

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO - MESTRADO PROFISSIONAL**

**ANÁLISE DE PRODUTO COM ENFOQUE MODULAR COM RELAÇÃO À
MANUFATURA E MONTAGEM**

por

JAIRO MACHADO

**Dissertação para obtenção do Título de
Mestre em Projeto e Processos de Fabricação**

Passo Fundo, 16 Setembro de 2013

**ANÁLISE DE PRODUTO COM ENFOQUE MODULAR COM RELAÇÃO À
MANUFATURA E MONTAGEM**

por

JAIRO MACHADO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Mestre em Projeto e Processos de Fabricação

Área de Concentração: **Projeto de Máquinas e Equipamentos**

Orientador: **Prof. Nilson Luiz Maziero, Dr**

Aprovada por:

Prof. Dr. João Carlos Espindola Ferreira - UFSC

Prof. Dr. Luiz Airton Consalter - UPF ppgPPF

Prof. Dr. Márcio Walber - UPF ppgPPF

Prof. Charles Leonardo Israel, Dr.

Coordenador do ppgPPF

Passo Fundo, 16 de setembro de 2013.

*À minha esposa Eliz,
e a minhas filhas Elenisie, Ingrid e Letícia*

AGRADECIMENTOS

A **Deus** em primeiro lugar, pois sem Ele esta jornada não seria cumprida.

Ao Prof. Dr. **Nilson Luiz Maziero**, pela atenção e apoio durante o processo de definição e orientação, além da colaboração sempre construtiva e incentivadora desse trabalho.

Aos meus pais, **Theodoro e ILma** (*in memorian*), e minha irmã Ruth (*in memorian*), que de alguma forma contribuíram para que este momento chegasse com grande êxito.

A minha esposa **Eliz** e minhas filhas **Elenisie, Ingrid e Leticia**, pela dedicação e colaboração nos momentos mais difíceis, com compreensão sempre.

A toda *minha família*, que mesmo à distância, esteve presente em todos os momentos.

Aos amigos e colegas da **UPF**, pelo companheirismo e bom senso na reta final deste trabalho.

Ao coordenador do curso de pós-graduação professor Doutor **Charles Leonardo Israel** pela orientação, pela dedicação e esforço pelo curso. Meu respeito e gratidão.

Ao corpo docente do curso de pós-graduação pela dedicação e esforço pelo curso. Meu respeito e gratidão.

Ao coordenador do curso de Engenharia Mecânica professor Mestre **Luiz Fernando Prestes**, pela amizade, pela dedicação e ajuda. Meu respeito e gratidão.

Às secretárias Jocelene, Elena pelo carinho, respeito e amizade.

À **Universidade de Passo fundo** pela oportunidade de realização do meu mestrado.

A todos que de alguma forma contribuíram para o crescimento de cada momento para realização deste trabalho e a concretização de mais esta conquista,

MEU MUITO OBRIGADO.

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se o estudo da metodologia de projeto de produtos modulares, denominado MFD (*Modular Function Deployment* – Desdobramento da Função Modular) e sua aplicação no desenvolvimento de novos produtos com enfoque na manufatura e montagem. Inicialmente, faz-se uma introdução aos métodos de projeto de produtos modulares com a finalidade de identificar suas características e particularidades. Então, realiza-se uma análise e a 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 avaliação do produto/módulo com relação à manufaturabilidade e montabilidade. Nestas diretrizes consideram-se os aspectos de desmontagem, manutenção, capacidade de atualização, 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. Ao analisarem-se as diretrizes de modularização reflete-se sobre o processo de fabricação e processo de montagem, fornecendo-se informações suficientes para desenvolver conceitos de projeto de produtos modulares visando à manufatura e montagem. Neste trabalho faz-se uma análise com referência ao uso do dendograma para sua utilização no planejamento da modularização de um produto com relação ao planejamento da manufatura e montagem. Apresenta-se um estudo de caso de um produto, aplicando a metodologia MFD em um rachador de lenha.

Palavras-chave: Função Modular, Manufatura, Projeto Modular, DFA, DFM, Dendograma.

ABSTRACT

This paper presents the study of the design methodology of modular products called MFD (Modular Function Deployment), and its application in developing new products with a focus on manufacturing and assembly. Initially it is an introduction to methods of modular product design in order to identify its characteristics and peculiarities. So is an analysis and evaluation of the method and its MFD design tools from the point of view of manufacturing and assembly, in order to verify which modularization guidelines can help in evaluating the product / module with respect to manufacturability and assembly. These guidelines are considered aspects of disassembly, maintenance, upgradability, reusability, among others, to ensure that the manufacturing and assembly, are considered from the beginning of the design in decisions relating to modularisation. The analysis of the guidelines will allow modularization reflect on the process of manufacturing and assembly process, providing sufficient information to develop design concepts of modular products aimed at manufacturing and assembly. In this paper an analysis is made with reference to the use of the dendrogram for use in planning the modularization of the product with respect to the planning of manufacturing and assembly. We will present a case study of a product, applying the methodology MFD in a hewer of wood.

Keywords: Modular Function, Manufacturing, Modular Design, DFA, DFM, Dendogram.

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	1
1.2. Objetivo geral	2
1.3. Objetivos específicos	2
1.4. Metodologia.....	2
1.5. Resultados esperados	3
1.6. Estrutura do trabalho	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Projeto conceitual	5
2.2 Métodos para geração de conceito para desenvolvimento de produtos.....	6
2.3 Diferentes métodos para geração de conceito	7
2.3.1 Análise de tarefa	7
2.3.2 Análise funcional do produto	7
2.3.3 Análise do ciclo de vida.....	8
2.3.4 Métodos básicos de geração de conceito	8
2.4 Arquitetura do produto	10
2.5 Projeto de produto modular	11
2.5.1 Tipos de Modularidade.....	12
2.6 Vantagens da modularização	14
2.7 Desvantagens da modularização.....	15
2.8 Projeto para modularidade.....	16
2.9 Metodologias de projeto de produtos modulares.....	17
2.10 Desdobramento da função modular (MFD)	18
2.11 Método para a obtenção de módulos	24
2.11.1 Módulos e Dendogramas	30
2.11.2 Algoritmos de agrupamento.....	32
2.12 Exemplos de aplicação de projetos modulares	33
2.13 Projeto para manufatura e montagem (DFMA).....	35
2.13.1 Etapas para a implantação do DFMA	37
2.13.2 Exemplo de aplicação do DFMA.....	39
2.14 Seleção de materiais e processos	40
2.14.1 Seleção de Processos de Fabricação	41
2.14.2 Seleção de materiais.....	42
2.15 <i>Software</i> estatístico IBM SPSS Statistics 21	43
2.16 Considerações finais	43
3 ESTUDO DE CASO	45
3.1 Projeto de produtos modulares, análise de um rachador de lenha.....	45
3.1.1 Sistema proposto	45
3.2 Aplicação da proposta	47
3.3 O produto para a modularização.....	47
3.4 Modularização de um sistema para rachador de lenha.....	48
3.4.1 Passo 01: Definir os requisitos do consumidor	49
3.4.2 Passo 02: Gerar soluções técnicas	54
3.4.3 Passo 03: Gerar o conceito modular	58
3.4.3.1 Módulos e Dendograma.....	64
3.4.4 Passo 04: Analisar os conceitos.....	76
3.4.5 Passo 05: Otimizar os módulos	79
3.5 Análise dos resultados	80
3.5.1 Resultados do Passo 01: Definir os Requisitos do Consumidor.....	81
3.5.2 Resultados do Passo 02: Gerar e Selecionar Soluções Técnicas	81

3.5.3	Resultados do Passo 03: Gerar o Conceito Modular	81
3.5.4	Resultados do Passo 04: Analisar os Conceitos.....	82
3.5.5	Resultados do Passo 05: Otimizar os Módulos.....	82
3.6	Explorando o dendograma com relação à manufatura e a montagem.....	83
3.6.1	Análise de modularização para a manufatura e a montagem.	83
3.6.2	Análise de modularização para a montagem do produto final.	86
3.6.3	Análise Processo de Manufatura e Montagem das Peças.....	87
4	CONCLUSÃO	89
4.1	Sugestão para trabalhos futuros.....	91
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
6	APÊNDICE A	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Descrição das funções e de suas dependências.....	5
Figura 2 - Projeto conceitual, alargar as restrições ao projeto.....	6
Figura 3 - Árvore funcional para um descascador de batatas.....	8
Figura 4 - Arquitetura slot Modular.....	13
Figura 5 - Arquitetura de Bus modular.....	13
Figura 6 - Arquitetura seccional modular.....	13
Figura 7 - Visão geral do método MFD proposto por Erixon.....	18
Figura 8 - Matriz QFD simplificada.....	19
Figura 9 - Exemplo de Matriz de Propriedade Projeto (DPM).....	20
Figura 10 - Exemplo de aplicação da MIM.....	21
Figura 11 - Exemplo de Matriz de Interface para o desenvolvimento de um telefone celular.....	22
Figura 12 - Exemplo de especificação do módulo de entrada e saída de dados de um telefone celular.....	24
Figura 13 - Processo Top-Down.....	26
Figura 14 - Processo Botton-Up.....	27
Figura 15 - Matriz PMM.....	28
Figura 16 - Interfaces.....	29
Figura 17 - Matriz de interfaces.....	29
Figura 18 - Exemplo de dendograma.....	31
Figura 19 - Passos comumente praticado em projeto usando a metodologia DFMA.....	39
Figura 20 - Modelo de referência.....	45
Figura 21 - Rachador de lenha.....	47
Figura 22 - Etapas da modularização.....	49
Figura 23 - Dendograma para geração dos módulos, Método Ward com intervalo de distância euclidiana.....	67
Figura 24 - Dendograma para geração dos módulos, Método Ward com intervalo de distância euclidiana Quadrada.....	68
Figura 25 - Dendograma para geração dos módulos, Método Ward com intervalo de distância Minkowski.....	69
Figura 26 - Dendograma para geração dos módulos, Método Ward com intervalo de distância em Bloco (Manhattan).....	70
Figura 27 - Dendograma para geração dos módulos, Método Ward com intervalo de distância em Bloco (Manhattan) - Ponto de corte 4,5 e 6,5.....	73
Figura 28 - Módulos gerados com base no dendograma.....	76
Figura 29 - Produto Final.....	79
Figura 30 - módulos não terceirizados.....	84
Figura 31 - módulo 11.....	85
Figura 32 - módulo 05.....	85
Figura 33 - Dendograma para geração dos módulos, Método Ward com intervalo de distância em Bloco (Manhattan). Ponto de corte variável.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Descrição dos rachadores de lenha em função da capacidade de corte e o comprimento da lenha.	48
Tabela 02 - Requisitos do consumidor e Definições / Especificações identificados para o rachador de lenha.	50
Tabela 03 - Grau de importância dos requisitos do consumidor	51
Tabela 04 - Propriedades do produto.....	51
Tabela 05 - Peso estabelecido de acordo com o grau de importância	52
Tabela 06 - Soluções técnicas para as funções e propriedades do produto	55
Tabela 07 - Relação entre os critérios atuais e os que contemplam a manufatura e montagem.	62
Tabela 08 - Módulos gerados a partir do dendograma.	75
Tabela 09 - Módulos gerados a partir do dendograma somente para a montagem.	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Diretrizes de modularidade.	25
Quadro 02 - Matriz QFD.	53
Quadro 03 - Matriz das Propriedades do Produto (DPM).....	57
Quadro 04 - Matriz de Identificação de módulos MIM	63
Quadro 05 - Vetores para gerar o dendograma: Matrizes DPM e MIM.....	65
Quadro 06 - Matriz de Interfaces.....	78
Quadro 07 - Especificação do Módulo 01 - Conjunto Estrutura do Corpo	80
Quadro 08 - Especificação do Módulo 02 - Reservatório Hidráulico	96
Quadro 09 - Especificação do Módulo 03 - Cilindro Hidráulico	97
Quadro 10 - Especificação do Módulo 04 - Válvula Hidráulica	98
Quadro 11 - Especificação do Módulo 05 - Motor e Bomba	99
Quadro 12 - Especificação do Módulo 06 - Tratamento superficial	100
Quadro 13 - Especificação do Módulo 07 - Cabeçalho de Transporte.....	101
Quadro 14 - Especificação do Módulo 08 - Elementos de fixação Padronizados.....	102
Quadro 15 - Especificação do Módulo 09 - Chave Liga/desliga.....	103
Quadro 16 - Especificação do Módulo 10 - Mangueiras e Conexão.....	104
Quadro 17 - Especificação do Módulo 11 - Bandejas e Martelo.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADT	<i>Axiomatic Design Teory</i>	Projeto Axiomático Teórico
DFA	<i>Design for Assembly</i>	Projeto para a Montagem
DFM	<i>Design for manufacturing</i>	Projeto para Manufatura
DM	<i>Design Matrix</i>	Projeto Matriz
DFMA	<i>Design for Manufacturing and Assembly</i>	Projeto para Manufatura e Montagem
DPM	<i>Design Property Matrix</i>	Matriz das Propriedades do Produto
DSM	<i>Design Structure Matrix</i>	Matriz de Estrutura de Projeto
SPSS®	<i>Statistical Discovery Software</i>	Software Estatístico
MFD	<i>Modular Function Deployment</i>	Desdobramento da Função Modular
MIM	<i>Module Indication Matrix</i>	Matriz de Indicação de Módulo
PMM	<i>Product Management Matrix</i>	Mapa de Gerenciamento do Produto
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>	Desdobramento da Função da Qualidade

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Miller e Elgard (1998), hoje, as empresas precisam lidar com três desafios importantes. Em primeiro lugar elas devem ter o foco no cliente e satisfazê-lo, entregando variedade em seus produtos. O cliente é a razão de existir do produto e todo o processo de desenvolvimento baseia-se nas necessidades desse cliente. O interesse por desenvolvimento de bens de consumo para atender necessidades individuais de consumidores específicos tem sido um grande desafio para a indústria. O ambiente de negócio das empresas tem mudado sobre diversos aspectos.

Os consumidores estão substituindo seus produtos precocemente, buscando inovações e tecnologias para melhorar sua qualidade de vida. Por parte dos fabricantes existe um crescente esforço para ouvir e entender as necessidades dos consumidores por meio de pesquisas do seu estilo de vida para usar essas informações na especificação de um novo produto.

Em segundo está a competitividade. A presença de concorrentes no mercado obriga a empresa a uma busca constante na diminuição dos custos, aumento da qualidade e redução no 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. Essa nova modalidade de produtos, com alta tecnologia, carrega um grande número de variações para permitir a adaptação para grupos de indivíduos diferenciados. Como a meta é obter o benefício da flexibilidade para atender os diversos grupos e ainda disponibilizar o produto rapidamente, é necessária a aplicação de novas técnicas.

Uma das metodologias que permite a diversificação de produtos, sem acarretar um grande aumento nos custos é a modularidade. Através da combinação de um número limitado de subsistemas, a modularidade é capaz de entregar ao cliente uma vasta gama de produtos. A modularidade tem ajudado as empresas a administrarem o aumento de complexidade da tecnologia, pois ao dividir o produto em subsistemas menores, projetistas, fabricantes e usuários têm tido enorme ganho em flexibilidade.

1.1 Objetivos

Os objetivos estão fundamentados na importância da aplicação dos conhecimentos sistematizados envolvidos no método para o Desenvolvimento de Produtos Modulares Aplicados à Manufatura e Montagem.

1.2 Objetivo geral

O objetivo geral desta dissertação consiste em aplicar um método para o desenvolvimento de produtos modulares com enfoque em manufatura e montagem, considerando a integração dos conhecimentos relativos ao projeto, manufatura e montagem.

1.3 Objetivos específicos

- Aplicar os princípios de modularização no suporte ao projeto manufatura e montagem de produtos utilizando o método de desdobramento da Função Modular (*Modular Function Deployment* – MFD), método que será descrito ao longo do trabalho.
- Identificar os processos de desenvolvimento de produtos para manufatura e montagem.
- Aplicar os fundamentos de desenvolvimento de produtos modulares ao projeto para manufatura e montagem.
- Aplicar os conceitos num estudo de caso de projeto modular visando à manufatura e montagem.

1.4 Metodologia

Inicialmente, realiza-se uma revisão bibliográfica sobre métodos para desenvolvimento de produtos modulares e projeto para manufatura e montagem, buscando particularmente métodos que tenham como foco a aplicabilidade em produtos modulares.

Após este estudo teórico, as etapas da metodologia MFD serão analisadas de maneira a verificar como cada uma delas interfere no projeto do produto, com enfoque especial nos aspectos relacionados à manufatura e montagem. Outro passo importante é a agregação de critérios de ponderação e pontuação no método MFD que incluem a manufatura e a montagem dos produtos, tornando esses critérios decisivos nas escolhas que envolvam processos e materiais.

São considerados nestes critérios os aspectos de montagem / desmontagem, reutilização, padronização de componentes, manufatura / produção, de forma a garantir que a

manufatura e a montagem estejam presentes desde o início do projeto de desenvolvimento de produtos modulares.

Do ponto de vista industrial, trata-se de um trabalho que propõe uma forma de desenvolvimento de produtos modulares, com enfoque na manufatura e montagem, aspecto que as empresas de manufatura e montagem têm dado uma atenção especial nos últimos anos.

Por último, apresenta-se um estudo de caso de um produto, aplicando a metodologia MFD em um rachador de lenha.

1.5 Resultados esperados

Obter uma aplicação de referência para o processo de desenvolvimento de produtos modulares com foco na manufatura e montagem.

As contribuições deste trabalho podem ser classificadas em duas classes: contribuições acadêmicas e industriais.

Contribui-se academicamente por meio da realização de um levantamento bibliográfico sobre o desenvolvimento de produtos modulares considerando-se a manufatura e a montagem, buscando informações e dados sobre o tema com a finalidade de apresentar uma aplicabilidade do método para produtos modulares.

A contribuição do ponto de vista industrial é mostrar a aplicabilidade do método em um produto que está sendo fabricado em uma empresa.

1.6 Estrutura do trabalho

Este estudo encontra-se dividido em quatro capítulos, iniciando com a introdução ao tema e apresentação do problema a ser estudado, passando pela revisão do processo de projeto modular e revisão do processo para a manufatura e montagem, apresentando o estudo de caso e as conclusões obtidas sobre as soluções desenvolvidas. Os capítulos estão distribuídos da seguinte maneira:

Capítulo 1 - Introdução: este capítulo apresenta as generalidades sobre o tema escolhido, os objetivos, a metodologia e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica: este capítulo apresenta uma revisão teórica sobre projeto de desenvolvimento de produtos e conceitos de gerenciamento de projetos de

desenvolvimento de produtos, iniciando pela definição de conceitos relativos ao processo de modularização, a apresentação de suas vantagens e desvantagens, os métodos empregados para realizar a modularização, e apresentação de alguns exemplos de aplicação de projetos modulares. Também, nesse capítulo, apresenta-se o modelo de desenvolvimento de produto com ênfase na manufatura e montagem na qual a concepção de produtos modulares se insere com maior intensidade.

Capítulo 3 - Estudo de Caso: o capítulo aborda a sistemática proposta para a concepção de produtos modulares, considerando o processo de desenvolvimento de produtos da empresa-alvo. A sistemática é aplicada por meio de um estudo de caso e os resultados são analisados.

Capítulo 4 - Conclusão: neste capítulo estão as principais conclusões deste estudo e sugestões para trabalhos futuros que tenham por objetivo contribuir para o desenvolvimento de produtos modulares.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Projeto conceitual

Pahl *et al.* (2005), dividem o projeto de produtos em quatro fases distintas: 1) planejamento e clarificação da tarefa, com a análise do problema de projeto; 2) projeto conceitual, com a proposição, desenvolvimento e seleção de alternativas de projeto; 3) projeto preliminar, onde as formas e os materiais do produto são definidos e otimizados; e 4) projeto detalhado, quando a documentação para a produção é preparada. Os autores também abordaram o desenvolvimento de produtos modulares, propondo diversas recomendações para a adequação do processo metodológico por eles proposto a esta linha de projeto.

Ainda, para Pahl *et al.* (2005), é na fase conceitual que se realiza a síntese funcional para cada uma das Funções Globais (FG) desempenhadas, as quais são decompostas em Funções Parciais (FP) até serem obtidas suas Funções Elementares (FE). Esse processo é subdividido em dois passos: primeiramente tem-se a procura por funções iguais ou semelhantes entre as estruturas funcionais obtidas na tarefa anterior. Neste mapeamento, deve-se dar uma especial atenção aos fluxos de material, energia e sinal, os quais devem ser compatíveis em todas as funções elementares selecionadas (Figura 1). Estas funções passam a serem denominadas Funções Comuns (FC). Num segundo passo é feita uma análise da viabilidade de serem adotadas essas funções comuns, procurando-se identificar as eventuais dependências existentes.

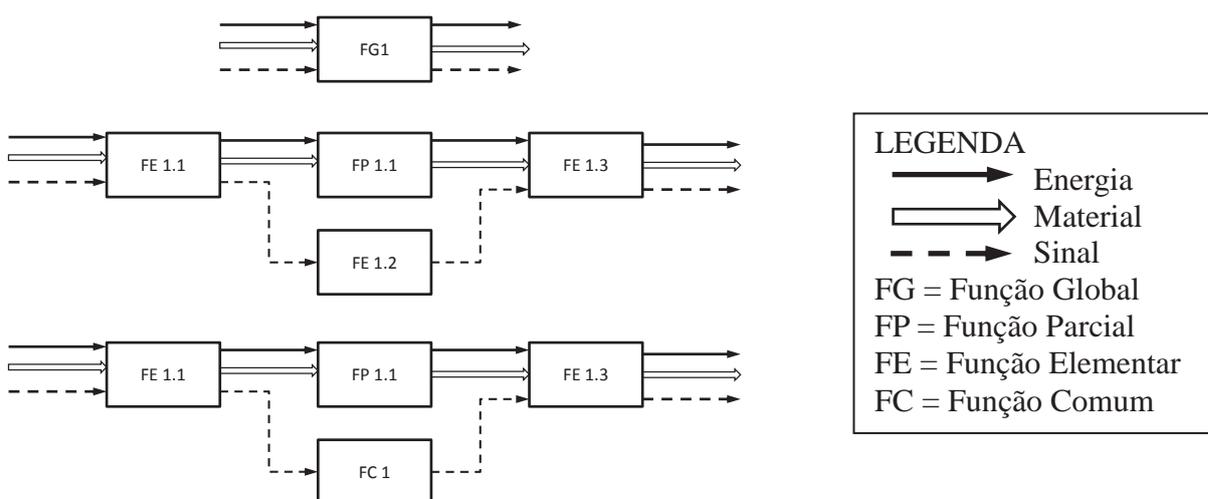


Figura 1 - Descrição das funções e de suas dependências.

Fonte: Pahl *et al.* (2005)

Já, para Baxter (2011), o objetivo do projeto conceitual é produzir princípios de projeto para o produto novo. Ele deve satisfazer as exigências do consumidor e diferenciar o produto novo de outros produtos já existentes. O projeto conceitual deve mostrar como o produto novo será feito para atingir os benefícios básicos requeridos. Portanto, para o projeto conceitual, é necessário que o benefício básico esteja bem definido e se tenha um bom entendimento das necessidades do consumidor e dos produtos concorrentes.

O objetivo do projeto conceitual pode variar bastante, dependendo do tipo de produto. De acordo com Baxter (2011), isso se deve, em grande parte, aos diversos tipos de restrições colocadas às oportunidades de produto. Entretanto, no primeiro momento, usa-se flexibilizar as restrições sobre as especificações do projeto, para incentivar a criatividade (Figura 2).

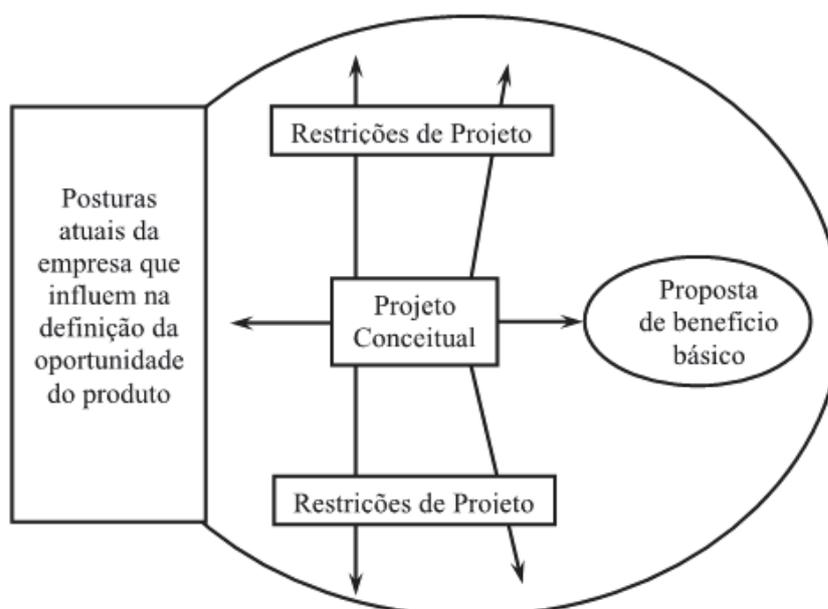


Figura 2 - Projeto conceitual, alargar as restrições ao projeto.
Fonte: Baxter (2011)

2.2 Métodos para geração de conceito para desenvolvimento de produtos

Segundo Erixon e Kenger (2004), o conceito é a descrição de um futuro produto para satisfazer o cliente. Clientes em um mercado global, em rápida mutação, não estão satisfeitos com os produtos disponíveis no mercado, que eles estão usando diariamente. Eles são muito conscientes sobre a tecnologia, conforto, aparência e economia do produto. Porém, às vezes, os clientes nem sequer sabem exatamente o que querem. Portanto os designers ou desenvolvedores de produtos têm que ser muito criativos na concepção de algo novo para atender seus clientes.

O objetivo principal do projeto conceitual é gerar conceitos promissores. Para alcançar este objetivo e gerar uma grande variedade de conceitos é importante que os conceitos valiosos não sejam esquecidos. Se os designers podem gerar conceitos promissores, isso deve aumentar a possibilidade de criar um produto melhor.

2.3 Diferentes métodos para geração de conceito

Baxter (2011) descreve três métodos de geração de conceito usando o exemplo simples de um descascador de batata e um pote de plástico.

2.3.1 Análise de tarefa

A interação entre o produto e os usuários pode ser encontrada por meio de análise de tarefa. Os resultados podem ser utilizados como entrada para a geração de conceito. Como as pessoas utilizam o produto, como reter o produto durante a operação, que dificuldades eles enfrentam durante a operação do produto são respostas que podem ser encontradas por análise de tarefa.

Por exemplo, para descascar uma batata algumas pessoas fatiam a batata contra seus corpos e outras fatiam para longe de seus corpos. Da mesma forma pessoas seguram com a mão esquerda e com a direita usam o descascador de batatas de maneira completamente diferentes. Desta análise é que foi gerado o conceito de um descascador uma lâmina de dupla face (BAXTER, 2011).

2.3.2 Análise funcional do produto

Análise da função do produto é uma técnica muito útil para a geração de conceito. O diagrama funcional (árvore) é feito para um determinado produto, onde as funções e subfunções são identificadas por decomposição funcional. A decomposição da função é repetida até que os membros da equipe compreendam cada função e se sintam confortáveis para trabalhar com a função. A árvore de funções (Figura 3) pode ser lida tanto de cima para baixo quanto de baixo para cima, ligando cada abordagem do nível com o nível anterior e fazendo-se a pergunta “como” ou “por que” de acordo. Depois que todas as funções são identificadas, os conceitos são gerados para soluções alternativas que podem ser utilizadas para alcançar a mesma função (BAXTER, 2011).

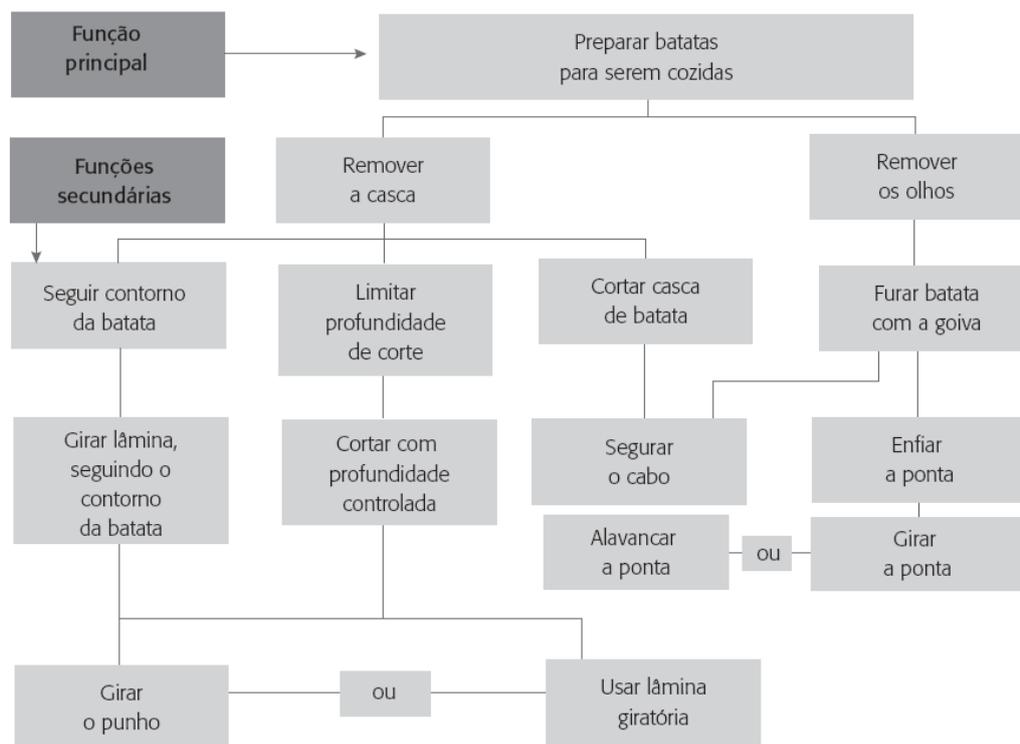


Figura 3 - Árvore funcional para um descascador de batatas.
Fonte: Baxter (2011)

2.3.3 Análise do ciclo de vida

O ciclo de vida de um vaso plástico começa com a matéria-prima nas fábricas de injeção para fazer potes de plástico. Depois da fabricação, os potes são distribuídos para venda no comércio de hortaliças ou para jardins. As plantas são colocadas nos vasos. De lá os potes são levados para as residências ou escritórios. No fim da vida útil da planta os potes são reutilizados ou eliminados. Diversas vezes no ciclo de vida do vaso a principal preocupação é com o transporte e armazenamento. Assim, conforme Baxter (2011), os conceitos que podem ser extraídos da análise do ciclo de vida são:

- Design para melhorar o adensamento do volume para reduzir o custo de transporte;
- Caminho para melhorar a concepção de que o número máximo de vasos pode ser equipado com uma bandeja de horticultura e;
- Melhoria de design para melhorar a aparência visual.

2.3.4 Métodos básicos de geração de conceito

Erixon e Kenger (2004) cita o *brainstorming*, que são ideias compartilhadas entre os membros do grupo, sob a forma escrita, em um determinado tempo pré-fixado.

Existem algumas técnicas básicas para elaborar *brainstorming*. Tais como:

- Gerar o número máximo possível de ideias. Quantidade é mais importante de qualidade nesta fase.
- O pensamento bobo, impossível, selvagem é permitido e avaliação de ideias é proibida nesta fase.
- Ideias anteriores podem ser utilizadas para gerar novas ideias. Ajustamento, ou inversão de ideias anteriores também é permitido durante o *brainstorming*.

Em um sistema de analogia, segundo Erixon e Kenger (2004), as funções necessárias são identificadas e as alternativas da função são encontradas fora. Os objetos ou sistemas provêm das mesmas funções, as quais são utilizadas como auxiliares para a geração de conceito.

Ullman (2003) cita a aplicação do conceito dos extremos e inversos. O conceito do produto existente é modificado, produzindo soluções com os extremos e inversões para observar as diferenças que venham a ocorrer. A orientação do produto é alterada mudando o que está na parte superior com o que está na parte inferior, ou o que está em primeiro troca com o que está em último, ainda, um sistema rígido é alterado para um flexível ou vice versa. Este método é informal, simples e eficiente, por vezes encontrado para gerar conceitos.

Outra fonte de inspiração, segundo Ullman (2003), são livros de referência, revistas e jornais, os quais podem levar indiretamente a associar funções descritas em outros trabalhos a encontrar soluções para o problema real.

Em Erixon *et al.* (2003) *apud* Ullman, (2004), a geração de conceitos para um novo projeto é difícil, se os projetistas não estiverem familiarizados com esse campo específico do projeto. A ajuda de especialistas pode ser muito útil nesta situação, porque adquirir conhecimento como uma forma alternativa poderia ser demorado e caro.

O Método Morfológico, segundo Erixon *et al.* (2003) *apud* Ullman, (2004) é uma técnica de dois passos. No primeiro passo os conceitos alternativos são identificados para cada função definida por meio da decomposição funcional. O objetivo é desenvolver um número máximo de meios possíveis de realizar a função e o reexame da função que tem apenas uma solução. Durante o segundo passo, uma alternativa é selecionada para cada função e combinada com aqueles para alcançar uma função completa.

2.4 Arquitetura do produto

Para Baxter (2011), um produto é descrito em termos funcionais ou físicos. Os elementos funcionais são os que executam operações ou transformações, contribuindo para o desempenho global do produto. Os elementos físicos são constituídos pelas peças, componentes e subconjuntos. Os elementos físicos do produto são organizados em blocos. Cada bloco é composto de um conjunto de componentes que executam funções no produto. O estudo das interações entre esses blocos e o arranjo físico dos mesmos, constituindo a configuração do produto, é a arquitetura do produto.

A arquitetura do produto é classificada em *modular* e *integrada*. A arquitetura modular são blocos dispostos em módulos, com as seguintes propriedades:

- Cada módulo exerce um ou alguns elementos funcionais de forma completa. Não há funções compartilhadas entre dois ou mais módulos.
- As interações entre os blocos são bem definidas e geralmente são fundamentais para a realização da função principal do produto.

A melhor arquitetura modular é aquela em que cada elemento funcional do produto é exercido por um bloco físico. O projeto pode ser feito de bloco em bloco e um bloco pode ser modificado sem alterar os demais blocos; eles são projetados de forma independentes uns dos outros.

Fixson e Clark (2004) distinguem dois arquétipos de arquiteturas de produtos:

- A arquitetura modular inclui um complexo mapeamento dos elementos funcionais a partir da função estrutural dos componentes físicos do produto e específica a dissociação das interfaces entre componentes.
- Uma arquitetura integrante inclui um complexo mapeamento a partir de elementos funcionais para componentes físicos e / ou interfaces acopladas entre componentes.

Para Huang (2012), a arquitetura de um produto é o esquema com base no qual os elementos funcionais do produto são dispostos em blocos físicos que interagem. Uma característica importante de uma arquitetura de produto é a sua modularidade. A arquitetura modular é aquela em que cada elemento funcional do produto é implementado por exatamente um módulo, existindo algumas interações bem definidas entre os módulos.

2.5 Projeto de produto modular

Para Pahl *et al.* (2005), se o programa de um produto prevê o atendimento de diversas funções, isto acarreta numa 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.

Primeiramente, distingue-se entre blocos de função e blocos de produção. Blocos de função são definidos pelo critério do atendimento a funções técnicas, de modo a atendê-las por si próprio ou em combinação com outros blocos. Blocos de produção são aqueles que, independentes da sua função, são definidos exclusivamente por critérios de tecnologia da produção. Para o ordenamento dos *blocos de função* cabe classificá-los e defini-los de acordo com funções que se repetem em sistemas modulares e que combinados em subfunções satisfazem a diversas funções globais tais como: Funções básicas; Funções auxiliares; funções especiais; funções de adaptação e funções específicas (PAHL *et al.* 2005).

Outro critério para a caracterização de um sistema modular é a *forma de combinar* os blocos. Objetiva-se combinar apenas blocos iguais, o que é vantajoso do ponto de vista da produção. Porém, na prática, combinam-se blocos iguais com blocos diferentes, bem como com não blocos específicos de um pedido (PAHL *et al.* 2005).

Para caracterização de sistemas modulares também é apropriado seu *grau de resolução*. Para um bloco, ele determina o grau de desdobramento, condicionado pela função ou pela produção, em componentes específicos. Com relação ao sistema modular completo, ele descreve o número de blocos envolvidos e suas possibilidades de combinação (PAHL *et al.* 2005).

Para (Huang e Kuisak, 1996 *apud* Bryant 2004), a modularidade de um produto é a criação de variantes de produtos com unidades comuns, que são descritos como módulos independentes, unidades padrão e intercambiáveis que satisfazem 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, e no serviço, desmontagem, reciclagem e outras características do ciclo de vida desses.

Segundo Huang (2012), um produto pode ser pensado em termos funcionais e físicos. Os elementos funcionais de um produto são as operações individuais e transformações que contribuem para o desempenho global do produto. Os elementos físicos são as peças, componentes e subconjuntos que implementam as funções do produto. Os elementos físicos de um produto são organizados em alguns dos principais módulos físicos. Cada bloco é uma coleção de componentes que programam certas funções do produto. Um bloco pode ser uma coleção de componentes intercambiáveis que implementam funções semelhantes, em cujo caso, o bloco é chamado de módulo.

Segundo Miller e Elgard (1998), há diferenças entre Blocos de Construção e Módulos. A ideia original de bloco do edifício (Baukasten) da Bauhaus tem evoluído nos últimos anos e as empresas se esforçam para combinar as vantagens da padronização e personalização em massa. Hoje, o sentido das palavras originais do módulo e bloco de construção se fundiu, de modo que um módulo é utilizado para um bloco de construção que contém as especificações de interface e de funcionalidade que pode combinar com outros módulos.

Uma nova diferença ocorreu entre o módulo e o bloco de construção. Um módulo deve possuir uma considerável quantidade de funcionalidade em comparação com o produto final. Ele pode, por exemplo, ser um módulo da fonte de alimentação de um produto mecânico como uma impressora. Num contexto industrial é importante que esta funcionalidade seja suficiente, para que o teste seja independente. O significado de bloco de construção é, por outro lado, a redução da funcionalidade tornando-o mais limitado em comparação com o produto final (MILLER e ELGARD, 1998).

Seguindo esta linha de pensamento, blocos - lego e tijolos são tradicionais blocos de construção, mas normalmente não são módulos, pois eles não possuem qualquer quantidade substancial de funcionalidade em relação à construção da qual fazem parte. O tijolo não é nem cozinha nem sala de estar e, por conseguinte, não um módulo, embora ainda um bloco de construção (MILLER e ELGARD, 1998).

2.5.1 Tipos de Modularidade

O produto pode ser definido de acordo com a sua aparência física, diferentes partes, e subconjuntos no produto, que ajudam na realização de uma função pelo produto (Erixon *et al.* 2004). A arquitetura do produto é o arranjo de pedaços físicos e a interação dos pedaços para executar as funções. Projeto de arquitetura do produto pode ser dito como a transformação de

função do produto em forma de produto. Existem três tipos de modularidade de acordo com as diferenças nas interações entre os blocos; os diferentes tipos de modularidade são: (1) arquitetura Slot modular; (2) arquitetura Bus modular; (3) Arquitetura modular transversal (ERIXON e KENGER, 2004).

Na Arquitetura slot Modular, as interfaces de cada pedaço são diferente um do outro e não podem ser intercambiadas com o outro (Figura 4). Por exemplo, rádios têm diferentes tipos de interfaces para o painel de instrumentos (ERIXON e KENGER, 2004).

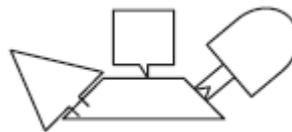


Figura 4 - Arquitetura slot Modular.
Fonte: Erixon e Kenger (2004).

A Arquitetura Bus Modular (Figura 5) é composta por uma linha comum onde os componentes são ligados com interfaces idênticas. Um exemplo para isto pode ser a placa de expansão para um computador pessoal (ERIXON e KENGER, 2004).



Figura 5 - Arquitetura de Bus modular.
Fonte: Erixon Kenger (2004).

Na Arquitetura Seccional Modular todos os pedaços são do mesmo tipo com um único elemento, no qual todos os outros blocos estão ligados (Figura 6). Um exemplo para este tipo de arquitetura pode ser as divisórias de escritórios (ERIXON e KENGER, 2004).



Figura 6 - Arquitetura seccional modular.
Fonte: Erixon e Kenger (2004)

A arquitetura mais comumente usada é o slot-modular com diferentes pedaços, a qual precisa de interfaces diferentes para interações únicas entre os blocos (ERIXON e KENGER, 2004).

2.6 Vantagens da modularização

Como resultado do desenvolvimento de projetos de produtos, considerando uma visão modular, podem-se descrever alguns benefícios (ERICSSON e ERIXON, 1999):

a) *Ampliação da variedade de produtos:*

O propósito da modularidade é o ganho de escala e de produção, reduzindo custos produtivos. A modularidade pode suportar a customização em massa, oferecendo produtos de acordo com a necessidade e desejo do cliente, com custos comparáveis aos de produção em massa. A estratégia, nesse tipo de produção, é dividir o projeto de produto e o processo de produção em plataformas comuns para toda uma família de produtos e oferecer acessórios específicos para um consumidor.

b) *Redução dos investimentos e custos de desenvolvimento:*

Projetos modulares reduzem custos de produtos pelo compartilhamento de funções em componentes, que podem ser utilizados em diversos modelos ou mesmo linha de produtos. Produtos com projeto modular podem oferecer maior variedade sem adicionar complexidade excessiva no sistema produtivo.

c) *Desenvolvimento rápido da tecnologia:*

Uma vez que a modularidade possibilita grande flexibilidade, ela permite, então, que diversas novas combinações possam ser feitas e uma nova e grande variedade de produtos possa ser desenvolvida. Avanços tecnológicos de determinados módulos podem ser prontamente incorporados.

d) *Facilidade de manutenção, reparos e reciclagem:*

As operações de manutenção, reciclagem e de reparos tornam-se mais fáceis nos módulos. Em termos de manutenção e reparos o aumento da facilidade está por conta do fato de os módulos conservarem independência de forma que um reparo num módulo possa ser feito sem afetar o sistema como um todo. Em termos de reciclagem, a limitação do número de materiais empregados e a preocupação com a utilização de materiais não hostis ao meio ambiente, facilita a desmontagem do produto.

e) *Gerenciamento das incertezas:*

A arquitetura modular pode ser utilizada para gerenciar incertezas do mercado. A cada dia torna-se mais difícil prever, com certeza, as preferências e o comportamento do consumidor. A agilidade no desenvolvimento de produto, dada pela flexibilidade modular, com possibilidades de ampliação da gama de variação de produtos, caracteriza-se como uma grande vantagem competitiva atual e futura.

f) *Melhor integração entre os objetivos de marketing e das áreas técnicas:*

A modularidade pode apresentar soluções para o atendimento do desejo do consumidor e elas podem estar presentes em módulos ou componentes específicos. Dessa forma, o papel estratégico de cada componente está bem definido, o que torna mais fácil para as áreas técnicas identificarem possíveis problemas no produto.

Para Pahl *et al.* (2005), as vantagens de sistemas modulares podem também ser percebidas considerando-se o ponto de vista dos fabricantes e, também, por parte dos usuários dos respectivos produtos.

Para os fabricantes resultam vantagens em praticamente todos os setores da empresa. Para ofertas, planejamento e fabricação, uma documentação de produção já preparada encontra-se à disposição. O custo de projeto vinculado a um pedido somente é gerado para itens adicionais não previstos e a possibilidade de combinação com não blocos.

Para os usuários também são percebidas algumas vantagens. Menores prazos de entrega e possibilidades de substituição e consertos; posteriores modificações e extensões da função dentro dos limites do espectro das variantes; possibilidades de falhas praticamente eliminadas, dado o amadurecimento do produto.

2.7 Desvantagens da modularização

Pahl *et al.* (2005) também distinguem as desvantagens entre o fabricante e o usuário. Para o fabricante o limite de um sistema modular é atingido, quando o desdobramento em blocos acarreta deficiências técnicas e prejuízos financeiros. Uma adaptação a vontades especiais do cliente não é tão amplamente possível como em projetos específicos (perda de flexibilidade e da sinalização do mercado). Modificações de produtos só se justificam economicamente com grandes intervalos de tempo, pois os custos de desenvolvimentos

únicos são elevados. São necessários maior trabalho na montagem e maior cuidado na produção. Em muitos casos a definição de um sistema modular ótimo é difícil, já que se deve levar em conta não só os pontos de vista do fabricante, mas também os do usuário.

Desvantagens também são percebidas pelo usuário. Desejos especiais do usuário são difíceis de atender. Determinadas características de qualidade podem ser mais desfavoráveis do que para versões específicas.

2.8 Projeto para modularidade

Segundo Back *et al.* (2008), o termo modularidade é adotado para descrever o uso de unidades comuns com o fim de criar uma variedade de produtos, com o objetivo de identificar unidades independentes e normalizadas ou intercambiáveis para atender a uma variedade de funções.

O desenvolvimento de produtos modulares é uma técnica atualmente muito utilizada desde produtos simples até os mais complexos. No caso de produtos modulares é conveniente distinguir dois conceitos; Módulos funcionais e Módulos construtivos:

- Módulo funcional é um conceito abstrato e pode ser formado por uma ou mais funções.
- Módulos construtivos são soluções físicas que incorporam um ou mais módulos funcionais.

Genericamente, segundo Back *et al.* (2008), os módulos podem ser classificados em quatro tipos:

- a) Módulo básico: implementa uma ou mais funções básicas e é comum aos diversos produtos do sistema;
- b) Módulo auxiliar: corresponde a funções auxiliares e é usado em conjunto com módulos básicos para criar os diversos produtos;
- c) Módulo adaptativo: incorpora funções adaptativas usadas para expandir as características ou adaptar-se a outros produtos ou restrições;
- d) Módulos especiais: implementa funções específicas, sendo especialmente projetado e construído para atender a necessidades especiais do usuário.

Combinando os quatro tipos de unidades é montada uma variedade de produtos que satisfazem uma ampla gama de necessidades dos usuários. Essa técnica de desenvolver, produzir e comercializar um sistema de produtos modulares traz os seguintes benefícios:

- a) Maior variedade de produtos;

- b) Módulos podem ser projetados e produzidos em paralelo, reduzindo o tempo de desenvolvimento;
- c) Economia de escala e maior precisão na produção de módulos comuns;
- d) Uso de processos de fabricação mais precisos e de lote econômico maior;
- e) Rapidez no atendimento de usuários com necessidades mais diversificadas;
- f) Facilidade de atualização tecnológica do produto pela troca de módulos obsoletos;
- g) Facilidade de diagnóstico de falha, reposição e reparo de módulos;
- h) Maior possibilidade de adaptações a diferentes mercados.

2.9 Metodologias de projeto de produtos modulares

Segundo Archer e Scalice (2010), existem diferentes modelos de referência para o desenvolvimento de produtos modulares, podendo levar a resultados bastante distintos, impactando custos e aspectos mercadológicos, o *Método Heurístico* e o *Design Structure Matrix* (DSM), o método *Modular Function Deployment* (MFD), os quais são os métodos bem difundidos para o estabelecimento de uma arquitetura modular.

Stone *et al.* (1998) apresentam um método baseado em heurísticas que, quando aplicadas ao modelo funcional de um produto, permitem a identificação de módulos. As heurísticas foram obtidas através da observação do comportamento dos fluxos de grandezas entre as funções que compõem o produto. Em sua metodologia, o uso das heurísticas ocorre no segundo passo, logo após a modelagem do produto. As heurísticas propostas para tanto são:

- Heurística 01 / Fluxo dominante: O conjunto de funções em que o fluxo passa, desde sua introdução no sistema, até sua saída ou conversão, define um módulo.
- Heurística 02 / Fluxos ramificados: Cada ramo paralelo de uma cadeia de funções constitui um módulo. Cada módulo possui interface com os demais no ponto de ramificação do fluxo.
- Heurística 03 / Módulos de Conversão-Transmissão: Uma subfunção de conversão ou um par conversão-transmissão ou cadeia desses elementos constitui um módulo.

Outro método é o da DSM (*Design Structure Matrix*, ou Matriz da Estrutura de Projeto). Tal qual seu próprio nome explicita, o DSM utiliza-se de uma matriz para mapear as dependências existentes entre componentes, subconjuntos ou funções de um produto. De acordo com Hölttä e Salonen (2003), a DSM pode ser usada para organizar atividades ou

times de desenvolvimento de produtos, minimizando retrabalhos e tornando mais ágil o processo de desenvolvimento.

Uma das metodologias mais conhecidas é o chamado MFD (*Modular Function Deployment*), um procedimento sistemático para a elaboração de projetos de produtos modulares (Erixon, 1998; Ericsson & Erixon, 1999), onde se sugere uma série de critérios para avaliação da modularidade em produtos, denominados diretrizes de modularização. Tais diretrizes abrangem todo o ciclo de vida do produto e devem ser avaliadas como possível razão para se separar um componente ou função em um módulo. Este método será mais detalhado a seguir.

2.10 Desdobramento da função modular (MFD)

Segundo Pandremenos e Chryssolouris (2009), o Desdobramento da Função Modular (MFD) é também um método para realizar a decomposição funcional. No entanto, aqui o mapeamento tem lugar entre os condutores do módulo e as funções. A Figura 7 apresenta a metodologia MFD, um método abrangente e sistemático para o processo de criação do projeto modular do produto.

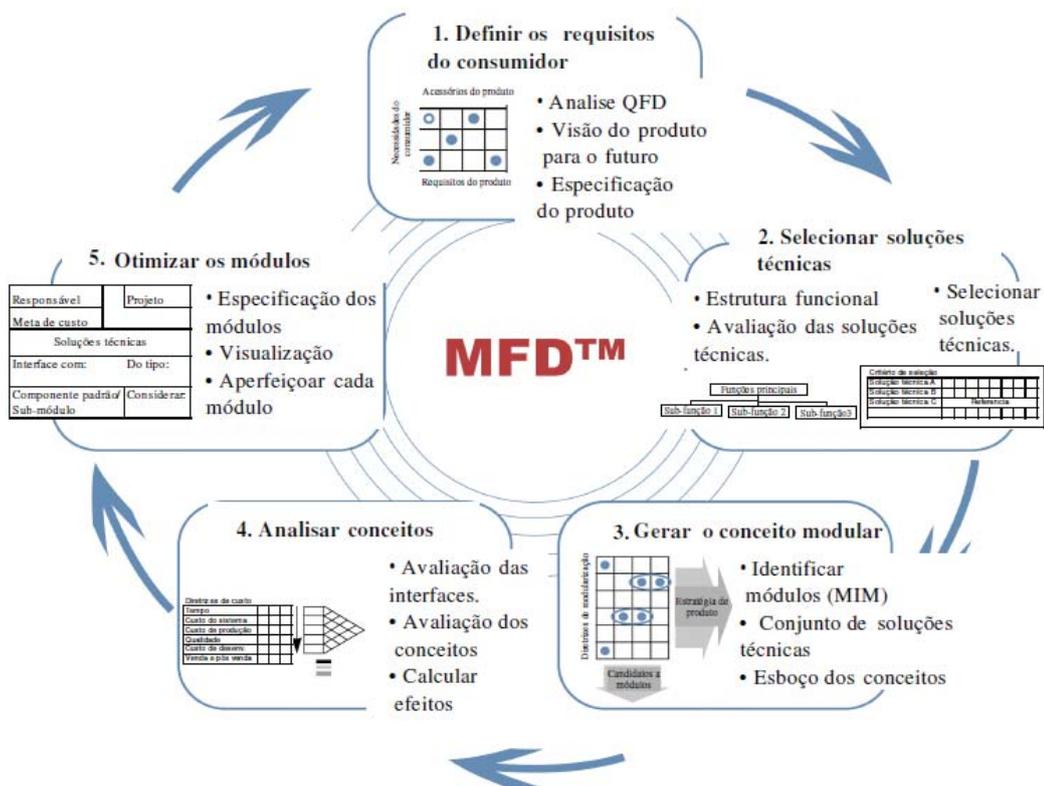


Figura 7 - Visão geral do método MFD proposto por Erixon (1998).
Fonte: Fleig (2008)

O MFD compreende em cinco etapas principais que são descritas a seguir:

1. Definir os requisitos do cliente

Nesta etapa inicial, as características do produto estão definidas, com base na concorrência e a análise dos requisitos do cliente. As necessidades do cliente são coletadas através de um questionário e são comparadas umas com as outras para obter a importância da necessidade do cliente (Figura 8), estas necessidades são convertidas em propriedades de produtos utilizando o diagrama Ishikawa. Estas propriedades do produto são comparadas com os requisitos do cliente, para obter as propriedades importantes do produto é utilizando o QFD (*Quality Function Deployment*).

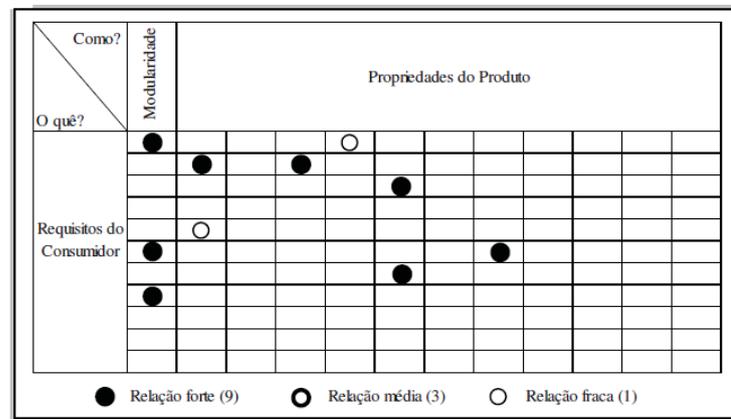


Figura 8 - Matriz QFD simplificada.
Fonte: Fleig (2008)

2. Selecionar as soluções técnicas

Diferentes soluções técnicas são geradas para satisfazer as funções do produto. O produto é funcionalmente decomposto e diferentes soluções técnicas são geradas utilizando a árvore de funções. Todas as soluções técnicas geradas são comparadas com as propriedades do produto utilizando a Matriz de Propriedade Projeto (DPM) (Figura 9) para escolher a melhor solução por meio da DPM serão determinadas as tecnologias-chave para o produto.

Soluções Técnicas	Propriedades do produto							Pontuação
	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4				
Alternativa A	+	-	-	+				
Alternativa B	+	+	-	-				
Resultados obtidos no QFD =>								
<i>Relação forte (9) Relação média (3) Relação fraca (1)</i>								

Figura 9 - Exemplo de Matriz de Propriedade Projeto (DPM).

Fonte: Fleig (2008)

Os objetivos da etapa dois do método MFD são: analisar as funções do produto; sugerir soluções técnicas para cumprir as funções e fazer a conexão das soluções técnicas com as propriedades do produto na Matriz das Propriedades do Produto (DPM).

3. Gerar conceitos modulares

Esta é a etapa básica do MFD onde 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.

A matriz MIM para a avaliação de cada função no produto é ilustrada na Figura 10. Essa matriz 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, em um procedimento semelhante ao QFD, obtém-se uma indicação de quais as funções que possuem razões para a formação de módulos. As funções que apresentam os melhores resultados no somatório de pontos na vertical da matriz (Figura 8) poderão ser modularizadas, bem como os grupos de funções que apresentarem um forte relacionamento com alguma diretriz considerando-se o somatório na horizontal.

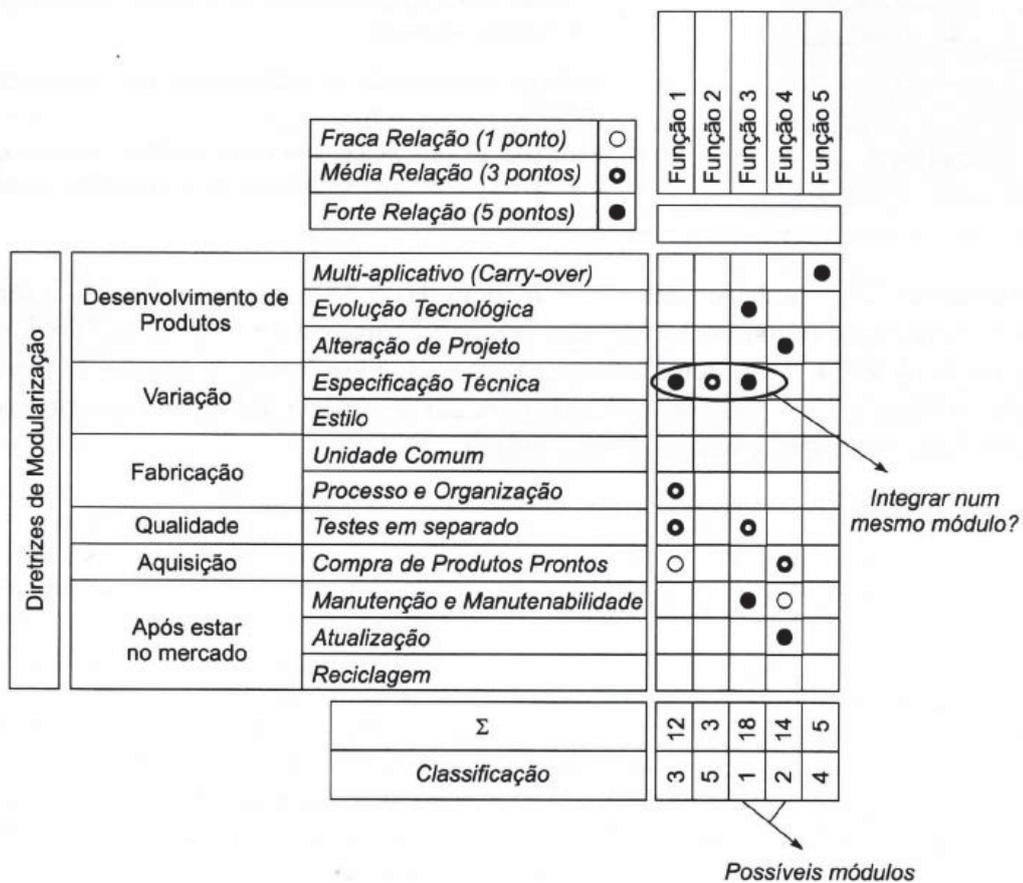


Figura 10 - Exemplo de aplicação da MIM.
 Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006).

4. Avaliar conceitos

Nesta 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 e 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).

Para ilustrar o resultado da Etapa 4, a Figura 11 mostra um exemplo parcial de Matriz de Interface com os módulos selecionados e as interfaces identificadas no desenvolvimento de um telefone celular.

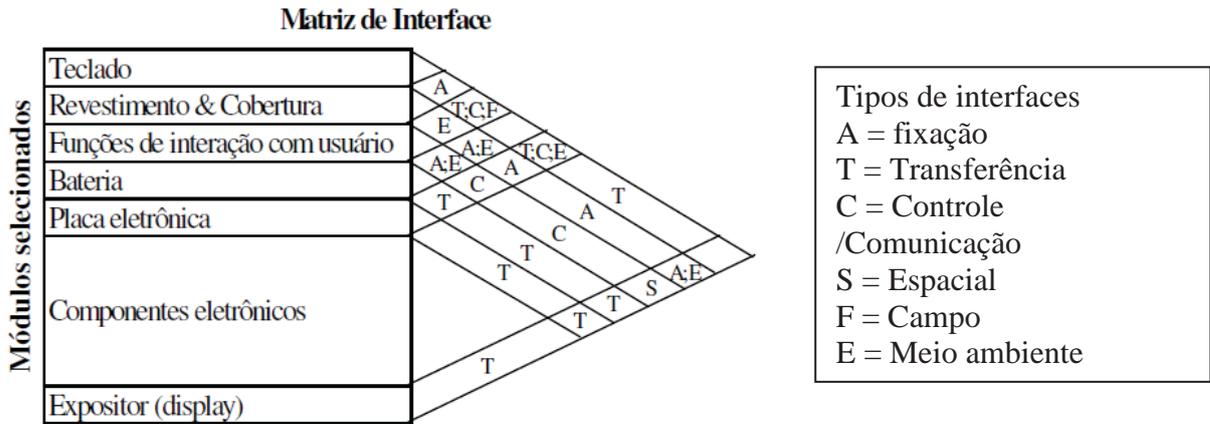


Figura 11 - Exemplo de Matriz de Interface para o desenvolvimento de um telefone celular.

Fonte: Fleig (2008).

5. Melhorar cada módulo

O passo final do método inclui a definição das especificações dos módulos (informações técnicas, o custo alvo, etc.). Baseado sobre essas especificações, a melhoria de cada módulo inclui a concepção e otimização dos conceitos gerados para cada módulo usando método MFD. Esta etapa é preocupada com a otimização de diferentes conceitos modulares de acordo com a viabilidade real do projeto.

Finalmente, o MFD também indica o número ideal de módulos dentro de um produto, como a raiz quadrada do número de operações de montagem do produto médio. Além disso, o projeto de interface é abordado tomando em consideração parâmetros tais como os do método de fixação, o número de interfaces de contato, troca de informações entre módulos (fluxo de materiais, energia, sinais, etc.).

Para Pandremenos e Chryssolouris (2009), embora existam vários métodos de projeto, que levam a arquitetura modular, cada um deles apresenta resultados diferentes com as mesmas entradas. Isto acontece devido à diferente percepção e aplicação de campos de cada método. Para definir os módulos construtivos são adotados diversos critérios, como:

- a) Um módulo pode ser formado pelo agrupamento de um conjunto de funções por meio das quais se tem um fluxo dominante, do início ao fim do sistema. Os fluxos são de energia, material ou de sinais;
- b) É recomendado que o conjunto de funções que realizam ramificações de fluxos seja reunido em um único módulo;
- c) Um par de funções que realiza uma transformação ou transmissão de um fluxo pode ser agrupado em um único módulo;
- d) O conjunto de funções que são comuns nas diversas estruturas funcionais pode ser agrupados em um módulo básico ou, também, em um módulo plataforma;
- e) Quando uma função ou grupo de funções é único em uma variante de uso do produto, estas podem ser agrupadas em um módulo especial;
- f) Quando as soluções desenvolvidas para uma função ou grupo de funções têm a possibilidade de tornarem-se obsoletas é recomendável que a função ou o grupo seja construído em um módulo, para mais tarde substituí-lo por um módulo de tecnologia atualizada;
- g) Caso se deseje que um conjunto de funções ou detalhes da estrutura represente uma característica de desempenho ou de estética dos vários produtos modulares, podem-se reunir essas funções em um único módulo;
- h) Quando um componente ou grupo de componentes apresenta alta taxa de falha, recomenda-se agrupá-los em um único módulo, o que facilita o diagnóstico, o teste e a manutenção do equipamento.

A Figura 12 mostra um exemplo de especificação de módulo, indicando a origem das informações.

Responsável:	Módulo de entrada e saída de dados	
Objetivos:	<ul style="list-style-type: none"> - Unidade comum - Evolução tecnológica 	
Soluções técnicas:	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Display</i> - Teclado 	Origem: MIM
Interface com:	<ul style="list-style-type: none"> - Placa eletrônica - Função de interação com o usuário - Eletrônica Geral 	Origem: Matriz de Interface (MI)
Considerar:	<ul style="list-style-type: none"> - Tamanho, cor, textura da superfície - Resistência ao impacto - Preço - Segurança 	Origem: QFD

Figura 12 - Exemplo de especificação do módulo de entrada e saída de dados de um telefone celular.

Fonte: Fleig (2008).

Para a aplicação do seu método, Erixon (1998) condiciona a existência de pré-requisitos como: conhecer os requisitos do consumidor e do mercado; entender a estratégia de curto e longo prazo do negócio, os projetos existentes e o plano de desenvolvimento para o futuro, sendo que a equipe de projeto e especialistas das áreas funcionais que darão suporte ao projeto devem conhecer os conceitos de modularidade. O resultado esperado depois da aplicação do método MFD é uma visão geral dos parâmetros do projeto, sistema modular descrito em módulos com especificações de interfaces e projeto do sistema.

2.11 Método para a obtenção de módulos

Ericsson e Erixon (1999) apresentam doze diretrizes amplamente utilizadas por grandes empresas para o desenvolvimento de projetos modulares. Essas diretrizes têm o objetivo de direcionar o agrupamento de soluções técnicas em módulos isolados, conforme o planejamento estratégico da empresa. Uma breve explicação dessas diretrizes encontra-se no quadro 1.

Quadro 01 - Diretrizes de modularidade.

Desenvolvimento de produtos	Multiaplicativo ("Carry-Over")	Uma função pode ser um módulo separado em que a solução tecnológica.
	Evolução tecnológica	Uma função pode ser um módulo único, se essa possuir uma tecnologia, que será superada no seu ciclo de vida.
	Planejamento de alteração de Projeto	Uma função pode ser um módulo separado, se essa possuir características que serão alteradas segundo um plano.
Variação	Especificação técnica	Poderão ser concentradas alterações para se conseguir variantes em um módulo.
	Estilo	Função pode ser um módulo separado, se essa for influenciada por tendências e modas de tal maneira que as formas e/ou as cores tenham de ser alteradas.
Fabricação	Unidade comum	Uma função poderá ser separada em um módulo, se essa possuir a mesma solução física em todos os produtos variantes.
	Processo e organização	Razões para separar uma função em um módulo: <ul style="list-style-type: none"> • Ter uma tarefa específica em um grupo; • Encaixar-se no conhecimento tecnológico da empresa; • Possuir uma montagem pedagógica; • Ter um tempo de montagem que difere extremamente dos outros módulos.
Qualidade	Testes em separado	Uma função poderá ser separada em um módulo, quando essa função puder ser testada separadamente.
Aquisição	Compra de Produtos prontos	Uma função que pode ser tratada como uma caixa preta causa redução dos custos logísticos.
Após estar no Mercado	Manutenção e Manutenibilidade	Manutenções e reparos podem ser facilitados, se uma função ficar bem em um módulo separado
	Atualização	Se for necessário, pode ser facilitada se a função a ser atualizada for um módulo
	Reciclagem	Isto pode ser uma vantagem para concentrar materiais poluentes ou recicláveis em um mesmo módulo ou em módulos separados, conforme o caso

Fonte: Rosenfeld *et al.* (2006).

A matriz QFD tem uma linha para cada requisito do cliente e uma coluna para cada propriedade de produto. Assim, todas as necessidades cruzam com todas as propriedades e

esses cruzamentos são pontuados com zero, um, três ou nove, indicando a relação entre eles (nula, fraca, média ou forte).

As soluções técnicas são geradas por análise funcional. A análise funcional é o modelo de um sistema que representa uma relação clara e compreensível entre dados de entrada e de saída. Essa relação mostra a transformação dos dados de entrada nos dados de saída e os meios que a viabilizam. Essa análise funcional é feita essencialmente de duas maneiras: *Top-Down* e *Bottom-Up*.

Na metodologia *Top-Down*, inicia-se pela função principal que o produto deve exercer e a solução técnica que realiza essa função. Em seguida, determina-se o nível seguinte de funções que viabilizam tal solução técnica e, também, as soluções técnicas para cada uma dessas funções. O processo segue até que as funções não possam mais ser desdobradas, conforme o fluxo da Figura 13.

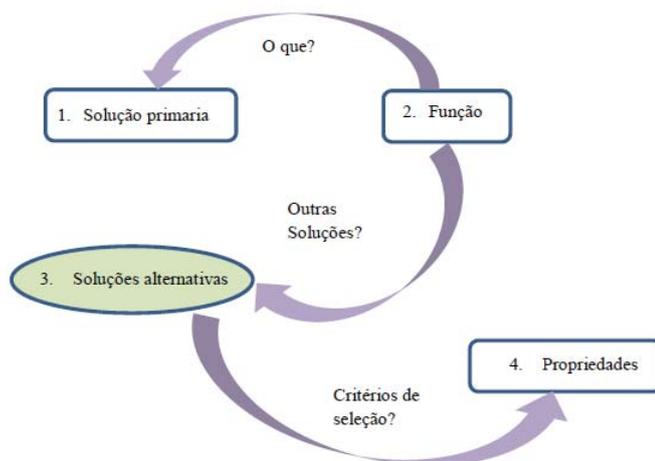


Figura 13 - Processo Top-Down.
Fonte: Lange (2008)

O outro método é o *Bottom-Up*. Este método inicia listando todos os componentes do sistema ou produto e identificando a principal função de cada componente. Em seguida são listadas alternativas secundárias para cada solução técnica e identificadas as propriedades que são transformadas por cada função. Inicia-se, então, um processo de agrupamento das funções em montagens e submontagens até chegar à função principal, sempre identificando a função de cada montagem, conforme mostrado na Figura 14.

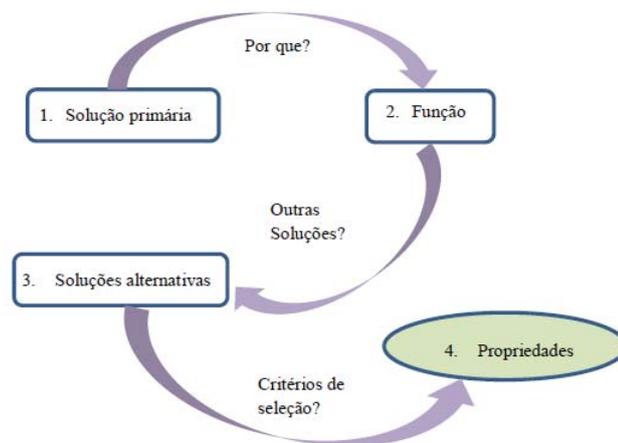


Figura 14 - Processo Botton-Up.
Fonte: Lange (2008)

A metodologia *Bottom-Up* costuma ser utilizada para desenvolvimento de novas versões de produtos que já existem como um carro, telefone ou fogão, pois requer uma análise desses produtos para listar os componentes necessários para seu funcionamento. Já a metodologia *Top-Down* pode ser utilizada tanto para produtos já existentes como para projetos completamente inovativos, ou seja, para criar um produto cuja função nenhum outro produto realiza.

O processo de análise funcional *Bottom-Up* divide-se nas seguintes etapas:

- I. Listar todos os componentes necessários para o sistema ou produto;
- II. Identificar a função principal de cada componente;
- III. Listar soluções técnicas alternativas para a função;
- IV. Identificar as funções que são transformadas pela função;
- V. Combinar os componentes relevantes em submontagens ou montagens;
- VI. Identificar a função principal de cada submontagem ou montagem;
- VII. Identificar as propriedades que são transformadas pela função;
- VIII. Continuar até que o produto esteja todo descrito.

O método desenvolvido por Erixon (1998) inclui a matriz DPM ou Matriz de propriedades do produto. Essa matriz tem a mesma forma da matriz QFD, tendo em cada linha uma solução técnica e em cada coluna uma propriedade de produto. A pontuação também é feita da mesma forma, com zero, um, três ou nove.

O mesmo acontece com a matriz MIM, relacionando soluções técnicas (linhas) às diretrizes de modularidade (colunas). O QFD e a DPM relacionam os desejos do consumidor com o trabalho da equipe de engenharia. A matriz MIM aparece pela primeira vez na estratégia da empresa tanto para o presente como para o futuro. A Figura 15 mostra a PMM, composta pelas matrizes QFD, DPM e MIM.

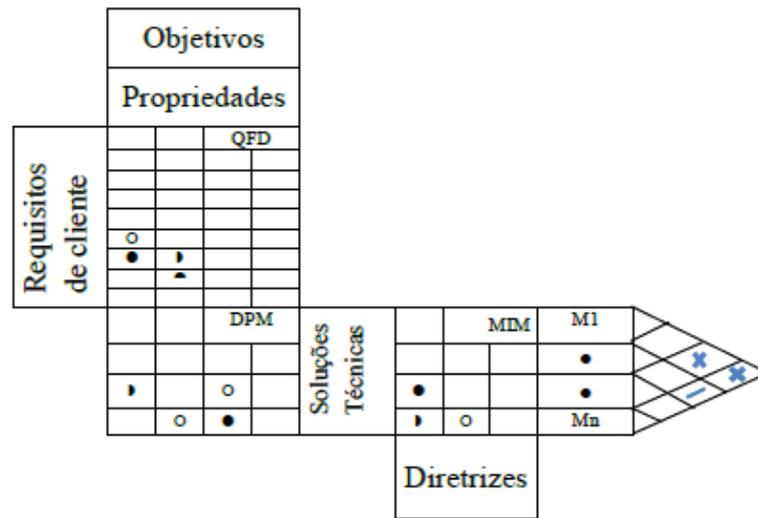


Figura 15 - Matriz PMM.
Fonte: Lange (2008)

Para completar a PMM há ainda a matriz de interfaces, que relaciona um módulo ao outro mostrando qual o tipo de interação que há entre eles.

Lange (2008) classifica as interfaces em seis tipos, como ilustrado na Figura 16:

1. Interface espacial: aparece quando um dos módulos limita espacialmente o outro, não havendo necessariamente contato físico.
2. Interface de conexão: essa interface conecta fisicamente um módulo ao outro. Pode ser através de um adesivo, um parafuso ou rebite, por exemplo.
3. Interface de transferência: quando um módulo transmite algo para outro como matéria ou energia.
4. Interface de campo: quando outro módulo do próprio produto impõe limitações. Por exemplo, os manípulos de acionamento de máquinas devem estar a uma distância mínima da máquina para evitar acidente no acionamento.
5. Interface de ambiente: ocorre quando a limitação é imposta pelo ambiente que cerca o módulo, exceto pelos outros módulos do próprio produto.

6. Interface de controle e comando: quando um módulo envia um sinal de comando para outro. Por exemplo, válvulas de final de curso de um cilindro hidráulico, para acionar o retorno.

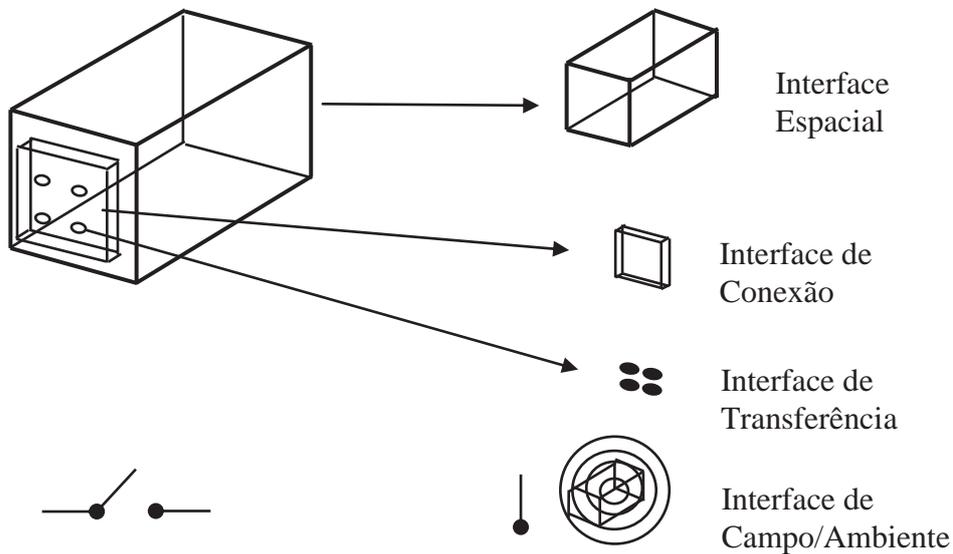


Figura 16 - Interfaces.
Fonte: Lange (2008)

A matriz de interfaces auxilia na escolha do tipo de montagem do produto como mostrado na Figura 17. A montagem costuma ser do tipo *hamburger* ou unidade base.

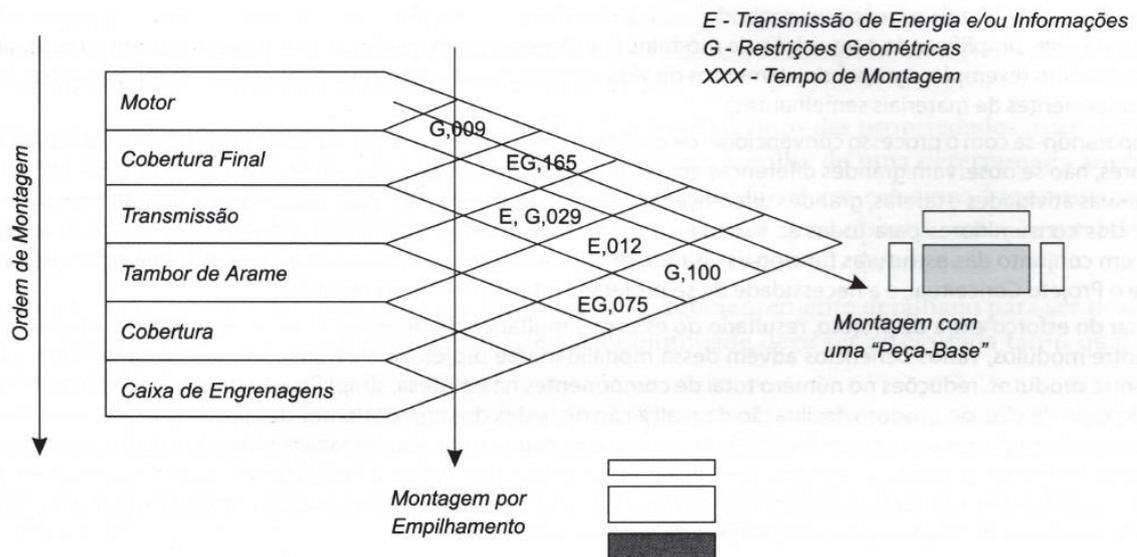


Figura 17 - Matriz de interfaces.
Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

A montagem do tipo unidade base acontece quando um dos módulos apresenta algum tipo de interface com muitos outros módulos. Esse módulo serve como unidade base e os

outros módulos são montados ao redor dele. Já quando cada módulo tem interface com poucos módulos, por exemplo, um ou dois, utiliza-se a montagem tipo hambúrguer, justapondo os módulos um a um.

Para produtos com elevado número de módulos costumam aparecer combinações dessas duas montagens.

2.11.1 Módulos e Dendogramas

As pontuações das matrizes DPM e MIM vão indicar quais as soluções técnicas que devem ficar juntas e em um mesmo módulo e a ferramenta utilizada é o dendograma, que por meio da análise estatística dos dados, indica o melhor agrupamento e ordenação das soluções técnicas de acordo com as suas similaridades. Para gerar o dendograma deve ser utilizado um *Software* de estatística, e a opção escolhida é análise de *Cluster*.

Segundo Malhotra (2006), a análise de agrupamento, ou análise de *clusters*, é uma técnica usada para classificar objetos ou casos em grupos relativamente homogêneos chamados de agrupamentos ou conglomerados. Assim, os objetos em cada agrupamento tendem a ser semelhantes entre si, mas diferentes de objetos em outros agrupamentos.

A análise de *cluster* busca agrupar elementos de dados baseando-se na similaridade entre eles. Os módulos são determinados de forma a obter-se homogeneidade dentro dos módulos e heterogeneidade entre eles.

O método hierárquico de *cluster* consiste em uma série de sucessivos agrupamentos ou sucessivas divisões de elementos, onde os elementos são agregados ou desagregados.

Os módulos, nos métodos hierárquicos, são geralmente representados por um diagrama bidimensional, chamado de dendograma. Neste diagrama cada ramo representa um elemento, enquanto a raiz representa o agrupamento de todos os módulos. A Figura 18 mostra um exemplo de dendograma.

O dendrograma ainda não é a decisão final sobre os módulos do produto. Cabe à equipe de projeto uma análise crítica dos dados do dendrograma e os ajustes finais.

Segundo Albuquerque (2005), o dendrograma é uma representação matemática e ilustrativa de todo o procedimento de agrupamento através de uma estrutura de árvore. Os nós

do dendrograma (Figura 18) representam agrupamentos e são compostos pelos grupos e ou objetos (grupos formados apenas por ele mesmo) ligados a ele (nó). Se o dendrograma for cortado em um nível de distância desejado, obtém-se uma classificação dos números de grupos existentes nesse nível e dos indivíduos que os formam, então cada componente conectado forma um grupo ou módulo. A Figura 18 mostra dois níveis de corte, 6,5 e 4,0: no nível de corte 6,5 obtém-se 4 grupos ou módulos, e enquanto no nível de corte 4,0 obtém-se 5 grupos ou módulos.

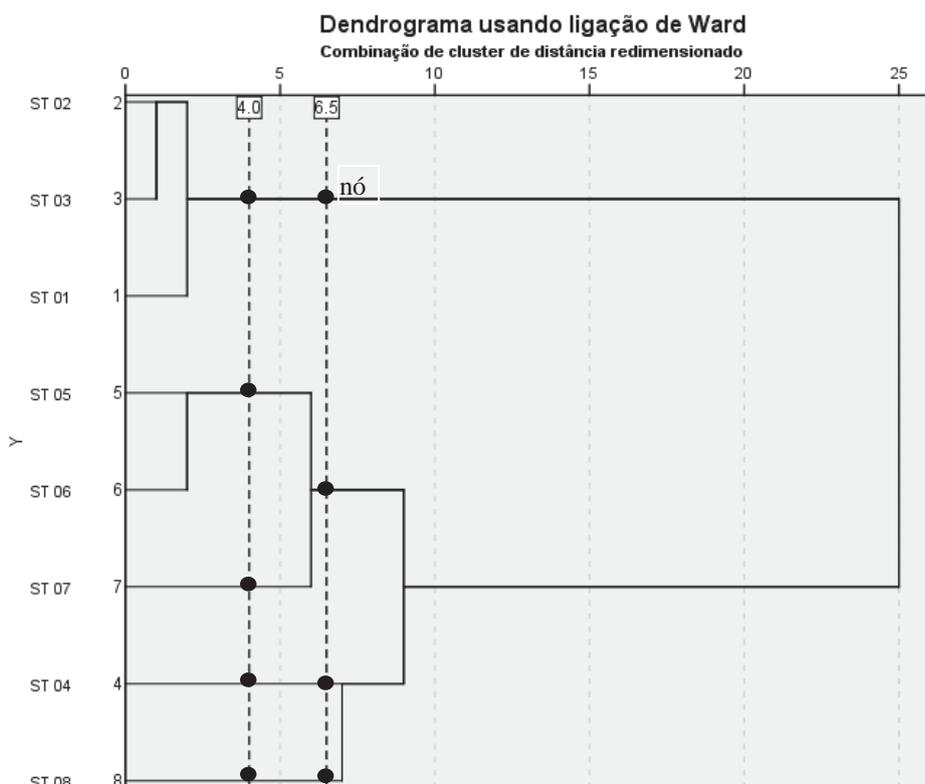


Figura 18 - Exemplo de dendrograma.

A determinação do número de grupos ou módulos para uma base de dados é uma das tarefas mais difíceis no processamento de agrupamento.

Para Barroso e Artes (2003), o número de grupos pode ser definido, anteriormente, através de algum conhecimento que se tenha sobre os dados, pela conveniência do pesquisador, por simplicidade ou, ainda, pode ser definido posteriormente com base nos resultados da análise.

De acordo com Aaker *et al.* (2001), para determinar o número apropriado de grupos, existem diversas abordagens possíveis: em primeiro lugar, o pesquisador pode especificar,

antecipadamente, o número de agrupamentos. Talvez, por motivos teóricos e lógicos, esse número seja conhecido. O pesquisador pode também ter razões práticas para estabelecer o número de agrupamentos, com base no uso que pretende fazer dele. Em segundo lugar, o pesquisador pode especificar o nível de agrupamento de acordo com um critério. Se o critério de agrupamento for de fácil interpretação, tal como a média de similaridade interna do agrupamento é possível estabelecer certo nível que ditaria o número de agrupamentos. Uma terceira abordagem é determinar o número de agrupamentos com base no padrão gerado pelo programa. As distâncias entre os agrupamentos em etapas sucessivas podem servir de guia e o pesquisador pode escolher interromper o processo, quando as distâncias excederem um valor estabelecido.

2.11.2 Algoritmos de agrupamento

Os vários métodos de agregação das espécies diferem no modo como se estimam distância entre grupo já formado e outros grupos ou indivíduos por agrupar. O processo de agrupamento de indivíduos, já agrupados, depende da similaridade e dissimilaridade entre os grupos. Portanto, diferentes definições destas distâncias poderão resultar em diferentes soluções finais (Bussab *et al.* 1990).

A seguir são apresentados diversos métodos de agrupamentos. Vale salientar que não existe o que se possa chamar de melhor critério na análise de agrupamentos, mas alguns são mais indicados para determinadas situações do que outros (Kaufmann e Rosseeuw, 1990).

Os métodos mais comuns de agrupamento para determinar a distância entre agrupamentos são: ligação simples, ligação completa, dos centroides, da mediana, das médias das distâncias e da soma de erros quadráticos ou variância método Ward (Anderberg, 1973).

Método de Ward

Ward (1963) propõe um processo geral de classificação em que n elementos são progressivamente reunidos dentro de grupos através da minimização de uma função objetivo para cada $(n - 2)$ passos de fusão.

Inicialmente, este algoritmo admite que cada um dos elementos se constitua em um único agrupamento. Considerando a primeira reunião de elementos em um novo agrupamento, a soma dos desvios dos pontos representativos de seus elementos, em relação à média do

agrupamento, é calculada, proporcionando uma indicação de homogeneidade do agrupamento formado (Gama, 1980).

Cada grupo se caracteriza por uma soma dos quadrados dos desvios de cada observação do centroide do mesmo (é uma soma dos numeradores dos estimadores das variâncias de cada variável dentro do grupo, é também a soma de distância *Mahalanobis* do quadrado de cada observação do centroide). A distância entre dois grupos se define como o aumento que se pronunciaria nesta soma de quadrados, se ambos os grupos se agregassem para a formação de um único grupo. O método de Ward é atraente por se basear numa medida com forte apelo estatístico e por gerar grupos que, assim como os do método vizinho mais longe, possuem uma alta homogeneidade interna (Barroso e Artes, 2003).

2.12 Exemplos de aplicação de projetos modulares

Metzer (2006) apresenta um estudo de modularização de armamento da indústria alemã. Neste trabalho ele aborda o projeto do tanque PUMA, o qual é idealizado pensando-se em desenvolver outros tanques a partir de uma plataforma básica. Neste modelo é possível adaptar dois tipos diferentes de proteção ditas de nível A e C, as quais podem ser removidas de acordo com a situação. A proteção de nível A serve para o transporte de tropas e de nível C para o combate. Também foi projetado para que armas possam ser substituídas de acordo com o plano de ação.

O veículo denominado BOXER, apresentado por Metzer (2006), é composto por um veículo básico e que pode receber diversos complementos em sua parte traseira, podendo funcionar como veículo de transporte, transporte de tropas, médico, etc.

Para Metzer (2006) esta modularização dos veículos permite uma economia, pois a partir de um veículo básico pode-se configurar para diversas situações, também, facilita a operacionalização e manutenção dos veículos. Para os fabricantes criam-se oportunidades de aprimorar os equipamentos e baixar os custos de fabricação.

Pandremenos e Chryssolouris (2009) apresentam um estudo de modularização de um capacete de moto, a fim de melhor ilustrar a arquitetura de projeto do capacete, para tanto em termos de decomposição funcional da complexidade da interface, um projeto matriz (DM) com a Teoria do Design Axiomático (ADT) e um Projeto matriz da estrutura (DSM) foram formulados respectivamente.

Um capacete de motociclista é um dos estudos de casos do projeto, sobre o qual este procedimento foi desenvolvido. Este produto foi selecionado, já que a partir de estudos realizados dentro do projeto, foi demonstrado que 15 - 20% de todos os capacetes completos compostos foram mal encaixados e que 5% dos motociclistas não conseguiram encontrar capacetes para encaixar na geometria de sua cabeça. Além disso, como o papel do revestimento de espuma é conferir à cabeça um acento suave, é evidente que, quanto menor a folga entre a cabeça e o forro, menos grave será a lesão. O design do capacete foi definido como sendo totalmente modular.

O procedimento desenvolvido da personalização é composto por cinco passos:

1. Captura de dados geométricos.
2. Captura de dados não geométricas.
3. Projetando o forro interior personalizado.
4. O desenvolvimento do processo de fabricação para o revestimento interno.
5. Fabricação e montagem do revestimento interno.

Para Pandremenos e Chryssolouris (2009), um produto modular pode ser facilmente customizado e um procedimento de personalização foi proposto. Desde que a tendência atual é para produtos com arquitetura de design combinado, para que os benefícios que cada arquitetura possa ser explorada, uma atenção especial deve ser dada ao atribuir funções e interface estruturais para peças / módulos, assim como para acoplamentos, devem ser evitados para as partes a serem personalizadas.

Bataglin (2012) realizou um estudo de modularização de garra giratória para bobinas. Neste trabalho ele apresenta o projeto de garra giratória acoplado a empilhadeiras para o manuseio de bobinas de papel. As garras giratórias para bobinas estão divididas em quatro grupos principais de acordo com o tipo de articulação dos braços. Cada um desses quatro grupos recebe uma nova subdivisão de acordo com a abertura mínima e máxima de suas garras e da capacidade de carga máxima suportada, que possuem uma relação entre ambas.

Para Bataglin (2012), o projeto modular permite realizar atualizações futuras no produto considerando as interfaces existentes entre os módulos e através da documentação gerada, na última etapa 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. O processo de modularização compreende basicamente a

decomposição de um produto em uma lista de itens ou soluções técnicas que serão rearranjados dentro de grupos ou módulos com certo grau de afinidade. Já a modularidade expressa a intercambiabilidade entre os módulos, a fim de gerar a família de produtos.

2.13 Projeto para manufatura e montagem (DFMA)

Segundo Boothroyd *et al.* (2002), o termo “fabricação de” refere-se à fabricação de componentes individuais de um produto ou de montagem e que a palavra "montar" refere-se à adição ou união de peças de modo a formar o produto final. Significa que a montagem não será considerada no processo de fabricação, no mesmo sentido que a moldagem, usinagem, etc., são processos de fabricação. Assim, o "projeto para a fabricação" (ou DFM) significa o projeto para facilidade de fabricação do conjunto de partes que formam o produto após a montagem e "projeto para a montagem" (ou DFA) é o projeto do produto para a facilidade de montagem. Assim, o projeto "para fabricação e montagem (DFMA) é uma combinação de DFA e DFM”.

DFMA é usado por três atividades principais:

1. Como base para estudos de engenharia simultânea para orientar a equipe de projeto na simplificação da estrutura do produto, para reduzir a produção e os custos de montagem, assim como quantificar as melhorias.
2. Como uma ferramenta de benchmarking, para estudar os produtos dos concorrentes e quantificar fabricação e dificuldades de montagem.
3. Como uma ferramenta de custo, para ajudar na negociação de contratos com fornecedores.

A técnica de DFMA é, geralmente, separada em duas abordagens: o projeto para manufatura (DFM) e o projeto para montagem (DFA). Rozenfeld *et al.* (2006) e Boothroyd *et al.* (2002) dizem que o DFM é uma abordagem que enfatiza aspectos da manufatura, tais como estamparia, forjamento, injeção e outros processos voltados à conformação mecânica, usinagem, etc.

Existe uma vasta bibliografia que aborda o assunto dentro dos ambientes acadêmicos, sobretudo nas escolas técnicas de base, onde a aplicação de conceitos que reduzam os custos com a utilização de equipamentos é um fator crucial às empresas. Contudo, essa técnica visa à efetiva influência do conhecimento das características de processamento sobre o desenvolvimento do produto como ângulos de saída de ferramentas, raios e cantos vivos,

usinabilidade e custos das opções de materiais disponíveis, acabamentos e outras características ligadas aos aspectos de construção, usualmente através de dispositivos ou ferramentas automatizadas.

A segunda abordagem é o DFA, que consiste em obter e analisar informações sobre as várias alternativas de layout de componentes ainda durante o desenvolvimento do projeto do produto, ponderando-se características como:

- Número total de itens, comparando com o número ideal de componentes que o sistema poderia ter;
- Dificuldades de manipulação dos componentes;
- Inserção de componentes;
- Sequência e tempo de montagem.

As análises do DFM devem se basear nos conhecimentos tecnológicos e sociais do processo produtivo. Para os conhecimentos tecnológicos é importante que sejam considerados os conhecimentos científicos sobre o processamento, forma de concepção de projetos, características dos materiais, da manufatura e outros. Para os conhecimentos sociais são necessárias às considerações sobre a cultura organizacional, entender os conceitos utilizados pela equipe de projeto, natureza da formação dos projetistas e as características dos fornecedores e dos funcionários.

Através da aplicação da técnica do DFMA pode-se 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, através da simplificação nos processos de fabricação e montagem e da redução de custos. O trabalho em parceria entre engenharia de produto, fornecedores e engenharia de processo para estudar os envolvimento do processo antecipadamente agrega agilidade na resolução de problemas.

Problemas com a montabilidade e problemas com a qualidade dos componentes ou mesmo do projeto são identificados e tratados somente durante o início de produção ou em lotes intermediários de engenharia.

Catapan *et al.* (2004), contribuem acrescentando que nestes pontos, mudanças são criticamente necessárias para que a fábrica possa produzir com os recursos existentes.

Algumas vezes estas alterações são em número excessivo que pode resultar em atrasos na liberação para o início de produção e, conseqüentemente, no lançamento do produto, podendo até inviabilizá-lo comercialmente visto que esta é uma das características relevantes dos dias de hoje.

Completando ainda, Boothroyd *et al.* (2002), consideram que quanto mais tarde as mudanças ocorrem, mais caras serão as suas implementações e, conseqüentemente, piores os resultados para o projeto como um todo.

Desta forma não é somente importante levar em consideração as necessidades e limites da produção, mas também estas considerações devem ser analisadas e tratadas o quanto antes possível dentro do ciclo de desenvolvimento de produtos. O tempo gasto a mais nas fases iniciais do projeto pode gerar uma redução no tempo total de desenvolvimento do produto, outros ganhos são obtidos através da redução do número de peças e do tempo total de montagem. Para eles, as principais características geradas pela aplicação destas metodologias são:

- Procura obstinada pela qualidade do produto se baseando no ponto de vista do cliente final;
- Contribuição simultânea entre os membros do time baseados nas necessidades da empresa e dos fornecedores;
- Opção por manufatura inovadora e moderna, porém desenvolvidas sem que haja sub ou sobrecargas, buscando adequar ao máximo o projeto do produto aos limites dos recursos disponíveis e vice-versa;
- Entrosamento e coordenação das equipes internas e externas permitindo um desenvolvimento do aprendizado organizacional;
- Clientes e fornecedores fortes financeiramente e estímulos para melhorar esta saúde financeira e confiança recíproca;
- Ambiente propício para facilitar e estimular a criatividade individual.

2.13.1 Etapas para a implantação do DFMA

A Figura 19 esquematiza os passos seguidos, quando se utiliza o DFMA durante o processo de desenvolvimento de produtos. A análise de montabilidade e manufaturabilidade é primeiramente conduzida para a simplificação somente em nível de estrutura do produto, buscando avaliar, em uma análise superficial, se o produto não possui excessos de peças,

mesmo que baseada apenas no histórico de projetos anteriores. Então, os custos iniciais são estimados para o projeto original e para as condições propostas, para poder ser utilizado no auxílio de decisões estratégicas. Durante este processo, os melhores materiais e processos de fabricação dos diversos componentes são considerados e analisados e as propostas de alteração do produto, ainda em fase de detalhamento e prototipagem, são incentivadas e discutidas.

Boothroyd *et al.* (2002) comentam que os objetivos principais esperados com a técnica do DFMA são:

- a) Promover uma ferramenta para garantir que os projetistas ou time de desenvolvimento façam considerações eficientes sobre a produtibilidade nas fases iniciais do projeto, o que diminui o perigo de dar-se foco somente na função do produto;
- b) Guiar o projetista ou equipe na simplificação do produto e, conseqüentemente, nas reduções de custos, diretamente no custo da operação de montagem e na quantidade de peças e indiretamente no custo de produtibilidade com a redução da complexidade dos componentes confeccionados interna ou externamente;
- c) Agrupar, disponibilizar e difundir as experiências que geralmente ficam mantidas com os projetistas mais experientes, tornando o processo mais inteligente e autossuficiente através da disseminação das ideias analisadas, gerando um processo de crescimento do nível das análises a cada novo produto:
 - Estabelecer uma base de dados aplicáveis em análises posteriores de estudos de tempos de montagem e fatores de custo para diversas condições de projeto de produto;
 - Melhorar a comunicação entre os departamentos envolvidos no processo de criação de produtos da empresa e o líder do projeto para que as decisões realizadas durante o processo fiquem bem documentadas e disponíveis para futuras consultas;
 - Abrir e manter o canal de comunicação entre os profissionais da manufatura e a engenharia de produto possibilitando que qualquer melhoria futura, tanto no produto como no processo, sejam analisadas e tratadas de forma mais eficiente.

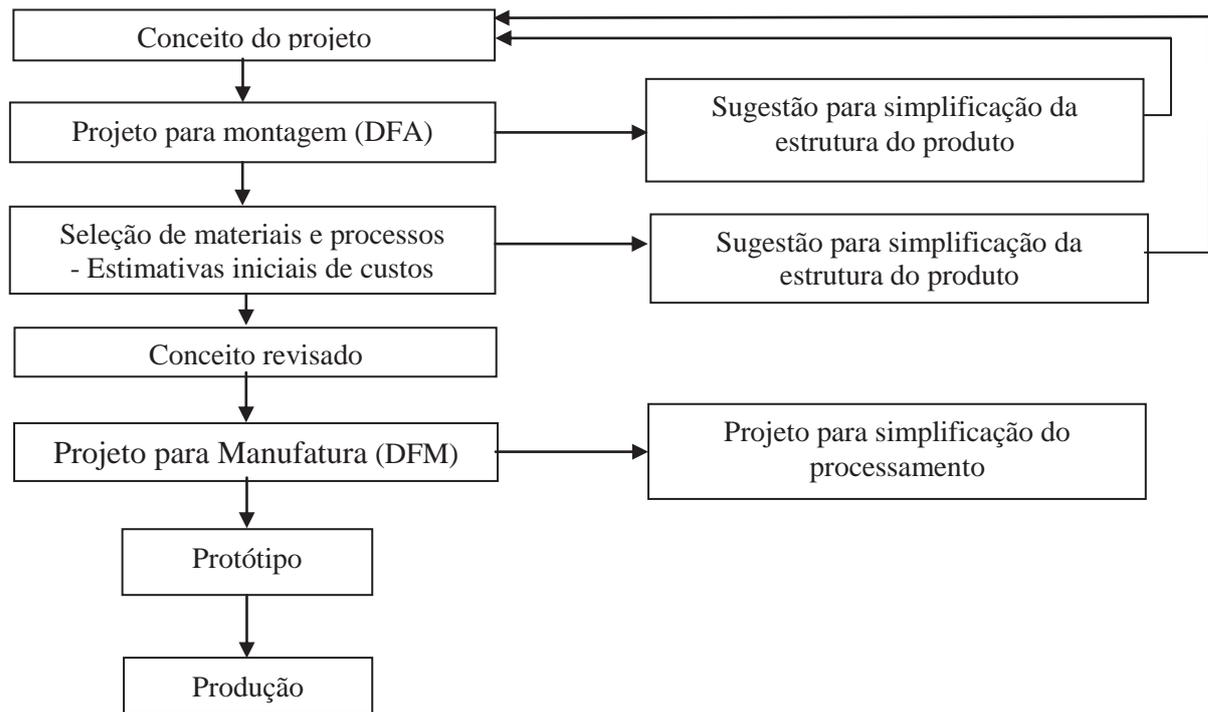


Figura 19 - Passos comumente praticado em projeto usando a metodologia DFMA.
Fonte: Boothroyd *et al.* (2002)

2.13.2 Exemplo de aplicação do DFMA

Boothroyd *et al.* (2002) comentam que a indústria bélica tem dificuldades especiais na aplicação de projeto para fabricação e montagem. Muitas vezes, os projetistas não sabem quem vai fabricar o produto. Nestas circunstâncias, as comunicações entre o projeto e a fabricação não são possíveis.

O projeto analisado é a mira térmica, fabricada pelo Grupo de Sistemas de Defesa e Electrónica da Texas Instruments. Ela é usada para rastrear metas de visão à noite, sob condições de campo de batalha adverso, e para alinhar a parte de vídeo do sistema com o caminho de percurso da arma do veículo para assegurar precisão da mira por controle remoto. Ele faz ajustes constantes, precisa de um elemento óptico crítico para analisar o choque balístico do sistema do veículo e a arma, vibrações mecânicas geradas pelo motor do veículo e terrenos acidentados. Deve também ser leve, pois esta é uma consideração importante para todos os sistemas deste tipo.

Os resultados de uma análise de DFMA mostraram que os fixadores e reorientações da montagem foram os dois principais contribuintes para o tempo de montagem. Operações especiais para a perfuração e fixando acopladores e aplicação de adesivo nos parafusos

também foram contribuições importantes. O objetivo principal durante o reprojeto foi reduzir o tamanho do produto e eliminar peças desnecessárias, normalizar o restante e reduzir ou eliminar reorientações. Várias alternativas de projeto foram propostas em uma questão de horas. O novo projeto foi analisado usando o projeto para procedimento de manufatura e montagem (DFMA). Os resultados obtidos foram impressionantes em todos os aspectos da fabricação e da montagem. O projeto original era composto por 24 peças diferentes e no novo projeto de apenas oito. Isto significa que a documentação, aquisição e inventário de 16 tipos de peça foram eliminados.

Segundo Boothroyd *et al.* (2002), os Engenheiros da Dell Computer Corporation, descreveram como usaram o DFMA para ajudar com o projeto e fabricação de um novo computador com plataforma desktop. Eles conseguiram uma redução de 32% no tempo de montagem, de 44% no tempo de serviço, uma redução da contagem de componentes de 50%, e na administração direta uma redução de custos de 80%.

A equipe de design multifuncional da corporação de equipamentos digitais redesenhou o mouse utilizado nos computadores da empresa. Eles começaram com o benchmarking competitivo de produtos da Digital e mouses feitos por outras empresas. Eles usaram DFMA para comparar Figuras, o tempo de montagem, quantidades de componentes, operações de montagem, custos trabalhistas e os custos totais dos produtos. Eles também consultaram pessoas que realmente montaram os mouses.

No novo desenho utilizando a ferramenta DFMA permitiu que o tempo inicial de 130 segundos, necessários à montagem do dispositivo da caixa de esferas, fossem reduzidos para 15 segundos com a utilização do novo dispositivo. Outras alterações da estrutura do produto trouxeram também redução de custos. Por exemplo, a média de sete parafusos no mouse original foi reduzida a zero pelo uso de engates de pressão. No novo mouse não foram necessários ajustes de montagem, operações de montagem foram reduzidas de 83 para 54. Todas estas melhorias foram adicionadas a um mouse que pode ser montado em 277 segundos, em vez dos 592 segundos do projeto original.

2.14 Seleção de materiais e processos

Segundo Boothroyd *et al.* (2002), uma parte integrante do projeto para fabricação é a seleção sistemática precoce de materiais e processos para a fabricação de peças, o que pode,

então, ser classificado de acordo com vários critérios. Infelizmente, os projetistas tendem a conceber peças em termos de processos e materiais com os quais estão familiarizados e podem em consequência excluir das considerações nas combinações processo/material outros que podem ser mais econômicas. Oportunidades importantes de melhorias industriais podem ser perdidas por tais seleções limitadas de processos de fabricação e os materiais associados no estágio inicial de design de produto.

2.14.1 Seleção de Processos de Fabricação

Segundo Boothroyd *et al.* (2002), a seleção de processos para a fabricação de uma peça, em particular, é com base em uma correspondência entre os atributos necessários da peça e a capacidade do processo. Uma vez que a função geral da peça é determinada, uma lista pode ser formulada dando as características essenciais geométricas, as propriedades do material e outros atributos que são necessários. Isto representa uma "lista de compras", que deve ser preenchida pelas propriedades do material e a capacidade do processo. Os atributos da "Lista de compras" estão relacionados com a função final da peça e são determinadas por condições geométricas e de serviços.

As combinações utilizadas de processos são muitas, e isto é necessário porque um único processo não pode, em geral, fornecer todos os atributos da peça acabada. No entanto, um dos objetivos do DFMA em análise é a simplificação da estrutura do produto e a consolidação da peça.

Segundo Boothroyd *et al.* (2002), as seguintes observações ajudam a simplificar o problema de seleção geral:

1. Muitas combinações de processos e materiais não são possíveis.
2. Muitas combinações de processos não são possíveis, portanto não podem aparecer em quaisquer sequências de processamento.
3. Alguns processos afetam apenas um atributo da peça, particularmente o tratamento superficial e os processos de tratamento térmico.
4. Sequências de processos têm uma ordem natural de geração de forma, seguida de refinamento por remoção de material.

2.14.2 Seleção de materiais

Segundo Boothroyd *et al.* (2002), a seleção sistemática de materiais específicos para atender as propriedades requeridas tem sido dada considerável atenção. Procedimentos abrangentes têm sido desenvolvidos para seleção de materiais. Do mesmo modo, estão disponíveis sistemas de *software* com base em bancos de dados completos das propriedades dos materiais. Embora este procedimento seja uma valiosa contribuição para a seleção sistemática de materiais, a sua utilidade no próprio estágio inicial de design de produto, quando as decisões iniciais sobre materiais e processos são feitas, é restrito por vários motivos, incluindo:

1. Estes procedimentos são destinados à seleção de materiais específicos, baseados em especificações de propriedades de materiais, que podem não estar disponíveis no início do projeto de processos. Nesta fase, apenas intervalos gerais de propriedades podem ter sido considerado.
2. A escolha do material é considerada de forma independente a partir do processo de fabricação que pode ser utilizado, ao passo que a compatibilidade entre os processos e materiais é importante. Diversas abordagens podem ser adotadas para racionalizar a procura por materiais adequados para aplicação inicial durante design de produto.

Segundo Bresciani Filho (1988), o projeto deve levar em consideração diversos fatores que são inter-relacionados de forma nem sempre simples de ser conhecida. O requisito de desempenho de uma peça quer na fase de fabricação, quer na fase de utilização como componente de um sistema mecânico complexo são estabelecidos de maneira a compatibilizar a função exigida da peça com as possibilidades de sua fabricação a partir do material. Como em muitos casos pode-se dispor de uma série de processos de fabricação e de diversos tipos de materiais a seleção desses materiais e dos processos de fabricação das peças deve atender ao requisito fundamental de "menor custo de fabricação para uma dada qualidade industrial especificada".

A análise dos fatores que influenciam o projeto do produto (a concepção da peça) e o projeto do processo de fabricação (a maneira de obtenção da peça) é fundamental para a seleção mais conveniente dos materiais constituintes das peças.

As funções requeridas de um produto determinam as especificações necessárias ao projeto; elas são as especificações de desempenho que consistem num conjunto de

características que permitem a utilização do produto de forma eficiente; enquanto que as especificações de projeto compõem-se de um rol de indicações técnicas referentes à forma, às dimensões, às tolerâncias, ao acabamento e aos materiais constituintes do produto que permitem atender as especificações de desempenho.

Para Bresciani Filho (1988), as especificações de desempenho devem ser analisadas segundo dois aspectos:

1. A definição dos requisitos de desempenho.
2. As consequências de uma superavaliação, ou subavaliação dos requisitos de desempenho.

A definição dos requisitos de desempenho depende de cada tipo de produto e deve ser realizada através de uma descrição objetiva e completa.

2.15 *Software* estatístico IBM SPSS Statistics 21

O *Software* estatístico utilizado neste estudo é o *IBM SPSS Statistics 21 (Statistical Package for the Social Sciences - pacote estatístico para as ciências sociais)* é um *software* aplicativo do tipo científico. Este pacote de apoio a tomada de decisão que inclui: aplicação analítica, Data Mining, Text Mining e estatística que transformam os dados em informações importantes que proporcionam reduzir custos e aumentar a lucratividade.

O *IBM SPSS Statistics 21* é útil para realizar testes estatísticos tais como os da correlação, multicolinearidade, análise de agrupamento hierárquico e de hipóteses; pode também proporcionar ao pesquisador contagens de frequência, ordenar dados, reorganizar a informação, e serve, também, como um mecanismo de entrada dos dados, com rótulos para pequenas entradas.

2.16 Considerações finais

Entre as metodologias de projeto de produtos modulares mencionadas identifica-se que o método do desdobramento da função modular (MFD) de Erixon (1998) sugere a identificação das necessidades do consumidor como primeiro passo no processo de desenvolvimento. Contudo percebe-se que Erixon (1998) faz a tradução das necessidades do consumidor por meio de ferramentas específicas que conduzem até a priorização das propriedades do produto. Diferenciando-se ainda do método de Stone *et al.* (1998) nas demais fases da metodologia Erixon (1998) propõe a utilização de ferramentas específicas que facilitam o trabalho dos engenheiros de uma forma mais prática.

O método selecionado para este estudo foi o método do Desdobramento da Função Modular (MFD). A facilidade de adaptação do MFD à metodologia de desenvolvimento de produtos da empresa caracteriza-se como um dos mais importantes fatores de decisão e será mostrado no Capítulo 3.

Neste capítulo impôs-se o conhecimento teórico disponível na literatura acerca do tema. Assim, apresentou-se a definição de projeto modular, sua importância, características, vantagens, desvantagens.

No próximo capítulo apresenta-se a sistemática proposta neste trabalho, que se constitui no uso da metodologia MDF aplicada a um rachador de lenha da empresa-alvo e sua aplicação em um estudo de caso.

3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso a ser desenvolvido é o reprojeto do produto com uma abordagem modular para fabricação e montagem. O produto será estudado para se obter uma nova configuração de modo a ser produzido em formato modular. Para isso serão aplicadas as técnicas descritas a respeito de projeto para modularização (Ericsson e Erixon 1999) e o projeto para manufatura e montagem (DFMA).

A análise realizada será do ponto de vista de obter componentes de montagem em forma de módulos, os quais serão montados separadamente e anexados ao corpo principal, também quanto aos processos de fabricação e montagem.

O produto é um rachador de lenha que opera com lenha de comprimento de até 300 mm e uma força de rachamento de até 60.000 N (6,0 T). A Figura 20 apresenta o modelo de referência para a análise do produto.

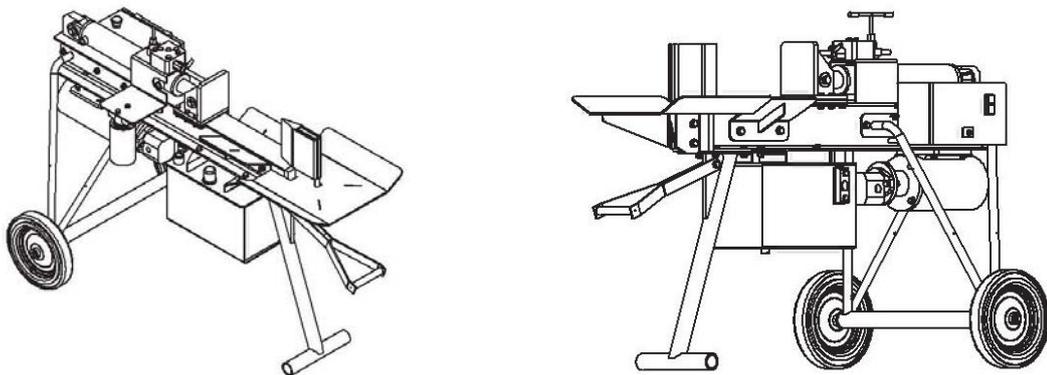


Figura 20 - Modelo de referência.
Fonte: Maziero (2013)

3.1 Projeto de produtos modulares, análise de um rachador de lenha

3.1.1 Sistema proposto

A proposta para a concepção de produtos modulares leva em conta três etapas principais: análise do método proposto, agregação de critérios de manutenção ao método e modularização do produto considerando-se aspectos relacionados à manufatura e à montagem.

A primeira etapa, análise do método proposto, divide-se em duas partes: (a) uma revisão bibliográfica, iniciada juntamente com o levantamento dos métodos existentes para realizar a modularização de produtos, descrito no Capítulo 2; e (b) uma final ou em paralelo,

que foi desenvolvida juntamente com cada fase do método para a modularização do produto em si.

A análise pelo método MFD (*Modular Function Deployment* - Desdobramento da Função Modular - Erixon,1998) a ser utilizado consiste em uma revisão detalhada dos passos que constituem o método, verificando como cada ferramenta sugerida é utilizada no método e como se enquadra neste trabalho.

São considerados os aspectos com relação à manufatura e à montagem. O método MFD é composto por cinco passos, em cada passo é indicada uma ou mais ferramentas de projeto para sua realização.

No primeiro passo, as características do produto são definidas com base na concorrência e a análise dos requisitos do cliente. As necessidades do cliente são convertidas em propriedades de produtos. Estas propriedades do produto são comparadas com os requisitos do cliente, para obter as propriedades importantes do produto.

Os critérios de manufatura e montagem agregados ao método complementam a segunda etapa. No terceiro passo do método: identificação e geração de módulos e possibilidade de integração é utilizada a Matriz de Indicação de Módulos (MIM) descrito no capítulo 2, a qual emprega diretrizes relacionadas às razões pelas quais um produto deveria ser modularizado, procedimento este semelhante ao empregado no QFD. A ferramenta MIM foi escolhida por se tratar de uma matriz que pode ser alterada conforme a necessidade.

A realização da modularização compreende a última etapa, onde a metodologia proposta MFD e as modificações realizadas na MIM são testadas na modularização do produto. Assim, a concepção de modularização obtida voltada à manufatura e montagem é analisada e os resultados comparados com métodos convencionais de projeto e de modularização.

Neste enfoque, é importante a compreensão dos critérios de manufatura e montagem, pois como o produto não vai ser alterado em suas funções conceituais, esta abordagem levará em conta a modularização com relação a estes aspectos.

É importante a compreensão dos critérios de avaliação da manufatura e montagem acrescidas ao método de modularização escolhido, tornando este um modelo padrão. Ainda,

considerou-se de fundamental importância estabelecer estes critérios desde o princípio do projeto conceitual, de forma a garantir que o foco do projeto do produto em questão seja direcionado à manufatura e a montagem, tanto nos processos envolvidos como nos materiais utilizados.

3.2 Aplicação da proposta

Para realizar a modularização do produto, primeiramente foi analisada a viabilidade de aplicação do método proposto. Para isso aplicou-se o método MFD que inclui critérios relacionados à manufatura e montagem. Com a finalização do estudo realiza-se uma comparação entre os resultados obtidos com o novo projeto do produto em relação aos métodos convencionais de projeto e de modularização.

3.3 O produto para a modularização

O rachador de lenha modelo RL300 (Figura 21) é um equipamento desenvolvido para ser utilizado por pequenos produtores de lenha para consumo residencial. O equipamento deve ter mobilidade, operação simples e pouca manutenção. Também deve ser versátil quanto à conexão com a rede elétrica (mono ou trifásica). É construído em aço carbono, possui uma estrutura principal onde é montado o sistema de rachamento, possui rodas e cabeçalho para facilitar o deslocamento. O rachador de lenha é indicado para o corte de diversos tipos de madeira, proporcionando agilidade e economia.



Figura 21 - Rachador de lenha.
Fonte: Maziero, 2013.

A Tabela 01 apresenta as características do modelo escolhido.

Tabela 01 - Descrição dos rachadores de lenha em função da capacidade de corte e o comprimento da lenha.

Descrição	Modelo	Capacidade de corte (kgf)	Comprimento da lenha (mm)
Rachador de lenha	RL300	6000	300

Fonte: Maziero, 2013.

A proposta de Erixon (1998) de realizar o projeto de produto modular através do método MFD consiste na aplicação do método a produtos, sendo considerado apenas um produto. Essa proposta pôde ser aplicada neste estudo porque tem por finalidade realizar a modularização de um produto individualmente. A diferenciação entre os conceitos de modularização e modularidade já foi mencionada no Capítulo 2. É importante esclarecer que tanto a modularização quanto a modularidade contemplam aspectos que em algum momento são comuns a ambas. Como neste trabalho o foco principal é a modularização, utiliza-se o MFD e suas ferramentas de projeto.

A partir da definição do produto objeto do estudo, pôde-se iniciar a primeira fase do método MFD, que corresponde à definição dos requisitos do consumidor.

3.4 Modularização de um sistema para rachador de lenha

O método proposto por Ericsson e Erixon (1999) contempla cinco passos: Definir os requisitos do consumidor; gerar soluções técnicas; gerar o conceito modular; analisar os conceitos e aperfeiçoar os módulos. A Figura 22 ilustra os passos envolvidos na modularização do sistema do rachador de lenha.

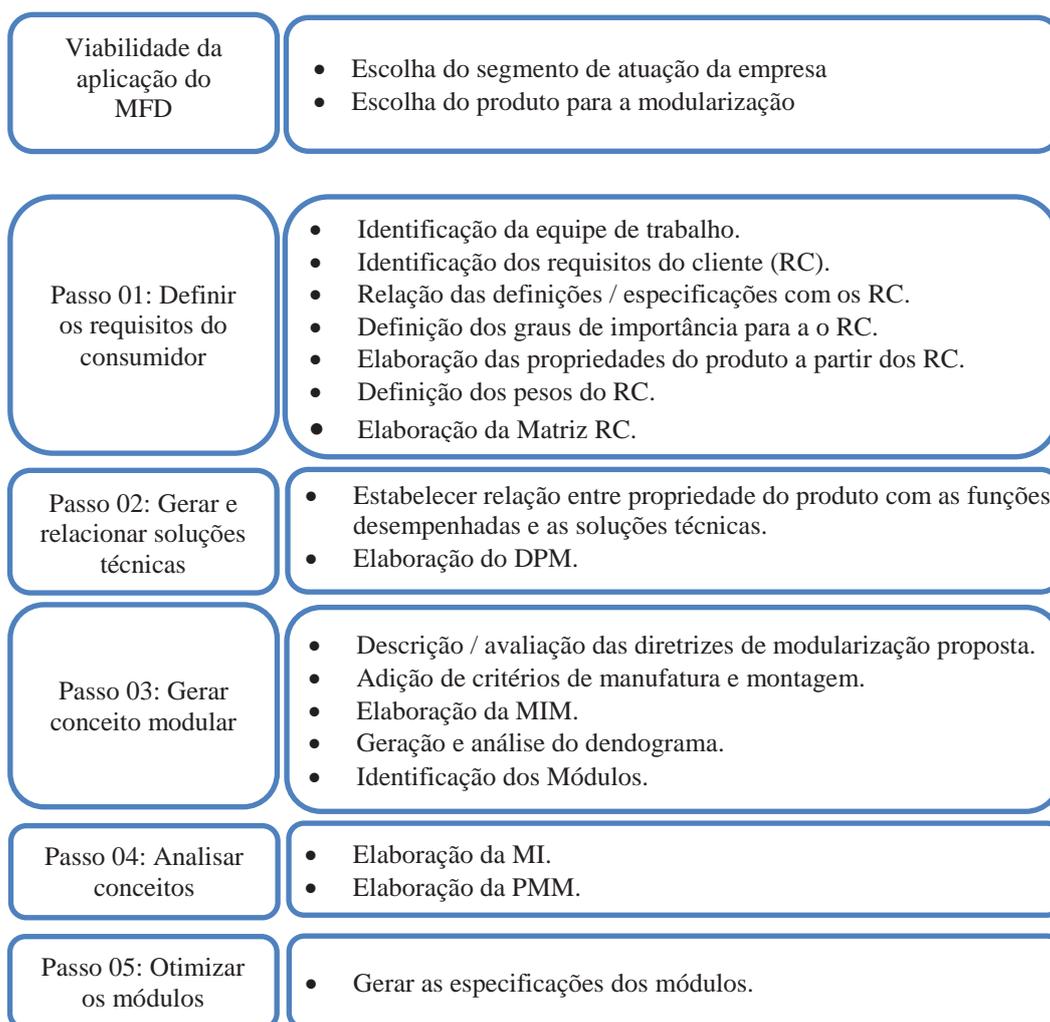


Figura 22 - Etapas da modularização.

3.4.1 Passo 01: Definir os requisitos do consumidor

Nesta fase são definidas as principais diretrizes para a execução do projeto modular, buscando especificar o que o consumidor do produto quer ou necessita e identificar o que pode surpreender o consumidor positivamente. Para identificar e priorizar os principais requisitos do consumidor foi utilizado-se à metodologia *Brainstorming*. Outra técnica utilizada para avaliar e melhorar os produtos é o *Benchmarking*. Com relação a este produto, há vários concorrentes que foram considerados para a realização do *Benchmarking*, o que pode ser considerado nas tomadas de decisão dos passos posteriores.

A Tabela 02 apresenta os principais requisitos identificados através da utilização dos métodos citados e as referidas definições / especificações para cada requisito.

Tabela 02 - Requisitos do consumidor e Definições / Especificações identificados 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 a 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 a feita para a locomoção manual.
8. Produtividade	<ol style="list-style-type: none"> 1. 5000 lascas por dia.
9. Consumo de Energia.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baixo consumo de energia.
10. Varias faixas de aplicação.	<ol style="list-style-type: none"> 1. São considerados 3 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 agridam o meio-ambiente (limpeza, restauração).

Uma classificação em ordem de importância foi realizada com a equipe de projeto para determinar o peso atribuído aos requisitos do consumidor na matriz QFD. Os requisitos estão

dispostos em uma ordem de importância de 1 a 12, onde o número 1 corresponde ao requisito mais valorizado pelo consumidor, e o número 12 ao requisito que possui menor influência no momento da compra do referido produto (Tabela 03).

Tabela 03 - Grau de importância dos requisitos do 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

Com os requisitos do consumidor e das definições e especificações da Tabela 03, foram identificadas as necessidades do consumidor que foram traduzidas em propriedades que o produto deve possuir do ponto de vista da engenharia, as quais estão listadas na Tabela 04.

Tabela 04 - 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.

Os requisitos do consumidor listados na Tabela 03 foram relacionados / confrontados com as propriedades do produto (Tabela 04) utilizando a matriz do QFD. Para quantificar essa

relação, foram utilizados os graus de importância estabelecida na Tabela 03 para determinar o peso que cada requisito do consumidor representa, utilizando o critério estabelecido na Tabela 05.

Tabela 05 - Peso estabelecido de acordo com o grau de importância.

ORDEM	PESO
01 ou 02	05
03 ou 04	04
05, 06, ou 07	03
08, 09, ou 10	02
11 ou 12	01

O maior peso foi atribuído aos requisitos que levam o consumidor a adquirir o produto. Os pesos intermediários foram atribuídos aos requisitos que o consumidor pode não identificar na primeira compra do produto, mas é algo que ele identifica depois de adquirir o produto e que o faz adquirir novamente, ou que pode recomendar a um futuro comprador. Os demais requisitos são aqueles que o produto deve cumprir para permanecer no mercado.

Quanto à quantificação da relação entre os requisitos do consumidor vs. propriedades do produto na matriz QFD, os critérios utilizados foram os seguintes: pontuação 09 para relação forte; pontuação 03 para relação média; pontuação 01 para relação fraca; e para sem pontuação ou em branco quando não há relação.

A pontuação relativa à propriedade do produto, na matriz QFD (Quadro 02), é obtida pela multiplicação dos critérios utilizados para pontuação forte, média e fraca, ou seja, 09, 03 e 01, pelo peso relativo (05, 04, 03, 02 e 01) de acordo com a importância dos respectivos motivos para formar um módulo.

Quadro 02 - Matriz QFD.

	Propriedades do Produto														SOMATÓRIO							
	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.	Grav de importância	Peso
Requisitos do consumidor																						
Boa aparência	9	9	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	2	21
Alta qualidade		3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	5	3	109
Confiabilidade / Durabilidade	9		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	2	5	117
Facilidade de operação								1	1											3	4	20
Facilidade de manutenção																				6	3	35
Segurança	3		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7	3	118
Baixo peso do equipamento	1		1	1	9	1														3	4	23
Produtividade																				2	2	33
Consumo de energia																				4	4	39
Várias faixas de aplicação					3	3	9	9	9	9	9	9	9	9	3					7	3	33
Não agride o meio-ambiente		3	3																	8	2	18
PONTUAÇÃO	76	33	115	144	144	112	190	180	184	36	108	72	138	24	138	90	97	48	54			

3.4.2 Passo 02: Gerar soluções técnicas

No passo 02 do método, que é gerar soluções técnicas, considera-se o produto a partir de um ponto de vista funcional, consistem na identificação de certo número de funções e subfunções no produto, que cumprem as exigências e a seleção das técnicas correspondentes. Esta subdivisão do produto em funções e soluções técnicas correspondentes é denominada de decomposição funcional.

Erixon (1998) levanta alguns pontos importantes a serem considerados na análise das soluções técnicas:

- A formulação de funções e soluções (decomposição funcional) não deve se tornar um objetivo em si, mas é uma ferramenta eficaz para uma boa comunicação e cooperação entre os membros da equipe e outros funcionários dentro da empresa.
- Usar um método estruturado para realizar a decomposição funcional.
- Para produtos complexos é necessário organizar funções e soluções técnicas na hierarquia correta, a fim de dar uma visão simplificada do conjunto. Isto pode ser feito de várias maneiras.
- É também benéfico considerar o caráter das subfunções e marcar as subfunções que todos os clientes querem. Essas subfunções que não são exigidas por todos, subfunções opcional e aquelas que são específicas do cliente. Isto será de grande ajuda em fases posteriores, onde as especificações variantes do produto são necessárias.
- Não decompor longe demais, por exemplo, até os elementos de fixação, geralmente, fica muito grande. É melhor parar um pouco mais cedo e, então, se as perguntas na próxima seção não podem ser respondidas, continuar a decomposição quando necessário.
- Documentar cada solução técnica diferente para as mesmas funções que existem, e investigar sua existência.

Em relação a estas considerações a Tabela 6 foi montada levando em conta a relação entre as propriedades do produto (definidas no Passo 01, Tabela 5), as funções principais realizadas, e as soluções técnicas obtidas para satisfazer as necessidades do produto.

Tabela 06 - Soluções técnicas para as funções e propriedades do produto.

PROPRIEDADES DO PRODUTO	FUNÇÃO	SOLUÇÃO TÉCNICA
1. Formato do equipamento que transmita robustez 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 9. Eficiência das partes elétricas 10. Visibilidade dos produtos 12. Fácil identificação para uso 13. Operação do equipamento 18. Peso dos componentes 19. Padronização de componentes	1. Rachar lenha 2. Permitir o corte de diferentes comprimentos da 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 7. Mangueiras e conexões 8. Reservatório Hidráulico 9. Bandejas 10. Chave liga /deliga 11. Válvula hidráulica de comando 15. Martelo
11. Vida útil 14. Transporte e instalação 15. Manutenção e substituição de componentes 16. Tempo e esforço para montagem / desmontagem 17. Reciclagem	3. Realizar o transporte e a manutenção do rachador de lenha	12. Elementos de fixação padronizados 13. Cabeçalho de transporte 14. Pintura, galvanização 10. Chave liga desliga 11. Válvula hidráulica de comando
2. Cor uniforme 8. Pressão do cilindro hidráulico	4. Prover segurança durante a operação	10. Chave liga / desliga

A decomposição permite obter um design melhor em termos de um produto modular.

Relacionar cada peça do produto com a sua função obriga e permite um maior entendimento por parte da equipe de projeto que está sendo desenvolvido. Isto leva a uma maior discussão dentro da equipe de projeto. Assim, soluções técnicas diferentes para cada função podem ser obtidas, levando à necessidade de um processo de seleção. Erixon (1998) sugere os seguintes métodos para fazer essas escolhas:

- Matriz de Projeto utilizada em Projeto Axiomático (Suh, 1990, *apud* Erixon, 1998); Em casos de teste ela possibilita uma imagem clara da interdependência das funções e aponta soluções para as áreas problemáticas, dentro de um projeto de produto.

- Árvore de Funções e Significados, em casos de teste, ela tem sido utilizada com êxito em produtos complexos para organizar as funções e soluções técnicas (Svendsen & Thorp Hansen, 1993 *apud* Erixon, 1998);
- Matriz de seleção de Pugh (Pugh, 1981 e Tipnis, 1994 *apud* Erixon, 1998), é uma ajuda simples e estruturada para fazer essas escolhas. Esta matriz não é matemática, mas uma forma de esclarecer os critérios de seleção e as diferentes ideias de uma forma simples.
- Matriz das Propriedades do Produto (DPM), onde são comparadas todas as soluções técnicas com as propriedades do produto para escolha da melhor solução.

Neste estudo utilizou-se a Matriz das Propriedades do Produto (DPM) para auxiliar na seleção das melhores soluções. Este método de seleção é simples e leva a um processo de convergência às alternativas que são selecionadas. O processo evita a eliminação de ideias por razões irracionais. No método MFD, a seleção das soluções técnicas é realizada comparando com a realização satisfatória das metas de produção e montagem. Isto porque as soluções sugeridas que sobreviveram a este ponto no processo são suscetíveis de satisfazer os requisitos do projeto.

Em um processo idêntico ao empregado na Matriz QFD, as propriedades do produto foram avaliadas frente às soluções técnicas utilizando os mesmos conceitos: pontuação 09 quando ocorre uma relação forte; pontuação 03 para relação média; pontuação 01 para relação fraca; e pontuação zero quando não há relação.

A DPM para o rachador de lenha pode ser vista no Quadro 03, e será utilizada posteriormente, juntamente com a Matriz de Identificação de Módulos, para auxiliar no processo de identificação dos módulos (Passo 03 do método). As partes que não possuem nenhum tipo de relação não são preenchidas, permanecendo em branco. Entretanto, esta matriz (DPM) será utilizada posteriormente para gerar os módulos em um *software* específico, a mesma já foi complementada com zero para os espaços não preenchidos.

Quadro 03 - Matriz das Propriedades do Produto (DPM).

Propriedades do Produto		Formato do equipamento que transmite robustez.	Cor uniforme	Continuidade e penetração dos cordões de solda	Solda no reservatório, estanquidade	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.
Soluções Técnicas																				
1	Estrutura do conjunto perfil I.	9	3	9	0	9	9	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	9	9	0
2	Estrutura do conjunto do rodado.	9	3	9	0	9	9	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	9	9	0
3	Estrutura do conjunto de apoio.	9	3	9	0	9	9	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	9	9	0
4	Cilindro Hidráulico.	9	0	9	9	9	0	9	9	0	0	3	0	0	0	9	3	9	9	0
5	Bomba Hidráulica.	1	0	0	0	0	0	9	9	0	0	3	0	0	0	3	9	3	9	3
6	Motor Elétrico.	1	0	0	0	0	0	9	9	9	0	3	0	0	0	3	9	1	9	3
7	Mangueiras e conexões.	0	0	0	0	0	0	9	9	0	0	3	0	0	0	3	3	0	3	9
8	Reservatório Hidráulico.	0	0	0	9	9	0	9	9	0	0	3	0	0	0	3	9	3	3	3
9	Bandejas.	3	3	0	0	3	3	0	0	0	9	0	3	0	0	3	3	9	3	3
10	Chave liga /des liga.	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	9	9	3	3	3	1	3	9
11	Válvula hidráulica de comando.	0	0	0	0	3	0	9	9	0	0	0	9	9	3	3	3	3	3	9
12	Elementos de fixação padronizados.	0	0	0	0	9	9	0	0	0	0	9	0	0	9	9	3	9	9	9
13	Cabeçalho de transporte.	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	9	3	9	0	1	9	1	0
14	Pintura, galvanização.	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0
15	Martelo	3	3	0	0	3	3	0	0	0	9	0	3	0	0	3	3	9	3	3
SOMATÓRIO		44	24	36	18	66	42	45	54	18	18	42	33	21	24	42	58	83	82	51

3.4.3 Passo 03: Gerar o conceito modular

No terceiro passo, as soluções técnicas, selecionadas no passo dois, são analisadas quanto as 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 onde 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. A Matriz mostra quais as funções que apresentam uma tendência forte para a formação de módulos e quais podem ser agrupadas para a formação de um módulo.

Erixon (1998) propõe para esta ferramenta 12 diretrizes relacionando 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:

1. **Multiaplicativo:** Uma parte de um produto, ou um subsistema de um produto, que pode ser reutilizado. Isto é, pode ser oriundo de uma geração anterior de um produto para uma nova geração ou de uma família de produtos para o outro. Esta possibilidade deverá ser examinada em toda a empresa e em produtos relacionados. Isto pode evitar futuros retrabalhos.
2. **Evolução Tecnológica:** Uma parte ou um subsistema pode permitir alterações para acompanhar a evolução tecnológica, novos materiais, normas, regulamentações dos mercados, etc. e pode até passar por uma transformação tecnológica durante seu ciclo de vida. A tecnologia em si pode evoluir, por exemplo, da mecânica para mecatrônica ou os produtos que as mudanças são realizadas rapidamente, assim, sob o desenvolvimento contínuo, são afetados por esta diretriz. Para a avaliação desta diretriz, uma estreita vigilância sobre produtos concorrentes tem que ser mantida.
3. **Mudanças Planejadas no projeto:** Uma estratégia de desenvolvimento de produto deve ser implantada para cada produto ou uma série de gerações de produtos. A integridade do produto ou a diferenciação depende de quão bem escolhidas são feitas as estratégias para qual a tecnologia é escolhida para o desenvolvimento.

4. **Especificações Técnicas:** Lidar com variação do produto e personalização eficaz da forma implica em se esforçar para alocar todas as variações de uma especificação técnica para as variantes de um produto para atender os requisitos dos consumidores.
5. **Unidade Comum:** Pode ser adotado o mesmo módulo para vários tipos de montagem de vários tipos de produtos, ou submontagens existentes e, com isso, a demanda desse módulo aumenta e conseqüentemente se obtém o ganho de escala, ou seja, os custos da cadeia de fornecimento são diluídos com o maior consumo deste módulo.
6. **Organização e Processo:** Menores áreas podem ser formadas com as equipes de trabalho e organizadas em torno de um módulo, podem ser variadas, dando uma oportunidade de desenvolvimento para o funcionário de chão de fábrica, levando ao aumento da satisfação trabalho. Isso também melhora a possibilidade para sistemas de automatização, uma vez que tipos semelhantes de operações podem ser colocados na mesma área de trabalho. Em tal organização é mais fácil para reutilizar o equipamento e as habilidades do processo.
7. **Testes Individuais ou Separados:** Se cada módulo pode ser testado antes de ser fornecido para a linha de montagem, um imediato comentário sobre a qualidade do módulo pode ser fornecido, evitando retrabalhos, e assim resulte em aumento da qualidade.
8. **Fornecedores Estratégicos:** Trabalhar com fornecimento de módulos completos é mais vantajoso do que o fornecimento de peças individuais para formar o mesmo módulo. Isto reduz os custos de fornecimento. É melhor lidar com um fornecedor maior, ao invés de muitos menores.
9. **Manutenção e Serviço:** Um módulo danificado pode rapidamente ser substituído por um novo. O módulo danificado pode, em seguida, ser reparado em um centro de serviço, localizado estrategicamente para redução do tempo.
10. **Atualização:** A modularidade oferece a possibilidade de melhorar os produtos, se necessário. Reconstruindo o produto para outros fins, um módulo original também pode ser conseguido e obter as vantagens do mercado.
11. **Reciclagem:** Para habilitar um elevado grau de a reciclagem, um número de diferentes materiais pode ser limitado em cada módulo. Material hostil ao meio ambiente ou facilmente reciclável pode ser utilizado, separadamente, em módulos, de modo que a desmontagem de produtos para a reciclagem, ou descarte, irá ser simplificada.

A matriz MIM foi escolhida por se tratar de uma matriz que pode ser alterada conforme a necessidade imediata e local de um projeto ou empresa. Os seus critérios originais

abordam aspectos de manufatura e montagem de forma superficial como manutenção e serviço, atualização, novos critérios mais específicos foram estabelecidos para conferir a MIM características de uma ferramenta apoiada na manufatura e montagem (DFMA). Estes novos critérios possibilitam à engenharia de projeto direcionar suas decisões para soluções que contemplem aspectos decisivos na concepção de um produto modular voltado para a manufatura e montagem.

Para o resultado deste estudo foram acrescentados os seguintes critérios:

- a) **Manufatura / Produção:** Geralmente, quando se pensa em manufatura logo surgem como principais objetivos a redução do custo e do tempo de produção, porém sem alterar a qualidade do produto. Neste estudo o enfoque está em visualizar a manufatura de produtos considerando os aspectos de montagem implicados nos processos de fabricação, ou seja, consiste em analisá-los do ponto de vista da montagem como forma de escolher entre um processo ou outro. E essa escolha pode influenciar e/ou decidir, quando desejado, pelos projetistas, ao serem considerados os aspectos de montagem implicados no processo de fabricação.
- b) **Padronização de Componentes:** Componentes simples e até em alguns casos outros mais complexos podem ser utilizados em um mesmo produto, basta rever a sua aplicação e avaliar se realmente há a necessidade ou não de utilizar dois componentes diferentes ao invés de apenas um. Um exemplo simples é o que ocorre na utilização de elementos de fixação. Muitas vezes são utilizados diversos tamanhos e tipos diferentes em um produto, quando poderia ser reduzida essa quantidade através de uma melhor observação e estudo da real necessidade dos mesmos. Isso gera uma redução significativa da variedade dos componentes, e assim reduz estoques, além de facilitar a utilização de ferramentas, pois sua quantidade é reduzida nas montagens.
- c) **Montagem e Desmontagem/manual:** deve prever a utilização de ferramentas convencionais e padronizadas, sem a utilização de equipamentos complexos e, também, considerar aspectos ergonômicos do trabalho realizado. Os módulos devem permitir a solução do problema sem a danificação de nenhum componente ou até mesmo de outro módulo.
- d) **Peso dos Componentes:** em componentes em que a rigidez é relevante e dependendo do formato da peça e das cargas envolvidas o aço possibilita a redução de peso. Em determinadas peças, o uso do aço permite a redução de peso sem comprometer a rigidez.

No caso do aço mais resistente a possibilidade de construção de peças mais finas e leves, sendo constatada a possibilidade de redução da espessura das paredes sem o risco de comprometimento da rigidez.

- e) **Materiais:** A escolha do material é considerada de forma independente a partir do processo de fabricação que pode ser utilizado e deve existir a compatibilidade entre os processos e o material selecionado. Os requisitos de desempenho de uma peça são estabelecidos de maneira a compatibilizar a função exigida da peça com as possibilidades de sua fabricação a partir do material. A fabricação de diversos tipos de materiais e a seleção desses materiais e dos processos de fabricação das peças deve atender ao requisito fundamental de "menor custo de fabricação para uma dada qualidade industrial especificada". A análise dos fatores que influenciam o projeto do produto e o projeto do processo de fabricação é fundamental para a seleção mais conveniente dos materiais constituintes das peças.

É relevante enfatizar que os novos critérios estabelecidos vêm com a finalidade de complementar os demais sugeridos. Além disso, percebem-se algumas similaridades entre eles, como por exemplo, organização e processo, que é um critério estabelecido por Erixon (1998), e o critério de manufatura e produção, propostos neste estudo. Como já mencionado, esta ampliação permite aumentar o foco no projeto de um produto modular, considerando a manufatura e a montagem.

Dentre os critérios propostos por Erixon (1998), onze deles foram utilizados para o estudo da modularização do rachador de lenha, não tendo sido incluído apenas o critério de estilo, pelo fato de a equipe de projeto entender que sua utilização não é tão importante quanto os demais. Estes onze critérios são indicados no Quadro 4 e estão agrupados abaixo do título "diretrizes de modularização – modelo Erixon". Da mesma forma, os novos critérios propostos podem ser visualizados abaixo do título "diretrizes de modularização – DFMA", pois dizem respeito aos critérios de manufatura e montagem adicionadas ao método.

Verifica-se que alguns dos critérios propostos estão com cores iguais aos de alguns critérios de manufatura e montagem. Isto se deve ao fato de que alguns dos critérios propostos, de certa forma, já englobavam aspectos de manufatura e montagem, como comentado ao longo deste estudo, mas como foi proposto torná-los decisivos nas escolhas, os mesmos foram subdivididos em novos grupos mais específicos e envolventes, e os que possuem alguma relação com os atuais, como se mostra na Tabela 07.

Tabela 07 - Relação entre os critérios atuais e os que contemplam a manufatura e montagem.

DIRETRIZES DE MODULARIZAÇÃO	
MODELO ERIXON	DFMA
Multi – Aplicativo	Padronização de componentes
Organização e Processo	Manufatura e Produção
Manutenção e serviço	Montagem e desmontagem / manual

A correta análise da Matriz de Indicação de Módulos (MIM) e da Matriz das Propriedades do Produto (DPM) é vital para que os resultados esperados possam ser tão verdadeiros e úteis como é esperado. Por se tratar de duas matrizes cujo preenchimento é manual, deve-se tomar muito cuidado e atenção de forma que não ocorra tendências ou mascaramento das informações nelas contidas.

Com os dados obtidos a partir das duas matrizes, pode-se formar uma nova matriz (Quadro 4), que contém as informações necessárias para gerar os módulos do produto. Devido à quantidade de informações contidas nessa nova matriz, esses dados, também chamados de vetores são introduzidos em um *software* estatístico para fazer um agrupamento hierárquico, conforme recomenda (ERIXON 1998).

Quadro 04 - Matriz de Identificação de módulos MIM

	Diretrizes de modularização												DIRETRIZES DE MODULARIZAÇÃO - MODELO ERIXON						DIRETRIZES DE MODULARIZAÇÃO - DFMA						SOMATÓRIO TOTAL (Parcial 01 + PARCIAL 02)
	Multi-Applicativo	Evolução Tecnológica	Mudanças Planejadas o projeto	Especificações Técnicas	Unidade Comm	Organização e Processo	Testes Individuais ou Separados	Fornecedores Estratégicos	Maintenance e Serviço	Atualização	Reciclagem	SOMATÓRIO (Parcial 01)	Manufatura / produção	Padronização de componentes	Montagem e desmontagem /manual	Peso dos componentes	Materiais	SOMATÓRIO (Parcial 02)							
Soluções Técnicas																									
1	3	0	9	9	1	9	0	0	0	0	3	9	43	9	0	0	9	9	70						
2	9	0	9	9	9	9	0	0	0	3	9	57	9	9	0	9	9	36	93						
3	9	0	9	9	9	9	0	0	0	3	9	57	9	9	0	9	9	36	93						
4	3	9	3	0	1	3	3	9	9	9	3	52	3	3	9	3	9	27	79						
5	9	9	3	3	9	3	9	9	9	3	3	69	3	9	9	3	3	27	96						
6	9	9	3	0	9	3	3	9	9	3	3	60	3	9	9	3	1	25	85						
7	9	0	0	3	9	0	0	0	0	3	0	24	3	9	9	1	1	23	47						
8	3	3	3	3	9	9	9	0	9	3	3	48	9	3	9	9	3	33	81						
9	3	0	0	9	0	0	0	0	0	0	9	21	9	3	3	3	3	21	42						
10	9	1	0	0	9	0	3	1	1	0	3	27	0	9	3	0	0	12	39						
11	9	9	3	0	9	3	9	9	9	3	9	72	3	9	9	1	3	25	97						
12	9	3	0	0	9	0	0	0	0	0	0	21	1	9	9	1	3	23	44						
13	9	1	0	0	9	0	0	0	0	0	9	28	9	9	9	1	3	31	59						
14	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	9	9	0	0	0	0	9	18						
15	3	0	0	9	0	0	0	0	0	0	9	21	9	3	3	3	3	21	42						
SOMATÓRIO												88	93	81	55	59	0	0							

3.4.3.1 Módulos e Dendograma

As pontuações das matrizes DPM e MIM (Quadro 5) vão indicar quais as soluções técnicas devem ficar juntas e em um mesmo módulo. A ferramenta que é utilizada para isso é o dendograma, um diagrama que, por meio da análise estatística dos dados, indica o melhor agrupamento e ordenação das soluções técnicas de acordo com as suas similaridades. Para gerar o dendograma foi utilizado o *Software IBM SPSS Statistics 21*, e a opção escolhida foi a análise de *Cluster* (análise de agrupamento hierárquico).

A análise de *cluster* busca agrupar elementos de dados baseando-se na similaridade entre eles. Os grupos são determinados de forma a obter-se homogeneidade dentro dos grupos e heterogeneidade entre eles.

Segundo Fleig (2008), a análise de *Cluster* deve ser utilizada sempre que houver a necessidade de classificar uma grande quantidade de informações. O algoritmo utilizado na análise de *Cluster* tem como objetivo reunir objetos em conjuntos maiores sucessivos, usando alguma medida de similaridade ou distância. A similaridade é um conjunto de regras que serve como critério para agrupar ou separar itens. A medida de similaridade pode se basear em uma dimensão única ou dimensões múltiplas com cada uma delas representando uma regra para o agrupamento de objetos.

Neste estudo as medidas de similaridade consideradas foram as mesmas utilizadas na Matriz do QFD, na Matriz MIM, e na Matriz DPM, ou seja: 09 para uma relação forte; 03 para uma relação média; 01 para uma relação fraca; e zero quando não há relação.

No *software IBM SPSS Statistics 21*, a primeira coluna à esquerda deve conter as soluções técnicas e nas colunas da direita são adicionadas as pontuações das matrizes, que são as variáveis, uma ao lado da outra, as variáveis compreendem as Propriedades do Produto e as Diretrizes de Modularização.

Após a introdução da matriz (quadro 5) no *software*, foram executadas várias simulações usando diferentes opções de análise de *cluster* para definição dos módulos adequados. A seguir são descritas somente as opções que mais se aproximaram do resultado esperado.

Na primeira análise estatística de *cluster* foi especificada uma matriz de proximidade com associação de grupamento com as seguintes amplitudes de soluções: número mínimo de grupamento 2 e o número máximo de grupamento 20, continuando com a definição gráfica da análise foram definidos o dendograma para todos os grupamentos com a orientação vertical para facilitar a leitura dos resultados. O método de grupamento definido foi o método *Ward* que mede o intervalo de distância *Euclidiana*, padronizando os valores no *escore Z* por variáveis e transformar as medidas em valores absolutos.

Segundo Doni (2004), a distância *euclidiana* é a distância geométrica no espaço multidimensional. A distância euclidiana entre dois elementos $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ e $Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_n]$, é definida pela equação:

$$d_{xy} = \sqrt{(X_1 - Y_1)^2 + (X_2 - Y_2)^2 + \dots + (X_n - Y_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (1)$$

Realizando esse procedimento o dendograma obtido está na Figura 23, onde as linhas verticais tracejadas representam um nível de distância desejado, uma sugestão de organização dos módulos, de acordo com a análise estatística da pontuação.

O número de módulos é obtido pelo corte do dendograma em um nível desejado e então cada componente conectado forma um módulo. Na Figura 23 foram definidos 3 níveis de distância (corte do dendograma), 12,5, 10 e 7,5, obtendo o seguinte resultado: na distância 12,5 o número de módulos resultantes é 4, e na distância 10 o número de módulos resultantes é 7, na distância 7,5 o número de módulos resultantes é 11. Nota-se que quanto menor a distância maior o número de módulos.

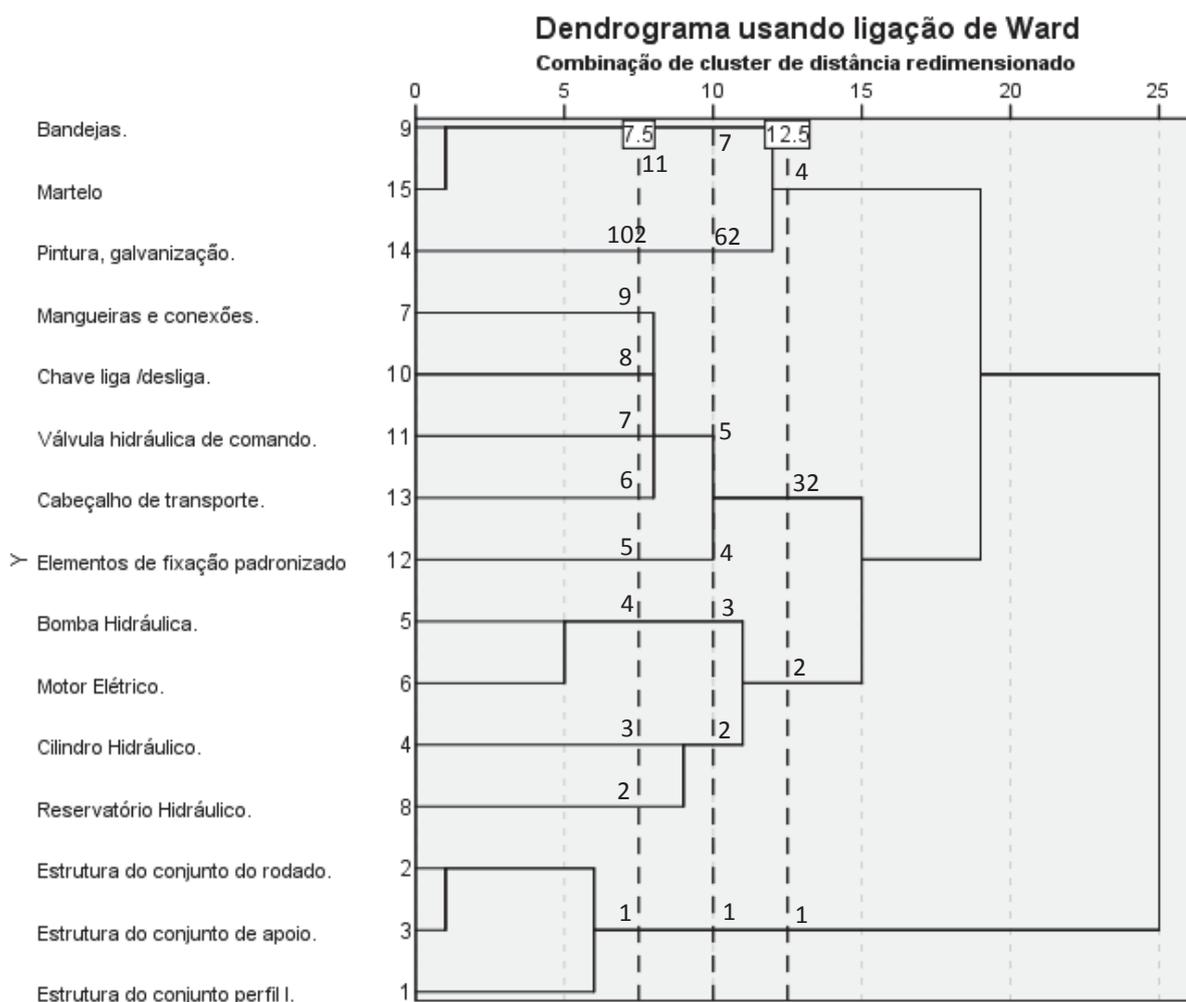


Figura 23 - Dendrograma para geração dos módulos, Método Ward com intervalo de distância euclidiana.

Na segunda análise estatística de *cluster* foram repetidos todos os parâmetros, exceto utilizando o intervalo de distância *Euclidiana Quadrada*.

Segundo Doni (2004), A distância *euclidiana Quadrada* entre dois elementos é definida pela equação:

$$d_{xy} = (X_1 - Y_1)^2 + (X_2 - Y_2)^2 + \dots + (X_n - Y_n)^2 = \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2 \quad (2)$$

Realizando esse procedimento o dendrograma obtido é mostrado na Figura 24 onde foram definidos 3 níveis de distância (corte do dendrograma), 12,5, 10 e 7,5, obtendo o seguinte resultado: na distância 12,5 o número de módulos resultante é 4, e na distância 10 o número de módulos resultantes é 4, na distância 7,5 o número de módulos resultantes é 7. Nota-se, mais uma vez, que quanto menor a distância maior o número de módulos há uma

estabilidade no número de módulos entre a distância 10 e 7,5 indicando o mesmo número de módulos.

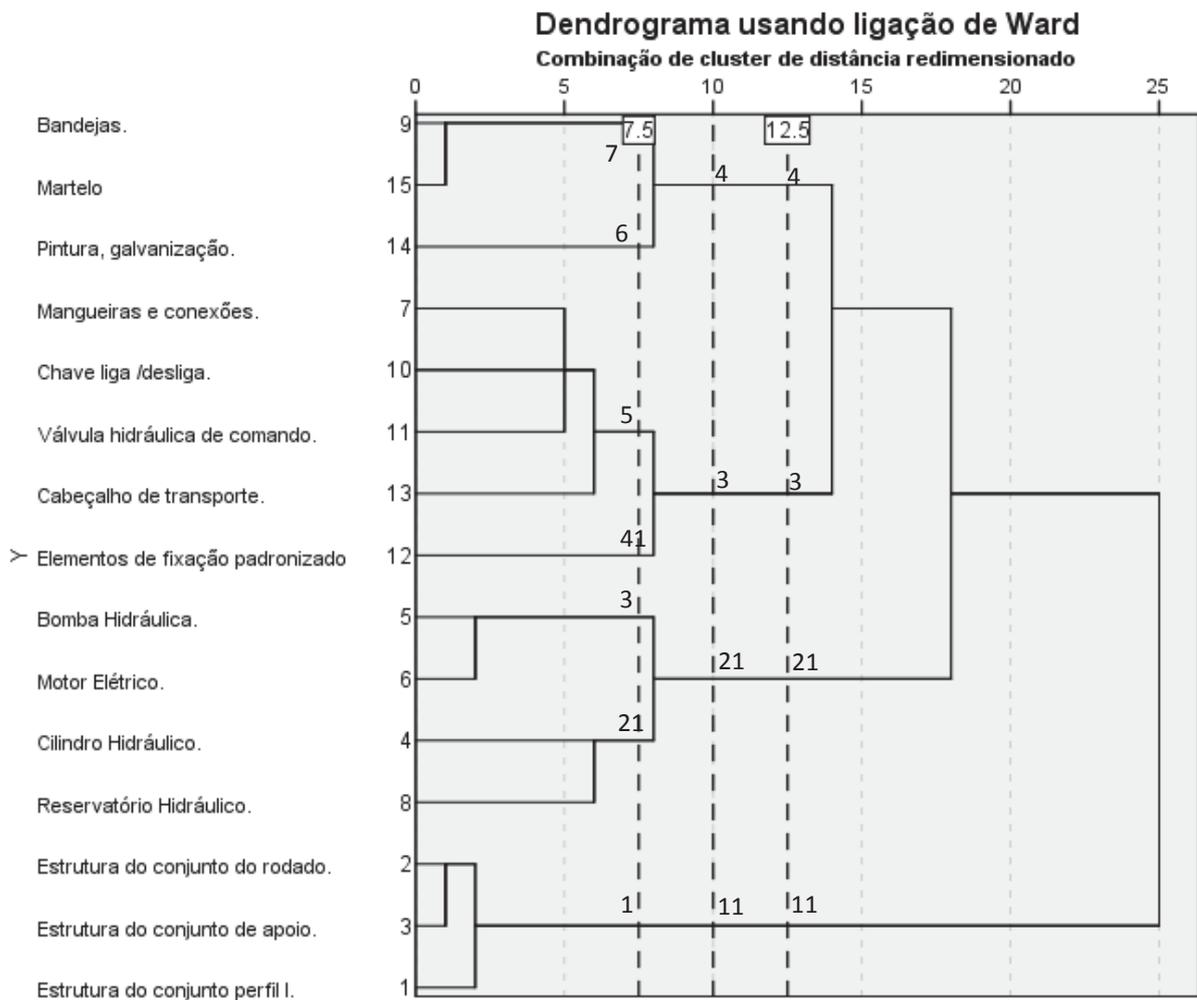


Figura 24 - Dendrograma para geração dos módulos, Método *Ward* com intervalo de distância *euclidiana Quadrada*.

Na terceira análise estatística de *cluster* foram repetidos todos os parâmetros, utilizando-se o intervalo de distância *Minkowski*.

Segundo Ferreira (2000), a distância *Minkowski* é a generalização da distância absoluta (para $m=1$) e da distância *Euclidiana* (para $m = 2$): entre dois elementos, é definida por:

$$d_{xy} = \sqrt[m]{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^m} \quad (3)$$

Realizando esse procedimento o dendrograma obtido está na Figura 25, onde foram definidos 3 níveis de distância (corte do dendrograma), 12,5, 10 e 7,5, obtendo os seguintes

resultados: na distância 12,5 o número de módulos resultantes é 4, na distância 10 o número de módulos resultantes é 7, e na distância 7,5 o número de módulos resultantes é 11. Nota-se outra vez que quanto menor a distância maior o número de módulos.

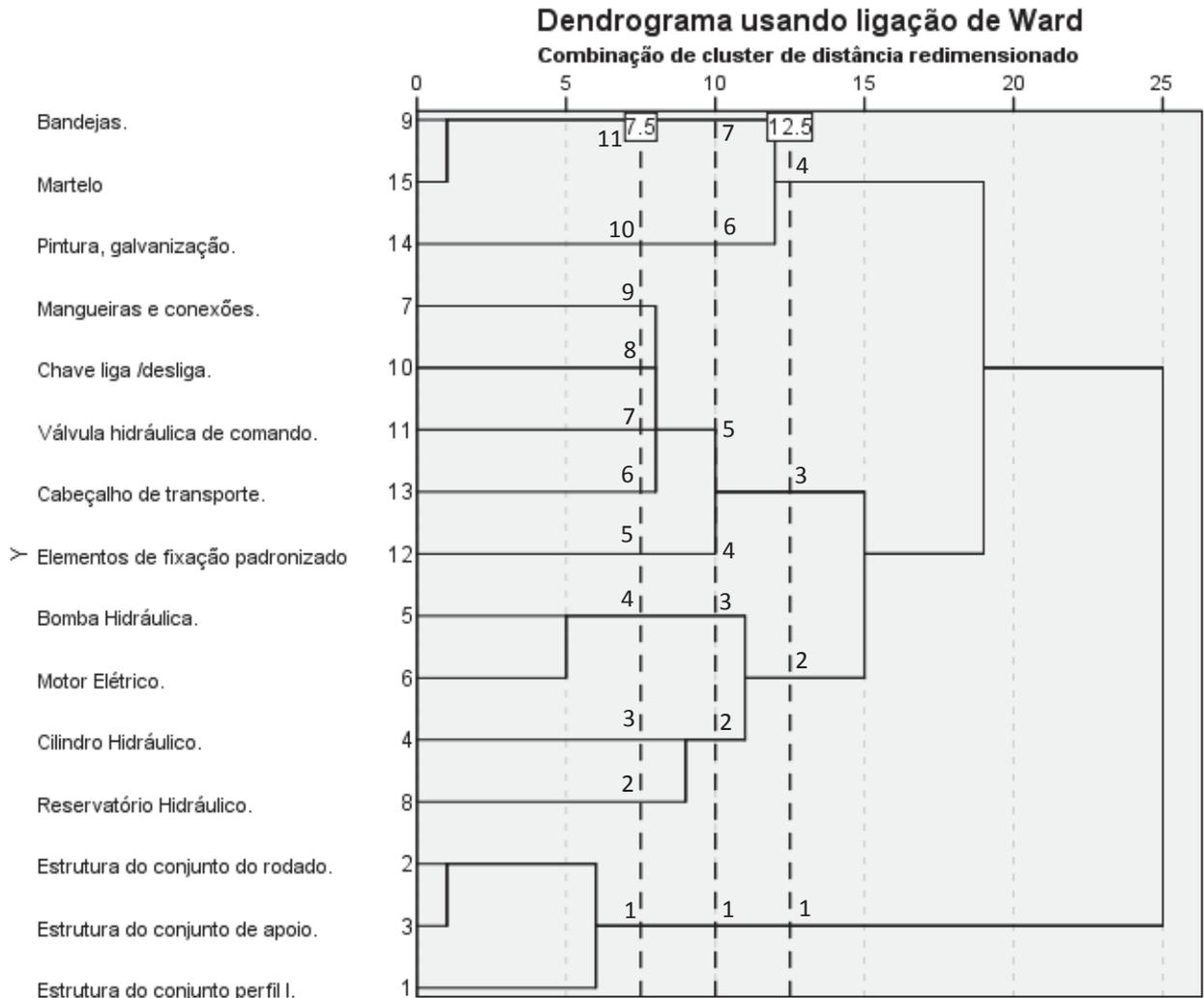


Figura 25 - Dendrograma para geração dos módulos, Método *Ward* com intervalo de distância *Minkowski*.

Na quarta análise estatística de *cluster* também foram repetidos todos os parâmetros e foi utilizado o intervalo de distância *em Bloco (Manhattan)*.

Segundo Ferreira (2000), a distância *em Bloco (Manhattan)* entre dois elementos, é definida por:

$$d_{xy} = \sum_{i=1}^n |X_i - Y_i| \quad (4)$$

Realizando esse procedimento o dendrograma obtido está mostrado na Figura 26, na qual foram definidos 3 níveis de distância (corte do dendrograma), 12,5, 10 e 7,5, obtendo os

seguintes resultados: na distância 12,5 o número de módulos resultante é 4, e na distância 10 o número de módulos resultante é 4, na distância 7,5 o número de módulos resultante é 6. Nota-se que quanto menor a distância maior o número de módulos e uma estabilidade no número de módulos entre a distância 12,5 e 10 indicando o mesmo número de módulos.

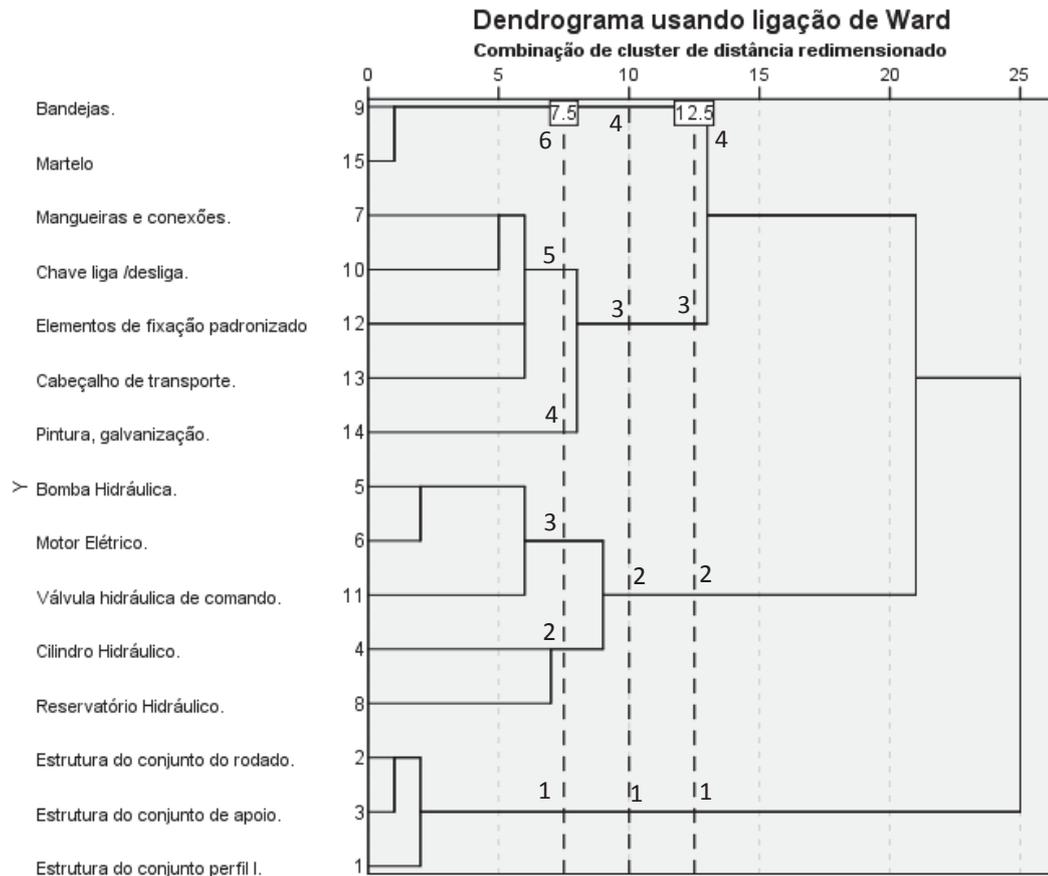


Figura 26 - Dendrograma para geração dos módulos, Método *Ward* com intervalo de distância *em Bloco (Manhattan)*.

Esta estabilidade deve-se puramente à escolha da distância entre os elementos, mostrando sua similaridade mais absoluta possível.

O dendrograma ainda não é a decisão final sobre os módulos do produto. Compete à equipe de projeto uma análise crítica dos dados do dendrograma e os ajustes finais. Ressalta-se que a obtenção de resultados muito discrepantes pode significar que o processo de pontuação não está bem feito. Nesse caso, volta-se às matrizes e verificam-se as pontuações.

A opção que melhor representou a formação dos módulos (Figura 26), por mostrar a menor distância entre as soluções técnicas, foi a que utilizou o método de grupamento *Ward* com o intervalo de distância *em Bloco (Manhattan)*.

O número de módulos foi obtido pelo corte do dendograma em um nível de distância de 7,5 então cada componente conectado forma um módulo, obtendo o número de módulos 06. Salienta-se que a equipe de projeto precisa estar de acordo para realizar a melhor escolha dos módulos.

A análise do dendograma permite verificar quais soluções técnicas possuem maior afinidade e, desta forma, formaram-se os seis módulos, identificados a seguir:

Módulo 01: Estrutura do conjunto do rodado. Estrutura do conjunto de apoio. Estrutura do conjunto perfil I.

Módulo 02: Cilindro Hidráulico. Reservatório Hidráulico.

Módulo 03: Bomba Hidráulica. Motor Elétrico. Válvula hidráulica de comando.

Módulo 04: Pintura, galvanização.

Módulo 05: Mangueiras e conexões. Chave liga /desliga. Elementos de fixação padronizados. Cabeçalho de transporte.

Módulo 06: Bandejas. Martelo.

Embora o dendograma revele uma grande similaridade entre as soluções técnicas que formaram os seis módulos, uma análise com a equipe de projetos para validar esses resultados faz-se necessária.

Analisando o resultado do dendograma, Figura 26, nota-se uma flexibilidade quanto à escolha dos módulos. Esta flexibilidade demonstra quão aplicável é em relação à manufatura e à montagem, que é o objetivo deste trabalho. Esta flexibilidade é a livre escolha dos módulos de acordo com a realidade da empresa, independente de um ponto de corte determinado.

O desenvolvimento de projetos modulares (família de produtos) possibilita simplificar as atividades como inspeção, teste, montagem, manutenção, treinamento, entre outras. Com uma maior versatilidade do produto com menos variação de processos.

Além de modularizar, o uso de componentes padronizados reduz o custo e o número de componentes em estoque bem como operações de manufatura e montagem.

Os critérios de definição de módulos podem ser definidos de acordo com a experiência da equipe de projeto e com a realidade da manufatura e montagem da empresa. Esta análise

sugere alta flexibilidade quanto à escolha dos módulos, tornando-se um ponto estratégico da empresa quanto à administração dos módulos em relação a compras, estoque, e a manufatura e a montagem.

O dendograma da Figura 27 mostra uma nova análise: usando o método *Ward* com intervalo de distância em *Bloco*, no nível de distância 6,5 (corte do dendograma) o número de módulos é 7, um aumento de 1 módulo em relação ao nível de distância 7,5 (Figura 26). O módulo 2 (cilindro hidráulico e reservatório hidráulico), foi subdividido em 2 módulos, um novo módulo para o cilindro hidráulico e outro módulo para o reservatório hidráulico, nestes novos módulos não se percebe uma evolução quanto à manufatura, pois os mesmos são fabricados no mesmo setor, mas em células diferentes. Em relação à terceirização desses módulos tornam-se mais flexíveis, pois esta subdivisão facilita a aquisição dos módulos em separado, tornando-se mais palpáveis os custos e diversificando os fornecedores. Porém, esta decisão com relação a um fornecimento externo pode resultar tanto em redução de custos como aumento. Com este tipo de análise é possível buscar a solução mais vantajosa para a ocasião.

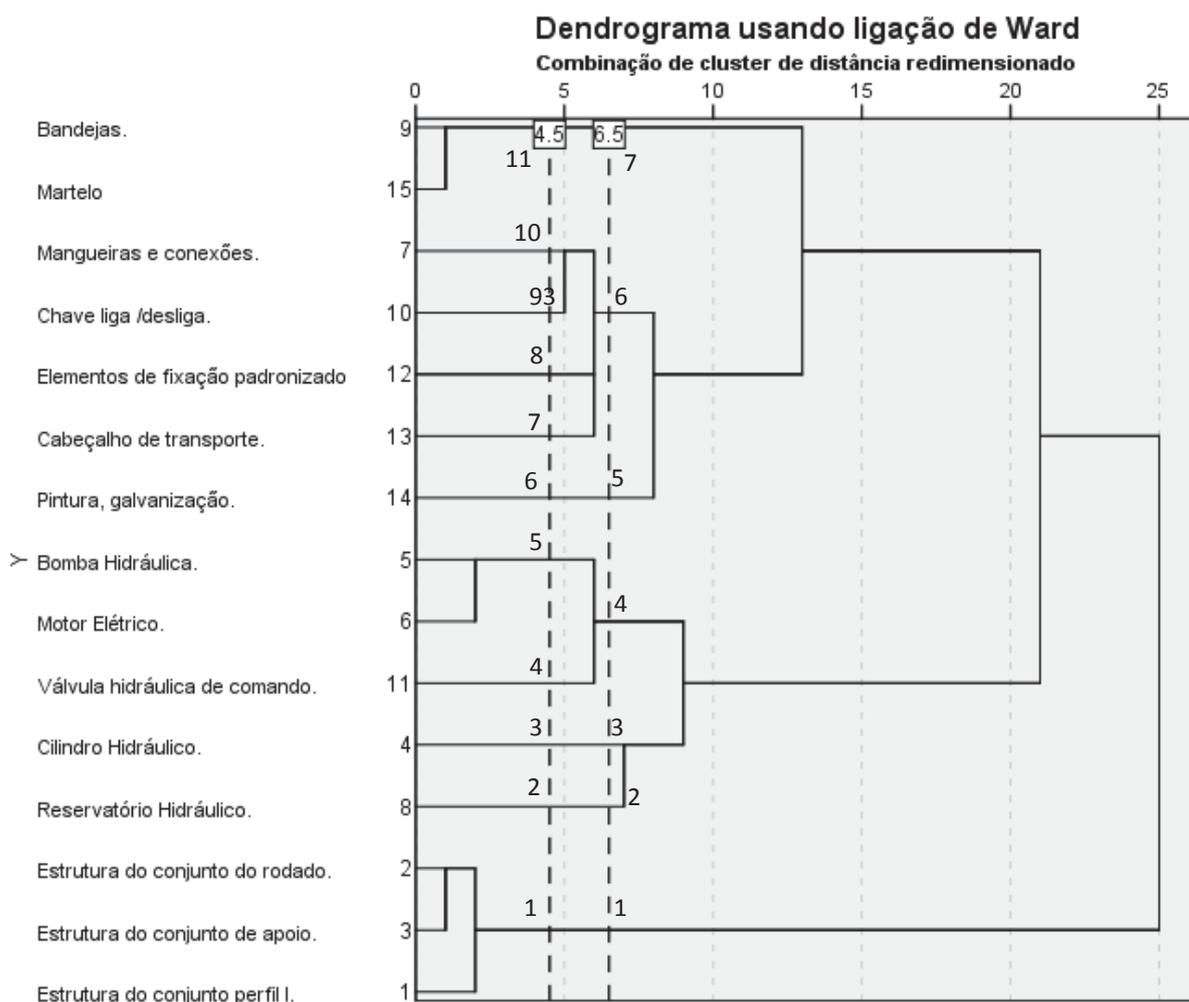


Figura 27 - Dendrograma para geração dos módulos, Método *Ward* com intervalo de distância *em Bloco (Manhattan)* - Ponto de corte 4,5 e 6,5.

O dendrograma da Figura 27 mostra outra análise: no nível de distância 4,5 (corte do dendrograma), o número de módulos resultante é 11, um aumento de quatro módulos em relação ao nível de distância 6,5. Neste nível de distância 4,5 o módulo cinco (Mangueiras e conexões. Chave liga /desliga. Elementos de fixação. Cabeçalho de transporte), foi subdividido em quatro módulos, um novo módulo para as Mangueiras e conexões, um módulo para a Chave liga /desliga, um módulo para Elementos de fixação e mais um para o Cabeçalho de transporte. Esta nova subdivisão mostra a indicação para aquisição dos módulos terceirizados, pois são peças normalizadas e de fabricante especializados.

O módulo 3 (Bomba Hidráulica. Motor Elétrico. Válvula hidráulica de comando), também foi subdividido em 2 módulos, um novo módulo para a Bomba Hidráulica e Motor Elétrico e outro módulo para a Válvula hidráulica de comando. Esta nova subdivisão mostra a

indicação para aquisição dos módulos terceirizados, pois também são peças normalizadas de fabricantes especializados.

Comparando os dois pontos de corte propostos na Figura 31 nas distâncias 6,5 e 4,5, na distância 6,5 tem-se 7 módulos e na distância 4,5 tem-se 11 módulos. Este aumento do número de módulos não significa aumento do tempo de produção, mas 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 da Figura 27 mostra claramente a sequência de montagem dos subconjuntos até a montagem final do produto e essa sequência é observada pelo aumento da distância. Observa-se que na distância 25 o produto apresenta-se totalmente montado e isso permite uma visualização antecipada do processo de manufatura e da montagem. Esta visualização antecipada vai facilitar o projeto da manufatura e o projeto da montagem e todo o planejamento que envolve este produto.

Analisando o resultado do dendrograma (Figura 27), juntamente com a equipe de projeto, foi definido que a melhor solução para a empresa é o nível de distância 4,5 (corte do dendrograma), os critérios utilizados para definir os módulos levaram em conta os aspectos econômicos e a realidade da empresa, tais como a logística, tipos de fornecedores, as quantidades de peças fornecidas, a produção, as máquinas e equipamentos existentes para produção dentro da empresa, e funcionais devido aos componentes com baixa demanda.

Desta forma, formaram-se os onze módulos, identificados a seguir:

Módulo 01: Estrutura do conjunto do rodado. Estrutura do conjunto de apoio. Estrutura do conjunto perfil I.

Módulo 02: Reservatório Hidráulico.

Módulo 03: Cilindro Hidráulico.

Módulo 04: Válvula hidráulica de comando.

Módulo 05: Motor Elétrico. Bomba Hidráulica.

Módulo 06: Pintura, galvanização.

Módulo 07: Cabeçalho de transporte.

Módulo 08: Elementos de fixação padronizados.

Módulo 09: Chave liga /desliga.

Módulo 10: Mangueiras e conexões.

Módulo 11: Bandeja. Martelo.

Dessa forma os módulos do produto ficam arranjados conforme tabela 08.

Tabela 08 - Módulos gerados a partir do dendograma.

SOLUÇÕES TÉCNICAS	MÓDULOS
Estrutura do conjunto do rodado	01: Conjunto Estrutura do corpo
Estrutura do conjunto de apoio	
Estrutura do conjunto perfil I	
Reservatório Hidráulico	02: Reservatório Hidráulico
Cilindro Hidráulico	03: Cilindro Hidráulico
Válvula hidráulica de comando	04: Válvula hidráulica
Motor Elétrico	05: Motor e Bomba
Bomba Hidráulica	
Pintura	06: Tratamento superficial
Galvanização	
Cabeçalho de transporte	07: Cabeçalho de transporte
Elementos de fixação padronizados	08: Elementos de fixação padronizados
Chave liga /desliga	09: Chave liga /desliga
Mangueiras e conexões	10: Mangueiras e conexões
Bandejas	11: Bandeja e Martelo
Martelo	

Os módulos gerados na tabela 08 podem ser entendidos por meio das imagens dos componentes que os formam, mostradas na Figura 28.



Figura 28 - Módulos gerados com base no dendograma.

3.4.4 Passo 04: Analisar os conceitos

Para uma concepção modular a interface entre os módulos tem uma influência fundamental sobre o produto final e a flexibilidade dentro da variedade. Assim, a análise da interface e suas relações é uma parte importante do trabalho de avaliação. Uma interface entre dois módulos pode ser, por exemplo, denominada de fixos, móveis ou de transferência. As interfaces fixas servem apenas para conectar os módulos e transmitir forças. Interfaces em movimento podem transmitir energia em formas de rotação ou alternado forças. A transferência pode ser de líquidos ou de eletricidade.

Uma visão geral das relações de interface pode ser alcançada com uma matriz de interface. Este passo do método consiste em avaliar os conceitos gerados através da Matriz de Interfaces (MI), a qual mostra o relacionamento entre os módulos, através do tipo de interface existente entre cada par de módulo, é feito um cruzamento entre os módulos e o tipo de interface existente entre eles é indicado. Essas interfaces podem ser de seis tipos:

- Espacial (S)
- Fixação (A)
- Transferência (T)
- Campo (F)
- Ambiente (E)
- Controle ou Comunicação (C).

Devem-se analisar os módulos um a um e sua relação com cada um dos dez módulos restantes, podendo haver entre dois módulos mais de um tipo de interface ao mesmo tempo, como mostra a Figura 32. E para os casos em que não há interação entre algum par de módulos, a célula permanece em branco.

A Matriz de Interfaces para o produto do estudo pode ser visualizada no Quadro 06.

Quadro 06 - Matriz de Interfaces.

Tipos de interfaces:		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.
S - Espacial												
A - Fixação												
T - Transferência												
F - Campo												
E - Ambiente												
C - Controle ou Comunicação												
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.												

O diagrama da montagem do produto ficaria, então, como mostrado na Figura 29.

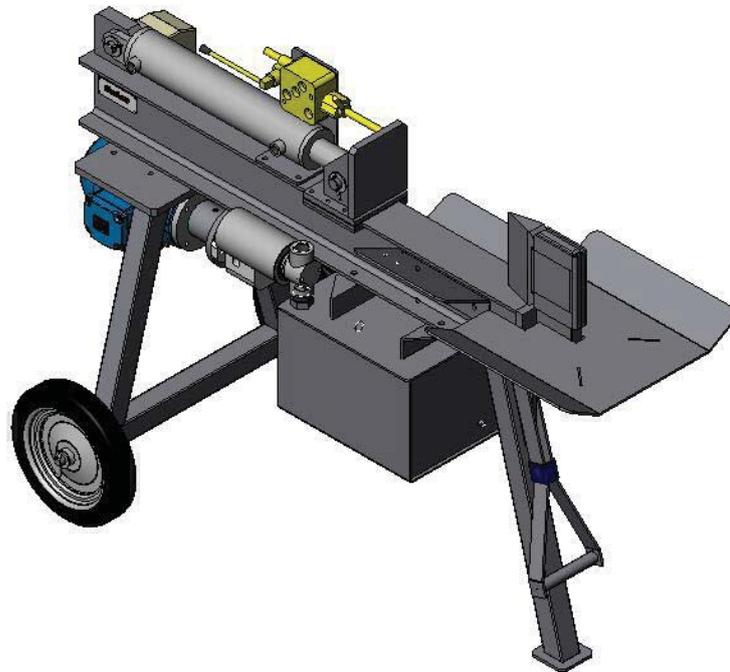


Figura 29 - Produto Final.

O objetivo, neste passo do método, é analisar os conceitos empregados no processo de modularização a partir das três principais matrizes utilizadas no método MFD: a Matriz QFD que mostra a relação entre os requisitos do consumidor com as propriedades de produto; a DPM que mostra a relação entre as propriedades do produto e as soluções técnicas; e a MIM que define uma relação entre as soluções técnicas e as diretrizes de modularização.

Essas matrizes facilitam o desenvolvimento simultâneo, proporcionam um fácil planejamento do processo e permitem uma maior liberdade na organização da manufatura e montagem, entre outras vantagens.

3.4.5 Passo 05: Otimizar os módulos

No passo final do método MFD proposto por Erixon (1998), uma especificação por escrito para cada módulo é 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. Como resultado uma planilha de módulo é preenchida com as especificações e descrições dos módulos.

O Quadro 07 ilustra as especificações para o Módulo 01 – Conjunto Estrutura do corpo.

Quadro 07 - Especificação do Módulo 01 - Conjunto Estrutura do Corpo

Nome do módulo: Conjunto Estrutura do Corpo	
Descrição: Estrutura mecânica do cortador de lenha e o conjunto do rodado e apoio não devem deformar-se durante a operação de rachar lenhas.	
Desenho (esboço):	
	
Diretrizes de modularização:	
Multiaplicativo.	Atualização.
Mudanças Planejadas o projeto	Reciclagem.
Especificações Técnicas	Manufatura / produção.
Unidade Comum.	Peso dos componentes.
Organização e Processo.	Materiais.
Soluções técnicas (MIM):	
Estrutura do conjunto do rodado.	
Estrutura do conjunto de apoio.	
Estrutura do conjunto perfil I.	
Interfaces (MI):	
Reservatório Hidráulico.	Elementos de fixação padronizados.
Cilindro Hidráulico.	Chave liga /desliga.
Válvula hidráulica.	Bandejas. Martelo.
Motor e Bomba.	
Propriedades do Produto – QFD:	
Formato do equipamento que transmita robustez.	
Continuidade e penetração dos cordões de solda.	
Resistência mecânica dos componentes estruturais.	
Rigidez da estrutura.	
Manutenção e substituição de componentes.	
Padronização de componentes.	

Para os demais quadros de especificação dos módulos veja no APÊNDICE A.

3.5 Análise dos resultados

Tendo sido realizada a modularização do produto alvo do estudo, o rachador de lenha, algumas considerações foram elaboradas sobre o processo de modularização, conforme são descritas a seguir.

3.5.1 Resultados do Passo 01: Definir os Requisitos do Consumidor

Neste passo, foram levantados e questionados, principalmente, os requisitos do consumidor a fim de chegar a pontos comuns e delinear o projeto modular. A equipe de projeto pode refletir mais sobre os requisitos do consumidor, entender de forma clara e objetiva o que o cliente quer em um determinado produto. Este processo deve ser conduzido de forma eficaz, para que não ocorram interpretações erradas e que não seja influenciado por praxes de fábrica ou de projeto.

3.5.2 Resultados do Passo 02: Gerar e Selecionar Soluções Técnicas

Neste passo as principais funções do produto foram identificadas e uma lista com as soluções técnicas foi elaborada para satisfazer as funções.

As funções do rachador de lenha podem se resumir a quatro grupos: rachar lenha, permitir o corte de diferente comprimento da lenha, realizar o transporte e a manutenção do rachador de lenha e prover segurança durante a operação. As soluções técnicas foram estabelecidas com base na experiência da equipe de projeto.

A DPM mostra-se eficiente para classificar as propriedades do produto frente às soluções técnicas. Estas informações são importantes para a conclusão do passo 03, em que são agrupadas com as diretrizes de modularização para gerar os vetores para o dendograma que auxiliará na definição dos módulos.

3.5.3 Resultados do Passo 03: Gerar o Conceito Modular

Considera-se este passo 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. Das 12 diretrizes propostas apenas uma não foi considerada neste estudo, a de Estilo, pelo fato da equipe de projeto entender que sua utilização não seria tão importante quanto às demais.

A grande vantagem da MIM é sua flexibilidade, o que permitiu este trabalho considerar aspectos até então não muito importantes ou até mesmo não considerados no projeto, mas agora decisivos no projeto do produto, a saber, os que se relacionam a práticas de manufatura e a montagem (DFMA). Estes critérios são: manufatura / produção, padronização de componentes, montagem / desmontagem, peso dos componentes, materiais. Estes novos

critérios complementam os demais e reforçam a importância da manufatura e montagem no projeto do produto. Uma atenção especial em relação à matriz MIM que é preenchida manualmente: deve-se ter o cuidado de não o realizar de forma relapsa ou tendenciosa, pois os principais indicativos de módulos surgirão com base nesta matriz.

Devido à quantidade de informações da MIM e da DPM é necessário utilizar um *software* estatístico para realizar o dendograma destes vetores. Através desta análise pode-se observar o agrupamento e ordenação das soluções técnicas de acordo com suas similaridades. A opção de *Cluster* foi escolhida para tal finalidade devido à grande quantidade de informações, sendo que a opção que melhor representou a seleção de soluções técnicas foi a que contemplou 11 módulos, com um nível de distância 4,5 como mostra a Figura 27. Como resultado obteve-se então o dendograma utilizado para a geração dos módulos.

A utilização do dendograma auxilia na visualização dos módulos e a sequência de montagem dos módulos até a montagem final do produto, mas nesse momento destaca-se a importância de uma equipe de projetos alinhada e com o mesmo foco, pois embora ele revele essas similaridades, ainda é necessária uma análise crítica para validar os módulos formados. Este aspecto, ponto chave do método, necessita melhores estudos e acompanhamento na adaptação ou elaboração de uma ferramenta que auxilie na formação dos módulos. Os módulos gerados podem ser identificados na Tabela 08 juntamente com suas soluções técnicas e visualizados na Figura 28.

3.5.4 Resultados do Passo 04: Analisar os Conceitos

Neste passo do método as interfaces existentes entre os módulos foram verificadas e para isto utilizou-se a Matriz de Interface (Quadro 6). Esta matriz permite verificar que o Módulo 01 (Conjunto estrutura do corpo) e o Módulo 02 (Reservatório Hidráulico) possuem uma relação de fixação, devido à sua união e forma construtiva. O módulo 03 e o módulo 01 possuem uma relação de fixação, devido à sua união e forma construtiva e de transferência, devido à transferência de força e movimento do Módulo 03 para o Módulo 01.

3.5.5 Resultados do Passo 05: Otimizar os Módulos

A otimização dos módulos só pode ser realizada após a elaboração da documentação de cada módulo, fato este que foi realizado através do preenchimento de planilhas em forma de formulários com as especificações e descrições de cada módulo. É importante salientar que estas planilhas ou formulários são de grande utilidade para compreender o processo de

modularização e de que forma ele ocorreu, ou seja, quais os critérios que foram considerados quando o referido módulo foi definido, sua importância e peso durante as seleções e o que de fato foi decidido como mais importante na hora de gerar o módulo, também, verificar toda e qualquer informação relativa à modularização, por qualquer pessoa e, finalmente, realizar toda e qualquer alteração por meio da verificação de como cada módulo se comporta em relação aos demais módulos, evitando assim etapas que já foram realizadas na solução de novas necessidades relacionadas ao produto.

3.6 Explorando o dendograma com 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 deste 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 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.

3.6.1 Análise de modularização para a manufatura e a montagem.

Uma análise pode ser feita do processo de fabricação e montagem do rachador de lenha com base no dendograma (Figura 27) com o ponto de corte definido em 4,5 gerando 11 módulos (Figura 28), a linha de manufatura compreende uma célula para a fabricação dos componentes dos módulos 01, 07 e 11, conforme mostra a Figura 30, devidamente equipada com dispositivos de fixação para a usinagem dos componentes e uma célula de soldagem para unir os componentes através da solda e esta célula equipada com dispositivos de soldagem para garantir a geometria final dos subconjuntos, para facilitar a montagem. Logo após a soldagem os subconjuntos vão para o tratamento superficial, que é um serviço terceirizado da empresa. Uma célula de montagem é devidamente equipada para a montagem final do produto.



Figura 30 - módulos não terceirizados.

Os demais módulos são terceirizados, pois são peças normalizadas de fabricantes especializados e estes módulos são devidamente acondicionados e entregues diretamente na linha de montagem, para facilitar a montagem dos módulos e obter o produto final.

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

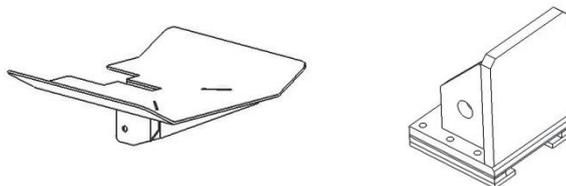
Assim, pode-se tomar como exemplo o projeto do rachador de lenha. Considerando a situação de obter-se 11 módulos, os quais permitem definir que a montagem entre o módulo 1, 7, e 11 (Figura 30) é realizada na empresa, são necessários equipamentos e espaço para tal atividade. Se os módulos 1, 7, e 11 forem terceirizados esta estação de trabalho de manufatura não existirá no ambiente da empresa. Deste 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. Nesta condição, podem-se avaliar as condições de manufatura dos referidos componentes, as células de manufatura e equipamentos necessários, todo o processo de compra, armazenamento, montagem, estoque, etc., com relação à obtenção deste módulo.

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

Se a opção é fabricar o módulo 11 (bandeja e martelo) (Figura 31), pode-se observar que é necessário efetuar o corte das peças, o dobramento, e a soldagem. Por outro lado após a

manufatura é necessário, ainda, o processo de tratamento superficial que confere a proteção à superfície. Deste modo pode-se avaliar o impacto no processo produtivo da empresa.



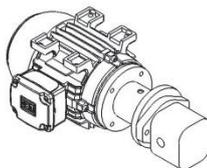
11: Bandeja e Martelo

Figura 31 - módulo 11

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. Deste modo o dendograma deve ser ajustado para trabalhar de acordo, verificando a formação de módulos que possuem interface apenas de montagem.

Outro enfoque é a manufatura, se observarmos o módulo 11 (bandeja e Martelo) (Figura 31), se a mesma for confeccionada por máquinas tradicionais como prensa e guilhotina, a forma das peças a serem obtidas deve ser mais reta e a soldagem vai exigir um dispositivo de soldagem. Com a adoção do processo de corte a laser, a peça pode ter uma forma mais complexa e o processo permite obter facilmente encaixes de posicionamento das peças, que dispensam o uso de dispositivos de solda em razão de que as peças são autoposicionáveis em função dos encaixes nelas existentes.

Outro exemplo é com relação ao módulo 05 (motor e bomba), apresentado na Figura 32, o qual possui a peça intermediária que é o flange. Este módulo poderia ser mais completo anexando o cabeamento elétrico de conexão à rede e o cabeamento entre motor e chave elétrica liga/desliga, resultando num único módulo a ser entregue.



05: Motor e Bomba

Figura 32 - módulo 05

3.6.2 Análise de modularização para a montagem do produto final.

Outra análise de modularização pode ser feita se a empresa deseja somente montar o produto final. Olhando o dendograma da Figura 33, para esta condição devem-se reavaliar os pontos de corte, ou seja, verificar qual é o melhor ponto de corte que forma estes módulos para que cheguem até a linha de montagem de forma adequada. Para este caso o ponto de corte não pode ser fixo, ele tem que ser escolhido conforme a condição desejada pela empresa, então ele vai variar dependendo da condição que o módulo pode ser recebido.

A Figura 33 mostra o ponto de corte variável representado pela linha traço ponto.

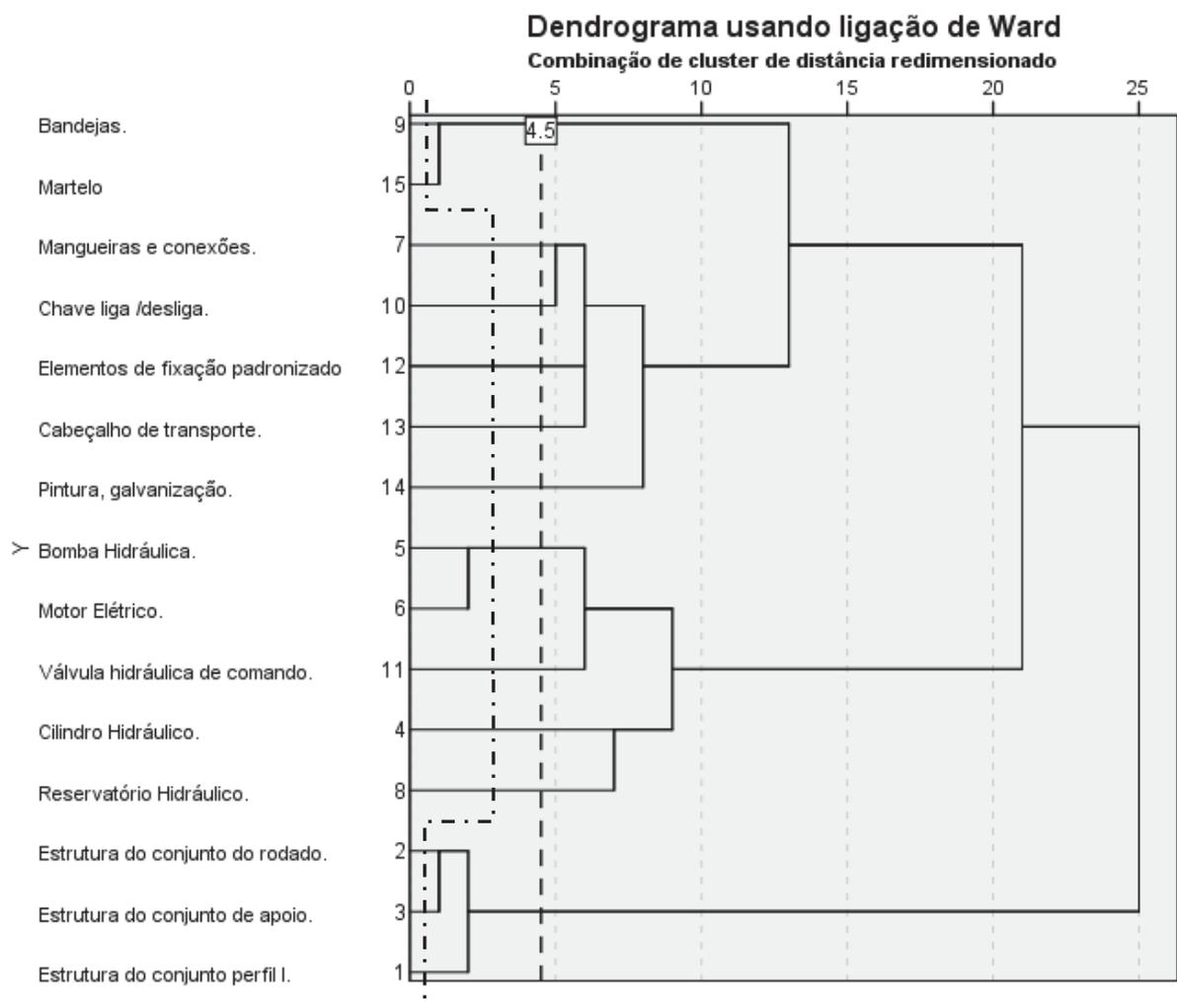


Figura 33 - Dendograma para geração dos módulos, Método *Ward* com intervalo de distância *em Bloco (Manhattan)*. Ponto de corte variável.

Dessa forma os módulos do produto somente para a montagem ficam arranjados, conforme tabela 09.

Tabela 09 - Módulos gerados a partir do dendograma somente para a montagem.

SOLUÇÕES TÉCNICAS	MÓDULOS
Estrutura do conjunto do rodado	01: Estrutura do conjunto do rodado
Estrutura do conjunto de apoio	02: Estrutura do conjunto de apoio
Estrutura do conjunto perfil I	03: Estrutura do conjunto perfil I
Reservatório Hidráulico	04: Reservatório Hidráulico
Cilindro Hidráulico	05: Cilindro Hidráulico
Válvula hidráulica de comando	06: Válvula hidráulica
Motor Elétrico	
Bomba Hidráulica	07: Motor e Bomba
Cabeçalho de transporte	08: Cabeçalho de transporte
Elementos de fixação padronizados	09: Elementos de fixação padronizados
Chave liga /desliga	10: Chave liga /desliga
Mangueiras e conexões	11: Mangueiras e conexões
Bandeja	12: Bandeja
Martelo.	13: Martelo

Nesta análise nota-se que o módulo, Tratamento superficial, não é mais necessário, devido aos módulos já serem recebidos prontos.

Com relação a este produto a empresa terá somente uma linha de montagem, onde os módulos vão ser entregues. Assim, a montagem precisará estar equipada com ferramental apenas para estas operações, como dispositivos de montagem, ferramentas manuais dispositivos de testes e avaliação do produto.

Para esta condição a unidade será configurada para ser uma montadora e pode ser prevista iniciando-se pela análise do dendograma e o discernimento das relações descritas nele.

3.6.3 Análise Processo de Manufatura e Montagem das Peças

No projeto dos componentes deverá ser aplicado o sistema de tolerância geométrica (tolerância de forma e posição) para facilitar a manufatura e a montagem dos componentes.

A montagem e desmontagem devem ser melhoradas, utilizando componentes padronizados (parafusos, porcas, etc.) e isso permitirá a facilidade na execução, não requerendo ferramentas especiais.

O processo de solda da estrutura do módulo 11 deverá ser todo realizado em uma etapa do processo, para evitar deslocamentos.

O cilindro hidráulico, o reservatório hidráulico e a válvula de comando devem ser testados em um local separado para evitar que no final do processo de montagem perceba-se que existe algum defeito ou dano nos mesmos.

Para realizar uma análise quanto ao processo de fabricação e montagem, cada componente deve ser analisado em separado e recomendam-se componentes de formas simples em substituição a um componente de forma geométrica complexa, achando a mais adequada geometria do componente com relação ao processo de fabricação. Todo o produto tem que ser avaliado, não somente os componentes individualmente, buscando simplificar a estrutura do produto, objetivando o mais eficiente uso da função do componente, a busca pela redução do número de componentes principalmente os não essenciais, leva a equipe de projeto a buscar novas soluções.

Considerando que no processo de projeto de um produto existe uma intensa relação da função com a forma, os materiais e os processos de produção selecionados, e neste último se incluem os processos de fabricação e montagem, esta abordagem enfoca prioritariamente os aspectos da relação entre a forma, o material, e processo de fabricação do componente.

Diferentemente, o projeto para montagem engloba a relação entre a função do produto com a forma de seus componentes, seus materiais e o processo de montagem, direciona o projeto para que o produto tenha um menor número de componentes, cuja união seja mais eficiente, melhorando a qualidade. Além disso, podem-se obter as seguintes vantagens:

- Simplificação dos processos de montagem;
- Redução das operações de manipulação;
- Possibilidade de maior padronização de componentes;
- Menor número de passos e ajustes de processamento;
- Menor quantidade de pontos/superfícies de encaixe;
- Redução de problemas de tolerância.

4 CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta as conclusões do estudo que teve como objetivo a aplicação de um método para o desenvolvimento de produtos modulares com enfoque em manufatura e montagem de produto de uma empresa do setor metalomecânico. As conclusões referem-se às compreensões do autor em torno de diversos aspectos em que o processo de modularização foi aplicado. De modo específico, a metodologia de projeto de produtos modulares MFD (Desdobramento da Função Modular) foi aplicada a um rachador de lenha de uma empresa do setor metalomecânico fabricante de máquinas e equipamentos.

Considera-se que 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.

Primeiramente, realizou-se uma revisão geral dos métodos para o projeto do produto, com o objetivo de identificar os principais passos que envolvem o processo do projeto de produto e, paralelamente, abordaram-se os métodos de projeto propostos a estruturar o produto sob a ótica modular, procurando identificar as principais características destes processos, apontando sempre o foco para os aspectos relativos à manufatura e a montagem. O método MFD mostrou-se uma excelente opção para obtenção dos resultados, o que se confirmou após o processo de modularização.

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 da equipe de projeto entender que sua utilização não seria tão importante quanto às demais.

Adicionaram-se cinco novas diretrizes: Manufatura/produção; Padronização de componentes; Montagem e desmontagem/manual; Peso dos componentes; Materiais, consideradas como de importância no projeto.

A razão da escolha do método MFD está no fato de que ele propõe uma análise dos aspectos mais importantes do ponto de vista dos consumidores, técnicos, engenheiros, etc.,

para o projeto. Além disso, permite incluir ou excluir diretrizes de modularização e avaliar em grau de importância essas diretrizes frente às soluções técnicas encontradas para satisfazer o que o cliente realmente deseja. Nesta característica, o método MFD foi muito eficiente em realizar essa avaliação, onde se pôde observar que as diretrizes consideradas mais importantes foram: Multiplicativo; Unidade Comum; Padronização de Componentes; Manufatura e Produção.

Esta análise permite direcionar os esforços da equipe de projeto 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. Com novas informações sobre o produto, rapidamente se pôde alterar a matriz e gerar novos resultados.

O *software* estatístico utilizado mostrou-se muito importante no tratamento destas informações, devido à grande quantidade de informações contidas nas matrizes MIM e DPM. O resultado obtido sob a forma de um dendograma permitiu um perfeito entendimento sobre cada novo módulo formado.

A identificação dos módulos ocorreu através da análise do dendograma, onde as soluções técnicas foram agrupadas por similaridade e passaram a compor os módulos do produto. A partir deste ponto a equipe de projeto, com sua experiência na área, realizou esta verificação para melhorar os módulos.

Observaram-se algumas vantagens diretamente no produto modularizado:

- Em relação à terceirização estes módulos se tornam mais flexíveis, pois esta subdivisão facilita a aquisição dos módulos em separado, tornando-se mais palpáveis os custos 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. Esta visualização antecipada vai facilitar o projeto da manufatura, o projeto da montagem e todo o planejamento que envolve este produto.

O projeto modular permite realizar atualizações a qualquer momento no produto, considerando as interfaces existentes entre os módulos e através 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.

A modularização do rachador de lenha deu-se em um processo de validação do método proposto e verificou-se a sua eficiência na realização deste. Este método pode ser utilizado para projetos futuros e para avaliar os projetos já existentes, buscando sempre envolver características com relação à manufatura e a montagem de produtos.

Através desse trabalho procurou-se demonstrar a importância e as contribuições da abordagem de DFMA aplicada ao projeto, pois a utilização dos recursos provenientes desta técnica, no início da fase de projeto detalhado, proporciona uma maior possibilidade de execução de projeto integrado à manufatura e a montagem. Além disto, permite a redução do número de iterações nesta fase de projeto, reduzindo conseqüentemente o tempo de desenvolvimento do produto.

Outro aspecto relevante da abordagem do DFMA no projeto é o fato de se evitar retrabalhos, uma vez que se podem estabelecer parâmetros mais evidentes e menos subjetivos para forma do produto. Em suma, com a abordagem do DFMA no projeto detalhado, ter-se-á capacidade de projetar o componente visando implementar no produto final características que auxiliem a sua manufaturabilidade e montabilidade, propiciando aumento da sua qualidade, redução de custo e assegurar prazos de lançamento do produto no mercado.

4.1 Sugestão para trabalhos futuros

Algumas sugestões foram elaboradas para que, em trabalhos futuros, este método possa ser ampliado e, também, possa ser aplicado por mais empresas, independente do setor ou ramo de atuação.

Quanto ao *Software* estatístico aplicado, no momento de definir o ponto de corte desejado, o *Software* não permite uma flexibilidade por trecho escolhido, somente um valor único. A sugestão é que se possa definir por pontos ou trajetos do ponto de corte, tornando-se mais flexível esta escolha ou definição.

Outro trabalho é obter as informações utilizadas nas matrizes diretamente dos softwares de CAD, deste modo é possível realizar a análise de produtos existentes de modo mais automático.

É também interessante um *software* independente que permita a aplicação do método MFD, permitindo a leitura de dados do produto de outras fontes, convertendo num formato adequado e realizando a análise de produtos existentes ou em desenvolvimento, ou a introdução de dados de modo mais amigável ao usuário, pois do contrário o método se torna muito tedioso.

Também é interessante, aplicar o *software* DFMA em conjunto com o método MFD, ampliando o foco quanto à manufatura e a montagem.

É importante estabelecer um roteiro de projeto, que trata da modularização, que contém as etapas deste processo já pré-estabelecidas, pensando sempre na manufatura e na montagem, que possa ser seguido por todas as pessoas envolvidas no projeto de produto. Isso para que a implantação de um projeto possa ser conduzida de forma que as informações estejam disponíveis no momento certo e que todos saibam onde encontrá-las em uma maneira clara e simples.

5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

AAKER, D. A.; KUMAR, V.; DAY, G. S. **Pesquisa de marketing**. São Paulo: Atlas, 2001. 745p.

ALBUQUERQUE, M. A. **Estabilidade em análise de agrupamento (cluster analysis)**. Dissertação de Mestrado – UFRPe. Recife. 2005.

ANDERBERG, M. R. Cluster analysis for applications. **New York**: Acafenic press, 1973, 359p.

ARCHER, Juliana de Almeida; SCALICE, Régis Kovacs. **Aplicação e análise de uso de três metodologias de projeto de produtos modulares**. XXX Encontro nacional de engenharia de produção. São Carlos. 2010.

BACK, N.; OGLIARI, A; DIAS, A; SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e montagem**. 1ª edição. Editora Manole. Barueri -SP. 2008.

BARROSO, L. P., ARTES, R. **Análise de Multivariada**. Lavras: UFLA, 2003. 157p.

BATAGLIN, M. **Método da implantação da função modular aplicado ao projeto e manufatura sustentável de produtos de uma empresa do setor metal-mecânico**. Dissertação de Mestrado - UFSC. Florianópolis. 2012.

BAXTER, M. Projeto de Produto: **Guia prático para o design de novos produtos**. 3ª edição. Editora Blucher. São Paulo-SP. 2011.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, w. **Product Design for Manufacture and Assembly**. New York. Marcel Dekker, Inc. 2002.

BRESCIANI FILHO, Ettore. **Seleção de Materiais Metálicos**. 2ª edição. Editora Unicamp. Campinas - SP. 1988.

BRYANT, C.R.; SIVARAMAKRISHNAN, K. L.A **Modular Design Approach to Support Sustainable Design**. ASME 2004 Design Engineering Technical Conference Computers and Information in Engineering Conference Salt Lake City, Utah USA, September 28-October 2, 2004.

BUSSAB, W. DE O; MIAZAKI, E. S; ANDRADE, D. **Introdução à análise de agrupamentos**. São Paulo: Associação Brasileira de Estatística, 1990. 105p.

CATAPAN, M. F.; FORCELLINI, F. A.; FERREIRA, C.V. **Recomendações do projeto preliminar em componentes de plástico injetados para a definição da forma de utilizando o DFMA**. V Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - Curitiba, 2004.

DONI, M. Viana. **Análise de cluster: métodos hierárquicos e de particionamento**, Trabalho de Graduação Interdisciplinar II. Mackenzie. São Paulo, 2004.

ERICSSON, A.; ERIXON, G. *Controlling Design Variants – Modular Products Platforms*. Society of Manufacturing Engineers. Dearborn Michigan. 1999.

ERIXON, G. **Modular Function Deployment - A Method for Product Modularisation**. Tese de Doutorado. Sweden. 1998.

ERIXON, G; KENGER, P. **Proceedings from the 2nd seminar on Development of Modular Products**. Dalarna University, Sweden. 2004.

FERREIRA, Pedro Lopes. **Estatística Multivariada Aplicada**. Universidade de Coimbra. Coimbra. 2000.

FIXSON, S.K; CLARK, J.P. **On the Link between Modularity and Cost – A Methodology to assess Cost Implications of Product Architecture Differences**. Massachusetts Institute of Technology. 2004.

FLEIG, A. M. **Sistematização da Concepção de Produtos Modulares: Um Estudo de Caso na Indústria de Refrigeração**. Dissertação de Mestrado - UFSC. Florianópolis. 2008.

GAMA M. de P. **Bases da análise de agrupamentos (“Cluster Analysis”)**. Brasília: UnB, 1980. 229f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Métodos Quantitativos) - Universidade de Brasília, 1980.

HÖLTTÄ, K.; SALONEN, M. **Comparing three modularity methods**. Chicago, Illinois, USA. 2003.

HUANG, C. **Overview of Modular Product Development**. Physical Science and Engineering. Vol. 24, nº 3, 2002, pp. 149-165. Disponível em: 15 novembro 2012. <http://alvarestech.com/temp/PDP2011/CDAndrea/MODULARIDADE/HUANG%202000.pdf>

KAUFMANN, L., ROUSSEEUW, P. J., **Finding groups in data: an introduction to cluster analysis**. New York: John Wiley, 1990. 342p.

LANGE, M. W. **Modular Function Deployment: Proficiency Training**. Modular Management. Stockholm. 2008.

MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. Trad. Laura Bocco. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

MAZIERO Indústria de Máquinas e Equipamentos Ltda. **Site da empresa**. Disponível em <http://www.maziero.ind.br>. Acesso em 15 jan. 2013.

METZER, Daniel. **MODULARISATION IN THE GERMAN ARMS INDUSTRY**. The 4th student conference on Development of Modular Products 19th of December 2006. Published and printed by HögskolanDalarna, December 2006.

MILLER, T. D.; ELGÅRD, Per. **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**. Editora Edgard Blücher. São Paulo. 2005.

PANDREMENOS, J.; CHRYSOLOURIS, G. **Modular product design and customization**. University of Patras. Greece. 2009. The 19th CIRP Design conference – Competitive Design. Cranfield University, 30-31 March 2009, pp94.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência para melhoria do processo**. São Paulo. Editora Saraiva. 2006.

STONE, Robert B., WOOD, Kristin L., CRAWFORD, Richard H. **A Heuristic Method for Identifying Modules for Product Architectures**. USA: University of Missouri-Rolla e University of Texas, 1998.

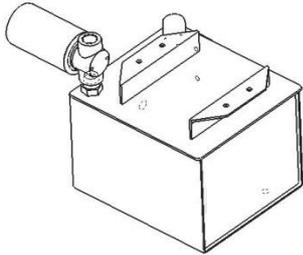
ULLMAN, David G. **The Mechanical Design Process**. McGraw-Hill. 3rd Edition. New York. 2003.

WARD, J. H.; **Hierarchical grouping to optimize an objective function**. Journal of. American Statistical Association, v. 58, p. 236-244, 1963.

6 APÊNDICE A

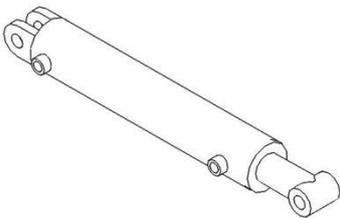
O Quadro 08 mostra as especificações para o Módulo 02 - Reservatório Hidráulico.

Quadro 08 - Especificação do Módulo 02 - Reservatório Hidráulico

Nome do módulo: Reservatório Hidráulico	
Descrição: Reservatório do fluido hidráulico é composto, visor do óleo, dreno e filtro de retorno.	
Desenho (esboço):	
	
Diretrizes de modularização:	
Multiaplicativo.	Reciclagem.
Mudanças Planejadas o projeto.	Manufatura / produção.
Especificações Técnicas.	Padronização de componentes.
Unidade Comum.	Peso dos componentes.
Organização e Processo.	Materiais.
Atualização.	
Soluções técnicas (MIM):	
Reservatório Hidráulico.	
Interfaces (MI):	
Conjunto Estrutura do corpo.	Tratamento superficial.
Cilindro Hidráulico.	Elementos de fixação padronizados.
Válvula hidráulica.	Mangueiras e conexões.
Motor e Bomba.	
Propriedades do Produto – QFD:	
Solda no reservatório, estanqueidade.	
Eficiência das partes hidráulicas.	
Fácil identificação para uso.	
Operação do equipamento.	
Manutenção e substituição de componentes.	
Peso dos componentes.	
Padronização de componentes.	

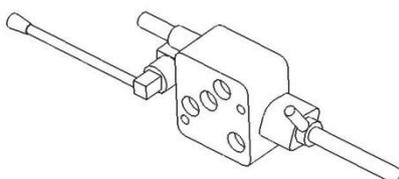
O Quadro 09 mostra as especificações para o Módulo 03 - Cilindro Hidráulico.

Quadro 09 - Especificação do Módulo 03 - Cilindro Hidráulico

Nome do módulo: Cilindro Hidráulico	
Descrição: Permite o acionamento do martelo	
Desenho (esboço):	
	
Diretrizes de modularização:	
Multiaplicativo.	Reciclagem.
Evolução Tecnológica.	Manufatura / produção.
Mudanças Planejadas o projeto.	Padronização de componentes.
Unidade Comum.	Peso dos componentes.
Organização e Processo.	Materiais.
Atualização.	
Soluções técnicas (MIM):	
Cilindro Hidráulico.	
Interfaces (MI):	
Reservatório Hidráulico.	Elementos de fixação padronizados.
Válvula hidráulica.	Mangueiras e conexões.
Motor e Bomba.	Bandejas e Martelo.
Propriedades do Produto – QFD:	
Formato do equipamento que transmita robustez.	
Continuidade e penetração dos cordões de solda.	
Resistência mecânica dos componentes estruturais.	
Rigidez da estrutura.	
Eficiência das partes hidráulicas.	
Vida útil.	
Fácil identificação para uso.	
Operação do equipamento.	
Transporte e instalação.	
Padronização de componentes.	

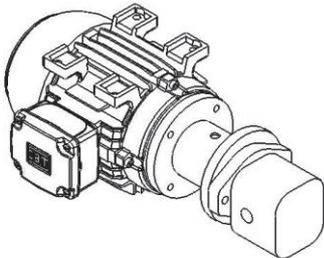
O Quadro 10 mostra as especificações para o Módulo 04 - Válvula Hidráulica

Quadro 10 - Especificação do Módulo 04 - Válvula Hidráulica

Nome do módulo: Válvula Hidráulica	
Descrição: Permite o acionamento do cilindro Hidráulico	
Desenho (esboço):	
	
Diretrizes de modularização:	
Multiaplicativo.	Atualização.
Evolução Tecnológica.	Reciclagem.
Mudanças Planejadas o projeto.	Manufatura / produção.
Unidade Comum.	Padronização de componentes.
Organização e Processo.	Montagem e desmontagem /manual.
Testes Individuais ou Separados.	Peso dos componentes.
Fornecedores Estratégicos.	Materiais.
Manutenção e Serviço.	
Soluções técnicas (MIM):	
Válvula Hidráulico.	
Interfaces (MI):	
Motor e Bomba.	
Elementos de fixação padronizados.	
Mangueiras e conexões.	
Propriedades do Produto – QFD:	
Eficiência das partes hidráulicas.	
Pressão do cilindro hidráulico.	
Fácil identificação para uso.	
Operação do equipamento.	
Manutenção e substituição de componentes.	
Peso dos componentes.	
Padronização de componentes.	

O Quadro 11 mostra as especificações para o Módulo 05 - Motor e Bomba

Quadro 11 - Especificação do Módulo 05 - Motor e Bomba

Nome do módulo: Motor e Bomba	
Descrição: Gera a força Hidráulica para o funcionamento do rachador de lenha	
Desenho (esboço):	
	
Diretrizes de modularização:	
Multiaplicativo.	Manutenção e Serviço.
Evolução Tecnológica.	Atualização.
Mudanças Planejadas o projeto.	Reciclagem.
Especificações Técnicas.	Manufatura / produção.
Unidade Comum.	Padronização de componentes.
Organização e Processo.	Montagem e desmontagem /manual.
Testes Individuais ou Separados.	Peso dos componentes.
Fornecedores Estratégicos.	Materiais.
Soluções técnicas (MIM):	
Motor e Bomba.	
Interfaces (MI):	
Conjunto Estrutura do corpo.	Elementos de fixação padronizados.
Reservatório Hidráulico.	Chave liga /desliga.
Cilindro Hidráulico.	Mangueiras e conexões.
Válvula hidráulica.	
Propriedades do Produto – QFD:	
Formato do equipamento que transmita robustez.	
Eficiência das partes hidráulicas.	
Pressão do cilindro hidráulico.	
Eficiência das partes Elétricas.	
Fácil identificação para uso.	
Operação do equipamento.	
Manutenção e substituição de componentes.	
Tempo e esforço para montagem / desmontagem.	
Peso dos componentes.	
Padronização de componentes.	

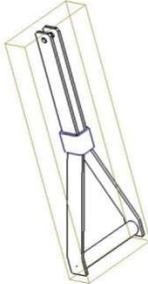
O Quadro 12 mostra as especificações para o Módulo 06 - Tratamento superficial

Quadro 12 - Especificação do Módulo 06 - Tratamento superficial

Nome do módulo: Tratamento superficial									
Descrição: Proteção superficial do rachador de lenha									
Desenho (esboço):									
Diretrizes de modularização: Unidade Comum Manufatura / produção									
Soluções técnicas (MIM): Tratamento superficial									
Interfaces (MI): <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">Conjunto Estrutura do corpo</td> <td style="width: 50%;">Motor e Bomba.</td> </tr> <tr> <td>Reservatório Hidráulico.</td> <td>Cabeçalho de transporte.</td> </tr> <tr> <td>Cilindro Hidráulico.</td> <td>Bandejas e Martelo.</td> </tr> <tr> <td>Válvula hidráulica.</td> <td></td> </tr> </table>		Conjunto Estrutura do corpo	Motor e Bomba.	Reservatório Hidráulico.	Cabeçalho de transporte.	Cilindro Hidráulico.	Bandejas e Martelo.	Válvula hidráulica.	
Conjunto Estrutura do corpo	Motor e Bomba.								
Reservatório Hidráulico.	Cabeçalho de transporte.								
Cilindro Hidráulico.	Bandejas e Martelo.								
Válvula hidráulica.									
Propriedades do Produto – QFD: Cor uniforme Vida útil Transporte e instalação									

O Quadro 13 mostra as especificações para o Módulo 07 - Cabeçalho de Transporte.

Quadro 13 - Especificação do Módulo 07 - Cabeçalho de Transporte

Nome do módulo: Cabeçalho de Transporte	
Descrição: Permite que o equipamento seja deslocado manualmente e em pequenas distâncias.	
Desenho (esboço):	
	
Diretrizes de modularização:	
Multiaplicativo.	Padronização de componentes.
Evolução Tecnológica.	Montagem e desmontagem /manual.
Unidade Comum.	Peso dos componentes.
Reciclagem.	Materiais.
Manufatura / produção.	
Soluções técnicas (MIM):	
Cabeçalho de Transporte.	
Interfaces (MI):	
Conjunto Estrutura do corpo.	
Elementos de fixação padronizados.	
Propriedades do Produto – QFD:	
Vida útil.	
Transporte e instalação.	
Manutenção e substituição de componentes.	
Tempo e esforço para montagem / desmontagem.	
Reciclagem.	
Padronização de componentes.	

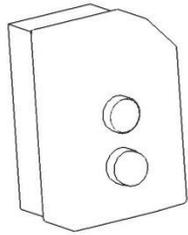
O Quadro 14 mostra as especificações para o Módulo 08 - Elementos de fixação Padronizados.

Quadro 14 - Especificação do Módulo 08 - Elementos de fixação Padronizados

Nome do módulo: Elementos de fixação Padronizados	
Descrição: Realiza a fixação entre os componentes.	
Desenho (esboço):	
	
Diretrizes de modularização:	
Multiaplicativo.	Padronização de componentes.
Evolução Tecnológica.	Montagem e desmontagem /manual.
Unidade Comum.	Peso dos componentes
Manufatura / produção	Materiais.
Soluções técnicas (MIM):	
Elementos de fixação Padronizados	
Interfaces (MI):	
Conjunto Estrutura do corpo.	Cabeçalho de transporte.
Reservatório Hidráulico.	Elementos de fixação padronizados.
Cilindro Hidráulico.	Chave liga /desliga.
Válvula hidráulica.	Bandejas e Martelo.
Motor e Bomba.	
Propriedades do Produto – QFD:	
Formato do equipamento que transmita robustez.	
Vida útil.	
Transporte e instalação.	
Manutenção e substituição de componentes.	
Tempo e esforço para montagem / desmontagem.	
Reciclagem.	
Padronização de componentes.	

O Quadro 15 mostra as especificações para o Módulo 09 - Chave Liga/desliga.

Quadro 15 - Especificação do Módulo 09 - Chave Liga/desliga

Nome do módulo: Chave Liga/desliga	
Descrição: Realiza a função de ligar e desligar o equipamento	
Desenho (esboço):	
	
Diretrizes de modularização:	
Multiaplicativo.	Manutenção e Serviço.
Evolução Tecnológica.	Reciclagem.
Unidade Comum.	Padronização de componentes.
Testes Individuais ou Separados.	Montagem e desmontagem /manual.
Fornecedores Estratégicos.	
Soluções técnicas (MIM):	
Chave Liga/desliga.	
Interfaces (MI):	
Conjunto Estrutura do corpo.	
Motor e Bomba.	
Elementos de fixação padronizados.	
Propriedades do Produto – QFD:	
Cor uniforme.	
Eficiência das partes Elétricas.	
Vida útil.	
Fácil identificação para uso.	
Operação do equipamento.	
Manutenção e substituição de componentes.	
Padronização de componentes.	

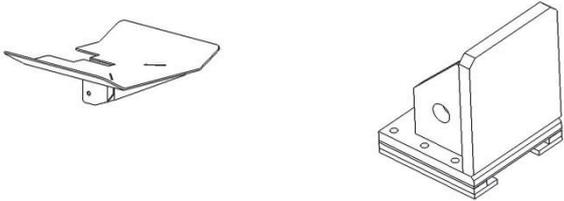
O Quadro 16 mostra as especificações para o Módulo 10 - Mangueiras e Conexão.

Quadro 16 - Especificação do Módulo 10 - Mangueiras e Conexão

Nome do módulo: Mangueiras e Conexão	
Descrição: Realiza a ligação entre a válvula, cilindro, motor e bomba e reservatório.	
Desenho (esboço):	
	
Diretrizes de modularização:	
Multiaplicativo.	Padronização de componentes.
Especificações Técnicas.	Montagem e desmontagem /manual.
Unidade Comum.	Peso dos componentes.
Atualização.	Materiais.
Manufatura / produção.	
Soluções técnicas (MIM):	
Mangueiras e Conexão.	
Interfaces (MI):	
Conjunto Estrutura do corpo.	Válvula hidráulica.
Reservatório Hidráulico.	Motor e Bomba.
Cilindro Hidráulico.	
Propriedades do Produto – QFD:	
Eficiência das partes hidráulicas.	
Pressão do cilindro hidráulico.	
Operação do equipamento.	
Manutenção e substituição de componentes.	
Tempo e esforço para montagem / desmontagem.	
Padronização de componentes.	

O Quadro 17 mostra as especificações para o Módulo 11 - Bandejas e Martelo.

Quadro 17 - Especificação do Módulo 11 - Bandejas e Martelo

Nome do módulo: Bandejas e Martelo	
Descrição: Posicionar a lenha, apoiar a lenha contra a lâmina.	
Desenho (esboço):	
	
Diretrizes de modularização:	
Multiaplicativo.	Padronização de componentes.
Especificações Técnicas.	Montagem e desmontagem /manual.
Reciclagem.	Peso dos componentes.
Manufatura / produção.	Materiais.
Soluções técnicas (MIM):	
Bandejas e Martelo.	
Interfaces (MI):	
Conjunto Estrutura do corpo.	
Cilindro Hidráulico.	
Elementos de fixação padronizados.	
Propriedades do Produto – QFD:	
Formato do equipamento que transmita robustez.	
Continuidade e penetração dos cordões de solda.	
Resistência mecânica dos componentes estruturais	
Rigidez da estrutura.	
Visibilidade dos produtos.	
Fácil identificação para uso.	
Operação do equipamento.	
Manutenção e substituição de componentes.	
Padronização de componentes.	