

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MINAS

Dissertação de Mestrado

**GERENCIAMENTO DOS
RESÍDUOS NO PROCESSO DE FUNDIÇÃO:
UMA ANÁLISE CRÍTICA**

Autor: Adilson Raimundo de Souza
Orientador: Prof. Dr. Edwin Auza Villegas

Junho/04
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas

Adilson Raimundo de Souza

GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS NO PROCESSO DE FUNDIÇÃO: UMA
ANÁLISE CRÍTICA

Dissertação de Mestrado apresentada no Curso de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais

Área de Concentração: Tecnologia Mineral
Orientador: Prof. Dr. Edwin Auza Villegas

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2004

AGRADECIMENTOS

O autor agradece a todos aqueles que colaboraram para a realização desse trabalho, de forma direta ou indireta. Em especial, à Mestre Tânia Souza, pelas observações e contribuições, às minhas filhas e ao meu filho pela compreensão na ausência e ao Doutor Edwin Auza, pela crença e pelo apoio constante.

SUMÁRIO

Capítulo 1: Introdução	01
Capítulo 2: Objetivos.....	04
Capítulo 3: Revisão Bibliográfica.....	05
3.1 A Indústria de Fundição Brasileira.....	05
3.1.1 Dados Gerais da Industria de Fundição.....	05
3.1.2 O Processo de Fundição.....	12
3.1.3 A Indústria de Fundição e as Leis Ambientais.....	17
3.2 Rejeitos da Industria de Fundição e Classificação	21
3.2.1 Rejeitos e Formas de Controle.....	21
3.2.2 Fornos de Fundição: cargas de entrada e de saída.....	26
3.2.3 Classificação dos Resíduos.....	38
3.3 Monitoramento de Resíduos da Indústria de Fundição.....	39
3.3.1 Conceito de Redução de Resíduos Industriais.....	41
3.3.2 Programa e Técnicas de Redução de Resíduos.....	41
3.4 Resíduo de Fundição em empresas instaladas em outros países.....	47
3.4.1 Indústria de Fundição Americana.....	48
3.4.2 Indústria de Fundição Européia.....	59
3.5 Resíduos de Fundição no Brasil.....	75
3.5.1 Exemplos de Tratamento nas Empresas Brasileiras.....	76
Capítulo 4: Metodologia.....	80
Capítulo 5: Resultados e Discussão.....	81
5.1 Resultados dos Questionários Aplicados.....	81
5.1.1 Respostas das pequenas e médias empresas.....	81
5.1.2 Respostas das grandes empresas.....	89
Capítulo 6:	95
Conclusões.....	
Referências Bibliográficas.....	97

Anexo A.....	100
--------------	-----

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: As empresas de fundições mineiras em termos de grau de escolaridade dos funcionários (%) Fonte: IEL/MG-GETEC – Gerência de Estudos e Projetos Tecnológicos.....	7
Figura 3.2: Fontes de informação e conhecimento (indicador*) das empresas de fundições mineiras. Fonte: IEL/MG-GETEC – Gerência de Estudos e Projetos Tecnológicos	10
Figura 3.3: Dificuldades enfrentadas para se desenvolver tecnologicamente nas empresas de fundições mineiras. Fonte: IEL/MG-GETEC – Gerência de Estudos e Projetos Tecnológicos	11
Figura 3.4: Potencial de poluição de uma típica fundição de ferro. Fonte: US/EPA.....	14
Figura 3.5: Esquema do processo de obtenção de peça fundida utilizando molde em areia. Fonte: (SENAI, 1987)	16
Figura 3.6 :Tecnologia de redução de resíduos. Fonte: WMOAM, 1998.....	43
Figura 3.7: Ciclo de vida do produto (aberto). Fonte: Rundam, Karl. Reference Book for MY4130.....	45
Figura 3.8: Ciclo de vida do produto (fechado). Fonte: Rundam, Karl. Reference Book for MY4130.....	46

Figura 3.9: Energia processada na indústria de fundição americana (% de custos totais). Fonte: A vision for the U.S. Metal Casting Industry – 2002.....	50
Figura 3.10: Custo percentual médio ambiental da indústria de fundição americana. Fonte: A vision for the U.S. Metal Casting Industry – 2002	50
Figura 3.11: Fluxo de materiais em uma típica fundição no ano de 1950. Fonte: Rundam, Karl. Reference Book for MY4130.....	51
Figura 3.12: Fluxo de materiais em uma fundição do ano 2000. Fonte: Rundam, Karl. Reference Book for MY4130.....	53
Figura 3.13: Operação de fundição e disposição da areia. Fonte: Rundam, Karl. Reference Book for MY4130.....	56
Figura 3.14: Diagrama de balanço de areia de um sistema de regeneração térmico/mecânico. Fonte: 70, ETSU,1998.....	63
Figura 5.15: Tipos de areia utilizadas na moldagem.....	82
Figura 5.16:Tipos de areia utilizadas na macharia.	82
Figura 5.17:Tipos de fornos utilizados.	83
Figura 5.18: Percentual de empresas que possuem fluxograma dos processos utilizados na produção.....	83
Figura 5.19: Percentual de empresas que caracterizam os resíduos gerados.	84
Figura 5.20: Percentual de empresas que possuem tratamento específico para os resíduos gerados.....	84
Figura 5.21: Percentual de empresas que possuem processo de recuperação de Areia..	85

Figura 5.22: Percentual de empresas com relação ao descarte de areia em aterros.....	85
Figura 5.23: Situação das empresas de fundição com relação a ISO 14000.....	86
Figura 5.24: Escolaridade dos funcionários das grandes empresas de fundição.....	90
Figura 5.25: Fluxograma dos processos nas PME e grandes empresas de fundição.....	91
Figura 5.26: Caracterização de resíduos gerados nas PME e grandes empresas de fundição.....	92
Figura 5.27: Tratamento específico para os resíduos gerados nas PME e grandes empresas de fundição.....	92
Figura 5.28: Processo de recuperação de areia nas PME e grandes empresas de fundição.....	93
Figura 5.29: Areia regenerada X areia adquirida nas PME e grandes empresas de fundição.....	93
Figura 5.30: Custo para disposição do descarte de areia nas empresas de fundição.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela III.1: Evolução da produção de fundidos no Brasil (1000 t/ano) 1978/2002. Fonte:ABIFA/2002	5
Tabela III.2: Evolução da produtividade no setor de fundição (t/homem/ano) 1990-2001. Fonte: ABIFA/2002	6
Tabela III.3: Evolução das exportações de fundidos (em 1000 t) 1990-2001. Fonte:ABIFA/2002	8
Tabela III.4: Principais fontes de poluição em fundições de metais. Fonte: Gerência de ações corretivas da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.....	22
Tabela III.5: Resultados de análises de areias usadas de fundição de várias fontes. Fonte: Orkas, 2001.....	23
Tabela III.6: Hidrocarboneto Aromático Policíclico e fenóis contidos na areia usada de fundição. Fonte:Orkas, 2001.	24
Tabela III.7: Impactos ambientais causados pelos sistemas aglomerantes. Fonte: Teknologisk, 2001; Agência ambiental do Reino Unido, 2002 e Lilja, et al., 2000.....	25

Tabela III.8: Carga de entrada e de saída do forno cubilô. Fonte: Integrad Pollution Prevention and Control, 2004.....	26
Tabela III.9: Níveis de emissão de pós de variados tipos de cubilô. Fonte: Integrad Pollution Prevention and Control, 2004.....	27
Tabela III.10: Carga de entrada e de saída do forno a arco elétrico. Fonte: Integrad Pollution Prevention and Control, 2004.....	27
Tabela III.11: Composição química dos pós do forno a arco elétrico em fundição de aço. Fonte: CAEF, 1997.....	28
Tabela III.12: Composição química de escória do forno elétrico a arco (EAF). Fonte: The Casting Development Centre, 1999.....	28
Tabela III.13: Carga de entrada e saída do forno a indução. Fonte: Integrad Pollution Prevention and Control, 2004.....	29
Tabela III.14: Composição típica da escória do forno a indução. Fonte: Newmann, 94.....	29
Tabela III.15: Carga de entrada e saída do forno rotativo. Fonte: Integrad Pollution Prevention and Control, 2004.....	29
Tabela III.16: Composição química dos pós do forno rotativo em fusão de ferrosos. Fonte: Carnicer Alfonso, 2001.....	30
Tabela III.17: Escolhas técnicas de equipamentos de fusão para ferro fundido. Fonte: TWG, 2002.....	33
Tabela III.18: Preço do ferro fundido: Carga metálica + energia. Fonte: Integrad Pollution Prevention and Control, 2004.....	34

Tabela III.19: Comparação dos custos de ferro fundido líquido – Jun/2003. Produção em massa – 10 t/h. Fonte: Integrad Pollution Prevention and Control, 2004.....	35
Tabela III.20: Preço de ferro fundido nodular: Carga metálica + energia. Fonte: Integrad Pollution Prevention and Control, 2004.....	36
Tabela III.21: Dados de custo de uma empresa para substituição de um cubilô existente por um rotativo ou forno de indução; dados da Espanha, 1997 – 1998. Fonte: TWG, 2002.	37
Tabela III.22: Alternativas de redução de resíduos de um processo de fundição. Fonte: Revista fundição e serviços, julho/2002.....	44
Tabela III.23: Hierarquia de gerenciamento ambiental. Fonte: Environmental Pollution Prevention Project – Training Manual, 1995.....	47
Tabela III.24: Importantes Leis Ambientais que Influenciam a Indústria de Fundição Americana. Fonte: Environmental Compliance in the Foundry Industry, Energetics, Inc., June 1995.....	54
Tabela III.25: Importantes Barreiras de Tecnologia Ambiental. Fonte: Environmental Compliance in the Foundry Industry, Energetics, Inc., June 1995.....	55
Tabela III.26: Campo de aplicação de diferentes sistemas de regeneração de areia simples. Fonte: IHOBE, 1998.....	61
Tabela III.27: Campo de aplicação de diferentes sistemas de regeneração para areias misturadas. Fonte: IHOBE, 1998.....	62
Tabela III.28: Custo benefício de recuperação de areia. Dados do Reino Unido, 1995.....	64
Tabela III.29: Tratamento necessário e possível limitação para reutilização externa de resíduos sólidos. Fonte: The Casting Development Centre, 1999.....	71

Tabela III.30: Reutilização externa aplicada para vários resíduos sólidos de fundição. Fonte: The Castings Development Centre, 1999.....	72
Tabela III.31: Custos operacionais de forno cubilô de vento frio com e sem queima de oxigênio. Fonte: Godinot and Ressant, 2002.....	74
Tabela III.32: Alguns exemplos de reciclagem interna e externa de resíduos sólidos de fundição. Fonte: Moraes, 2002.....	78
Tabela V.33: Questionários enviados às indústrias de fundição e retornos.....	81
Tabela V.34 Técnicas/processos verificados nas indústrias de fundição nacionais (%)....	90
Tabela V.35 Tipos de areia utilizados na moldagem e macharia	91

Resumo

A indústria de fundição no Brasil tem uma importante participação no processo de desenvolvimento do país. É um segmento da economia com significativo potencial quanto à massa trabalhadora e o faturamento auferido.

Assim como as demais indústrias, a fundição transforma matérias primas em bens diversos e úteis à sociedade, processo que, muitas vezes, pode vir a causar danos irreversíveis aos ecossistemas. A indústria de fundição brasileira é uma grande geradora de resíduos, principalmente no que concerne a areia, tornando-se este um grande problema para o Brasil.

Diante dessa situação, este trabalho procurou realizar um levantamento do “estado da arte” no que se refere ao gerenciamento ambiental nas indústrias brasileiras de fundição. Assim foram considerados os resíduos gerados bem como as vias de reutilização, visando apresentar alternativas de minimização de sua descarga em aterros sanitários e degradação do meio ambiente.

[E1] Comentário: não é necessário colocar referências no resumo

Procurou-se ainda, descrever a situação das empresas instaladas em outros países quanto à utilização final dos rejeitos oriundos do processo de fundição, a fim de oferecer caminhos possíveis para as fundições brasileiras.

Os resultados encontrados na aplicação do questionário nas indústrias de fundições nacionais nos revelam que o investimento nas questões ambientais é mínimo. Quando este investimento existe, normalmente é motivado pela necessidade de adequação via fiscalização. Ao mesmo tempo, as indústrias se dizem preocupadas com a situação ambiental, justificando a não implementação de medidas em face às dificuldades financeiras.

Abstract

The foundry industry in Brazil plays an important role in the developing process of the country. It constitutes a part of the country's economy with significant turnover and working mass potential.

Foundries, like any other industries, transform raw materials into commercial goods required by society. Often, during these processes, considerable severe damages can be imposed upon the natural ecosystems.

The Brazilian foundry industry has, to now, become a great solid waste generator mainly sand products whose management has turned out to be a problem of great concern to the country.

Hence the purpose of the present work aimed at collecting data regarding the "State of the Art" as far as the environmental management in the Brazilian foundry industry is

concerned. Thus, waste generation and reutilization avenues were studied in order to find out real backfill discharge possibilities looking to minimize environmental degradation.

Well-know abroad foundries were also studied during this work in order to determine whether transfer of environmental management technologies maw be a feasible task.

The results of data collection applied to Brazilian foundries reveal very small investments in environmental issues and these exist mainly due to law adjusting needs. At the same time, foundry industries, although sensible to this matter, tend to justify lack of action due to financial difficulties.

Capítulo 1: Introdução

Com a conscientização crescente em todo o mundo em relação à preservação do meio ambiente, as empresas estão descobrindo que, além da necessidade de atendimento expresso à legislação, os benefícios alcançados pelas organizações superam os custos envolvidos a médio ou longo prazo.

Entre os benefícios podemos citar a redução das multas aplicadas pelos órgãos ambientais, a satisfação da comunidade e conseqüente melhoria de imagem da empresa com o ganho verificado na qualidade de vida dos funcionários e circunvizinhos (Andrade, Gilberto Martins et al, 1998).

São os habitantes de uma cidade, partes vivas desse subsistema planetário, os maiores interessados na manutenção da qualidade de vida em seu município (Figueira, Maria Eugênia Minelli et al, 1998).

[E2] Comentário: Não encontrei esta referência na lista

O artigo 225 da atual Constituição Federal estabelece que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, isto é, viver num ambiente sadio que proporcione qualidade de vida digna. Para garantir a integridade desse direito, necessário se faz tutelar os recursos ambientais, tais como o ar, a água, o solo, o subsolo, etc (Almeida Geraldes, 2002).

No Brasil, o problema da degradação do meio ambiente, da quantidade e da qualidade dos resíduos gerados é afetado pela falta de conscientização da gravidade do problema, acrescido do fenômeno da globalização, que trata problemas de cunho locais como se fossem mundiais na tentativa de aplicar a países em desenvolvimento, códigos que pretensamente regeriam indústrias de nível mundial. O grande problema da uniformização dessas regulamentações é a disparidade que existe entre os países desenvolvidos e aqueles em desenvolvimento. Torna-se complexa a aplicação das mesmas leis em seu contexto original nos países como um todo, sem que existam considerações específicas, quanto às capacidades de implementação destes, inclusive no aspecto financeiro.

As normas que estabelecem os padrões de emissão de poluentes no Brasil tendem a se tornar tão rígidas quanto às européias ou norte americanas (Souza, Hellen, abril1998), trazendo para a indústria, além da questão social, a questão da legislação a ser cumprida. Entretanto, ao mesmo tempo em que isso se apresenta como uma ameaça, dada a dificuldade da implantação por parte das empresas nacionais, um outro lado deve ser levado em conta. É o aspecto da oportunidade de sair na frente de concorrentes diversos, tais como os vizinhos do Mercosul e/ou os países da Europa, Ásia e da América do Norte.

[E3] Comentário: ?? As normas que estabelecem

Mesmo com a necessidade de investimento, o que pode ser considerado um fator de difícil solução existem como facilitadores, a boa capacidade técnica das empresas brasileiras, as escolas de formação profissional para suprir a possível carência da mão-de-obra (como exemplo, o SENAI/CETEF-MG, considerado a melhor escola de fundição da América Latina), as fontes de investimento financeiras disponíveis para a situação em questão (BNDES/Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, FINEP/Financiadora de Estudos e Projetos, etc) e a riqueza e generosidade do solo brasileiro.

[E4] Comentário: Acho que não existe esta palavra –favor conferir

A gravidade da situação nas indústrias brasileiras com relação às questões ambientais, não se restringe à quantidade do resíduo gerado pelas mesmas, mas também à composição deste descarte.

[E5] Comentário: à composição ?

A indústria de fundição brasileira não difere deste quadro, sendo também uma geradora de resíduos quando instada a contribuir com o progresso citado acima. Diversas pesquisas têm sido realizadas, fornecendo dados técnicos como classificação e quantificação dos rejeitos, dados de produção e custos de descarte dos resíduos, trazendo informações de grande valia para o setor de fundição.

Na indústria de fundição, o Brasil produz anualmente cerca de 2 milhões de toneladas de areia descartada no processo (Esneder Júnior, 2001). A areia de fundição, depois de utilizada no processo de fundição fica contaminada por metais pesados, principalmente o cobre e o chumbo, e por fenóis originados das resinas empregadas na sua agregação. Além da areia, muitos outros resíduos são gerados, e muitos deles, ainda colocados em

aterros sanitários, adiando a solução do problema. No Brasil, quase todo o excedente da areia é disposto em aterros sanitários (Mariotto, 2001).

Sabendo que a maioria das empresas de Fundição no Brasil utiliza areia em seus processos de produção (SIFUMG, 2003), é de extrema preocupação a situação ambiental no que se refere à degradação da natureza na extração da areia nova, bem como, da deposição dessa areia, haja vista, o descarte em aterros de uma tonelada de areia residual para cada tonelada de areia nova extraída.

Diante desse quadro, sabemos que trabalhos têm sido realizados para encontrar alternativas de regeneração e reciclagem desses resíduos, visando diminuir o impacto no meio ambiente. No entanto, poucas são as pesquisas encontradas que de forma compilada, apresentam como as fundições têm gerenciado seus resíduos e também como essa questão é tratada pelas fundições internacionais, dificultando o planejamento de ações conjuntas, que poderiam ser interessantes para o setor. Os estudos feitos não apresentam dados sistematizados sobre a situação das empresas de fundição. Ao mesmo tempo, torna-se necessário o conhecimento dessas informações para que as empresas comparem e, se necessário, revejam a forma de atuar e de tratar os resíduos gerados em seus processos.

Essa pesquisa vem ao encontro dessa necessidade como instrumento de auxílio ao setor de fundição.

Capítulo 2: Objetivos

O objetivo deste trabalho é o “Levantamento do estado da Arte” no que se refere a Gerenciamento Ambiental da indústria de fundição Brasileira. Especificamente, o presente estudo envolve o gerenciamento dos resíduos nas empresas de fundição Brasileiras e nas empresas de fundição estrangeiras, estabelece uma comparação entre esses processos de gerenciamento e apresenta alternativas de minimização de resíduos nas indústrias de fundição do Brasil.

Capítulo 3: Revisão Bibliográfica

3.1 A Indústria de Fundição Brasileira

3.1.1 Dados Gerais da Indústria de Fundição

Tem-se no mundo em torno de vinte e oito mil fundições instaladas, sendo que a metade delas está na China e na Índia e são responsáveis por um quarto da produção mundial de fundidos. Verifica-se que é uma indústria em que se observa uma redução de atividades nos países desenvolvidos e um aumento nos emergentes, muito em função das restrições ambientais e da disponibilidade da mão de obra interessada na atividade e ainda, pela abundância de matéria prima nesses países (Fonseca e Souza, 2002).

A indústria de fundição brasileira ocupa uma posição de destaque na produção da indústria nacional com aproximadamente 1100 empresas instaladas, empregando cerca de 43.000 trabalhadores e com faturamento de 2,3 bilhões de dólares por ano (ABIFA, 2001 e IBGE, 2002).

A produção nacional de fundidos em 2000 foi de 1,8 milhões de toneladas, conforme podemos observar na Tabela III.1, o que posicionou o Brasil como nono produtor mundial, tendo como maior produtor no setor, os Estados Unidos (Modern Casting, 2001). De maneira geral, a produção nacional tem apresentado períodos de instabilidade.

Tabela III.1: Evolução da produção de fundidos no Brasil (1000 t/ano) - 1978-2002

Ano	Produção	Ano	Produção	Ano	Produção	Ano	Produção	Ano	Produção
1978	1.508	1983	1.080	1988	1.728	1993	1.485	1998	1.572
1979	1.641	1984	1.436	1989	1.674	1994	1.784	1999	1.574
1980	1.789	1985	1.585	1990	1.453	1995	1.610	2000	1.811
1981	1.404	1986	1.834	1991	1.365	1996	1.575	2001	1.761
1982	1.249	1987	1.612	1992	1.183	1997	1.658	2002*	1.850*

Fonte: ABIFA (2002)

*Valor estimado

Estima-se, segundo a ABIFA, uma evolução produtiva no final de 2002, em consequência do favorecimento do regime cambial e do bom desempenho do mercado de tratores. Dados da ABIFA indicam que entre 90 a 95% das fundições brasileiras são de pequeno e médio porte, sendo o método predominante o de fundição em areia, com forno elétrico ou cubilô. Com isso conclui-se que deverá haver um aumento no consumo de matérias primas como, por exemplo, a areia e coque, além do consumo de energia elétrica para atender a demanda prevista de produção.

[E6] Comentário: Acho que isto está sobrando

A produção da indústria de fundição brasileira destina-se em 50% para a indústria automobilística, tendo com isso uma boa perspectiva, e ainda, tendo que fazer investimentos para atender a demanda interna por fundidos (De Deus, 2001). Com a possibilidade de expansão do mercado interno através da instalação de montadoras de automóveis no Brasil, oriundas da Europa, Ásia e Estados Unidos, o país poderá ter uma franca expansão no setor. Para isso deverá ocorrer a ampliação nessa área num período médio de tempo.

[E7] Comentário: a produçãoperspectiva de produção ??

Na Tabela III.2, podemos verificar o resultado de investimentos realizados no setor de fundição em processos de mecanização/automação e treinamento de mão-de-obra. É possível visualizar uma evolução gradativa do índice de produtividade. Os ganhos de produtividade foram obtidos devido aos investimentos em automação. Atualmente, estima-se que as empresas nacionais estejam trabalhando com 75% da capacidade instalada (SIFUMG, 2003).

Tabela III.2: Evolução da produtividade no setor de fundição (t/homem/ano) -90-01

Ano	Produtividade	Ano	Produtividade
1990	20,3	1996	35,3
1991	23,4	1997	37,5
1992	22,6	1998	37,2
1993	28,5	1999	41,2
1994	33,1	2000	44,6
1995	30,7	2001	41,0

Fonte: ABIFA (2002)

Apesar dos ganhos em consequência dos investimentos em automação, é importante frisar que quanto maior a capacitação dos trabalhadores, maiores serão as possibilidades do aumento da produtividade.

Esta situação aparentemente lógica deve ser analisada e registrada dada a formação dos trabalhadores da indústria de fundição no Estado de Minas Gerais. Com um percentual significativo de 31,4% da produção de fundidos da indústria nacional em 2002 e segundo colocado na produção nacional em 2003, segundo dados da ABIFA, Minas Gerais pode ser analisado como uma amostra representativa da situação no País em termos de formação acadêmica. Na Figura 3.1 podemos verificar o grau de escolaridade dos trabalhadores da indústria de Minas Gerais, onde se observa um baixo nível de formação (EM: Ensino Médio; EF: Ensino Fundamental).

Na maioria das empresas (pequeno e médio porte) existe a predominância do capital nacional. A característica principal é o uso intensivo de mão-de-obra e matérias primas cem por cento nacionais, o que lhes confere uma independência do mercado externo (De Deus, 2001). Este reconhecimento de uso da mão-de-obra e matéria prima nacional se torna relevante no que diz respeito a balança comercial do País.

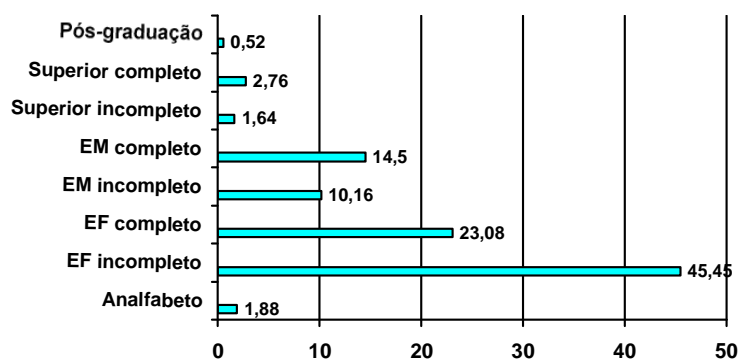


Figura 3.1: As empresas de fundições mineiras em termos de grau de escolaridade dos funcionários (%). Fonte: IEL/MG-GETEC – Gerência de Estudos e Projetos Tecnológicos

A vantagem do setor em depender pouco de insumos internacionais, associada a desvalorização cambial, tem viabilizado e potencializado a exportação. Na Tabela III.3 podemos ver que em 1990 o setor exportou um montante de 149 mil toneladas e em 1999 as exportações atingiram 249 mil toneladas. Apesar da queda no ano de 2001, ocasionada em grande parte pela crise energética, as exportações tendem a ser ampliadas nos anos seguintes, superando os valores obtidos em 2000 (SIFUMG, 2003).

Tabela III.3: Evolução das exportações de fundidos (em 1000 t) 1990-2001

Ano	Exportação	Ano	Exportação
1990	149	1996	220
1991	146	1997	234
1992	134	1998	255
1993	156	1999	249
1994	181	2000	274
1995	203	2001	238

Fonte: ABIFA - 2002

Esta evolução da produtividade e da exportação de fundidos é um fator a ser considerado como de grande importância para o setor de fundição. Este desempenho favorável tende a permanecer em crescimento constante dada a estreita relação do setor com o desenvolvimento de maneira geral, onde as diversas indústrias e montadoras de automóveis utilizam cada vez mais os produtos da indústria de fundição. No entanto, dada a crescente exigência no tocante às questões legais pela indústria internacional, as empresas de fundição do Brasil correrão sérios riscos caso não se adaptem às necessidades e imposições trabalhistas e ambientais nacionais e internacionais de mercado.

Ao mesmo tempo, a ameaça imposta pelo mercado globalizado e a exigência do mesmo, pode vir a se tornar uma oportunidade de destaque e afirmação da qualidade dos fundidos nacionais. Cientes da rigorosa legislação no Brasil, as empresas que conseguirem regularizar e atender os requisitos dessas normas, não terão problemas em atender aos quesitos legais internacionais que venham se apresentar no momento das

negociações, fazendo com que a indústria nacional seja reconhecida como aquela que responde às condições de trabalho favoráveis aos operários e que vai ao encontro da concepção de desenvolvimento sustentável e equilibrado.

É importante que as indústrias de fundição nacional, os sindicatos e outras instituições que as representam, estabeleçam estratégias de capacitação e reciclagem aos trabalhadores da área. A proposta colocada se evidencia pelo baixo nível de formação verificado na Figura 3.1 e as necessidades de atuação ambientalmente sustentável das empresas, com vistas à sobrevivência das mesmas no mercado nacional e internacional. Estes treinamentos que sistematicamente venham ocorrer, sejam na área ambiental, tecnológica ou outra pertinente, terá o alcance dos resultados previstos, quanto maior for a capacidade cognitiva dos participantes, impactando também, de forma direta, a eficiência e eficácia dos produtos e serviços gerados nas indústrias de fundição.

A Figura 3.2 apresenta as fontes de informação para realizar estratégias de desenvolvimento tecnológico nas indústrias de fundição de Minas Gerais. Segundo o Sindicato das Indústrias de Fundição de Minas Gerais (SIFUMG), em diagnóstico publicado em 2003, os resultados deste Gráfico são semelhantes ao verificado para as indústrias nacionais em trabalho desenvolvido pela FINEP (2002), o que demonstra a coerência do empresariado mineiro em âmbito nacional.

Conforme o Diagnóstico das Indústrias de Fundição no Estado de Minas Gerais, publicado em 2003, este gráfico evidencia os desafios do desenvolvimento das empresas, levando-se em conta, principalmente, a importância dada às fontes de informação da própria empresa em contraste com a baixa qualificação profissional de seus colaboradores, conforme visto na Figura 3.1.

As dificuldades citadas pelas indústrias de Minas Gerais para implementação das estratégias de desenvolvimento tecnológico, são semelhantes às enfrentadas pela indústria nos diversos setores nacionais (Diagnóstico SIFUMG, 2003 e FINEP et al, 2002). Na Figura 3.3 podemos analisar as dificuldades apresentadas pelas empresas e inferir, conforme registrado no Gráfico, que a baixa qualificação profissional dos trabalhadores está diretamente ligada às dificuldades citadas. A falta de pessoal qualificado, colocada

como terceiro item que mais impede o desenvolvimento, interfere intrinsecamente na questão de mudança de cultura da empresa, um dos obstáculos citados na pesquisa.

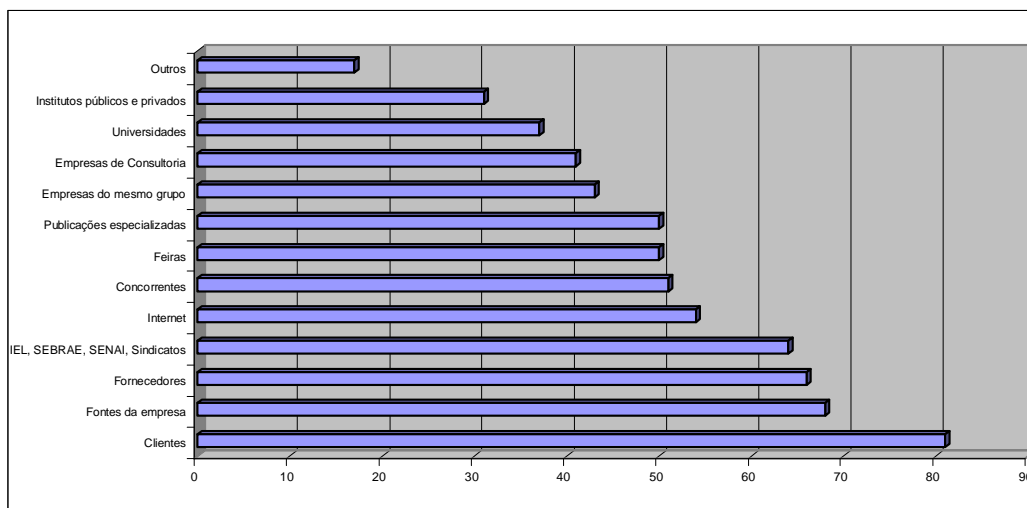


Figura 3.2: Fontes de informação e conhecimento (indicador*) das empresas de fundições mineiras. Fonte: Diagnóstico das Indústrias de Fundição no Estado de Minas Gerais, 2003.

A defasagem tecnológica também é um fator de estreita e forte relação com a capacitação das pessoas, independente do poder de investimentos da empresa na área tecnológica. Pois mesmo que a empresa tenha aportes financeiros para tal, o que não é evidenciado na pesquisa, a equipe dos profissionais não conseguiria acompanhar a complexidade dos novos e dispendiosos equipamentos. Hoje se trabalha com programas de simulação nas grandes empresas de maneira geral. Sendo as indústrias de fundição nacional em sua maioria de pequeno e médio porte, as dificuldades encontradas pela mesma na aquisição dessa tecnologia, bem como do aporte de conhecimento da mesma também são fatores preponderantes e complicadores no desenvolvimento tecnológico. Estes programas são da ordem de milhares de dólares, sendo inviável a apropriação destes, inclusive com a falta de apoio governamental também citada na pesquisa e ocupando inclusive a maior dificuldade entre todas apresentadas.

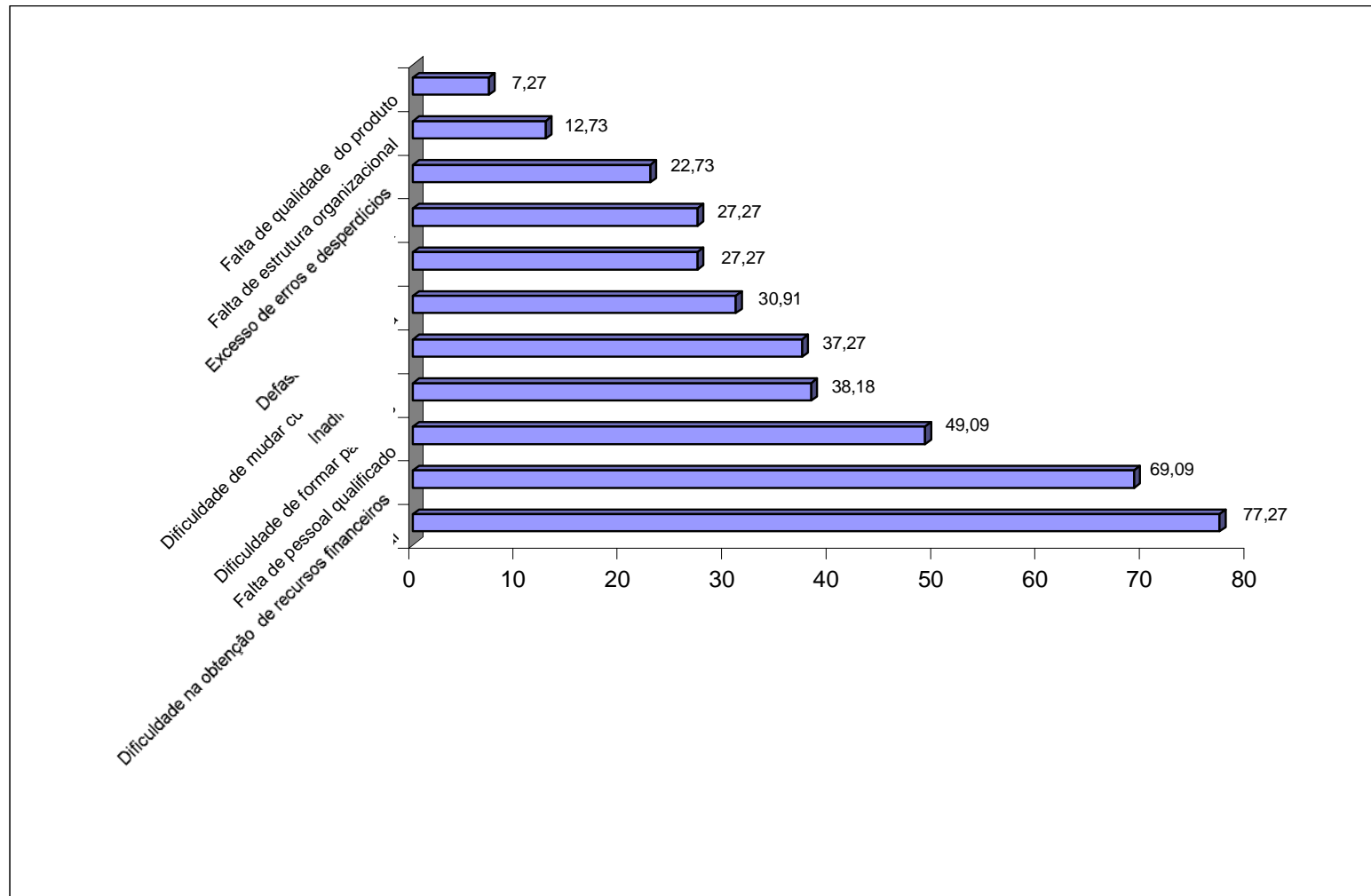


Figura 3.3: Dificuldades encontradas pelas empresas mineiras de fundição p/ se desenvolver (%) Fonte: SIFUMG - Diagnóstico das Indústrias de Fundição no Estado de Minas Gerais, 2003

Muitas dificuldades poderiam ser amenizadas se houvesse uma forte parceria entre as empresas ou se a organização sindical, industrial ou outra que as represente, conseguisse estratégias de trabalho em conjunto onde a associação das mesmas poderia torná-las mais competitivas e rentáveis no mercado de fundidos.

A falta de apoio governamental colocada como maior obstáculo no processo de desenvolvimento pode ser entendida não apenas nas questões de incentivos fiscais e tributos, bem como podem ser estendidos na péssima qualidade da malha viária do país e na baixa oferta de infra-estrutura portuária, além do seu custo altíssimo (JR, Sergio Teixeira e Nely Caixeta, 2004), tornando mais oneroso o processo logístico no escoamento da produção.

3.1.2 O Processo de Fundição

Fundição é o processo de fabricação que representa o caminho mais curto entre a matéria-prima metálica e as peças acabadas em condições de utilização.

O processo de fundição consiste, essencialmente, em encher com metal líquido a cavidade de um molde cujas dimensões e formas correspondem às das peças a serem obtidas. Após a solidificação e resfriamento do metal, obtêm-se as peças com formas e dimensões, geralmente, quase definitivas.

Pode-se dizer que no processo de fundição tem-se, entre a matéria-prima sólida e o produto acabado, apenas as etapas de fusão e solidificação, enquanto que nos demais processos de fabricação de peças metálicas - laminação, forjamento, estampagem e trefilação - têm-se, entre a matéria-prima e o produto, além das etapas de fusão e solidificação, uma deformação plástica por tratamento mecânico (SENAI, 1987).

A produção de fundidos é um processo muito versátil, uma vez que possibilita a produção de peças com pesos e formas os mais variados e a obtenção de propriedades específicas, tais como boa resistência mecânica e físico-química, boa capacidade de amortecimento de vibrações e boa usinabilidade. Aliando-se os numerosos processos de

fundição existentes às inúmeras ligas metalúrgicas que se aplicam a peças fundidas, conseguem-se soluções para a grande maioria dos problemas relacionados à produção das mesmas, para praticamente qualquer tipo de aplicação (Fonseca e Souza, 2001).

Existem vários processos de obtenção de uma peça fundida, sendo que os mais utilizados são a fundição em areia e a fundição em coquilha (molde metálico). A fundição em areia é a mais utilizada, sendo que consiste na obtenção da peça a partir de um molde (forma) fabricado em areia, onde suas etapas serão descritas a seguir. Na fundição em coquilha, o molde (forma) para a obtenção da peça fundida é feito em metal, normalmente o aço.

A fundição em areia pode ser subdividida em:

- fundição em areia a verde;
- fundição em areia com ligantes químicos, também conhecido como fundição em areias especiais.
- fundição em areia seca.

Para qualquer um dos três processos em areia o molde (ou forma) é utilizado somente uma vez, sendo gerado, portanto, uma quantidade muito grande de resíduo a cada fabricação de lote de peça. No caso do molde metálico, este é utilizado muitas vezes, sendo, portanto, adaptado para fundições com fabricação em médias ou grandes séries, casos em que se justifica o investimento financeiro, pois a fabricação dos moldes metálicos representa um alto custo.

[E8] Comentário: se justifica??

Na Figura 3.4, é apresentado um processo de uma típica fundição de ferro, desde a inserção da matéria prima até a expedição dos produtos fundidos. São diversas as possibilidades de poluição neste percurso, desde a entrada do material básico até a saída do produto acabado. Podemos ter a emissão de gases e particulados emitidos pela queima dos fornos e os particulados de areia em várias fases do processo. Toda esta areia perdida deve ser vista como desperdício de matéria prima e recursos, bem como, possibilidades de contaminação do ambiente.

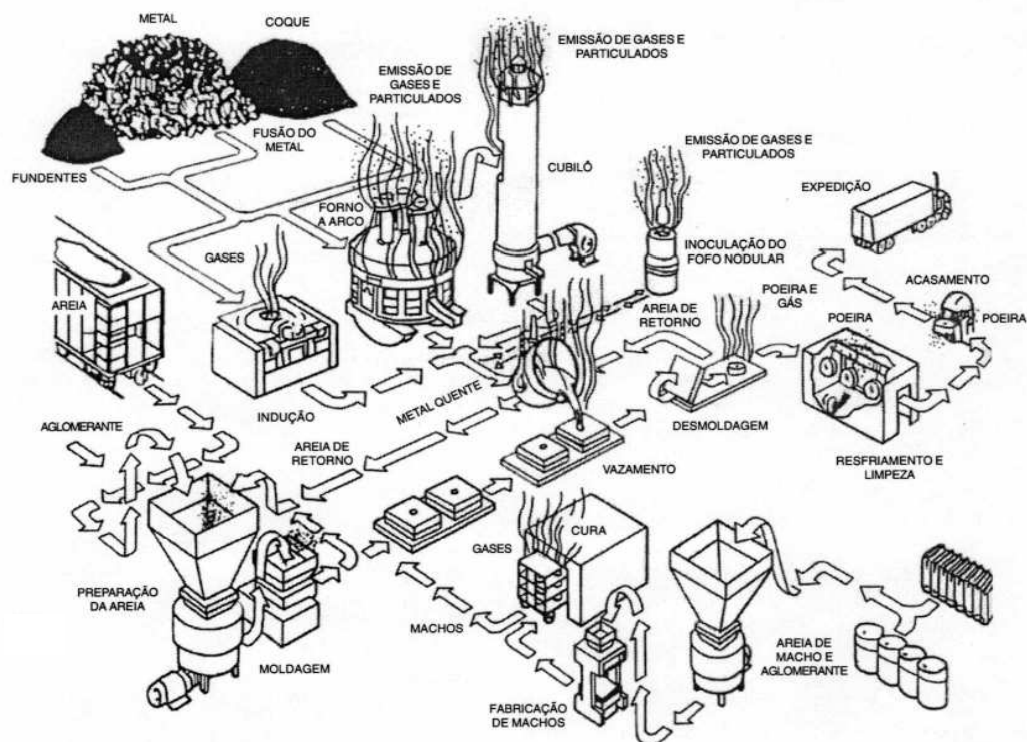


Figura 3.4: Potencial de poluição de uma típica fundição de ferro. Fonte: US/EPA

A fundição em areia apresenta um nível maior de itens de descarte e será abordada nesta pesquisa. A obtenção de uma peça fundida, nesse processo, consta de várias etapas e são descritas, de uma forma simplificada, da seguinte maneira (Fonseca e Souza, 2001):

1) Elaboração do projeto de fundição, que deve ser feito a partir do desenho mecânico da peça e de dados da sua utilização. São analisadas questões relativas à série (quantidade e prazo de entrega das peças), do acabamento superficial e do tipo de liga, dentre outras variáveis. Neste projeto está incluída a determinação do sistema de alimentação que consta de massalotes (reservas de metal líquido) ligados às regiões da peça que se solidificam por último. Esses massalotes suprem a peça com metal durante a contração líquida e de solidificação. É projetado também o sistema de enchimento da peça, que são os canais responsáveis pela condução do metal até a cavidade do molde.

[E9] Comentário: Incluída??

2) Confeção de modelo com a forma da peça, porém com as dimensões acrescidas da contração, previamente estabelecida, devido ao resfriamento no estado líquido, na solidificação e no estado sólido. São confeccionadas ainda as caixas de machos (que darão a forma interna da peça) e outros elementos necessários à preparação do molde.

3) Moldagem das peças em areia, que é um material refratário capaz de suportar as altas temperaturas de vazamento do metal líquido. Obtêm-se o molde extraíndo-se o modelo da areia. As partes internas e reentrâncias das peças são obtidas pelos machos, que são colocados dentro do molde antes do seu fechamento, no caso dos moldes em areia. Após o fechamento, o molde está pronto para receber o metal líquido.

4) Paralelamente à execução do molde, tem-se a elaboração da liga metálica utilizando-se fornos com fontes de energia como eletricidade (arco, plasma ou indução) e combustíveis fósseis (óleo, coque, ou gás).

5) Vazamento do metal no molde utilizando-se panelas (recipientes) revestidas de material refratário e equipadas com dispositivos que controlam a vazão do metal. Após o vazamento, a peça se solidifica dentro do molde.

6) Desmoldagem das peças, que consta de extração da peça de dentro do molde.

7) Acabamento (corte dos canais, rebarbação e limpeza) e usinagem, se necessário.

8) Tratamento térmico, quando for o caso.

A Figura 3.5 mostra o processo de obtenção de uma peça fundida no processo descrito. A figura representa moldagem manual, onde o molde é confeccionado por um ou mais operários, sendo tal processo bastante utilizado em fundições de pequeno porte. A moldagem pode ser também mecanizada ou automatizada, dependendo do porte da fundição.

O processo descrito na Figura 3.5 inicia-se com a análise do desenho da peça acabada e suas dimensões. A partir dele, projeta-se o modelo e a caixa de macho, como foi anteriormente descrito. Com o modelo e a caixa de moldar, inicia-se a moldagem da peça, pressionando-se areia em volta do modelo através de socagem de camadas sucessivas. É necessária a confecção de duas caixas - a inferior e a superior. Confecciona-se primeiramente a caixa inferior e, depois, a caixa superior. Na caixa inferior, coloca-se o

modelo, e na superior, são posicionados os modelos dos elementos dos sistemas de enchimento (modelo do canal de descida, distribuição e ataque). As duas caixas são separadas para permitir a extração do modelo. Extraíndo-se o modelo, obtêm-se uma cavidade no molde. Paralelamente à confecção do molde é feito o macho através da socagem de areia na caixa de macho. Esse é também extraído e posicionado dentro do molde com o objetivo de obter a forma interna da peça. Após a colocação do macho, a caixa superior é posicionada sobre a inferior, fazendo o fechamento do molde. O macho e o molde não são necessariamente fabricados no mesmo tipo de areia.

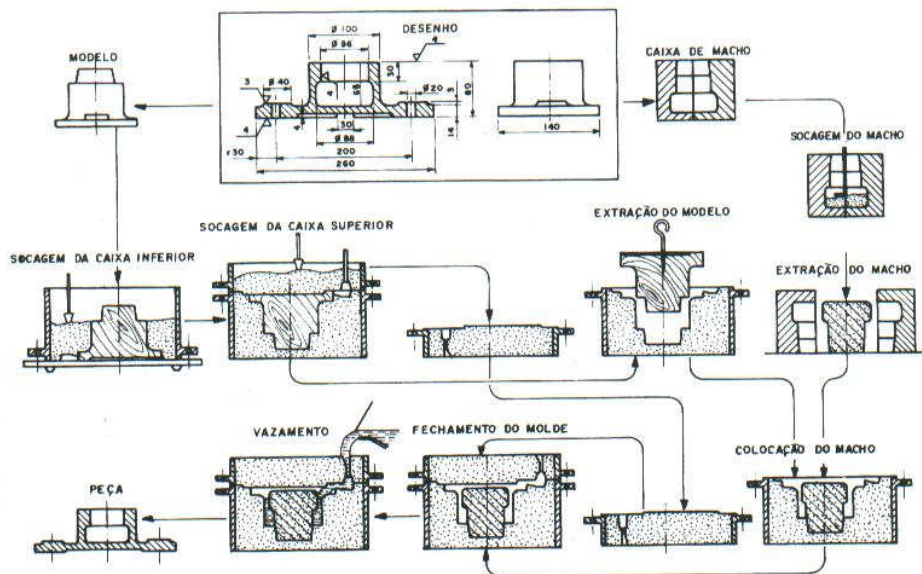


Figura 3.5 Esquema do processo de obtenção de peça fundida utilizando molde em areia. Fonte: (SENAI, 1987)

[E10] Comentário: Esta figura deve ser colocada na horizontal em página paisagem

O molde é transportado para a área de vazamento, onde a cavidade será preenchida com metal líquido. A preparação deste metal requer uma técnica metalúrgica apropriada para cada tipo de liga. Após o vazamento, o metal se solidifica e resfria, sendo feita, em seguida, a desmoldagem, ou seja, a separação da areia da peça. A peça desmoldada apresenta partes salientes como massalotes, canais de enchimento e rebarbas formadas

na superfície de separação das caixas. As partes salientes são retiradas através de corte e rebarbação. Após tais operações, faz-se a limpeza da peça com jatos de areia ou granalha de aço e encaminha-se a peça para usinagem, quando necessário (Fonseca e Souza, 2001).

A peça é enviada para a expedição e a areia proveniente dos moldes pode ser direcionada para:

1) se for areia aglomerada com argila, pode ser em quase sua totalidade regenerada e retornar para o circuito, após a sua preparação, que consta de adição de água e nova quantidade de bentonita (aglomerante). Os finos dessa areia são recolhidos e são acumulados na própria fundição e depois são levados para algum aterro sanitário.

2) se for areia aglomerada com ligantes químicos, esta pode ser também regenerada, mas por processos mais elaborados e dispendiosos, o que os torna inviáveis para algumas empresas.

3.1.3 A Indústria de Fundição e as Leis Ambientais

A exigência legal de uma atividade produtiva quanto às requisitos ambientais, têm-se mostrado cada vez mais restritiva nos aspectos referentes às emissões, efluentes e resíduos gerados pela produção.

[E11] Comentário: ??
Pré-requisitos... limitações ??
restrições.....

O princípio básico de preservação ambiental está expresso na Constituição Federal do Brasil, tal como segue:

[E12] Comentário: na
Constituição ...

Artigo 225 da Constituição Federal do Brasil

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo para a presente e as futuras gerações”.

Nossa legislação ambiental está entre as mais avançadas do mundo. São leis que afetam as atividades econômicas do país e o dia a dia de cada cidadão brasileiro. Entretanto são pouco conhecidas pelo grande público e, talvez por isso, pouco aplicadas. Segundo

Freddy Groszek/2004, se compararmos as legislações brasileira e francesa, não encontraríamos grandes diferenças. Tanto a legislação brasileira quanto a européia têm os princípios da responsabilidade, que é do gerador de resíduos. Na Europa - notadamente na França - e no Brasil, o gerador tem a responsabilidade, por exemplo, de escolher um centro de tratamento que seja legalizado e adequado ambientalmente, ficando essa escolha sob a sua responsabilidade e também de escolher um transportador que seja credenciado.

Em todo o mundo, estas exigências e normas têm-se tornado um grande propulsor de mudanças nas organizações, para que estas venham atender às implicações impostas pelos órgãos normativos e fiscalizadores, além das exigências dos clientes, fornecedores e comunidade vizinha, os chamados *stakeholders*.

Um exemplo dessa mudança e fator motivador no Brasil, foi a aprovação da Lei Federal 9605 de Crimes Ambientais, sancionada em fevereiro de 1998, entrando em vigor no mês de março do mesmo ano. Esta lei, tal como as outras que tratam do mesmo assunto, busca compatibilizar as atividades produtivas com as de aspecto ambiental, segundo o princípio de desenvolvimento sustentável. Esta lei estabelece ainda, sérias penalidades, tais como, multas que podem chegar a 50 milhões de reais e penas de até cinco anos de prisão para os causadores de danos ao meio ambiente, que podem ainda, ter seus registros cancelados e sofrer restrições à obtenção de incentivos fiscais e financiamentos através de programas oficiais.

Uma outra atenção deve ser dada ao que estabelece a Lei 6938/81, que estabelece sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, no que concerne algum dos seus objetivos:

- à difusão de tecnologias de manejo do meio ambiente, à divulgação de dados e informações ambientais e à formação de uma consciência pública sobre a necessidade de preservação da qualidade ambiental e do equilíbrio ecológico;
- à preservação e restauração dos recursos ambientais com vistas à sua utilização racional e disponibilidade permanente, concorrendo para manutenção do equilíbrio ecológico propício à vida;

- à imposição, ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos.

A lei estadual 997/76, vigente no Estado de São Paulo, considera poluição do meio ambiente “a presença de toda e qualquer forma de matéria ou energia, com intensidade, em quantidade, concentração ou características que tornam ou possam tornar as águas, o solo ou o ar impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde, inconvenientes ao bem estar público, danosos à fauna e à flora, prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade”. É com base nesta lei e nas considerações dela derivadas que a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), agência ambiental paulista que serve de referência para todo o Brasil, estabeleceu seus procedimentos para concessão de licença para instalação e funcionamento de indústrias potencialmente poluidoras, como as de fundição (Souza, Hellen, 1998). O sistema de licenciamento implantado na Companhia tem como principal objetivo o controle preventivo de fontes de poluição ambiental.

[E13] Comentário: autor

No Estado de Minas Gerais, as ações dos órgãos fiscalizadores nas indústrias de fundição têm pautado seus trabalhos mais voltados para o apoio na resolução dos problemas de poluição verificados, do que na condição de fiscalização com vistas à punição de imediato. Exemplo recente desta situação, foi o Termo de Ajustamento de Conduta celebrado entre o Ministério Público de Minas Gerais e as Indústrias Metalúrgicas de uma cidade do Centro Oeste de Minas Gerais, com aproximadamente 25% das indústrias de fundição do Estado localizadas neste município.

O Termo de Ajustamento considera a possibilidade de danos ambientais para gerações futuras, caso não sejam efetivadas obras ligadas às indústrias da região. Considera, ainda, que todo cidadão tem direito a um ambiente livre de toda e qualquer forma de poluição, que é dever do poder público e da coletividade a defesa e preservação do meio ambiente, que a situação do gerenciamento dos resíduos sólidos tem se agravado com o surgimento de “lixões” e que o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) editou a Deliberação Normativa nº 52/2001, visando à minimização dos impactos sanitários e ambientais causados pelos “lixões”. Dentre outras considerações, acorda entre as partes

o compromisso das indústrias metalúrgicas em assumir obrigações junto a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) com prazos de execução estipulados e aceitos pelos compromissários.

As obrigações acordadas são, apresentação de Relatório de Impacto Ambiental (RCA) e Projeto de Controle Ambiental (PCA), implantação de projetos de águas pluviais, de esgotos sanitários, de efluentes líquidos industriais, de efluentes atmosféricos, implantação de aterro e outros compromissos pertinentes às situações analisadas. Os prazos estipulados variam de seis a quarenta e dois meses, podendo ser ampliados caso surjam fatos inesperados e justificáveis no período da vigência do Termo de Ajustamento de Conduta.

A experiência acima é piloto entre indústrias de fundição e Ministério Público no Estado. Acreditando que esta pode ser uma saída eficaz para minimização dos problemas de poluição industrial no setor, esta prática poderá se estender para outras regiões onde existe a concentração expressiva de empresas de fundição no Estado.

Portanto, para evitar danos ao meio ambiente, custos de reparação que poderiam ser evitados e também implicações legais como os mencionados acima, é importante que os fundidores - bem como profissionais de outras áreas - saibam identificar as fontes de emissão de poluentes em suas instalações industriais e tenham noção do grau de risco que eles representam para o meio ambiente, de modo a optarem pela forma mais adequada e eficiente de controle (Souza, Hellen, 1998). Estariam, ainda, atuando em consonância com a legislação e não de encontro à mesma.

O ideal seria que não houvesse termos de ajustamento de conduta, caso as empresas compreendessem e resolvessem seus problemas de poluição sem interferências fiscalizadoras do Estado e Municípios.

No entanto, como as dificuldades econômico-financeiras muitas vezes se torna um obstáculo considerável, ou ainda, quando se verifica como fator preponderante a falta de interesse das empresas nos investimentos nas adequação das instalações, torna-se imprescindível a celebração dos Termos de Ajustamento de Conduta nos moldes citados anteriormente.

3.2 Rejeitos da Indústria de Fundição e Classificação

3.2.1 Rejeitos e Formas de Controle

A fundição de metais é considerada uma atividade potencialmente poluidora, pois a transformação dos diversos insumos envolvidos no processo resulta na formação de resíduos sólidos e também de poluentes atmosféricos. As fontes de poluição das águas pela indústria de fundição são lavagem de pisos, máquinas e equipamentos, o descarte de lavadores de gases, derramamento de produtos químicos e o descarte de águas de resfriamento. O volume de efluentes líquidos lançados em sistemas de esgoto ou em corpos d'água (como rio, córregos, etc) deve ser controlado através de sistemas de tratamento de águas residuais (Souza, Hellen, 1998).

Quanto aos poluentes lançados no ar pela indústria de fundição, devem ser tratados levando-se em conta a melhor tecnologia possível, conforme a viabilidade econômica da empresa. Filtros de tecido, lavador de alta energia e precipitador eletrostático, são tecnologias de controle sugeridas pela gerência de ações corretivas da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo, conforme pode ser visto na Tabela III.4.

Dos resíduos sólidos geradas pela indústria de fundição, a areia usada é a que se apresenta em maior proporção, representando mais de 75% dos rejeitos gerados (Revista Fundição e Matérias Primas, junho/2003).

[M14] Comentário: em

Uma revisão e estudo sobre a qualidade e composição da areia de fundição, foi realizado na Finlândia. Os dados deste trabalho foram coletados de literatura e de experiências próprias, sendo mostrados na Tabela III.5. Os dados apresentados mostram que o conteúdo dos compostos orgânicos e metálicos prejudiciais em areia usada de fundição é normalmente baixo. Conforme o estudo, os conteúdos orgânicos e metálicos prejudiciais dos compostos/elementos são maiores em areia verde se comparada com areia orgânica, com ligantes químicos. A areia inorgânica é basicamente muito limpa (Integrad Pollution Prevention and Control, 2004).

Tabela III.4: Principais fontes de poluição presentes em fundições de metais e tecnologias de controle sugeridas

Poluição do Ar			
Atividade	Fonte Poluidora	Poluentes Emitidos	Melhor Tecnologia de Controle
Fundição de ferro	Forno cubilô Forno a arco Forno a indução	Material particulado (óxidos metálicos e minerais) Monóxido de Carbono Compostos orgânicos Dióxido de enxofre Óxidos de nitrogênio	Filtro de tecido Lavador de alta energia Precipitador eletrostático
Fundição de alumínio	Forno rotativo Forno revérbero Forno cadinho	Material particulado (óxidos metálicos e sais) Compostos orgânicos Monóxido de Carbono Dióxido de enxofre Óxidos de nitrogênio	Filtros de tecido Precipitador eletrostático Lavador de alta energia
Fundição de bronze e latão	Forno rotativo Forno revérbero Forno cadinho Forno cubilô	Material particulado (óxidos metálicos) Monóxido de Carbono Dióxido de enxofre Óxidos de nitrogênio	Filtros de tecido Precipitador eletrostático Lavador de alta energia
Fundição de zinco	Forno revérbero Forno cadinho Fornos de refino	Material particulado (óxidos metálicos) Monóxido de Carbono Dióxido de enxofre Óxidos de nitrogênio Compostos orgânicos	Filtros de tecido
Fundição de cobre	Forno revérbero Forno cadinho Conversor Forno a indução	Material particulado (óxidos metálicos) Monóxido de Carbono Dióxido de enxofre Óxidos de nitrogênio Compostos orgânicos	Filtros de tecido
Fundição de chumbo	Forno revérbero Forno cubilô Forno rotativo Forno cadinho	Material particulado (óxidos metálicos) Monóxido de Carbono Dióxido de enxofre Óxidos de nitrogênio Compostos orgânicos	Filtros de tecido Lavador de alta energia

Fonte: Gerência de ações corretivas CETESB

Tabela III.5: Resultados de análises de areais usadas de fundição.

Elemento/ Composto	Areia		
	Verde (mg/kg)	Orgânica (mg/kg)	Inorgânica (mg/kg)
Ba	35 – 118	2.4 – 5.5	n.d
Cr	1.7 – 13.5	1.2 – 7.2	< 5
Fé	2950 – 21000	640 – 16300	530 – 1700
Zn	1.5 – 1450	1.6 – 49	< 10 – 30.0
Cd	0.03 – 6.7	0.01 – 0.03	0.02
Pb	1.6 – 390	0.4 – 2.1	1.3
Cu	4.7 – 5.0	2.7 – 4.4	< 1.5 – 6.0
Ni	< 2.5 – 20.0	0.3 – 8.5	2.5 – 8.3
Mn	76 – 78	22 – 79	25 – 34
As	0.2 – 2.1	0.2 – 1.8	< 0.5 – 0.51
Fenol	1.1 – 29.6	0.1 – 14	0.03
Total PAH	1.0 – 206.6	0.1 – 8.8	< 1.75

Fonte: Orkas, 2001.

O *Castings Development Centre* (CDC), analisou o valor de PAH - Hidrocarboneto Aromático Policíclico (total, naftalina e carcinógeno) e fenol contido em diferentes areias usadas de fundição. O resultado desta análise pode ser visto na Tabela III.6.

Em uma determinada linha de produção, a areia analisada deste processo, apresentou variações no conteúdo de Hidrocarboneto Aromático Policíclico e fenol com valores relativamente baixos. Testes de laboratório mostraram que a lixiviação de metais é geralmente baixa e que a lixiviação do cromo causada pela presença da areia cromita é insignificante.

Tabela III.6: Hidrocarboneto Aromático Policíclico e fenóis contidos na areia usada de fundição.

Hidrocarboneto Aromático Policíclico (mg/kg)			Fenol		
Sistema de Areia Utilizada	Naftalina	Carcinógeno	Total	Total (mg/kg)	Lixiviação
Areia verde	< 1.0 – 7.4	0.03 - < 1.0	< 10 – 11	1.4 – 63	26 – 1600
Alcalina fenólica	1.1 – 4.8	0.026 – 0.096	2.3 – 8.1	1.4 – 210	0.025 – 4400
Furânica	0.87 - < 1.0	0.014 – 1.5	1.0 - < 10	0.18 – 15	1.2 – 19
Resina Shell	0.11 – 7.1	0.01 – 0.67	0.75 – 9.3	3.7 - 3300	0.025 - 3200

Fonte: Orkas, 2001.

Na produção de moldes e machos, encontramos uma mistura de areia com aglomerantes químicos e, em alguns casos, este processo é acompanhado por um aquecimento. Neste processo de aquecimento, ocorre a emissão de gases e produtos de reação voláteis, podendo vir a causar impactos ambientais, desde a mistura da areia até a estocagem dos moldes e machos produzidos. Na Tabela III.7, temos os impactos ambientais causados pelos sistemas aglomerantes nos processos de fabricação de machos e moldes.

Tabela III.7: Impactos ambientais causados pelos sistemas aglomerantes.

Sistema e constituintes ligantes	Método de ajustagem e energia relativa necessária	Emissões para o ar durante mistura e ajustagem	Outros impactos ambientais
<ul style="list-style-type: none"> Areia Verde Argila Pó de carvão ou substituto Água 	Baixa pressão	Material particulado não significante emitido para o meio ambiente	Na areia derramada durante o transporte, faz-se necessário evitar para reduzir a probabilidade de emissões fugidias. A redução da mistura no processo não é essencial, pois o processo contém orifício para deslocamento do ar para a fundição
<ul style="list-style-type: none"> Areia Shell Fenol – Formolaldeído (novalaca) 	Alta temperatura	Formolaldeído * Amônia * Fenol * Aromáticos HCN	O odor pode vir a ser um problema, pois as resinas são normalmente emitidas para o ar
<ul style="list-style-type: none"> Fenólica alcalina Resol – fenólica alcalina – resina Formolaldeído - areia endurecida (fenólico alcalino cold-box) - auto-ajuste (fenólico alcalino sem queima) 	Gás endurecido com baixo vapor formato metil Pega a frio com baixo Esters	Formolaldeído * Fenol * Formato metil Formolaldeído * Fenol * Esters *	
<ul style="list-style-type: none"> Fenólica uretânica - areia endurecida: cold Box - auto-ajuste (fenólico uretânico sem queima) 	Baixo vapor amina Auto-ajuste com substituição de baixo pyridine	Isocianato Amina * Formolaldeído * Fenol Isocianatos Formolaldeído Fenol	O odor é um problema freqüente – onde DMEA é usado, o odor surge e reduzi-lo é essencial. Este pode ser incinerado ou lavado (usando ácido sulfúrico ou fosfórico) Onde o TEA é usado, a lavagem somente é necessária se o problema do odor surgir.
<ul style="list-style-type: none"> Furânica Resina combinada de: Fenol, Uréia, álcool e Formolaldeído. 	Pega a frio com ácido baixo	Formolaldeído * Fenol * Álcool furfurílico* Sulfeto de hidrogênio Ácidos mistos	Resinas e ácidos ficam separados (não menos areia presente) como quando em contato eles são vigorosos exotérmicos
<ul style="list-style-type: none"> Caixa quente Resina combinada de: Fenol, uréia, álcool furfurílico e Formolaldeído. 	Alta temperatura	Formolaldeído * Ácidos Álcool furfurílico * Fenol * Amônia Isocianeto metílico	O odor pode vir a ser um problema, pois as resinas são normalmente emitidas para o ar
<ul style="list-style-type: none"> Areia secada em estufa Óleo de linhaça e goma 	Alta temperatura	Acroleim * Complexos orgânicos	O odor pode vir a ser um problema, pois as resinas são muitas vezes emitidas para o ar
<ul style="list-style-type: none"> Processo CO₂ Silicato de sódio 	Areia endurecida por CO ₂ Baixo gás	Nenhum	
<ul style="list-style-type: none"> Silicato esters Silicato de sódio 	Cura a frio com baixa proporção de esters	Esters	

Nota 1: todos os processos acima ocasionam areia usada (inclusive quebra de machos, despejo e mistura de resíduos) podendo ir para aterros.

Nota 2: as substâncias marcadas com asterisco (*) são aquelas mais prováveis em ocasionar odor nos referidos processos.

Nota 3: alguns componentes ligantes das resinas podem ser considerados como resíduos especiais para motivo de disposição e se ocorrer vazamentos, podem oferecer um risco de contaminação dos sistemas de água.

Nota 4: amina e formato metil usados na areia endurecida são altamente inflamáveis e cheirosos. A precaução para evitar vazamentos em estoques é essencial.

Fonte: Teknologisk, 2001; Agência Ambiental do Reino Unido, 2002 e Lilja, et al., 2000.

3.2.2 Fornos de fundição: cargas de entrada e de saída

Nos diversos tipos de fornos utilizados na indústria de fundição, poderemos encontrar uma variedade de materiais empregados na carga de entrada para gerar a fusão do metal. Conseqüentemente, teremos na saída, o material produzido, bem como, outros componentes, entre sub-produtos que poderão ser utilizados em outros processos industriais e resíduos gerados durante e/ou após a fusão do metal. Estes materiais verificados nas entradas e saídas dos fornos estão mostrados nas Tabelas III.8 a III.16, conforme *Integrated Pollution Prevention and Control, 2004*. Após a representação de cada tabela com as cargas de entrada e saída, o material particulado é coletado para análise comparativa dos fornos e cargas a serem utilizadas. Com a preocupação ambiental permeando a política estratégica de uma determinada empresa, estes dados poderão auxiliar na decisão pelo investimento adequado quanto aos equipamentos que possam gerar elementos menos nocivos ao ambiente. Mesmo considerando o custo variado de instalação dos fornos, o custo ambiental imposto pela legislação em vigor em diversos países poderá justificar um investimento inicial maior para redução posterior no decorrer da operação da empresa.

Forno Cubilô

Tabela III.8: Carga de entrada e de saída do forno cubilô

Entrada	Saída
Materiais ferrosos	Ligas metálicas
Ligas metálicas	Pós (contendo metal)
Fluxo (pedra calcária)	CO/CO ₂ , SO ₂ , NO _x
Energia (coque, gás, óleo, eletricidade)	Dioxinas
Oxigênio	Poluentes orgânicos
Água de resfriamento	Escória
Água	Resíduo refratário

Fonte: Integrated Pollution Prevention and Control, 2004

Material Particulado do Forno Cubilô

A emissão de material particulado é muito ampla. Essas emissões dependem primariamente do tipo de cubilô usado, como mostra a Tabela III.9:

Tabela III.9: Níveis de emissão de pós de variados tipos de cubilô

Tipo de cubilô	Emissão de pó (kg/t de carga de metal)	Proporção de Coque (kg/t de carga de metal)
Cubilô ar frio	5 – 13	110 – 140
Cubilô ar quente	4 – 10	95 – 130
Cubilô ar quente c/ refratário	5 – 12	115 – 135
Cubilô sem coque	0,8	0

Fonte: CAEF, 1997

Forno a Arco Elétrico

Tabela III.10: Carga de entrada e de saída do forno a arco elétrico

Entrada	Saída
Materiais ferrosos	Ligas metálicas
Ligas metálicas	Pós (contendo metal, refratário)
Fluxo (pedra calcária)	CO, CO ₂ , NO _x
Energia (gás, óleo, eletricidade)	Poluentes orgânicos
Oxigênio	Fumos óxidos metálicos
Eletrodos	Escória (CaO, SiO ₂ , MgO)
	Resíduo refratário

Fonte: Integrated Pollution Prevention and Control, 2004.

Material Particulado de Forno a Arco Elétrico

A emissão estimada de particulados, segundo consta em literatura, varia de 2 a 20 kg/t de carga de ferro com uma média em torno de 5 a 8 kg/t. A mais alta emissão estimada é no início do ciclo de fusão, durante o tratamento de descarburização e durante o carregamento suplementar.

Em termos de composição química, o material particulado pode se apresentar conforme a Tabela III.11.

Tabela III.11: Composição química dos pós emitidos do forno a arco elétrico em fundição de aço

Substância	Peso percentual (%)
FeO + Fe ₂ O ₃	30 – 60
SiO ₂	5 – 35
CaO	1 – 15
MgO	0 – 15
ZnO	0 – 16
Cr ₂ O ₃	0 – 8
MnO	2 – 10
Al ₂ O ₃	0 – 5
MoO ₃	< 1
NiO	< 1
Pb	< 1
Cd	< 0,01
TiO ₂	< 0,05
V ₂ O ₅	< 0,05
Perda	0 – 4

Fonte: CAEF, 1997

Escórias do Forno a Arco Elétrico

A composição química da escória do Forno a Arco Elétrico é mostrada na Tabela III.12.

Tabela III.12: Composição química de escória do Forno a Arco Elétrico

Componente	Média (%)	Limites (%)
SiO ₂	36,2	28,6 – 41,8
CaO	12,4	7,2 – 17,7
MgO	22,1	18,3 – 27,0
Al ₂ O ₃	8,4	7,4 – 0,1
FeO	0,7	0,5 – 1,1
MnO	14,8	4,0 – 29,6
TiO ₂	1,2	0,39 – 2,7
Na ₂ O	0,3	0,11 – 0,57
K ₂ O	0,1	0,1 – 0,23

Fonte: The Casting Development Centre, 1999.

Forno a Indução

Tabela III.13: Carga de entrada e de saída do forno a indução

Entrada	Saída
Materiais ferrosos	Ligas metálicas
Ligas metálicas	Pós
Agentes carburisantes, fundente	Fumos orgânicos e metálicos
Fluxo (pedra calcária)	CO
Energia (eletricidade)	Escória
Água de refrigeração	Resíduo refratário

Fonte: Integrated Pollution Prevention and Control, 2004.

Material Particulado do Forno a Indução

A composição típica de escória do forno de indução é apresentada na Tabela III.14.

Tabela III.14: Composição típica de escória de forno a indução.

Composto	%
SiO ₂	40 – 70
FeO	10 – 30
Al ₂ O ₃	2 – 15
MnO	2 – 10
CaO	0 – 3
MgO	0 – 3

Fonte: Neumann, 1994

Forno Rotativo

Tabela III.15: Carga de entrada e de saída do forno rotativo

Entrada	Saída
Materiais ferrosos	Ligas metálicas
Ligas metálicas	Pós
Agente carburizador, fundente	Fumos orgânicos e metálicos
Fluxo (pedra calcária)	Escória
Energia (eletricidade, óleo, gás)	Resíduo refratário
Água de refrigeração	

Fonte: Integrated Pollution Prevention and Control, 2004

Material particulado do Forno Rotativo

A composição química da poeira do forno rotativo é apresentada na Tabela III.16.

Tabela III.16 Composição química dos pós do forno rotativo em fusão de ferrosos.

Composto	%
Óxido de ferro	50 – 75
MnO	< 1
SiO ₂	< 1
MgO	1 – 2
Cr ₂ O ₃	< 0,5
ZnO	< 1
Pb	< 0,5
Sn	0,2
Perdas	5 – 10

Fonte: Carnicer Alfonso, 2001

Selecionando o forno cubilô X indução ou forno rotativo para fusão de ferro fundido

Uma situação básica no processo de fundição é a seleção de qual forno utilizar. A escolha deste equipamento poderá definir o rumo da empresa quanto aos quesitos de mais ou menos eficiente em termos de performance ambiental. Conforme se pode observar nas Tabelas III.8 a III.16, o material particulado coletado na saída do forno, bem como a carga de saída no geral, depende do tipo de forno utilizado. Os critérios decisivos na seleção do forno incluem (Integrated Pollution Prevention and Control, 2004):

- Tipo de metal a ser produzido
- Produção por lote ou contínua
- Tamanho das séries
- Quantidade do metal
- Tipo de material de entrada (qualidade da limpeza)
- Flexibilidade para a mudança de liga
- Tipo de produto a ser produzido
- Emissões e outras considerações ambientais
- Disponibilidade de matéria prima
- Disponibilidade de combustível

Das discussões mencionadas acima, as seguintes generalidades podem ser deduzidas:

- Tipo de metal: o forno elétrico é o mais adequado para o ferro fundido nodular.
- Produção contínua: o forno cubilô é o mais indicado.
- Lote de produção: o forno elétrico ou o rotativo é o melhor.
- Tipo de material de entrada (qualidade da limpeza): o forno cubilô é o mais indicado.
- Flexibilidade para a mudança de liga: os fornos de indução e rotativo são os mais indicados.
- Considerações ambientais:
 - O forno cubilô é o melhor somente se tiver um eficiente coletor de pó, cubilô sem coque apresenta performance ambiental melhor que cubilô ar frio ou cubilô ar quente.
 - O forno a indução tem baixo CO, SO₂, Nox, dioxina, escória, mas é preciso ter em mente que também poderá ter emissões requeridas da produção de eletricidade (indireta).
- Disponibilidade de matérias-primas: quando a escória tem baixo custo, o forno cubilô é o mais indicado.

Todos estes critérios precisam ser bem avaliados para que ocorra a melhor opção na aquisição e posterior utilização dos equipamentos do processo de fundição. A Tabela III.17 apresenta um sumário baseado em alguns critérios.

Benefícios ambientais: a substituição de um forno cubilô por um forno de indução ou forno rotativo, resulta em uma redução na emissão direta de CO e SO₂ e na quantidade de escória. Os fornos de indução apresentam uma redução na emissão de NOx e um baixo risco de formação de dioxina. A emissão indireta gerada pelo uso de fornos de indução depende da infraestrutura de geração de eletricidade local (Integrad Pollution Prevention and Control, 2004):

Economia: Dados econômicos de fornos cubilôs *versus* fornos de indução são mostrados nas Tabelas III.18, III.19 e III.20. Estas tabelas com seus respectivos dados, poderão auxiliar as empresas na aquisição e/ou substituição dos fornos utilizados em seus processos de produção. Os dados econômicos sempre serão levados em consideração nas decisões estratégicas das empresas. O que também deve ser considerado além do custo de implantação dos fornos, é a possibilidade de criação de passivo ambiental caso a opção inicial não seja a mais adequada possível. Daí, ser de suma importância uma

visão holística dos negócios, com especial atenção no desenvolvimento sustentável da empresa.

Tabela III.17: Escolhas técnicas de equipamentos de fusão para ferro fundido.

Critério		Somente ferro fundido cinzento					Cinzento + nodular	Somente ferro fundido nodular			Somente ferro fundido maleável
		Contra peso	Dutos de esgoto e tubos	Fundidos esmaltados, aparelho aquecedor	Componentes mecânicas			Componentes mecânicas	Dutos de esgoto e tubos	Componentes mecânicas	
Tamanho das séries		Média p/ gde	Todas	Média p/ grande	Lote p/ gde	Média p/ gde	Todas	Todas	Lote P/ gde	Média p/ gde	Média p/ gde
cubilô	Ar frio	++	++ (<10 – 15 t/h)	++ (<10 15 t/h)		++ (<10 15 t/h)			(+)		
	Ar quente	+	++ (>10 – 15 t/h)	++ (>10 – 15t/h)	0	++ (>10 15 t/h)		++ (>10 15 t/h)	0		+ (>10 15 t/h)
	Sem coque				0	+		+	0	+	
Indução			+	+	++	++	++	+	++	++	++
Forno rotativo		(+) lote			++	++	++	(+) lote ou grandes séries	++		++
++: tecnologicamente mais adaptado +: tecnologicamente adaptado (+): adaptado em alguns casos 0: não adaptado											

Fonte: TWG, 2000.

Tabela III.18: Preço do ferro fundido: Carga metálica + energia.

Característica	Un	Cubilô ar frio			Indução			Forno coreless			Cubilô ar quente			Cubilô sem coque		
		Preço Euro/un	Propo rção	Preço Euro/t	Preço Euro/un	Propo rção	Preço Euro/t	Preço Euro/un	Propo rção	Preço Euro/t	Preço Euro/un	Propo rção	Preço Euro/t	Preço Euro/un	Propo rção	Preço Euro/t
Coque	t	210	0.145	30.45							210	0.125	26.25			
Eletricidade	kWh	0.0513	20	1.027	0.0448	609	27.78	4.0448	609	27.28	0.0513	128	6.57	0.0513	165	8.46
Oxigênio	Nm ³	0.535	2	1.07							0.535	2	1.07	0.23	11	2.53
Gás	KWh	0.0296	20	0.59							0.0228	60	1.37	0.0186	500	9.30
Sub total				33.14			27.78			27.28			35.26			20.29
Retorno	t	0	0.35	0	0	0.40	0	0	0.50	0	0	0.40	0.400	0	0.35	0
Ferro gusa	t	185	0.20	37	185	0.15	27.75	200	0.10	20				185	0.25	46.25
Sucata	t	167	0.20	33.4										167	0.15	25.05
Sucata de aço (E3)	t	101.5	0.25	25.4	101.5	0.225	22.83				101.5	0.30	30.45	101.5	0.25	25.38
Sucata de aço (E8)	t				99.5	0.225	22.39	99.5	0.40	39.80						
Sucata de aço (E1 C)	t										96.9	0.30	29.07			
Sub total				95.8			72.97			59.80			59.52			96.68
Grafite	Kg				0.70	16.7	11.69	0.80	17.92	14.34				0.7	8.12	5.68
FeSi	Kg Si	0.68	8	5.44	1.13	10.6	11.98	1.13	9.39	10.61	0.68	15.8	10.74	0.68	11.71	7.96
FeMn	Kg	0.595	2.7	1.60	0.79	2.6	2.05				0.59	3.2	1.89	0.595	1.45	0.86
CaCO ₃ + div	Mn	12.2	1.148	0.58							12.2	0.037	0.46			12.72
Esferas	t											5				
Sub total				7.62			25.72			24.95			13.09			27.22

Fonte: Integrated Pollution Prevention and Control, 2004

Tabela III.19: Comparação dos custos de ferro fundido líquido – Jun/2003 (produção em massa: 10 t/h).

Un	Classe	Ferro fundido laminado (ENGJL 250)				Ferro Fundido Nodular (ENGJS 400 – 15)		
		Cubilô Ar Frio	Cubilô Ar Quente	Cubilô sem Coque	Forno Indução	Cubilô Ar Quente	Cubilô sem Coque	Forno Indução
Euro/t	Carga metálica	95.80	59.52	96.68	72.97	49.75	73.52	59.80
	Ferro liga + aditivos	7.62	13.09	27.22	25.72	5.27	24.17	24.85
	Energia/fluidos	33.14	35.26	20.29	27.28	40.12	21.07	27.28
	Refratário	3.73	4.29	8.79	1.47	4.55	8.79	1.47
	Custo pessoal	10.05	10	11	9.10	10.42	11	9.10
	Manutenção	1.55	3.15	0.16	0.93	3.15	0.16	0.93
	Meio ambiente	4.50	4.30	3.15	.55	4.30	3.15	0.55
	Dessulfuração					10.33		
	Depreciação investimento	5.92	14.81	8.89	8.89	14.81	8.89	8.89
	Total por t/carga	162.31	144.42	176.78	146.91	142.70	150.75	132.97
%	Perda na queima	5	5	5	3	5	5	3
Euro/t	Total por t/líquido	170.85	152.02	185.45	151.45	150.21	158.68	136.98
%	% de retorno	35	40	35	40	50	50	50
Euro/t	Total t/fundido	262.85	253.36	285.31	252.42	300.42	317.37	273.96

Fonte: Integrated Pollution Prevention and Control, 2004.

Tabela III.20: Preço de ferro fundido nodular: Carga metálica + energia.

Característica	Un	Cubilô ar quente			Cubilô sem coque		
		Preço Euro/un	Proporção	Preço Euro/t	Preço Euro/un	Proporção	Preço Euro/t
Coque	t	210	0.14	29.40			
Eletricidade	kWh	0.0513	140.5	7.21	0.0513	180	9.23
Oxigênio	Nm ³	0.535	4	2.14	0.23	11	2.53
Gás	KWh	0.0228	60	1.37	0.0186	500	9.30
Sub total				40.12			21.07
Retorno	t	0	0.40	0	0	0.40	0
Ferro gusa	t				199	0.20	39.8
Sucata	t				167	0.05	8.35
Sucata de aço (E8)	t	99.55	0.50	49.75			
Sucata de aço (E3)	t				101.5	0.25	25.38
Sub total				49.75			73.52
Grafite	Kg				0.7	12.37	8.66
FeSi	Kg Si	0.68	7	4.76	0.68	4.11	2.79
FeMn	Kg Mn						
CaCO ₃ + div	t	12.2	0.042	0.51			12.72
Esferas	t						
Sub total				5.27			24.17

FONTE: Integrated Pollution Prevention and Control, 2004.

Estes custos são referenciais da França, no entanto, face ao mundo sem fronteiras no qual estamos inseridos, os resultados das análises das tabelas, servirão para nortear a viabilidade de instalação e/ou substituição dos fornos utilizados.

Na Tabela III.21, é mostrado um exemplo de uma indústria de fundição na Espanha, 1997/1998. São apresentados os custos para uma produção de 1 t/h, trabalhando 8 h/dia. Para o forno de indução é feita uma distinção entre o horário de pico e os horários noturnos, que tem um custo menor. Sendo o custo de eletricidade um componente significativo na apuração do valor total, esta distinção apresenta uma grande diferença no custo final. Conforme podemos observar, a operação do forno de indução durante o período de menor tarifa (horário noturno), resulta em custos comparáveis aos custos de funcionamento do forno rotativo.

Tabela III.21: Dados do custo de uma empresa para substituição de um forno cubilô existente por um forno rotativo ou de indução; dados da Espanha, 1997 – 1998.

Custo em Euros/t de metal fundido	cubilô	Rotativo	Indução	Custo de energia (conforme horário)
Energia	30.7	29.8	40.8 27.2	(pico) (noite)
Refratário	3.6	1.3	1.4	
Recursos humanos	52.9	22.7	22.7	
Matéria prima	205	205	205	
Custo total	292	259	270	
Custos anuais em Euros				
Custo para fusão de 1320 t/ano	385 000	341 000	356000 338000	(pico) (noite)
Economia	Não	44000	29000 47000	(pico) (noite)
Investimento	Não	250000	260000	
Construção		necessário	necessário	

Fonte: TWG, 2002.

Os dados da Tabela III.21 nos mostram que o investimento tem um período de retorno entre 5 e 9 anos, conforme o tipo de forno a ser utilizado. Vale reforçar que o fator energia deve

ser analisado de forma preponderante na escolha do equipamento, em face dos impactos ambientais causados pelo uso da eletricidade.

3.2.3 Classificação dos Resíduos

São várias as maneiras de classificar os resíduos sólidos. As mais comuns são quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente e quanto à natureza ou origem (www.banasqualidade.com.br, agosto/2003) No primeiro caso, de acordo com a NBR 10004 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), resíduos sólidos podem ser identificados tal como a classificação dada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) em três níveis, conforme o impacto que apresentam sobre o meio ambiente:

Resíduos de Classe I, considerados perigosos.

Resíduos de Classe II, considerados não-inertes.

Resíduos de Classe III, considerados inertes.

Os principais resíduos sólidos resultantes da fundição de metais se enquadram na Classe I, por conterem metais pesados que contaminam o ar, o solo e os mananciais próximos às áreas de deposição. No caso das areias de fundição, as aglomeradas com resinas fenólicas são as mais prejudiciais ao meio ambiente, pois destroem boa parte da matéria orgânica da área de deposição, tornando o solo estéril e podendo ainda contaminar outros locais, ao serem levadas pelas águas pluviais. Os resíduos sólidos devem ser dispostos em aterros especializados e licenciados pela agência ambiental competente ou reciclados em equipamentos que também devem ter licença de funcionamento (Fundição e Serviços, 1998).

Dos resíduos gerados na indústria de fundição, a areia é classificada, segundo os critérios da NBR 10004 (ABNT, 1987a), como resíduo Perigoso (Classe I) ou como não inerte (Classe II), dependendo do processo de moldagem/macharia empregado (ABIFA, 1999).

Para os poluentes do ar ainda não existem padrões de emissão definidos. O CETESB aconselha que o seu controle seja feito através de sistemas escolhidos segundo o conceito da “melhor tecnologia prática disponível”, conforme mencionado no item 3.2.1. Deve-se registrar, que a melhor tecnologia prática disponível poderá não ser a ideal do mercado, ou

a exigida pelos organismos de controle ambiental. É importante que a empresa causadora de danos ambientais - ou em potencial de - leve em conta a relação custo benefício e a disponibilidade financeira da mesma para implementar as melhorias, sendo imprescindível um cronograma destas mudanças para informações aos órgãos fiscalizadores.

No entanto, na impossibilidade de execução das práticas necessárias a uma “produção mais limpa”, medidas restritivas deverão ser tomadas como forma de evitar que a comunidade local seja penalizada em favor de uma minoria societária empresarial.

3.3 Monitoramento de Resíduos da Indústria de Fundição

Diante do reconhecimento, por parte das organizações, da necessidade de controlar e melhorar seu desempenho ambiental, o enfoque das questões ambientais passou do controle para a prevenção da poluição (Vigolvinho Matos, 2002). Torna-se economicamente viável prevenir os possíveis riscos de degradação do meio ambiente e controlá-los para que não aconteçam, ao invés de se fazer investimentos nas conseqüências degradantes.

A necessidade em melhorar o desempenho ambiental não se restringe e não se deve unicamente a preocupação com o meio ambiente em si. Deve-se muito mais às questões legais (multas e outras penalidades), a imagem da empresa no mercado e as exigências de fornecedores e clientes, dispostos à interrupção das relações comerciais em situações onde o meio esteja sendo prejudicado.

Torna-se assim importante, que um novo conceito de gerenciamento quanto a redução de resíduos, tenha uma estrutura de ação fundamentada na sua prevenção e reciclagem. É uma medida mais interessante quanto à redução da degradação do meio ambiente, e ainda, atuando na prevenção o desembolso financeiro é recompensado, haja vista, a empresa não se enquadrar nos quesitos de passivos ou infrações ambientais.

Um programa de gerenciamento efetivo abrange, além dos aspectos tecnológicos, os aspectos educacionais, políticos e legais. Somente considerando todos os itens envolvidos no problema é que se pode garantir seu sucesso e continuidade (Vigolvinho Matos, 2002). O gerenciamento de resíduos, deve ainda, basear-se em ações preventivas preferencialmente às ações corretivas e deve ter uma abordagem efetivamente global, considerando que os

problemas ambientais e suas soluções estão determinados também por questões econômicas, físicas, sociais e culturais.

Todas as possibilidades de eliminação e/ou redução devem ser estudadas. Uma nova visão e postura quanto ao projeto e acompanhamento dos processos deve ser levada em conta. Ações de redirecionamento e melhorias dos processos deverão ser constantemente avaliadas, monitoradas e quando necessário e possível, implementadas. Após esgotadas as possibilidades de reaproveitamento e redução na geração de resíduos, os mesmos devem ser encaminhados para tratamento e destinação final adequados.

[M15] Comentário: estudadas ?

Segundo Galvão Filho, 2001, o Science Advisory Board dos US EPA (*United States Agency Protection Environmental*) sugere de maneira geral os seguintes passos:

1. dar foco aos esforços de proteção ambiental nas oportunidades de maior redução de risco ambiental.
2. promover importância na redução de riscos ecológicos como redução de riscos sobre a saúde humana.
3. melhorar os dados e metodologias analíticas que suportem o estudo, comparação e redução de diferentes riscos ambientais.
4. utilizar nos processos de planejamento estratégico do governo e do setor privado, prioridades baseadas em estudos de risco ambiental.
5. utilizar nos processos orçamentários do governo e do setor privado, prioridades fundamentadas em estudos de risco ambiental.
6. fazer maior uso das ferramentas disponíveis de risco ambiental em toda a nação.
7. emprego adequado da prevenção da poluição (P2) como uma forte opção para a redução do risco ambiental
8. aumentar os esforços para integrar as considerações de risco ambiental de forma mais abrangente nos aspectos de políticas públicas, de forma tão prioritária como os aspectos econômicos.
9. trabalhar para melhorar a compreensão pública dos riscos ambientais e treinar uma força de trabalho profissional que ajude a reduzi-los.
10. desenvolver métodos analíticos melhorados para valorar os recursos naturais e contabilizar os efeitos ambientais de longo prazo nas análises econômicas.

Se trabalhados conforme os passos acima e na correção dos mesmos quando necessário, a prevenção dos danos causadores de impactos ao meio ambiente deverá ser mais efetiva. Os custos conseqüentemente serão menores na prevenção do que os gastos verificados na correção dos problemas.

3.3.1 Conceito de Redução de Resíduos Industriais

De acordo com a definição dos US EPA (*United States Environmental Protection Agency*), redução de resíduos é a “diminuição, tanto quanto possível, de resíduos gerados, tratados, estocados ou dispostos. Inclui qualquer atividade de redução na fonte ou reciclagem, nas quais o resíduo é submetido a operações que reduzam seu volume total ou sua toxicidade” (Vigolvino Matos, 2002).

3.3.2 Programas e Técnicas de Redução de Resíduos

Técnicas simples, sem grandes dispêndios financeiros podem ser utilizadas para melhoria do processo e conseqüentemente melhoria dos resultados finais desejados. Como por exemplo, o treinamento dos profissionais envolvidos nos trabalhos pode ser uma alternativa de baixo custo e com excelentes resultados. Outra alternativa que pode resultar num custo maior, porém com ganhos para a empresa no quesito ambiental, seria o rastreamento dos insumos e possível troca dos mesmos.

Podemos afirmar, que as técnicas de redução, quaisquer que sejam elas, devem obedecer a um rigoroso e minucioso planejamento, considerando os seguintes itens:

- programar as medidas conforme a capacidade financeira da empresa;
- monitorar sistematicamente os processos e as medidas tomadas;
- não transferir o poluente de um meio para o outro;
- atender às legislações ambientais;
- interferir no processo, redirecionando-o, se necessário.

As medidas de redução, conforme a “Produção Mais Limpa” e o WMOAM – Waste Minimization Opportunity Assessment Manual, englobam:

- redução na fonte, com alterações no produto e controle das fontes
- e reciclagem, com recuperação e reutilização

As alterações no insumo se referem à substituição do mesmo ou na alteração da sua composição. O controle das fontes pode ser nos insumos, na alteração tecnológica, ou ainda, nas boas práticas operacionais.

Segundo a WMOAM (1988), a utilização e a reutilização diretas constituem o retorno do material residual, quer seja no processo original, quer seja como substituto de um material em outro processo. Já a recuperação, como o próprio nome indica, consiste em recuperar um composto utilizável de um resíduo e reutilizá-lo fora ou dentro do próprio processo industrial.

Um fluxograma para a técnica de redução de resíduos pode ser visualizado na Figura 3.6. Esta técnica pode ser aplicada em qualquer processo industrial ou de serviços, com as devidas adaptações e especificações necessárias.

Podemos através de alguns passos, representar as etapas da “Produção Mais Limpa” como sendo um roteiro básico de bom desempenho da empresa na questão de preservação ambiental:

- Diagnóstico ambiental e de processos – onde todo um levantamento deverá ser feito por peritos da empresa e por profissionais que lidam no dia-a-dia manuseando e/ou operacionalizando os processos, para obtenção de informações de insumos, equipamentos, materiais e demais dados que sejam necessários.
- Elaboração de balanço de massa e de energia locais – através dos dados coletados anteriormente e de outras informações disponíveis, deverá ser feito um levantamento das “entradas” e das “saídas” de toda a empresa, quanto à massa e à energia utilizada.
- Identificação de oportunidades de produção mais limpa – após a análise das informações anteriores, estudos deverão se realizar para que sejam encontradas oportunidades de redução e/ou eliminação de desperdícios, como forma de evitar a geração de resíduos e conseqüentemente dispêndio de recursos financeiros.

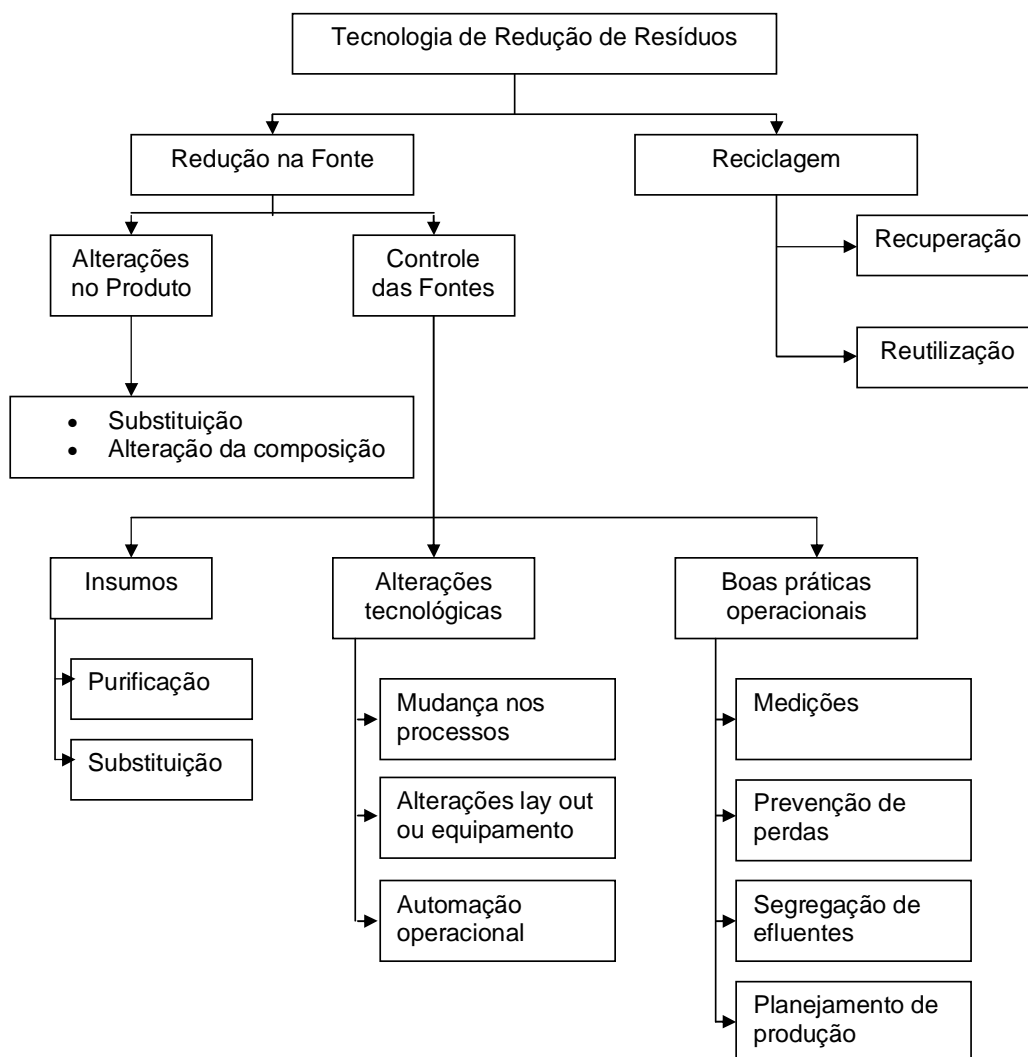


Figura 3.6: Tecnologia de redução de resíduos. Fonte: WMOAM, 1988

• Implementação e monitoramento – esta etapa é de suma importância, pois todo desvio deverá ser conduzido como forma de alcançar os objetivos conforme a necessidade verificada e replanejada.

Conforme o Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, 2002, alternativas de redução de resíduos de um processo de fundição podem ser visualizadas na Tabela III.22

Tabela III.22: Alternativas de redução de resíduos de um processo de fundição.

RESÍDUOS SÓLIDOS
Eliminação de vazamento de equipamentos.
Desenvolvimento de um plano de prevenção de vazamentos.
Melhoria (supervisão e controle) do procedimento de carregamento, descarregamento e transporte de areia de moldagem e seus componentes.
Melhoria do procedimento de limpeza.
Melhoria da operacionalização das baias de peças para retorno ao processo.
Adoção de um sistema de gerenciamento ambiental fundamentado na prevenção de resíduos.
Substituição do pó de carvão por material menos poluente.
Reaproveitamento da lama dos lavadores de pó no sistema de preparação da areia de moldagem.
Diminuição da quantidade de areia agregada às peças.
Pesquisa para a determinação da influência das variáveis de processo no desempenho da areia de moldagem – controle do processo.
Uso do resíduo em outro processo (pesquisa e desenvolvimento da viabilidade técnica e ambiental do uso da areia de fundição em processos de fabricação de outros produtos).
Recuperação/regeneração para retorno da areia ao processo como matéria prima.
EFLUENTES LÍQUIDOS
Sistemas de água de resfriamento ou aquecimento em circuitos fechados.
Reaproveitamento da água dos sistemas de lavagem do pó de exaustão, para adição de água no próprio processo.
EMISSIONES GASOSAS
Substituição de materiais responsáveis pela geração de gases tóxicos por materiais menos poluentes – P&D.

Fonte: Revista fundição e serviços, julho/2002.

O ideal é que possamos passar de um ciclo de vida aberto do produto para um ciclo de vida fechado e que repercuta positivamente no meio ambiente, conforme Figuras 3.7 e 3.8:

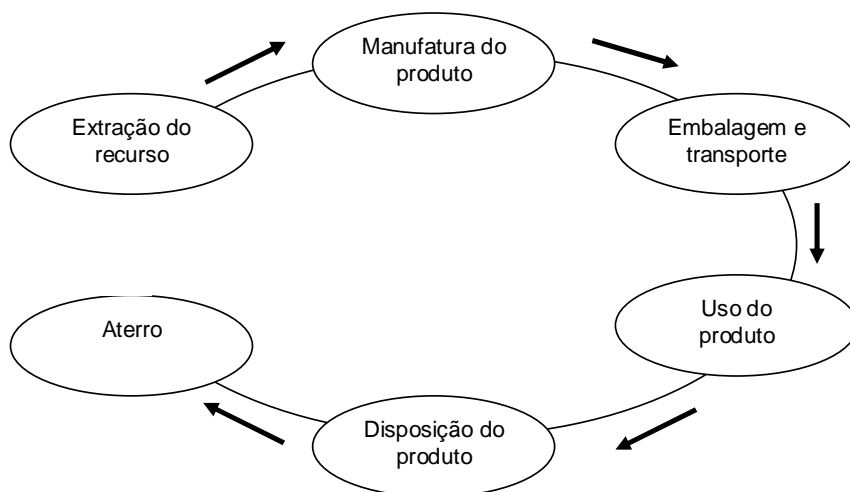


Figura 3.7: Ciclo de vida do produto (aberto). Fonte: Rundman, Karl. Reference Book for MY4130

Outra técnica similar e que poderá ser útil na redução dos resíduos, é a adaptação do modelo americano de estudo de gerenciamento de risco apresentado a seguir:

1. Identificação do risco.
2. Caracterização do risco.
3. Estudo de prioridade/degradação.
4. Desenvolvimento e escolha de alternativas.
5. Projeto e implantação.
6. Monitoramento e revisão.

O Environmental Pollution Prevention Project (EP3, 1995), sugere uma variedade de estratégias para tratar os resíduos. Uma hierarquia tem sido desenvolvida para priorizá-las. São estratégias, que reduzam ou eliminem os resíduos antes da geração dos mesmos, sendo preferenciais ante o tratamento e disposição desses resíduos. Esta hierarquia é apresentada na Tabela III.23.

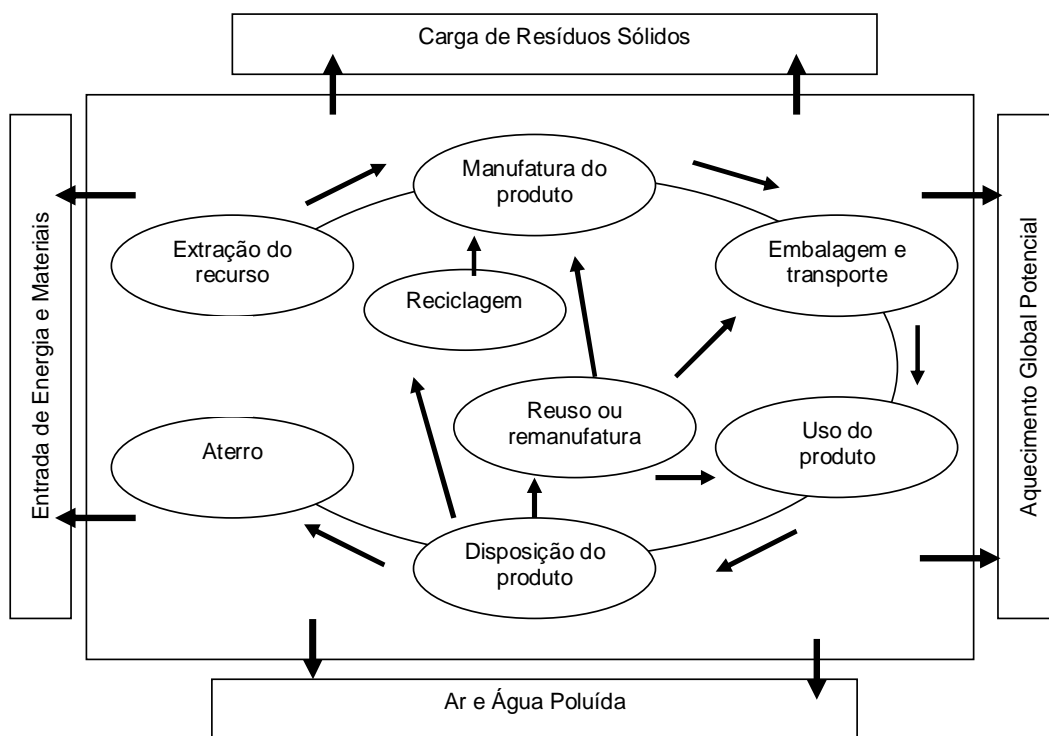


Figura 3.8: Ciclo de vida do produto (fechado). **Fonte:** Rundman, Karl. Reference Book for MY4130

Todas as técnicas e possibilidades estudadas sejam elas, extensas ou não, têm um eixo comum, onde se deve ter em mente a análise inicial do problema, a condução do mesmo e o seu monitoramento/revisão.

Mesmo sabendo que os custos de redução e/ou eliminação de resíduos venham ser onerosos, pois poderão resultar em um investimento significativo de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), esta ainda é a melhor opção quando se analisa sob o ponto de vista ambiental. Culturalmente, as empresas durante muitos anos extraíram, utilizaram e dispuseram o excedente sem maiores preocupações com o meio ambiente, o que significa dizer, sem preocupações com a sociedade que interagia com o meio envolvido nas operações das empresas. Portanto, esta hierarquização apresentada pelo EP3, é a situação desejada pelos organismos de defesa ambientais, que impele as nações ao

desenvolvimento necessário sem, no entanto, impedir que outros venham usufruir o ambiente explorado anteriormente. É este denominado “desenvolvimento sustentável” que deveria permear toda e qualquer ação que envolvesse empresas e nações.

Tabela III.23: Hierarquia de gerenciamento ambiental

Prioridade	Método	Exemplo	Aplicações
1	Prevenção (redução na fonte)	<ul style="list-style-type: none"> Mudança de processos Design de produtos que minimizem impactos ambientais Eliminação na fonte 	<ul style="list-style-type: none"> Modificação no processo para evitar/reduzir uso de solvente Modificação no produto para estender a camada de vida
2	Reciclagem	<ul style="list-style-type: none"> Reuso Recuperação 	<ul style="list-style-type: none"> Reciclando solventes Recuperação do metal por uso de banho
3	Tratamento	<ul style="list-style-type: none"> Estabilização Neutralização Precipitação Evaporação Incineração Atrito 	<ul style="list-style-type: none"> Destruição térmica de solventes orgânicos Precipitação de metais pesados pelo uso de banho galvânico
4	Disposição	<ul style="list-style-type: none"> Disposição em instalações permitidas 	<ul style="list-style-type: none"> Disposição em aterro

Fonte: Environmental Pollution Prevention Project – Training Manual, 1995.

3.4 Resíduo de Fundição em empresas instaladas em outros países

O tratamento dos resíduos de fundição em empresas de outros países, tem alcançado melhores resultados conforme o aperfeiçoamento e exigência no cumprimento da legislação. Nos países onde se concentram as indústrias de fundição, bem como, em todo o mundo produtivo, além das regulações ambientais, as relações com a comunidade, a competição global e a necessidade em reduzir os custos de (pós) operação, tem levado as

empresas a adotarem comportamentos cada vez mais benéficos ao ambiente, seja de forma direta ou indireta.

3.4.1 Indústria de Fundição Americana

Panorama Geral da Indústria Americana

A indústria de fundição é uma das mais importantes e mais antigas instituições dos Estados Unidos. Foi estabelecida nos EUA em 1642. Em 1776, “sete homens de fundição” assinaram a declaração da independência. Hoje, no século XXI, estas indústrias estão ajudando a abastecer a prosperidade da nação. A indústria de fundição é vital para a economia e segurança da nação. Esta indústria ajuda os EUA a tornar-se o benchmark do mundo em produção, ciência, medicina e atividade aeroespacial e está ajudando a manter esta posição (A vision for the.U.S. Metal Casting Industry, 2002).

O futuro assegura grandes promessas à indústria de fundição. Novos avanços têm permitido à indústria empregar materiais como alumínio, magnésio, titânio, zinco, cobre e ferro com altas produções e formas variadas e complexas. Cada vez mais, a indústria de fundição americana deverá reduzir seu custo de produção para permanecer competitiva e concorrer com concorrentes globais (A vision for the.U.S. Metal Casting Industry, 2002).

A maioria das indústrias de fundição americanas é de pequeno porte. Isto faz com que as mesmas não tenham condições de investimento em pesquisa e desenvolvimento. A saída para esta situação, é a ação conjunta de organismos empresariais, governos e parcerias para ratear e promover o desenvolvimento dessas pequenas empresas.

Um dos grandes desafios da indústria americana é a restrição e rigorosa legislação ambiental, além do alto custo de mão de obra local. A resposta a estes desafios é a alta produção com ganhos de produtividade e tecnologia de processamento, o que poderá fazer com que os custos se tornem atrativos para os clientes.

Dados sobre a indústria de fundição dos EUA (A vision for the.U.S. Metal Casting Industry, 2002 e FIRST, 2001):

- 90% dos bens manufaturados contém um ou mais produtos de fundição.
- A indústria de fundição totalizou um carregamento de 14,3 milhões de toneladas em 2000.
- Os EUA possuem 21% do mercado mundial na produção de fundidos.
- A indústria de fundição consome 328 trilhões de BTU's (*British thermal unit*) anualmente.
- O custo anual de energia da indústria de fundição está em torno de 1 bilhão de dólares.
- A energia usada na indústria de fundição é equivalente a energia residencial combinada consumida nas cidades de New Hampshire, Rhode Island, New México, Wyoming e Hawai.
- Existem aproximadamente 3.000 companhias de fundição em 49 estados dos EUA.
- A indústria de fundição emprega em torno de 225.000 pessoas.
- A maioria das empresas é de pequeno porte, com 80% tendo menos de 100 empregados e apenas 6% empregando acima de 250 pessoas.
- As principais fundições estão nos estados de Alabama, Indiana, Illinois, Michigan, Pensilvânia e Wisconsin.
- A indústria de fundição consome de 15 a 20 milhões de metal reciclado anualmente, dando nova vida a produtos que poderiam ser destinados a aterro.
- A indústria de fundição usa 100 milhões de toneladas de areia anualmente. Apenas 6% não podem ser reusadas por muito tempo, tornando-se indisponível.

A Figura 3.9 apresenta o percentual de utilização de energia nas indústrias de fundição americanas em relação ao consumo total. Conforme o dado acima, onde se tem que o consumo total gira em torno de 330 trilhões de BTU's, é uma situação onde fontes alternativas de energia deverão ser estudadas e desenvolvidas no futuro, evitando problemas de distribuição e captação de energia no país, além do impacto ambiental ao meio.

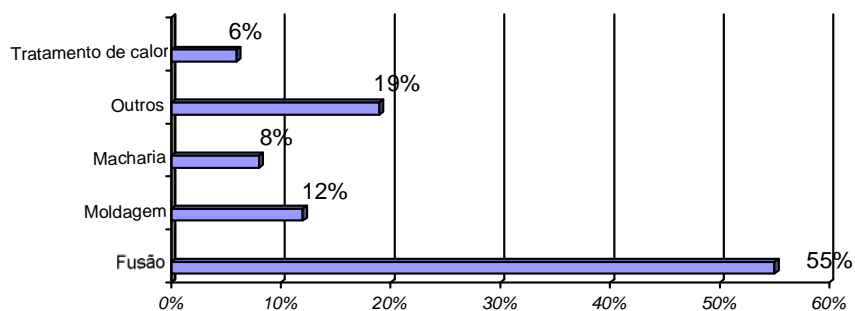


Figura 3.9: Energia processada na indústria de fundição americana (% de custos totais).

Fonte: A vision for the U.S. Metal Casting Industry, 2002.

Em torno de 40% dos custos de uma fundição americana são para controle, tratamento e uso do ar. Os resíduos sólidos perigosos representam em torno de 33%. É estimado que os custos de conformidade ambiental signifiquem aproximadamente 2% dos custos de uma fundição. A expectativa é que a exigência das regulações ambientais amplie este valor para algo em torno de 5%. Podemos observar o custo médio ambiental na indústria de fundição americana na Figura 3.10.

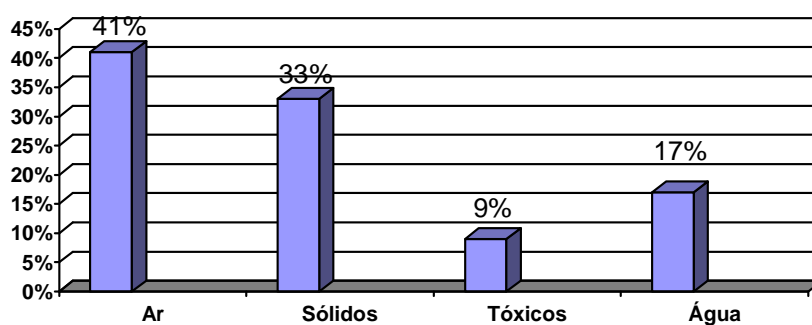


Figura 3.10: Custo percentual médio ambiental da indústria de fundição americana. Fonte: A vision for the U.S. Metal Casting Industry, 2002.

Situação da indústria de fundição americana nos anos de 1950 e 2000:

O fluxo dinâmico de uma indústria de fundição com o ciclo aberto é ilustrado esquematicamente na Figura 3.11, representando um diagrama típico de uma fundição americana dos anos 50. Vale notar que em 1950, o único material reciclado era o metal. Os sólidos restantes, os líquidos e os gases eram dispensados (Karl Rundman, Book for MY 4130). Acredita-se que dada a insipiência das leis da época, estes rejeitos não eram adequadamente dispostos, se tornando desde então problemas ambientais volumosos e crescentes no decorrer dos anos.

Os materiais sólidos, líquidos e gases que são imprescindíveis no processo de fundição, mas que não aparecem no produto final, pois são perdidos no decorrer do processo, são também muito importantes. Este conceito é ilustrado esquematicamente na Figura 3.12, em um esquema típico de uma fundição do ano 2000, em que, resíduos sólidos, líquidos e gasosos são levados a fechar o ciclo com tecnologias apropriadas. Pode se ver que os sólidos, líquidos e gasosos no ciclo, têm sido incorporados por dispositivos de limpeza do ar e água e por dispositivo de recuperação de areia, através de dispositivos mecânicos para reutilização.

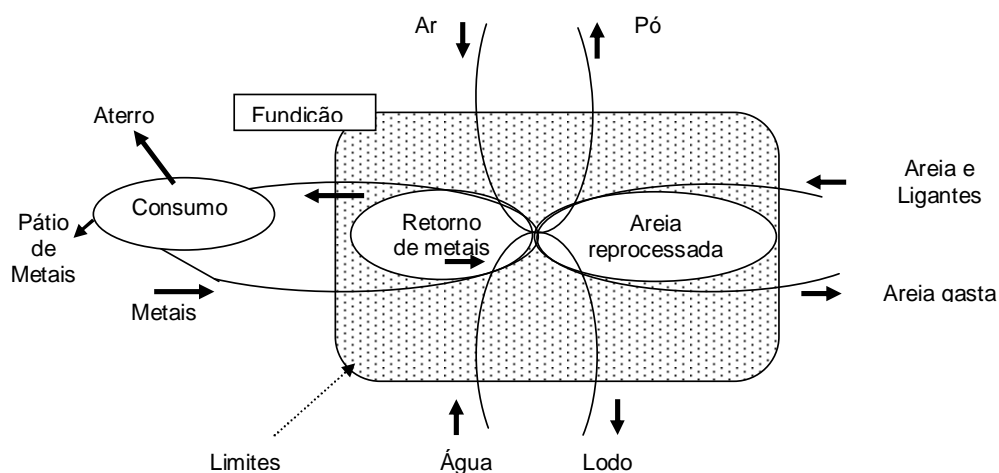


Figura 3.11: Fluxo de materiais em uma fundição americana no ano de 1950. Fonte: Rundman, Karl. Reference Book for MY4130

Estes esforços para controlar o fluxo de materiais dentro e fora das indústrias de fundição têm sido feitos em resposta à necessidade em melhorar o meio ambiente como um todo, respeitando tanto os empregados, como as comunidades circunvizinhas onde as empresas se encontram instaladas.

Legislação americana pertinente à indústria de fundição

Um sumário parcial (significante) da legislação americana segue abaixo:

- 1963 – Ato do ar limpo
 - 1965 – Ato de disposição de resíduo sólido
 - 1970 – Ato de recursos de recuperação
 - 1970 – Ato do ar limpo – Emendas; Emissão padrão para plantas industriais e automobilísticas
 - 1970 – Ato da água limpa
 - 1976 – Ato de recuperação e conservação de recursos– Regulação geral, armazenamento, transporte, tratamento e disposição de resíduos perigosos
 - 1977 – Ato do ar limpo – emendas
 - 1977 – Ato da água limpa – Necessidade mínima de tratamento
 - 1980 – Ato de compensação e responsabilidade – emendas para conservação e recursos de recuperação
 - 1984 – Emendas de resíduos sólidos e perigosos
 - 1986 – Ato de reautorização e emendas
 - 1990 – Ato do ar limpo – Emendas; Metas para redução da poluição do ar em 90% até o ano 2000 – Identificação de fundição de ferro e aço como fonte importante e potencial de Cr, Co, Pb, Mn, Ni, Se, formadeído, fenol, tolueno, xileno, material orgânico policíclico.
- Das leis citadas acima, o Clean Air Act Amendment (CAAA), de 1990, poderá afetar profundamente e causar um grande impacto na situação econômica das fundições americanas a partir do ano 2000. Conforme a Cast Metals Coalition, 2002, estima-se, que nos próximos cinco anos, o custo do país para adequar a conformidade ambiental gire em torno de U\$750 milhões, principalmente em função das metas programadas na aplicação do Ato do Ar Limpo/1990.

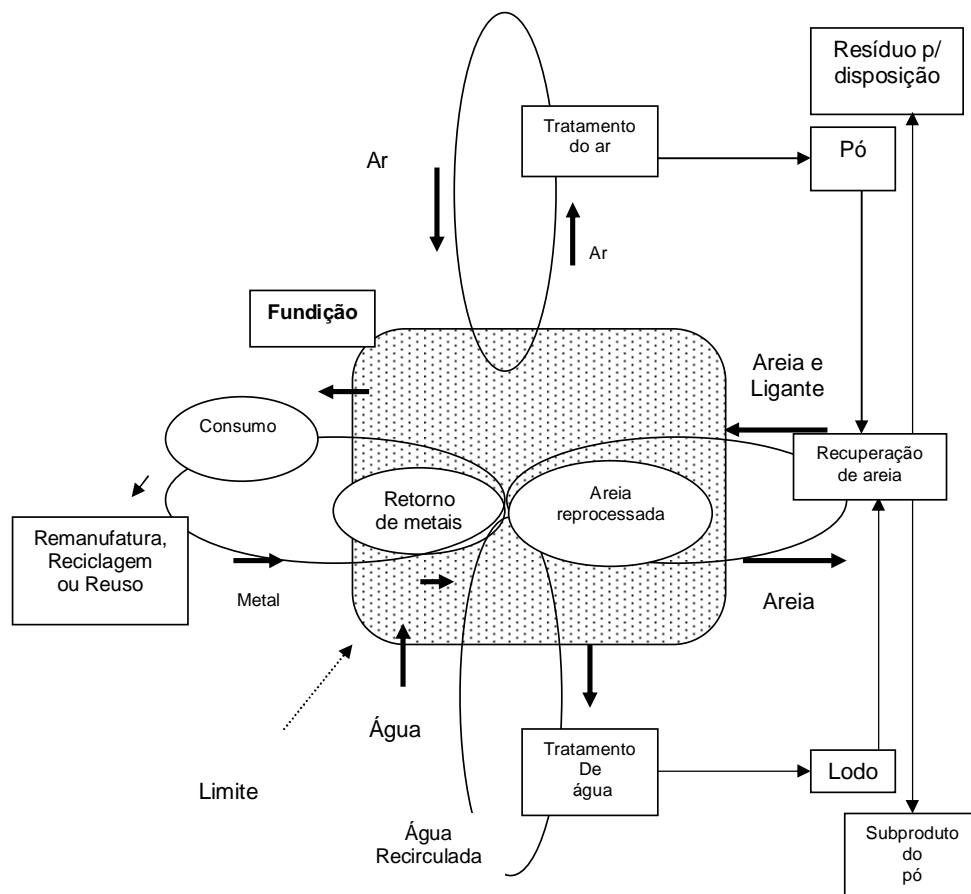


Figura 3.12: Fluxo de materiais em uma fundição americana do ano 2000. Fonte: Rundman, Karl. Reference Book for MY4130

Na Tabela III.24, podemos analisar com maiores detalhes, dentre outras leis, as que mais afetam a indústria de fundição americana.

Tabela III.24: Importantes Leis Ambientais que Influenciam a Indústria de Fundição Americana

Lei	Resíduo Alvo	Requisito Geral
Ar Limpo	Particulado, poluentes do ar perigosos	Equipamento de controle de emissões, monitoramento, informação e permissão
Água Limpa	Água residual	Pré-tratamento do resíduo e prioridade para descarga de água, limites de descarga e programa de permissão para descargas
Recuperação e Conservação de Recursos – subtítulos C e D	Areia usada e escória - resíduo característico	Restrições sobre transporte, estocagem e disposição (disposição na terra)
Reautorização e emendas - Título III	Todo fluxo de resíduos liberados (areia usada, particulado, escória, água residual, lodo, etc) contendo (tóxico) químicos	Registro sobre os tipos e quantidade de emissões e comunicação sobre uma base anual

Fonte: Environmental Compliance in the Foundry Industry, Energetics, Inc., June 1995

Uso alternativo dos resíduos da indústria de fundição americana

A utilização dos resíduos de fundição na indústria americana encontra algumas barreiras. Estas incluem a carência de conhecimento do uso potencial de resíduos de fundição como substitutos de outras matérias primas e a falta de uso viável do fluxo (quantidade gerada) desses resíduos. Outras barreiras encontradas se encontram na Tabela III.25.

Tabela III.25 :Importantes Barreiras de Tecnologia Ambiental

Area	Barreiras
Caracterização do Resíduo	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de dados para avaliação adequada do impacto dos ligantes de moldes e macho ou outros aditivos da areia • Falta de dados para selecionar direito a tecnologia para produzir ou entregar metal fundido para moldagem • Falta de informação sobre o projeto e reconfiguração dos processos comuns de fundição, ferramentas, equipamentos e materiais para reduzir traumas cumulativos • Falta de sistemas para identificar fragmentos no estágio precoce onde o valor agregado do componente é baixo • Falta de entendimento dos efeitos dos elementos na saúde pública
Utilização do Resíduo	<ul style="list-style-type: none"> • Presença de longa duração dos materiais em resíduos • Falta de método para remoção do zinco e óleo residual da água • Falta de sistema de identificação para reciclagem de materiais • Falta de uso viável para o fluxo de resíduos • Identificação e aplicação de soluções ambientais em um objetivo móvel
Institucional	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de mão de obra formada • Requisitos ambientais muitas vezes baseados sobre o social em vez de considerações técnicas

Fonte: A vision for the.U.S. Metal Casting Industry, 2002.

Conforme Karl Rundman, 2000, O uso dos grãos de areia (torrões e finos) é uma alternativa de uso nos EUA para:

- a. Agregados em asfalto
- b. Agregados em concreto
- c. Estoque de carga em fornos de cimento
- d. Estoque de carga em produção de vidros
- e. Cobertura em aterros

Segundo o autor, estas opções de uso estão num estágio inicial, com as letras a, c e e, atualmente em processo em vários locais do País. Na Figura 3.13, Rundman apresenta que após a operação de fundição, a areia desmoldada é dividida em dois componentes. O maior

componente é reutilizado para fazer novos moldes, enquanto a menor parte é tratada como resíduo, peneirando finos e torrões produzidos pelo atrito em altas temperaturas.

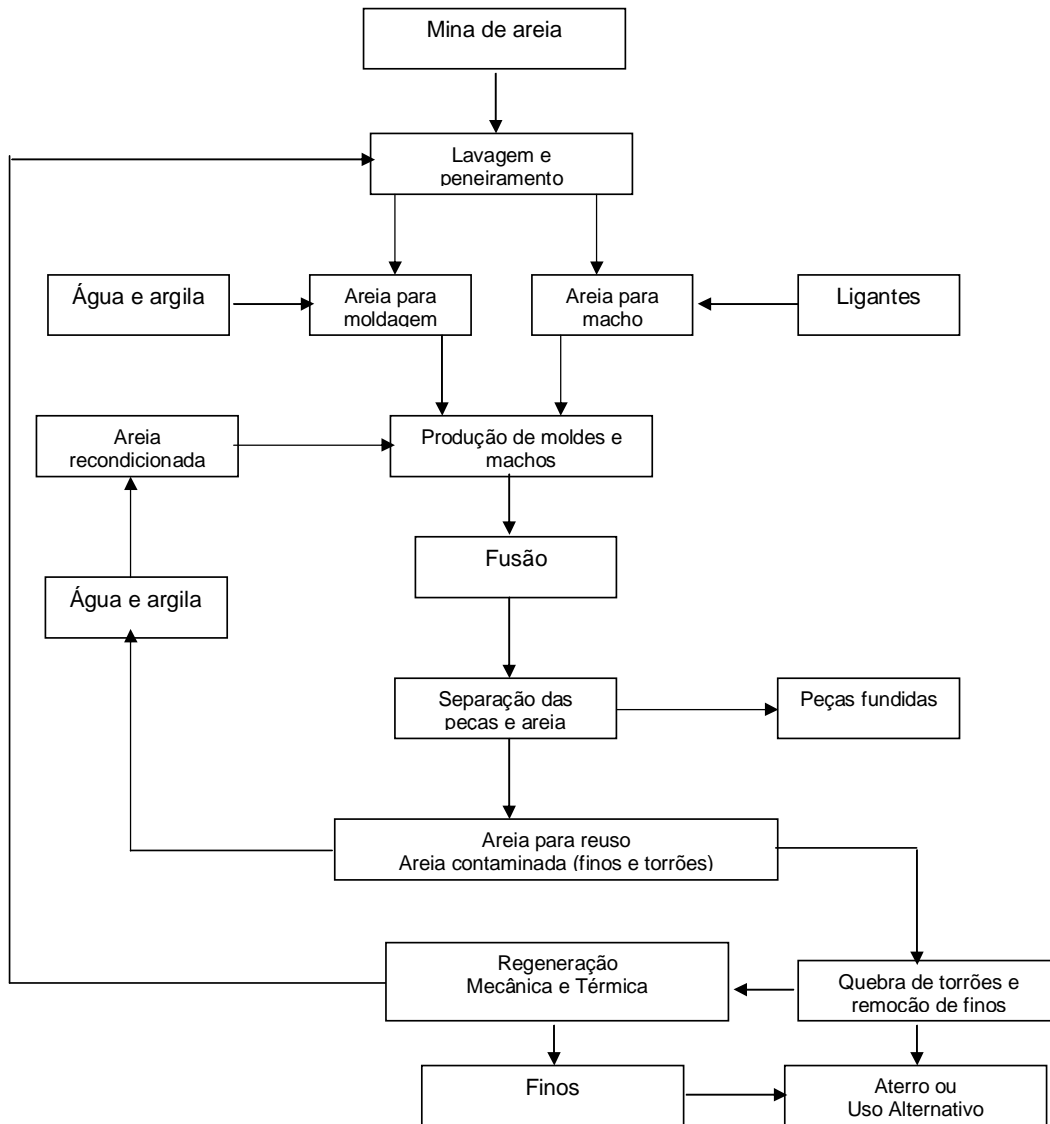


Figura 3.13: Operação de fundição e disposição da areia. Fonte: Rundman, Karl. Reference Book for MY4130

FIRST – Foundry Industry Recycling Starts Today

O FIRST é um consórcio que tem o objetivo focado em desenvolvimento de opções para reciclagem e reuso de sub-produtos da indústria de fundição americana. Esta instituição foi criada em 1998 com a missão de criar sustentabilidade para a indústria. Em torno de 100 milhões de toneladas de areia de fundição são utilizadas anualmente nos EUA, onde 90% desta areia é reutilizada no processo. O percentual não reaproveitado na fundição depende de alternativas para que não seja descartado em aterros. O consórcio é formado pela Sociedade Americana de Fundição (AFS), pela Agência de Proteção Ambiental (EPA), pelo Departamento de Energia Americano (DOE), pelo Departamento de Agricultura (USDA), pela Agência de Proteção Ambiental Região 5 – Chicago e pelo Departamento Federal de Transporte Americano. A Agência de Proteção Ambiental Região 5 engloba os estados de Illinois, Michigan, Minnesota, Ohio, Wisconsin, locais onde se concentram grandes empresas de fundição americanas (<http://www.foundryrecycling.org/>).

Visão Futura da Indústria Americana de Fundição

A indústria americana tem especificado metas num longo prazo como exercício de visão de futuro. Alcançando essas metas, poderá adicionar um aumento de produtividade, eficiência de energia e desempenho ambiental. Espera-se que no ano de 2020, a energia requerida para a produção de fundidos seja reduzida em 20% se comparada com a energia requerida em 1998. Ainda em 2020, segundo a A vision for the.U.S. Metal Casting Industry, 2002, os resíduos sólidos não recicláveis e liberações químicas poderão ser reduzidos em até 20% na indústria de fundição americana.

Visão:

Os executivos das indústrias de fundições americanas prevêm pressões diversas de mercado nos próximos 20 anos. Com base nesse cenário, eles desenvolveram planos futuros, definindo metas de longo prazo e as competências requeridas para sobrevivência e crescimento.

Mapa/rota (roadmap):

Baseado no cenário traçado, a indústria investiu com detalhes em P&D (pesquisa e desenvolvimento), especificando os passos necessários para o alcance da visão. O plano prioriza uma seqüência de atividades necessárias para o longo prazo.

Implantação:

Após a consecução dos planos, as indústrias deverão reunir parceiros que poderão ser outras companhias, fornecedores, associações técnicas, universidades, laboratórios e outros. Estes parceiros pesquisarão tecnologias que possibilitem e auxiliem o alcance da visão. No entanto, a aplicação dessas tecnologias nas pequenas empresas poderão se tornar dispendiosas, inviabilizando nas mesmas a implantação de algum empreendimento.

Novas estratégias tecnológicas:

As indústrias reverão e atualizarão seus planos periodicamente para estudar novos negócios e desenvolvimentos. A formação de parcerias poderá facilitar o processo de implementação dessas tecnologias para as pequenas empresas, justificando assim, a necessidade de apoio no processo de P&D visando uma redução e compartilhamento de custos (A vision for the.U.S. Metal Casting Industry, 2002).

A prevenção da poluição no futuro da indústria de fundição americana poderá requerer esforços para:

- focar uma possível mudança de projeto que possa minimizar os resíduos;
- explorar alternativas de aglomerantes (para areia) de desenvolvimento dimensional mais estável e resistentes para o rigor da indústria de fundição, porém, com recuperação mais amigável;
- desenvolver processos para macharia e moldagem que poderão ter combustão mais completa e produzir um mínimo de produtos perigosos;

- desenvolver e usar equipamentos mais sofisticados para separação de novas cargas de material com vistas à minimização de contaminantes, como por exemplo, chumbo e cádmio;
- aumentar a produção de fundidos, por uso inovador de técnicas de fundição e desenvolvimento de novas tecnologias;
- explorar novas fontes de cargas de material; por exemplo na indústria de ferro fundido, prospectar uma possível redução de ferro (Karl Rundman, 2000).

3.4.2 Indústria de Fundição Européia

Panorama geral da indústria de fundição européia

A indústria de fundição européia é a terceira maior produtora do mundo de materiais fundidos ferrosos e a segunda maior do mundo de materiais fundidos não ferrosos. A produção anual de fundidos na União Européia alcançou a marca de 11,7 milhões de toneladas de ferrosos e 2,8 milhões de toneladas de não ferrosos.

Os países da Alemanha, França e Itália, são os três primeiros em produção de fundidos da Europa, com um total anual de produção em torno de 2 milhões de toneladas cada um. Nos anos recentes, a Espanha e a Grã Bretanha ocuparam o quarto lugar, com ambas apresentando uma produção em torno de 1 milhão de toneladas de fundidos. Estes cinco países citados produzem em torno de 80% dos fundidos do total da produção européia.

Embora o volume de produção esteja relativamente estável nos últimos cinco anos, existe um declínio no número total de fundições (atualmente em torno de 3000 indústrias), refletindo também no número de empregados (em torno de 260.000 pessoas atualmente). Isto pode ser explicado pela produção em alta escala e automação nas indústrias de fundição. Entretanto, a indústria de fundição é predominantemente de pequenas indústrias, com 80% das companhias empregando menos de 250 pessoas.

Os mercados atendidos pela indústria de fundição européia são o automotivo (50% de participação no mercado), engenharia geral (30%) e setor de construção (10%). Um

crescente aumento da indústria automotiva em direção aos veículos leves, tem sido refletido em um crescimento do mercado de fundições de alumínio e magnésio. Enquanto a fundição de ferro destina 60% para o setor automotivo, a fundição de aço tem seu mercado na construção, máquinas e indústria de válvulas (JRC et al, 2004).

[M16] Comentário: refletido?

Areia residual nas fundições europeias: regeneração, reciclagem, reuso e disposição em aterro

Nas indústrias de fundição europeias, como nos outros países, a areia é um material primário de grande utilização para a fundição como um todo. E também, como em outras partes do mundo, a areia é o ponto de preocupação principal quanto ao desempenho ambiental dessa indústria. Segundo o documento sobre as melhores práticas disponíveis na indústria de fundição, elaborado pela Integrad Pollution Prevention and Control, 2004, Instituto de Estudos para Prospectiva Tecnológica e Escritório Europeu de Tecnologias para Desenvolvimento Sustentável da Comissão Europeia (2004), uma clara distinção deve ser feita entre a areia verde e areia com ligantes químicos. Segundo a Integrad Pollution Prevention and Control, 2004, a areia verde pode ser facilmente recondicionada após o uso, através da regeneração primária. Este processo é também conhecido como grande atrito, envolvendo uma forte agitação das areias dos moldes ou machos para retornar aos tamanhos originais dos grãos. Isto inclui peneiramento da areia, remoção dos metais e separação e remoção de finos e outros aglomerantes.

Na regeneração secundária, conforme a Integrad Pollution Prevention and Control, 2004, em alguns casos se acha desnecessário a utilização de areia nova. Para a remoção dos resíduos, técnicas mais agressivas são utilizadas. Dentre estas técnicas, as principais são: tratamento mecânico a frio, tratamento térmico e atrito úmido. Para areia com ligantes químicos, a regeneração mecânica é a mais utilizada (mais de 200 unidades de fundição na Alemanha em 1999).

A aplicabilidade das várias técnicas de regeneração e de areia regenerada está mostrada nas Tabelas III.26 e III.27

Tabela III.26: Campo de aplicação de diferentes sistemas de regeneração de areia simples

Tipo de areia	Técnica de regeneração	Equipamento de regeneração	Utilização	Condições	Quantidade mínima (t/h)
Monossistemas orgânicos					
Grupo de cura a frio	Mecânica ou térmica	<u>Mecânico</u> : Fricção, impacto, pneumático <u>Térmico</u> : leito turbulente, leito fluidizado ou forno rotativo	- Para confecção de molde usando grupo de cura a frio 20-25% - substituição de areia nova para confecção de macho de cura a frio	<u>Mecânica</u> : - Somente se tiver ligante Shell por causa do fluxo bastante frágil - Avaliar o alvo da qualidade regenerada encontrada	1.5
Caixa fria, SO ₂ , caixa quente e areia pelo processo cronig	Mecânica ou térmica	<u>Mecânico</u> : pneumático, fricção centrífuga, leito fluidizado . <u>Térmico</u> : leito turbulento, leito fluidizado ou forno rotativo	Em confecção de macho como areia nova substituta	<u>Mecânica</u> : - Somente se tiver ligante Shell por causa do fluxo bastante frágil - Avaliar a orientação da qualidade regenerada - Reuso dos finos	0.75
Areia endurecida resol-ester methyl	Mecânica	<u>Mecânico</u> : fricção, impacto e pneumático	Com limitações em confecção de molde com areia formato methyl	- Regeneração como cura a frio resol-ester mas com baixo rendimento - Embrittlement de componentes ligantes	
Monossistemas inorgânicos					
Areia verde	Mecânica	Pneumático, trituração	Renovação de areia no circuito de areia nova	- Requer pré secagem - Reuso dos 0.5 finos	0.75
Areia silicato de sódio	Mecânica		Somente confecção de moldes e machos usando areia silicato de sódio	Britagem dos componentes ligantes a 200° C	

Fonte: (128, IHOBE, 1998); (225, TWG, 2003)

Tabela III.27: Campo de aplicação de diferentes sistemas de regeneração para areias misturadas

Tipo de areia	Técnica de regeneração	Equipamento de regeneração	Utilização	Condições	Quantidade mínima (t/h)
Sistema orgânico misturado	Mecânica ou térmica	<u>Mecânica</u> : pneumático, fricção centrífuga, leito fluidizado <u>Térmico</u> : leito turbulento, leito fluidizado ou forno rotativo	Confecção de macho substituindo areia nova	<u>Mecânica</u> : - Somente se tiver ligante Shell - Avaliar a qualidade regenerada - Reuso dos finos	0.75
Areia misturada contendo bentonita	Mecânica ou mecânica-térmica-mecânica		- Confecção de macho substituindo areia nova - Renovação de areia no circuito de areia nova	- Requer pré secagem - combinação térmica de regeneração requer regeneração mecânica eficiente para remoção de bentonita ativa - reuso dos finos	0.75

Fonte: (128, IHOBE, 1998)

As técnicas de regeneração de areia, podem significar um valor de 92% de areia recuperada, conforme a Figura 3.14. Esta Figura apresenta o balanço para um sistema de regeneração térmico-mecânica

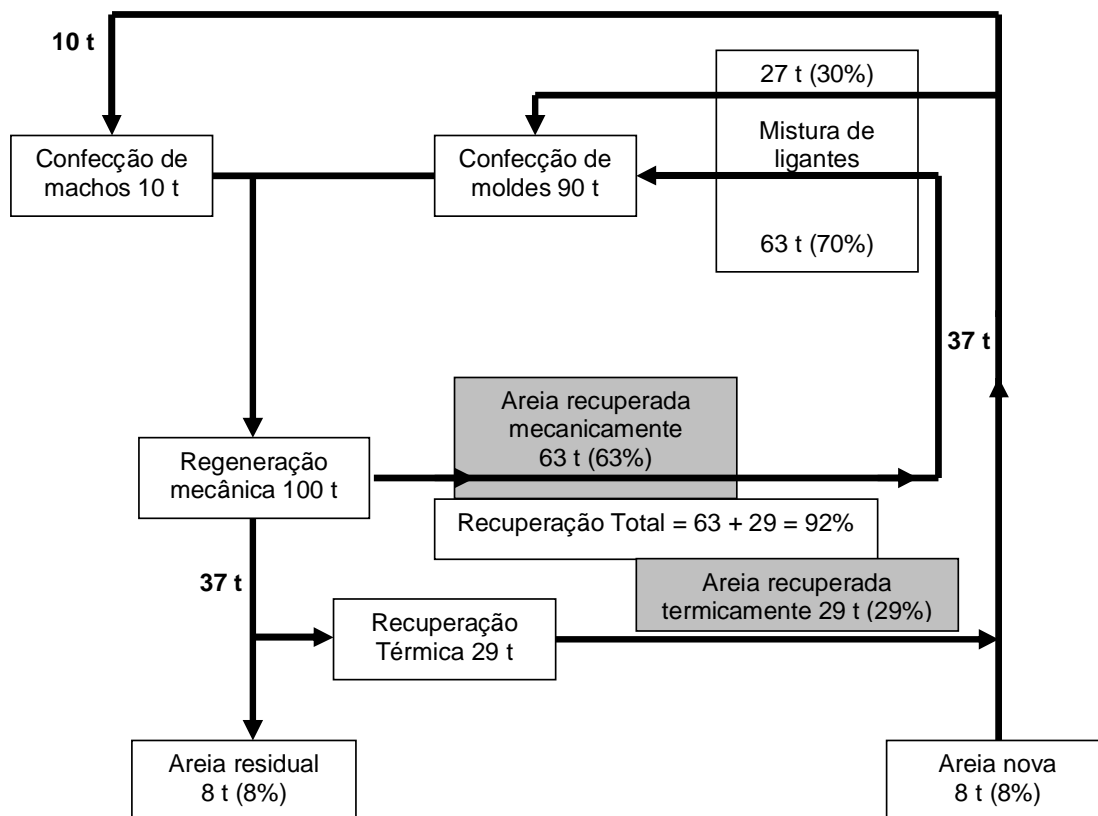


Figura 3.14: Diagrama de balanço de areia de um sistema de regeneração térmico-mecânico. Fonte: Integrated Pollution Prevention and Control, 2004.

Tipos de regeneração de areia, benefícios ambientais e economia auferida nas indústrias de fundição europeias

a) Regeneração de areia verde – regeneração primária (Integrated Pollution Prevention and Control, 2004)

Segundo o Integrated Pollution Prevention and Control, 2004, uma das maiores vantagens em usar moldes de areia verde é que a areia destes moldes pode ser recondicionada após o vazamento para reuso múltiplo. A regeneração básica tem três objetivos, quebrar a areia em grãos de tamanho original ou partículas pequenas, remover os finos e esfriar a areia

antes da mistura com nova areia. Várias técnicas são aplicadas para a quebra e regeneração, tais como, vibração, tambor rotativo e jateamento de granalha.

Benefícios ambientais: redução do uso de matéria prima, como areia e bentonita e redução da disposição de material residual.

Economia: o custo benefício de areia recuperada é mostrado na Tabela III.28, relacionando a aquisição de areia, recuperação desta e amortização do investimento de regeneração.

Tabela III.28: Custo de recuperação de areia

Descrição	Custo (EUR/t de areia)
Preço médio de areia de sílica	€32.64
Custo médio de disposição de areia residual	€14.56
Custo total de areia adquirida + disposição	€47.2
Estimativa de depreciação de custo do valor do equipamento em um ano	€18.24
Custo médio de operação	€7.76
Economia no primeiro ano	€21.2
Economia nos anos subseqüentes	€39.44

Fonte: Estimativa do Reino Unido, 1995

Utilização: a recuperação primária é utilizada em praticamente todas as fundições de areia verde, embora o grau de sofisticação da recuperação varia muito; desde uma simples operação manual a um processo automatizado com equipamento controlado por computador.

b) Recuperação mecânica simples de areia furânica (Integrated Pollution Prevention and Control, 2004)

Esta técnica é usada para regeneração de areia furânica e areia de macho não curado. Inclui a quebra dos torrões, separação dos grãos e limpeza por fricção. Vários tipos de esmagadores e moinhos são usados, tais como, por impacto, mandíbulas e moinho de esfera.

Benefícios ambientais: redução da quantidade de areia nova a ser utilizada e redução da areia a ser disposta em aterros.

Locais/empresas em funcionamento: É aplicada em muitas indústrias da Europa e difundida especificamente na Alemanha e Finlândia.

c) Regeneração mecânica a frio usando uma unidade volante de triturador (Integrated Pollution Prevention and Control, 2004)

Este sistema foi desenvolvido originalmente para regenerar areia misturada com bentonita. Neste sistema, um triturador rotativo volante é usado para remover a camada de bentonita dura da areia. O triturador pode também remover os ligantes químicos dos grãos de areia.

Benefícios ambientais: redução de areia para disposição e redução de consumo de areia nova; redução do uso do carbono no caso da areia verde; um aumento das propriedades na moldagem em areia, resultando em uma redução do número de fragmentos de moldes e do número de rejeitos em fundidos acabados.

Economia: o custo de investimento para uma unidade de 50t/dia, inclusive resfriamento, secagem, unidade de regeneração, ciclone e saco de filtro, está em torno de € 1.135.000 (um milhão, cento e trinta e cinco mil euros). Dados da Alemanha declaram um custo de investimento de € 600.000 para uma unidade de 1,5 t/h.

Locais/empresas em funcionamento: De Globe, Weert, Netherlands, uma unidade de 60 t/dia usando duas linhas em operação desde 1995; Eisenwerk Bruhl, Bruhl (1,5 t/h - 1999); Giesserei Fritz Winter GmbH & Co KG, Stadtallendorf, (9,5 t/h); Mercedes-Benz AG, Mannheim, (9 t/h).

d) Regeneração mecânica usando um tambor de impacto (Integrated Pollution Prevention and Control, 2004)

Esta técnica se baseia na trituração intragranular da areia e apresenta melhor resultado para areia com ligantes químicos. Os grãos de areia são impactados contra o tambor e contra o outro. Este impacto produz um abrasivo mecânico com ação de limpeza. Os finos produzidos são removidos por exaustão.

Benefícios ambientais: reuso de areia de macho, limitando a quantidade para disposição e a necessidade de matéria prima.

Economia: o custo de investimento de uma unidade com um tambor de impacto de 3 t/h, separação magnética, exaustor de gás e transporte e um sistema de alimentação é de 1.3

milhões de euros. O custo operacional para essa unidade é de 10 euros/t, incluindo energia consumida, desgaste, manutenção e disposição de resíduos. Isto representa um benefício final de 37 euros/t, comparando o custo de areia nova adquirida e areia usada para disposição (ambas com transporte).

Para uma unidade de 380 t/dia na França, foi cotado um custo operacional de 15 euros/t. Neste caso, o benefício final representou 18 euros/t, comparado ao custo de areia nova adquirida mais areia usada para disposição.

Locais/empresas em funcionamento: PSA, Sept-Fons; GF, Leipzig; Doktas-Turkey.

e) Regeneração a frio usando sistema pneumático (Integrated Pollution Prevention and Control, 2004)

Em um sistema pneumático, os ligantes são removidos dos grãos de areia usando abrasivo e impacto. A energia cinética é gerada por um compressor de ar. A vantagem deste tipo de sistema é que a direção e velocidade da areia podem ser controladas.

Benefícios ambientais: redução da quantidade da areia para disposição e redução do consumo de areia nova.

Economia: custo de investimento de uma unidade simples de 0,8 – 1,2 t/h é de 330 000 euros. O custo operacional é estimado em 22 euros/t, que mostra um custo total de regeneração de 36.5 euros/t de areia.

Locais/empresas em funcionamento: KGT Jet Reclaimer; Kunkel-Wagner GmbH Turbo Dry; Kernfest Webac AB. Esta técnica é usada em várias indústrias de fundição no oeste da Europa e na China.

f) Regeneração térmica (Integrated Pollution Prevention and Control, 2004)

A regeneração térmica usa calor para combustão de ligantes e contaminantes. Todo processo térmico precisa de um passo mecânico inicial para quebrar a areia no tamanho correto dos grãos e peneirar algum contaminante metálico.

Benefícios ambientais: redução da quantidade de areia para disposição e redução no consumo de areia nova.

Economia: o custo de investimento varia conforme o tamanho e tipo de equipamento. Um porte médio de fundição pode estar entre 2500 e 5000 t/ano. Para uma pequena unidade de escala, o custo de capital com 8 anos de amortização e 8% de taxa poderia ser 55 euros/t. Este custo não inclui despesas com energia, pessoal e disposição de resíduos.

Locais/empresas em funcionamento: Metaalgieterji Giesen, Netherlands, Escócia; Bielefeld, Alemanha; VAW Alucast GmbH, Dilingen, Alemanha; Werner Rietschle GmbH, Schopfheim, Alemanha; Siempelkamp Giesserei GmbH & Co, Krefeld, Alemanha; Sofogir, Ronchamp; Duranton Sicfond, Vénissieux; FOAM, Leumann; Fonderie Bréa, Montluçon.

g) Regeneração combinada (mecânica-térmica-mecânica) para areia misturada com bentonita (Integrated Pollution Prevention and Control, 2004)

Em mistura de areia com bentonita, a bentonita curada e os ligantes orgânicos estão presentes sobre os grãos de areia. Areias misturadas ocorrem principalmente em fundições de ferro e representam 75% do total de areia usada na produção.

A areia é pré-tratada (peneirada, separação magnética) e seca, para reduzir o conteúdo de água para <1%. Após isto, a areia é mecanicamente ou pneumaticamente limpa para remover parte do ligante. Em seguida, os constituintes orgânicos são queimados e os constituintes inorgânicos são transferidos ou queimados sobre os grãos. Em um tratamento mecânico final, estas camadas são removidas mecanicamente ou pneumaticamente e descartadas como pós.

Benefícios ambientais: redução da quantidade de areia disposta e redução do consumo de areia nova.

Economia: o custo de uma instalação de 3 passos (mecânica-térmica-mecânica) usando limpeza pneumática com o passo mecânico (3 tubos em 1 câmara, KGT tipo recuperação a jato) com uma capacidade de 2.5 t/h, é o seguinte: custo operacional (consumo, pessoal e manutenção) – 21 euros/t; custo de investimento (8 anos de amortização) – 30 euros/t; portanto, um custo total de regeneração de 51 euros/t.

Locais/empresas em funcionamento: Halberg Guss GmbH, Saarbrucken; Alemanha/1993.

h) Regeneração de areia úmida (Integrated Pollution Prevention and Control, 2004)

Neste processo, após a remoção do metal, a areia é misturada com água para produzir um lodo e separar facilmente o ligante permitindo o peneiramento úmido (1.6 mm). Os ligantes são soltos dentro da água de lavagem. A areia lavada é secada para uma mistura final de conteúdo e peneiramento a seco (1.2 mm). Isto pode ser acompanhado por uma coleta de pó final. O resíduo ligante é separado por suspensão e tratado para disposição segura. A

técnica permite remover a camada de ligante através da ação mecânica úmida, combinada com ação química quando necessário, sem desgaste dos grãos de areia.

Benefícios ambientais: redução da quantidade de areia para disposição e redução do consumo de areia nova.

Economia: dentro do mercado de fundição italiano, uma unidade de regeneração úmida centralizada apresentou areia regenerada por um preço menor que aquele da areia nova.

Locais/empresas em funcionamento: desde 1981 tem sido tratada 230 000 t/ano de areia em unidades de regeneração de areia úmida. Uma fundição de polimento (Odlawia Zeliwa Srem, Srem(PL) opera uma unidade de regeneração úmida de areia furânica. A operação é dirigida por fábricas específicas locais e a tecnologia não pode ser considerada para transposição a outros locais, face o volume dos equipamentos.

i) Reuso de areia de macho não curado (Integrated Pollution Prevention and Control, 2004)

A produção de macho gera areia residual na forma de machos quebrados, machos com pequenos erros e excesso de areia nas máquinas de fabricação dos machos. O excesso de areia pode ser endurecido em uma unidade específica. Posteriormente as várias areias de macho não usadas são alimentadas em uma unidade de desintegração. A areia resultante pode ser misturada com nova areia para a produção de novos machos.

Benefícios ambientais: recirculação interna de 5 – 10% de areia de macho, que de outra forma poderia ser colocada para disposição.

Economia: a técnica requer um investimento de € 250.000 a € 500.000 para o tratamento combinado e a unidade de trituração. O custo operacional é em torno de 12 euros/t. Estes custos são balanceados por uma redução no custo de disposição e custo de aquisição de areia nova. A técnica somente é viável para produção intensiva de machos.

Locais/empresas em funcionamento: a técnica é utilizada por várias fundições em larga escala na Europa.

j) Reuso dos pós do circuito de areia verde em fabricação de machos (Integrated Pollution Prevention and Control, 2004)

O pó é coletado através do filtro exaustor na saída da instalação e da estação de manuseio e dosagem da areia seca. Os pós coletados contêm componentes ligantes ativos e podem ser reciclados dentro do circuito de areia verde.

Benefícios ambientais: redução do uso de ligantes (bentonita) e aditivos (carbono), através da recirculação interna.

Economia: a técnica requer um investimento de € 25.000 euros para estocagem e equipamento de transporte. A amortização por um período de 8 anos com uma taxa de descarte de 8%, para uma instalação de 240 t/ano, resulta em um custo de capital de 17 euros/t de areia tratada.

Locais/empresas em funcionamento: fundições automotivas na Alemanha.

k) Reuso externo de areia usada e areia de tamanho inferior ao circuito de areia (Integrated Pollution Prevention and Control, 2004)

A areia usada e a areia de tamanho inferior ao circuito de areia pode ter algumas aplicações externas, conforme algumas áreas citadas a seguir:

- indústria de construção (construção de estradas e rodovias);
- indústria de materiais de construção (cimento e produção de calcário);
- recheio de cavidades de mineração;
- em construção de aterros (estradas sobre aterros, coberturas permanentes);
- elementos de concreto;
- produção de cimento (dependendo da sílica necessária no processo. Na Alemanha esta aplicação é da maior importância);
- vitrificação de resíduos perigosos;
- construção de materiais para reforço de diques.

Benefícios ambientais: em aplicações externas, a areia usada substitui, e portanto, economiza material virgem. Em geral, a aplicação externa não requer algum tratamento da areia, e portanto, não gera despesa de energia para a fundição.

Economia: o custo da utilização externa depende do mercado local e do custo de transporte e estocagem necessário.

Locais/empresas em funcionamento: vários exemplos têm sido visto através da Europa, especificamente na Finlândia, Escócia, Bélgica e Alemanha .

l) Pós e resíduos sólidos: tratamento e reuso (Integrated Pollution Prevention and Control, 2004)

Uma boa separação dos materiais é essencial para facilitar a recuperação, reciclagem e reuso. Os resíduos sempre podem ser recuperados ou reciclados, a não ser que, uma justificativa satisfatória se apresente como tecnicamente e economicamente impossível.

Em geral, os resíduos constam em:

- pós de matéria prima coletados em filtros ou sacos;
- escória de dessulfuração;
- escória de fusão;
- pó de fusão e fumo coletado em unidades de filtro;
- pó de fundição e fumo coletado em unidades de filtro;
- aparas e cavacos;
- abrasivos usados em jateamento por granalha;
- líquidos e lodo do lavador e saída da unidade de tratamento de efluente;
- resíduos refratários de calhas e painéis de fundição;
- areia;
- produto químico e vasilhas de óleo;
- resíduo industrial inerte em geral.

m) Pré-tratamento para reuso externo de resíduo sólido (Integrated Pollution Prevention and Control, 2004)

Em princípio, para permitir um reuso externo de resíduos sólidos, o material pode precisar de tratamento.

A Tabela III.29 mostra o processo necessário para os vários sólidos residuais (exceto areia) e limitações possíveis para reutilização.

Benefícios ambientais: em aplicações externas, o reuso do material poderá servir como um material de construção secundário e pode substituir materiais novos. A reciclagem resulta em uma redução da quantidade de material para disposição.

Tabela III.29: Tratamento necessário e possível limitação para reutilização externa de resíduos sólidos.

Tipo de resíduo	Tratamento	Limitações
Escória de forno cubilô de ar refrigerado	Trituramento	Geração de pó vítreo Exigência de manuseio devido ao vítreo natural
Escória de cubilô de têmpera	Nenhum	Geração de pó vítreo Exigência de manuseio devido ao vítreo natural
Escória de fusão por indução	Trituramento	Geração de pó vítreo Exigência de manuseio devido ao vítreo natural Poucas informações disponíveis sobre lixiviação
Escória de forno a arco elétrico	Trituramento	Geração de pó vítreo Exigência de manuseio devido ao vítreo natural Poucas informações disponíveis sobre lixiviação
Escória de dessulfuração	Extração do metal e outras partículas grossas	Exigência de manuseio, cuidados de manuseio de CaC_2 necessários para evitar danos Pode ser um resíduo especial
Pós e lodos	Pressão do lodo, secagem e granulagem necessária para mais aplicações	Exigência de saúde e segurança para manuseio de alguns pós Problemas com transporte de materiais empoeirados Alta lixiviação em potencial devido à natureza do material e grande área de superfície

Fonte: The Casting Development Centre, 1999.

Uma mostra da aplicação na reutilização externa para vários resíduos sólidos pode ser vista na Tabela III.30.

Locais/empresas em funcionamento: Vários exemplos de reutilização de areia e escória têm sido divulgados através da Europa, especificamente na Finlândia, nas “Terras baixas” (Escócia), Bélgica e Alemanha

Tabela III.30: Reutilização externa aplicada para vários resíduos sólidos de fundição.

Lista das aplicações de reutilização	AREIA						ESCÓRIA					OUTROS	
	Areia verde	Fenólica alcalina	Fenólica uretânica	Furânica	Resina shell	Silicato de sódio	Cubilo de ar refrigerado	cubilo tépera em água	Forno Indução	Forno a arco	Dessulfurização	Investimento Shell casting	Pó e lodo
Asfalto	x	x	+	+	+	0	x						
Lastro							+			+			
Fábrica de bloco	+	x	+	+	x	+		X					
Fábrica de tijolo	x	x	+	+	+		+	+					
Cimento							x		x	x		X	
Substituto agregado grosso							x		x	x		X	
Concreto		x	+	+	+								
Substituto agregado fino	x	x	+	+	+								
Enchimento de concreto	x	x	+										
Isolante/mineral/ã de vidro	+	+	+	+	+	+	+	+					+
Produção de agregado de peso leve													+
Produção de argamassa						+							
Construção de estradas		x	+		+	x	x		x	x		X	
Cobertura de telhados/feltro				X									
Reutilização em Outra Fundição													
Como areia nova adicionada a areia verde				X									
Uso em solos													
Camada de cima do solo	x	+	+	X	+								+
Revestimento polido decorativo							+	+					
Revestimento polido permanente								+					
Reforço de adubos													X
Capeamento de aterros	x	x	+										+
Revestimento diário de aterro	X	x	+	x	x	X							
Forro de aterro	+												+
Modificar/melhorar o solo	+	+	+	+	+	+		+			+		+
Diversos													
Abrasivo/jateamento		x	+					x	+				
Meio absorvente												+	
Produção de cimento de escória de alto forno						+					+		
Aplicações industriais/químicas													X
Substituição de cal apagada											+		+
Fundente de minério		+	+		+	+							
Vitrificação de resíduo	+	+	+		+	+							

X – Reuso com aplicação comprovada, com projetos de sucesso funcionando na UE

+ - Reuso com aplicação que tem sido comprovada na teoria mas não existe projeto funcionando na UE.

0 – Impróprio para reuso.

Fonte: The Castings Development Centre, 1999.

n) Minimização de formação de escória (Integrated Pollution Prevention and Control, 2004)

A produção de escória pode ser minimizada usando tratamentos padrão interno, tais como:

- usando sucatas limpas;
- usando uma baixa temperatura no metal;
- prevenindo sobreaquecimentos (altas temperaturas temporárias);
- prevenindo longos tempos de parada do metal fundido em fornos de fusão;
- fazendo adequado uso dos fluxos;
- fazendo adequado uso/escolha do revestimento refratário;
- aplicando resfriamento de água na parede do forno para evitar mau uso do tratamento refratário.

Benefícios ambientais: minimização da produção de resíduo e redução das emissões para o ar.

Economia: esta técnica não envolve nenhum investimento, no que diz respeito a medidas operacionais.

Locais/empresas em funcionamento: esta técnica é parte dos procedimentos operacionais existentes na maioria das fundições europeias.

Tratamento na fusão do metal e do metal fundido (Integrated Pollution Prevention and Control, 2004)

a) Forno Cubilô – otimização da operação

A quantidade de pó e gases resultantes é diretamente relacionada com a quantidade da carga de coque por tonelada de ferro. Portanto, todas as medidas que possam melhorar a eficiência térmica do cubilô, poderão também reduzir as emissões do forno. Boas e possíveis práticas de fusão incluem:

- avaliação da temperatura;
- operação do forno de forma otimizada tanto quanto possível;
- carga uniforme;
- melhoria do controle de operação;
- minimização da perda do ar;
- evitar formação de vazios em uma carga do forno;

- utilização de bom revestimento

Benefícios ambientais: aumento de energia eficiente, redução do consumo de coques e redução de resíduos.

Aplicabilidade: esta técnica é aplicável para todos os fornos cubilôs, tanto novos como aqueles que já estão em funcionamento.

Exemplo de aplicação: em todas as fundições com cubilô, estas boas maneiras práticas de fusão são utilizadas.

a') Controle de qualidade do coque na entrada

A qualidade do coque utilizado tem uma relação direta com a eficiência de operação do cubilô. Os custos operacionais antes e após a troca de um cubilô de ar frio para operação oxigás na unidade Aga-Rayburn Foundry/Reino Unido é mostrado na Tabela III.31. Os preços previstos foram calculados pela CTIF.

Tabela III.31: Custos operacionais de forno cubilô ar frio com e sem queima de oxigênio.

Entrada	Unidade	Preço Unitário	Sem Queima		Com Queima	
		Euros	Consumo/t	Custo euros/t	Consumo/t	Custo Euros/t
Coque	Tonelada	198	0.15	29.7	0.1	19.8
Gás	Nm ³	0.15	0	-	16.5	2.5
Oxigênio	Nm ³	0.38	14	5.4		
		0.23			40	9.2
Ferro Gusa	Tonelada	164.6	0.2	32.9	0	-
Ferro Velho	Tonelada	125.8	0.2	37.7	0.5	62.9
Total	Euros/t			105.7		94.4
Todos os valores expressos por tonelada de metal fundido						

Fonte: Godinot and Ressant, 2002.

Os custos operacionais reduziram de 105 euros/t para 94 euros/t de metal fundido. O ganho econômico pode ser atribuído à redução proporcional de ferro gusa. Isto também enfatiza o fato de que o custo poderá diferir para cada tipo específico de fundição.

3.5 Resíduos de Fundição no Brasil

No Brasil, o tratamento dos resíduos de fundição, conforme literatura e resultados de pesquisa, está em evolução. No entanto, a grande maioria desse tratamento é feito apenas na areia usada, seja através da redução com material substituto (ainda incipiente), do reuso, da reciclagem e da disposição em aterros, constituindo esta, a prática mais usual. Deve-se levar em conta, que o destaque do tratamento dado a areia justifica-se em face deste resíduo ser o que apresenta a maior proporção dentro da indústria de fundição, significando um percentual acima de 75%.

O tratamento dado aos resíduos pelas organizações (empresas e/ou governo) brasileiras não tem sido muito diferente das técnicas feitas em outros países. O que difere de forma significativa no Brasil com relação aos Estados Unidos, é o movimento das empresas americanas de forma conjunta e organizada, pensando e planejando a indústria de fundição dos próximos anos. Conforme visto no Capítulo 3, ITEM 3.3.1 a CMC – Cast Metals Coalition, 2002, que reúne a Sociedade de Fundição Americana, a Associação de Fundição da América do Norte e a Sociedade de Fundição de Aço da América, realizou estudos para elaboração de metas, mudanças e passos necessários ao desenvolvimento e sustentabilidade da indústria de fundição dos próximos anos. No Brasil, alguns passos estão (ou foram) sendo dados, como a formação de sindicatos de indústrias de fundição, parcerias com organismos fiscalizadores para busca de respostas aos problemas verificados (Ministério Público, Governos Municipais, Empresas e Órgãos de Fiscalização e Acompanhamento Ambiental). Podemos ver ainda, elaboração de planos de ajustes e adequações das indústrias, conforme determinação legal pertinente. Parcerias entre indústrias e Institutos de Pesquisas para desenvolvimento de mecanismos de regeneração de areia e melhoria e atualização da Escola de Formação de Técnicos de Fundição, também são dados verificados no país.

É urgente a necessidade de visão de longo prazo para os empresários e escolas brasileiras, estudo dos cenários, parcerias mais efetivas, metas de longo alcance com vistas ao bem comum, abertura e adequação ao novo, respeito às práticas trabalhistas e o direito a cidadania. Os compromissos com a comunidade local onde a empresa estiver inserida, as ações locais com visão global procurando atuar de forma a alcançar um desenvolvimento

realmente sustentável e que utilize os recursos naturais sem prejuízo às gerações futuras, também são fatores imprescindíveis para o desenvolvimento sustentável da indústria de fundição nacional.

3.5.1 Exemplos de Tratamento nas Empresas Brasileiras

Das práticas realizadas no Brasil pelas empresas de fundição, algumas são citadas as seguir:

Indústrias Romi S.A.

Segundo a CETESB-Casos de Sucesso, (julho, 2002), dentro do processo de fabricação de peças fundidas, a empresa Romi utilizava areia com resina fenólica que dificultava a sua recuperação e reutilização, gerando grande quantidade de areia a ser descartada, que no passado, chegou a 1.000 t/mês. A disposição adequada desse resíduo em aterro industrial gerava uma despesa aproximada de R\$500.000,00/ano, dentro das exigências da CETESB. Por meio de estudos e medidas adotadas pela empresa, tais como, substituição de resina fenólica por resina furânica no sistema de moldagem e macharia e recuperação de areia já utilizada por meio de processo mecânico à temperatura ambiente utilizando a mesma na fabricação de machos, o índice de areia nova passou de 800 kg para 200 kg para cada 1.000 kg de peças produzidas. Além do ganho ambiental representativo na redução da captação de areia nova a ser utilizada no processo, a empresa obteve uma economia anual em torno de R\$ 1.000.000,00 entre redução de areia e custos de disposição em aterros.

Comunidade Terapêutica Mais Vida – Limeira/SP

Através de um projeto de André Luis Bonin, desenvolvido em 1994 no Centro Superior de Educação Tecnológica da Unicamp, a Comunidade Terapêutica, que trabalha na prevenção e recuperação de dependentes químicos, vem utilizando a areia de fundição na construção civil. A fábrica de tijolos “ecossocial” tem os recursos aplicados em favor da Comunidade para auxiliar nas despesas de recuperação do público atendido.

Após realizado todos os testes do projeto desenvolvido por Bonin, o produto mostrou-se viável e eficiente para fabricação em grande escala de blocos, tijolos, postes, guias, sarjetas, bloquetes e outros artefatos de concreto (ciesp.org.br/bolsa/outros, 9/10/2003).

Svedala Faço Ltda

Através do sistema de gestão ambiental da Svedala, foi desenvolvido um equipamento com capacidade de regeneração de areia de 1 t/hora, o que pode chegar a 500 t/mês. Segundo a empresa, três razões básicas levaram-na a desenvolver, a partir de 1995, o regenerador térmico de areia de fundição, visando transformar a areia usada em areia nova. O primeiro fator foi a forte pressão dos órgãos ambientais. O segundo fator foi a rápida elevação dos custos de disposição dos resíduos nos aterros sanitários e o terceiro fator foi o custo progressivo da areia nova, afetado principalmente pelo aumento do frete.

No processo de recuperação, o regenerador térmico de atmosfera controlada foi projetado para processar termicamente areias de todos os tipos, sejam elas aglomeradas com resina ou argila. Esta foi a alternativa encontrada para reciclar a areia usada, transformando-a em nova e reutilizando-a para a atividade industrial. A técnica possibilitou à Svedala ganhar o prêmio CNI Ecologia' 98. A utilização do equipamento possibilitou a economia de aproximadamente U\$330,000/ano, considerando o custo de deposição em aterros a U\$54.64 a tonelada (ciencia/noticias/2002/jun/05/384.htm).

Tecnologia WM – Guifa

Através da parceria da White Martins, Guifa Equipamentos e Fundição Sideral, foi desenvolvida uma tecnologia de recuperação de areias provenientes do processo CO₂ silicato de sódio e outros processos alcalinos, com o propósito de obter uma drástica redução no consumo de areias novas e nos descartes realizados.

Com esta tecnologia sendo utilizada, obteve-se um grão de areia isento de impurezas, similar ao de areia nova, conforme comprovaram os testes de granulometria e morfologia do grão e os ensaios de resistência a compressão nos corpos de prova (Lopes et al, 2003).

57º Congresso Anual da ABM – Associação Brasileira de Metalurgia

Conforme o Prof Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes, 2002, o tratamento e a reciclagem na indústria de fundição são fundamentais, não só por uma necessidade de matéria-prima para este e outros setores, mas no sentido de atender as regulamentações ambientais estabelecidas pelos órgãos ambientais. O trabalho apresentado no congresso fez uma análise crítica das barreiras existentes na busca de soluções para a reciclagem, bem como, os caminhos que têm sido estudados e utilizados no sentido de reutilizar benéficamente os resíduos sólidos de uma fundição. A Tabela III.32 mostra os principais tipos de reciclagem estudados e aplicados ao longo dos anos para alguns resíduos sólidos de fundição, segundo Moraes.

Tabela III.32: Exemplos de reciclagem interna e externa de resíduos sólidos de fundição.

Resíduo	Reciclagem/aplicação
Areia Usada Verde ou Ligada quimicamente (90% da geração de resíduos numa fundição)	Recuperação/regeneração
	Blocos/tijolos
	Concreto
	Asfalto (massa asfáltica)
	Sub-base de asfalto
	Sílica para produção de clinker – cimento portland
	Sílica para produção de lâ de rocha/vidro
	Agricultura – corretivo de solo
	Cobertura de aterro
	Cobertura de canais de corrida de altos fornos
	Barreiras hidráulicas
Escória	Cerâmica (porcelana)
Cavaco	Briquete (sucata para fusão)

Fonte: Moraes, 2002.

Centro do Combustível Nuclear (CCN)

Os pesquisadores do CCN, apoiados pela Fapesp, têm por objetivo desenvolver um projeto de reaproveitamento de 90% da areia contaminada com resina fenólica por meio do processamento térmico controlado. O resíduo, após tratamento adequado, tornar-se-á matéria-prima a um custo reduzido. A unidade piloto será instalada na empresa Metalúrgica

Bom Jesus Piacentini & Cia Ltda. na região de Piracicaba/SP, com projeto de engenharia da Pulsar Sc Ltda. Além dos benefícios ambientais do projeto, chama a atenção a quantidade de areia utilizada e descartada no Brasil anualmente. São 2 milhões de toneladas, o que equivale a uma pirâmide de 200 metros de altura, segundo a fonte (www.ipen.br/scs/orbita).

Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)

O IPT, em parceria com a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), e três empresas, a Lepe Indústria e Comércio, a Metalúrgica Ipê e a Fagor Fundação Brasileira, desenvolveu a Unidade Móvel de Regeneração de Areia. Trata-se de um projeto para reciclar as areias de descarte de fundições de pequeno e médio porte. A unidade, fruto de um trabalho de cinco anos de pesquisas do IPT, prestará serviços dentro das instalações cujo descarte de areia seja, em média, de 200 toneladas mensais.

Vale ressaltar o alto custo para disposição em aterros, o que dificulta esta prática para as pequenas e médias empresas. Segundo estimativa da Associação Brasileira da Indústria de Fundição (ABIFA), 1 milhão de toneladas de areia são descartadas pelas indústrias de fundições paulistas por ano, o que por si só, justifica e viabiliza a realização do projeto (Gazeta Mercantil/SP, 03/05/01).

Capítulo 4: Metodologia

A fim de alcançar os objetivos a que se propôs essa pesquisa, a seguinte metodologia foi desenvolvida:

- Pesquisa em literatura.
- Contatos com organismos ligados à indústria de fundição como o Sindicato da Indústria de Fundição de Minas Gerais- SIFUMG, Associação Brasileira de Fundição – ABIFA e o Centro Tecnológico de Fundição – SENAI/CETEF.
- Visitas técnicas à aproximadamente 10% das indústrias de fundição de Minas Gerais.
- Aplicação de questionário sobre os processos utilizados, resíduos gerados e tratamento dado aos mesmos (Anexo A).
- Envio do questionário citado a um universo de aproximadamente 40% das indústrias de fundições brasileiras.

Capítulo 5: Resultados e Discussão

5.1 Resultados dos questionários aplicados

5.1.1 Respostas das pequenas e médias empresas

Entre envio de questionários e aplicações dos mesmos nas visitas, foram contatadas 461 empresas (41,9% do total de empresas de fundição do Brasil) como mostra a Tabela V. 33. De todos questionários enviados/aplicados, o retorno foi de 16,05 %, o que representa 6,72% das indústrias de fundição instaladas no país.

Tabela V.33: Questionários enviados às indústrias de fundição e formas de contato

Empresas contatadas	Forma de contato	Total de contatos	Total de respostas	% de respostas	Total de empresas no Brasil	% representativo nacional
228	Correio eletrônico	461	74	16,05	1100	6,72
170	Correio convencional					
25	Visitas					
38	Associação de empresas					

Os dados respondidos pelas empresas estão dispostos a seguir. A identificação da empresa foi opcional, haja vista, a necessidade de recebermos os dados quanto aos processos e materiais utilizados, independentes do nome da empresa informante. Esta opção dada às empresas quanto a não identificação das mesmas, também se refere às situações de (in)segurança na utilização dos dados, pois, dada a rigorosa legislação e fiscalização nas empresas tal qual vem acontecendo no país, o sigilo das informações garante uma tranquilidade maior às indústrias colaboradoras deste trabalho.

- Produção total das empresas em t/ano: 87.857 (oitenta e sete mil, oitocentos e cinquenta e sete), o equivalente a aproximadamente 5% da produção nacional.
- Processos utilizados: dos processos utilizados, encontra-se um equilíbrio entre os processos manuais e mecanizados.
- Os tipos de areia utilizadas na moldagem estão apresentados na Figura 5.15.

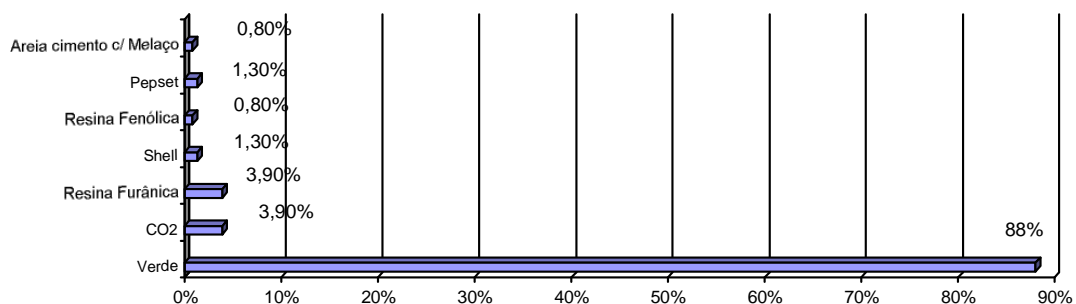


Figura 5.15: Tipos de areia utilizados na moldagem

- Os tipos de areia utilizados na macharia são apresentados na Figura 5.16.

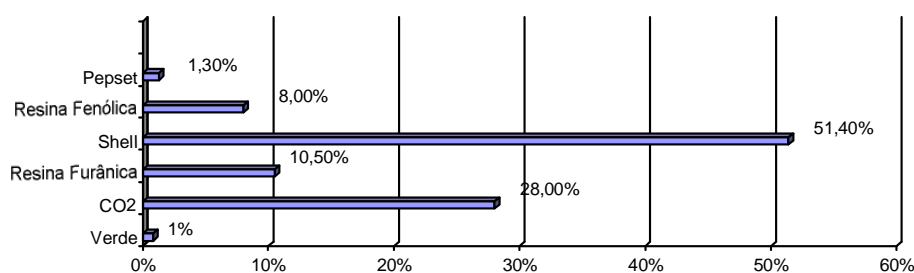


Figura 5.16: Tipos de areia utilizados na macharia.

- Os tipos de fornos utilizados são apresentados na Figura 5.17.

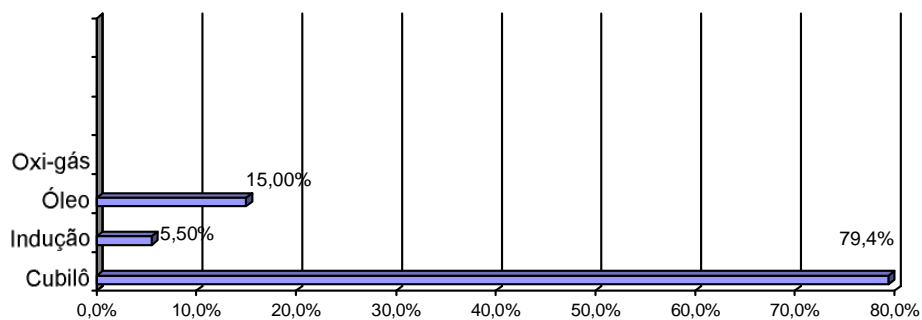


Figura 5.17: Tipos de fornos utilizados.

- O percentual de empresas que possuem os fluxograma(s) do(s) processo(s) utilizado(s) na produção são apresentados na Figura 5.18.

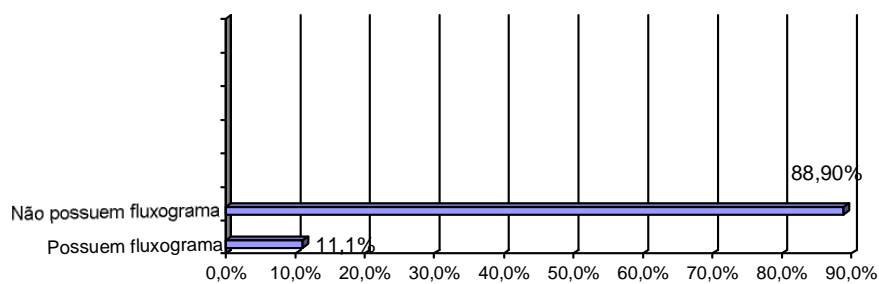


Figura 5.18: Percentual de empresas que possuem fluxograma dos processos utilizados na produção.

A identificação e caracterização dos resíduos (rejeitos sólidos), emissões (rejeitos aéreos) e efluentes (rejeitos líquidos) estão apresentadas na Figura 5.19.

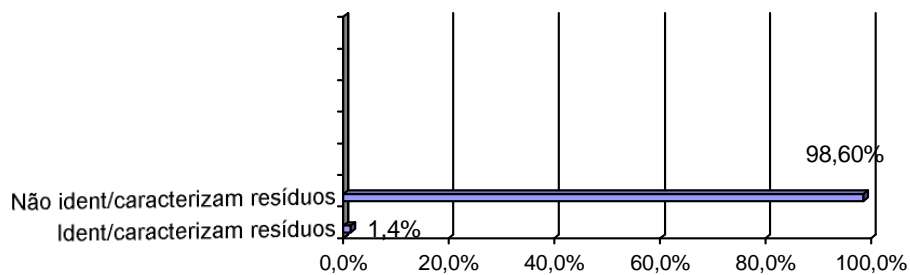


Figura 5.19: Percentual de empresas que caracterizam os resíduos gerados.

- O tratamento específico para os agentes (resíduos, emissões e efluentes) é apresentado na Figura 5.20.

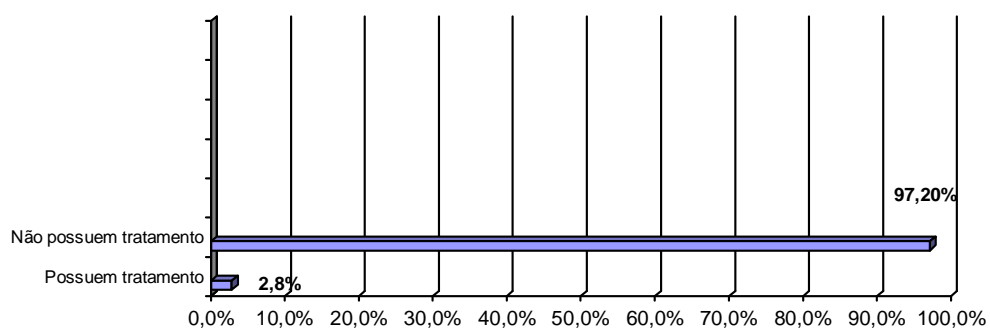


Figura 5.20: Percentual de empresas que possuem tratamento específico para os resíduos gerados.

Com relação a areia:

Origem: Todas as empresas citaram as jazidas do Estado de São Paulo, com exceção de uma, que citou "praias", sem especificar o Estado.

- Quantidade adquirida: aproximadamente 22.000 toneladas/ano

- O percentual de empresas que disseram possuir processos de recuperação de areia está representado na Figura 5.21.

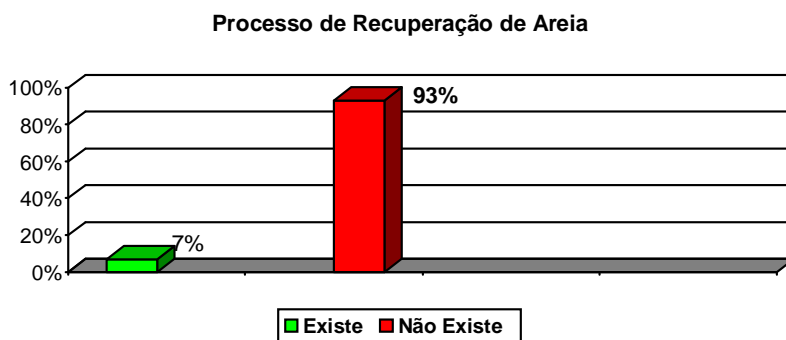


Figura 5.21: Percentual de empresas que possuem processo de recuperação de Areia.

O tratamento dado a areia descartada está representado em dados percentuais na Figura 5.22.

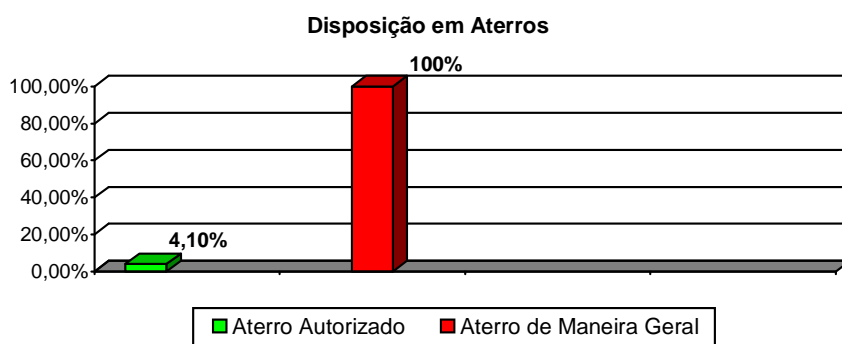


Figura 5.22: Percentual de empresas com relação ao descarte de areia em aterros.

Valor em dólar por tonelada descartada em aterros: apenas uma empresa citou o valor de U\$20.00; uma citou aterro próprio, não especificando se era controlado e autorizado; as demais, 97,22% desconhecem o valor.

- A situação das empresas quanto a Certificação ISO 14000 está mostrada na Fig

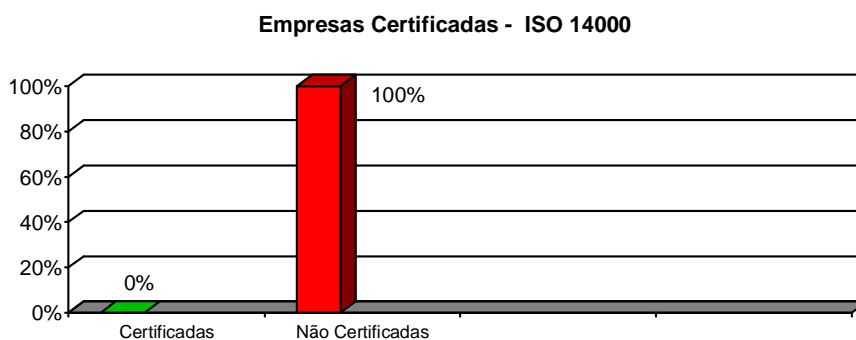


Figura 5.23: Situação das empresas com relação à Certificação ISO 14000.

- Com relação ao Sistema de Gestão Ambiental:

As empresas, de um modo geral não têm programas de gestão ambiental implantados. No entanto, a maioria coloca a necessidade de implantação em médio prazo, tendo, portanto, como impedimento maior a questão financeira.

- Com relação a visão da empresa na preservação do meio ambiente:

As empresas de um modo geral estão conscientes da necessidade da preservação ambiental. Segundo as respostas coletadas, elas estão dispostas a agir de forma efetiva para que, em um curto espaço de tempo as ações sejam implementadas para adequação das fundições às exigências legais e atender às necessidades de conservação ambiental.

A reduzida visão de conjunto e de parceria no empresariado brasileiro, bem como, nos projetos de governo, são alguns dos nossos pontos fracos. Estes mesmos pontos, podem ser diagnosticados como fortes nas indústrias e organismos de fundições americanas. Estas estão cientes que se não criarem laços fortes, estreitamento dos negócios e conseqüente fortalecimento do outro, não conseguirão competir globalmente. Vale ressaltar a temível concorrência das indústrias chinesas, com crescimento anual acima da média mundial e mão de obra abundante e extremamente barata.

É importante frisar, que além do ganho ambiental atrelado à imagem da empresa, ganhos econômicos também são verificados. São ganhos na reutilização e regeneração dos materiais, bem como nas opções e aplicabilidade das substituições/aquisições de fornos mais eficazes quanto aos processos e resultados finais.

[M17] Comentário: à?

No Brasil, como nos EUA e nos países europeus, a maioria das indústrias de fundições é de pequeno e médio porte. No entanto, a grande parcela das indústrias brasileiras funciona de maneira arcaica, com condições de trabalho pouco adequadas e potencialmente prejudiciais à saúde dos trabalhadores. São passivos trabalhistas que vão se formando, além do passivo ambiental já estabelecido.

A concentração do uso de areia verde na moldagem das indústrias de fundições brasileiras pesquisadas (88%), possibilita às empresas nacionais a reutilização desta areia no circuito, pois, segundo o Integrad Pollution Prevention and Control, 2004, uma das maiores vantagens da utilização deste tipo de areia é o acondicionamento da mesma para posterior consumo.

Nos países europeus, especificamente na Finlândia, Escócia, Bélgica e Alemanha, o resíduo areia verde está sendo reutilizado como agregado em asfaltos, fábrica de tijolos, substituto agregado fino, enchimento de concreto, camada superior de solos e capeamento de aterros. Este também se apresenta como um exemplo e possibilidade de aplicação no Brasil.

No processo de macharia, a maior parte da areia utilizada no Brasil, conforme a pesquisa, é a areia resina Shell. A areia residual gerada desse processo, conforme o Integrad Pollution Prevention and Control, 2004, é reutilizada em países europeus em fábricas de blocos e revestimento de aterros, se tornando também fonte de referência para análise das empresas nacionais.

Segundo resultados da pesquisa, é predominante o uso de fornos cubilôs nas indústrias de fundições brasileiras. Conforme os dados da Espanha (1997/98), Tabela III.21, a economia para a fusão de 1320 t/ano, num forno de indução em relação ao forno cubilô, gira em torno de U\$45,000 em média/ano. Se compararmos o forno cubilô com o forno rotativo, a

economia anual para a mesma produção representa aproximadamente U\$50,000. Portanto, considerando um investimento em torno de U\$300,000 para a instalação do forno (rotativo ou indução) em determinada produção, o retorno desse investimento viria entre 6 e 7 anos (Tabela IV.21). Se as empresas brasileiras realizarem planejamento de longo prazo, este exercício financeiro pode ser de grande valia e com ótimos resultados para o caixa das empresas, possibilitando o investimento em outras áreas e melhorando no todo a situação organizacional (1 €/R\$ = R\$3,5286 e 1 €/US\$ = 1,1935 - <http://cotacoes.agronegocios-e.com.br/investimentos> em 03/05/04).

A maioria expressiva das indústrias de pequeno e médio porte que responderam ao questionário (88,9%) não possui o fluxograma de processos utilizados na produção. Se os envolvidos num determinado processo não visualizam os passos, as seqüências e a ordem das etapas, a dificuldade no gerenciamento deste processo tende a aumentar, possibilitando perdas no decorrer da produção, o que significa literalmente recursos financeiros desperdiçados.

Da mesma forma, 98,6% e 97,2% dessas indústrias respectivamente, disseram não identificar os resíduos gerados, bem como não possuir tratamento para os mesmos. Algumas técnicas de redução são descritas no Capítulo 3, o que poderá auxiliar as indústrias nacionais na identificação desses resíduos e posterior tratamento dos mesmos.

Quanto à disposição dos resíduos gerados, nas pequenas e médias empresas, 100% das empresas responderam aterro como destino dos mesmos e 93% disseram não possuir processo de recuperação de areia. Neste caso, a experiência do IPT descrita no item 3.5, de um regenerador de areia de descarte de fundições de pequeno e médio porte pode ser a solução. Considerando que o custo do equipamento pode inviabilizar a aquisição pelas empresas, os órgãos governamentais, ONG's e associações poderiam viabilizar o investimento, seja através de parcerias (consórcios) ou investimento direto junto a instituições financeiras.

Segundo Marioto, 1996, estas modalidades de consórcio podem se apresentar das seguintes maneiras:

1ª Modalidade: Uma fundição instala uma planta de regeneração de areia para seu uso particular sendo parte da capacidade destinada à prestação de serviços para fundições vizinhas.

2ª Modalidade: Um grupo de fundições se consorcia e instala uma planta de regeneração de uso comum.

3ª Modalidade: Uma empresa se estabelece em localidade adequada e vende serviços de regeneração para fundições da região, ou compra a areia descartada e a revende após regeneração, seja como areia base, seja como areia coberta para Shell.

Como referência internacional para as nossas empresas, podemos citar as parcerias entre indústrias americanas ou européias junto aos organismos de pesquisa, formando uma força integrada que atua de forma holística, aliando teoria e prática e focando esforços no desenvolvimento do setor de maneira ampla e abrangente. Isto significa empresas fortes e competitivas, possibilidade de trabalho socialmente responsável e economias nacionais cada vez mais estáveis e representativas.

5.1.2 Respostas das grandes empresas

Os resultados a seguir se referem à produção de empresas acima de 500 (quinhentos) empregados e que representam 33% de toneladas da produção nacional de fundidos.

A escolaridade média situa-se entre o ensino fundamental completo e o ensino médio completo, registrando em torno de 80% dos funcionários, não existindo nenhum analfabeto nessas empresas. Esses dados contrastam com a média de escolaridade das empresas de fundição de Minas Gerais, conforme visto na Figura 3.1, que podem ser consideradas representativas em nível nacional, onde aproximadamente 50% dos trabalhadores não têm o ensino fundamental completo. A Figura 5.24 representa o nível de escolaridade citado nas grandes empresas de fundição do país.

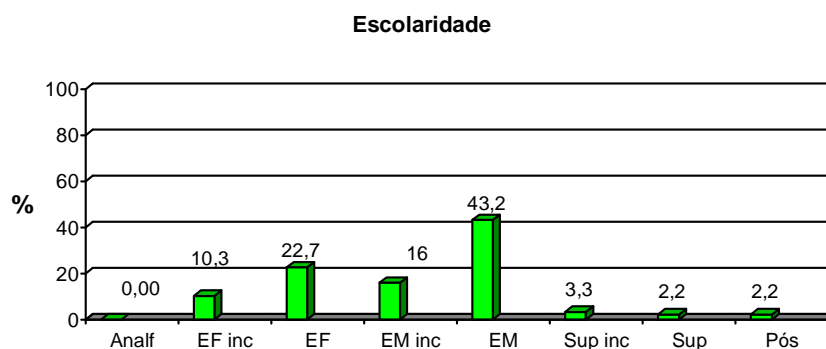


Figura 5.24: Escolaridade dos funcionários das grandes empresas de fundição

É significativo o posicionamento das grandes empresas quanto ao investimento nas técnicas/processos em comparação com as pequenas e médias empresas de fundição que responderam ao questionário. A quantidade, em percentual, das empresas que possuem esses processos/técnicas implementados estão representados na Tabela V.34.

Tabela V.34 Técnicas/processos verificados nas indústrias de fundição nacionais (%)

Técnica/processo	Pequenas e Médias Empresas	Grandes Empresas
Controle Estatístico do Processo – CEP	0	100%
Gestão da Qualidade Total – GQT	0	100%
<i>Just in Time</i>	0	50%
Certificação ISO 14000	0	100%
Licenciamento ambiental	0	100%

Os tipos de areia utilizados na moldagem e macharia não diferem entre os portes das empresas, conforme Tabela V.35 a seguir:

Tabela V.35 Tipos de areia utilizados na moldagem e macharia

Processo	Areia utilizada	
	Pequenas e Médias Empresas	Grandes Empresas
Moldagem	Areia verde; CO2; Resina furânica; Shell	Areia verde; CO2; Resina fenólica; Shell
Macharia	CO2; Resina furânica; Shell	Resina fenólica; Shell

Os fornos utilizados apresentam uma diferença quanto ao tipo verificado nas grandes empresas. Nessas, evidencia-se o forno de indução, ao contrário das pequenas e médias empresas, onde caracteriza o forno cubilô. Infere-se que por exigir um investimento maior, as pequenas e médias empresas não apresentam essa estrutura de financiamento, predominando nas mesmas esse tipo de forno.

O tipo de moldação também é singular nas grandes empresas, onde predomina-se o processo automatizado, enquanto, nas pequenas e médias encontramos um equilíbrio entre os processos manuais e mecanizados.

As Figuras 5.25 a 5.29 a seguir, apresentam as situações das grandes e pequenas e médias empresas quanto a alguns aspectos:

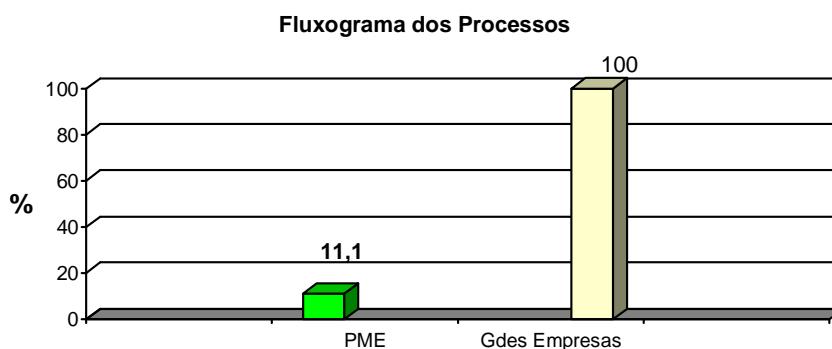


Figura 5.25: Fluxograma dos processos nas PME e grandes empresas de fundição

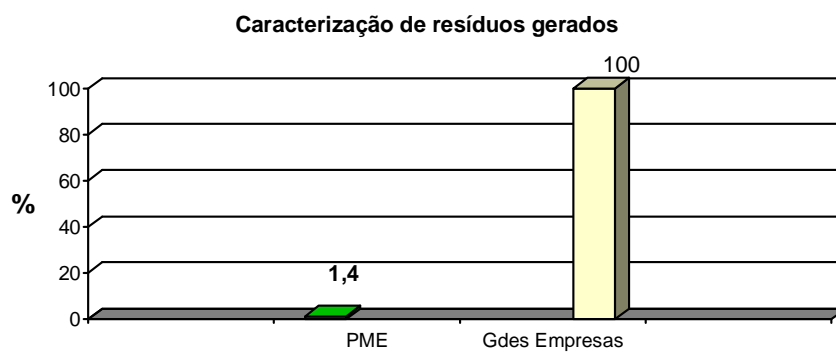


Figura 5.26: Caracterização de resíduos gerados nas PME e grandes empresas de fundição

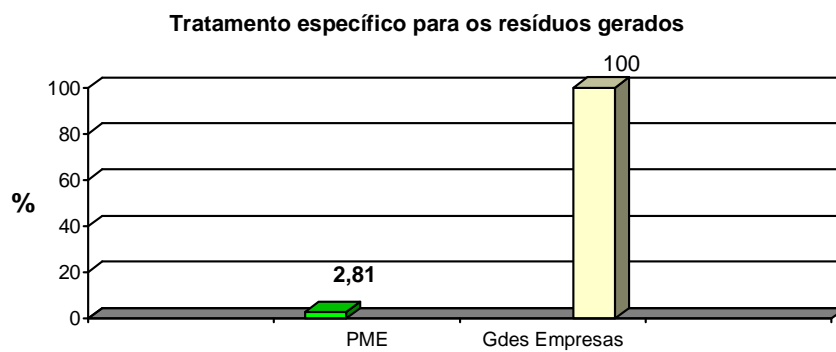


Figura 5.27: Tratamento específico para os resíduos gerados nas PME e grandes empresas de fundição

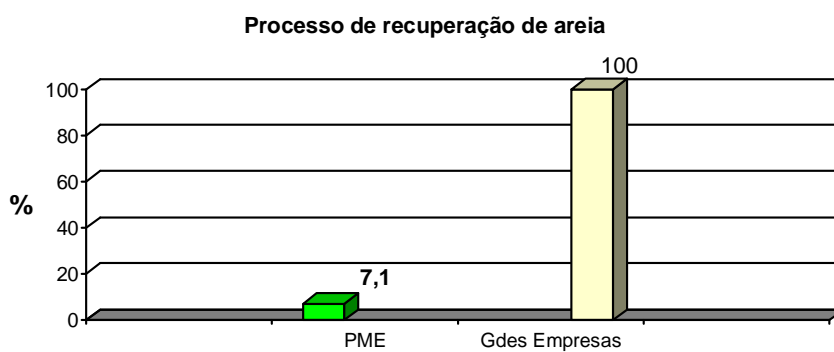


Figura 5.28: Processo de recuperação de areia nas PME e grandes empresas de fundição

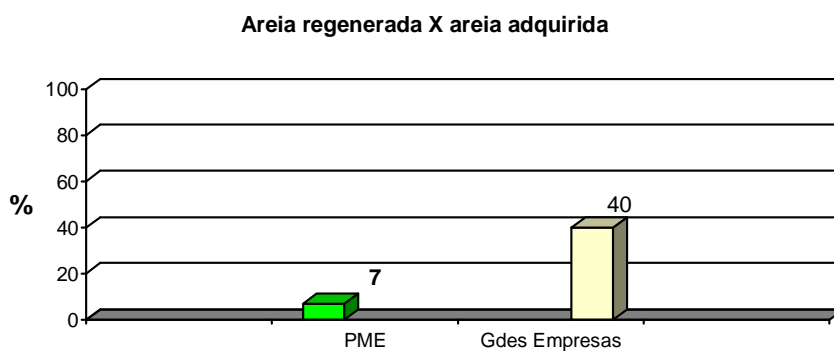


Figura 5.29: Areia regenerada X areia adquirida nas PME e grandes empresas de fundição

Os valores para disposição em aterros têm uma significativa diferença em relação ao porte das empresas, conforme Figura 5.30:

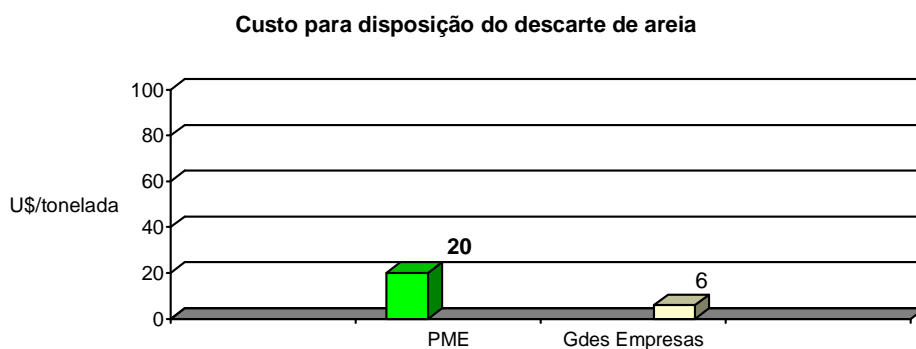


Figura 5.30: Custo para disposição do descarte de areia nas empresas de fundição

Dada a situação exposta na Figura anterior, inferimos que o poder de negociação das grandes empresas é maior em função da quantidade de areia descartada. Outro ponto favorável, mas não verificado, pode ser com relação à disponibilidade de aterros próximos às grandes empresas, dada a quantidade expressiva de descarte. Essa mesma inferência pode ser feita de forma inversa à situação das pequenas e médias empresas, inclusive pelo fato da não concentração de empresas próximas, desestimulando a instalação de vários aterros, o que poderia onerar ainda mais o processo, além de prejudicar consideravelmente o meio ambiente.

Com relação ao sistema de gestão ambiental, as grandes empresas justificam a implantação em função das melhorias do desempenho ambiental da organização perante as partes interessadas (órgãos de controle ambiental, clientes, fornecedores, comunidade e colaboradores). Fatores como consciência ecológica, desenvolvimento sustentável, qualidade de vida e sobrevivência a longo prazo também são considerados.

Por outro lado, as pequenas e médias empresas explicam a ausência de programas de gestão ambiental face às dificuldades de financiamento, apesar de reconhecerem a importância e necessidade de tais investimentos.

Capítulo 6: Conclusões

As indústrias de fundição são altamente poluidoras do ambiente, de forma direta ou indireta. Elas poluem o meio em que estão instaladas, seja através dos rejeitos sólidos, líquidos e/ou emissões e na extração da areia onde existe o impacto causado pela obtenção deste insumo, parte fundamental no processo de fundição.

Os impactos causados ao ambiente pelo setor de fundição independe das regiões e/ou países em que as empresas estão instaladas. A capacidade de causar danos é a mesma, onde quer que estejam estas indústrias. O que difere de uma empresa para outra, é o compromisso com as partes interessadas e a capacidade/habilidade financeira para implementar possíveis investimentos.

No caso das indústrias e organismos brasileiros, podemos constatar o seguinte:

- Pouca articulação efetiva entre indústrias e organismos do primeiro e terceiro setor.
- Dificuldades de acesso aos recursos necessários para investimento.
- Reduzida qualificação de mão de obra (SIFUMG, 2003).
- Baixo nível de comprometimento com as partes envolvidas quanto às questões ambientais.
- Disposição em resolver problemas estimulados pelas possíveis fiscalizações e penalidades dos órgãos ambientais.
- Desconhecimento dos danos causados ou potencialmente prejudiciais.
- Reduzida visão de longo prazo para o negócio como um todo.
- Visão de parceria reduzida; predominando a visão de concorrência e isolamento no mercado.

Nas empresas instaladas nos EUA e nos países europeus:

- O setor de fundições se apresenta tecnicamente mais desenvolvido e comprometido com as questões ambientais.
- Nos EUA, estudos foram feitos com vistas aos próximos 20 anos, pensando na visão de longo prazo, com metas previstas para adaptação e adequação às necessidades do mercado.

- Nos países europeus, estudos e parcerias também são concretizados para busca de soluções que possam atender a todos os interessados.
- Conforme visto no Capítulo 3, item 3.4.2, vários exemplos de boas práticas ambientais são descritos em diversos países da Europa em suas diversas empresas.

Espera-se que as informações contidas nesta pesquisa e o aprofundamento da mesma nas referências bibliográficas citadas possam servir de fontes de consulta para as indústrias de fundições brasileiras. Os vários exemplos das empresas européias com suas boas práticas ambientais, bem como os benefícios econômicos registrados, poderão estimular os empresários e trabalhadores a rever e/ou aprofundar sua forma de atuação e relação com o meio ambiente.

Da mesma forma, espera-se que, o exercício de visão das empresas americanas possa despertar nos responsáveis pelas empresas brasileiras a necessidade, importância e valor do planejamento de longo prazo. Que este planejamento possa ter metas audaciosas e factíveis, possibilitando às empresas o alcance desejado e fazendo com que o Brasil melhore cada vez mais sua posição no mercado de fundição internacional, com responsabilidade sócio-ambiental e desenvolvimento sustentável.

Acreditamos também, que consórcios entre as empresas nacionais, independente do potencial das mesmas, poderão auxiliar enormemente na sustentabilidade das pequenas e médias no que se refere às questões ambientais. Preocupações comerciais, notadamente a concorrência, poderiam ser deslocadas para um segundo plano, haja vista a necessidade de fortalecimento da imagem das empresas de fundição nacionais no mercado internacional, sejam essas de pequeno, médio ou grande porte.

Referências Bibliográficas

- 1 ANDRADE, Gilberto Martins et al. Experiência da CSN na implantação da gestão ambiental. **Metalurgia e Materiais**, São Paulo, v.54, n.474, p.149-151, mar. 1998.
- 2 BANCO DO BRASIL. Disponível em: <<http://www.cotacoes.agronegocios-e.com.br/investimentos.org>>. Acesso em : 05 maio 2004.
- 3 BLACKBIN, Colin. Recuperação elimina problemas com descarte das areias de fundição. **Fundição e Serviços**. São Paulo, v.7, n.49, p. 30-38, jan.1997
- 4 CENTRO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Disponível em: <<http://www.ciesp.org.br/bolsa>>. Acesso em: 10 abr 2004.
- 5 CETESB. **Produção mais limpa**; casos de sucesso. São Paulo, 2002.
- 6 DEUS, Roberto João de. Perfil da indústria de fundição na América Latina; indústria de fundição no Brasil. In: SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DO PROJETO SENAI/CETEF – JICA, 2001, Itaúna. **Palestras...** Itaúna: FIEMG/CETEF. 2001. p. 34-39.
- 7 **ENVIRONMENTAL** pollution prevention project; introduction to pollution prevention-training manual. [S.l]: Hagler Bailly Consulting, 1995.
- 8 FALANDO de qualidade: gestão, processos e meio ambiente. Disponível em:<<http://www.banasqualidade.com.br>>. Acesso em: 30 ago 2003.
- 9 FIGUEIRA, Maria Eugênia Minelli et al. Gestão ambiental no município. **Semearh**, v.2, n.4, p.11-12, mar. 2002
- 10 FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS: Agência Brasileira de Inovação. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br>>. Acesso em: 17 mar 2004.
- 11 FOUNDRY INDUSTRY RECYCLING STARTS TODAY: what is recycled foundry sand? Disponível em: <<http://www.foundryrecycling.org>>. Acesso em: 14 nov2002)
- 12 FUNDIÇÃO no Brasil. **Fundição e Matérias-primas**, São Paulo, v.6, n.46, mar/abr., p.26. 2002.
- 13 GALVÃO FILHO, João B. Gestão de risco ambiental. **Banas Ambiental**, São Paulo, v.2, n.12, p.32-41, jun.2001
- 14 GERALDES, André Gustavo Almeida . Legislação ambiental; poluição do solo. **Fundição e Matérias Primas**, São Paulo, v.5, n.50, p.42-43, nov/dez. 2002.

- 15 GROSZEK, Freddy. A deficiência na fiscalização. Disponível em: <<http://www.riosvivos.org.br/materia>>. Acesso em: 17 mar 2004
- 16 IEL-MG/SIFUMG. **Diagnóstico da Indústria de Fundição no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte. 2003. 61 p.
- 17 INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. Disponível em : <<http://www.ipen.br>>. Acesso em: 16 mar 2004.
- 18 INTEGRATED pollution prevention and Control; draft reference document on best available techniques in the smitheries and foundries industry. **Joint Research Centre(JRC)**, Seville, jan. 2004
- 19 **JORNAL GAZETA MERCANTIL**. São Paulo, maio, 2001.
- 20 LOPES, Elione José et al . Sistema de recuperação de areias alcalinas de fundição. In: CONGRESSO NACIONAL DE FUNDIÇÃO, 11, 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABIFA, 2003.
- 21 MARIOTTO, Cláudio et al . Tratamento dos descartes de areia. **Fundição e Matérias-primas**, São Paulo,v.2, n.12, p. 28-32, mar/abr. 1996.
- 22 MATOS, Stelvia Vigolvinho. Alternativas de minimização de resíduos da indústria de fundição. São Paulo, **Fundição e Serviços**, São Paulo, v.13, n.115, p. 90-98, jul. 2002.
- 23 **MODERN CASTING**. Des Plaines: American Foundry Society, dez. 2001.
- 24 MORAES, Carlos Alberto Mendes. Reciclagem de Resíduos Sólidos de uma Fundição: uma análise crítica. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 57. São Paulo. 2002. **Anais...** São Paulo: ABM, 2002.
- 25 PENALTI JÚNIOR, Esneder A. Projeto – Reaproveitamento de resíduo de areia descartada de fundição na produção de blocos de concreto para a construção civil. In SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DO PROJETO SENAI/CETEF – JICA, 2001, Itaúna. **Palestras...** Itaúna: FIEMG/CETEF. 2001.p. 27-33.
- 26 JR, Sergio Teixeira e Nely Caixeta. **REVISTA EXAME**. São Paulo: Abril, 2004. p.20-31
- 27 RUNDMAN, Karl B. **Metal casting**; reference book for MY 4130. Michigan: Materials Science and Engineering. Michigan Technology University. [199-]
- 28 SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE FUNDIÇÃO DO PROJETO SENAI/CETEF- JICA, novas tecnologias para pequenas e médias indústrias de fundição, 2001, Itaúna. **Palestras...** Itaúna: FIEMG/SENAI, 2001.

- 29 SENAI.DR.MG. **Iniciação a fundição**. Belo Horizonte, 1987. 77p. il.(Publicação Técnica Fundição, 1).
- 30 SOUZA, Hellen. Controle da Emissão de Poluentes começa na própria fonte. **Fundição e Serviços**, São Paulo, v.9, n.64, p.22-27, abr.1998.
- 31 SOUZA, Tânia Nogueira F. **Elementos finitos aplicados à fundição**.2002. Dissertação (Mestrado em 2002 – CETEF-MG, Belo Horizonte, 2002.
- 32 A VISION for the U.S. metal casting industry. **Cast Metals Coalition**, Beyond, may. 2002

Anexo A

Universidade Federal de Minas Gerais
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Minas

Itaúna, 01 de maio de 2003.

Prezados Senhores,

Este questionário que vocês estão recebendo, é parte integrante de um trabalho de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais. Os resultados serão tabulados e analisados para as considerações finais.

O objetivo do mesmo é verificar a situação das empresas de fundição de Minas Gerais e do Brasil, quanto ao gerenciamento ambiental dos resíduos gerados em seus processos, notadamente pela areia utilizada.

Agradecemos o apoio e empenho de vocês no retorno do mesmo e registramos que todas as informações serão conservadas no mais estreito sigilo quanto à identidade das empresas participantes.

Cordialmente,

Adilson Raimundo de Souza/Aluno
aadilson@uai.com.br

Dr. Edwin Auza Villegas/Professor
auza@demet.ufmg.br

Questionário

1) Nome da Empresa (opcional): _____

2) Responsável pelas informações: _____

3) Data: ____/____/____

4) Produção total em t/ano: _____

5) Processos utilizados: _____

6) Tipos de areias utilizados na moldagem:

verde silicato de sódio-CO₂ resina furânica shell
resina fenólica Outro especifique: _____

7) Tipos de areia utilizados na macharia:

verde silicato de sódio-CO₂ resina furânica shell
resina fenólica Outro especifique: _____

8) Tipo de forno:

cubilô indução óleo oxi-gás

9) A empresa possui o(s) fluxograma(s) do(s) processo(s) utilizado(s) na produção?

Sim Não

10) No processo de fundição, os resíduos (rejeitos sólidos), as emissões (rejeitos aéreos) e os efluentes (rejeitos líquidos) são identificados e caracterizados?

Sim Não

Se sim, identifique-os e apresente sua caracterização:

11) Existe um tratamento específico para os agentes (resíduos, emissões e efluentes) acima?

Sim Não

Se sim, especifique:

12) Com relação a areia:

12.1 Qual a sua origem (fornecimento)? _____

12.2 Qual a quantidade adquirida em t/ano? _____

12.3 Existe algum processo de recuperação? _____

12.4 E de regeneração? _____

12.5 Qual o tratamento dado à areia descartada?

Aterro Venda Outro especifique _____

13) Qual o valor em dólar por tonelada descartada em aterros (caso exista)? _____

14) A empresa possui a Certificação ISO 14000?

Sim Não

15) Com relação ao Sistema de Gestão Ambiental (ou outro programa semelhante):

15.1 O que levou a empresa à implantação do mesmo? _____

15.2 O que impede a empresa à implantação do mesmo? _____

15.3 Qual a perspectiva quanto à implantação do mesmo? _____

16) Qual a visão da empresa com relação à preservação do meio ambiente?

Favor acrescentar itens considerados relevantes pela empresa e que não foram abordados neste questionário (afins ao tema): _____
