

# CAPÍTULO 8

## PROJETO PARA MANUFATURA

### 8.1. INTRODUÇÃO.

Antes da revolução industrial tanto as necessidades dos clientes, quanto os produtos e os sistemas de produção utilizados eram bastante simples. Com o passar do tempo, os artesões conseguiram integrar todos os aspectos das necessidades dos clientes, projeto do produto e manufatura. O processo de projeto foi essencialmente otimizado por um simples trabalhador através da combinação de simplicidade e compreensão das interdependências existentes entre as várias facetas do sistema de produção.

Traçando um paralelo com os dias de hoje, nos atuais sistemas de manufatura, os produtos são produzidos a partir de um conteúdo de informações muito mais densas e complexas, sendo necessário para isto um volume maior de conhecimento especializado. Além disso, tem-se verificado um aumento exponencial de novas informações e tecnologias acopladas com os sempre menores ciclos de vida dos produtos e o aumento da competitividade global.

A mudança rápida e contínua, característica da moderna Era da Informação, novos materiais, evoluções nos processos, e necessidades dos clientes, estão emergindo e consolidando-se cada vez mais, tem representado uma dificuldade para as indústrias. Nas indústrias voltadas para mudanças tecnológicas, um atraso de 8 a 12 meses no lançamento no mercado de um novo produto pode custar metade de seu potencial, em termos de retorno econômico.

As metas das empresas, por outro lado, não mudaram. As metas da maioria das empresas são basicamente duas: (1) fazer um produto tão bom quanto possível, num tempo menor possível, e com os menores custos possíveis; (2) vender a maior quantidade possível, tão rápido quanto possível. Junto com estas metas, as rápidas mudanças decorrentes das condições atuais, condicionam mudanças nos caminhos que as empresas operam e tomam decisões.

Talvez um dos maiores problemas criados pelos aspectos anteriormente citados, seja a necessidade de projetar produtos de uma nova maneira. Este problema requer novos cuidados com relação a todos os aspectos de uma empresa, e um deles começa com uma especial atenção aos sistemas de manufatura. Estes, definidos como responsáveis pela conversão de matéria-prima em produtos finais, abrangem todas as atividades associadas um empreendimento industrial moderno, incluindo concepção, desenvolvimento e projeto dos produtos; marketing, vendas e distribuição do produto; e apoio logístico ao produto em uso.

Dentro dos sistemas de manufatura existe um grande número de processos ou estágios distintos, que individualmente ou coletivamente, afetam a qualidade e custo do produto, o tempo e esforços gastos para produzir o produto, e o tempo necessário para introduzir uma nova versão do produto no mercado.

As interações entre as várias facetas dos sistemas de manufatura são complexas, e decisões tomadas com relação a um aspecto, acarretam implicações em vários outros aspectos, conforme mostra a figura 8.1.

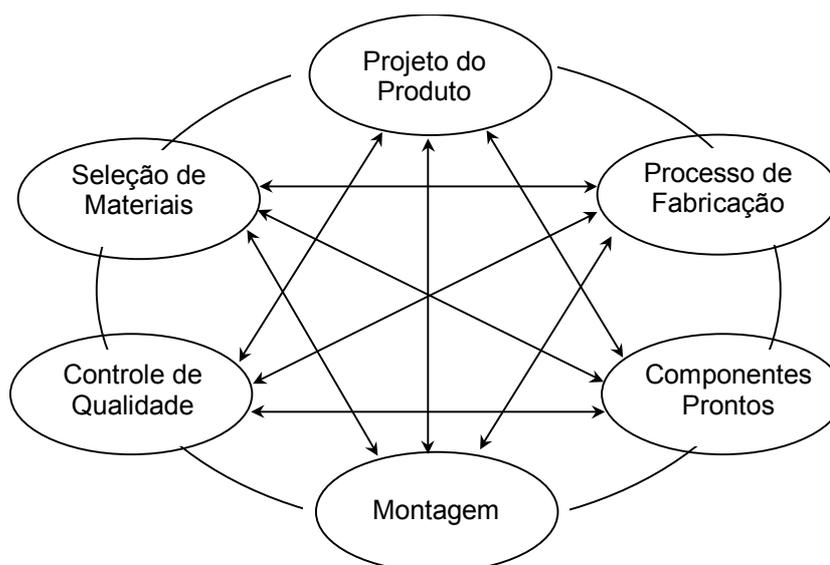


Fig. 8.1 - Interações nos sistemas de manufatura [8.1]

## 8.2 - PROJETO PARA A MANUFATURA

Projeto para a manufatura está relacionado com o entendimento de como o projeto do produto interage com os vários componentes do sistema de manufatura, de modo que as partes ou peças que irão formar o produto após a montagem, sejam fáceis de serem fabricadas. Assim, o projeto do produto e o projeto do processo não podem de modo algum ser tratados como entidades separadas.

Reconhecer a necessidade de integração do projeto do produto e do processo é somente o primeiro passo. As dificuldades associadas à integração destas atividades são devidas, em grande parte, à tradicional forma de organização tanto de empresas quanto de instituições, onde ocorre uma separação geográfica entre os grupos que desenvolvem tais atividades. A forma tradicional de organização é mostrada, através de um modelo simplificado, na figura 8.2. Neste modelo, o projeto conceitual, o projeto detalhado e os testes, são feitos antes do projeto do sistema de manufatura, do planejamento e da produção.

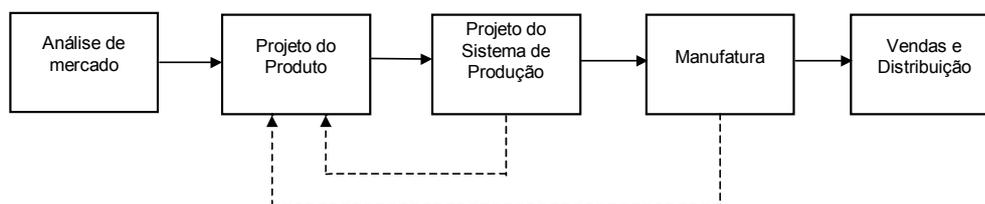


Fig. 8.2 - Modelo clássico simplificado.

Este modelo faz com que a equipe de projeto tome decisões, muitas das quais irreversíveis, com base em informações incompletas com relação às capacidades do processo de manufatura e restrições impostas pelos requisitos de produção ao projeto do produto.

A natureza serial do modelo tradicional impede a integração do projeto do produto e do processo, resultando em projeto e operações do sistema de manufatura subotimizados, esforços extras, tempo e dinheiro gastos para resolver problemas de manufatura que poderiam ser evitados, entre outros.

Além destes aspectos, a complexidade dos produtos que atualmente são necessários e desejados, e também as complexidades dos sistemas de manufatura necessárias à produção destes

produtos, fazem com que seja necessária uma reestruturação organizacional de empresas e instituições, na qual uma grande resistência (inércia) cultural e social deve ser vencida.

Portanto, para maximizar a qualidade das primeiras decisões de projeto e, por conseguinte minimizar as mudanças de engenharia nas etapas subsequentes, é necessário levar em conta as informações relativas as atividades do sistema de manufatura, tanto quanto possível no começo do processo de projeto. Isto requer então que se pense em termos da chamada “engenharia simultânea” cujo modelo simplificado é mostrado na figura 8.3.

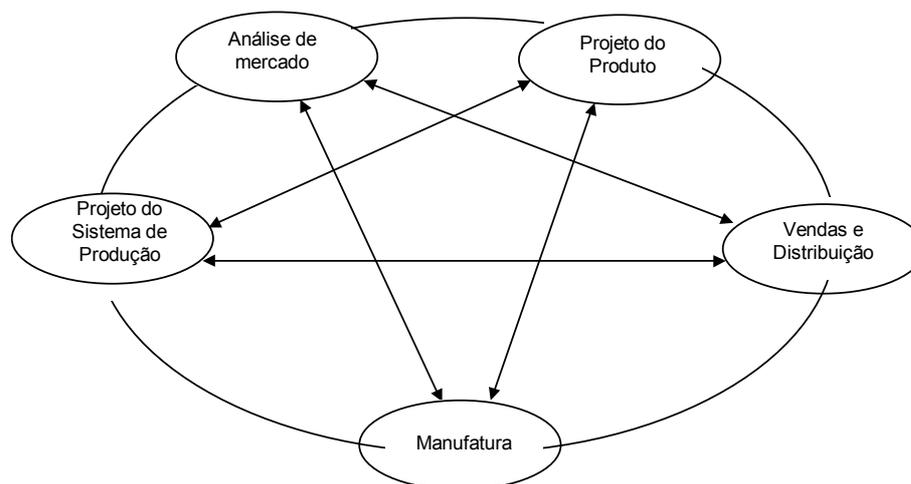


Fig. 8.3 - Modelo de engenharia simultânea simplificado.

Há muito tempo já é reconhecida a importância da manufaturabilidade no projeto de produtos. Também é bem conhecido o fato de que 80% ou mais, das decisões de produção são diretamente determinadas pelo **projeto** do produto. O que leva a uma pequena liberdade de escolha no planejamento do processo, especialmente quando este é feito após as decisões conceituais terem sido efetuadas, como mostra a figura 8.2. Ainda com relação à prática tradicional, esta busca primeiramente otimizar a função no projeto conceitual, para após, no projeto detalhado, calcular o custo dos componentes. Entretanto, o custo dos componentes é a consideração primária no projeto do produto que envolve a manufaturabilidade.

Atualmente a determinação do lucro obtido é definida com base no custo do ciclo de vida do produto, no qual o custo total do sistema de manufatura (incluindo os custos de material, componentes adquiridos, mão-de-obra para fabricação/ montagem, ferramental, e overhead) possui participação majoritária. Entretanto, estes custos raramente são analisados ou bem conhecidos antes da tomada de decisões irreversíveis com relação ao processo e ferramental. Quando estes custos tornam-se disponíveis, geralmente pensa-se em programas de redução de custo, reprojeção do produto processos de otimização e outros estudos visando a simplificação de vários aspectos, e infelizmente neste momento já é tarde, e as tentativas de implementações para reduzir os custos são normalmente muito dispendiosas, ou impossíveis de serem feitas. De fato, o custo de muitas das possíveis implementações acaba excedendo os ganhos que estas implementações produziram.

Como mostra a figura 8.4, as decisões iniciais de projeto afetam o ciclo de vida do produto, muito mais do que anos de implementações no sistema de manufatura feita após as decisões conceituais e projeto detalhado do produto. Por exemplo, a eliminação de uma parte (peça ou superfície funcional) ou direção de usinagem ou elementos de fixação separados, através do projeto, pode resultar na eliminação de estações, operações, fixações e os chamados “gargalos” da qualidade, resultando em ganhos nos custos diretos do ciclo de vida.

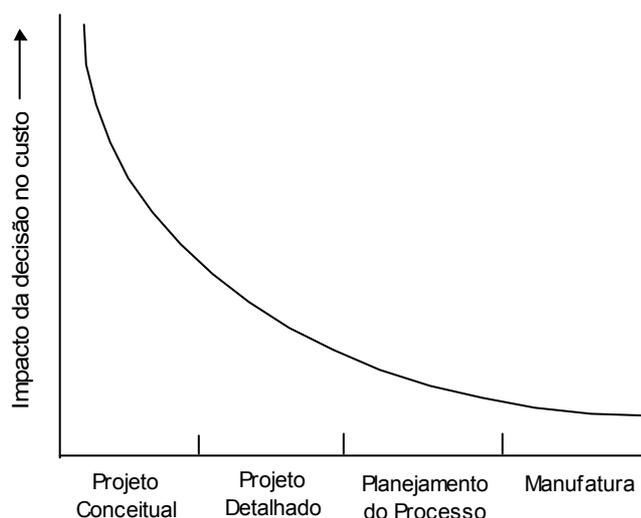


Fig. 8.4 - Gráfico mostrando o impacto das decisões no custo.

A maior razão pela qual as decisões iniciais de projeto afetam o custo do ciclo de vida tão fortemente, é que estas afetam diretamente a **produtividade** do sistema de manufatura. Projetos de produtos cujo conceito seja inerentemente fácil de manufaturar e composto de partes (peças ou superfícies funcionais) que tenham sido cuidadosamente projetadas, levando em conta o processo e o material, de modo a serem fáceis de fazer, fáceis de fixar, manipular e fáceis de montar, o que naturalmente resulta em ganhos de produtividade. Desta forma, baixo custo e produtividade tornam-se ganhos de **qualidade**. A qualidade é o terceiro aspecto relacionado à redução de custos. A melhora da produtividade requer uma manufatura livre de erros, que por sua vez requer um projeto adequado (integrado) proporcionando assim ganhos em termos da qualidade real e percebida.

A sinergia entre custos, produtividade e qualidade é chave para a redução de custos. A facilidade de manufatura reduz tanto os custos de manufatura diretos quanto os indiretos e também os riscos de qualidade. Como resultado disto, tem-se um produto melhor e mais desejável, o qual proporcionará um aumento nas vendas e na participação de mercado. Também, devido a alta qualidade percebida, pode-se praticar um preço mais alto. O baixo custo do sistema de manufatura mais o aumento nas vendas e um preço praticado maior, traduz-se em altos lucros, que é a principal meta de qualquer empresa.

Como pode ser observado, os benefícios da redução de custos (baixos custos de manufatura e alta qualidade) só podem ser obtidos levando-se em conta os aspectos anteriormente descritos durante as etapas iniciais do processo de projeto. O tempo despendido com a preparação de informações de projeto mais detalhadas acaba por reduzir o número de mudanças no projeto e melhorar o desempenho da manufatura e das vendas.

Outro aspecto com relação à redução de custos diz respeito ao tempo ganho em termos do menor número de mudanças necessárias, que significa um desenvolvimento mais rápido do produto e todas as vantagens advindas deste fato.

Atualmente, a meta do projeto para a manufatura, é facilitar o projeto de produtos que tenham funcionalidade e apelo visual, e sejam confiáveis; para que sua fabricação seja eficiente de modo que os produtos sejam introduzidos no mercado de maneira rápida.

Nem sempre se consegue desenvolver um produto que seja inerentemente fácil de ser fabricado, e na maioria dos casos, é possível produzir algo com um processo industrial otimizado. Ou seja, quando se busca desenvolver um produto cuja fabricação seja fácil, esse produto deverá ser projetado de tal forma que a sua montagem também seja fácil. Conseguindo-se esta integração do projeto com a manufatura, consegue-se um produto de melhor qualidade.

O objetivo deste capítulo é explorar alguns aspectos relacionados às metas do projeto para a manufatura buscando o entendimento de “como projetar” para obter-se eficiência na qualidade, custos e no tempo de introdução de produtos no mercado.

### 8.3 - O PROCESSO DE PROJETO PARA A MANUFATURA

O projeto é uma atividade interativa de tomada de decisão, envolvendo o uso de informações científicas e tecnológicas para produzir um sistema, dispositivo ou processo destinado a atender necessidades específicas.

O projeto para a manufatura envolve a mudança do modo com que a empresa desenvolve o projeto, e a mudança das necessidades do projeto. Os objetivos do projeto para a manufatura são:

- Identificar precisamente os aspectos que afetam a produção de um produto, dentro de determinadas especificações.
- Enfocar o projeto dos componentes visando a fácil fabricação e montagem.
- Integrar o projeto dos processos de fabricação com o projeto do produto, para assegurar o melhor atendimento possível dos requisitos de projeto.

Para atingir estes objetivos, é necessária a integração de uma quantidade imensa de informações diversas e complexas. Estas informações incluem não somente considerações sobre a forma do produto, função e fabricação, mas também procedimentos organizacionais e administrativos que embasam e tornam possível o processo de projeto.

Diferentes tipos de processo de projeto para a manufatura podem ser propostos. As diferenças são devidas à idiosincrasia existente em cada organização, na qual são desenvolvidos tipos específicos de projetos. A morfologia do processo de projeto, incluindo o projeto para a manufatura, é mostrada de forma simplificada na figura 8.5.

Este processo começa com uma concepção de um produto proposta, a concepção de um processo proposta, e um conjunto de metas para o projeto. Todas estas três entradas deverão ser geradas através de um plano de desenvolvimento do produto, feito pela equipe de desenvolvimento. As metas de projeto deverão incluir tanto as metas do produto em si, quanto as metas para a manufatura. Por exemplo, as metas de projeto podem incluir metas relacionadas ao melhoramento do desempenho do produto, e também metas para a manufatura, tais como a eliminação de um número determinado de operários envolvidos com operações de montagem ou fabricação.

Quatro atividades, cada uma direcionada a um aspecto particular do projeto para a fabricação, fazem parte também do processo. A otimização da concepção produto/processo está relacionada com a integração do planejamento proposto para o produto e para o processo de fabricação, visando assegurar que as metas para o produto e processo possuam flexibilidade, ou seja, possam adaptar-se rapidamente as possíveis modificações nas condições e/ou requisitos tanto do produto, quanto da produção. Desta forma, obtém-se um conjunto combinado de requisitos para o produto e para o processo, de tal forma que o desenvolvimento integrado do produto e do processo busque uma fabricação fácil.

Com a integração das especificações do produto e do processo, a próxima atividade consistirá no projeto dos componentes para fácil montagem e manipulação e para a simplificação dos componentes, promovendo assim uma manufatura fácil, melhorando a qualidade e reduzindo os custos de manufatura.

A terceira atividade é voltada para assegurar a conformidade do projeto com relação às necessidades do processo. Por exemplo, para um determinado componente que será feito de

plástico injetado, esta atividade deverá assegurar que o componente esteja adequadamente projetado para este processo em particular. Isto não deverá incluir somente o projeto o componente para a injeção fácil, mas também o projeto do componente visando a simplicidade das ferramentas, fixações e manipulação de material, necessárias ao adequado desempenho do processo.

A última atividade é voltada a otimização da função do produto. Esta atividade é deixada para o final, para assegurar que todos os requisitos e restrições incluindo a montagem, os processos e a manipulação de materiais, sejam conhecidas, antes da otimização ser completada.

A figura 8.5, mostra a natureza iterativa do processo de projeto para a fabricação. Por exemplo, considerando o resultado obtido nas três primeiras atividades, imagine que a otimização da função do produto indique a necessidade de modificações em um ou mais aspectos do projeto. A implementação destas modificações implica numa segunda iteração. O ideal é a consideração de todos os aspectos do projeto do produto e da fabricação, nos primeiros estágios do processo de projeto, de tal forma que as iterações no projeto e as modificações que as acompanham, sejam efetuadas facilmente e com custos baixos.

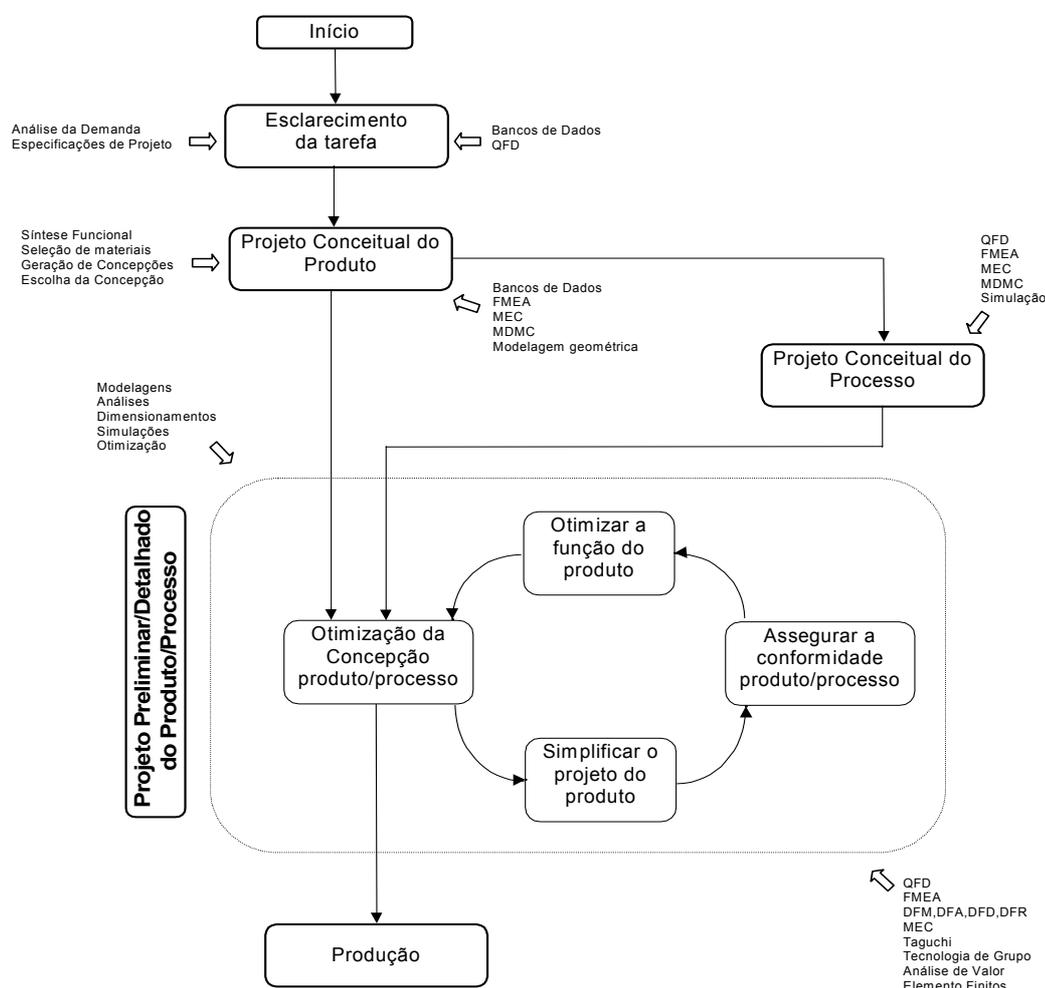


Fig. 8.5 - Processo de projeto, incluindo algumas atividades e técnicas necessárias.

Um dos maiores objetivos do processo de projeto para a fabricação é assegurar que o produto (incluindo a seleção de materiais) e o processo são projetados conjuntamente. Ou seja, assegurar que todas as modificações no projeto sejam refletidas em ambos, produto e processo. Isto é vantajoso, pois conduz a poucas ou nenhuma surpresa na manufatura, além de tornar tanto o departamento de manufatura, quanto o de engenharia, comprometidos de igual forma com o projeto.

## 8.4 - PRINCÍPIOS, REGRAS E RECOMENDAÇÕES DE PROJETO PARA A FABRICAÇÃO

Para auxiliar os projetistas a considerar a manufaturabilidade desde as primeiras fases do processo de projeto, deve-se utilizar os princípios, as regras e as recomendações de projeto para a manufatura, que nada mais são do que declarações sistemáticas e organizadas para uma boa prática projeto, obtidas através da experiência em projeto e manufatura. Tipicamente, estas informações atuam tanto para estimular a criatividade, quanto para indicar o caminho para um bom projeto para a fabricação. Se forem corretamente seguidas, o resultado obtido será um produto inerentemente fácil de ser fabricado.

Estas informações são muitas, e variam de situação para situação. É importante notar que normalmente fornecem apenas uma direção, não devendo substituir o talento, inovação e experiência da equipe de desenvolvimento do produto. São ótimas sugestões para obter-se um projeto de alta qualidade, baixo custo, e fácil de fabricar.

A seguir são apresentados alguns destes princípios, regras e recomendações de projeto para a fabricação:

1. **Minimizar o número de partes.** Partes podem ser facilmente eliminadas se não existe necessidade de seus movimentos relativos ou subsequentes ajustes entre as partes. Também, se não existe necessidade de serviços ou reparos, ou que materiais sejam diferentes, partes podem ser eliminadas. Contudo, a equipe de projeto de ter cuidados no sentido de que, a redução de partes não exceda o ponto em que o retorno diminua, uma vez que a eliminação de certas partes adiciona custo, complexidade, peso, etc..
2. **Desenvolver projetos modulares.** Um módulo é um componente com interfaces padronizadas com relação a outros módulos do produto e para os equipamentos e ferramentas utilizadas na fabricação do produto. Um projeto modular padronizado reduz o conteúdo de informações finais de montagem, pois poucas partes serão montadas e cada módulo pode ser totalmente inspecionado antes da montagem final.
3. **Minimizar as variações das partes.** O conteúdo de informações e os riscos para a qualidade são menores quando as variações das partes (tais como tipos de parafusos utilizados) são minimizadas. A utilização de componentes padronizados reduz estas variações, simplificando a fabricação e tornando a produção do produto mais barata.
4. **Projetar as partes para serem multifuncionais.** Multifuncionalidade auxilia a minimizar a variação das partes e o conteúdo de informações. Combinações de funções podem gerar operações de guiar alinhar e/ou fixar uma parte, visando facilitar a montagem ou a inspeção.
5. **Projetar partes para multiuso.** Combinar funções sempre que possível gerando assim produtos mais versáteis e com mais apelo para o consumidor. O multiuso de partes reduz o conteúdo de informações do sistema de fabricação, reduzindo o número de partes diferentes ou as variações destas que necessitam ser fabricadas. Além disso, acarreta economia de escala, pois aumenta o volume de produção de poucas partes, e também, pelo fato de que algumas partes podem ser utilizadas em várias outras aplicações e produtos.
6. **Projetar as partes para fácil fabricação.** As partes deverão ser projetadas com o menor custo de material que satisfaz os requisitos funcionais de forma exata, e que ambos o desperdício de material e tempos sejam minimizados. Para isso, os processos de fabricação mais adequados, e disponíveis, sejam usados na confecção de cada parte e que as partes sejam adequadamente projetadas para o processo escolhido. Processamentos secundários, tais como acabamento superficial, pintura, revestimentos, tratamentos térmicos e movimentação de

material, devem ser evitados sempre que possível, pois podem ser tão dispendiosas quanto o processamento primário.

7. **Evitar o uso de elementos de fixação separados.** Elementos desta natureza devem ser evitados, pois, além do aumento do conteúdo de informações, cada elemento usado é um elemento a mais para ser manipulado, transportado, inspecionado, armazenado e a qualidade controlada. Parafusos muito longos ou muito curtos e ruelas separadas deverão ser evitadas. Outro aspecto é que estes elementos normalmente são concentradores de tensão, tornando-se potenciais pontos de falha estrutural no projeto.
8. **Eliminar ou simplificar os ajustes.** Ajustes mecânicos manuais ou automáticos são caros e geram problemas de serviço, teste, montagem e de confiabilidade. Evitar ajustes significa redução dos custos de montagem, de automação, e redução dos custos de serviço.
9. **Evitar o uso de componentes flexíveis.** Cabos elétricos e outros componentes flexíveis são difíceis de serem montados, devido a sua flexibilidade dificultar a sua manipulação. Conectores em posições fixas diminuem esta dificuldade, principalmente para montagem robotizada. Placas de circuito impresso, por exemplo, podem ser usadas no lugar de cabos. O uso alternado de conexões do tipo macho e fêmea, sobre placas também reduz problemas de montagem.
10. **Minimizar a manipulação.** As partes deverão ser projetadas de modo que a sua localização e orientação sejam fáceis de ser obtida, e que o processo de produção mantenha a localização e orientação uma vez que as mesmas tenham sido obtidas. Ou seja, as partes deverão ser projetadas de tal forma que seja possível executar tantas operações de fabricação quantas possível, sem haver a necessidade de reposicionar a parte na máquina. Com isso, consegue-se maior precisão uma vez que a precisão pode ser construída na ferramenta e equipamento.
11. **Usar material de mais fácil processamento.** Desde que atenda às características funcionais e seja de custo compatível, deve-se escolher o material de mais fácil processamento. O material mais econômico é aquele que ao longo do ciclo de vida do produto, permite o menor custo combinado de material, processamento, garantia e serviço.
12. **Usar materiais e componentes normalizados.** O uso de materiais e componentes normalizados permite, mesmo para um pequeno número de peças, as vantagens da produção em massa, simplificar o controle de peças e de almoxarifado, reduzir custos de compra, reduzir usinagens especiais, reduzir o investimento de capital, e acelerar o ciclo de fabricação.
13. **Utilizar as características especiais dos processos.** A equipe de projeto deverá identificar as capacidades especiais dos processos de fabricação que são aplicáveis ao seu produto e tirar vantagens dos mesmos. por exemplo, na injeção de plásticos, as peças já saem com a coloração e a textura desejada; na sinterização, as peças apresentam porosidades que podem ser aproveitadas para a retenção de lubrificantes, de forma a não ser necessária a introdução de buchas para o caso de mancais. Aproveitando-se as características especiais de certos processos, pode-se eliminar muitas operações adicionais e mesmo componentes separados.
14. **Projetar de acordo com o volume esperado.** Cada processo tem um volume econômico de produção. Assim, conhecendo-se o volume de produção de uma peça ou produto, deve-se adequar o projeto ao correspondente processo de fabricação, e desta forma obter as vantagens do mesmo. Por exemplo, não se deve projetar uma peça para fundição em matriz, se o seu volume de produção é tão pequeno que o custo da matriz não possa ser amortizado.

15. **Liberar as tolerâncias.** Apesar de que os custos extras na fabricação de tolerâncias estreitas já ser bem documentado e discutido, este fato, muitas vezes não é bem apreciado pelos projetistas. Os custos elevados de tolerâncias estreitas resultam nos seguintes aspectos: custos elevados de usinagem devido a precisão necessária, operações extras tais como retificação, polimento e lapidação, após o processamento inicial das peças, maior frequência na afiação de ferramentas, ciclos de operação mais longos, mais refugos e serviços de recuperação de peças, mão-de-obra qualificada e treinamentos, materiais mais caros, maior investimento em equipamentos de metrologia e de testes. A tabela 8.1 mostra os custos de manufatura em função das tolerâncias especificadas. A tabela 8.2 mostra os custos extras na produção de acabamentos superficiais.

Tabela 8.1 - Tolerâncias e os custos relativos de alguns processos.

TOLERÂNCIAS E CUSTOS RELATIVOS	
Desbastes (+/- 1,0 mm)	1
Usinagem normal (+/- 0,1 mm)	2
Usinagem fina, retificação (+/- 0,025 mm)	3
Usinagem bem fina, retificação (+/- 0,01mm)	5,5
Retificação de precisão (+/- 5 $\mu$ m)	10
Retificação de alta precisão, lapidação (+/- 2 $\mu$ m)	20
Lapidação, polimento (+/- 1 $\mu$ m)	35

Tabela 8.2 - Custos de produção de acabamentos superficiais

CUSTOS DE ACABAMENTOS SUPERFICIAIS		
Processo	Rugosidade $\mu$ m	Custo%
Desbaste	6	1
Usinagem normal	3	2
Usinagem fina, retificação grosseira	1,6	4,4
Usinagem bem fina, retif. normal	1	7
Retificação fina	0,5	14
Lapidação	0,25	24
Lapidação, polimento	0,05	45

## 8.5 - SELEÇÃO DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Muitos processos podem ser usados para produzir peças e componentes em sua forma final. Normalmente existe mais de um método que pode ser utilizado para a fabricação de um componente para um dado material. As grandes categorias de métodos de processamento de materiais são:

- **Fundição** – moldes consumíveis (feitos de areia, gesso, cerâmica) e permanentes (feitos de metal);
- **Conformação e moldagem** – laminação, forjamento, extrusão, trefilação, dobramento de chapas, metalurgia do pó e moldagem por injeção;
- **Usinagem** – torneamento, furação, fresamento, plainamento, brochamento, mandrilamento, retificação, usinagem ultra-sônica, química, eletroquímica e ....
- **União** – por forma, força e material (soldagem, brazagem, difusão, colagem, e juntas mecânicas (parafusos, rebites etc.));
- **Operações de acabamento** – esmerilhamento, rebarbação, polimento, lapidação, tratamento superficial, revestimento e eletrodeposição.

A seleção de um processo particular depende não somente da forma a ser produzida, mas também de um grande número de fatores. O tipo de material e suas propriedades são considerações básicas. Materiais frágeis e duros, por exemplo, são difíceis de ser trabalhados, mesmo podendo ser fundidos ou usinados de várias maneiras diferentes. Os processos de fabricação geralmente alteram as propriedades dos materiais. Metais conformados à temperatura ambiente tornam-se mais resistentes, duros e menos dúcteis que antes do processamento.

Engenheiros de manufatura estão constantemente sendo demandados para a obtenção de novas soluções de problemas de manufatura e redução de custos. Tradicionalmente, peças de chapas metálicas são obtidas por corte, feito por punções e estampos. Embora ainda amplamente utilizadas estas operações estão atualmente sendo substituídas por técnicas de corte a laser. Com os avanços na automação, o controle automático da trajetória do laser é possível, produzindo uma ampla variedade de formas, com precisão repetibilidade e economia.

Os processos de manufatura são selecionados tendo-se em mente certos atributos tais como: *condições superficiais, precisão dimensional, forma e sua complexidade, taxa de produção, custos e tamanhos.*

O acabamento superficial é uma característica importante nos produtos. Em geral, os produtos são compostos de peças ou unidades que são fabricadas separadamente para então serem montadas formando o produto final. O acabamento superficial de uma peça determina a aparência da superfície, afeta a montagem da peça com outro(s) componente(s) e também fornece proteção contra a corrosão. Existe uma relação estreita entre a rugosidade da superfície e as tolerâncias. Geralmente, a tolerância deve ser maior que a distância entre o pico mais alto e o vale mais profundo do perfil da rugosidade superficial. As tolerâncias devem ser no mínimo dez vezes o valor da rugosidade superficial média. Tolerâncias e acabamentos superficiais obtidos em operações com trabalho a quente, não são tão boas quanto àquelas obtidas com operações com trabalho a frio. Mudanças dimensionais, empenamentos e oxidação na superfície ocorrem durante o processamento em elevadas temperaturas. Alguns processos de fundição produzem um acabamento superficial melhor que outros devido aos diferentes tipos de materiais dos moldes utilizados e de seus acabamentos superficiais.

A intercambiabilidade de peças manufaturadas depende diretamente da precisão dimensional e é um requisito padrão de muitos produtos com produção em massa. A intercambiabilidade está associada a vantagens tais como: facilidade de montagem, facilidade de reparo e padronização de processos e componentes. Se duas ou mais peças são intercambiáveis, então devem ser fabricadas com dimensões compatíveis. Enquanto certos processos podem assegurar tolerâncias dimensionais estreitas, outros não. Isto é geralmente devido a mudanças na temperatura, desgaste de ferramentas, e deflexões e vibrações entre a peça e a ferramenta. Tolerâncias nas dimensões nada mais são do que variação nas dimensões básica que são permitidas para assegurar a intercambiabilidade entre as peças. Os custos de manufatura aumentam exponencialmente com a diminuição das tolerâncias e melhora do acabamento superficial, motivo pelo qual, deve-se selecionar o acabamento superficial e as tolerâncias dimensionais não melhores do que necessário.

Os produtos variam na sua forma e na complexidade de seus detalhes. Enquanto detalhes simples podem ser manufaturados através de vários diferentes processos, somente certos processos têm a capacidade de produzir detalhes complexos. Para um detalhe simples como um rebaixo, existem muitos processos que não são capazes de produzi-lo. Em outras palavras, cada processo tem suas limitações à cerca da forma e complexidade das peças produzidas. Torneamento requer que a peça tenha simetria cilíndrica, metalurgia do pó não pode ser usada para produzir peças com ângulos agudos severos, devido a aspectos de resistência. Peças planas contendo seção transversal fina, não são adequadas para serem obtidas por fundição. Peças complexas não podem ser obtidas de maneira fácil e econômica através da conformação. Quase todos os processos não podem produzir um ou mais detalhes complexos. Portanto, a complexidade da peça irá determinar ou não se um processo de manufatura é candidato a manufatura-la.

Os produtos variam não somente em suas formas, mas também em tamanho e peso e estes fatores podem limitar a escolha do tipo de processo de manufatura a ser utilizado.

Como citado anteriormente, todos os processos têm um número mínimo de peças que devem ser feitas para justificar economicamente a utilização do processo. Este aspecto deve sempre ser levado em conta quando da escolha do processo de manufatura.

O custo de um processo de manufatura normalmente é o atributo mais importante. É afetado pelos outros atributos: tamanho, forma, taxa de produção, tolerâncias e acabamento superficial. O custo das ferramentas, o tempo de desenvolvimento necessário para começar a produção e o efeito do material da peça sobre o ferramental, são considerações bastante importantes. Dependendo do tamanho, do projeto e da vida esperada, o custo do ferramental pode ser substancial. Para peças feitas com materiais de custo elevado, a menor geração de sobras irá proporcionar uma produção mais econômica. Devido à geração de cavacos, a usinagem pode ser mais dispendiosa que a conformação. Além dos custos de ferramentas, os custos de mão de obra e de equipamentos, entre outros, devem ser levados em conta. Assim, o custo de um processo tem grande influencia sobre sua adequabilidade para a manufatura de uma peça.

Um ou mais destes atributos podem ser utilizados para determinar os processos candidatos primários, que poderão ser adequados para a manufatura do produto. Operações secundárias, tais como: tratamento térmico, usinagem, pintura, etc., não devem ser consideradas neste estágio, uma vez que operações secundárias devem ser evitadas ou minimizadas para reduzir os custos, a manipulação e o tempo de ciclo. Infelizmente, para muitos processos de manufatura a satisfação destes critérios freqüentemente envolve soluções de compromisso, de tal forma que nem todos os atributos podem ser satisfeitos da maneira desejada. Para minimizar a severidade desses compromissos pode-se identificar as capacidades dos processos de manufatura mais comuns de forma que os atributos mais importantes possam se satisfeitos com um grau mais elevado. Esta abordagem está mostrada de forma resumida na tabela 8.3.

Tabela 8.3 - Processos de manufatura e seus atributos.

PROCESSOS	ATRIBUTOS						
	Acabamento superficial	Precisão dimensional	Complexidade	Taxa de produção	Lote econômico	Custo relativo	Tamanho (área projetada)
Fundição em areia	A	M	M	B	A/M/B	A/M/B	A/M/B
Fundição em casca	B	A	A	A/M	A/M	A/M	M/B
Fundição em cera perdida	B	A	A	B	A/M/B	A/M	M/B
Fundição sob pressão	B	A	A	A/M	A	A	M/B
Torneamento	B	A	M	A/M/B	A/M/B	A/M/B	A/M/B
Fresamento	B	A	A	M/B	A/M/B	A/M/B	A/M/B
Retificação	B	A	M	B	M/B	A/M	M/B
Eletroerosão	B	A	A	B	B	A	M/B
Moldagem por injeção	B	A	A	A/M	A/M	A/M/B	M/B
Moldagem por sopro	M	M	M	A/M	A/M	A/M/B	M/B
Estampagem	B	A	A	A/M	A/M	A/M/B	B
Forjamento	M	M	M	A/M	A/M	A/M	A/M/B
Moldagem por compressão	B	A	M	A/M	A/M	A/M	A/M/B
Laminação	B	M	A	A	A	A/M	A/M
Extrusão	B	A	A	A/M	A/M	A/M	M/B
Metalurgia do pó	B	A	A	A/M	A	A/M	B
UNIDADES	mm	mm		peças/h	peças		
A	>0,0064	< 0,13	Alto	> 100	> 5000	Alto	
M	<0,0064 >0,0016	> 0,13 < 1,3	Médio	< 100 > 10	< 5000 > 100	Médio	
B	< 0,0016	> 1,3	Baixo	< 10	< 100	Baixo	

Os processos de manufatura candidatos obtidos na tabela 8.3, podem ser relacionados com os materiais candidatos através da tabela 8.4. Essa tabela relaciona o grau de adequação dos materiais candidatos com os processos de manufatura candidatos.

Tabela 8.4 - Adequacidade de materiais e processos de manufatura.

MATERIAIS	PROCESSOS DE MANUFATURA															
	Fundição em areia	Fundição em casca	Fundição em cera perdida	Fundição sob pressão	Torneamento	Fresamento	Retificação	Eletroerosão	Moldagem por injeção	Moldagem por sopro	Estampagem	Forjamento	Moldagem por compressão	Laminação	Extrusão	Metallurgia do pó
Aço carbono	E	E	E	-	B	B	E	E	-	-	B	B	-	B	B	E
Aço baixa liga	E	E	E	-	-	B	E	E	-	-	B	B	-	B	B	E
Aço ferramenta	B	E	E	-	-	-	-	E	-	-	-	-	-	-	-	E
Aço inox	E	E	E	-	-	-	-	E	-	-	B	B	-	B	B	E
Ferro cinzento	E	E	E	-	B	B	E	E	-	-	B	R	-	R	R	E
Ferro maleável	E	E	E	-	B	B	E	E	-	-	B	R	-	R	R	E
Ferro dúctil	E	E	E	-	B	B	E	E	-	-	B	R	-	R	R	E
Ferro fundido	E	E	E	-	B	B	E	E	-	-	B	R	-	R	R	E
Ligas de zinco	B	B	R	E	B	-	R	E	-	-	E	R	-	R	B	E
Ligas de alumínio	E	B	E	E	E	E	B	E	-	-	E	E	-	E	E	E
Ligas de magnésio	E	B	E	E	B	-	R	E	-	-	B	S	-	B	E	E
Ligas de titânio	-	B	R	-	-	-	R	E	-	-	-	B	-	R	R	E
Ligas de cobre	E	B	B	B	E	E	G	E	-	-	E	E	-	E	E	E
Ligas de níquel	E	B	B	-	-	-	R	E	-	-	B	R	-	B	B	E
Ligas de cobalto	-	R	R	-	-	-	R	E	-	-	-	-	-	-	-	E
Ligas de molibdênio	-	R	R	-	-	-	R	E	-	-	-	-	-	-	-	E
Ligas de tungstênio	-	R	R	-	-	-	R	E	-	-	-	R	-	-	-	E
ABS	-	-	-	-	B	B	B	-	-	B	-	-	-	-	E	-
Acetatos	-	-	-	-	B	B	B	-	-	B	-	-	-	-	B	-
Nylons	-	-	-	-	B	B	B	-	E	B	-	-	-	-	B	-
Fluorcarbonos	-	-	-	-	B	B	B	-	-	B	-	-	-	-	R	-
Polycarbonatos	-	-	-	-	B	B	B	-	-	B	-	-	-	-	B	-
Poliamidas	-	-	-	-	B	B	B	-	-	B	-	-	-	-	R	-
Poliestireno	-	-	-	-	B	B	B	-	E	B	-	-	-	-	E	-
PVC	-	-	-	-	B	B	B	-	-	B	-	-	-	-	E	-
Poliuretano	-	-	-	-	B	B	B	-	-	B	-	-	E	-	B	-
Polietileno	-	-	-	-	B	B	B	-	E	E	-	-	-	-	E	-
Polipropileno	-	-	-	-	B	B	B	-	-	B	-	-	-	-	E	-
Acrílico	-	-	-	-	B	B	B	-	-	-	-	-	-	-	R	-
Epóxi	-	-	-	-	B	B	B	-	E	-	-	-	E	-	R	-
Fenólicos	-	-	-	-	B	B	B	-	-	-	-	-	E	-	B	-
Silicones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	E	-	R	-
Poliéster	-	-	-	-	B	B	B	-	-	-	-	-	E	-	R	-
Borrachas	-	-	-	-	-	-	-	-	E	-	-	-	E	-	R	-

E → Excelente, o material é um dos mais adequados para o processo;

B → Bom, o material é um bom candidato para o processo;

R → Raramente usado, o material é raramente usado no processo;

“- “ → Inadequado, o material não é usado ou adequado para o uso no processo.

Associado com cada processo de manufatura existe um conjunto de recomendações que indicam limitações geométricas (forma) específicas, que se observadas resultarão num produto fácil de fazer e de baixo custo. Para ilustrar o significado destas recomendações, utiliza-se a concepção de uma peça, mostrada na figura 8.6a. As figuras 8.6b-g mostram de maneira exagerada o efeito de diferentes processos de manufatura sobre a geometria da peça.

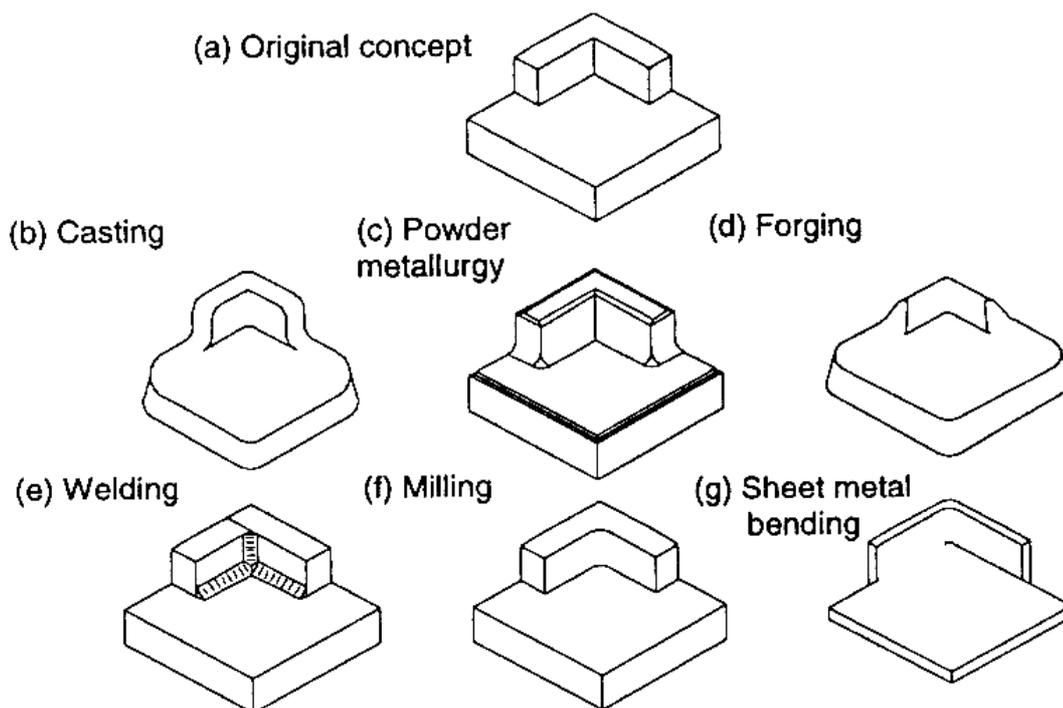


Fig. 8.6 - Efeito do processo de manufatura sobre a geometria (detalhes exagerados).

## 8.6 - FATORES DE CUSTO NA SELEÇÃO DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

A equipe de projeto, quando da análise das alternativas de métodos para a produção de uma parte, ou produto, ou para a execução de uma operação dentro de um processo, põem-se diante de variáveis de custo relacionadas aos materiais, mão-de-obra direta e indireta, ferramentas especiais, infra-estrutura, e capital a ser investido. A inter-relação destas variáveis pode ser considerável e, portanto, a seleção do melhor processo de fabricação é uma tarefa nada fácil. Raramente um produto pode ser feito apenas por um método, e vários processos competitivos estão disponíveis. Desta forma, a avaliação e comparação das alternativas devem ser detalhadas e completas, de modo a conhecer-se totalmente os impactos dos vários fatores sobre os custos unitários.

**Materiais.** O custo unitário dos materiais é um fator importante quando os métodos que estão sendo comparados envolvem o uso de diferentes materiais ou diferentes quantidades de materiais. Por exemplo, o alumínio fundido em matriz apresenta um custo maior do que o ferro fundido em areia, se a peça é para a mesma aplicação. O processo de sinterização usa uma menor quantidade de material de maior custo do que o processo de fundição e de usinagem. Cavacos, retalhos e refugos podem influenciar consideravelmente o custo de materiais.

**Mão-de-obra direta.** O custo da mão-de-obra é especialmente determinado por três fatores: o processo de fabricação propriamente dito; o projeto da parte ou do produto, e a produtividade dos operadores dos processos. Em geral, quanto mais complexo é o projeto, mais apertadas são as tolerâncias, maior é o requisito de acabamento superficial, mais usinagem é envolvida e maior será mão-de-obra. O número de operações de fabricação, para completar uma peça, é provavelmente o maior determinante do custo da mão-de-obra. Cada operação envolve em pegar a peça, colocá-la na máquina, operar, retirar e colocá-la de lado, adicionalmente, inspeções podem ser necessárias. Custos indiretos podem aumentar, acumulação de erro podem ocorrer devido as diferentes fixações na máquina e diferentes superfícies de apoio.

**Mão-de-obra indireta.** O custo da mão-de-obra de ajustarem das máquinas, inspeções, manutenção de equipamentos, afiação e reparo das ferramentas, movimentação de materiais é, em muitos casos, fator determinante na seleção de um processo de fabricação. Por exemplo, as vantagens do processo de forjamento podem ser reduzidas quando são considerados os custos da mão-de-obra de manutenção das matrizes e das próprias prensas. A ajustarem das máquinas pode se tornar importante principalmente na produção de pequenos lotes de peças. Neste caso é conveniente adotar um processo que requer pouca mão-de-obra de ajustarem, mesmo que a mão-de-obra no processo seja maior.

**Usinagens especiais.** A fabricação de dispositivos de fixação, gabaritos, matrizes, moldes, ferramentas especiais, calibres e equipamentos de teste, podem ser fatores importantes quando novas partes ou produtos são produzidos ou maiores modificações são introduzidas. O custo por unidade de produção de peça ou produto deve ser considerado para comparações, pois este valor é muito dependente do volume de produção. Com um alto volume de produção, um alto investimento em ferramentas pode ser, normalmente, justificado pela redução na mão-de-obra direta, necessária no processo.

**Ferramentas e consumíveis.** O custo resultante do uso de pastilhas, fresas, rebolos de corte e de retificação, brocas, brochas, machos e cosinetes, esmeris, lixas, limas, solventes, lubrificantes, desengraxantes e outros fluídos de limpeza, pós e pastas abrasivas e outros dependem em muito do processo de fabricação. Assim ao selecionar um processo de fabricação e considerando o custo como fator principal, os custos de ferramentas e consumíveis devem ser considerados na tomada de decisão na seleção do processo de fabricação.

**Utilidades.** Da mesma forma que no caso de ferramentas e consumíveis, os custos com energia elétrica, vapor, refrigeração, calor, água, ar comprimido, devem ser considerados, quando houver diferenças consideráveis no seu uso nos diferentes processos e equipamentos, sendo analisados e avaliados para a seleção.

**Capital investido.** Sempre é mais fácil e de menos risco para a empresa usar, para a fabricação de um novo produto, as facilidades que dispõe. Assim, a disponibilidade de planta, máquinas e infra-estrutura deve ser comparada com outras alternativas para as quais são necessários investimentos de capital. Ainda existe a alternativa de subcontratar serviços de fabricação. Os custos de investimento, por unidade de fabricação, das diversas alternativas de processos devem ser comparados para a sua seleção.

**Outros custos.** Custos de embalagem, transporte, manutenção, ajustagens adicionais e refugos podem também influenciar na seleção do processo de fabricação.

## 8.7 - REFERÊNCIAS

- 8.1. R.F. VEILLEAUX and L. W. PETRO, “Toll and Manufacturing Engineers Handbook”, Vol. 5, Society of Manufacturing Engineers, 1988.
- 8.2. R. RADHARAMANAN, “Concurrent Design and Design for Manufacture”, I Congresso Latino Americano de Engenharia Industrial, Florianópolis, Brasil, 1993.
- 8.3. H. W. STOLL, “A Design Backwards Approach to Product Optimization”, SME Simultaneous Engineering Conference, Society of Manufacturing Engineers, 1987.
- 8.4. N. P. SUH, A. C. BELL and D. C. GOSSARD, “On a Axiomatic Approach to Manufacturing and Manufacturing Systems”, ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 100, Nº 2, 1978.

- 8.5. M. YASUHARA and N. P. SUH, “A Quantitative Analysis of Design Based on Axiomatic Approach”, Computer Applications in Manufacturing Systems, ASME Production Engineering Div. Publication, PED-vol. 2, 1980.
- 8.6. D. G. ULLMAN, The Mechanical Design Process, McGraw-Hill International Editions, 1992.
- 8.7.