



## ESTUDO DE CASO SOBRE A AVALIAÇÃO DA MONTABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

**Adriano Gomes de Sousa**

e-mail: [adriano@nedip.ufsc.br](mailto:adriano@nedip.ufsc.br)

**Fernando Antônio Forcellini**

e-mail: [forcellini@emc.ufsc.br](mailto:forcellini@emc.ufsc.br)

**Nelson Back**

e-mail: [back@emc.ufsc.br](mailto:back@emc.ufsc.br)

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica,  
Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos.  
Cx. Postal 476 – 88.040-900 – Florianópolis, SC, Brasil.

**Resumo.** Neste artigo apresentam-se alguns dos resultados obtidos através do estudo sistemático e análise crítica dos métodos de avaliação da montabilidade de produtos industriais em que visou-se à adequação dos mesmos e à obtenção de recomendações para o uso mais apropriado durante todas as fases do processo de projeto.

Define-se e apresenta-se o Projeto para Montagem (DFA = Design for Assembly), abordando a sua utilidade e as suas limitações. Enfoca-se como o DFA se relaciona no processo de projeto, indicando como e quando a metodologia de DFA pode ser aproveitada junto às técnicas usuais de projeto, como o Desdobramento da Função Qualidade (QFD), a Função Síntese e a Matriz Morfológica. Para melhor ilustrar a importância do DFA e exemplificar as diretrizes propostas é apresentado também, um estudo de caso realizado sobre um implemento agrícola. O estudo de caso foi realizado empregando-se dois métodos computacionais e uma planilha de DFA, o que serviu de base para discursar sobre a funcionalidade e contribuição dos métodos de avaliação da montabilidade.

**Palavras-chave:** DFA, DFMA, Projeto de Produto, Processo de Projeto, Avaliação de Produto.

### 1. INTRODUÇÃO

Na busca incessante da eficiência operacional, melhor produtividade e melhor competitividade industrial, as organizações industriais passaram a melhorar o sistema produtivo e a enfatizar o processo de desenvolvimento de novos produtos. No momento em que o processo de projeto de produtos industriais passou a ser abordado cientificamente, criaram-se as sistemáticas de processo e os princípios de projeto com o objetivo de auxiliar a organizar o fluxo de idéias e agilizar o processo de planejamento e desenvolvimento de produtos.

Ao mesmo tempo, descobriu-se a dependência dos custos de montagem, fabricação, garantia de qualidade e até de despesas gerais de almoxarifado, à quantidade de peças do produto. Consequentemente, apesar do mérito de cada técnica, estudiosos como Boothroyd et al (1994) afirmam que outros fatores, tais como qualidade, manutenibilidade, confiabilidade, etc., também melhoram quando considerações apropriadas são dadas à manufatura e à montagem do produto. Além disso, toda metodologia de projeto - genericamente denominadas *DFX (Design for Excellence)* - trabalha com dados provenientes das análises de manufatura, montagem e ou custos. Em suma, melhorar a produtividade de um produto, projetando-o constituído de componentes otimizados arranjados estruturalmente de forma ótima, é possível através do emprego das técnicas de Projeto para Manufatura e Montagem (*DFMA = Design for Manufacture and Assembly*).

## **2. DFA, O PROJETO PARA MONTAGEM**

O *DFA* surgiu na Europa, primeiramente dentro do conceito de *DFMA* diante a necessidade de reprojeter produtos para a automatização da montagem, e a dificuldade de se transmitir o ponto de vista do chão-de-fábrica para os demais membros da equipe de projeto. Sua importância cresceu e tornou-se uma metodologia complementar ao Projeto para Manufatura (*DFM = Design for Manufacture*). No geral, o *DFA* tende a racionalizar a estrutura do produto buscando o grau máximo de qualidade e simplificação, buscando explorar com maior eficiência a funcionalidade do componente. Já o *DFM* tende a recomendar pequenas quantidades de formas simples em substituição a uma forma complexa, ao comparar o uso de materiais selecionados e processos de fabricação para as peças de uma montagem, determinar o impacto no custo com o uso destes materiais e processos, e achar o mais eficiente uso da geometria do componente (Ashley, 1995).

A racionalização da estrutura do produto permite inclusive uma melhor racionalização operacional das empresas, aumentando também a produtividade. De acordo com Sousa (1998), o *DFA* presta-se a esta tarefa eficientemente com sua filosofia de examinar o projeto pelo processo de criticar os métodos e as soluções adotadas através de informações obtidas pela ferramenta de ponderar as características de montagem do produto.

A avaliação da montabilidade consiste, basicamente, em obter informações sobre as várias alternativas de projeto ponderando-se características tais como o número total de peças, a dificuldade de manipulação e inserção, e o tempo de montagem. Neste sentido, ao identificar peças ou concepções específicas no produto que requerem melhorias, a aplicação do *DFA* guia à exploração de novas formas de efetuar as tarefas de manufatura ao preparar a equipe de projeto a desafiar as soluções usuais e fazer sugestões a novas abordagens.

## **3. O DFA NO PROCESSO DE PROJETO**

De acordo com Trucks (1987) e Boothroyd et al. (1994), o processo de aplicação do *DFA* deve constituir-se de dois passos. Primeiro, desenvolver uma lista de princípios e propostas de simplificação de projeto, as quais guiarão os responsáveis pelo desenvolvimento do produto. Segundo, utilizar um sistema formal de *DFA*, um *software DFA*, ou um índice de produtividade. Todos usados para avaliar o projeto e apontar as operações de montagem de intensiva mão-de-obra, e assim, quantificar todas as alternativas.

Considerações de projeto relativas à montagem total devem enfatizar primeiro a simplificação do produto e projeto, as restrições humanas e mecânicas, e a seqüência de montagem. Desta forma, os princípios de *DFA* estão relacionados à minimização do custo da montagem dentro das restrições impostas pela necessidade de atender encaixe, forma e função da montagem. Estas restrições podem ser, por exemplo, humanas, mecânicas ou referentes à seqüência de montagem e desmontagem.

Adicionalmente, sabe-se que os princípios de *DFX* ajudam a implementar os avanços tecnológicos nos produtos. Estes mesmos princípios, podem, então, ser usados como parâmetros para avaliar produtos, processos e serviços, tanto na pesquisa de mercado (*benchmarking*) quanto na escolha de alternativas de solução. Entretanto, os métodos de avaliação da montabilidade desenvolvidos são mais empregados durante o projeto preliminar, ao término do projeto conceitual. Isto quando são logo empregados; tradicionalmente, o projeto só é avaliado e conferido cuidadosamente ao fim do projeto detalhado, quando somente as falhas mais graves são economicamente viáveis de serem corrigidas.

De fato, em Sousa (1998) comprovou-se que os métodos atuais direcionam a equipe de projeto a refazer vários passos do processo de projeto a fim de chegar ao produto ideal. Entretanto, a equipe anseia por ferramentas que a auxiliem desde o projeto conceitual a fim de que não tenha de voltar às etapas iniciais e refazer todo o produto ao final de uma avaliação que só é realizada no projeto preliminar. A preocupação do trabalho foi, então, a de propor diretrizes capazes de diminuir ao máximo a necessidade desse retorno ao trazer a avaliação do produto para a fase conceitual. Espera-se com isso, que o tempo e os custos de desenvolvimento sejam ainda menores aos praticados.

O início do processo de projeto caracteriza-se por trabalhar com conceitos e requerer um alto grau de abstração. Por não ser uma tarefa simples, fica claro que quanto maior for a compreensão dos conceitos envolvidos, por parte da equipe de projeto, maior será a eficácia do esforço empregado. Catálogos de exemplos, com princípios e diretrizes, e listas de controle (*check-lists*) são as ferramentas de maior aplicação e eficiência na fase conceitual. A seguir apresenta-se como o *DFA* pode ser enquadrado em cada uma das etapas iniciais.

Primeiramente, dando início ao processo de projeto, através da pesquisa de mercado, são levantadas as necessidades dos consumidores, usuários e da empresa quanto aos aspectos técnicos de projeto, operação, manutenção, descarte, etc. Neste momento, aplica-se toda a técnica do *DFA* para avaliar o produto competidor (*caso exista algum*) e obter informações importantes (*benchmarking*); como por exemplo, os custos de produção dos concorrentes.

Prosseguindo, relacionam-se as necessidades identificadas com os requisitos de projeto. A técnica mais usual é a *matriz QFD (Quality Function Deployment)*. Nesta fase de estabelecimento dos requisitos de projeto, o *DFA* deve ser utilizado tendo os seus princípios convertidos para a forma de requisitos de cliente interno, somados aos dos clientes externos.

Na fase seguinte, o projeto conceitual propriamente dito, utiliza-se da técnica da *Função Síntese (ou decomposição funcional)*, que elabora uma estrutura funcional do produto em cima do fluxo de material, energia e informação; seguida do desenvolvimento da *Matriz Morfológica*, formada com princípios de solução para cada função, para posterior combinação sistemática de concepções para a obtenção de soluções alternativas. Neste momento, estas soluções, apesar de ainda abstratas geometricamente, representam a estrutura (*física*) do produto, cujo conhecimento é pré-requisito na utilização de diversos métodos de avaliação da montabilidade, principalmente os desenvolvidos em ambiente *CAD*.

Tendo em vista a estrutura funcional, o *DFA* pode ser aplicado através do questionamento da decomposição das funções principais e pelos índices que medem a eficiência da montabilidade do produto. Segundo Hashim et al. (1994), a identificação das peças do produto primariamente por suas funções e não por suas formas, reduzem a probabilidade de um projeto conter uma falha conceitual ou alguma discordância entre suas peças ou componentes. Os mesmos índices são usados junto à *Matriz de decisão* na escolha das melhores concepções alternativas. Sendo, os métodos de avaliação da montabilidade, aplicados em sua totalidade, com as planilhas e bancos de dados, na avaliação dos projetos preliminar e detalhado; quando a forma geométrica do produto encontra-se no seu estado mais detalhado possível.

#### 4. ESTUDO DE CASO

Para o estudo em Sousa (1998), selecionou-se o “*implemento de abertura e adubação de sulcos no plantio direto*” construído no Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos da Universidade Federal de Santa Catarina (*NeDIP/UFSC*). O produto em questão foi desenvolvido para a abertura e adubação de sulcos para o cultivo de cebola e outras hortaliças nas técnicas de cultivo mínimo e plantio direto, e para ser acoplado a um microtrator articulado também desenvolvido pelo *NeDIP/UFSC*. O seu desenvolvimento foi realizado com o auxílio das técnicas de projeto *QFD*, *Função Síntese* e *Matriz Morfológica*.

Inicialmente, um objetivo foi de exemplificar o relacionamento do *DFA* com o processo de projeto e exercitar a aplicação das técnicas de *DFA*. Outro mais específico foi simular o ambiente de execução das avaliações de montabilidade, desvendando as dificuldades e dúvidas surgidas, e os recursos necessários. Ou seja, identificar as limitações e vantagens que serão percebidas pela equipe de projeto na aplicação dos métodos. Neste sentido, o implemento foi avaliado empregando-se a planilha de Ullman, os programas computacionais *LASER*, da Universidade de *Stanford* e *DFMA*, da *Boothroyd-Dewhurst Inc.*

O implemento projetado é constituído de seis sistemas principais: o de adubação, o sulcador, o estrutural, o de acionamento, o de levantamento e o de suporte. Todavia, o sistema de levantamento foi idealizado, mas não construído por falta de espaço físico dentro dos limites estruturais no microtrator (Amorim, 1996). Assim sendo, considerar-se-á na descrição a seguir, o implemento constituído somente de cinco sistemas.

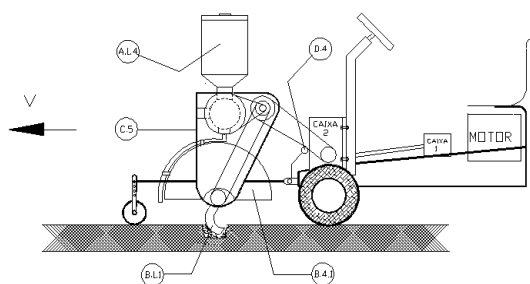


Figura 1a - Vista lateral esquerda do implemento.

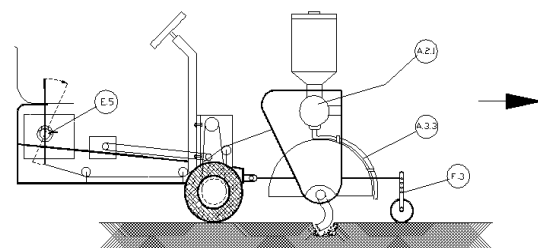


Figura 1b - Vista lateral direita do implemento.

Resumidamente, o implemento (*figura 1*) caracteriza-se por apresentar uma forma compacta e robusta, onde os componentes estão arranjados pelo auxílio da estrutura de perfil tubular. A estrutura é conectada ao microtrator enquanto a sustentação do implemento sobre o solo e o acompanhamento dos desníveis normais dos terrenos de plantio, é feita por uma roda conectada à parte frontal da estrutura. A entrada de potência é efetivada através de um sistema de acionamento por correias e polias. O sistema contém um eixo intermediário, montado no sistema estrutural, cuja função é distribuir e transmitir potência às engrenagens rotativas e ao dosador. Para a adubação, o adubo é armazenado em um reservatório encaixado no dosador em cuja saída encontra-se uma mangueira para o direcionamento da quantidade de adubo pretendida até o solo. No sistema sulcador, o corte da palha, a desagregação do solo e a incorporação do adubo, são realizados pelo emprego de um mecanismo de engrenagens rotativas. Já a contenção do solo revolvido dentro do sulco é garantida por um mecanismo protetor tipo pára-lama envolvendo as mesmas engrenagens rotativas.

Do aspecto da montagem, o implemento compõe-se basicamente de oito componentes principais, sendo três submontagens (*engrenagem rotativa, eixo intermediário e dosador*), com doze interfaces como demonstrado pelo Gráfico Conceitual do implemento apresentado na *figura 2*. Ressalta-se que para a simplificação do estudo, os componentes compostos de elementos soldados ou rebitados foram considerados como um único elemento individual.

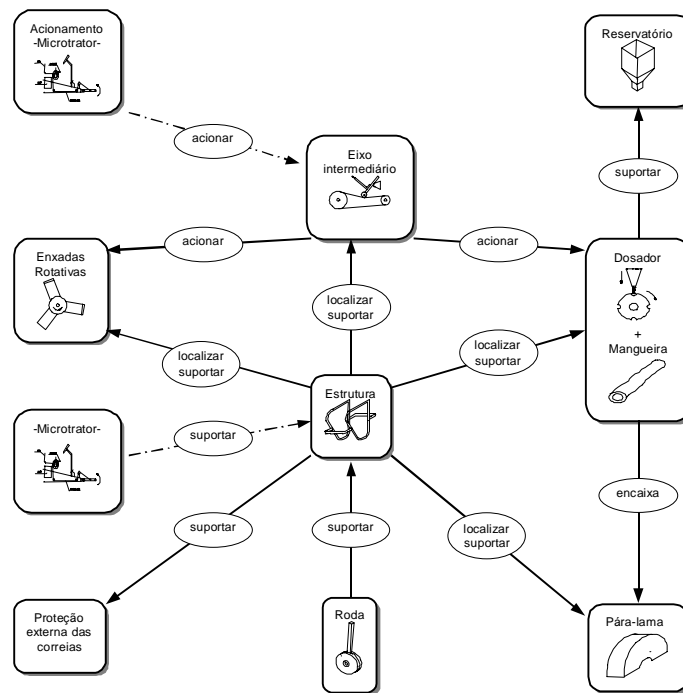


Figura 2 – Gráfico Conceitual do implemento de abertura e adubação de sulcos.

#### 4.1. Avaliação das Especificações de Projeto

Segundo Amorim (1996), nesta etapa do processo de projeto, os requisitos de projeto do implemento foram especificados conforme as necessidades prioritárias dos consumidores diretos, e com a aplicação da técnica de *QFD* procurou-se uma solução de fácil fabricação e montagem, baixo custo, robusta e compacta.

Tais especificações, no entanto, não foram explicitamente identificadas na “*Casa da Qualidade*”, um indício de que os princípios de *DFA* corriam o risco de serem negligenciados no desenvolver do produto. A fim de evitar este caso, sugeria-se incluir ao menos os seguintes itens como necessidades do cliente interno ou requisitos de projeto:

- a) percentagem de componentes essenciais no produto final;
- b) fácil manipulação, ou número de operações de manipulação por peça;
- c) tempo e ou custo de montagem;
- d) características de auto-localização;
- e) peças multifuncionais, ou n.º de funções por componente.

#### 4.2. Avaliação da Estrutura de Funções

Segundo Amorim (1996), a partir da função total, “*preparar sulco com adubo*”, identificou-se duas funções principais: “*abrir sulco e adubar solo*” e, em seguida, decompôs-se estas na estrutura apresentada na figura 3 empregando-se a técnica da *Função Síntese*.

De acordo com Sousa (1998), o *DFA* pode ser aplicado através do questionamento da decomposição das funções principais, pela métrica da percentagem de funções essenciais e pela classificação das funções pela necessidade expressada pelo cliente externo. Na análise do implemento sob estes aspectos, notou-se que no desenvolvimento da estrutura não ocorreu a preocupação em classificar as funções pela necessidade. Entretanto, todas funções na estrutura da figura 3 estão diretamente envolvidas com a função total e com as necessidades do cliente externo, significando um percentual de 100% de funções essenciais.

Outros questionamentos que podem ocorrer nesta etapa seria sobre como será a interface entre estas funções e subfunções procurando saber o que elas podem ter ou têm em comum. Este procedimento auxilia a busca por princípios de solução multifuncionais.

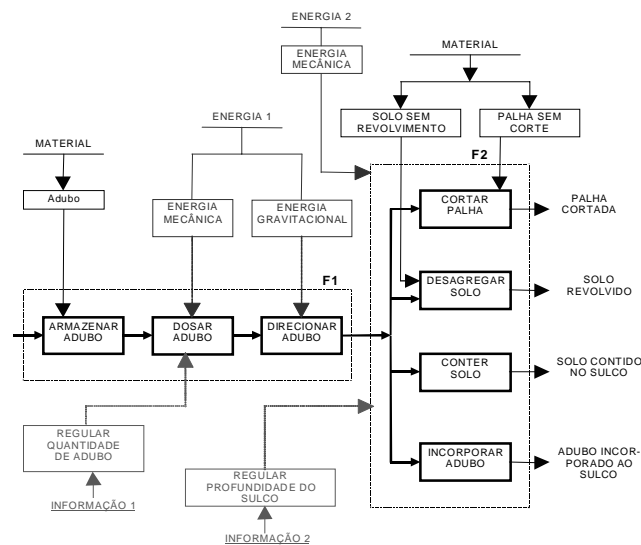


Figura 3 - Estrutura de Funções para o implemento de abertura e adubação de sulcos.

### 4.3. Avaliação do Desenvolvimento de Princípios de Solução

Nesta fase, a técnica da *Matriz Morfológica* foi utilizada para a seleção dos princípios de solução a serem desenvolvidos para o protótipo, cujo arranjo final é apresentado na figura 2.

Infelizmente, a *Matriz* desenvolvida para o implemento foi estruturada da forma tradicional, com princípios em diferentes graus de abstração e inclusão de novos parâmetros não identificados nas etapas anteriores de especificações de projeto e estrutura funcional, como o sistema estrutural e o de levantamento. Estes dois sistemas são, então, classificados como não essenciais por não serem uma necessidade explícita do cliente externo. Isso significa que o projeto conceitual do implemento pode ser considerado como bom, já que os princípios essenciais representam 78% do total no implemento (*nove no total, sendo sete essenciais*), havendo 22% como potencial de melhoria (Sousa, 1998).

Naturalmente, o questionamento possível nesta etapa seria:

- que tipo de conexão é possível entre cada interface?
- é possível eliminar alguma interface?
- que conceitos ou princípios podem ser desenvolvidos a fim de diminuir ao máximo o número de componentes e ou interfaces?
- onde estão os melhores candidatos a se tornarem multifuncionais?

Reavaliando o *Gráfico Conceitual* (figura 2) sob estas questões é possível raciocinar que uma configuração na qual o sistema estrutural seria “incorporado” pelos demais componentes (*como em um quebra-cabeças*), simplificando o produto. Neste caso, uma solução simples seria o reprojeto do pára-lamas, incorporando as superfícies de conexão da estrutura, conforme o apresentado na figura 4.

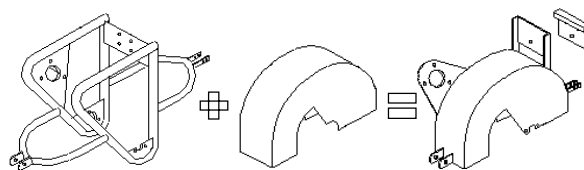


Figura 4 – Sugestão de reprojeto do pára-lamas a fim de substituir a estrutura.

#### 4.4. Segundo a planilha de Ullman

Esta avaliação através da planilha proposta por Ullman (1992) apresenta-se ser subjetiva e qualitativa, mas a planilha preenchida propicia informações importantes sobre o produto.

Por esta análise (*ver figura 5*), o implemento apresenta uma boa seqüência de montagem, peças claramente assimétricas, relativamente fáceis de serem captadas e manipuladas e de ótima acessibilidade. Por outro lado, nota-se que a preocupação com a montabilidade do produto aparentemente ficou limitada a estes aspectos. O *potencial de melhoria PM* (Ullman, 1992) é muito elevado, como também é a quantidade de fixadores separados (*parafusos, arruelas, porcas, etc.*) em uso. Praticamente não há peças básicas com características de composição. Outros problemas identificados são relativos à dificuldade de alinhamento, orientação, visão restrita da conexão e manter o posicionamento da peça em questão. Em suma, o implemento apresenta condições de melhorar sensivelmente ao ser reprojeto para uma melhor montagem. Tanto que, dos 104 pontos possíveis, o implemento obteve 34 pontos; ou 33% de aproveitamento. Por um raciocínio análogo à compreensão do *potencial de melhoria*, isso pode ser interpretado como o projeto do produto estar 67% aquém do ideal, e conseqüentemente, ser considerado um projeto pobre do ponto de vista da montagem.

DESIGN FOR ASSEMBLY		Avaliado por _____		Data: __/__/__		
		Revisado por _____		Data: __/__/__		
Análise de montagem individual para <u>implemento de abertura e adubação de sulcos</u>			Avaliação n.º: 01 02 03 04 05			
Montagem Global					Comentários	
1) Conta total de peças minimizadas (potencial de melhoria)	λ pobre (>60%)	μ razoável (40-60%)	μ boa (20-40%)	μ muito boa (11-20%)	μ excelente (<10%)	PM = 79,49%
2) Mínimo uso de fixadores separados	λ pobre	μ razoável	μ bom	μ muito bom	μ excelente	
3) Peça básica com características de instalação	λ pobre	μ razoável	μ boa	μ muito boa	μ excelente	
4) Reposicionamento requerido durante a montagem	λ dois ou mais		μ um		μ sem repos.	
5) Eficiência da seqüência de montagem	μ pobre	μ razoável	λ boa	μ muito boa	μ excelente	
Captação das Peças						
6) Características que complicam a manipulação (flexibilidade excessiva, emaranhamento, etc.) foram evitadas	μ nenhuma peça	μ poucas peças	μ algumas peças	λ a maioria das peças	μ todas as peças	
7) As peças foram projetadas para uma abordagem específica de alimentação (volume, linha, carregador)	λ	μ	μ	μ	μ	
Manipulação das peças						
8) Peças simétricas de ponta a ponta	μ nenhuma peça	λ poucas peças	μ algumas peças	μ a maioria das peças	μ todas as peças	
9) Peças simétricas ao eixo de inserção	μ	μ	λ	μ	μ	
10) Onde a simetria é impossível, as peças são claramente assimétricas	μ	μ	μ	λ	μ	
Combinação das Peças						
11) Movimentações retílineas de montagem	μ nenhuma peça	μ poucas peças	λ algumas peças	μ a maioria das peças	μ todas as peças	
12) Chanfros e características que facilitam a inserção e o auto-alinhamento	μ	λ	μ	μ	μ	
13) Máxima acessibilidade às peças	μ	μ	μ	λ	μ	
NOTA: pontuação de avaliação a ser usada somente para comparar uma montagem a alternativas de projeto da mesma montagem.				μ total x 8	0	
				μ total x 6	18	
				μ total x 4	12	
				μ total x 2	4	
				μ total x 0	0	
total =					34	

Figura 5 – Planilha de avaliação da montabilidade do implemento.

#### 4.5. Segundo os softwares LAsER e DFMA

Na tabela 1 encontram-se os componentes do implemento listados em ordem decrescente de maior tempo de montagem de acordo com o observado durante a montagem na oficina do *NeDIP/UFSC* e segundo as avaliações pelos programas computacionais utilizados.

Tabela 1 – Lista dos componentes principais do implemento.

TEMPO de MONTAGEM do IMPLEMENTO por COMPONENTE			
ordem	Montagem na Oficina do <i>NeDIP</i>	Avaliação pelo <i>DFMA</i>	Avaliação pelo <i>LASeR</i>
1º	enxadas rotativas [13 min]	enxadas rotativas [9,69 min]	enxadas rotativas [103 Td = 12,7 min]
2º	dosador + mangueira [10 min]	dosador + mangueira [7,48 min]	dosador + mangueira [75 Td = 9,2 min]
3º	eixo intermediário [9 min]	pára-lama [7,32 min]	pára-lama [55 Td = 6,76 min]
4º	pára-lama [8 min]	eixo intermediário [4,75 min]	eixo intermediário [51 Td = 6,27 min]
5º	roda de borracha [3 min]	roda de borracha [2,28 min]	roda de borracha [28 Td = 3,44 min]
6º	proteção ext. da correia [1 min]	proteção ext. da correia [1,58 min]	proteção ext. da correia [12 Td = 1,48 min]
7º	três correias [2 min]	três correias [1,11 min]	estrutura [3,6 Td = 26 s]
8º	estrutura [30 s]	estrutura [14 s]	três correias [5,4 Td = 40 s]
9º	reservatório de adubo [5 s]	reservatório [7,8 s]	reservatório [1 Td = 7,3 s]
total	46 minutos e 35 segundos	34 minutos e 34 segundos	380 Td

Nos dados apresentados na tabela 1, observa-se que a seqüência dos componentes é aproximadamente a mesma nas três colunas; o que valida as avaliações realizadas quanto à identificação dos componentes de maior tempo de montagem. Em contrapartida, observa-se uma discrepância nos valores dos tempos de montagem entre os medidos na oficina (*prática*) e os calculados pelos *softwares* (*teoria*). Isto deve-se às particularidades da abordagem de cada programa. Por exemplo, o programa *DFMA* enfoca a dificuldade de inserir e manipular as peças, mas sem identificar o grau da dificuldade envolvida. Adicionalmente, durante o uso do programa notou-se que o peso, o maior comprimento e, em alguns casos, a forma do volume de envelope, da peça não influenciaram os tempos resultantes, só a espessura e a simetria. Já o *LASeR* enfoca os movimentos de montagem e sua quantidade sem levar em conta a duração ou dificuldade de execução. Inclusive não identifica o grau de dificuldade de composição ignorando o difícil alinhamento, a grande resistência à inserção, a necessidade de ajuda extra (*duas mãos ou ferramentas especiais*) na montagem.

Estes aspectos, sem dúvida, influenciam na discrepância dos resultados. No entanto, não invalidam os resultados obtidos nas avaliações. Tanto que, quando a influência destes fatores é mínima, os tempos teóricos aproximam-se bastante dos tempos obtidos na prática, como é o caso da montagem do pára-lama, da roda e do reservatório; podendo até superá-los tal como na montagem da proteção externa da correia eixo-enxada.

Já na tabela 2 listam-se as dez peças de maior tempo de montagem de acordo com as avaliações realizadas pelos programas *LASeR* e *DFMA*. Segundo estas avaliações essas seriam as peças mais difíceis de montar. Nesta tabela, é interessante notar que, independentemente da abordagem adotada, os métodos de avaliação apresentam resultados semelhantes quanto à montabilidade das peças do implemento.

Tabela 2 – Listagem das peças de maior tempo de montagem.

PEÇAS de MAIORES TEMPOS de MONTAGEM		
	Avaliação pelo <i>DFMA</i>	Avaliação pelo <i>LASeR</i>
1º	fixadores separados	fixadores separados
2º	presilhas	presilhas
3º	lâminas	lâminas
4º	mancais	mancais
5º	pára-lama	pára-lama
6º	correias	estrutura
7º	roda de borracha	rotor do dosador
8º	rotor do dosador	corpo do dosador
9º	proteção ext. da correia	eixo (eixo intermediário)
10º	estrutura	polia. rodas dentadas (vários)



De acordo com avaliação da montabilidade pelo *LASeR*, a taxa de montagem do implemento é de 41 pontos. O que significa que 41% dos componentes são inseridos verticalmente e que 59% destes necessitam de dois ou mais movimentos, ou mesmo de operações extras, para serem inseridos na montagem. A taxa de redução de peças foi de 21%, significando que somente esse montante dos componentes é realmente necessário; os demais (79%) são todos candidatos à eliminação.

Já segundo o *software DFMA*, o índice de *DFA* — que para o implemento é de 4,78 — indica a porcentagem do tempo mínimo teoricamente necessário para montar o produto sobre o tempo total da montagem atual caso este fosse perfeitamente projetado conforme toda a metodologia do *DFA*, existindo somente as peças essenciais e que todas estas fossem inseridas verticalmente no produto. Ou seja, o valor complementar do índice — que no caso do implemento é 95,22 — indica a porcentagem do tempo de montagem gasto em reorientações, movimentos e ou operações adicionais, em peças não essenciais, e ou em outras dificuldades que aumentam o tempo necessário para a montagem do produto. Confrontando estes valores com as demais informações sobre o implemento, percebe-se que os próprios componentes tidos como essenciais necessitam ser re projetados (Sousa, 1998).

## 5. COMENTÁRIOS

A aplicação dos princípios de *DFA* no *QFD*, na *Função Síntese* e na *Matriz Morfológica* auxiliado pelo uso de *Gráficos Conceituais* demonstra que o *DFA* é uma excelente ferramenta de auxílio ao desenvolvimento de produtos que pode ser utilizada por todo o processo de projeto. Por outro lado, avaliar um protótipo existente desde a etapa de especificações de projeto não faz muito sentido a não ser que se pretenda identificar onde o negligenciamento do *DFA* começou. Já avaliar a *Matriz Morfológica* com base na *Estrutura de Funções* com o intuito de identificar os princípios essenciais e não essenciais, mostrou-se ser extremamente útil na identificação de componentes não essenciais e na compreensão de como se pode simplificar a estrutura de um produto. De fato, a estrutura funcional relaciona-se intimamente com a estrutura do produto, já que somente depois de definida a função define-se a forma, o material e o processo de produção do produto (Alting & Lenau, 1996).

A vantagem da avaliação da montabilidade é de demonstrar onde se pode diminuir custos mais facilmente do que a avaliação dos custos totais pura e simplesmente. Saber todos os custos envolvidos é de extrema importância, mas deve-se também saber aonde estão, no produto ou no processo, as potencialidades de redução dos custos e quais são as mais acessíveis. É intuitivo que a concepção composta pelo menor número de peças pertença a um produto de projeto mais simples e conseqüentemente de menor custo total, pois peças inexistentes não são fontes de preocupações. Preocupações estas, por exemplo, com manutenção, assistência técnica, inventários, refugos, controle de processos, etc.

Com as avaliações realizadas, comprovou-se que a planilha proposta por Ullman é um método rápido e simples de ser aplicado, em contrapartida ao fato de sua avaliação ser superficial, subjetiva e não apontar os componentes de maiores problemas de montabilidade.

Como pode ser certificado em Sousa (1998), percebe-se que ambos programas *LASeR* e *DFMA* dependem de respostas corretas às questões por parte do usuário. Ao usuário é necessário ainda, treinamento sobre os *softwares* e, principalmente, sobre a metodologia do *DFA*. Tal se faz necessário para capacitar o usuário a realizar considerações para sobrepujar as limitações impostas pelos programas, diminuindo a subjetividade, já que não há mecanismos de captura de novas regras.

O estudo de caso realizado sobre o implemento agrícola comprova ser este um exemplo clássico de como um bom projeto conceitual pode se desenvolver em um protótipo de má produtividade. Tradicionalmente, os projetistas se preocupam demasiadamente com a função e forma dos componentes sem considerar como estes serão unidos em ordem de

compor um produto completo. Desta forma, as interfaces do produto acabam sendo relegadas a um segundo plano acarretando em um número excessivo de fixadores separados, reorientações desnecessárias e operações extras. Tanto que, a análise permitiu identificar que dos componentes diretamente envolvidos com os princípios de solução, e não suas interfaces, poucos foram os considerados como não essenciais. Um indício claro de que os princípios do *DFA* foram mais negligenciados no desenvolvimento das interfaces, isto é, na integração dos princípios de solução em ordem de se compor o implemento. Tal fato poderia ter sido evitado com a criação de novas *Matrizes Morfológicas* que acompanhariam o progresso do projeto e que auxiliariam o desenvolvimento das interfaces entre os princípios de solução adotados.

Vale ressaltar que as propostas quanto ao uso do *DFA* no projeto conceitual encontram-se em maiores detalhes tanto no artigo (Sousa et al. 1998), quanto na dissertação (Sousa, 1998).

## REFERÊNCIAS

- Amorim, F. L., 1996, “Desenvolvimento de um Implemento para Abertura e Adubação de Sulcos no Plantio Direto”, Dissertação de Mestrado, EMC, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, Sta. Catarina, Brasil.
- Alting, L. and Lenau, T., 1996, “The Missing Element in Design for Manufacture”, *Annals of the CIRP*, vol. 45/1/96.
- Ashley, S., 1995, “Cutting Costs and Time with DFMA”, *Mechanical Engineering*, March'95.
- Boothroyd, G, Dewhurst, P. e Knight, W., 1994, “Product Design for Manufacture and Assembly”, Marcel Dekker, Inc., New York.
- Hashim, F. M., Juster, N. P. e Pennigton, A., 1994, “A Functional Approach to Redesign”, *Engineering with Computers*, Springer-Verlag.
- Sousa, A. G., Forcellini, F. A. e Back, N., 1998, “Design for Assembly within the Conceptual Design Phase”, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Tools and Methods for Concurrent Engineering – TMCE'98*, Manchester, England, 301-312.
- Sousa, A. G., 1998, “Estudo e Análise dos Métodos de Avaliação da Montabilidade de Produtos Industriais no Processo de Projeto”, Dissertação de Mestrado, EMC, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, Sta. Catarina, Brasil.
- Trucks, H. E., 1987, “Designing for Economical Production”, *Society of Manufacturing Engineers*.
- Ullman, D. G., 1992, “The Mechanical Design Process”, McGraw-Hill International Editions.

## CASE STUDY ABOUT THE ASSEMBLABILITY EVALUATION IN THE PRODUCT DEVELOPMENT

**Abstract.** *In this article it is shown some of the results obtained through a systematic study and critical analysis of the assemblability evaluation methods of industrial products in which was aimed the methods adequacy and the obtainment of recommendations for their best use during all the design process phases.*

*It is defined and presented the Design for Assembly (DFA) involving its usefulness and limitations. It is focused how the DFA links up with the design process, indicating how the DFA methodology can be used together with the common design techniques as the Quality Function Deployment (QFD), the Function Decomposition and the Morphologic Matrix. To better illustrate the importance of DFA and to exemplify the proposed recommendations it is presented also a case study over an agricultural implement. The case study was held applying two DFA softwares and a spreadsheet, what served as basis to discuss about the functionality and contribution of the assemblability evaluation methods.*

**Keywords:** *DFA, DFMA, Product Design, Design Process, Product Evaluation.*