de Gênero e o Empoderamento das Mulheres. Esta entidade tem diversas como apoiar os organismos intergovernamentais como a Comissão sobre o Status da Mulher na formulação de políticas, padrões e normas globais, e ajudar os Estados-membros a implementar

estas normas, fornecendo apoio técnico e financeiro adequado para os países que o solicitem, bem como estabelecendo parcerias eficazes com a sociedade civil (1).

Após a segunda guerra mundial, houve diversas mudanças sociais atreladas a inserção da mulher no mercado de trabalho. Dentro deste aspecto, uma análise do perfil de gênero como forma de observar diferenças em termos de características entre homens e mulheres para a execução de uma mesma atividade é fundamental e indispensável (2).

Os cursos profissionalizantes na modalidade FIC (Formação Inicial e Continuada) são segundo o **Art. 3º do Decreto 5.154/2004 DE 23 DE JULHO DE 2014**, “Os cursos e programas de Formação Inicial e Continuada de trabalhadores, incluídos a capacitação, o aperfeiçoamento, a especialização e a atualização, em todos os níveis de escolaridade, poderão ser ofertados segundo itinerários formativos, objetivando o desenvolvimento de aptidões para a vida produtiva e social” (3).

O Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (Pronatec) foi criado pelo Governo Federal, em 2011, por meio da Lei 12.513/2011 com a finalidade de ampliar a oferta de educação profissional e tecnológica, por meio de programas, projetos e ações de assistência técnica e financeira. Onde foram criados o Guia de curso que foi aumentando e melhorando em função das solicitações dos demandantes e ofertantes do programa (4).

“O Guia Pronatec de Cursos FIC foi elaborado pelo Ministério da Educação para direcionar a oferta dos cursos do Pronatec/Bolsa-Formação e vem sendo atualizado periodicamente, com o intuito de consolidar as políticas públicas que objetivam aproximar o mundo do trabalho do universo da educação.”

O curso de fresador mecânico teve um Projeto Pedagógico de Curso que atende a **RESOLUÇÃO CD/FNDE Nº 4 DE 16 DE MARÇO DE 2012** que trata no § 1º do art. 1º da oferta de bolsas-formação, como segue (5):

Art. 1º - § 1º No âmbito da Bolsa-Formação, podem ser ofertados cursos presenciais de educação profissional técnica de nível médio e cursos de formação inicial e continuada ou qualificação profissional, abrangendo as modalidades Bolsa-Formação estudante e Bolsa-Formação trabalhador, conforme §§ 1º e 2º do art. 4º da Lei nº 12.513, de 26 de outubro de 2011 (5).

Neste contexto, foi ofertado o curso de Fresador Mecânico, onde este profissional faz ajustes e realiza usinagem de peças de materiais ferrosos e não ferrosos utilizando fresadora convencional universal e ferramentas manuais, de acordo com as normas e procedimentos técnicos de qualidade, segurança, higiene e saúde. O Fresador Mecânico atua em empresas do ramo industrial nas áreas produção e manutenção de sistemas industriais. Na produção de bens de consumo e de produção em empresas diversas de todo o porte, atuando nas áreas de montagens, manutenção, usinagem e fabricação mecânica. No curso de fresador, o profissional em formação terá o objetivo de identificar os diferentes processos de usinagem. Fresar materiais com fresadora ferramenteira atendendo à regulamentação técnica de fabricação, de acordo com as normas e procedimentos técnicos de qualidade, segurança, higiene e saúde. Conhecer e identificar os processos de usinagem de materiais. Conhecer, identificar e utilizar adequadamente as ferramentas usadas em fresamento (6,7, e 8).

De acordo com o Art. 3º da **RESOLUÇÃO CD/FNDE Nº 4 DE 16 DE MARÇO DE 2012**, podem ser beneficiários das vagas ofertadas no âmbito da Bolsa-Formação (5):

- I - estudantes do ensino médio da rede pública, inclusive da educação de jovens e adultos;
- II - trabalhadores, inclusive agricultores familiares, silvicultores, aquicultores, extrativistas e pescadores;
- III - beneficiários titulares e dependentes dos programas federais de transferência de renda;
- IV - pessoas com deficiência;
- V - povos indígenas, comunidades quilombolas e adolescentes e jovens em cumprimento de medidas socioeducativas; e
- VI - públicos prioritários dos programas do governo federal que se associem à Bolsa-Formação do Pronatec.

Foi montada uma matriz curricular baseado nos cursos de fresador mecânico de outras instituições conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Matriz curricular do curso de fresador Mecânico.

UNIDADE	COMPONENTE CURRICULAR	TOTAL HORAS
01	INTRODUÇÃO À MECÂNICA	16
02	SEGURANÇA, HIGIENE E SAÚDE	16
03	CÁLCULO TÉCNICO	16
04	METROLOGIA	24
05	LEITURA E INTERPRETAÇÃO DE DESENHO MECÂNICO	24
06	FRESAMENTO	104
	<b>TOTAL DE HORAS</b>	<b>200</b>

O profissional denominado de fresador recebe um salário mínimo de R\$ 1,760,00, já o cargo de Fresador CNC tem a média salarial de R\$ 2.786,25 (9). A Figura 1(A) apresenta um fresador trabalhando na máquina operatriz denominada de fresadora, que na Figura 1(B) exhibe suas partes funcionais (10 e 11).

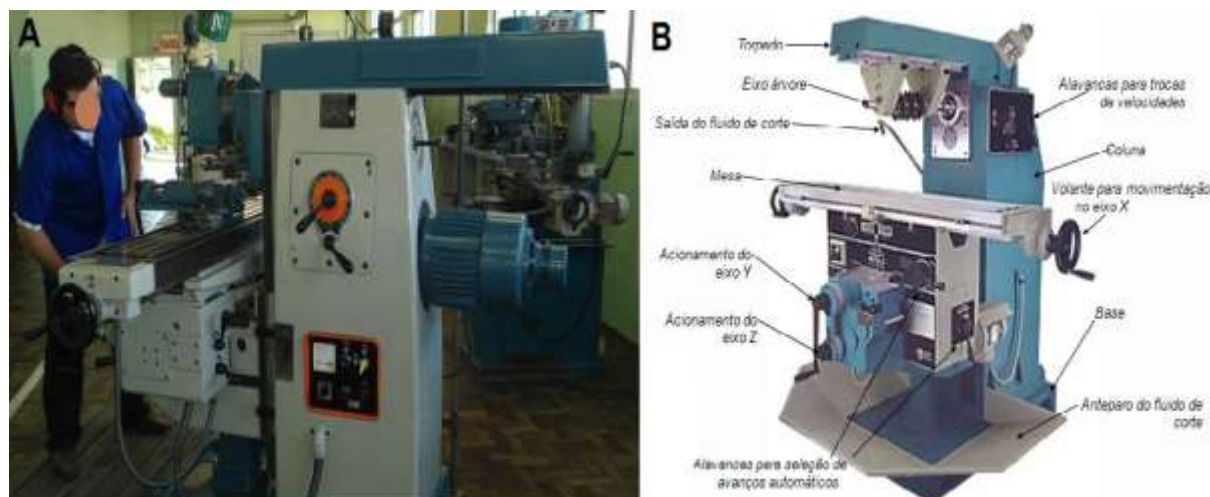


Figura 1: (A) Fresador e máquina operatriz (B) fresadora (10 e 11).

O fresador mecânico trabalha no ramo metalúrgico, onde a igualdade de gênero é debatida nos sindicatos e na Central Única dos trabalhadores – CUT, onde existe Coordenadoria da Comissão de Mulheres do Sindicato dos Metalúrgicos do ABC paulista (12).

## 2 METODOLOGIA

O registro da frequência era realizado, diariamente no final de cada aula, através de listas de presença a partir da qual era registrada a assiduidade e habilitava o/a estudante ao recebimento da bolsa auxílio destinada, prioritariamente, à alimentação e transporte.

O Curso foi ministrado nas seis componentes curriculares com professores contratados por chamadas pública com currículos adequados para ministrarem as aulas. Não houve discriminação no trato com os/as estudantes, sendo tratados de forma igualitária durante o processo de ensino-aprendizagem e avaliações, que foram trabalhos teóricos, práticos e provas.

As frequências foram tabuladas para avaliar os dados dos/das estudantes do curso de formação inicial e continua de Fresador mecânico durante os anos de 2012 a 2014, período de execução dos cursos.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados tabulados sobre a frequência dos cursos nos três anos em que ocorreram são importantes para avaliar a evasão, identificar problemas para corrigi-los e demonstrar a determinação das mulheres em um curso tradicionalmente masculino. A Figura 2 apresenta a frequência da turma de 2012.

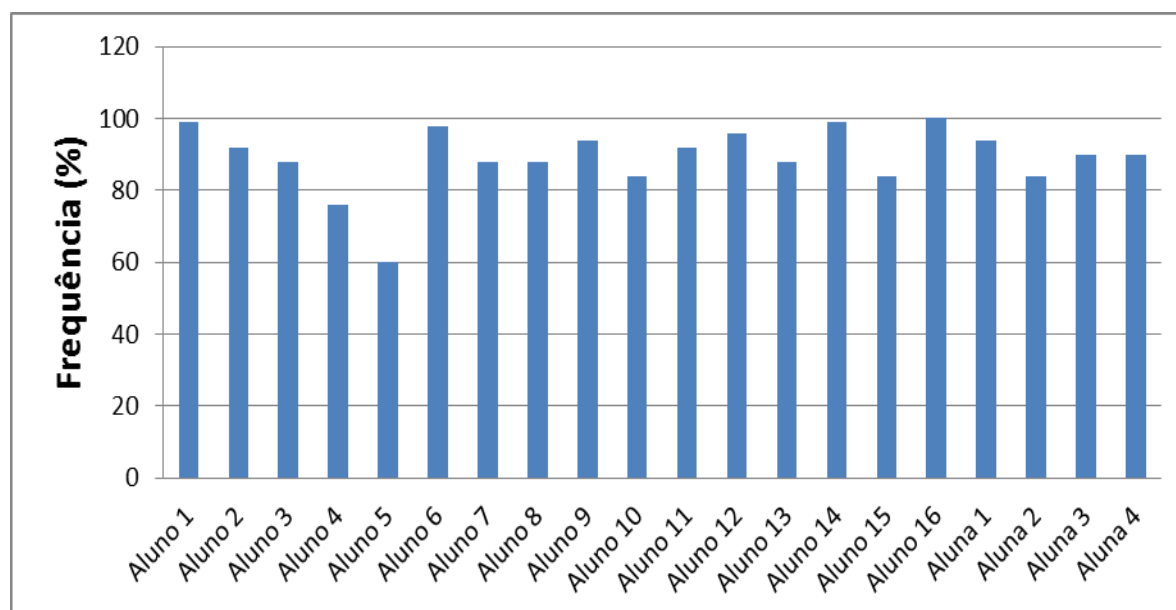


Figura 2: Frequência escolar da turma de Fresador Mecânico em 2012.

Observa-se que a totalidade dos estudantes cumpriram 60% da frequência escolar do curso. A média de frequência das estudantes foi de 89,5 %, sendo muito semelhante a dos estudantes que atingiu 89,1%. A Figura 3 exibe a frequência escolar da turma de 2013.

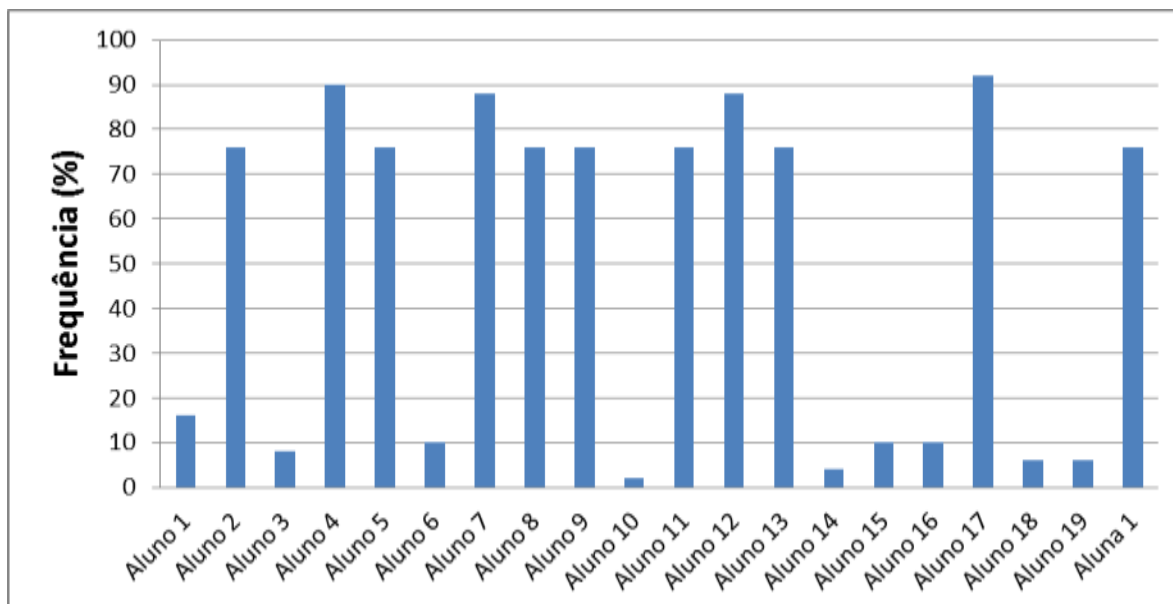


Figura 3: Frequência escolar da turma de Fresador Mecânico em 2013.

Nota-se que a totalidade dos estudantes cumpriu 4% da frequência escolar do curso. Os estudantes que desistiram/evadiram cumpriram entre 4 e 16 % da carga horária. A média de frequência das alunas foi de 76 %, sendo muito maior que a dos alunos que atingiu 46,6%. A Figura 4 mostra a frequência escolar da turma de 2014

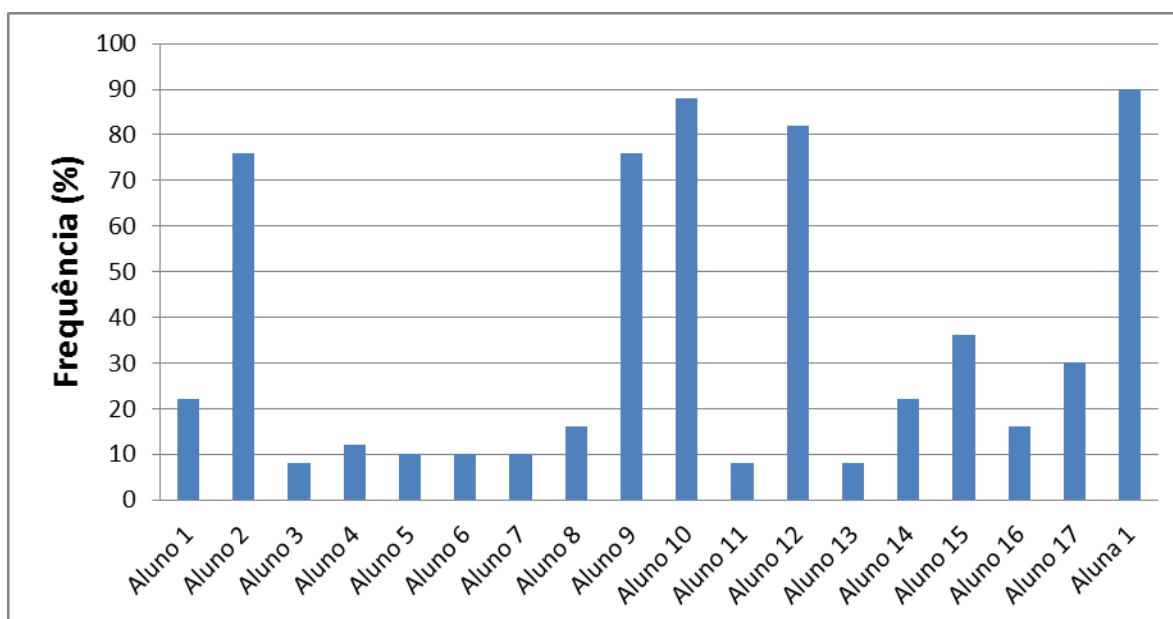


Figura 4: Frequência escolar da turma de Fresador Mecânico em 2014.



Avalia-se que a totalidade dos estudantes que cumpriram a frequência escolar do curso foi de 8%. Os estudantes que desistiram/evadiram cumpriram entre 8 e 36 % da carga horária. A média de frequência das alunas foi de 90 %, sendo muito maior que a dos alunos que atingiu 31,2%. Para melhor avaliar os resultados construiu-se um gráfico dos comparativos das médias dos estudantes dos cursos ao longo dos três anos como mostra a Figura 5.

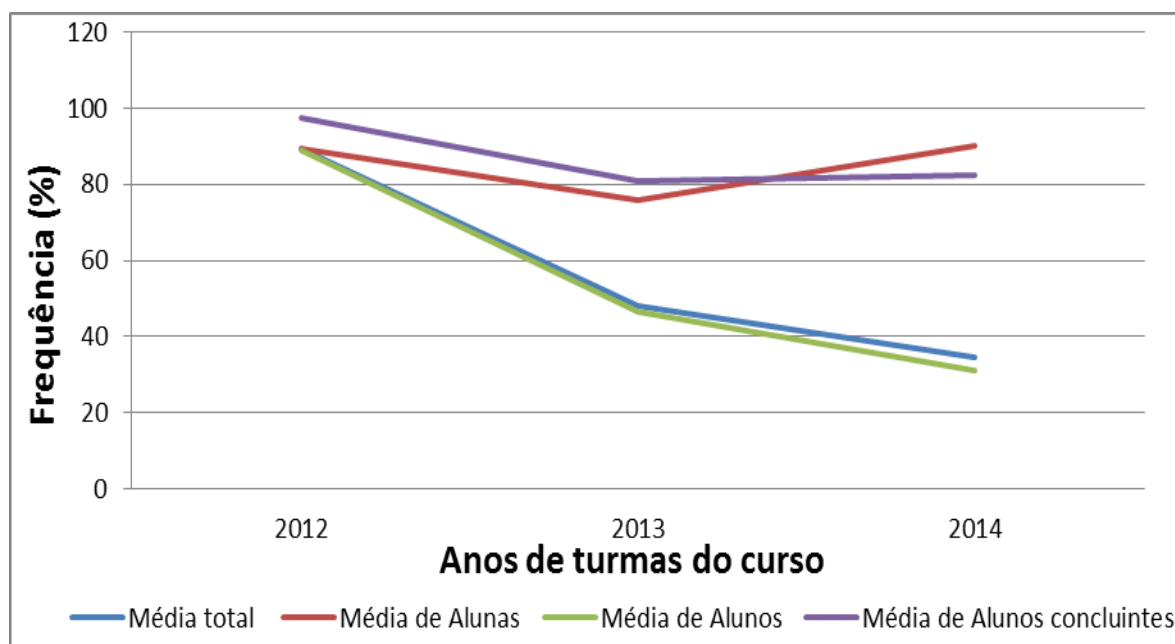


Figura 5: Comparativo das médias dos estudantes.

Analisando a Figura 5, a média total de 2012 é alta e desejável em todos os cursos FIC, mas conforme vai passando os anos, ocorre um declínio na média das frequências em função do enorme número de evadidos. E mesmo em 2014, ano que diversas medidas foram tomadas para minimizar os índices de evasão como vincular a frequência em relação ao recebimento do seguro desemprego. Isto fez uma mudança na velocidade da queda, mas não foi eficiente. A média dos alunos foi alta e responsável pela queda na média. Então se resolveu avaliar também os estudantes concluintes em relação às estudantes. Com esta avaliação observou-se que a média dos estudantes melhorou significativamente ficando superior a média das estudantes nos dois primeiros anos. Inferimos que os estudantes que querem se desenvolver e estão engajados em concluir o curso, mantém uma média muito próxima independente do gênero. A Figura avalia o comparativo das médias levando em conta a inscrição e aprovação dos estudantes.

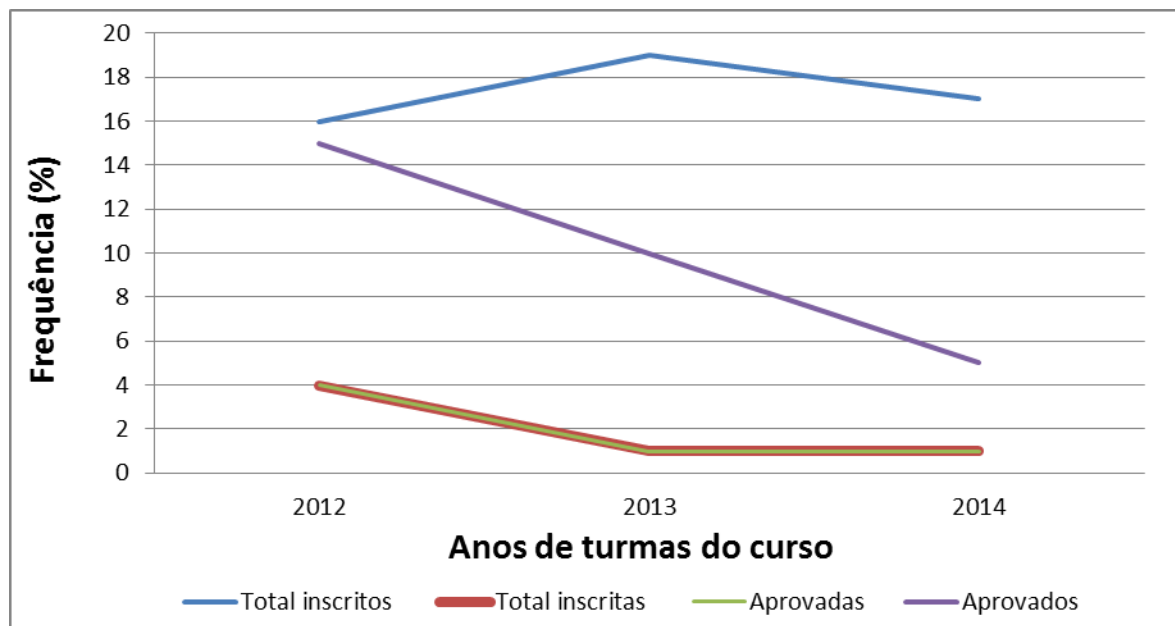


Figura 6: Comparativo das médias dos estudantes.

Nota-se na Figura 6 que a totalidade das estudantes inscritas foram aprovadas independente do ano da realização do curso. Por outro lado, os estudantes inscritos foram a grande maioria dos estudantes, sendo que em 2012 aproximadamente 94% obteve aprovação. No ano de 2013 houve uma queda entre inscritos e aprovados de aproximadamente 54% que caiu em 2014 para 29%.

#### 4 CONCLUSÃO

Tendo em vista os aspectos analisados em relação ao curso de Fresador Mecânico do Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego no âmbito da análise de perfil de gênero e desempenho acadêmico. Observa-se que as alunas que se inscreveram para o curso obtiveram frequência e notas necessárias para aprovação. No ano de 2012, talvez devido ao início do Programa, os alunos que se inscreveram na sua maioria obtiveram aprovação. Entretanto nos anos de 2013 e 2014 a evasão dos estudantes foi significativa, em um universo de 17 estudantes apenas 05 atingiram êxito acadêmico. Observamos, no universo analisado, maior determinação das estudantes em concluir o curso e obter a aprovação, enquanto os estudantes que não desistiram obtiveram aprovação. Além disso, identificamos evasão apenas do grupo dos estudantes e taxa zero de evasão no grupo das estudantes.

#### Agradecimentos

Indicar pessoas que colaboraram na execução da pesquisa, auxílio técnico, instituições públicas de fomento ou privadas que financiaram a mesma.

## REFERÊNCIAS

- 1 ONU Mulheres Acesso em 27/03/2016 Disponível em:  
<http://www.onumulheres.org.br/onu-mulheres/sobre-a-onu-mulheres/>
- 2 Perfil de gênero. IPECE – Texto para Discussão nº 74 Acesso em: 26/03/2016  
Disponível em:  
26/03/2016 [http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/textos\\_discussao/TD\\_74.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/textos_discussao/TD_74.pdf)
- 3 Art. 3º do Decreto 5.154/2004 DE 23 DE JULHO DE 2014 Acesso em 25/06/2016  
e Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5154.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5154.htm)
- 4 Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (Pronatec) Lei  
12.513/2011 Acesso em: 27/03/2016 Disponível em:  
[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2011/lei/l12513.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12513.htm)
- 5 RESOLUÇÃO CD/FNDE Nº 4 DE 16 DE MARÇO DE 2012. Acesso em:  
27/03/2016 Disponível em:  
[https://www.fnde.gov.br/fndelegis/action/UrlPublicasAction.php?acao=abrirAtoPublico&sql\\_tipo=RES&num\\_ato=00000004&seq\\_ato=000&vlr\\_ano=2012&sql\\_or\\_gao=CD/FNDE/MEC](https://www.fnde.gov.br/fndelegis/action/UrlPublicasAction.php?acao=abrirAtoPublico&sql_tipo=RES&num_ato=00000004&seq_ato=000&vlr_ano=2012&sql_or_gao=CD/FNDE/MEC)
- 6 CUNHA, L.S. **Manual Prático do Mecânico** São Paulo: Ed. Hemus, 2002.
- 7 DINIZ, A. E.; MARCONDES, F.C.; COPPINI, N.L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 3a Ed. São Paulo: Artliber, 2001.
- 8 FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. 11a reimpressão,  
São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 2003.
- 9 Catho Acesso em: 25/03/2016 Disponível em:  
<http://www.catho.com.br/profissoes/fresador/>
- 10 Fresador mecânico Acessado em: 26/03/2016 Disponível em:  
[http://www.portalsatc.com/site/interna.php?i\\_conteudo=9984&titulo=Extensao+Satc+oferece+curso+de+Fresador+Mecanico.](http://www.portalsatc.com/site/interna.php?i_conteudo=9984&titulo=Extensao+Satc+oferece+curso+de+Fresador+Mecanico.)
- 11 Fresadora mecânica Acessado em: 26/03/2016 Disponível em:  
<http://tecmechanico.blogspot.com.br/2011/10/fresadoras.html>
- 12 Igualdade de gênero Acesso em 24/03/2016 Disponível em:  
<http://www.cut.org.br/noticias/democracia-tambem-e-igualdade-entre-generos-2018/>

## REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE INEQUAÇÕES: USO DA TECNOLOGIA NA EDUCAÇÃO

Diogo, M. A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Mestre em Ensino de Matemática, Marcelio Adriano Diogo, IFSUL Campus Sapucaia do Sul, marceliodiogo@sapucaia.ifsul.edu.br*

### Resumo

Um conteúdo naturalmente dissociado do cotidiano do estudante é a representação gráfica de inequações no plano cartesiano. Esse trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de intervenção na apresentação desse conteúdo tanto na Educação Básica quanto na Superior tendo como fundamentação a teoria dos registros de representação semiótica, de Raymond Duval. Como uma inequação ou um conjunto de inequações determinam uma região do plano, foram utilizados os softwares Geogebra e Grafeq para reproduzir uma imagem (obra de um artista). Os alunos escolhem a obra a partir de uma lista apresentada e, com os conhecimentos de Geometria Analítica desenvolvidos previamente, determinam com auxílio do Geogebra as equações das curvas que modelam as diversas regiões do plano que formam a imagem. O software Grafeq é então utilizado para dar forma ao produto final, fazendo uso de sistemas de inequações. O estudo desse conteúdo a partir dessa abordagem proporciona nítida melhora de compreensão em comparação com o sistema usual de apresentação desse tópico nas aulas de Matemática, além de estabelecer nos estudantes o que Duval chama de conversão entre os tipos de representação semiótica. Os resultados foram medidos com verificações de aprendizagem antes e depois da utilização dessa metodologia, destacando sensível melhora no entendimento do assunto estudado. O uso da tecnologia como ferramenta do desenvolvimento de aprendizagem nesse conteúdo é importante pela rapidez com que mostra os resultados das inequações escolhidas pelo estudante, permitindo verificações rápidas do acerto ou erro na construção.

**Palavras-chave:** geometria analítica, inequações, representação semiótica

### GRAPHIC REPRESENTATION OF INEQUALITIES: USE OF TECHNOLOGY IN EDUCATION

#### Abstract

A content which is naturally dissociated of a student's daily life is the graphical representation of inequalities on the Cartesian Plane. This work's goal is to present a possible intervention in the way this content is presented in both Elementary and Higher Education, based on the records of the Theory of Semiotic Representation developed by Raymond Duval. As an inequality or a set of inequalities can determine a region of the plane, the softwares *Geogebra* and *Grafeq* software were used to reproduce an image (an artist's work). The students choose the work from a previously presented list and, as the knowledge of Analytical Geometry has

previously been developed, they determine, using *Geogebra*, the equations of the curves that model the different regions of the plane that form the image. After that, using *Grafeq* software and inequality systems, it is possible to shape the final product. The study of this content based on this approach provides clear improvement of understanding if compared to the usual system of presentation of this topic in Mathematics classes, which also establishes what Duval calls 'the conversion between the types of semiotic representation' in students' way of thinking. Results have been measured with learning checks before and after the use of this methodology, highlighting a significant improvement in the understanding of the topic. The use of technology as a learning tool in this content is important since the speed with which it shows the results of the inequalities chosen by the student allows quick verifications concerning correctness or error in the construction.

**Key words:** analytical geometry, inequalities, semiotic representation

## 1 INTRODUÇÃO

Uma equação é uma igualdade entre duas expressões matemáticas que é verdadeira para determinados valores da incógnita na representação. Por exemplo, na equação  $2x - 6 = 4$  temos  $x$  como incógnita e o número 5 como solução, pois substituindo  $x$  por 5 o resultado da expressão fica correto. Uma inequação, por outro lado, é uma relação estabelecida pela desigualdade entre 2 termos de uma expressão. Assim,  $2x - 6 > 4$  é uma inequação e a solução dela é o conjunto de valores de  $x$  que torna o lado esquerdo da desigualdade maior que 4. Temos por solução, nesse caso,  $x > 5$ .

O aluno ao chegar no Ensino Médio é apresentado ao conceito de função, uma ideia matemática mais complexa, que trata de uma relação entre 2 grandezas que variam. Assim, ao passo que  $2x - 6 = 4$  é uma equação, a expressão  $2x - 6 = y$  é uma função. Note que nesse caso, não existe mais uma incógnita, mas um par de variáveis que se relacionam por uma lei matemática. A solução, nesse caso, é uma sequência de pares ordenados  $(x, y)$  que verificam a igualdade. Veja que o par  $(5, 4)$  satisfaz a igualdade do mesmo modo que  $(3, 0)$  e  $(8, 10)$  também satisfazem.

Para embasar a diferença nos tipos de representação matemática, cabe fazer uma referência à teoria dos registros de representação semiótica, de Raymond Duval, que busca analisar a influência das representações dos objetos e símbolos matemáticos no processo de aprendizagem.

Em sua teoria, Duval<sup>1</sup> explica que os registros de representações constituem modos de representar um objeto matemático e o sistema em que podemos representá-lo denomina-se registro semiótico. Esses constituem-se num sistema de comunicação próprio e possibilitam a organização de informações a respeito do objeto representado.

Vamos analisar novamente nosso exemplo  $y = 2x - 6$  e registrar as soluções segundo duas visões (representações) diferentes:

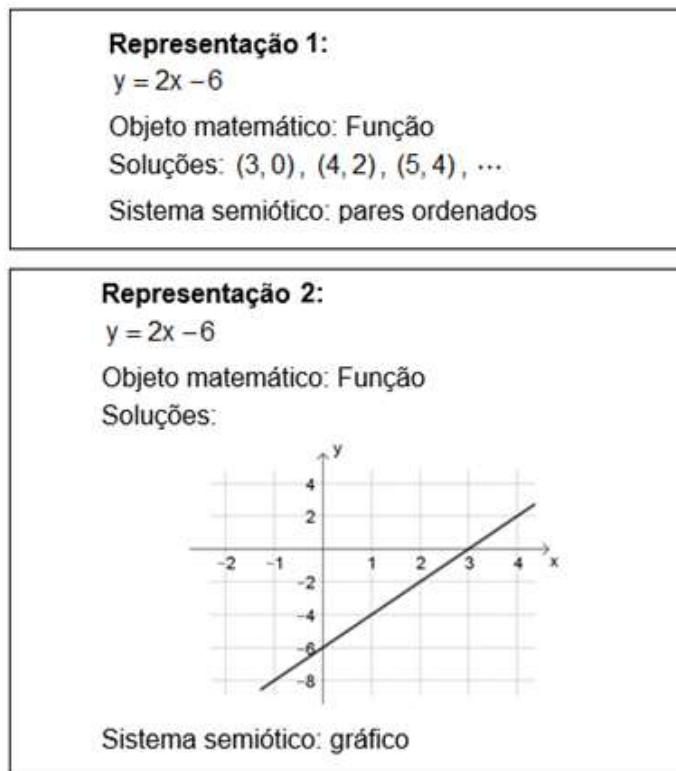


Figura 1: Registro de representação semiótica

Os dois sistemas de representação de soluções são válidos e constituem etapas do desenvolvimento matemático muito distinto. Ao passo que o primeiro requer uma testagem dos valores nas duas variáveis, o segundo necessita da compreensão que diante de uma infinidade de soluções é possível expressá-las por uma linha que associa em cada ponto dela um par que verifica a expressão. Segundo Damm<sup>2</sup>:

Para estudar a aquisição de conhecimentos, e mais particularmente a aquisição de conhecimentos matemáticos, é preciso recorrer à noção de representação. Não existe conhecimento matemático que possa ser mobilizado por uma pessoa, sem o auxílio de uma representação.

Duval<sup>3</sup> faz pensar sobre com qual esquema organizar uma sequência de atividades que favoreça a aquisição de um novo conhecimento matemático e como passar de atividades práticas que mobilizem esse conhecimento para sua formulação matemática. Segundo ele,

A questão exige a referência a um esquema teórico para a organização de sequência de atividades que conduza progressivamente a passarem do que elas já conhecem para a aquisição de um novo conceito introduzido, ou do novo procedimento matemático. Mas a descrição dessa progressão local não se limita ao ponto de vista matemático, mas também de outros pontos de vista como o ponto de vista pedagógico e o ponto de vista cognitivo. O ponto de vista pedagógico concerne à organização do trabalho individual ou em grupo, a condução das trocas entre os alunos. O ponto de vista cognitivo diz respeito ao processo de compreensão e aquisição de conhecimentos.

Ele continua, salientando que o tratamento do conteúdo precisa resultar na transformação representacional mais importante, a conversão. Nela, ocorre o reconhecimento de um objeto matemático sob a visão de outro registro de representação semiótica, sendo essa etapa a responsável pela construção do conhecimento. Ao término de uma sequência de atividades, a aquisição deve resultar em um saber fazer que o aluno poderá utilizar para resolver outros problemas práticos ou matemáticos.

Jesus<sup>4</sup> já relaciona Programação Linear a sistemas de equações lineares no Ensino Médio sob a ótica da representação semiótica ao desenvolver atividades que busquem a conversão do registro algébrico para o gráfico.

Pantoja<sup>5</sup> et al, igualmente usa a teoria de Duval para apresentar três formas de registro na resolução de sistemas de equações lineares, destacando que, sob sua ótica, somente enfatizando diferentes formas de registros semióticos, com sua respectiva conversão, é que os estudantes passam a se apropriar do significado da solução de um sistema de equações.

Em particular, a representação gráfica de inequações é um assunto pouco explorado no ensino médio e o modo de apresentação da solução é geralmente desprovido de aprofundamento. Sob o ponto de vista dos registros semióticos, sua representação algébrica e gráfica são transformações semióticas completamente diferentes.

O objetivo desse trabalho, portanto, é oferecer uma alternativa embasada pela teoria dos registros de representação semiótica para o aluno se apropriar do significado da representação gráfica de inequações. Desse modo, a proposta é apresentar o conteúdo de equações e inequações a partir de uma atividade que possibilite ao aluno ir testando suas escolhas com o uso de um software gráfico e se apropriando da teoria e dos conceitos envolvidos. Para isso, o aluno não parte do recebimento de uma representação, mas recebe uma imagem, que é uma obra de um artista, e tem o desafio de reproduzir as diversas partes da figura a partir do uso de equações e inequações matemáticas, fazendo uso dos softwares Geogebra e Grafeq.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A proposta do trabalho já foi aplicada com êxito no Ensino Médio e no Ensino Superior, tendo como condições prévias em ambos os cenários apenas noções de Geometria Analítica, especificamente conhecimento das equações de reta e circunferência.

Como primeira etapa do trabalho, o aluno recebe a imagem de uma bandeira de um país para determinar as equações das curvas que a compõem. A escolha da bandeira é interessante, pois sua representação constitui-se de polígonos e regiões circulares, o que facilita a associação com o conteúdo estudado.

Para alcançar os objetivos, é necessário que o aluno perceba a diferença entre uma equação e uma inequação, relacionando uma área da figura a um sistema de inequações. Espera-se aqui a associação entre a representação algébrica e a geométrica, permitindo ao estudante que se estabeleça a conversão entre os dois registros de representação semiótica, pois Duval<sup>6</sup> afirma que “do ponto de vista cognitivo, é a atividade de conversão que aparece como atividade de transformação representacional fundamental, aquela que conduz aos mecanismos subjacentes à compreensão”.

A partir da apropriação desse conhecimento, estimula-se o estudante a participar da segunda etapa do trabalho, que pode ser realizada em duplas ou de forma individual. São apresentadas obras de artistas que podem ser reproduzidas e o desafio de representá-la apenas com equações e inequações matemáticas. A partir disso, usa-se o *software* Geogebra para maximizar o tempo de determinação das equações das curvas e após o *software* Grafeq para reproduzir as diversas regiões que compõem a imagem. Abaixo podem ser verificados os diferentes passos para obtenção do resultado final da atividade. O que se reproduz aqui é um quadro do artista Romero Britto.

Passo 1: Incorporação da imagem ao software Geogebra

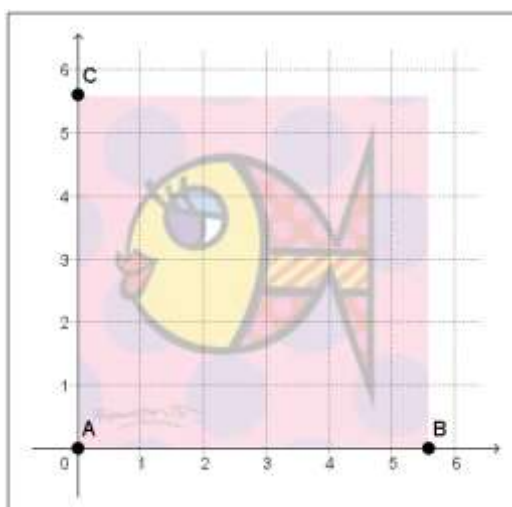


Figura 2: Imagem no Geogebra

Passo 2: Determinação das equações das curvas

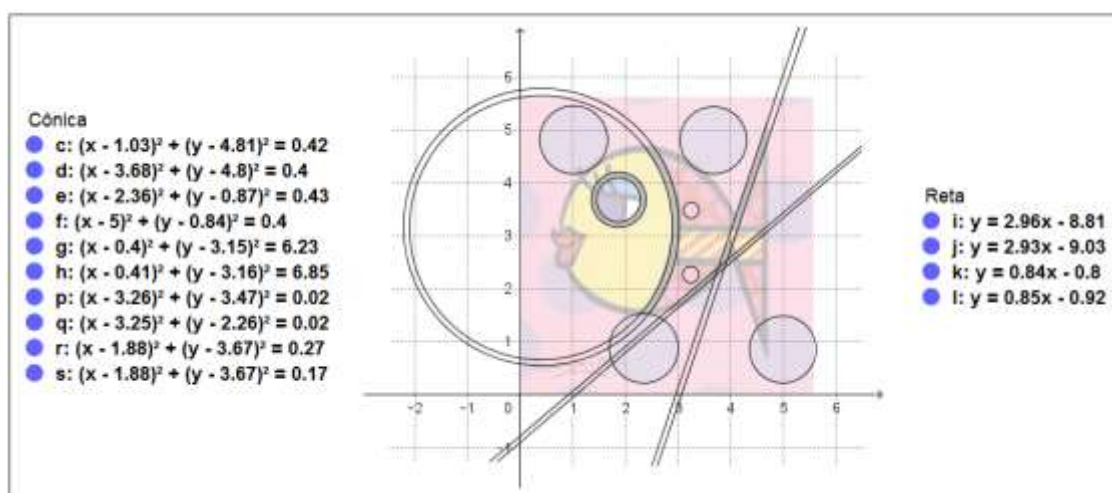


Figura 3: Determinação de equações no Geogebra



Passo 3: Uso de sistema de inequações para formar regiões da imagem no Grafeq

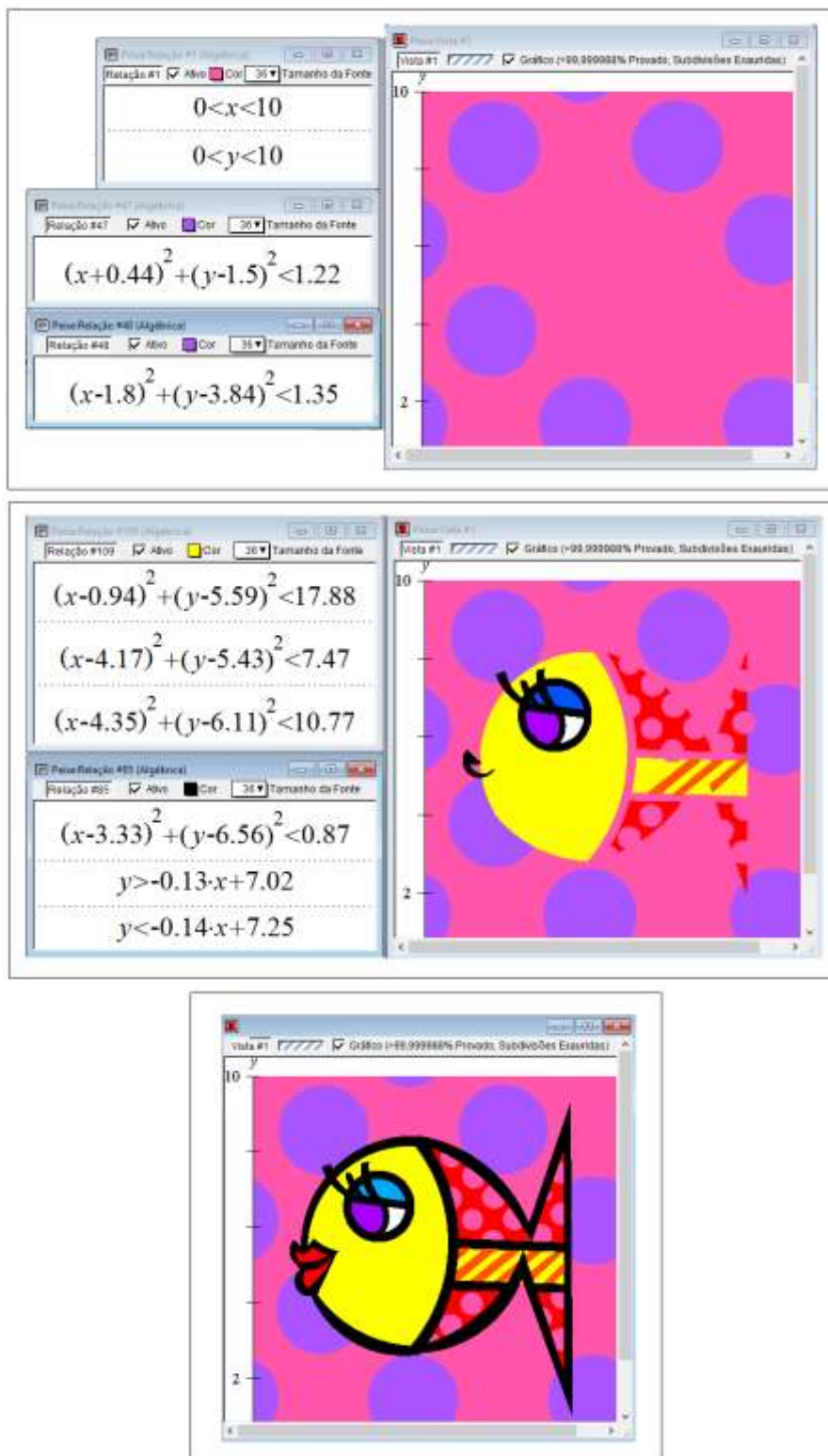


Figura 4: Determinação de regiões por sistemas de inequações

Cabe ressaltar que o tempo total de preparação que antecede a atividade é de seis períodos de 50 minutos de aula. Desse tempo, três períodos são destinados

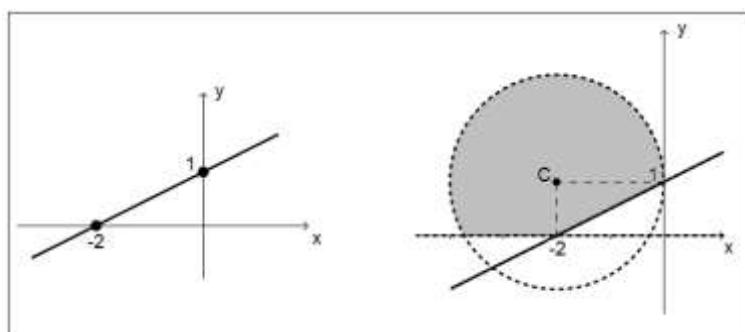
à determinação da equação de retas e circunferências com a representação de algumas dessas regiões no *software* Grafeq, e os outros três períodos para a aprendizagem do uso dos *softwares* envolvidos (Geogebra e Grafeq). A reprodução das obras é feita fora da sala de aula e tem tempo disponibilizado para finalização de cerca de um mês com auxílio do professor no surgimento de dúvidas na tarefa. As atividades não foram realizadas em laboratórios da escola, tendo sido necessário apenas o uso de projetor em sala de aula para a etapa de capacitação do uso dos *softwares*.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A atividade é composta de dois momentos. Inicialmente os alunos tem contato com uma figura com elementos geométricos bem definidos (bandeira), em que a determinação das equações de retas e curvas é simplificada. Essa parte permite ao aluno estabelecer conclusões a respeito do uso de inequações para gerar regiões e já permite uma visualização clara dos elementos necessários para determinar cada equação, promovendo uma conversão da representação do registro semiótico. O segundo momento (obra do artista) envolve não só o uso de sistemas de inequações como também um grau de modelagem e resolução de problemas, já que é necessário compor regiões irregulares a partir de elementos geométricos. O projeto permite, portanto, a associação de habilidades importantes na Matemática, quais sejam a busca de soluções a partir de problemas surgidos e o uso consciente da teoria matemática na busca de alternativas para a resolução desses problemas.

Talvez a grande vantagem do método e a conseqüente incorporação de significação do assunto estudado seja a rapidez com que o *software* devolve o resultado da hipótese formulada. Ao propor um sistema de inequações para a determinação de uma região do plano, imediatamente há o retorno se a escolha foi acertada e, caso contrário, a necessidade de análise por parte do estudante das equações escolhidas promove nítido aprendizado, já que somente a partir da descoberta do erro se evolui no trabalho.

Como já foi salientado, a atividade foi utilizada no Ensino Médio, para alunos do 3º ano, e no Ensino Superior, para alunos de Licenciatura em Matemática na disciplina de Geometria Analítica. Para os estudantes do Ensino Médio, como forma de mensuração e comparação dos resultados alcançados, um teste foi efetuado antes e depois do trabalho realizado. Foram apresentados dois gráficos com a instrução de determinar num deles a equação da reta e no outro a equação associada à circunferência e o sistema de inequações que gerasse a região cinza.



**Figura 5:** Representações gráficas das questões do teste

As perguntas feitas foram:

- (1) Qual a equação da reta representada no gráfico?
- (2) Qual a equação da circunferência representada no gráfico?
- (3) Qual sistema de inequações representa a região cinza do gráfico?

As tabelas 1, 2 e 3 abaixo mostram os resultados obtidos nas três perguntas por um grupo de 71 alunos do 3º ano do Ensino Médio de uma escola particular do município de São Leopoldo, RS.

**Tabela 1:** Resultados da pergunta 1

(1) Qual a equação da reta representada no gráfico (figura 5)?			
Antes do trabalho		Depois do trabalho	
Acerto	64,8%	Acerto	91,5%
Erro	35,2%	Erro	8,5%

**Tabela 2:** Resultados da pergunta 2

(2) Qual a equação da circunferência representada no gráfico (figura 5)?			
Antes do trabalho		Depois do trabalho	
Acerto	52,1%	Acerto	77,5%
Erro	47,9%	Erro	22,5%

**Tabela 3:** Resultados da pergunta 3

(3) Qual sistema de inequações representa a região cinza do gráfico (figura 5)?			
Antes do trabalho		Depois do trabalho	
Acerto	29,5%	Acerto	69,0%
Erro	70,5%	Erro	31,0%

Em relação à segunda pergunta, como a imagem apresentava centro com abcissa negativa e o trabalho foi modelado no 1º quadrante, ainda se verificou erros de sinal na equação da circunferência. Na pergunta 3, foi desprezado para análise das respostas o fato de a reta estar sólida e a circunferência tracejada já que poderia haver dúvidas se a região cinza contemplaria ou não sua fronteira.

## 4 CONCLUSÃO

Os resultados encontrados deixam claro que o trabalho melhora a habilidade dos estudantes em determinar equações das curvas no plano, em específico de retas e circunferências. A associação entre um sistema de inequações e a sua representação gráfica é uma conversão importante que o aluno estabelece a partir da atividade, suplantando, a nosso ver, com vantagem, o modo tradicional que usa apenas exercícios para fixação do aprendizado. A busca de estratégias na modelagem das regiões da imagem mostrou capacidade de associação entre teoria e prática, promovendo importantes registros de representação semiótica.

Vale destacar que o uso de *softwares* é fundamental nesse processo, pois a velocidade da resposta estimula o estudante a analisar seus erros. Como o projeto prevê apenas a utilização em sala de aula dos programas para visualização e entendimento do seu funcionamento, deixando a parte do trabalho para casa, não há problemas na aplicação dessa atividade em escolas que não possuam laboratórios de informática. Por fim, salienta-se que os resultados encontrados são estimuladores e o retorno de satisfação dos estudantes em produzir algo concreto associado ao assunto estudado merece considerações, possibilitando aplicação em larga escala da atividade, mesmo que eventualmente adaptada a realidades distintas.

## REFERÊNCIAS

- 
- <sup>1</sup> DUVAL, R. **Semiósis e pensamento humano**: Registros semióticos e aprendizagens intelectuais. Trad. Lênio Fernandes Levy e Marisa Rosâni Abreu Silveira. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.
  - <sup>2</sup> DAMM, R. F. Registros de representação. In: MACHADO, S. D. (Org.). **Educação Matemática**: uma introdução. São Paulo: SEDUC, 2002, p.135-153.
  - <sup>3</sup> FREITAS, J. L. M.; REZENDE, V. Entrevista: Raymond Duval e a teoria dos registros de Representação Semiótica. **Revista paranaense de Educação Matemática**. Campo Mourão, v.2, n.3, jul./dez. 2013, p.19.
  - <sup>4</sup> JESUS, G. B.; OLIVEIRA, U. S. Sistemas de Inequações Lineares: Uma Ferramenta para Resolver Problemas de Programação Linear. **Educação Matemática em Revista**. Brasília, n.40, p.57-64, nov. 2013.
  - <sup>5</sup> PANTOJA, L. F. L., CAMPOS, N. F. S. C., SALCEDOS, R. R. C., A teoria dos registros de representações semióticas e o estudo de sistemas de equações algébricas lineares. In: VI CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENSINO DA MATEMÁTICA. **Comunicação Científica: Processos Cognitivos e Linguísticos em Educação Matemática**. Canoas: ULBRA, 2013.
  - <sup>6</sup> DUVAL, R. Registros de representação semiótica e funcionamento cognitivo da compreensão em matemática. In: MACHADO, S. D.A. (Org.). **Aprendizagem em matemática: registros de representação semiótica**. Campinas: Papyrus, 2003, p.22.

## O SMARTPHONE COMO MEDIADOR NA CAPTURA DE IMAGENS EM SALA DE AULA

de Almeida, C.S.<sup>1</sup>  
Caruso, A. L.M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Licenciado em computação, Cristian da Silva de Almeida, (Instituto Federal Sul-Rio-Grandense) cristian.ifet@gmail.com.*

<sup>2</sup> *Mestre, Andre Luis Macedo Caruso, (Instituto Federal Sul-Rio-Grandense) almcaruso@gmail.com.*

### Resumo

O presente trabalho aborda questões referentes ao uso das tecnologias, mais precisamente ao uso do smartphone como mediador na captura de imagens, em sala de aula. Busca trazer à tona questões referentes à frequência e às motivações que levam os alunos a capturar essas imagens, assim como ter conhecimento do destino delas após o registro. O estudo propõe-se, assim, a refletir sobre a contribuição dessa prática para o processo de aprendizagem. Como suporte teórico, o artigo inicia fazendo uma retrospectiva da história da educação, destacando gerações importantes que influenciaram a construção daquilo que conhecemos hoje como educação escolar para, em seguida, dar voz a autores que discutem os impactos das tecnologias na educação atual. A partir da inserção do pesquisador em um grupo de whatsapp de alunos do curso de Eletrônica, foi possível responder às questões levantadas e verificar que as tecnologias disponibilizadas hoje podem e devem auxiliar os alunos dentro e fora da sala de aula.

**Palavras-chave:** Tecnologias; Sala de aula; Educação, smartphone..

## SMARTPHONE AS A MEDIATOR IN CATCHING IMAGES IN CLASSROOM

### Abstract

The present work addresses issues related to the use of technologies, more precisely to the use of smartphone as a mediator in capturing images, in the classroom. It seeks to raise questions about the frequency and motivations that lead students to capture these images, as well as to be aware of their destination after registration. The study aims to reflect on the contribution of this practice to the learning process. As a theoretical support, the article begins with a retrospective of the history of education, highlighting important generations that influenced the construction of what we know today as school education, and then give voice to authors who discuss the impacts of technologies on current education. From the researcher's insertion into a whatsapp group of students in the Electronics course, it was possible to answer the questions raised and verify that the technologies available today can and should assist students in and outside the classroom.

**Key words:** Technologies; Classroom; Education, smartphone..

## 1. A história da educação e a escola do século XVIII no século XXI.

A escola tradicional e suas práticas foram concebidas para um mundo totalmente diferente do atual e, atual e poderíamos talvez dizer que ela seja hoje um dos últimos resquícios dos século XVIII presente no século XXI.

Algumas passagens do livro *História da educação: de Confúcio a Paulo Freire (2011)* nos remetem ao início dos métodos educacionais na história da humanidade. A obra em questão apresenta a ideia de grandes pensadores e traz alguns fragmentos acerca do surgimento da educação no início das civilizações oriental e ocidental, da história antiga, moderna e contemporânea.

No capítulo intitulado “Confúcio e a educação oriental”, o autor observa:

[...] ensinava-se leitura e escrita. Por ser a língua chinesa considerada bastante complexa, tal estudo prolongava-se por toda a vida. O ensino era dogmático e memorizado. As crianças, observando os caracteres impressos, repetiam cada palavra pronunciada pelo professor. Depois, liam uma linha completa que deveria ser memorizada com a mesma entonação do professor[...]. (PILETTI, Claudino; PILETTI, Nelson, 2011, p. 17)

Tal passagem traduz, por assim dizer, a abordagem educacional da época, baseada no método dogmático e na memorização. O professor, “detentor de todo o saber”, mantinha o poder sobre seus alunos, para os quais restava o comportamento de prestar a atenção naquilo que o mestre transmitia e tentar reproduzir o conteúdo fielmente. Quanto à estrutura escolar vigente na mesma época, Piletti e Piletti ilustram:

cada cidade deveria ter pelo menos uma escola. Se a cidade tivesse um rio que a dividia, duas. A sala de aula que deveria primar pela higiene, era exteriormente simples e, no seu interior, tinha todas as comodidades e mestres em número suficiente. Diz o talmude: “Se o número de alunos não passa de 25, haverá um só professor; de 25 a 40 haverá dois”(PILETTI, Claudino; PILETTI, Nelson, 2011, p. 26)

A estruturação física das escolas hebraicas ainda pode ser observada nos dias atuais. As escolas e as salas de aula praticamente não sofreram modificações ao longo do tempo na parte física. As “peças” do jogo ainda ocupam a mesma posição.

Já no que diz respeito a aspectos didático-pedagógicos, não há como negar ter havido modificações, considerando o fato de que esta contextualização baseia-se no período de 1016-976 a.c. Logicamente, de lá para cá, o sistema educacional sofreu várias mudanças em todo o mundo. Mas, na sua essência, ainda está permeado por paradigmas que atravessaram mais de dois milênios.

Neste capítulo, ainda são abordados os ideais educacionais gregos, que tiveram grande contribuição para o que hoje conhecemos como educação. Segundo Paul Monroe, Platão formulou a primeira concepção de educação liberal:

Cada indivíduo deve dedicar a sua vida a fazer o mais apto a sua natureza, isto é, a realizar seu próprio bem particular na vida. Ele obterá, assim, aquilo que é mais elevado para si mesmo e realizará o máximo possível para a sociedade: Disto decorre o princípio pedagógico fundamental de que é função da educação determinar o que cada indivíduo está mais apto, por natureza, a fazer, e então prepará-lo para o serviço. Esta é a formulação do ideal grego de educação liberal. (MONROE, P, 1983,p.64-65, apud PILETTI, Claudino; PILETTI, Nelson, 2011, p.30-31)

Em outras palavras, esse ideal grego de educação formulado por Platão, seguindo a ordem cronológica descrita no livro, foi, até então, o que mais se assemelha com a nossa educação contemporânea.

A priori sabemos que nosso sistema de educação, de uma forma geral, e principalmente o ensino técnico, prepara o indivíduo para o mercado de trabalho, sem se preocupar com sua formação como cidadão pensante e ativo na sociedade.

Mesmo que isso seja trabalhado mais à frente, na sua caminhada educacional, no ensino superior, isso deveria estar presente desde o início da vida escolar. Até porque, muitos infelizmente interrompem sua trajetória educacional precocemente.

A educação Romana, segundo Sêneca, deveria trabalhar com o indivíduo na sua formação moral:

de acordo com Sêneca, a educação deve ter um caráter prático. Não se ensina para a escola, mas para a vida. Por isso defende a idéia de que todos os conhecimentos sejam colocados em relação com o comportamento orientado moralmente: *De que me serve saber dividir um campo, se não sei dividi-lo com um irmão?*, pergunta Sêneca.(PILETTI, Claudino; PILETTI, Nelson, 2011, p. 40)

Nos ideais educacionais de Roma, na visão de Sêneca, perde-se o foco de o ensino ser exclusivo na escola e para a escola. Defendendo esse ideal, Sêneca não ignorou, mas deixou em segundo plano a cultura do corpo, que nessa época era muito presente e forte entre a sociedade.

Em cada parte da história, a educação teve um papel revolucionário. No mundo antigo, promoveu a consolidação de papéis sexuais e sociais, e, o mais importante, o desenvolvimento dos locais de aprendizagem.

Segundo Verger(1990), Bolonha e Paris foram as primeiras universidades na Europa. Bolonha, é a mais antiga, datada de 1088, e é caracterizada como a terceira universidade dos estudantes por sua organização como nações. Paris é a mais importante, criada no século XII, serviu de modelo para outras instituições, oficializada em 1200, implantada dentro dos estabelecimentos religiosos, igrejas ou mosteiros, sendo submetida aos regulamentos e disciplinas da Igreja.

No Brasil, temos o primeiro modelo de instituição superior implantado somente em 1920, por iniciativa da coroa portuguesa.(WANDERLEY, 2003).

Mesmo com todas essas mudanças que aconteceram nos últimos anos, como o aumento da oferta de instituições de ensino, programas de financiamento estudantil e aumento do número de programas do governo para ingresso, ainda parece haver muito por fazer. Tudo isso serve como a porta de entrada para a vida acadêmica.

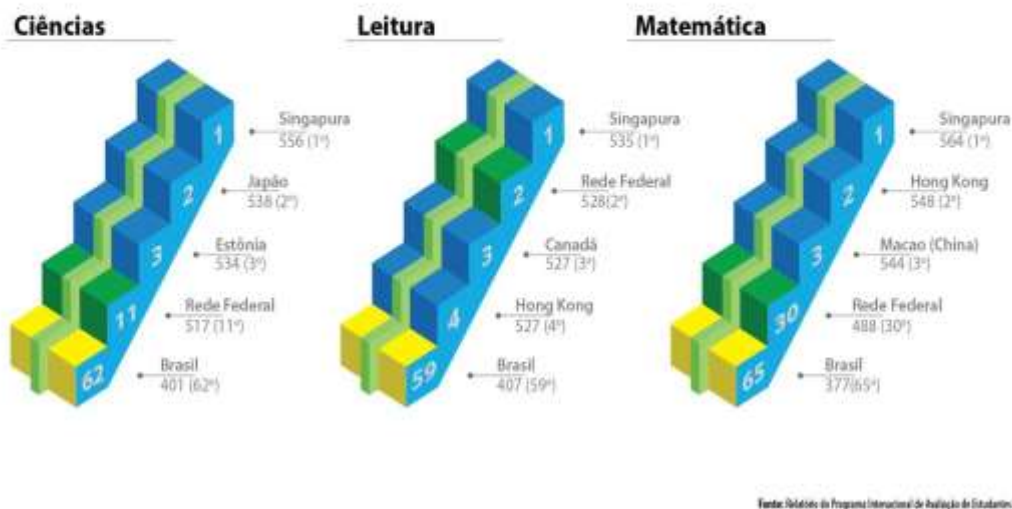
Não podemos negar que estamos muito distantes de uma educação de qualidade, que faça o educando se tornar um ser pensante, questionador e capacitado para enfrentar o atual mundo do trabalho e a sociedade como um todo.

Talvez tal distanciamento da qualidade requerida se dê pelo fato de que as universidades brasileiras são relativamente novas, em comparação com o resto do mundo. Quase mil anos separa o início das atividades acadêmicas no Brasil e a data inaugural da primeira universidade na Europa medieval.

No âmbito do PISA (Programme for International Student Assessment), programa de avaliação internacional de estudantes, o qual é elaborado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), é aplicada uma avaliação em 72 países, que abrange três áreas do conhecimento: leitura, matemática e ciências. No último teste realizado em 2015, o Brasil ocupou as seguintes colocações: 59<sup>a</sup>, 66<sup>a</sup> e 63<sup>o</sup>, respectivamente.



## Desempenho da Rede Federal no PISA 2015



O PISA avalia conhecimentos e habilidades que capacitam os alunos para uma participação ativa e efetiva na sociedade. Nessa questão, a educação brasileira ainda deixa muito a desejar. Não é surpresa estarmos sempre entre as últimas posições do ranking mundial.

## 2. Homo Zappiens e o que podemos esperar no futuro?

Para Veen, Wim, e Ben Vrakking:

[...] O contraste é muito grande para com sua vida fora da escola, em que ele tem controle sobre as coisas, há conectividade, mídia, ação, imersão e redes. Como aprendiz na escola ele se sente forçado a ser passivo e a ouvir o que o professor explica. Na maioria das escolas é proibido ligar o telefone, mesmo quando o som está desligado. Então o que ele faz é enviar mensagens SMS escondendo o telefone sob a mesa, enquanto "ouve" o que o professor está dizendo, olhando para ele como se estivesse interessado e balançando a cabeça de tempos em tempos.[...].(VEEN, WIM, BEM VRAKKING, 2009,p.48)

O texto acima, retirado do livro Homo Zappiens, deixa explícita a condição que o aluno muitas vezes encontra para utilizar o *smartphone* dentro da sala de aula. Em alguns espaços, praticamente proibido, em outros, nem tanto, mas na maioria dos casos o olhar do educador sobre o dispositivo é de apreensão,

desconforto e insegurança. Resquícios de uma educação unilateral, onde só o professor tinha a sabedoria e voz dentro da sala de aula.

Sabemos que as tecnologias digitais da informação e comunicação estão presentes em todo lugar e, na sala de aula, não é diferente. Em muitos casos, essas tecnologias são utilizadas pelos alunos durante o período das aulas, e o grande protagonista, e também considerado vilão, pelo menos do ponto de vista de muitos professores, é o *smartphone*.

Frequentemente, tal dispositivo móvel é utilizado para fazer pesquisas, ter acesso às redes sociais e estabelecer comunicação entre os estudantes. Além de todas as tarefas executadas pela ferramenta, os alunos costumam usar o aparelho como câmera fotográfica, para registrar o conteúdo que o professor trabalhou no quadro ou para obter o conteúdo copiado no dia anterior pelo colega.

Os recursos são múltiplos e interligados em rede. Um exemplo é capturar a imagem que o professor trabalhou no quadro ou que o colega possui no caderno e disponibilizar em um grupo de *Whatsapp*. Como em uma rede, o trabalho é colaborativo, quem possui a determinada parte da matéria a disponibiliza ao resto do grupo, e assim todos que fazem parte possuem os mesmos materiais para consulta.

A imagem é um fator importante no processo, pois o aluno não precisará explicar o conteúdo digitando, simplesmente captura a imagem do quadro, do *slide* ou do caderno, utilizando a câmera do seu dispositivo. Em aulas em que o professor trabalha com desenho técnico, o uso da câmera ainda se torna mais significativo, à medida que o aluno consegue obter a imagem quando for preciso consultá-la.

Tais mudanças na estruturação e nos modos de comportamento dos alunos dentro da sala de aula fazem com que o professor esteja constantemente em busca da forma ideal para trabalhar conteúdos. O desafio se dá quando o educador possui resistência para as novas tecnologias, dentro da sala de aula.

### **3. Apresentação e discussão dos resultados da pesquisa**

Frente a essas questões envolvendo alunos, sala de aula e o *smartphone* como meio midiático, realizamos uma entrevista com alunos do terceiro semestre do

curso de Eletrônica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense, campus Pelotas.

Tal entrevista se deu pelo formato digital, utilizando o mensageiro eletrônico *WhatsApp*. Em um primeiro momento, pedimos para que um aluno da respectiva turma nos colocasse no grupo de alunos, no *WhatsApp*. Em um segundo momento, passamos a fazer parte da turma, dentro de um dos meios midiáticos mais utilizados entre os jovens.

Após algum tempo, aproximadamente vinte dias, ficamos observando suas conversas e troca de mídias dentro do grupo. Sem demora, tivemos algumas questões aqui levantadas, constantemente confirmadas entre conversas e imagens produzidas pelos alunos.

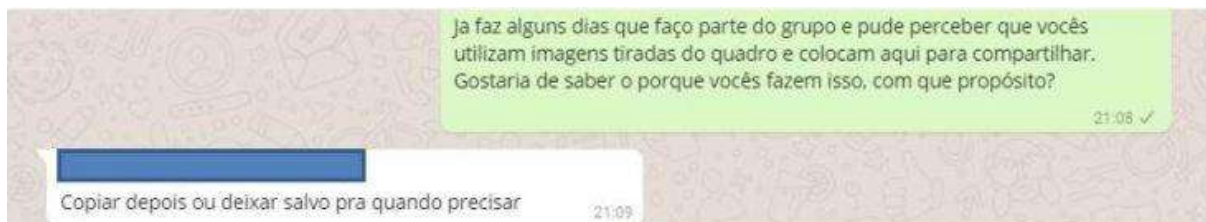
Diariamente, os alunos trocavam mensagens sobre as disciplinas, dificuldades que porventura ocorriam, e compartilhavam fotos do quadro, com a matéria trabalhada pelo professor e, em outros casos, fotos do caderno com conteúdo de aula. Isso costumava acontecer, normalmente, a pedido dos alunos que não estavam presentes na aula, ou quando a turma tinha algum tipo de tarefa, como por exemplo, uma prova.

Após esse tempo de observação, e com algumas questões para serem ainda desvendadas, resolvi fazer uma intervenção no grupo. De maneira totalmente informal, apresentei-me e, gradativamente, trouxe as questões à tona.

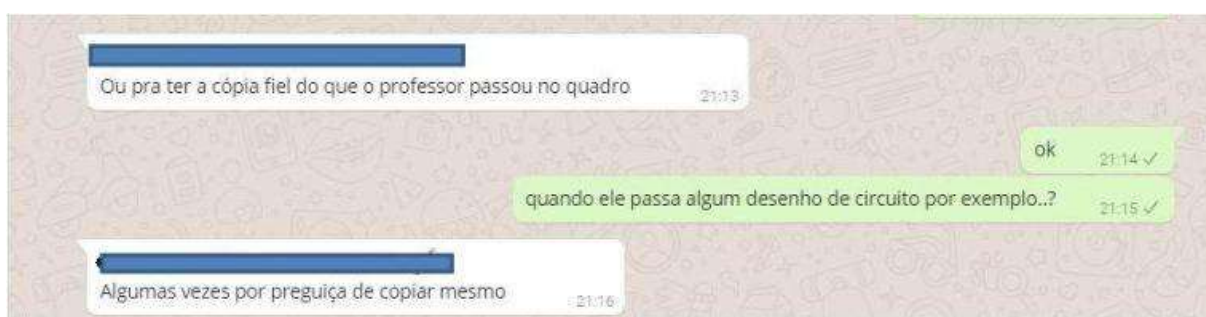
Alguns recortes da entrevista coletiva, feita por intermédio do *WhatsApp*, estão disponíveis nas próximas páginas do artigo. As perguntas foram delimitadas, focadas estritamente no uso do celular na captura de imagens dos conteúdos trabalhados em sala de aula, a fim de tornar o trabalho mais definido e conciso.

Todas as questões são diretas e, sendo assim, todas elas foram importantes para que o trabalho cumprisse minimamente com o seu propósito, que é desvendar os motivos pelos quais os alunos registram conteúdos em momentos de aula e o que fazem posteriormente com essas imagens.

No próximo recorte, temos a primeira pergunta e interação inicial com os alunos pela primeira vez.



Em outro recorte, ainda respondendo a pergunta acima, os alunos afirmam que, entre outras questões, se preocupam com o conteúdo abordado pelo professor, tal qual ele produz e apresenta.



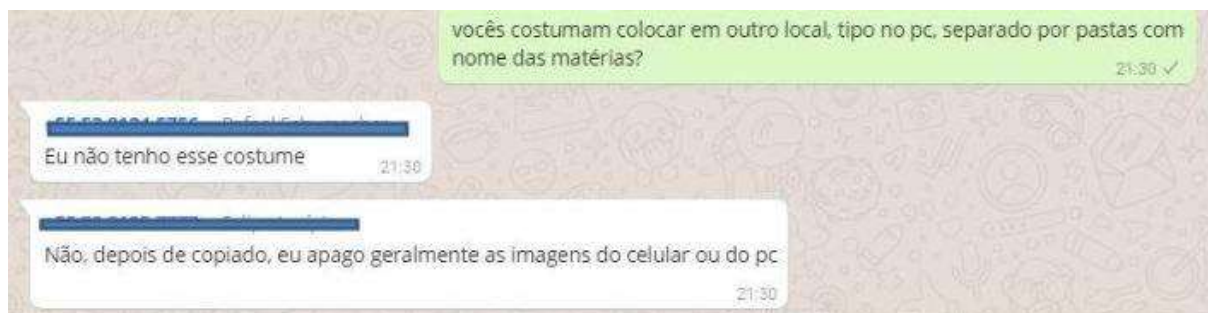
Outra questão que se apresenta é o fato de o aluno simplesmente não estar disposto a copiar o conteúdo de aula no momento em que ele é apresentado. Mesmo que isso possa parecer falta de comprometimento por parte do aluno, fazendo uma análise específica, talvez isso ocorra pelo fato de que os alunos da eletrônica, em suas aulas, são submetidos a desenhos técnicos. O aluno acaba por não copiar no momento, mas, ao que revela a pesquisa, posteriormente ele acaba por transcrever esse conteúdo para o caderno.

Outra questão importante é se eles conseguem contextualizar a imagem, quando a visualizam.

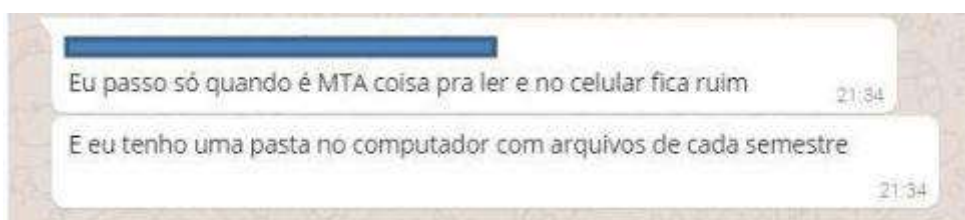


Nesse sentido para os alunos, no local onde o conteúdo foi trabalhado, fica, de certa forma, mais fácil de contextualizar, pois as lembranças do local ajudam a lembrar detalhes. Mas neste caso, as imagens são visualizadas em qualquer lugar e é de extrema importância relembrar o que foi explicado na hora em que o professor trabalhou o conteúdo.

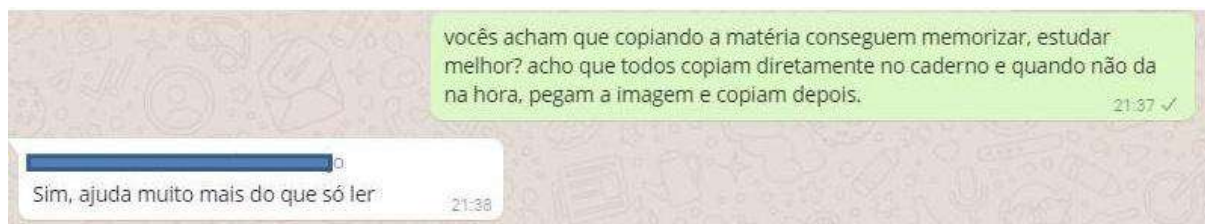
Outra questão que chama a atenção é o fato de os alunos que participaram da pesquisa, em sua maioria, não guardarem as imagens do material de aula. Talvez por esse conteúdo ser transcrito para o caderno.



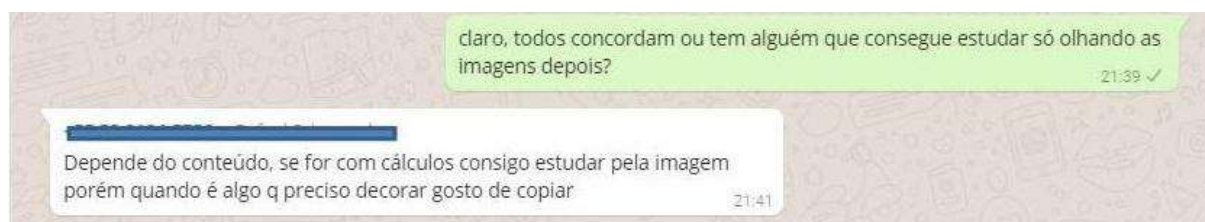
A leitura tradicional, via papel, ainda é utilizada, pois, segundo os alunos, as telas, independente do dispositivo, ainda acabam por causar um cansaço visual. Os alunos, em sua minoria, só usam as imagens para estudar, mas se o material for muito extenso, a transcrição para o caderno acaba sendo utilizada.



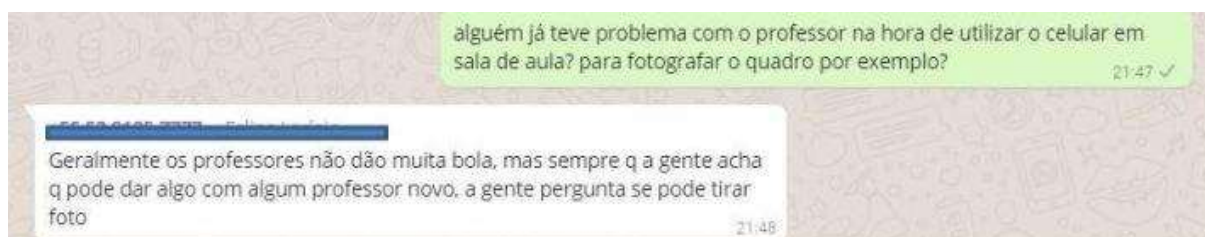
A memorização é uma estratégia importante, pois nosso sistema educacional ainda cobra o conteúdo, tal qual ele foi trabalhado. E os alunos usam a estratégia de transladar o material que está na imagem, para o caderno.



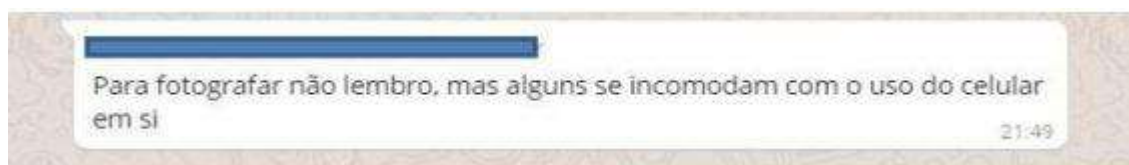
Os alunos declararam que alguns conteúdos são possíveis de ser estudados diretamente pela imagem, sem precisar transcrever o conteúdo para o caderno.



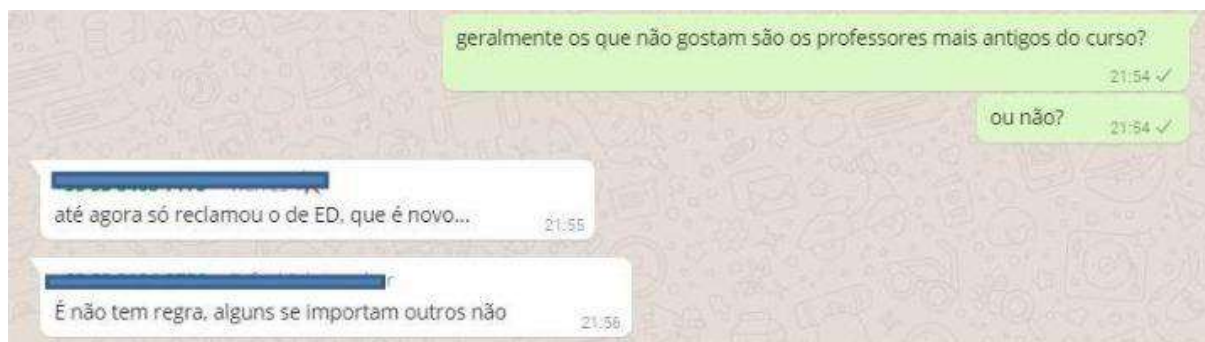
A questão do posicionamento do professor em relação ao uso do celular e ao registro de sua abordagem do conteúdo também esteve presente nas perguntas aplicadas.



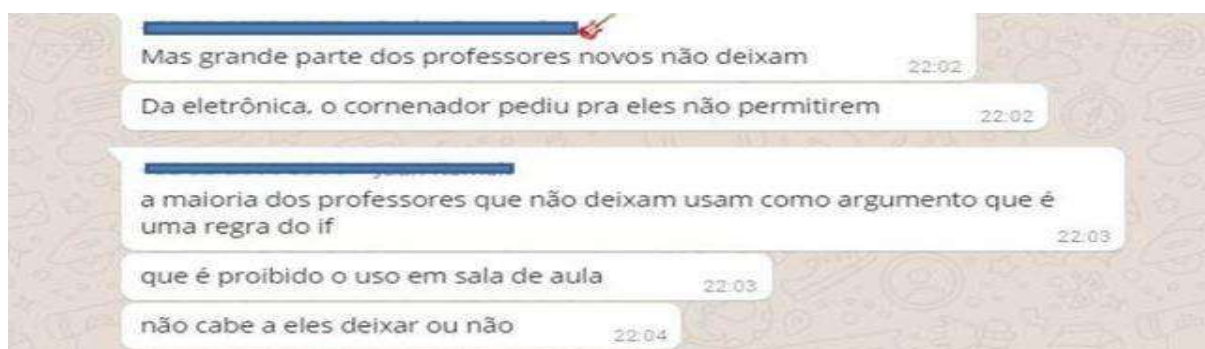
Outro aluno confirma a existência de resistência por parte dos educadores frente ao uso do celular dentro da sala de aula.



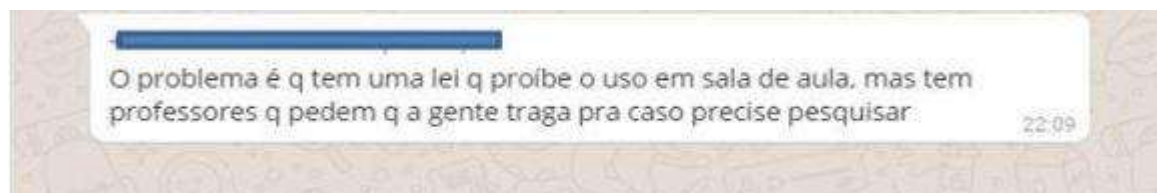
No próximo recorte, fica clara a tentativa de confirmar a hipótese de que os professores com mais experiência na sala de aula, ou seja, aqueles que já estão presos aos métodos tradicionais de ensino, têm mais dificuldade para lidar com as tecnologias dentro da sala de aula.



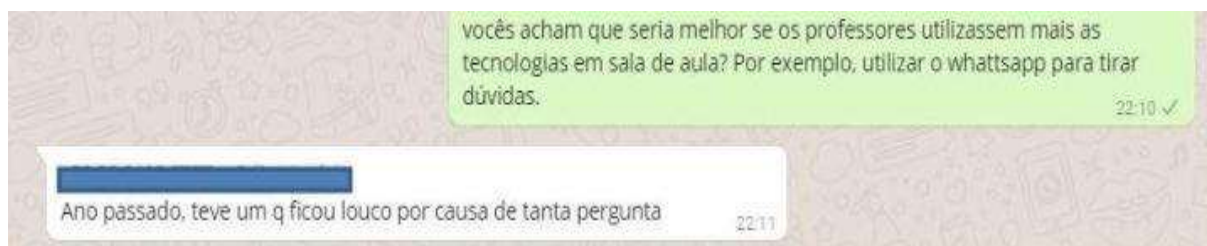
A surpresa se deu pelo fato de os alunos responderem que grande parte dos professores novos não os deixa utilizar o celular em aula. Outra declaração dá conta de que o coordenador pediu para que os professores não deixassem os educandos fazerem uso do dispositivo em sala de aula.



Em um caso específico, o aluno problematizou a questão da lei estadual que proíbe o uso de celular dentro de sala de aula e, em contrapartida, alguns professores têm pedido para seus alunos trazerem o dispositivo para sala de aula com intenção de que pesquisem sobre o conteúdo estudado.

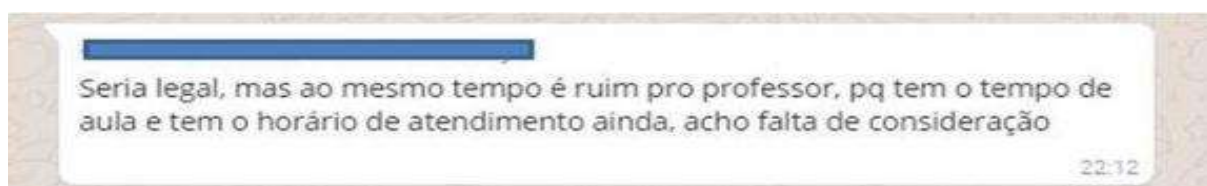


As perguntas também abrangeram a opinião dos alunos sobre o uso das tecnologias em sala de aula. Alguns professores já estão utilizando a tecnologia como meio de aprendizado.



O uso das tecnologias em sala de aula também traz à tona uma questão importante sobre o comprometimento de tempo livre que o educador possui. Atualmente, os professores, além de cumprirem sua carga horária obrigatória, ainda levam uma demanda considerável de trabalho para casa. Com o uso das tecnologias, isso poderá se agravar.

No próximo recorte, fica nítida a preocupação do aluno com a questão de tempo livre do professor.



### 3.1 Análise e resultado dos dados

Finalizar a coleta de dados e relacioná-los a conceitos e teorias estudados permite abrir uma nova perspectiva de abordagem frente a realidade estudada. E é essa nova abordagem que acaba por reafirmar a relevância do estudo.

Nesta etapa, vamos analisar os questionamentos, as respostas e as conclusões obtidas ao longo do percurso. Algumas questões permearam nossa investigação e tiveram afirmação positiva, frente a suposições aqui levantadas.

As questões que norteiam o trabalho dizem respeito em saber qual frequência tem o celular em sala de aula com a finalidade de capturar imagens dos conteúdos abordados pelo professor e qual o destino dessas imagens, como e para que são utilizadas.

Após minha inserção no grupo da turma, pude perceber que a primeira questão foi gradativamente respondida. Em pouco tempo de participação, pude constatar que os alunos capturam um grande volume diário de imagens e praticamente todas têm o mesmo destino, qual seja, o grupo no *WhatsApp*.



Dei início a minha entrevista reafirmando que os estudantes utilizavam constantemente o grupo para postar imagens e, logo em seguida, iniciei perguntando por que eles tinham esse costume, com que finalidade. Logo, as respostas não deixaram dúvida de que os alunos capturavam as imagens para uso posterior.

Mas qual era o destino da imagem, utilizavam exclusivamente para estudar? Qual o destino da imagem depois do uso? A resposta, quase que unânime, foi de que as imagens são transcritas para o caderno. E após os registros são apagados.

A priori, tinha uma suposição de que as imagens eram utilizadas para estudo e após eram guardadas. Contrariando as expectativas, as imagens são transcritas pelos alunos para o caderno e posteriormente apagadas. A relação das imagens na sala de aula é apenas de um suporte; quando o aluno não consegue copiar a tempo, este faz uso da ferramenta e, posteriormente, a descarta.

A perspectiva de Bauman e seu conceito de vida líquido-moderna fica evidente nesse contexto. Quase tudo que está inserido no meio tecnológico tem sua obsolescência programada, inclusive os conteúdos que circulam entre eles.

A questão de arquivar fotos vem do tempo das máquinas analógicas, quando tínhamos que produzir a foto e após enviar o filme para revelação. Com a inovação tecnológica, com a facilidade de produção e compartilhamento da imagem, esse método perdeu seu sentido. A forma líquida e volátil também contaminou, e não podia ser diferente, as mídias digitais.

Outra afirmação que tivemos foi que quase todos os alunos acompanhados pela pesquisa transcrevem o conteúdo da imagem para o caderno. Tal ação foi justificada por eles em razão de ela facilitar a memorização do conteúdo. Mesmo que o presente trabalho não tenha o propósito de analisar os métodos cognitivos utilizados pelos alunos para estudar, a resposta apresentada por eles nos faz levantar uma hipótese: aparentemente, os alunos utilizam métodos de ensino tradicionais, adotados nos primórdios da educação pelos educadores, abordado neste artigo pelo livro *História da educação: de Confúcio a Paulo Freire (2011)*. Mesmo com todas as tecnologias que permeiam suas vidas, os jovens, aparentemente, ainda utilizam as mesmas estratégias de aprendizagem. Isso poderá servir como um estímulo para futuros trabalhos que pretendemos produzir.

No que se refere a posição do professor diante do uso das tecnologias, neste caso o uso do *smartphone* na sala de aula, tivemos uma grata surpresa. Segundo os alunos que participaram da pesquisa, dentro do grupo de professores do curso, havia um que optou por fazer uso do mensageiro *WhatsApp*. Após criar um grupo da turma, esse propiciava, utilizando a ferramenta, a possibilidade de os alunos externarem suas dúvidas e assim poder intervir de forma dinâmica e direta. Mesmo, talvez, sendo um caso isolado no curso em questão, parece que alguns educadores já estão dispostos a mudanças nos paradigmas educacionais. Por outro lado, tivemos o relato de outro educando, afirmando que a proibição ao uso de *smartphone*, seja qual for seu propósito, parte da coordenação do curso.

Em outro ponto do trabalho, abordamos algumas questões trazidas por Moran, em sua obra *A educação que desejamos: Novos desafios e como chegar lá (2007)*. Nessa abordagem, há um trecho em que o autor nos deixa explícito que, diante das mudanças, teremos de reinventar a educação, em todos os níveis e formas, afetando professores, gestores, alunos e, conseqüentemente, todos os envolvidos nesse processo.

Tudo nos faz pensar e refletir que ainda temos um caminho árduo até conseguirmos perceber realmente as tecnologias em sala de aula de uma forma colaborativa e harmoniosa.

Para Veen, Wim, e Ben Vrakking (2009), o contraste é muito grande entre a escola e os alunos. Fora dela, o aluno está em conectividade em tempo integral, e quando ele se faz presente em aula é forçado a ser passivo e a somente ouvir o professor. “[...]Essa nova geração oferece oportunidades nunca vistas para tornar o ensino uma profissão apaixonante e motivadora, que faça a diferença para a sociedade futura.[...]”. Veen, Wim, e Ben Vrakking, (2009, p. 14).

No que diz respeito aos alunos frente ao uso das tecnologias em sala de aula, foi unânime a manifestação positiva na sua utilização. Ficou explícita a importância que essa ferramenta representa, sendo destacado o uso pedagógico do *smartphone* para registrar imagens do conteúdo, do quadro ou caderno, e posteriormente compartilhadas através do grupo.

O volume de mídias compartilhadas, neste curto tempo que tivemos inseridos no grupo, aproximadamente trinta dias, foi de 50 imagens. Poucas foram as que não tratavam de conteúdos relativos ao curso.

Parece não haver dúvidas de que as tecnologias presentes hoje podem auxiliar os alunos dentro e fora da sala de aula. Isso, por sua vez, serve como motivação para seguirmos com pesquisas que busquem investigar a importância e a influência que as tecnologias exercem na construção de conhecimento e aporte para os conteúdos trabalhados pelo professor em sala de aula.

## **5. Considerações finais**

É preciso considerar todas as mudanças que tivemos ao longo dos anos, em nível tecnológico, e compararmos com as modificações que tivemos no sistema educacional. Não é difícil perceber a distância entre as duas realidades. Se por um lado temos uma sociedade moderna, líquida, volátil e mutante, por outro, ainda temos um sistema educacional arcaico, que permanece estagnado, arraigado em métodos que atravessaram séculos.

Contudo, o intuito deste trabalho não é solucionar essa questão, tampouco apontar culpados. O propósito é debater sobre o assunto e, assim, mesmo que minimamente, instigar a comunidade acadêmica a refletir acerca de tal questão.

O ciclo desta pesquisa não vai se resumir a este projeto, pois toda pesquisa acaba por produzir novas indagações. Nesse sentido, não buscamos verdades prontas e imediatas, mas a contínua reflexão e a contínua busca por respostas que venham a esclarecer e a compreender essa nova realidade que se impõe no ambiente escolar, que diz respeito à interação aluno, professor e novas tecnologias.

## **REFERÊNCIAS**

- VERGER, Jacques. **As universidades na idade média**. Ed. Unesp, 1990.
- PILETTI, Claudino; PILETTI, Nelson. **História da educação: de Confúcio a Paulo Freire**. Editora Contexto, 2011.
- MORAN, J. M. **A educação que desejamos: novos desafios e como chegar lá**. São Paulo, Papyrus Editora, 2007.
- BAUMAN, Zygmunt. **Vida líquida**. Zahar, 2007.
- BAUMAN, Zygmunt. **Amor líquido: sobre a fragilidade dos laços humanos**. Rio de Janeiro: Ed. Jorge Zahar, 2004.
- Veen, Wim, and Ben Vrakking. **Homo Zappiens: educando na era digital**. Artmed Editora, 2009.

## **A UTILIZAÇÃO DOS AMBIENTES INFORMATIZADOS NA REDE MUNICIPAL DE ALVORADA/RS**

Moch, C. G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Mestre em Ciências da Educação, Clayton Gregis Moch, Prefeitura Municipal de Alvorada, c.moch@terra.com.br.*

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### **Resumo**

A pesquisa refere-se a defesa da dissertação de Mestrado que teve como Objetivo Geral analisar como os professores da rede municipal de ensino de Alvorada utilizam ferramentas pedagógicas de TICs em sala de aula com alunos do 9º ano do ensino fundamental. A Metodologia adotada foi exploratória de forma que apresentou um maior conhecimento do problema relatado tornando possível a construção de hipóteses. Ela também foi descritiva pois descreveu as características da população e identificou possíveis relações entre as variáveis verificadas, além de explicativa, demonstrando como são utilizados os AIs nas escolas municipais. O critério de seleção da amostra ocorreu por acessibilidade e o instrumento utilizado na pesquisa foi um questionário eletrônico, preenchido de forma online por professores e alunos, com questões abertas e fechadas, de modo que puderam elucidar as questões levantadas na pesquisa. Os principais resultados apontam para um bom relacionamento professores/alunos e bom índice de aprovação, assim como motivação para maior utilização das TIC para os alunos. E para os professores, maior motivação para a utilização das TIC e maior reflexão sobre as metodologias de ensino, TIC e avaliações e também uma maior interação professor/aluno seguida de uma maior discussão sobre o uso das TIC. Com isso, foi possível destacar aspectos como a necessidade de se rever a formação dos professores com TICs e que as políticas públicas relacionadas ainda necessitam melhorar e devem ser elaboradas conjuntamente com os professores e até dos próprios alunos de modo que sejam feitas de acordo com a realidade de todos.

**Palavras-chave:** TIC, laboratórios de informática, escolas públicas, formação de professores.

### **THE USE OF INFORMATION ENVIRONMENTS IN THE MUNICIPAL NETWORK OF ALVORADA / RS**

### **Abstract**

The research refers to the defense of the Master's thesis that had as a General Objective to analyze how the teachers of the municipal network of Alvorada use

pedagogical tools of ICTs in the classroom with students of the 9th year of elementary school. The adopted Methodology was exploratory in a way that presented a greater knowledge of the reported problem making it possible to construct hypotheses. It was also descriptive because it described the characteristics of the population and identified possible relationships between the verified variables, besides explanatory, demonstrating how the AIs are used in municipal schools. The criterion for selection of the sample was for accessibility and the instrument used in the research was an electronic questionnaire, filled out online by teachers and students, with open and closed questions, so that they could elucidate the questions raised in the research. The main results point to a good relationship between teachers and students and a good level of approval, as well as motivation for greater use of ICT for students. And for teachers, greater motivation for the use of ICT and greater reflection on teaching methodologies, ICT and assessments and also a greater teacher / student interaction followed by a greater discussion on the use of ICT. With this, it was possible to highlight aspects such as the need to review teacher training with ICTs and that related public policies still need to be improved and should be developed jointly with teachers and even the students themselves so that they are done according to the reality of all.

**Key words:** ICT, computer labs, public schools, teacher training.

## 1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação intitulada A utilização de Ambientes Informatizados (AIs) na rede municipal de Alvorada, visa pesquisar sobre o uso desses recursos presentes nas escolas públicas do municipais de Alvorada, Rio Grande do Sul, Brasil.

### JUSTIFICATIVAS

As justificativas para que fosse pesquisado sobre a utilização dos Ambientes Informatizados na rede municipal de Alvorada deu-se pela vinculação pessoal, científica e sócio-educativa do mestrando com o município.

### Pessoal

Este estudo vem ao encontro de atividades docentes do mestre que sempre estiveram conectadas às Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), pois desde o início da docência, nos anos 2001, o mestre procurou incentivar o uso pelos alunos de novas ferramentas tecnológicas como o computador, celular e câmera digital.

No ano de 2008 o mestrando iniciou uma tutoria EAD no curso de Matemática oferecido pela REGESD, através da UERGS, vinculado até o ano de 2011. Em 2009 começou um curso de especialização EAD em física para a educação básica finalizado no ano de 2011. Neste período conheceu outras ferramentas para serem utilizadas que eram novidades, despertando ainda mais seu interesse nesta área.

No ano de 2013 coordenou o primeiro curso de formação em b-learning para os professores da rede municipal de Alvorada, intitulado: “Práticas Pedagógicas em Ambientes Informatizados”, levando toda a experiência e conhecimento nesta área para outros colegas. Este curso veio ao encontro de uma constatação que o mestrando pôde verificar nas escolas: os professores não utilizam os laboratórios de informática como poderiam. Desta forma, acabam sendo subutilizados, sem o aproveitamento de seu verdadeiro potencial como ferramenta pedagógica.

Neste curso foi levado aos colegas tudo que foi aprendido nestes 13 anos de docência, mostrando que a tecnologia é uma aliada importante para o desenvolvimento das aulas, utilizando-a com toda sua qualidade e variedade de instrumentos disponíveis para serem aproveitados.

Com isso podemos despertar um maior interesse por parte dos alunos já que eles estarão utilizando as tecnologias presentes diariamente na vida deles. E também tornando as aulas mais prazerosas, já que os alunos, normalmente, apreciam quando veem uma aula diferente da que estão acostumados, além de se integrarem mais ativamente na utilização das TICs e, conseqüentemente, no conteúdo desenvolvido na aula.

Este estudo vem também fortalecer algumas indicações que já apareceram em outros estudos semelhantes, como as relatadas nos parágrafos anteriores, mas principalmente, demonstrar a importância de ser estabelecida uma política de formação continuada relacionada às TICs no município de Alvorada.

### **Científica**

Os resultados desta pesquisa estarão disponíveis no mundo acadêmico contribuindo para os avanços nos estudos de outros pesquisadores para a utilização dos ambientes informatizados em sala de aula e também para a melhora da qualidade do trabalho docente.

### **Sócio educacional**

Atualmente, no mundo em que vivemos, a educação básica passa por uma fase de questionamento por parte dos professores, pesquisadores e comunidade escolar, seja por causa dos conteúdos, dos métodos pedagógicos ou pela responsabilidade de cada um na vida do aluno. Com isso, emergem várias indagações sobre estes assuntos, com diversas pesquisas em cada área e com uma busca contínua de respostas para a educação, que no contexto atual encontra na pesquisa um dos caminhos para o entendimento da realidade que se apresenta quanto ao uso dos ambientes informatizados em sala de aula. Neste sentido esta pesquisa contribuirá para a formação dos profissionais que atuam no ensino fundamental utilizando os ambientes informatizados.

### **Problema**

Como apontam Almeida & Valente (2011), as mudanças necessárias para promover as TICs ao currículo ainda não aconteceram em nenhum sistema educacional e em Alvorada não poderia ser diferente. Assim, muito embora estejam presentes na vida de cada aluno e professor, seja pelo uso de computador, celular, TV, foto, entre tantos outros aparatos tecnológicos que são utilizados todos os dias, na escola ainda se utiliza muito pouco este tipo de recurso de forma pedagógica.

Nesta dissertação de Mestrado em Educação na área de especialização em Tecnologia Educativa, estudaremos como ocorre a utilização dos ambientes informatizados com alunos e professores do ensino fundamental da rede municipal de Alvorada?

### **Objetivo geral**

O Objetivo Geral da pesquisa é o seguinte: analisar como os professores da rede municipal de ensino de Alvorada utilizam ferramentas pedagógicas de TICs em sala de aula com alunos do 9º ano do ensino fundamental.

### **Objetivos específicos**

E o Objetivo geral desdobra-se nos seguintes objetivos específicos:

Identificar se há ambiente informatizado na escola.

Identificar os recursos de TICs disponíveis e há quanto tempo são realizadas as atividades docentes no ambiente informatizado.

Descrever como são administradas as atividades dos ambientes informatizados: coordenação, manutenção, como são adquiridos, apoio diretivo, organização de horários e avaliação.

Descrever a política da equipe diretiva para a utilização dos ambientes informatizados na prática docente.

Analisar os programas utilizados: como e porque são utilizados.

Analisar os conteúdos e como são avaliados.

Identificar se existe trabalho interdisciplinar, transdisciplinar ou multidisciplinar.

Analisar os principais problemas enfrentados pelos professores.

Analisar a percepção dos professores e equipe diretiva sobre o uso das TICs em sala de aula.

Descrever as sugestões apresentadas pelos professores e equipe diretiva para melhor utilização das TICs em sala de aula.

Analisar a percepção dos alunos sobre o trabalho realizado no ambiente informatizado na escola.

Descrever as sugestões apresentadas pelos alunos e equipe diretiva para melhor utilização das TICs em sala de aula.

Identificar os referenciais teóricos utilizados pelos professores no seu trabalho docente no ambiente informatizado.

Analisar o impacto deste trabalho no ambiente escolar.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **Tipo de pesquisa**

A pesquisa foi influenciada e planejada de acordo com as experiências anteriores do mestrando e foi do tipo exploratória, buscando identificar particularidades do município de Alvorada e, segundo Gil (2010, p. 41) “As pesquisas exploratórias têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Seu planejamento tende a ser bastante flexível, pois interessa considerar os mais variados aspectos relativos ao fato ou fenômeno estudado. A coleta de dados pode ocorrer de diversas maneiras, mas geralmente envolve: 1. Levantamento bibliográfico; 2. Entrevistas com pessoas que tiveram experiência prática com o assunto; e 3. Análise de exemplos que estimulem a compreensão (SELLTIZ et AL., 1967, p.63).”

Da mesma forma ela também adota o tipo descritivo, buscando informar como são as políticas públicas municipais e conforme Gil (2010, p. 42) “As pesquisas descritivas têm como objetivo a descrição das características de determinada população. Podem ser elaboradas também com a finalidade de identificar possíveis relações entre variáveis. São em grande número as pesquisas que podem ser classificadas como descritivas e a maioria das que são realizadas com objetivos profissionais provavelmente se enquadra nesta categoria. Entre as pesquisas descritivas, salientam-se aquelas que têm por objetivo estudar as características de um grupo: sua distribuição por idade, sexo, procedência, nível de escolaridade, estudo de saúde física e mental, ...”

E a pesquisa também contempla o tipo explicativa, buscando demonstrar como são utilizados os Ais nas escolas municipais e, segundo Gil (2010, p. 42) “As pesquisas explicativas têm como propósito identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos. Estas pesquisas são as que mais aprofundam o conhecimento da realidade, pois têm como finalidade explicar a razão, o porquê das coisas.”.

### **População**

A população desta pesquisa refere-se aos alunos, professores e equipe diretiva do 9º ano das escolas públicas do município de Alvorada – RS, Brasil.

### **Amostra da pesquisa**

A amostra aceitante e respondente desta pesquisa é constituída de 109 pessoas, distribuídas da seguinte forma: 60 professores da sala de aula de escolas municipais de Alvorada e 49 alunos de 3 turmas do nono ano de 2 escolas municipais.

#### **Instrumentos**

O instrumento adotado na pesquisa foi o questionário com questões abertas e fechadas para a equipe diretiva, professores e alunos.

O questionário foi construído de acordo com a experiência do mestrando em outras pesquisas, assim como seus anos de vivência com o uso das TICs em sala de aula e como professor da rede municipal de Alvorada.

A primeira parte do questionário apresenta o perfil dos respondentes, seguido do processo ensino-aprendizagem relacionado às TICs, do corpo social da escola, passando pelas instalações físicas e finalizando com as metodologias de ensino utilizadas, de modo que possam elucidar as questões levantadas nesta pesquisa.

As respostas das questões abertas do instrumento questionário são apresentadas em categorias. Os resultados finais das questões abertas são apresentados mediante um quadro sinóptico.

### **Justificativa da Amostra**

Esta amostra foi definida por acessibilidade, de acordo com a receptividade e contato inicial telefônico ou pessoal com as direções das escolas para a aplicação dos questionários online diretamente com os professores, no dia da reunião pedagógica e com os alunos nos seus horários de aula.

E também por intencionalidade visando apenas que turmas de nono ano das escolas municipais respondessem a pesquisa, com seus respectivos professores e alunos, ocasionando uma maturidade e agilidade maior, por parte dos alunos, no preenchimento dos questionários.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Análise de dados**

No trabalho original são apresentadas 56 figuras com os devidos comentários. O autor está a disposição para maiores informações aos interessados.

### **Alunos**

**Quais os principais problemas encontrados no decorrer das aulas com o uso de TIC?**





Figura 1 – Principais problemas alunos

A figura 1 mostra as respostas dos alunos que revela ser bem semelhante a dos professores em todas as opções e a mais marcada de todas foi a de que os recursos tecnológicos são insuficientes em que 32 respondentes marcaram esta opção, ou seja, mais de 65% acredita que são necessários muito mais recursos TICs para atender a demanda da escola. Com índices bem menores e próximos entre si, com uma diferença de cerca de 10% entre eles, temos que 17 alunos marcaram que o atendimento dos professores é insuficiente, 13 que a manutenção dos recursos é insuficiente e 12 que o comprometimento dos alunos com a disciplina é insuficiente (com índices de aproximadamente 34%, 26% e 24% respectivamente) e por fim vem o material de apoio didático é insuficiente, com 9 alunos respondentes e a bibliografia é insuficiente por 8 alunos. Tivemos ainda 3 outras respostas em que uma delas era que não havia nenhum problema e a falta de interesse e brincadeira em algumas disciplinas.

## Professores

**Quais os principais problemas encontrados no decorrer das aulas com o uso de TIC?**

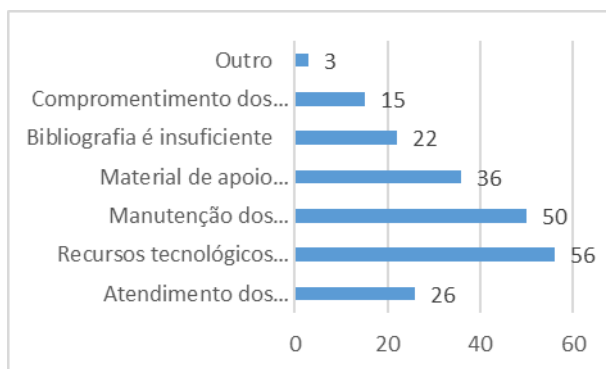


Figura 2 – Principais problemas professores

A figura 2 deixa bem claro que os recursos tecnológicos são insuficientes, com mais de 90% dos professores (56 de um total de 60), para a eficiente utilização dos recursos TICs em sala de aula, além de 80% ainda relatar que a manutenção dos recursos existentes também é ineficiente, demonstrando que sua mantenedora fez

pouco investimento em recursos TICs e não ter sequer dado manutenção aos poucos recursos que existem, ou se ocorreu foi de forma não satisfatória. Temos ainda que 60% dos professores (36 respondentes) acredita que o material de apoio didático não é suficiente para a demanda de alunos em cada escola. E Um pouco abaixo de 40% (22 respondentes) afirmando que a bibliografia é insuficiente. E aqui temos então uma realidade nas escolas da rede municipal de Alvorada que deixa a desejar nestes pontos acima destacados.

Ainda temos que, com um índice um pouco acima de 40% (26 respondentes), o atendimento dos professores é insuficiente, algo preocupante e que não condiz com as resposta das questões anteriores já que era notado um comprometimento dos professores com seus alunos ou podemos então dizer que este atendimento dos professores poderia ser mais efetivo junto aos alunos. Fica aqui uma questão que pode ser melhor analisada em pesquisas posteriores.

Por último, com um índice de 25% temos o comprometimento dos alunos com a disciplina insuficiente, revelando um certo desleixo por parte dos alunos com seus estudos ou até uma estratégia equivocada por parte do professor na condução de sua disciplina.

#### **4 CONCLUSÃO**

Nesta pesquisa sobre a utilização dos ambientes informatizados na rede municipal de Alvorada pudemos verificar que as questões de pesquisa foram de modo geral esclarecidas e a seguir fazemos a análise de cada uma delas.

A primeira questão era identificar se há ambiente informatizado na escola e conforme próprio conhecimento do pesquisador e conversas realizadas com os professores, alunos e equipe diretiva das escolas, existem sim em todas as escolas, mas a pesquisa demonstrou que muitos têm poucos computadores funcionando ou ainda não estão mais nem instalados, e isso devido ao fato de todos os computadores que eram do AI estarem sucateados, terem sido roubados ou modificado o local da sala do AI e não ter sido feito a ligação da rede física de energia e internet. E aqui também podemos dizer que a SE de Alvorada realizou um fornecimento de notebooks para todas as escolas da rede, de modo que fosse possível ter um novo AI ou até na própria sala de aula da turma, mas que em algumas escolas não foram nem tirados das caixas, com a equipe diretiva aguardando que seja colocado uma internet que funcione para disponibilizar estes equipamentos para todos e em outras escolas já foram roubados. E aqui fica bem claro também que, tanto na visão dos professores como dos alunos estes recursos são insuficientes para a demanda existente.

Como segunda questão temos que identificar os recursos TICs disponíveis e há quanto tempo são realizadas as atividades docentes no ambiente informatizado. Os recursos disponíveis são TV/DVD dominando e em seguida o computador e bem mais atrás aparece o celular, muito embora isso seja uma incongruência pois existe uma lei municipal que proíbe o uso do celular em sala de aula e nas próprias regras das escolas sempre aparece a proibição do uso do celular em sala de aula, assim como nas reuniões pedagógicas dos professores seguidamente aparece como um problema o uso do celular pelos alunos. Estes três recursos TICs se assemelham tanto para professor como para aluno. Ainda na visão do professor aparecem outras

opções como tablet, lousa digital, jogos e até livros (que pela pergunta devem ser digitais). Já para os alunos não aparece nenhuma outra opção.

Em seguida aparecia: descrever como são administradas as atividades dos ambientes informatizados. Esta questão foi respondida tanto no questionário aplicado pelo pesquisador como nas conversas informais com os professores e alunos na aplicação do mesmo. A coordenação é realizada pela direção que marca os horários para que os professores possam utilizar o AI e distribui de modo que possam ser utilizados pelo maior número possível de alunos. Para adquirir os recursos TICs, praticamente é a SE que toma conta desta parte, assim como a manutenção destes equipamentos, com algumas escolas maiores eventualmente efetuando a compra e manutenção. A avaliação das atividades depende muito do professor, sendo mais comum ser realizada com os professores dos anos finais do que com os anos iniciais, com os alunos corroborando esta informação, já que a grande maioria afirmou que existia esta avaliação. O apoio diretivo para a realização e utilização de atividades com TICs depende muito da escola, sendo mais comum nas escolas que possuem anos finais.

Em seguida temos duas questões que vamos explicar conjuntamente por estarem relacionadas. Elas eram: analisar os programas utilizados: como e por que são utilizados e analisar os conteúdos e como são avaliados. Aqui temos uma diferenciação entre os professores e alunos. Para os professores são utilizados de forma bem distribuída todas as opções que existiam, análise de documentos audiovisuais, análise de textos, elaboração de atividades pelos alunos, exercícios, outro e trabalhos escritos, com o mais utilizado com mais de 50% dos professores escolhendo a elaboração de atividades pelos alunos e a menos escolhida os trabalhos escritos com cerca de 28%. Já para os alunos foi bem diferente com mais de 60% dizendo que os trabalhos escritos são os mais utilizados e a elaboração de atividades pelos alunos com menos de 25%. Sobre as avaliações e conteúdos temos para os professores um domínio da avaliação contínua e mais abaixo os trabalhos individuais e em grupo e logo em seguida prova escrita e teste. Nos alunos aparece um domínio da prova escrita e mais abaixo os trabalhos individuais e de grupo e após os testes.

Temos outra ainda que era analisar os principais problemas enfrentados pelos professores. E ficou muito claro que a internet é o principal, algo que apareceu em várias questões que não tratavam deste assunto, mas que tanto professores como alunos queriam destacar esta dificuldade. Aparecem ainda dominando que os recursos tecnológicos são insuficientes (e aqui entra a internet precária) para professores e alunos, manutenção dos recursos insuficiente (também com a internet não tendo manutenção) e material de apoio didático insuficiente, para os professores. Já para os alunos o atendimento dos professores é insuficiente e logo em seguida, quase juntas a manutenção dos recursos insuficiente e o comprometimento dos alunos com a disciplina insuficiente.

A próxima questão era analisar a percepção dos professores e equipe diretiva sobre o uso das TICs em sala de aula. E aqui temos algumas perguntas do questionário online que deixam claro que os recursos TICs são valiosos instrumentos pedagógicos para as aulas e que existe um certo comprometimento dos professores quando são utilizados estes recursos, já que a maioria dos professores respondeu positivamente sobre a compatibilização entre as TICs e sua disciplina, adequação entre recursos TICs e a natureza da disciplina uma grande interação entre

professores e alunos nas aulas com TICs. Todas estas questões demonstraram que as TICs são necessárias nas aulas e conectadas com a realidade dos alunos.

E tínhamos que descrever as sugestões apresentadas pelos professores e equipe diretiva para melhor utilização das TICs em sala de aula. A opção que dominou amplamente foi ter mais recursos tecnológicos a disposição dos alunos, com mais de 93% dos professores marcando-a. Logo em seguida temos que deve se melhorar a manutenção dos recursos, com 88% de marcação e mais abaixo deve-se disponibilizar mais apoio didático aos alunos (65%). Bem mais abaixo e com índices bem próximos aparecem a disponibilização de mais bibliografia, maior comprometimento dos alunos com a disciplina e maior interação professor/aluno.

Em seguida temos mais duas que também serão analisadas conjuntamente, que são: analisar a percepção dos alunos sobre o trabalho realizado no ambiente informatizado na escola e descrever as sugestões apresentadas pelos alunos e equipe diretiva para melhor utilização das TICs em sala de aula. Para os alunos as TICs aparecem diariamente em suas vidas, desde quando acordam e já estão com seus celulares em mãos, na própria sala de aula, com o uso da calculadora, rádios, e redes sociais, assim como no resto do seu dia, na TV, cinema, e nos seus computadores, então utilizar estes recursos em sala de aula é o que mais desejam, o que ficou demonstrado nas respostas do questionário. Para as sugestões, assim como nos professores a mais destacada foi que se tenham mais recursos tecnológicos a disposição dos alunos (57%) e em seguida, bem próximas uma maior interação professor/aluno e um maior comprometimento dos alunos com a disciplina. Mais abaixo vem a melhora na manutenção dos recursos e no final, próximos de 15% vem a disponibilidade de mais apoio didático aos alunos e mais bibliografia.

E terminamos concluindo que os professores ainda carecem de formação para a utilização das TICs e em vista disso não utilizam um sistema de avaliação com recurso TIC. Os que utilizam-na visam sempre a interação com os alunos, e isso na visão dos professores como dos alunos, assim como ambos acreditam existir uma adequada relação entre professores e alunos nas atividades com uso de TIC e também ressaltam que as instalações físicas das escolas e os recursos TICs são insuficientes para atender a demanda da escola, com ênfase principalmente nas dificuldades encontradas com internet disponibilizada que é nula ou não funciona de maneira adequada por quase todo o período escolar. Os recursos TICs mais utilizados são a TV/DVD e os computadores.

As políticas públicas relacionadas às TICs ainda inexistem e devem ser elaboradas conjuntamente com os professores e até dos próprios alunos de modo que sejam feitas de acordo com a realidade de todos, visto que podemos ver que existem algumas semelhanças entre as opiniões e visões de professores e alunos, mas ainda temos algumas peculiaridades típicas de cada um.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, M. E. & Valente, J. A. (2011). *Tecnologias e currículo: trajetórias convergentes ou divergentes*. São Paulo, SP. Editora Paulus.
- Almeida, M. E. & Silva, B.D. & Dias, P. (2013). *Cenários de inovação para a educação* -. São Paulo, SP. Editora Loyola.
- Falavigna, G. (2013). *O Ensino a distância em universidades ibero-americanas: características básicas do processo ensino-aprendizagem e a utilização de*

*tecnologias de informação e comunicação (TIC)*. Dissertação de Pós-Doutorado em Educação, Curso de Pós-Graduação em Educação. Universidade do Minho, Braga, Portugal.

Silva, B. (2001). *As tecnologias de informação e comunicação nas reformas educativas em Portugal*. Revista Portuguesa de Educação”. Pp.111-153

Silva, B. (2011). *Plano Tecnológico da Educação em Portugal: Análise dos Relatórios dos Planos TIC In Ana Paula Vilela (coord.). A Par dos Tempos que Correm. As TIC e o Centenário da República*. Braga: Centro de Formação. Braga-Sul, pp.29-45

Valente, J. A. & Almeida, F. J. (1997). *Visão analítica da informática na educação no Brasil: a questão da formação do professor*. Revista Brasileira de Informática na Educação. RS: Sociedade Brasileira de Computação, 1, 45-60.