

APLICAÇÃO DO MÉTODO MFD PARA PROJETO DE PRODUTO MODULAR COM ENFOQUE NA MANUFATURA E NA MONTAGEM

APPLICATION OF THE METHOD FOR MFD MODULAR DESIGN OF PRODUCT WITH FOCUS ON MANUFACTURE AND ASSEMBLY

Jairo Machado¹, Nilson Luiz Maziero²

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de Passo Fundo, Bairro São José, BR 285. CEP 99052-900 – Cx. Postal 611. E-mail: jairo@upf.br

² Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de Passo Fundo, Bairro São José, BR 285. CEP 99052-900 – Cx. Postal 611. E-mail: nlm@upf.br

Resumo

Este trabalho aborda a aplicação de metodologia de projeto de produtos modulares *Modular Function Deployment* – Desdobramento da Função Modular (MFD) no desenvolvimento de novos produtos com enfoque na manufatura e na montagem. Inicia com uma análise e uma avaliação do método MFD e de suas ferramentas de projeto do ponto de vista da manufatura e da montagem, com o objetivo de verificar quais as diretrizes de modularização que podem contribuir na definição do produto/módulo com relação à manufaturabilidade e montabilidade. Nessas diretrizes consideram-se os aspectos de desmontagem, de manutenção, de capacidade de atualização, de reutilização, entre outros, de forma a garantir que a manufatura e a montagem sejam consideradas, desde o início do projeto, nas decisões referentes à modularização. As diretrizes de modularização definidas vão refletir nos processos de fabricação e de montagem, fornecendo subsídios para desenvolver conceitos de projeto de produtos modulares, visando à manufatura e à montagem. Uma análise com referência ao uso do dendograma no planejamento da modularização de um produto com relação ao planejamento da manufatura e da montagem serve como base para apresentar os possíveis módulos. Finalmente, é apresentado um estudo de caso, aplicando a metodologia MFD em um rachador de lenha.

Palavras-chaves: Função modular. Manufatura. Projeto modular. DFMA. Dendograma.

Abstract

This paper discusses the methodology of applying design modular product MFD (Modular Function Deployment – Modular Function Deployment) to develop new products with a focus on manufacturing and assembly. Begins with an analysis and evaluation of the MFD method and its design tools from the standpoint of manufacturing and assembly, in order to verify which modularization guidelines that can help in defining the product/module with respect to manufacturability and rideability. These guidelines consider the aspects of disassembly, maintenance, upgradability , reusability , among others , to ensure that manufacturing and assembly are considered from the outset of the project , in decisions on modularization. Guidelines defined modularization will reflect in manufacturing and assembly, providing grants to develop concepts of modular product design aimed at manufacturing and assembly. An analysis with reference to the use of the dendrogram in planning the modularization of a product with respect to the planning of manufacturing and assembly serves as a basis for presenting the possible modules. Finally a case study of applying the methodology on a MFD wood splitter is presented.

Keywords: Modular function. Manufacturing. Modular design. DFMA. Dendogram .

1. Introdução

De acordo com Miller e Elgard (1998), as empresas precisam lidar com três desafios importantes. Em primeiro lugar, essas devem ter o foco no cliente e satisfazê-lo, oferecendo variedade em seus produtos. Como o cliente é a razão de existir do produto, todo o processo de desenvolvimento até a sua obtenção se baseia nas necessidades desse cliente.

Em segundo, está a competitividade. A presença de concorrentes obriga a empresa a uma busca constante na diminuição dos custos, no aumento da qualidade e na redução do tempo de resposta ao mercado.

Finalmente, a tecnologia está se desenvolvendo rapidamente e isso faz com que as empresas tenham que lidar com alta complexidade e constantes mudanças de ambiente. Produtos com alta tecnologia carregam um grande número de variações para permitir a adaptação para grupos de indivíduos diferenciados. Assim, para obter flexibilidade e atender aos diversos grupos e disponibilizar o produto rapidamente, é necessária a aplicação de novas técnicas.

Uma técnica que permite a diversificação de produtos, sem acarretar um grande aumento no custo é a modularização. A modularização permite o aumento de complexidade, dividindo o produto em subsistemas menores, resultando em flexibilidade.

Neste trabalho são aplicados os princípios de modularização no suporte ao projeto manufatura e montagem do produto, utilizando o método de Desdobramento da Função Modular (*Modular Function Deployment*) (MFD), proposto por Erixon (1998), bem como é realizada a modularização de um equipamento para rachar lenha.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Projeto de produtos modulares

Se o programa de um produto prevê o atendimento de diversas funções, isso acarreta em uma multiplicidade de produtos para um projeto específico, o que se traduz em um custo relativamente elevado do projeto e da produção. A racionalização consiste em que a variante exigida seja constituída por uma combinação de componentes e/ou subconjuntos específicos (*blocos de função*). Essa combinação é realizada aplicando o princípio modular (PAHL et al. 2005).

Para (HUANG; KUISAK, 1996 apud BRYANT, 2004), a modularidade de um produto é a criação de variantes de produtos com unidades comuns, que são descritas como módulos independentes, unidades-padrão e intercambiáveis que satisfazem a um conjunto de especificações de funções. Produtos modulares têm o mínimo de interação entre os componentes e tem arquitetura física e funcional semelhante. Para a maioria dos produtos, a modularidade desempenha um papel importante na determinação de montagem, no serviço, na desmontagem, na reciclagem e em outras características do ciclo de vida desses.

Ericsson e Erixon (1999) apresentam alguns benefícios como resultados do desenvolvimento de projetos de produtos, considerando uma visão modular: a) ampliação da variedade de produtos; b) redução dos investimentos e custos de desenvolvimento; c) desenvolvimento rápido da tecnologia; d) facilidade de manutenção, reparos e reciclagem; e) gerenciamento das incertezas; f) melhor integração entre os objetivos de marketing e das áreas técnicas.

2.2 Projeto para manufatura e montagem (DFMA)

A técnica de DFMA é, geralmente, separada em duas abordagens: o projeto para manufatura (DFM) e o projeto para montagem (DFA). Para Rozenfeld et al. (2006) e Boothroyd et al. (2002), o DFM é uma abordagem que enfatiza aspectos da manufatura. Assim, o projeto "para fabricação e montagem (DFMA) é uma combinação de DFA e DFM", visando simplificar os aspectos de fabricação e de montagem já na fase de projeto.

O DFMA permite identificar como os recursos disponíveis na produção podem interferir no sucesso do projeto, buscando analisar detalhes no produto com o objetivo final de aproveitar melhor os recursos industriais da empresa, sempre mantendo o atendimento às necessidades dos clientes, por meio da simplificação nos processos de fabricação, de montagem e também de redução de custos.

2.3 *Desdobramento da função modular (MFD)*

Para realizar o estudo da modularização do produto aplicou-se o método MFD que inclui critérios relacionados à manufatura e à montagem. O método proposto por Ericsson e Erixon (1999) contempla cinco fases (Figura 1):

- *definir os requisitos do consumidor.* Nessa etapa inicial, as características do produto estão definidas, com base na concorrência e na análise dos requisitos do cliente. As necessidades do cliente são coletadas por meio de um questionário e são comparadas às outras para esclarecer a importância da necessidade do cliente, a qual é convertida em propriedade de produtos. Essas propriedades do produto são comparadas aos requisitos do cliente. Para obter as propriedades fundamentais do produto é utilizado o *Quality Function Deployment (QFD)*;
- *gerar e solucionar soluções técnicas.* O produto é funcionalmente decomposto e diferentes soluções técnicas são geradas, utilizando a árvore de funções. Todas as soluções técnicas geradas são comparadas às propriedades do produto, utilizando a Matriz de Propriedade Projeto (DPM) para escolher a melhor solução por meio da DPM serão determinadas as tecnologias-chave para o produto.
- *gerar o conceito modular.* Essa é a etapa básica do MFD, em que os módulos do produto ocorrem após a análise das soluções técnicas. A análise é realizada, tendo critérios de modularidade. O MFD usa as diretrizes de modularização para a divisão do produto em módulos. Os módulos são obtidos por meio da Matriz de Identificação de Módulo (MIM). A MIM compara controladores de módulos que são padrão com as soluções técnicas. Essa matriz MIM indica quais as funções que devem ser módulos. Avaliando as funções (expressas em soluções técnicas) uma a uma, comparando com todas as diretrizes de modularização, obtém-se uma indicação de quais funções possuem razões para a formação de módulos;
- *analisar os conceitos.* Nessa etapa, a relação de interface entre os módulos é determinada. Além disso, uma avaliação econômica dos conceitos modulares ocorre. As interfaces entre os módulos tem uma influência fundamental sobre o produto final (ERIXON; KENGER, 2004). Segundo Fleig (2008), uma vez que o conceito do produto tenha sido gerado, é muito importante determinar as interfaces entre os módulos, visto que interfaces padronizadas constituem a condição para o sucesso das atividades paralelas. A Matriz de Interface ajuda a identificar todas as conexões do sistema modular. Segundo Erixon (1998), os tipos de interfaces podem ser de conexão (A); de transferência (T); de controle e comunicação (C); interface espacial (S); interface de campo (F) e interface de meio ambiente (E);
- *otimizar os módulos.* O passo final do método inclui a definição das especificações dos módulos (informações técnicas, o custo alvo, etc.). Baseada nessas especificações, a melhoria de cada módulo inclui a concepção e a otimização dos conceitos gerados para cada módulo, usando método MFD. Essa etapa é dedicada à otimização de diferentes conceitos modulares de acordo com a viabilidade real do projeto.

Para isso, serão aplicadas as técnicas descritas a respeito de projeto para modularização (ERICSSON; ERIXON, 1999) e o projeto para manufatura e montagem (DFMA) foi aplicado a um rachador de lenha.

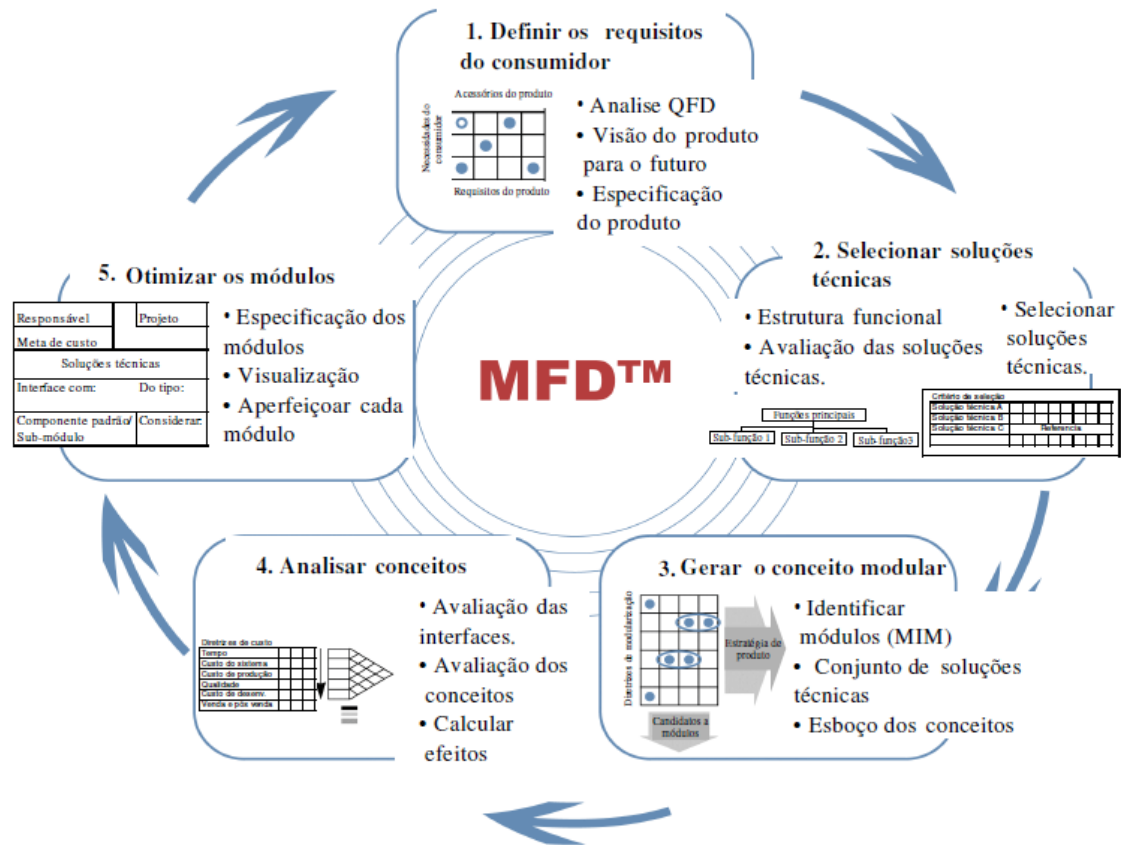


Figura 1 - Visão geral do método MFD

3. ESTUDO DE CASO

O método MFD é aplicado no estudo de caso de modularização de um rachador de lenha (Figura 2). O estudo leva em conta a modularização frente às considerações de manufatura e montagem. A seguir o método MDF é desenvolvido nas várias fases.

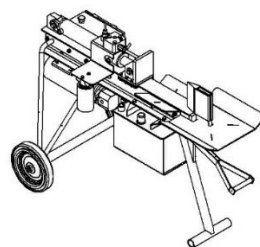


Figura 2 - Rachador de lenha

3.1 Definir os requisitos do cliente

Nesta fase são definidas as principais diretrizes para a execução do projeto modular, buscando especificar as necessidades do consumidor. Para identificar e priorizar os principais requisitos do

consumidor, utilizou-se a metodologia *Brainstorming*, a técnica do *Benchmarking*. Com as informações do produto e do cliente é gerado o QFD. A Tabela 1 apresenta os requisitos do cliente. Já a Tabela 2 apresenta a importância desses requisitos para o consumidor.

Já a Tabela 2 apresenta a importância desses requisitos para o consumidor.

Tabela 1: Requisitos do consumidor e definições / especificações identificadas para o rachador de lenha.

Requisitos do consumidor	Definições / especificações
1. Boa aparência	<ol style="list-style-type: none"> 1. Forma / formato do conjunto final agradável 2. Cor (tipo) 3. Design atraente e inovador que demonstre a robustez do equipamento 4. Cordões de solda contínuos e com bom acabamento
2. Alta qualidade	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perfeito alinhamento entre os componentes 2. Uniformidade da cor 3. Sem arestas cortantes e rebarbas de solda 4. Baixo ruído no funcionamento
3. Confiabilidade / durabilidade	<ol style="list-style-type: none"> 1. Robustez 2. Manter o desempenho de trabalho durante o ciclo de vida 3. Longo ciclo de vida com uso rotineiro 4. Baixo índice de falhas 5. Materiais resistentes
4. Facilidade de operação	<ol style="list-style-type: none"> 1. Instruções de uso do produto de fácil entendimento (Manual técnico de utilização que o acompanha) 2. Facilidade de utilização / operação
5. Facilidade de manutenção	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flexibilidade / facilidade para fixar / soltar os acessórios para realizar manutenção 2. Projeto prevê o acesso fácil para substituição de componentes durante o ciclo de vida do produto
6. Segurança	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resistência dos materiais aplicados na estrutura do produto 2. Ler o manual de instruções 3. Em caso de pane no sistema hidráulico / elétrico usar o botão de emergência
7. Baixo peso do equipamento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Considerando-se a mesma resistência, quanto menor o peso do rachador de lenha, menos força poderá ser necessária para a locomoção manual
8. Produtividade	<ol style="list-style-type: none"> 1. 5mil lascas por dia
9. Consumo de energia.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baixo consumo de energia
10. Várias faixas de aplicação.	<ol style="list-style-type: none"> 1. São considerados três faixas de opções em função da capacidade de corte e comprimento da lenha
11. Não agride o meio ambiente.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Considerar no projeto a desmontagem do produto no final do ciclo de vida para reutilização de peças / componentes ou reciclagem 2. Baixo tempo e esforço para desmontagem 3. Processos de recuperação / reutilização que não agriam o meio-ambiente (limpeza, restauração)

Tabela 2: Grau de importância dos requisitos para o consumidor

Requisitos do consumidor	Grau de importância
Boa aparência	10
Alta qualidade	05
Confiabilidade / durabilidade	02
Facilidade de operação	03
Facilidade de manutenção	06
Segurança	07
Baixo peso do equipamento	03
Produtividade	02
Consumo de energia	04
Várias faixas de aplicação	07
Não agride o meio ambiente	08

Tabela 3: Propriedades do produto

Propriedades do produto
1. Formato do equipamento que transmita robustez
2. Cor uniforme
3. Continuidade e penetração dos cordões de solda
4. Solda no reservatório, estanqueidade
5. Resistência mecânica dos componentes estruturais
6. Rigidez da estrutura
7. Eficiência das partes hidráulicas
8. Pressão do cilindro hidráulico
9. Eficiência das partes elétricas
10. Visibilidade dos produtos
11. Vida útil
12. Fácil identificação para uso
13. Operação do equipamento
14. Transporte e instalação
15. Manutenção e substituição de componentes
16. Tempo e esforço para montagem / desmontagem
17. Reciclagem
18. Peso dos componentes
19. Padronização de componentes

A Tabela 4 estabelece o grau de importância.

Tabela 4: Peso estabelecido de acordo com o grau de importância.

Ordem	Peso
1 ou 2	5
3 ou 4	4
5, 6, ou 7	3
8, 9, ou 10	2
11 ou 12	1

A quantificação entre os requisitos do consumidor *versus* propriedades do produto na matriz QFD é a seguinte: pontuação 9 forte; pontuação 3 média; pontuação 1 fraca; e, sem pontuação ou em branco, quando não há relação. A pontuação relativa à propriedade do produto na matriz QFD (Quadro 1) é obtida pela multiplicação dos critérios utilizados para pontuação forte, média e fraca.

Quadro 1 - Matriz QFD.

Propriedades do Produto	Formato do equipamento que transmite robustez.	Cor uniforme	Continuidade e penetração dos cordões de solda	Solda no reservatório, estanqueidade	Resistência mecânica dos componentes estruturais	Rigidez da estrutura	Eficiência das partes hidráulicas	Pressão do cilindro hidráulico	Eficiência das partes Elétricas	Visibilidade dos produtos	Vida útil	Fácil identificação para uso	Operação do equipamento	Transporte e instalação	Manutenção e substituição de componentes	Tempo e esforço para montagem/desmontagem	Reciclagem	Peso dos componentes	Padronização de componentes.	Grau de importância	Peso	SOMATÓRIO	
Requisitos do consumidor																							
Boa aparência	9	9	3																	10	2	21	
Alta qualidade		3	9	9	9	9	9	9	9	3	9	3	3	3	9			9	1	3	5	3	109
Confiabilidade / Durabilidade	9		9	9	9	9	9	9	9		9			3	9		9	3	3	2	5	117	
Facilidade de operação							1		1			9	9								3	4	20
Facilidade de manutenção											3		1		9	9	1	3	9	6	3	35	
Segurança	3		9	9	9	9	9	9	9	9	3	9	9		9	9		3	1	7	3	118	
Baixo peso do equipamento	1		1	1	9	1									9	1				3	4	23	
Produtividade							9	9	9		3		3							2	2	33	
Consumo de energia							9	9	9		3		3		3			3		4	4	39	
Várias faixas de aplicação					3	3	9	9	9											7	3	33	
Não agride o meio-ambiente		3	3				3										9			8	2	18	
PONTUAÇÃO	76	33	115	144	144	112	190	180	184	36	108	72	138	24	138	90	97	48	54				

3.2 Gerar soluções técnicas

Neste passo, considera-se o produto do ponto de vista funcional. A identificação das funções e subfunções que cumprem as exigências e a seleção das técnicas correspondentes. As propriedades do produto são agrupadas de acordo com as funções similares, que em grupos facilitam a elaboração das soluções técnicas de acordo com os requisitos.

As principais funções diagnosticadas foram: a) rachar lenha; b) permitir o corte de diferentes comprimentos da lenha; c) realizar o transporte e a manutenção do rachador de lenha; d) prover segurança durante a operação. Na Tabela 5, para as referidas funções 1 e 2, as soluções técnicas foram as correspondentes aos itens de 1 a 11 e 15; para a função 3, os itens entre 10 e 14; e para a função 4, o item 10.

Tabela 5: Soluções técnicas para as funções.

Função	Solução técnica
1. Rachar lenha	1. Estrutura do conjunto perfil I 2. Estrutura do conjunto do rodado 3. Estrutura do conjunto de apoio 4. Cilindro hidráulico 5. Bomba hidráulica 6. Motor elétrico
2. Permitir o corte de diferentes comprimentos da lenha	7. Mangueiras e conexões 8. Reservatório hidráulico 9. Bandejas 10. Chave liga /deliga 11. Válvula hidráulica de comando 15. Martelo
3. Realizar o transporte e a manutenção do rachador de lenha	10. Chave liga desliga 11. Válvula hidráulica de comando 12. Elementos de fixação padronizados 13. Cabeçalho de transporte 14. Pintura, galvanização
4. Prover segurança durante a operação	10. Chave liga / desliga

3.3 Gerar o conceito modular

No terceiro passo, as soluções técnicas selecionadas no passo dois são analisadas quanto às suas razões para a formação de módulos. Na matriz de indicação de módulo (MIM), cada solução técnica é avaliada em função das diretrizes de modularização. Cada solução técnica é ponderada em

uma escala em que nove pontos correspondem a uma diretriz forte, três pontos correspondem a uma diretriz média, e um ponto a uma diretriz fraca, de acordo com a importância da sua respectiva razão de ser um módulo. A MIM permite verificar a conformidade entre as diretrizes de modularização e as soluções técnicas.

Erixon (1998) propõe para essa ferramenta 12 diretrizes, em que relaciona as razões pelas quais um produto deve ser modularizado, considerando as características de todo o ciclo de vida do produto. A seguir, são descritas as diretrizes utilizadas neste estudo: multiaplicativa, evolução tecnológica, mudanças planejadas no projeto, especificações técnicas, unidade comum, organização e processo, testes individuais ou separados, fornecedores estratégicos, manutenção e serviço, atualização, reciclagem.

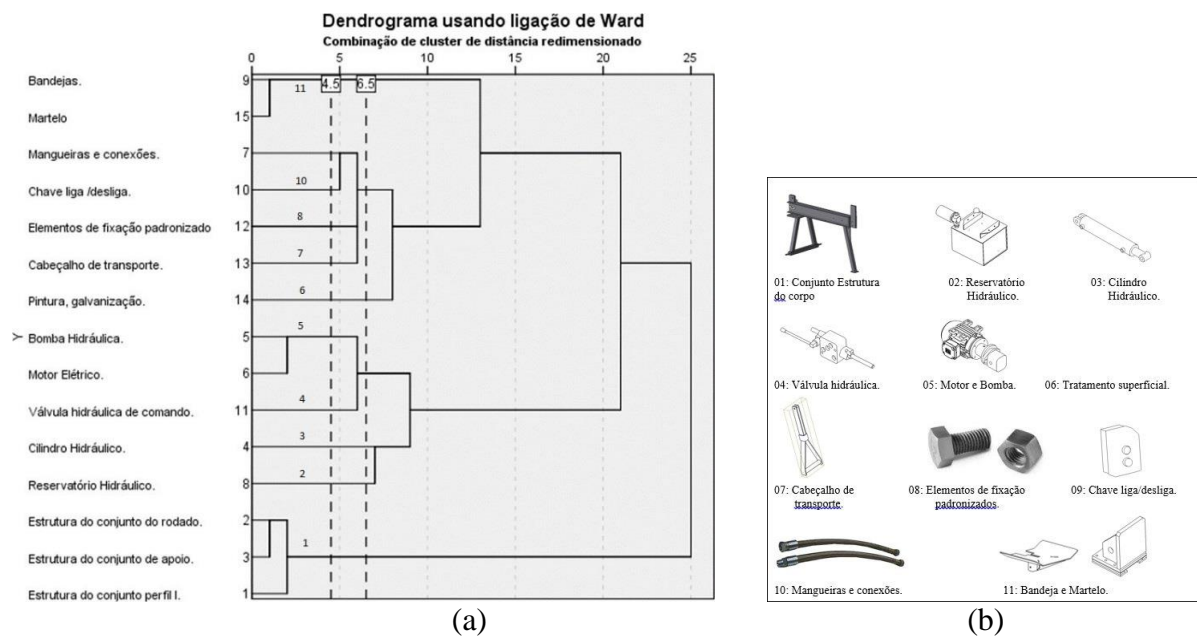


Figura 3: Dendrograma para geração de módulos e os respectivos módulos.

Neste estudo, foram acrescentados os seguintes critérios: manufatura/produção, padronização de componentes, montagem e desmontagem/manual, peso dos componentes, materiais. Essa ampliação permite aumentar o foco no projeto de um produto modular, considerando a manufatura e a montagem.

Devido à quantidade de informações contidas nessa nova matriz, a análise é realizada na forma de Cluster (análise de agrupamento hierárquico), sendo gerado o dendrograma para demonstrar a similaridade (Figura 3a).

3.4 Gerar e analisar conceitos

Este passo consiste em avaliar os conceitos gerados por meio da Matriz de Interfaces (MI), a qual mostra o relacionamento entre os módulos, por intermédio do tipo de interface existente entre cada par de módulo. É realizado um cruzamento entre os módulos e define-se o tipo de interface existente entre esses, conforme Figura 4.

Tipos de interfaces: S - Espacial A - Fixação T - Transferência F - Campo E - Ambiente C - Controle ou Comunicação	01: Conjunto Estrutura do corpo	02: Reservatório Hidráulico.	03: Cilindro Hidráulico.	04: Válvula hidráulica.	05: Motor e Bomba.	06: Tratamento superficial.	07: Cabeçalho de transporte.	08: Elementos de fixação padronizados.	09: Chave liga /desliga.	10: Mangueiras e conexões.	11: Bandejas e Martelo.
01: Conjunto Estrutura do corpo	A, T	A, T	S, A, T, F	A, T	S	T	A	A	S, A, T	A, T	
02: Reservatório Hidráulico.		T, F	T, F, C	T, C	F, E, S	A, T	A		S, A, T		
03: Cilindro Hidráulico.			T, C	T	F, E, S		A		S, A, T	C	
04: Válvula hidráulica.				T, F, C, S	S	S	A		S, A, T		
05: Motor e Bomba.					S		A	T, C	S, A, T		
06: Tratamento superficial.						S					
07: Cabeçalho de transporte.							A				
08: Elementos de fixação padronizados.								A		A	
09: Chave liga /desliga.											
10: Mangueiras e conexões.											
11: Bandejas e Martelo.											

Figura 4: Matriz de Interfaces.

3.5 Aperfeiçoar os módulos

No passo final do método MFD, uma especificação por escrito para cada módulo foi realizada, contendo informações técnicas, metas de custo previstas no desenvolvimento, descrição de variantes, etc. As especificações dos módulos constituem a estrutura produto. Assim, o conceito de modularização é melhorado pela análise de cada um dos módulos separadamente.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

No primeiro passo, foram apontados e questionados os requisitos do consumidor, a fim de chegar a pontos comuns, que possibilitassem delinear o projeto modular. No segundo passo, as principais funções do produto foram identificadas e uma lista com as soluções técnicas foi elaborada para satisfazer as funções.

O terceiro passo é considerado como o mais importante para o conceito de projeto modular, pois, com o auxílio da MIM, são gerados os módulos que vão constituir o produto. A MIM é utilizada para conectar as diretrizes de modularização com as soluções técnicas de acordo com sua importância para o projeto. A grande vantagem da MIM é sua flexibilidade, o que permite levar em conta aspectos até então não considerados no projeto, mas decisivos no produto, os quais se relacionam a práticas de manufatura e montagem (DFMA). Esses critérios são: manufatura/produção, padronização de componentes, montagem/desmontagem, peso dos componentes, materiais. Esses novos critérios complementam os demais e reforçam a importância da manufatura e da montagem no projeto do produto.

A utilização do dendograma auxilia na visualização dos módulos e na sequência de montagem dos módulos do produto. Nesse momento, destaca-se a importância de uma equipe de projetos focada, pois embora esse recurso revele essas similaridades, ainda é necessária uma análise crítica para validar os módulos formados. Esse aspecto, ponto chave do método, necessita melhores estudos e um acompanhamento na adaptação ou na elaboração de uma ferramenta que auxilie na formação dos módulos.

No quarto passo do método, as interfaces existentes entre os módulos são verificadas e para isso utiliza-se a Matriz de Interface. Essa matriz permite verificar o tipo de relação existente entre os módulos.

No quinto passo, a otimização dos módulos é realizada após a elaboração da documentação de cada módulo, a qual é de grande utilidade para compreender o processo de modularização e a forma como ele ocorreu, assim como é fundamental também para verificar toda e qualquer informação relativa à modularização, e, finalmente, realizar as necessárias alterações por meio da verificação de como cada módulo se comporta em relação aos demais, evitando etapas que já tenham sido efetivadas, sempre com vistas à solução de novas necessidades relacionadas ao produto.

4.1 Explorando o dendograma em relação à manufatura e a montagem

O uso do dendograma para obter a modularização de produto permite que outras atividades possam ser estudadas, a partir desse enfoque. Considerando os módulos escolhidos, que podem ser em função do fornecedor, ou das atividades de manufatura e montagem, outras operações podem ser extraídas em função da configuração obtida. A partir da definição dos módulos é possível definir o processo de fabricação e de montagem. Como cada módulo é composto por peças, pode-se prever a constituição de células de manufatura e de montagem para a produção do produto.

4.1.1 Análise de modularização para a manufatura e a montagem

Uma análise do processo de fabricação e montagem do rachador de lenha pode ser feita com base no dendograma (Figura 3a) com o ponto de corte definido em 4,5, gerando 11 módulos (Figura 3b).

Dessa forma, a manufatura compreende uma célula para a fabricação dos componentes dos módulos 1, 7 e 11 (Figura 5), com dispositivos de fixação para a usinagem dos componentes e uma célula de soldagem para uni-los por meio da solda, bem como dispositivos de soldagem para garantir a geometria final dos subconjuntos. Logo após a soldagem, os subconjuntos vão para o tratamento superficial, que é um serviço terceirizado da empresa. Uma célula de montagem é equipada para a montagem final do produto.

Os demais módulos são terceirizados, pois são peças normalizadas de fabricantes especializados.



Figura 5: Módulos não terceirizados

Dessa forma, o uso do dendograma não se limita apenas a definir os módulos do produto, mas pode auxiliar a precisar os processos para a sua obtenção, permitindo estudar e definir em paralelo o processo de produção envolvido.

No projeto do rachador de lenha, pode-se considerando a situação de obter-se 11 módulos, os quais permitem definir que a montagem do 1, do 7, e do 11 (Figura 5) realizada na empresa. Assim, são necessários equipamentos e espaço para tal atividade. Se os módulos 1, 7, e 11 forem terceirizados

essa estação de trabalho de manufatura não existirá no ambiente da empresa. Desse modo, é possível avaliar as dimensões da linha de montagem e o seu impacto.

Do mesmo modo, se um módulo é confeccionado na empresa, pode-se desmembrá-lo nas peças que vão ser fabricadas e as que vão ser adquiridas. Nessa condição, pode-se avaliar as condições de manufatura dos referidos componentes, as células de manufatura, os equipamentos necessários, todo o processo de compra, de armazenamento, de montagem, de estoque, etc., com relação à obtenção desse módulo.

Um exemplo disso é o módulo da bandeja, o qual é composto por três peças diferentes. Se o módulo for entregue pronto, serão necessárias somente as ferramentas para a montagem da bandeja no rachador.

Se a opção for fabricar o módulo 11 (bandeja e martelo) (Figura 6), será necessário efetuar o corte das peças, o dobramento, e a soldagem. Após a manufatura, será necessário, ainda, o processo de tratamento superficial que confere a proteção à superfície. Desse modo pode-se avaliar o impacto no processo produtivo da empresa.

Quando se usa o dendograma pode-se especificar que tipo de operações a empresa deseja realizar, ou seja, ela pretende fabricar componentes ou atuar somente como uma montadora. Desse modo, o dendograma deve ser ajustado para trabalhar de acordo com a definição, verificando a formação de módulos que possuem interface apenas de montagem.

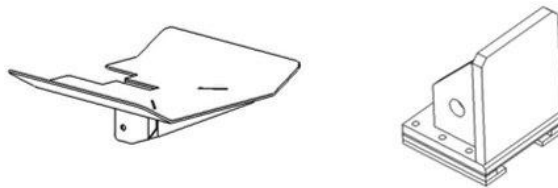


Figura 6: Módulo 11

4.1.2 Análise de modularização para a montagem do produto final

Outra análise de modularização pode ser feita se a empresa desejar somente montar o produto final. Olhando o dendograma da Figura 7. Para essa condição, devem-se reavaliar os pontos de corte, ou seja, verificar qual é o melhor ponto de corte que forma esses módulos para que cheguem até a linha de montagem de forma adequada. Para esse caso o ponto de corte não pode ser fixo e deve ser escolhido correspondente à condição desejada pela empresa, então haverá uma variação conforme a condição que o módulo pode ser recebido.

A Figura 7 mostra o ponto de corte variável representado pela linha traço ponto. Com relação a esse produto, a empresa terá somente uma linha de montagem, em que os módulos vão ser entregues. Assim, a montagem precisará estar equipada com ferramental apenas para essas operações, como dispositivos de montagem, ferramentas manuais dispositivos de testes e avaliação do produto.

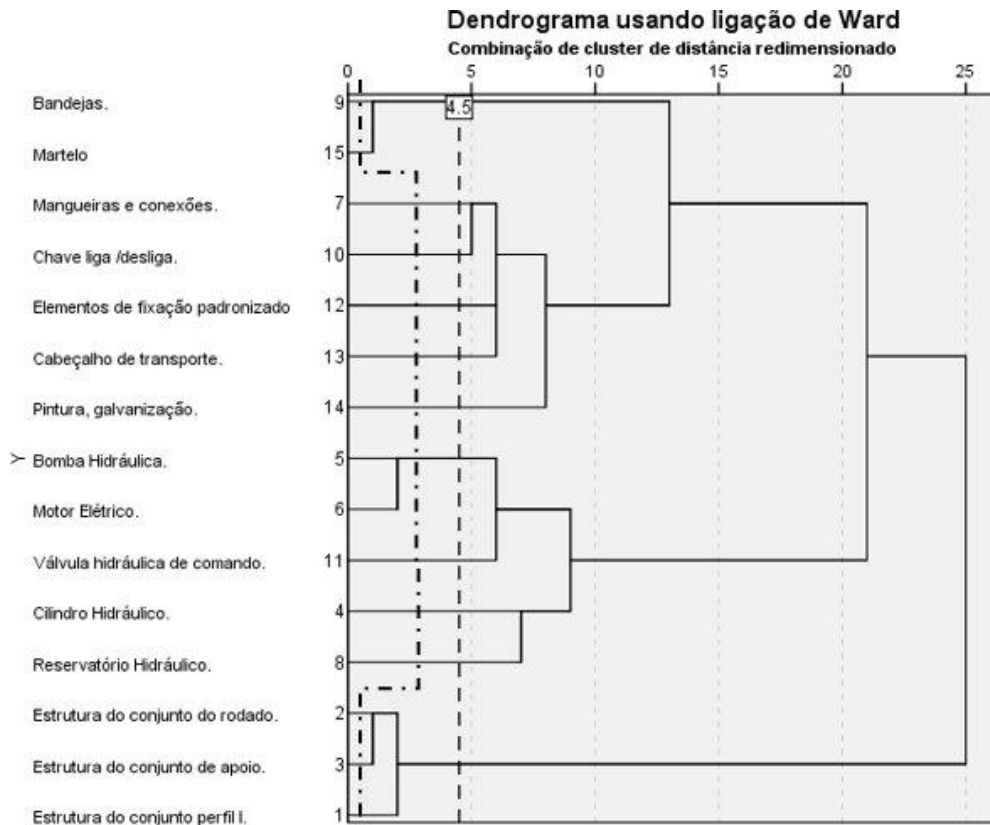


Figura 7: Dendrograma para geração dos módulos

5. CONCLUSÃO

Neste estudo, a metodologia de projeto de produtos modulares de Desdobramento da Função Modular (MFD) foi aplicada a um produto denominado de rachador de lenha. O objetivo geral da aplicação do método para o desenvolvimento de produtos modulares com enfoque em manufatura e montagem foi atendido, uma vez que o método MFD pôde ser aplicado para a concepção modular dos componentes do rachador de lenha.

A análise do método MFD e de suas ferramentas de projeto, sob a ótica da manufatura e montagem, auxiliaram a identificar quais diretrizes de modularização são mais adequadas para o referido projeto e quais poderiam ser adicionadas como critérios de manufatura e montagem (DFMA). Das 12 diretrizes, apenas uma não foi considerada neste estudo, o estilo, por não ser um aspecto importante no produto e pelo fato de a equipe de projeto entender que sua utilização não seria tão importante quanto as demais. Cinco novas diretrizes foram adicionadas: manufatura/produção; padronização de componentes; montagem e desmontagem/manual; peso dos componentes; materiais, consideradas como de importância no projeto.

A escolha do método MFD se deve ao fato de que esse se propõe a realizar, do ponto de vista dos consumidores, dos técnicos, dos engenheiros, e outros, uma análise dos aspectos mais importantes, , , para o projeto. Além disso, o MFD permite incluir ou excluir diretrizes de modularização e avaliar o grau de importância dessas diretrizes frente às soluções técnicas encontradas para satisfazer o desejo do cliente. Nessa característica, esse método foi muito eficiente em realizar tal avaliação, em que se pôde observar que as diretrizes consideradas mais importantes foram: multiplicativo; unidade comum; padronização de componentes; manufatura e produção. Essa análise permite direcionar os esforços da equipe para satisfazer essas diretrizes de modularização e obter os melhores resultados para o projeto.

Por se tratar de uma matriz simples com relação ao seu preenchimento, pôde-se rapidamente, definir novos critérios que se julgam importantes para um determinado produto, e, de forma simples,

obter informações sobre a modularização, durante a execução do projeto do produto em questão. Com novas informações a respeito do produto, rapidamente pôde-se alterar a matriz e gerar novos resultados.

O *software* estatístico utilizado mostrou-se muito importante no tratamento dessas informações, devido à grande quantidade de informações contidas nas matrizes MIM e DPM. O resultado obtido, sob a forma de um dendograma, permitiu um entendimento sobre cada novo módulo formado. A identificação dos módulos ocorreu por meio da análise do dendograma, em que as soluções técnicas foram agrupadas por similaridade e passaram a compor os módulos do produto. A partir desse ponto, a equipe de projeto, com sua experiência na área, realizou a verificação para melhorar os módulos. Observou-se algumas vantagens diretamente no produto modularizado:

- em relação à terceirização, esses módulos se tornam mais flexíveis, pois essa subdivisão facilita a aquisição dos módulos em separado, tornando-se mais palpáveis e até reduzindo os custos com a produção terceirizada, além da facilidade para aquisição de peças normalizadas de fabricantes especializados;
- uma melhor distribuição em relação à manufatura dos módulos, tais como; um *layout* enxuto com pouca ou nenhuma variação do fluxo da peça nas células de manufatura e, também, a facilidade de montagem dos subconjuntos até chegar ao produto final montado;
- o dendograma mostra claramente a sequência de montagem dos subconjuntos até a montagem final do produto e isso permite uma visualização antecipada do processo de manufatura e da montagem. Essa visualização antecipada vai facilitar o projeto da manufatura, o projeto da montagem e todo o planejamento que envolve esse produto.

O projeto modular permite realizar atualizações a qualquer momento no produto, considerando as interfaces existentes entre os módulos. Por meio da documentação gerada no último passo do método torna-se mais fácil a obtenção de qualquer informação sobre o processo de modularização e, conseqüentemente, viabiliza qualquer alteração que seja necessária no produto.

6 REFERÊNCIAS

- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. *Product design for manufacture and assembly*. New York: Marcel Dekker, 2002.
- BRYANT, C. R.; SIVARAMAKRISHNAN, K. L. *A Modular design approach to support sustainable Ddesign*. ASME 2004 Design Engineering Technical Conference Computers and Information in Engineering Conference Salt Lake City, Utah USA, September 28-October 2, 2004.
- ERICSSON, A.; ERIXON, G. *Controlling design variants: modular products platforms*. Society of manufacturing engineers. Michigan: Dearborn, 1999.
- ERIXON, G. *Modular function deployment: a method for product modularisation*. 1998. Tese (Doutorado em ??). Sweden. 1998.
- ERIXON, G; KENGER, P. *Proceedings from the 2nd seminar on development of modular products*. Sweden: Dalarna University, 2004.
- FLEIG, A. M. *Sistematização da concepção de produtos modulares: um estudo de caso na indústria de refrigeração*. 2008. Dissertação (Mestrado em ??) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- MAZIERO Indústria de Máquinas e Equipamentos Ltda. *Site da empresa*. Disponível em: <http://www.maziero.ind.br>. Acesso em: 15 jan. 2013.

MILLER, T. D.; ELGÅRD. *Defining modules, modularity and modularization evolution of the concept in a historical perspective*. Design for Integration in Manufacturing. Proceedings of the 13th IPS Research Seminar, Fuglsoe 1998. Aalborg University 1998.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. *Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2005.

ROZENFELD, H. et al. *Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria do processo*. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.