

## **Aplicação do DFMA visando redução dos custos de fabricação e montagem: relações de cooperação em redes de operações produtivas**

**Andrea Cristina Elias Ribeiro** (IMESB–Victório Cardassi; Doutoranda EESC-USP) p-andrea@iris.ufscar.br

### **Resumo**

*O DFMA – Projeto para Manufatura e Montagem - é uma metodologia que promove modificações e/ou simplificações no projeto do produto visando reduzir os custos de fabricação e montagem. Seus princípios objetivam basicamente a diminuição do número de componentes e a maximização da facilidade de montagem. A Boothroy & Dewhurst Inc. desenvolveu nos anos 90 um software que, por promover uma apuração precisa dos custos, fator de suma importância nesta metodologia, auxilia as empresas a implementarem o DFMA, permitindo, inclusive, a comparação dos custos de diferentes projetos. Experiências da aplicação desta ferramenta em empresas fabricantes de automóveis e de moto,s dentre outras, apresentaram resultados satisfatórios. Há relato de empresas que, atuando em um ambiente de relações cooperativas nas redes de operações produtivas que participam, implementaram o DFMA no desenvolvimento integrado entre fornecedor e fabricante de projetos de produto.*

*Palavras-chave: Projeto para Manufatura e Montagem, Custos de Manufatura, Redes de Operações.*

### **1.Introdução**

Kotler (2000, p. 415) argumenta que “a melhor maneira de manter os clientes é descobrir constantemente como dar a eles mais por menos”. A sobrevivência de uma empresa no mundo dos negócios depende de ela atender a um público cada vez mais exigente, principalmente em termos de qualidade e custo dos produtos e serviços oferecidos. Um dos reflexos deste fato é que, ao elaborar seu planejamento agregado, por exemplo, dois dos objetivos centrais são minimizar custos e maximizar o atendimento ao cliente (RITZMAN E KRAJEWSKI, 2004).

Como resultado destas e de outras necessidades, nas últimas décadas, empresas de diversos setores, incluindo fabricantes de automóveis e motos, têm estabelecido padrões de relacionamento fornecedor-fabricante baseados na cooperação entre as partes, promovendo assim, aproximação nas redes de fornecimento imediato das redes de operações produtivas das quais participam. Neste contexto, pode-se observar a realização conjunta de ações voltadas para melhoria dos níveis de qualidade, redução de custos e desenvolvimento de produto e processo.

Uma das metodologias aplicadas com a finalidade de reduzir custos de fabricação é o DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*- Projeto para Manufatura e Montagem). Combinação dos conceitos de DFM (*Design for Manufacturing* – Projeto para Manufatura) e DFA (*Design for Assembly* – Projeto para Montagem), o DFMA pode ser entendido como uma metodologia que visa a redução dos custos de manufatura e montagem aliada ao aumento da qualidade do produto através de simplificações de projeto. Seus princípios começaram a ser utilizados com resultados satisfatórios por empresas em empresas da indústria automobilística mundial nos anos 80. Atualmente seus conceitos encontram-se mais desenvolvidos e disseminados em diversos setores industriais.

Na década de 90, após a realização de uma série de testes e experimentos, a Boothroy & Dewhurst Inc. colocou no mercado um *software*, que estava sendo desenvolvido pela

empresa desde a década de 70 e auxilia na aplicação prática dos princípios do DFMA. As versões desenvolvidas e comercializadas pela empresa desde então, incorporando os acontecimentos do cenário mundial, têm disponibilizado meios de as organizações realizarem um cálculo apurado de seus custos e de trabalharem a redução de custos junto a seus fornecedores. Outro uso desta ferramenta é a comparação entre as diferentes opções de processo que são levantadas nas etapas de projeto de um produto (STEVENS, 2002).

Bralla (1996, p. 16) comenta que o DFMA é um sistema em contínuo desenvolvimento e que diversas pesquisas neste ramo vêm sendo desenvolvidas.

## **2. DFMA – projeto para manufatura e montagem**

O DFMA é a combinação do DFM e do DFA. Tanto o conceito de DFM quanto o conceito de DFA tem uma estreita relação como os princípios do DFX. No DFX o fator “X” pode corresponder a diferentes critérios de qualidade como: confiabilidade, robustez, impacto ambiental, facilidade de serviço, manufaturabilidade, facilidade de montagem.

Para Bralla (1996, p.22-23), o “X” representa todas as características desejáveis em um produto. Deste modo, corresponde à excelência do produto e o DFX é o Projeto para Excelência (*Design for eXcellence*). Entendido desta forma, o autor define DFX como

uma abordagem baseada no conhecimento que visa desenvolver projetos de produtos que maximizem todas as características desejáveis – como alta qualidade, confiabilidade, facilidade de serviço, segurança[...] –, ao mesmo tempo que minimiza os custos durante a vida do produto, incluído os custos de manufatura.

Existem alguns princípios gerais que se aplicam a metodologias que buscam a excelência (ULRICH e EPPINGER, 1995):

- decisões detalhadas do projeto podem ter impacto substancial na qualidade e custo do produto;
- equipes de trabalho freqüentemente se deparam com metas múltiplas e conflitantes;
- é importante ter medidas com as quais comparar alternativas de projetos;
- melhorias significativas usualmente requerem esforços criativos substanciais nas etapas iniciais do processo de projeto;
- uma metodologia bem trabalhada ajuda no processo de tomada de decisão.

Como uma das variáveis incluída na excelência do produto é sua manufaturabilidade, isto é, sua facilidade de ser manufaturado, é aqui que se encontra a interface entre o DFX e o DFM.

DFM é “uma técnica baseada no conhecimento que evoca uma série de orientações, princípios, recomendações ou regras para o projeto de um produto de forma a facilitar sua fabricação” (BRALLA, 1996, p. 03). Algumas de suas características são:

- considera os desejos do cliente. Na verdade, pode-se dizer que o DFM segue o princípio de Ford de começar com o consumidor, trabalhar no projeto, e só então chegar à manufatura. Sua metodologia parte das necessidades do consumidor e das especificações funcionais do produto para chegar ao projeto e à fabricação. É possível acontecer de, partindo das necessidades do consumidor e das especificações, diversas alternativas de projetos serem geradas. A utilidade do DFM, neste caso, é ajudar na escolha da opção que apresente qualidade aliada aos menores custos de manufatura;
- sua utilização produz valores quantitativos que auxiliam na comparação de alternativas de projeto. Com respeito a isto, é importante salientar que o método Taguchi e até mesmo outras técnicas experimentais podem apresentar os mesmos objetivos que o DFM sendo, porém, muito mais matemáticas;

- é uma metodologia integrativa que envolve informações de diversos tipos. Devido a isto, sua utilização é mais eficiente se houver a formação de uma equipe multifuncional, envolvendo profissionais das áreas de produção, pesquisa e desenvolvimento, compras, custos e engenharia, dentre outras (ULRICH e EPPINGER, 1995);
- sua aplicação é útil tanto no desenvolvimento de novos projetos quanto na melhoria de projetos já existentes;
- na prática o primeiro passo no estudo DFM é estimar os custos de manufatura. Esforços devem ser feitos no sentido de reduzir custos de componentes, custos de montagem e custos de sistemas de apoio à produção. A equipe de projeto, então, deve considerar os impactos das decisões tomadas com o objetivo de diminuir os custos de manufatura sobre fatores como: tempo de desenvolvimento, custo de desenvolvimento, qualidade do produto e fatores externos. Com estes dados em mãos, os custos de manufatura são recalculados e é possível concluir se o projeto é bom o suficiente ou não. A figura 1 ilustra este processo.

A metodologia DFMA apresenta uma série de princípios básicos:

#### 1. Simplificar e melhorar a montagem

Este objetivo pode ser alcançado pela eliminação e/ou combinação de componentes. A integração de componentes apresenta algumas vantagens:

- componentes integrados não precisam ser montados;
- componentes integrados têm geralmente menor custo de fabricação comparado com a soma dos custos das peças separadas;
- a fabricação de componentes integrados garante o relacionamento entre características geométricas críticas.

#### 2. Minimizar o número de componentes

Uma forma de minimizar o número de componentes é eliminar ou reduzir a quantidade de elementos de fixação pelo uso de sistemas de travamento imediato (*snap systems*) ou por pressão.

Esta preocupação é justificada, pois apesar dos fixadores serem em geral peças pequenas e baratas, seu manuseio, estocagem e montagem saem caros. Além disso, fixadores perdidos (que se soltam) no interior do produto podem causar problemas no seu funcionamento, afetando a qualidade percebida pelo cliente.

Outra opção para reduzir o número de componentes é integrar a função de um componente a outro pela incorporação de anéis, molas ou guias, tornando o componente multifuncional.

#### 3. Padronização

Componentes similares podem ser fabricados e dimensionados da mesma forma, obtendo a padronização de projetos e processos. Uma forma de adoção desta idéia é a empresa organizar uma lista com a descrição ou desenho das peças que, por já estarem catalogadas no banco de dados de projetos da empresa devido ao fato de serem fabricadas ou compradas pela empresa, devem ser preferencialmente utilizadas.

Redford e Chal (1994) comentam que a padronização de componentes específicos não é viável. Contudo, existem itens cuja padronização é possível, por exemplo elementos de fixação, parafusos, porcas, arruelas, argolas e rolamentos. Os autores listam uma série de benefícios da padronização, alguns obtidos de fatores que independem da montagem e outros obtidos de fatores dependentes da montagem. Aqueles que independem da montagem estão, em sua maioria, relacionados com os estoques, são eles:

- estoques menores em número de itens devido à diminuição da quantidade de componentes específicos;
- estoques fisicamente menores devido à redução do número de itens a serem armazenados;
- menor necessidade de administração de estoques;
- menor custo de estoque em razão da redução do número de componentes específicos.

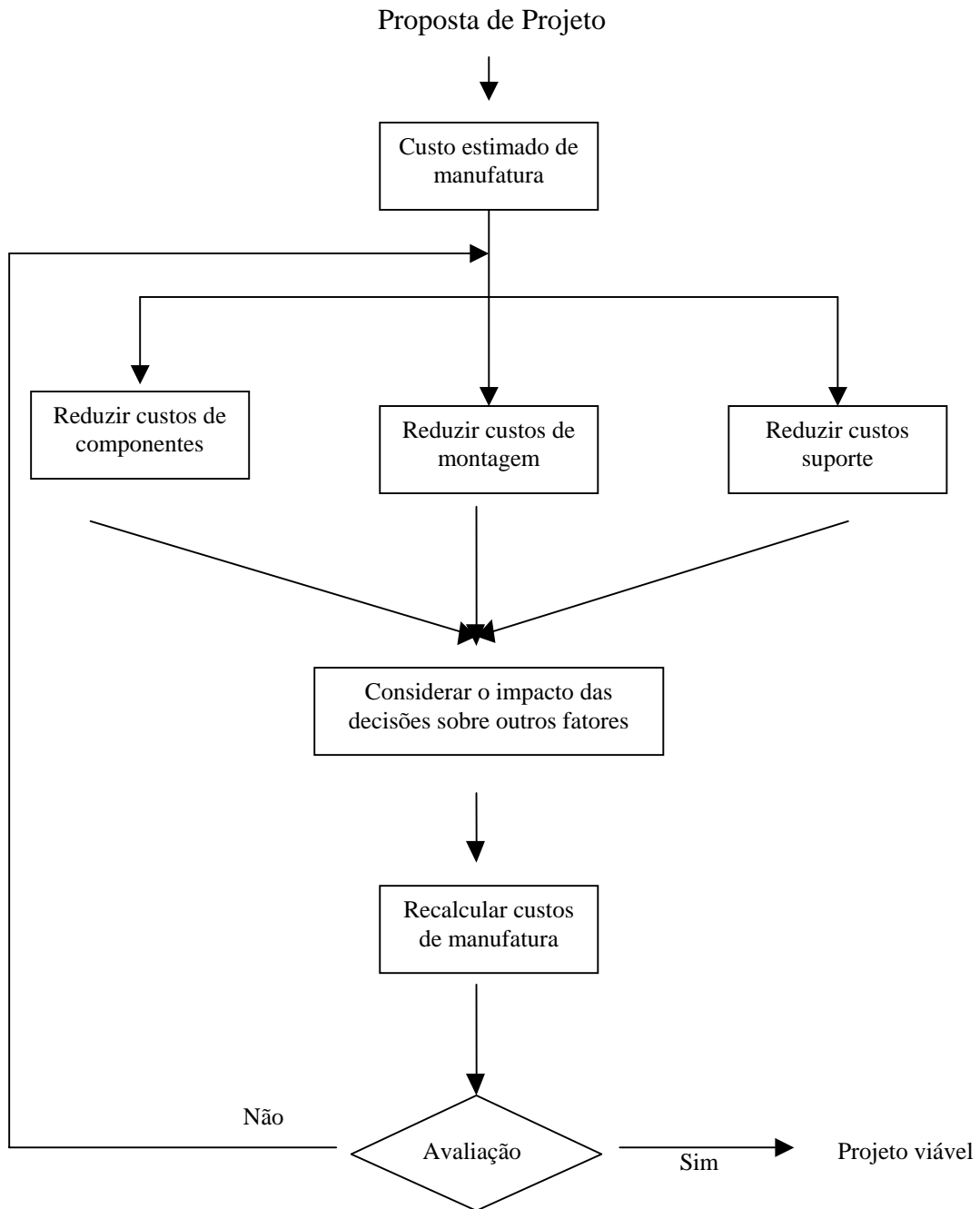


Figura 1– Metodologia DFM  
Fonte: ULRICH e EPPINGER, 1995, p. 183.

Quanto aos benefícios que dependem da montagem:

- quantidade menor de ferramentas utilizadas na etapa de montagem pois, o número de itens diferentes a serem fabricados é menor;
- menor necessidade de desenvolvimento de diferentes equipamentos de montagem devido à redução de tipos diferentes de componentes, diminuindo a necessidade de desenvolvimento de equipamentos específicos;
- maior confiança nos equipamentos de montagem.

As peças padronizadas podem ser fabricadas nas mesmas máquinas, o que auxilia na amortização dos custos de ferramentas e equipamentos, além de propiciar ganhos devido à economia de escala.

Outra forma de economia de custos conseqüente da padronização está no melhor aproveitamento do tempo de trabalho do projetista.

#### 4. Adequar o projeto ao processo

O ideal é que o projeto do produto e o projeto do processo sejam atividades simultâneas. A equipe deve procurar desenvolver produtos em cujo processo seja possível a utilização de ferramentas, equipamentos e conhecimento já existentes dentro ou fora da empresa. Esta atitude evita gastos com o desenvolvimento de ferramental específico para o projeto em questão.

#### 5. Adequar o projeto ao sistema de manufatura

O sistema de organização da produção e as operações de apoio podem ter relação com o projeto. Sistemas como tecnologia de grupo, células flexíveis de manufatura, métodos particulares de manuseio de materiais, produção em linha ou procedimentos de controle de qualidade, dentre outros, possuem características particulares que devem ser consideradas na elaboração do projeto do produto.

#### 6. Maximizar a facilidade de montagem

Existem dois fatores que influenciam na facilidade de montagem: a totalidade de trabalho necessário na montagem e a eficácia deste trabalho (REDFORD e CHAL, 1994).

A quantidade de trabalho requerido na montagem é proporcional ao número de operações necessárias. Sendo assim, projetar produtos visando evitar ao máximo operações de acabamento, além de permitir a redução de atividades com máquinas, diminui a quantidade de trabalho despendido na montagem, facilitando a fabricação.

Já a eficácia do trabalho está relacionada com o fato de a montagem ser manual ou automática. No caso da montagem manual, a habilidade do operador é um fator significativo. A operação manual é realizada facilmente na maioria das situações com exceção de montagens nas quais:

- componentes muito pequenos são necessários;
- componentes muito grandes ou pesados são necessários;
- existe dificuldade no manuseio da peça devido ao fato de elas serem frágeis, afiadas ou escorregadias, por exemplo;
- há utilização de componentes que são difíceis de serem pegos por enroscarem uns nos outros;
- há utilização de componentes com orientação quase idêntica.

Algumas formas de facilitar a montagem envolvem:

- realizar a “montagem por cima”;
- possibilitar a montagem com auto-alinhamento;
- não fixar orientação para montagens simétricas;
- fixar orientação para montagens assimétricas;

- promover o movimento único e linear;
- utilizar base localizadora ou localizadores.

#### 7. Projetar componentes considerando a quantidade a ser fabricada

O volume de produção deve ser considerado pois afeta a escolha do processo de fabricação, influenciando na elaboração do projeto do produto. Projeto e processo devem ser compatíveis com a quantidade a ser produzida. A maioria dos processos de manufatura apresentam melhores resultados em termos de qualidade e custo se na etapa de projeto as quantidades a serem produzidas forem consideradas.

Considerando o papel fundamental da estimativa dos custos de manufatura no estudo DFM, esta questão merece um pouco mais de atenção.

### **3. Estimativa dos custos de manufatura: seu papel na implementação do DFMA**

Atribui-se muito do sucesso japonês à sua habilidade de projetar, fabricar e comercializar produtos manufaturados. Bralla (1996) comenta que um estudo do *McKinsey Global Institute* reporta que uma importante fonte de vantagem para muitas companhias no mundo tem sido a capacidade de criar projetos de produtos menos complicados, compostos por um número pequeno de partes e de fácil montagem, sem, contudo, deixar de atender às expectativas do consumidor. O autor ainda coloca que inovações nesta área têm sido frequentemente introduzidas em operações de manufatura de empresas japonesas.

A preocupação com o projeto do produto justifica-se à medida que se percebe que projetos bem pensados podem levar ao aumento da lucratividade da empresa. A figura 2 ilustra como o projeto de produtos fáceis de serem manufaturados pode propiciar maior lucro.

O custo é uma variável relevante no processo do projeto pois, muito do custo do produto durante seu ciclo de vida é definido na fase de projeto. Bralla (1996, p.7) afirma que “os custos totais de um produto são estabelecidos muito cedo na realização do processo do produto”. Para Stevens (2002), oitenta por cento dos custos de um novo componente é definido nas primeiras fases do projeto, quando os materiais e processos de fabricação são escolhidos.

Slack et al. (2002, p.123) salientam fatores relacionados aos custos de modificação de projeto. Segundo os autores,

na maior parte das etapas de projeto, o custo de mudar uma decisão implica na necessidade de algum modo de repensar e recalculer os custos da consequência da mudança. Ainda no início da atividade de projeto, antes que demasiadas decisões fundamentais tenham sido tomadas, os custos de mudança são relativamente baixos. Rapidamente, entretanto, à medida que o projeto progride, as decisões inter-relacionadas e cumulativas que são tomadas tornam-se cada vez mais dispendiosas para serem mudadas.

O ideal, então, é considerar o maior número possível de aspectos do projeto do produto nos estágios iniciais de modo a permitir que mudanças sejam fáceis e baratas de realizar (GONÇALVES FILHO, 2001).

A Lista de Materiais – BOM (*Bill of Material*) contendo cada componente individual do produto é um dos sistemas de informações utilizado para estimativa de custos de manufatura. A figura 3 apresenta os vários elementos do custo de manufatura.

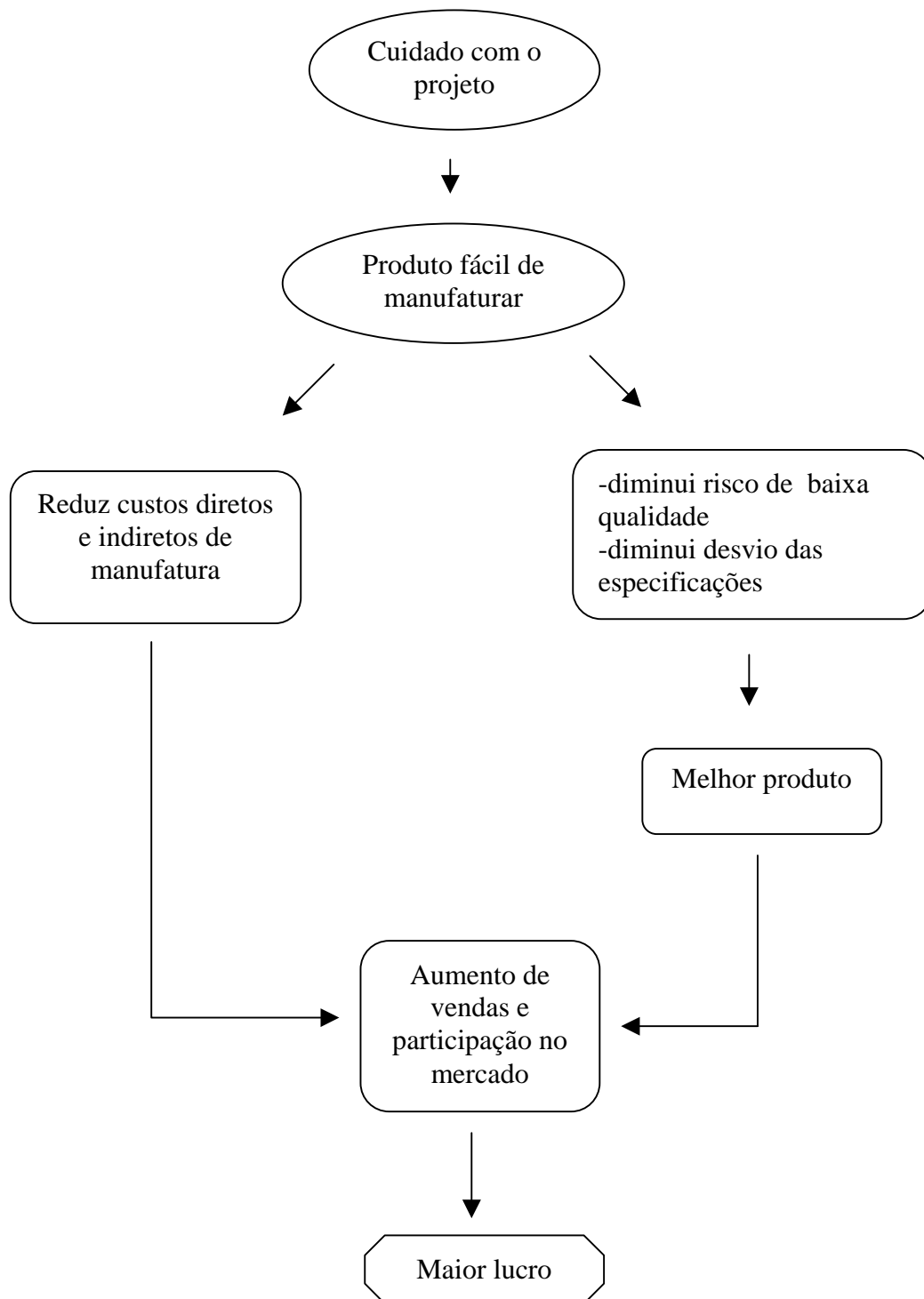


Figura 2. O cuidado com projeto melhora a lucratividade  
Fonte: Adaptada de Gonçalves Filho, 2001.

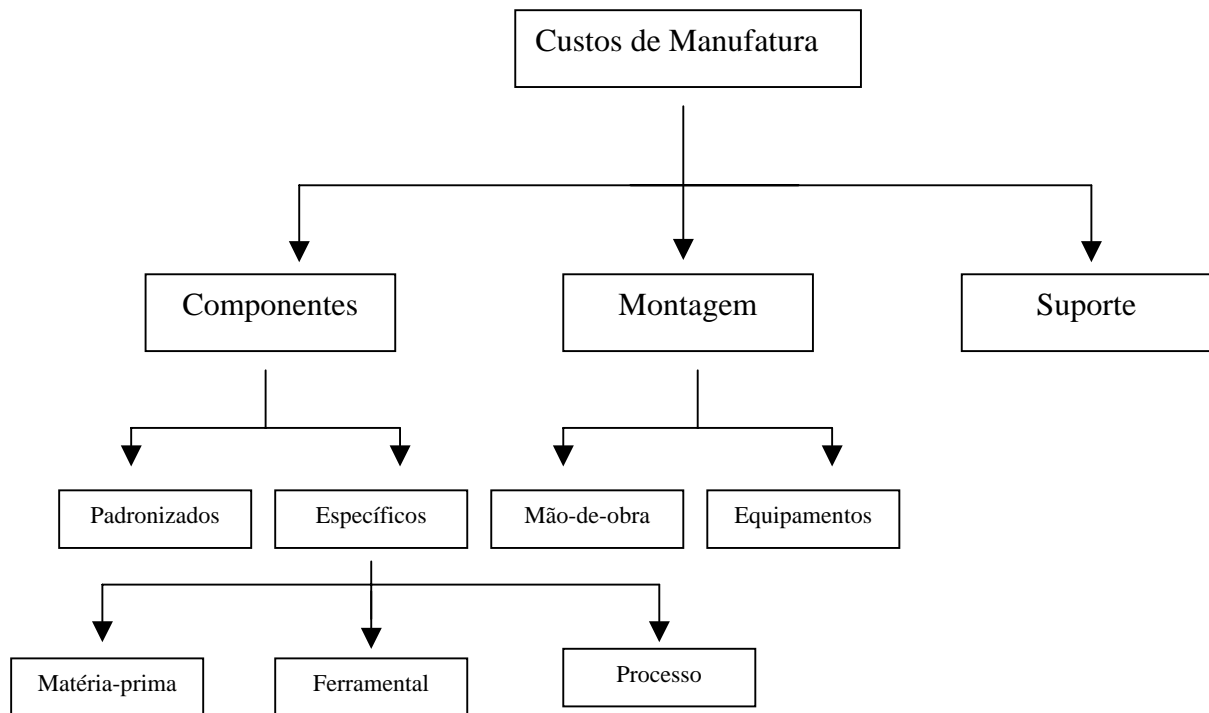


Figura 3. Elementos do custo de manufatura de um produto  
 Fonte: Adaptado de ULRICH e EPPINGER, 1995, p. 185.

Para estimar os custos de componentes padronizados, as empresas têm as seguintes opções:

- comparação com componentes similares fabricados ou comprados;
- cotação com fornecedores de componentes de linha;
- no caso de altas séries, pode ser projetado um componente de linha. Pode ser o caso de parafusos, buchas, motores elétricos, componentes elétricos / eletrônicos.

No caso de componentes específicos, ou seja, itens desenvolvidos especialmente para o produto, os custos podem ser estimados em função de projetos já existentes, com auxílio de softwares, estimativa por experiência, tabelas, dentre outros

Já o cálculo dos custos das atividades de apoio à produção para um novo produto envolve variáveis complexas, uma ferramenta utilizada pelas indústrias tem sido o método de custeio ABC (*Activity-based costing*).

A apuração dos custos de montagem é importante no DFMA, pois esta é uma atividade crucial na fabricação de produtos. Uma das maneiras de se calcular o custo de montagem é considera-lo diretamente depende do valor da mão-de-obra empregada, isto é:

$$\text{Custo Montagem} = \Sigma(\text{tempos estimados de montagem}) \times \text{custo/h da mão de obra}$$

Boothroyd e Dewhurst (1989) em Ulrich e Eppinger (1995, p.195), propuseram o conceito de eficiência de montagem. Segundo eles, com a utilização de um índice padrão é possível calcular a facilidade de montagem de um produto. O cálculo do índice padrão se dá da seguinte maneira:

$$DFA_i = \frac{\text{número teórico mínimo de peças} \times 3 \text{ (seg)}}{\text{tempo total estimado de montagem}}$$



Onde:

-Três segundos é o tempo teórico mínimo necessário para a realização de uma operação de montagem manual.

-A determinação do número teórico mínimo de peças considera os seguintes fatores:

- necessidade de existência de movimento relativo entre as partes;
- necessidade de especificação de diferentes materiais por razões físicas/químicas;
- necessidade de o componente ser desmontável para facilitar sua manutenção.

É pertinente ressaltar que são diversas as técnicas existentes para estimativa dos custos; na prática as empresas irão utilizar aquela que melhor lhes convier.

#### **4. Impactos e resultados da utilização do DFMA**

A aplicação do DFMA gera mudanças que têm impacto sobre outros fatores da empresa. Decisões baseadas na aplicação dos princípios DFMA podem tornar o processo de desenvolvimento do produto mais demorado. Este fato, além de resultar em maiores custos, pode acarretar atraso no lançamento do produto, o que para empresas que trabalham com tecnologia avançada pode levar a redução de até 50% do potencial de vendas do novo produto (GONÇALVES FILHO, 2001).

Outro fator a se considerar é que o sucesso econômico do produto depende também da qualidade. Sendo assim, a equipe de elaboração e implementação dos conceitos do DFMA deve avaliar os impactos das decisões sobre a qualidade final do produto. O ideal é que as ações tomadas promovam a melhoria da qualidade.

Conforme Ulrich e Eppinger (1995, p. 202), “investir tempo e dinheiro na criação de componentes cuja fabricação envolva baixos custos pode ser de valor para outras equipes da organização que estejam trabalhando em projetos de produtos similares”.

Os resultados da aplicação do DFMA pelas empresas do setor automobilístico são positivos. *Ford* e *General Motors* foram pioneiras em adotar o DFMA; elas integraram o DFMA ao processo de desenvolvimento total de seus veículos, isto é, utilizaram a metodologia no desenvolvimento do produto como um todo e não apenas no desenvolvimento dos subsistemas que compõem o automóvel. Com a aplicação do DFMA em projetos novos e também em projetos já existentes, a GM chegou a reduções do número de componentes e do tempo de montagem que variam entre trinta e sessenta por cento (KING, 1996).

A Harley-Davidson, líder mercado no mercado norte-americano de motocicletas com 50% de participação, a demanda por seus produtos aumentada, segundo seus executivos, devido à implementação de uma estratégia gerenciamento de custos de novos produtos baseada no projeto para a manufatura. A empresa emprega o *software* do DFM para integrar seus fornecedores às atividades de desenvolvimento de produto, pois percebeu que pode ganhar ao auxiliá-los a reduzir custos e melhorar a manufaturabilidade de seus projetos (STEVENS, 2002). Entretanto, sua “estratégia de custos vai bem além da função de desenvolvimento de produto [...]; o plano é que sua estratégia estenda-se para os fornecedores” (TERESKO, 2002).

Teresko (2002) também reporta que em 117 estudos de caso envolvendo 56 empresas, 11 delas citaram como benefício do DFMA a obtenção de uma economia anual média em custos de 1,4 milhão de dólares. A tabela 1 apresenta outros benefícios citados na pesquisa.

<b>Benefício</b>	<b>Número de vezes citado</b>	<b>Redução média</b>
Número de componentes	100	54
Custo do produto	31	50
Custo de montagem	20	45
Custo de mão-de-obra	8	42
Tempo de montagem	65	60
No. de operações de montagem	23	53
No. de ferramentas necessárias na montagem	6	73
Peso	11	22
Tempo do ciclo de manufatura	7	63

Tabela 1: Benefícios do DFMA

Fonte: Boothroyd Dewhurst Inc. em Teresko (2002)

## 5. Considerações finais

Atualmente pode-se observar empresas que entregam a terceiros serviços como transporte - de matéria-prima, componentes, produtos acabados ou pessoal -, limpeza, segurança e vendas, entre outros. Mais ainda, é crescente o número de organizações que encontraram vantagens em terceirizar inclusive atividades da área produtiva. Dentro deste contexto de proximidade, fabricantes e fornecedores vêm construindo relacionamentos de cooperação ao longo da rede de operações produtivas a que pertencem.

Um dos pontos nos qual as empresas podem atuar de forma integrada é na perseguição de reduções em custos, aspecto crucial para a manutenção das organizações no ambiente de negócios.

O DFMA é uma metodologia que foi informatizada nos anos 90 e tem sido utilizada por organizações de diferentes setores industriais, apresentando resultados consistentes na redução dos gastos empresariais pela redução de custos, tempos, materiais e mão-de-obra envolvidos na fabricação e montagem de produtos manufaturados.

O desenvolvimento de versões atualizadas do ferramental computacional existente poderá viabilizar o cálculo cada vez mais preciso dos custos e incrementar a aplicação do DFMA. Além disso, a realização de estudos que contemplem a teoria e, principalmente, a aplicação prática da metodologia e seu impacto sobre as relações dentro das redes de operações produtivas trarão informações de grande utilidade.

## 6. Referências bibliográficas

- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P. (1989). *Product Design for Assembly*. Wakefield: Boothroyd Dewhurst, Inc.
- BRALLA, J. G. (1996). *Design for eXcellence*. New York: MacGraw-Hill.
- GONÇALVES FILHO, E. V. (2001). *Objetivos de uma empresa*. Notas de aula do curso SEM 5806 – Sistemas de Fabricação e Tecnologia de Grupo, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, 2001.
- KING, M. G. (1996). Total vehicle development with DFM. *Mechanical Engineering*. p. 72-74, maio.
- KOTLER, P. (2000). *Administração de marketing*. 10<sup>o</sup>. edição. São Paulo: Prentice Hall.
- REDFORD, A.; CHAL, J. (1994). *Design for Assembly: principles and practice*. New York: MacGraw-Hill.

RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J. (2004). *Administração da Produção e Operações*. São Paulo: Prentice-Hall.

SLACK, N. et al. (2002). *Administração da produção*. 2<sup>a</sup> edição. São Paulo: Atlas.

STEVENS, T. (2002). *Technologies Of The Year - DFM Concurrent Costing Version 2.0*. 01/12. Disponível em:< <http://www.industryweek.com/CurrentArticles/asp/articles.asp>>. Acesso em: 14/08/2004.

TERESKO, J. (2002). *Best Practices - Driven By Cost*. 01/09. Disponível em:< <http://www.industryweek.com/CurrentArticles/asp/articles.asp>>. Acesso em: 14/08/2004.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. (1995). Design for manufacturing. In: \_\_\_\_\_. *Product design and development*. New York: MacGraw-Hill.