

**SISTEMATIZAÇÃO DA CONCEPÇÃO DE PRODUTOS MODULARES:  
UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA DE REFRIGERAÇÃO**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**SISTEMATIZAÇÃO DA CONCEPÇÃO DE PRODUTOS MODULARES:  
UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA DE REFRIGERAÇÃO**

**Dissertação submetida à**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**para a obtenção do grau de**

**MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**ALEXANDRE MALEZZAN FLEIG**

**Florianópolis, junho de 2008**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**

**SISTEMATIZAÇÃO DA CONCEPÇÃO DE PRODUTOS MODULARES:**  
**UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA DE REFRIGERAÇÃO**

**ALEXANDRE MALEZZAN FLEIG**

**Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de**

**MESTRE EM ENGENHARIA**  
**ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Sendo aprovada em sua forma final.**

---

**Prof. Eduardo Alberto Fancello, Dr.**  
**Coordenador do Curso**

---

**Prof. André Ogliari, Dr. Eng.**  
**Orientador - UFSC**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Acires Dias, Dr. Eng.**  
**Departamento de Engenharia Mecânica - UFSC**

---

**Prof. Victor Juliano de Negri, Dr. Eng.**  
**Departamento de Engenharia Mecânica**  
**UFSC**

---

**Prof. Nelson Back, Ph.D.**  
**Departamento de Engenharia de Materiais**  
**UFSC**

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 Generalidades

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. Isso tem aumentado a complexidade e o número de variações nos produtos, além de exigir maior velocidade no processo de desenvolvimento, produção e distribuição para venda.

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.

Eggen (2003) argumenta que o desafio dessa nova era dos negócios é gerar produtos facilmente adaptáveis às necessidades dos consumidores. Essa nova modalidade de produtos carrega um grande número de variações que permite a adaptação para grupos de indivíduos diferenciados. A meta é entregar o benefício da flexibilidade e ainda disponibilizar os produtos no mercado mais cedo.

### 1.2 Problema de pesquisa

O desenvolvimento de produtos flexíveis e facilmente configuráveis ao estilo de vida do consumidor é geralmente uma tarefa complexa. Mudar a cultura da empresa para produtos configuráveis requer uma decisão estratégica. Os produtos e processos são afetados e esse fato exige uma mudança organizacional e cultural que pode ser difícil de atingir, dependendo do ramo de negócio e do tamanho da organização (GERSHENSON *et al.*, 2003).

A modularidade tem ajudado as empresas a administrar o aumento de complexidade da tecnologia, pois ao dividir o produto em subsistemas menores, projetistas, fabricantes e usuários têm tido enorme ganho em flexibilidade. Para Baldwin e Clark (2000), empresas diferentes podem assumir a responsabilidade pelo desenvolvimento dos módulos e estarem convictas de que um produto confiável resultará do esforço coletivo. Concentrando esforço

em um único módulo, um ou mais fornecedores podem realizar experimentos paralelos, buscando a solução mais eficiente para o produto.

Por outro lado, é importante entender como a utilização de componentes, processos e soluções já aplicadas em outros projetos poderá trazer vantagens na curva de aprendizado e economia de escala. Erixon (1998) reforça a importância de discutir tanto a estratégia como os aspectos de desenvolvimento e manufatura de uma família de produtos configuráveis derivados de uma plataforma comum. Alguns estudos publicados por Erixon (1994) mostram que o projeto modular é uma base excelente para renovação de projetos. Contudo, Weck e Simpson (2006) recomendam uma análise cuidadosa para buscar a melhor configuração de produtos flexíveis com vistas a obter ganho de competitividade. Assim, as questões que se propõe neste trabalho são:

- a) Quais as dificuldades na concepção modular de produtos que dificultam a sua sistematização na indústria de refrigeração?
- b) Quais as possibilidades de otimizar o potencial de sistemáticas para a concepção de projetos de produtos modulares na indústria de refrigeração?

A relevância dessas questões reside no fato de que a concepção modular é a alternativa para idealizar e produzir eletrodomésticos para manter a competitividade dessa indústria. Espera-se, com a sua discussão, identificar as dificuldades e propor soluções ao utilizar-se uma forma sistematizada de projeto de produto usando uma metodologia de projeto de produto modular. A seguir são apresentados os objetivos do trabalho bem como suas justificativas e potenciais contribuições.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo geral**

Sistematizar o projeto de produtos modulares com base em um modelo de referência para a indústria de refrigeração, visando a melhor utilização dos benefícios da concepção de produtos modulares.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Para atingir o objetivo principal do trabalho, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar as propostas de metodologias para o projeto de produtos modulares e definir aquela mais apropriada à concepção de produtos na indústria de refrigeração;
- b) Sistematizar procedimentos para a concepção de produtos modulares no processo de desenvolvimento de produtos de uma empresa da indústria de refrigeração;
- c) Avaliar a sistemática proposta por meio de estudo de caso.

#### **1.4 Justificativas e limitações**

Um estudo realizado por Warneck (1993) mostra que os custos da variação dos produtos são geralmente subestimados. Por variação de produtos entende-se a possibilidade de, a partir de um produto existente, realizar alterações que visam atender necessidades e expectativas dos consumidores, ou seja, a customização. A customização engloba custos que geralmente não são bem entendidos, são difíceis de ser identificados e frequentemente não são considerados pelas pessoas que tomam as decisões. O resultado comum são os altos custos de planejamento e projeto, logística, administração de peças, controle de manufatura e gerenciamento de dados, com necessidades de equipamentos adicionais. Por fim, a qualidade do produto também pode ficar prejudicada.

No entendimento de Erixon (1998), a modularização do produto pode ser uma alternativa inovadora no desenvolvimento passo a passo do produto, de forma a contribuir com a competitividade em custos, e com a rapidez da colocação do produto no mercado. A variação de produtos relaciona-se diretamente com a modularização na medida em que o projeto modular permite a otimização dos custos envolvidos na customização. Os efeitos positivos da modularização poderão ser observados em todo o processo, desde a concepção até a assistência técnica após a venda. Erixon (1998) afirma ainda que a inserção do projeto modular no desenvolvimento de produtos simplifica o processo e auxilia no planejamento das mudanças do sistema de produção. A redução do tempo de desenvolvimento do produto na fase de implementação, também é um dos efeitos positivos do aumento da modularidade. Menores tempos de fabricação contribuem para a redução do custo de conversão<sup>1</sup>, aumento da qualidade e diminuição do tempo de entrega.

---

<sup>1</sup> Custo de conversão ou custo de transformação: é a soma de todos os custos de produção, exceto os relativos a matérias-primas e outros materiais adquiridos e empregados sem nenhuma modificação pela empresa (componentes adquiridos prontos; embalagens compradas). Representam esses custos de transformação todos os gastos incorridos no processo de transformação da matéria-prima em produto acabado (LIMEIRA, 2002).

Ainda segundo Erixon (1998), a arquitetura modular facilita a aproximação entre a equipe de desenvolvimento e de produção, visto que o fluxo de informação será rápido e fácil de entender, possibilitando a aplicação do desenvolvimento simultâneo de produtos e processos.

Ericsson e Erixon (1999) constataram que existem muitos estudos, de diferentes autores, suportando a teoria de que o aumento da modularidade gera efeitos positivos no fluxo total de informações e materiais, desde o desenvolvimento do produto, compra dos materiais até a estocagem e entrega.

No caso da indústria nacional de eletrodomésticos, os anos 90 marcaram a entrada de diversos competidores no mercado de modo que as posições de liderança passaram a ser disputadas por marcas posicionadas no mercado global. Assim sendo, ampliadas as opções para o consumidor, tanto em qualidade como em preço, e ampliadas as possibilidades das empresas atuarem fora do mercado nacional, fez-se necessário encontrar soluções que garantam espaços nessa busca pela sobrevivência e crescimento. A empresa-alvo deste estudo, como muitas do mercado nacional e global, compete para manter-se ativa no novo cenário exigente e desafiador e visa, com a modularidade, atender a esses propósitos.

Dentro desse contexto, a proposta deste trabalho (sistematização da concepção de produtos modulares: um estudo de caso na indústria de refrigeração), está alinhada à necessidade da indústria de refrigeração nacional em encontrar alternativas para o processo de desenvolvimento de produtos, como as assinaladas por Erixon (1998), Ericsson e Erixon (1999) e Warneck (1993).

Ter uma sistematização da concepção de produtos modulares na indústria em questão constitui uma opção que possibilita usufruir dos benefícios dessa forma de projeto, aumentando a eficiência da empresa e reduzindo o tempo de desenvolvimento de produtos.

A sistematização proposta potencializará ganhos para a modularidade por meio diferentes produtos a partir das combinações de componentes comuns. A simplificação da manufatura dos produtos é outra contribuição prevista, que impacta na gestão de custos de produção.

Por outro lado, este trabalho não tem por objetivo discutir a necessidade ou não da implantação de sistemas modulares na indústria de refrigeração. Erixon (1998), Sako e Murray (1999) e Gershenson *et al.* (2004) discorrem com muita propriedade sobre as vantagens e desvantagens das empresas flexibilizarem seus produtos por meio da modularidade. Também não é objetivo deste trabalho realizar uma ampla exploração e discussão de todas as metodologias existentes que tratam do tema modularidade, como o

realizado por Maribondo (2002), mas irá se apropriar de alguns conceitos que embasarão a escolha de uma das metodologias disponíveis.

Este trabalho não tem por objetivo implementar a modularidade em todo o processo de projeto. Existem limitações de orçamento, prazo, tecnologias disponíveis e mudanças culturais na empresa-alvo que dificultam esse alcance.

### **1.5 Estruturação do trabalho**

Este estudo encontra-se dividido em cinco capítulos, iniciando com a introdução ao tema e apresentação do problema a ser estudado, passa pela revisão do processo de desenvolvimento de produto e revisão do processo de projeto modular, apresenta o estudo de caso e as conclusões obtidas sobre as soluções desenvolvidas. Os capítulos estão distribuídos da seguinte maneira:

**Capítulo 1** – Introdução: nesse capítulo apresentam-se as generalidades sobre o tema escolhido, o problema de pesquisa, os objetivos, as justificativas e limitações e a estrutura do trabalho.

**Capítulo 2** – Desenvolvimento de produtos – revisão bibliográfica: nessa parte do trabalho apresenta-se uma revisão teórica sobre projeto de desenvolvimento de produtos e conceitos de gerenciamento de projetos de desenvolvimento de produtos. Também nesse capítulo apresentam-se modelos de desenvolvimento de produto com ênfase no modelo empregado pela empresa-alvo deste estudo, com o detalhamento do processo de projeto que se constitui numa das fases básicas do processo de desenvolvimento de produtos na qual a concepção de produtos modulares se insere com maior intensidade.

**Capítulo 3** – Projeto modular - avaliação e seleção de metodologias para o desenvolvimento de projetos modulares: nesse capítulo faz-se uma revisão dos conceitos de modularidade bem como de metodologias que orientam para o desenvolvimento de produtos modulares. Discutem-se ainda os critérios para seleção de uma metodologia específica a ser aplicada nesta pesquisa. A finalidade desse capítulo é obter o embasamento necessário para a sistematização proposta.

**Capítulo 4** – Proposta de sistematização da concepção de produtos modulares: nesse capítulo apresenta-se 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 5** – Conclusões e recomendações: nessa parte do trabalho apresentam-se as principais conclusões deste estudo e recomendações para pesquisas futuras que tenham por objetivo contribuir para o desenvolvimento de produtos modulares.

## CAPÍTULO 3

### PROJETO DE PRODUTOS MODULARES - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a importância do projeto de produtos modulares bem como definições de modularidade e conceitos relacionados. São mostrados ainda os determinantes estratégicos e econômicos relacionados ao projeto de produtos modulares e uma visão geral dos procedimentos e condições para a modularização, com suas vantagens e desvantagens. Diferentes metodologias pesquisadas serão descritas bem como a metodologia utilizada como base para a proposta de sistematização, que é o objetivo deste trabalho.

#### 3.1 A importância do projeto de produtos modulares

A modularidade não é um conceito recente. Já nos anos 60, dois pesquisadores, Christopher Alexander e Herbert Simon, buscavam uma forma de projetar sistemas complexos e, embora nunca tenham utilizado a palavra modularidade, a linha central de suas idéias apontava nessa direção, como se pode perceber nos ensaios que realizaram: a arquitetura da complexidade (SIMON *apud* BALDWIN e CLARK, 1999) e apontamentos sobre a síntese da forma (ALEXANDER *apud* BALDWIN e CLARK, 1999).

Starr (1965) falava na possibilidade de mudanças na forma de se produzir peças que poderiam ser combinadas de diversas maneiras, para que melhor atendessem às solicitações do mercado e do consumidor. Ele denominou essa ação de produção modular. As áreas de montagem de produtos das empresas têm usado a modularidade para simplificar processos de produção complexos por mais de meio século. Geralmente, produtos complicados são produzidos dividindo-se a fabricação em vários módulos ou células de produção. A indústria automobilística junto à indústria de móveis, nos Estados Unidos, de acordo com Romano (2003), foi uma das pioneiras na utilização de sistemas modulares.

Os projetos de sistemas modulares é que permitiram o aumento da venda de automóveis, na medida em que os clientes podiam optar por uma grande variedade de modelos e customizar seu carro. A indústria automobilística continua sendo uma boa referência porque produz diferentes componentes para um automóvel, em diferentes plantas de produção, e, no fim, a montagem é realizada em um único local. Essa indústria consegue atuar dessa forma peculiar porque possui um projeto preciso e específico para cada uma das peças/partes do automóvel a ser montado, que é entregue aos fornecedores responsáveis pela fabricação das peças.

A modularidade também está sendo utilizada quando se quer customizar produtos finais. Dessa forma, os consumidores podem combinar, eliminar ou acrescentar componentes em um produto, de acordo com suas necessidades e gostos pessoais. Nos Estados Unidos são populares os *kits* nos quais o “faça você mesmo” é o grande apelo. São produtos variados, vendidos em módulos, que podem ser montados pelo consumidor. Outro exemplo clássico de uso da modularidade para customização, conforme Baldwin e Clark (1999) é como são produzidas hoje as roupas de cama: é possível ao consumidor comprar, em lojas diferentes, de diferentes fabricantes, as diferentes peças de uma roupa de cama e combiná-las perfeitamente entre si, por causa das padronizações realizadas pelos fabricantes desses produtos. Pode-se dizer, então, que o primeiro propósito da modularidade é o ganho da flexibilidade para a produção em massa.

Meyer e Lehnerd (*apud* SIMPSON *et al.*, 2006) salientam que muitas empresas priorizam seus novos produtos um de cada vez, com foco em consumidores individuais. Os projetos geralmente falham no sentido de aproveitar o potencial de comunalização<sup>2</sup>, compatibilidade<sup>3</sup>, padronização<sup>4</sup> e modularização<sup>5</sup> entre os diferentes produtos ou em uma linha. O resultado final desse tipo de decisão é uma gama de produtos com custo alto, devido à necessidade de variedade de componentes e de altos investimentos em equipamentos.

Para manter a competitividade, as empresas estão utilizando plataformas de produtos e família de produtos, aumentando as opções oferecidas, reduzindo o tempo de desenvolvimento e obtendo ganhos de escala com a compra de componentes padronizados em maior volume.

Maribondo (2002) menciona duas importantes contribuições de projeto modular: as razões funcionais e as razões de comercialização. As razões funcionais relacionam-se à melhoria de desempenho e à capacidade de modificar rapidamente a configuração do produto. Essas melhorias possibilitam atender rapidamente as demandas de mercado com rápido aumento da capacidade de produção, por meio do fornecimento ou aquisição de novos módulos ou substituição de alguns módulos por outros. As razões de comercialização dizem respeito ao atendimento das necessidades individuais dos clientes quando é possível criar

---

<sup>2</sup> Pertencente a todos ou a muitos. No caso específico de componentes significa o compartilhamento entre diversos produtos (FERREIRA, 2004).

<sup>3</sup> Pode ser combinado com outras coisas, sem conflito ou oposição (FERREIRA, 2004).

<sup>4</sup> Uso de padrões, modelos ou critérios pré-estabelecidos. Uniformização na produção de objetos do mesmo gênero, segundo o padrão (FERREIRA, 2004).

<sup>5</sup> Decomposição de produtos e/ou modelos acabados numa lista de itens, que serão rearranjados dentro de módulos, normalmente um grupo de itens, os quais podem ser planejados como um grupo (MARIBONDO, 2002).

produtos totalmente personalizados a partir da combinação de um grupo de componentes básicos, de interfaces padronizadas, intercambiáveis entre si e denominados de módulos.

### 3.2 Características de projetos de produtos modulares

O projeto de produto modular, de acordo com Ulrich e Eppinger (*apud* GERSHENSON *et al.*, 2003) deve possuir as seguintes características:

- 1) Cada elemento funcional do produto é constituído por peças que apresentam poucas interações com outras partes do mesmo produto;
- 2) O projeto de produto modular permite que alterações de projeto possam ser feitas em uma peça, sem que esta alteração afete as demais funções do produto.

Para ilustrar o conceito, o esquema apresentado na Figura 3.1 corresponde a um produto que se encontra dividido em vários módulos no nível 1 e estes, por sua vez, são compostos por sub-módulos (nível 2). Os módulos de primeiro nível possuem poucas interações com as outras partes do produto. Por exemplo, as alterações que ocorrerem nos sub-módulos que estão ligados ao módulo 1 afetarão apenas as funções desse módulo, sem interromper o funcionamento do produto como um todo.

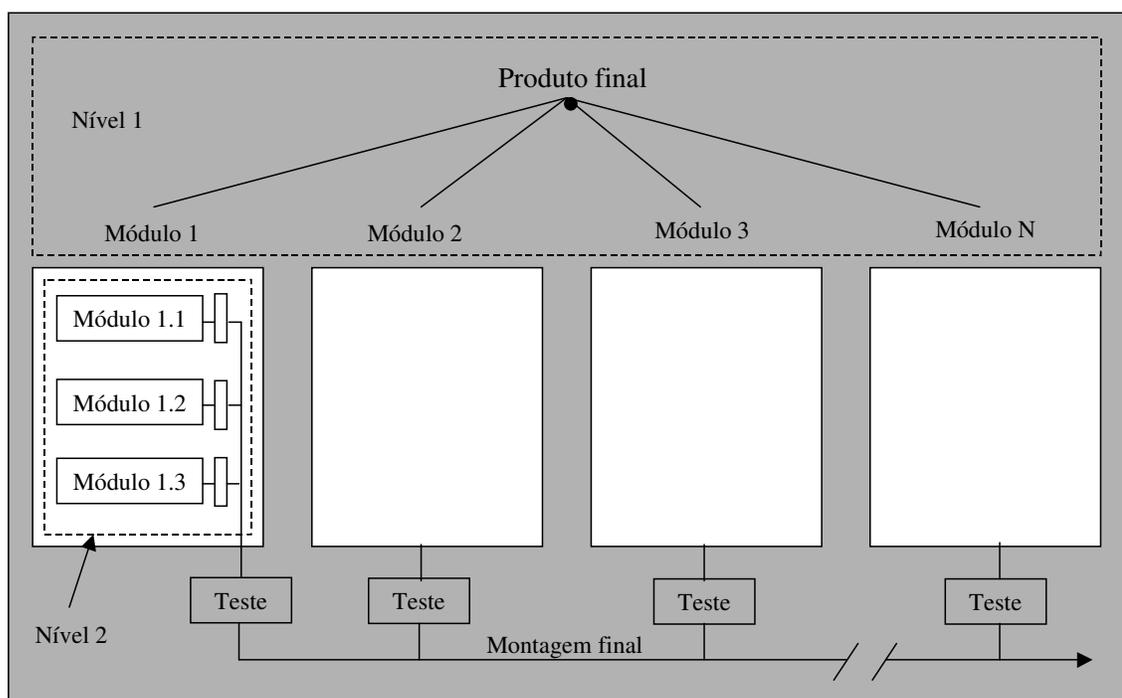


Figura 3.1 – Estrutura do produto, dividida em módulos principais (nível 1) e sub-módulos (nível 2) (Adaptado de ERIXON, 1998)

### 3.2.1 Vantagens da modularização

Para Ericsson e Erixon (1999), a estrutura do produto é a chave para o gerenciamento da complexidade. Quebrando-se uma estrutura complexa em pequenas unidades mais fáceis de serem gerenciadas as empresas podem ter o controle do produto e suas atividades relacionadas. Uma boa estrutura do produto pode ser obtida por meio da modularidade. O desenvolvimento de projeto de produtos modulares converge para muitos efeitos positivos sendo que o uso apropriado da modularização traz as seguintes vantagens:

#### a) Ampliação da variedade de produtos

Modularidade é um conceito versátil que pode ser utilizado para resolver uma grande variedade de problemas de projeto. Em alguns casos, a simplificação do processo de projeto pode ser a melhor alternativa; em outros, o propósito da modularidade pode ser ganho de escala e de produção, reduzindo custos produtivos. A modularidade pode suportar a customização em massa, ou seja, oferecer 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 ou para um pequeno grupo de consumidores. Comumente, as empresas têm optado por processos que suportam a produção de forma padronizada. Combinar customização com produção em massa parecia ser, a princípio, paradoxal, mas modularidade pode ser a chave para atingir customização em massa, levando em consideração custos mais baixos.

#### 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.

Ulrich e Eppinger (1995) argumentam que produtos com projeto modular podem oferecer maior variedade sem adicionar complexidade excessiva no sistema produtivo. Um exemplo muito claro desse tipo de produto é dado pelo fabricante de relógios Swatch que produz centenas de diferentes modelos de relógios e que atinge essa variedade com custos relativamente baixos, combinando módulos padronizados de forma diferente. Os custos de desenvolvimento de novos produtos também podem ser reduzidos pela comunalização de plataformas e componentes, como a indústria automobilística, sem prejuízos ao modelo que querem lançar, mas com enormes vantagens em relação aos demais concorrentes.

c) Desenvolvimento rápido da tecnologia

Uma vez que a modularidade possibilita grande flexibilidade, permite, então, que diversas novas combinações possam ser feitas e uma grande e nova variedade de produtos possa ser desenvolvida. Em consequência, avanços mais rápidos em termos de desenvolvimento de tecnologia ocorrem, pois a empresa consegue, dessa maneira, responder mais rapidamente às expectativas do consumidor. Os componentes e a tecnologia envolvida em seu desenvolvimento, ou mesmo a tecnologia embarcada nos componentes, também passam a ser beneficiados em termos de rapidez de melhorias em razão da modularidade e suas possibilidades.

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. Uma solução encontrada para um problema em um módulo pode ter mínima ou nenhuma interferência nos demais.

Em termos de reciclagem, a limitação do número de materiais empregados e a preocupação com a utilização de materiais não hostis ao meio ambiente, tornam mais fácil 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. Agilidade no desenvolvimento de produto, dada pela flexibilidade modular com possibilidades de ampliação da gama de variação de produtos, caracteriza-se como grande vantagem competitiva atual e futura.

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

Kamrani e Salhieh (2000) salientam que 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. Em outras palavras, é possível fornecer melhor qualidade por meio da decomposição do projeto para simplificar o problema total. Algumas vezes a complexidade do problema

pode ser reduzida em problemas menores que se tornam mais fáceis de serem solucionados. Uma vez encontrada a solução para um problema menor, decomposto do problema principal, aumentam as chances de encontrar-se a solução para outros problemas até resolvê-los como um todo.

### 3.2.2 Desvantagens da modularização

Como comentado por Sako e Murray (1999), uma empresa deve perceber quando está indo longe demais com a modularização. A Volkswagen, por exemplo, usou a mesma plataforma para a produção de 11 modelos diferentes, que vão desde o Audi até o *New Beetle*. O consumidor, no entanto, começou a perceber que as diferenças funcionais entre os modelos não eram significativas o suficiente para que ele pagasse muito mais por um modelo do que pelo outro. Essa percepção pode não ser totalmente correta, mas a percepção do consumidor é a que vale na decisão de compra. Portanto, a modularidade quando mal gerenciada pode, sim, trazer resultados inesperados como os descritos a seguir.

#### a) Limitações

Sako e Murray (1999) comentam que algumas vezes a arquitetura integral pode ser a melhor solução. Ilustram com o exemplo no qual para se atingir um determinado nível de vibração, ruído e estabilidade em carros, em diferentes níveis de velocidade, os engenheiros precisam ter um conhecimento profundo das conexões entre a estrutura, chassi, motor e sistema de direção. Isso significa dizer que sem a integração das competências dos produtores de componentes para carros, os itens mencionados quando produzidos por diferentes fornecedores, cada um em sua especialidade, podem não conduzir à montagem de um carro funcional.

Ainda salientam Sako e Murray (1999) que outro ponto capaz de ser considerado como uma limitação para a modularização, que conflita as razões econômicas e as técnicas, é a complexidade das interfaces. Modularização em excesso resultará em um número elevado de interfaces que, ao invés de simplificar, aumentará a complexidade do projeto.

#### b) Cuidados na modularização

Os produtos modulares apresentam mais facilidade de ser copiados porque apresentam a possibilidade da aplicação da engenharia reversa com mais facilidade. Ainda, ao longo do

tempo, os projetos modulares podem criar uma tendência para inibição de soluções inovadoras pela tendência à utilização de componentes já existentes e consolidados.

### 3.3 Definições de projeto de produtos modulares

Baldwin e Clark (1999) consideram modularidade como um conceito que tem se mostrado utilizável em diferentes campos que lidam com sistemas complexos, como por exemplo, a neurociência e a psicologia, robótica, inteligência artificial, engenharia industrial e de produto, informática, entre outros.

A modularidade (MARIBONDO, 2002) pode ser entendida como sendo uma forma especial de projeto na qual, intencionalmente, cria-se um fácil acoplamento entre os componentes do produto, por meio da padronização das especificações das interfaces dos componentes. Para que a modularidade ocorra, faz-se necessário aumentar a similaridade entre as funções e as formas do sistema e minimizar os efeitos incidentais<sup>6</sup> entre os componentes físicos desse sistema.

Eggen (2003) diferencia o projeto de produto integral do projeto modular: o projeto de produto integral inclui um mapeamento desde os elementos funcionais até os componentes físicos e as conexões entre os componentes. O projeto de produto modular, por sua vez, faz uma correspondência um a um dos módulos e funções. Dessa forma, o sistema é construído por módulos que interagem entre si por meio de um conjunto de regras bem definidas. Eggen (2003) define o conceito de modularidade como um método utilizado pelas empresas como alternativa de variação de seus produtos, ao mesmo tempo em que facilita a tradicional produção em massa que se transforma em customização em massa. Na opinião desse autor, entretanto, não existe um guia para determinar qual o melhor método de modularidade a ser seguido por uma empresa. Para Eggen (2003) modularidade é uma ferramenta que permite quebrar a estrutura do produto em pequenas, mas gerenciáveis unidades, e, dessa forma, tornar a customização em massa possível. Um módulo é um bloco de construção estruturalmente independente, que faz parte de um grande sistema, com interfaces muito bem definidas. O módulo é conectado ao restante do sistema de uma forma que o desenvolvimento independente possa ocorrer.

Ulrich e Tung (*apud* Erixon, 1998) identificam cinco diferentes categorias de modularidade (Figura 3.2):

---

<sup>6</sup> Relativo à incidente; acidental (Ferreira, 2004).

- 1) Modularidade por meio do compartilhamento de componentes: quando um ou mais componentes alternativos são compatíveis com um mesmo produto básico;
- 2) Modularidade por meio da permutação de componentes: quando o mesmo componente é usado em diferentes produtos;
- 3) Modularidade por meio da adaptação para a variação: quando um ou mais componentes padronizados são unidos a um grupo de componentes adicionais de dimensões variadas;
- 4) Modularidade por meio do uso de barramento: quando se pode unir num determinado componente básico, diferentes componentes numa mesma posição ou em diferentes posições.
- 5) Modularidade seccional: quando se pode unir vários componentes uns aos outros, por meio de interfaces padronizadas com o objetivo de criar uma seqüência ou uma estrutura de componentes.

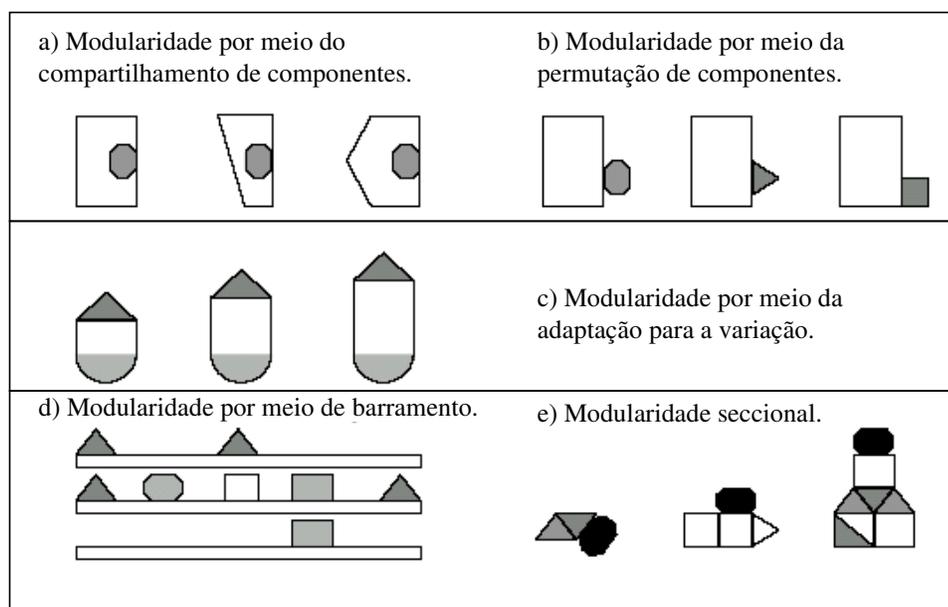


Figura 3.2 - Cinco diferentes tipos de modularidade (Adaptado de ERIXON, 1998, p. 54)

Um caso especial de modularização, de acordo com Eggen (2003), é aquele no qual a plataforma é desenvolvida como uma base para a variação de produtos. A plataforma de produto inclui o projeto e os componentes compartilhados por um conjunto de produtos. Uma plataforma efetiva é crucial para obter sucesso com uma família de produtos e serve como ponto de partida para uma série de novos produtos relacionados. Produtos que compartilham uma plataforma comum, mas que possuem acessórios específicos e funcionalmente

solicitados por diferentes pesquisas com consumidores formam uma família de produtos. Uma família de produtos normalmente atende um segmento de mercado, enquanto produtos específicos na família buscam atingir nichos no segmento de mercado. O desenvolvimento de produto, dessa maneira, torna-se uma atividade integrada com foco na reutilização dos ativos (equipamentos e ferramentas), buscando a diferenciação por meio de acessórios. A Figura 3.3 ilustra os desdobramentos das necessidades de mercado em uma família de produtos.

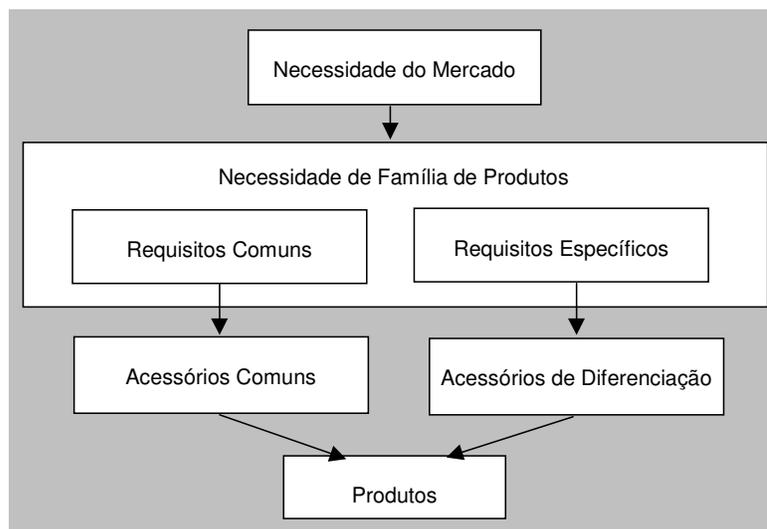


Figura 3.3 - Desdobramento das necessidades do mercado em família de produtos (BASYS, 2002)

Ericsson e Erixon (1999) definem módulos como estruturas físicas que têm, individualmente, um correspondente na estrutura funcional. Eles podem ser pensados como um simples bloco de construção com interfaces definidas.

Produtos modulares são definidos por Stone *et al.* (1998) como máquinas, montagens ou componentes que atingem todas as funções por meio da combinação de blocos ou módulos diferentes.

Liang *et al.* (2002) dizem que o produto é modular quando as interfaces dos componentes tenham sido completamente especificadas e padronizadas.

Em acordo com os demais autores citados, Kamrani e Salhieh (2000) afirmam que projeto modular é uma técnica de projeto que pode ser usada para desenvolver projetos complexos, usando componentes similares. Cada componente projetado para a modularidade deve suportar uma ou mais funções. Quando componentes são estruturados juntos, para formar um produto, eles suportarão diversas funções. A modularidade pode ser aplicada no projeto do produto, problemas de projeto, produção ou do sistema. O ideal é usar o projeto modular ao mesmo tempo em todos os casos mencionados. Ainda de acordo com Kamrani e

Salhieh (2000), produtos modulares preenchem várias funções por meio da combinação dos blocos distintos ou módulos construtivos. Um importante aspecto da modularidade é a criação de uma unidade básica principal na qual diferentes módulos possam ser encaixados, possibilitando, então, que uma grande variedade de versões do mesmo módulo possa ser produzida. O módulo principal deve ter suficiente capacidade para suportar as variações de performance e usabilidade.

Um aspecto importante a ser salientado (ERICSSON e ERIXON, 1999) é que a modularização não significa padronização no sentido de reduzir as escolhas do consumidor. Ao contrário, significa o gerenciamento e controle da variedade de produtos e o estabelecimento de uma forma inteligente de estruturar produtos.

### 3.4 Metodologias para o projeto de produtos modulares

Para melhor entendimento das metodologias para desenvolvimento de produtos modulares faz-se um resumo das expressões e termos técnicos, mostrados no Quadro 3.1:

Quadro 3.1 - Termos utilizados no desenvolvimento de produtos e de sistemas modulares (Adaptado de MARIBONDO, 2002)

Termo técnico	Definições
a) Sistema	Arranjo de um grupo de blocos distintos que interagem entre si e com outros blocos, de maneira dinâmica, visando atender uma determinada função global, num dado ambiente
b) Módulo	Blocos distintos com interfaces padronizadas, intercambiáveis ente si, que quando combinados uns com outros atendem diferentes funções globais, ou seja, geram uma família de produtos que atendem diferentes desejos e necessidades.
c) Sistema modular	Conjunto de blocos distintos com interfaces padronizadas, intercambiáveis entre si, que quando combinados uns com outros atendem diferentes funções globais, ou seja, atendem diferentes grupos de desejos e necessidades.
d) Interfaces	São as formas ou os meios de união, comunicação ou de transmissão de energia, material e sinal que permitem que os módulos se acoplem uns aos outros a fim de gerar diferentes produtos ou sistemas.
e) Variância do módulo	A realização física de um módulo definida por especificações técnicas e desenhos. Um módulo pode ter uma variância ou várias variâncias. Tudo de acordo com as interfaces especificadas para o módulo.
f) Intercambiabilidade	Troca ou permutação de módulos dentro de um mesmo produto ou sistema, visando conferir-lhes melhores características ou desempenhos.
g) Modularidade	Termo técnico utilizado dentro do projeto de sistemas modulares para expressar a intercambiabilidade (facilidade de troca, permutação) entre os módulos, a fim de gerar a família de produtos, a qual é obtida através da padronização das especificações das interfaces desses módulos.
h) Modularização	Decomposição de produtos e/ou modelos acabados numa lista de itens, que serão rearranjados dentro de módulos, normalmente um grupo de itens os quais podem ser planejados como um grupo.
i) Função	É uma descrição abstrata e genérica de uma verdade, que busca reunir partes de um todo em si, através de grandezas de entrada, saída e de estado de um sistema, para o desempenho de uma tarefa.

Diversas obras mencionam que o desenvolvimento de uma variedade de produtos é uma atividade complexa (MEYER e LEHNERD, 1997). Normalmente os custos dos componentes especiais são elevados: a linha de produção precisa lidar com os processos especiais, existe a necessidade de máquinas e ferramentas especiais, maior controle de tolerâncias, maior esforço de pessoas, mais configurações e, em alguns casos, novo leiaute de fábrica. Atender as exigências dos consumidores é uma tarefa que requer muito investimento.

Nesse sentido, desenvolver módulos de componentes no projeto é uma estratégia que permite personalizar uma grande variedade de produtos de alta demanda. Esse aspecto é denominado de customização em massa em oposição à manufatura flexível, que está orientada para o processo. A utilização dos módulos é uma estratégia orientada sobretudo para a concepção. Modularização é uma abordagem para organizar e projetar as operações de processos complexos de forma mais eficiente por decomposição dos sistemas complexos em porções mais simples. Permite combinações de grupos de componentes para desenvolver e personalizar uma maior quantidade de produtos. Diversas metodologias de projeto de produtos modulares podem ser encontradas na literatura especializada, as quais são revisadas nos itens que segue.

#### 3.4.1 Método Heurístico

A proposta de Stone *et al.* (1998) traz três métodos heurísticos<sup>7</sup> para identificação de módulos a partir de modelos funcionais. Utilizando-se a decomposição funcional e o método heurístico, o conceito modular pode ser gerado no início do processo de desenvolvimento do produto. Para Stone *et al.* (1998), se a modularidade for identificada e explorada na fase inicial em que são gerados os conceitos do produto ou onde ocorre o esforço da engenharia reversa<sup>8</sup> para o reprojeto de produtos, os benefícios serão colhidos na forma de redução dos custos e tempo de desenvolvimento do projeto. De acordo com esses autores, no projeto de produtos modulares duas questões fundamentais precisam ser respondidas: como definir quais são as funções de um módulo? Como definir apropriadamente as interfaces de um módulo e oportunidades?

---

<sup>7</sup> Heurística é um conjunto de regras e métodos que visam a descoberta, a invenção ou a resolução de problemas. Adj. heurístico. (FERREIRA, 2004).

<sup>8</sup> Conforme Stone *et al.* (1998) a engenharia reversa geralmente marca o início do processo de reprojeto, onde um aparelho é prognosticado, observado, desmontado, analisado, testado, experimentado, e documentado em termos de sua funcionalidade, forma, princípios físicos, manufaturabilidade e montabilidade.

O método heurístico fornece a técnica para responder a essas questões. Uma vez que os módulos são definidos, a geração dos leiautes alternativos e a seleção de componentes tornam-se tarefas mais simples.

Stone *et al.* (1998) acreditam que um bom projeto de produto começa com o entendimento das funções do produto. Assim sendo, o método heurístico tem como pré-requisito o completo conhecimento das funções do produto e está dividido em cinco fases ilustradas na Figura 3.4 e comentadas a seguir:

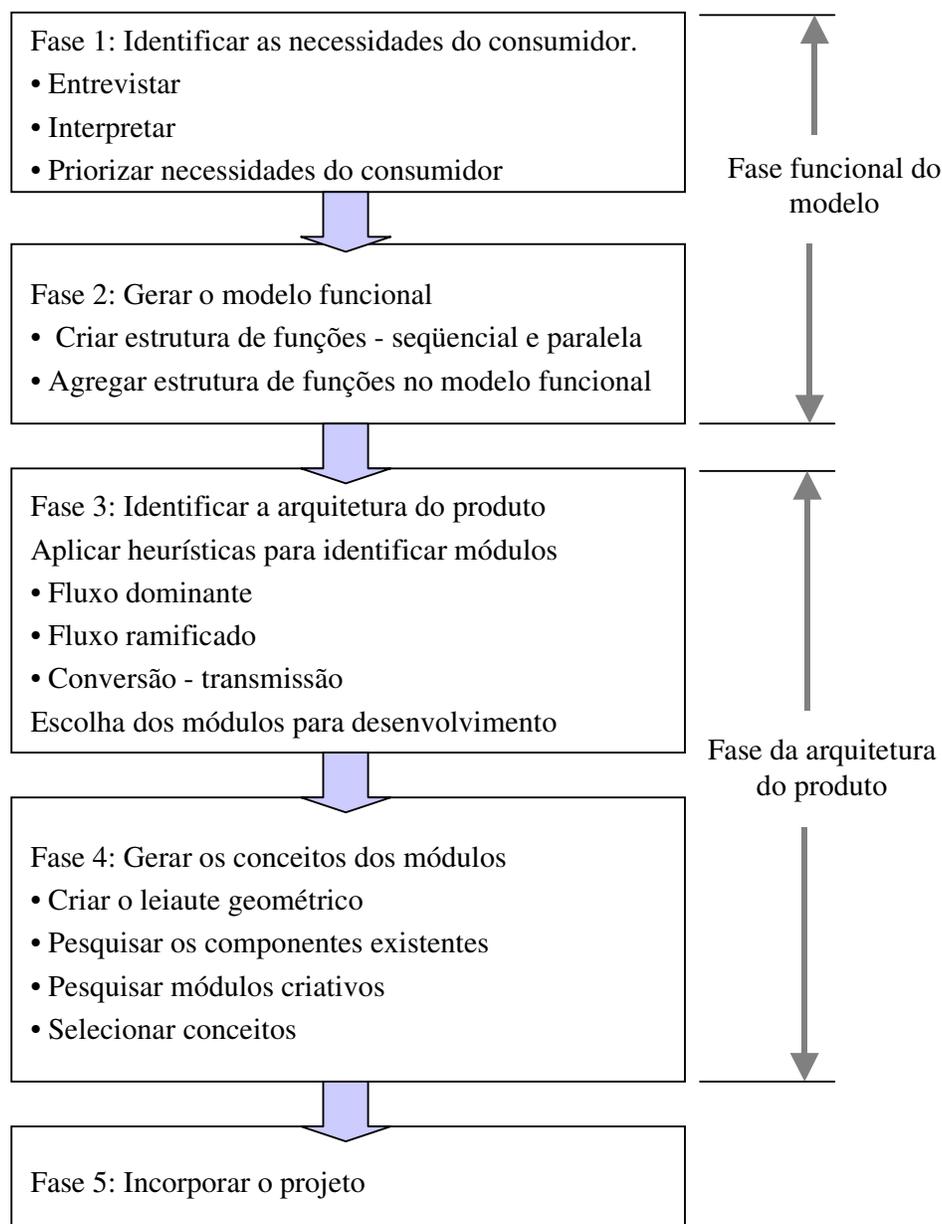


Figura 3.4 - Visão geral do método heurístico para o desenvolvimento de projeto modular (STONE *et al.*, 1998)

**Fase 1** - Identificar as necessidades do consumidor: o primeiro passo no processo de desenvolvimento é compreender as necessidades dos consumidores. Existem duas maneiras gerais de levantar as necessidades. Uma maneira é coletá-las por meio de questionários estruturados, atuando junto aos clientes. A segunda maneira consiste em a equipe de projeto definir diretamente as necessidades do projeto baseadas nos trabalhos anteriores de marketing, na experiência dos projetistas ou nos atributos do produto, usando, em qualquer caso, as informações obtidas pelo trabalho precedente de captação de informações. Essa fase proposta por Stone *et al.* (1998) é descrita também por Fonseca (2000).

**Fase 2** - Gerar o modelo funcional: modelo funcional ou decomposição funcional é o processo de desdobrar todas as funções de um produto em subfunções mais fáceis de serem entendidas e solucionadas. As subfunções estão relacionadas ao fluxo de energia, material ou sinal, que interagem com o produto para formar a estrutura funcional.

A primeira tarefa da derivação da estrutura funcional é criar a representação das funções do produto e dos fluxos de entrada e saída. Essa tarefa faz a correlação das necessidades do consumidor, definidas na Fase 1, com a função global do produto. A Figura 3.5 representa a função global de um produto e a estrutura parcial de funções elementares. A necessidade do consumidor que deve ser atendida neste exemplo é o material cortado na medida, tempo e qualidade desejada.

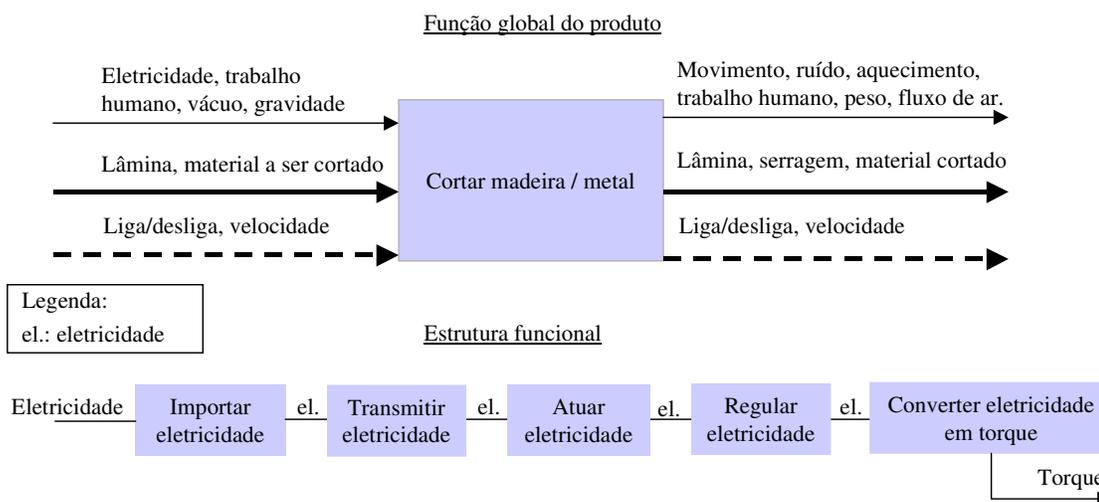


Figura 3.5 - Exemplo de função global do produto e estrutura parcial de funções elementares com fluxos de entrada/saída (Adaptado de STONE *et al.*, 1998)

A estrutura funcional pode ser classificada como seqüencial ou paralela. Diz-se que a estrutura funcional é seqüencial quando as subfunções são representadas numa ordem

específica para gerar o resultado desejado. Já a estrutura paralela consiste de um conjunto de funções sequenciais que compartilham um ou mais fluxos comuns. Na Figura 3.6 pode-se observar a estrutura paralela com os fluxos sequenciais de transmissão de ar e movimento que compartilham o mesmo fluxo de transmissão de energia. A última tarefa do modelo funcional é agregar todas as estruturas de funções em um modelo único. O resultado dessa fase do método heurístico é o modelo funcional do produto.

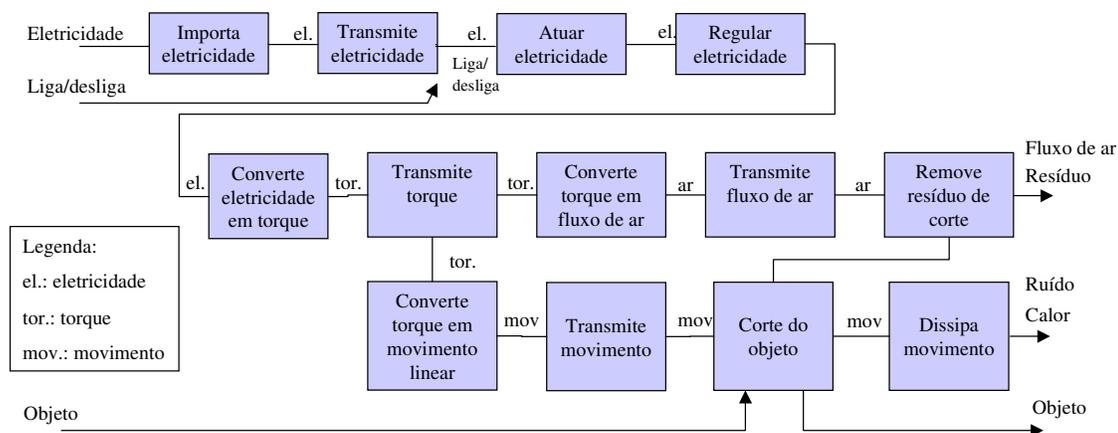


Figura 3.6 – Exemplo de estrutura funcional paralela (Adaptado de STONE *et al.*, 1998)

**Fase 3** - Identificar a arquitetura do produto: o modelo heurístico tornou-se conhecido no projeto de ferramentas para manutenção de larga escala. Na fase do projeto conceitual, grupos de subfunção relacionados por meio dos fluxos foram estudados para formar subsistemas ou módulos de ferramentas. Os estudos conduziram à formulação de três propostas heurísticas com base nas formas que um fluxo pode assumir, ou seja, o fluxo pode passar por meio do produto sem alteração, o fluxo pode ramificar-se formando uma estrutura de função independente ou ainda pode ser convertido em outro tipo de fluxo. De acordo com essas observações, Stone *et al.* (1998) introduziram os três métodos heurísticos para a definição dos módulos a partir das estruturas funcionais. A heurística de fluxo dominante; a heurística de fluxo ramificado e a heurística de conversão e/ou transmissão. Independentemente do método aplicado, a escolha do módulo não é muito clara. A regra sugerida por Stone *et al.* (1998) é de implementar o módulo que possui o menor número de subfunções. A decisão final de qual módulo deve ser implementado requer o julgamento dos engenheiros do projeto.

**Fase 4** - Gerar os conceitos dos módulos: Os componentes existentes são agrupados para gerar diferentes conceitos de módulos. A equipe de projeto, com base no conhecimento e experiência dos engenheiros, avalia os candidatos a módulo e seleciona os conceitos com

maior probabilidade de sucesso. A matriz de Pugh (PUGH, 1981) é o método indicado por Stone *et al.* (1998) para avaliação das alternativas, ajudar na seleção do melhor conceito e documentar os critérios utilizados no processo. A matriz de Pugh<sup>9</sup> também é útil porque não requer uma quantidade grande de dados quantitativos que, geralmente, não estão disponíveis nessa fase do projeto.

**Fase 5** - Incorporar o projeto: o conceito de projeto modular é incorporado no projeto do produto.

### 3.4.2 Método do Desdobramento da Função Modular (MFD)

Erixon (1998) sugeriu o método do desdobramento da função modular (MFD – *Modular Function Deployment*) que pode ser aplicado tanto para produtos que possuem um único modelo quanto para famílias de produtos de diferentes plataformas e consiste de cinco fases: esclarecer requisitos do consumidor, selecionar soluções técnicas, geração de conceitos, analisar conceitos e aperfeiçoar cada módulo. A Figura 3.7 apresenta uma visão geral do método MFD.

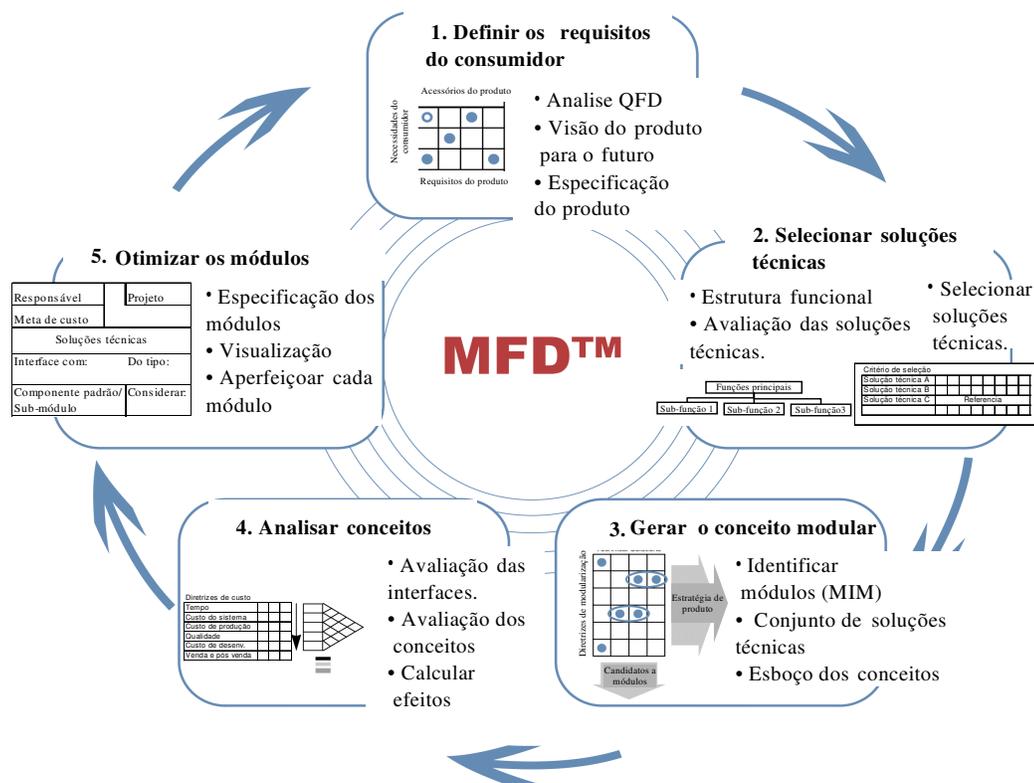


Figura 3.7 - Visão geral do método MFD (Adaptado de ERLANDSSON e BÖRJESSON, 2004)

<sup>9</sup> Disponível em [http://www.isixsigma.com/dictionary/Pugh\\_Matrix-384htm](http://www.isixsigma.com/dictionary/Pugh_Matrix-384htm). Acesso em Julho 2007.

A seguir serão detalhadas as fases expostas na Figura 3.7.

**Fase 1** - Definir os requisitos do consumidor: segue o mesmo procedimento descrito anteriormente no método heurístico de Stone *et al.* (1998). Erixon (1998) diz que a estratégia do produto, incluindo a imagem da marca, deve ser definida. Essa estratégia deve fornecer um ponto de referência para todas as decisões subseqüentes. Uma versão simplificada do QFD - Desdobramento da Função Qualidade, mais especificamente a Matriz da Casa da Qualidade (HAUSER e CLAUSING, 1988; KING, 1989; AKAO, 1990), pode ser usada para a avaliação dos requisitos do consumidor vs. requisitos de projeto e a hierarquização dos requisitos segundo o grau de importância que servirão de base para as especificações de projeto. O conceito da modularidade é introduzido, inserindo-se a “modularidade” diretamente como primeiro requisito de projeto, conforme observado na Figura 3.8, a seguir. As propriedades do produto que correspondem aos requisitos de projeto devem ser parâmetros nos quais os engenheiros possam trabalhar. Também devem ser mensuráveis para que as metas do projeto possam ser definidas. A modularidade pode ser medida pelo número de componentes diferentes que o produto ou família de produtos possui.

Como?	Modularidade	Propriedades do Produto												
O quê?														
Requisitos do Consumidor	●				○									
		●		●		●								
							●							
		○												
		●							●					
		●						●						
		●												

● Relação forte (9)      ○ Relação média (3)      ○ Relação fraca (1)

Figura 3.8 - QFD simplificado para elucidar especificações de projeto (Adaptado de ERICSSON e ERIXON, 1999)

Os objetivos da fase 1 do método MFD são: definir o segmento de mercado, permitir que as decisões do negócio sejam orientadas por resultados mensuráveis (custo, qualidade etc.); estabelecer requisitos do consumidor por segmento de mercado; priorizar os requisitos

do consumidor por segmentos de mercado; analisar e selecionar segmentos de mercado; desenvolver os requisitos de projeto; aplicar a matriz do QFD para identificação das metas e obter um entendimento das necessidades dos diferentes grupos de consumidores.

A segunda fase prevista pelo método é a seleção de soluções técnicas. Antes de iniciar-se a descrição dessa fase, embora não descrito pelo método de Erixon (1998), é importante salientar-se as alternativas possíveis para a geração de soluções técnicas que serão posteriormente selecionadas de acordo com os procedimentos descritos na fase 2. Vale lembrar que estas alternativas são baseadas na experiência do autor deste trabalho uma vez que, como já dito, Erixon (1998) não faz menção a esse respeito. Algumas possibilidades para geração de soluções técnicas podem ser obtidas por meio da pesquisa de produtos da concorrência; do conhecimento da equipe de engenheiros advinda da experiência no desenvolvimento de produtos anteriores; da experimentação de conceitos inovadores e/ou uma combinação das três alternativas citadas.

**Fase 2 - Selecionar soluções técnicas:** a decomposição do sistema mecânico é uma atividade comum no projeto de engenharia. Um mapa de produto deve ser elaborado para facilitar a visualização da estrutura de funções do sistema mecânico. Algumas funções devem ser agrupadas para facilitar as propostas de soluções técnicas. Nessa fase Erixon (1998) introduz a Matriz das Propriedades do Produto (DPM) para avaliação das propriedades do produto vs. soluções técnicas sugeridas pelos engenheiros. Por meio da DPM serão determinadas as tecnologias-chave para o produto. A Figura 3.9 mostra um exemplo de Matriz das Propriedades do Produto para o desenvolvimento de um telefone celular e a Figura 3.10 ilustra as conexões entre necessidades do consumidor, propriedades do produto e soluções técnicas.

Soluções Técnicas \ Propriedades do Produto	Propriedades do Produto											Pontuação	
	Modularidade	Número de funções	Opções de escolha	Consumo de energia	Frequência de operação	Tamanho	Cor	Resistência ao impacto	Radiação	Textura da superfície	Visual		Firmeza / Robustez
Microfone	1			1									146
Teclado	3	1	1			9	9			9			1236
Codificador (encoder)	3	1			3								489
Expositor	9					3	1	3					1146
Decifrador (decoder)	3	1			3								489
Funções de interação com o usuário	9	9	9										1854
Bateria	9			9		3							1434
Revestimento / Cobertura	3					9	9	9		9	9	9	1563
Receptor de rádio / emissor	1				9			3	9				722
Placa eletrônica	9			9		3		3					1515
Resultados obtidos no QFD =>	101	60	45	45	42	40	36	27	18	16	12	9	

Relação forte (9)     
 Relação média (3)     
 Relação fraca (1)

Figura 3.9 - Exemplo de Matriz das Propriedades do Produto (DPM) para o desenvolvimento de um telefone celular (Adaptado de ERICSSON e ERIXON, 1999)

Tradução das Necessidades do Consumidor em Soluções Técnicas para o Produto

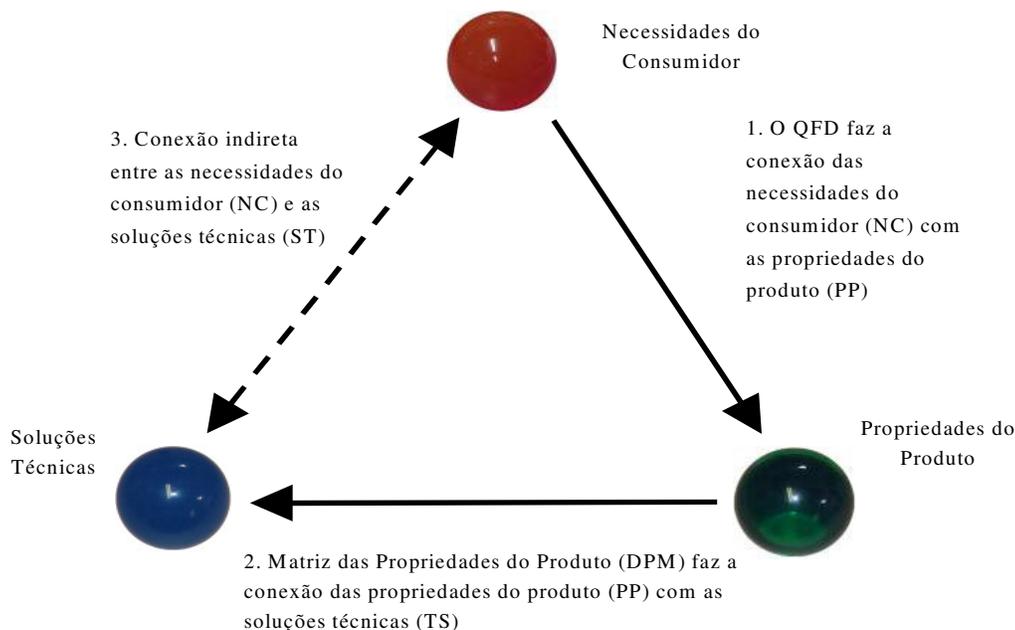


Figura 3.10 - Tradução das necessidades do consumidor em soluções técnicas para o projeto (Adaptado de ERICSSON e ERIXON, 1999)

Os objetivos da fase 2 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).

**Fase 3** - Gerar o conceito modular: nessa fase do método MFD as soluções técnicas são transferidas para a Matriz de Identificação de Módulo (MIM). Erixon (1998) introduz essa ferramenta para conectar as diretrizes de modularização com as soluções técnicas de acordo com sua importância para o projeto. Os efeitos positivos da modularidade são as razões pelas quais as empresas gostariam de modularizar seus produtos.

Entretanto, não é fácil traduzir os objetivos da empresa em regras para o projeto de produto. Por essa razão, Ericsson e Erixon (1999) citam que o *Swedish Institute of Production Engineering Research* e o *The Royal Institute of Technology* realizaram inúmeras pesquisas para identificar as diretrizes de modularização e seus efeitos específicos no negócio.

O Quadro 3.2 traz as diretrizes de modularização mais comuns.

Quadro 3.2 – Diretrizes de modularização e seus efeitos sobre os negócios (ERICSSON e ERIXON, 1999)

<u>Diretrizes de Modularização</u>	<u>Efeitos nos negócios</u>
Acumular conhecimento.....	Evitar retrabalho futuro
Avanço tecnológico .....	Preparar para mudanças tecnológicas que vem de fora
Mudanças planejadas para o projeto ..	Foco no desenvolvimento interno
Especificações diferentes .....	Isolar as alterações requeridas nas especificações técnicas
Módulos de estilo .....	Isolar as variações de estilo
Unidade comum .....	Criar economia de escala
Organização e Processo .....	Explorar a capacidade existente
Testes individuais ou separados .....	Permitir testes separados para aumentar a qualidade
Fornecedores estratégicos .....	Usar a capacidade dos fornecedores
Serviços e manutenção .....	Facilitar as atividades no pós venda
Promover melhorias .....	Criar oportunidades no pós venda
Reciclagem .....	Facilitar a reciclagem

A MIM ajuda a verificar a coerência entre as diretrizes de modularização e as necessidades de desenvolvimento indicadas na Matriz de Propriedades do Produto (DPM) e no QFD. O resultado da combinação entre matriz do QFD e as matrizes DPM e MIM é denominado de Mapa de Gerenciamento de Produto (PMM) que proporciona à equipe de projeto uma visão geral do processo, ou seja, verificar se as soluções técnicas indicadas na Matriz de Propriedades do Produto (DPM) estão alinhadas aos requisitos do consumidor e as diretrizes de modularização.

Erixon (1998) ainda recomenda o uso de um *software* estatístico para introduzir os vetores das matrizes DPM e MIM e fazer uma ramificação hierárquica (Dendograma) para obter a indicação dos módulos. Essa etapa será mostrada em detalhes no Capítulo 4.

A Figura 3.11 ilustra a aplicação parcial da Matriz de Identificação de Módulo no desenvolvimento de um telefone celular. A coluna da soma (à direita da Figura 3.11) indica quais são as diretrizes de modularização mais importantes para o projeto.

No fim dessa fase Erixon (1998) recomenda traçar alguns esboços dos módulos para facilitar a comunicação, porém não é necessário investir muito tempo na elaboração de desenhos detalhados para não bloquear as idéias da equipe de projeto.

Diretrizes de Modularização	Soluções Técnicas										Soma
	Revestimento / cobertura	Funções de interação com o usuário	Teclado	Placa eletrônica	Codificador (encoder)	Bateria	Receptor de rádio / emissor	Decifrador (decoder)	Expositor (display)	Microfone	
Acumular conhecimento	●										9
Avanço tecnológico			●			○			●		21
Mudanças planejadas para o projeto		●		●							18
Especificações diferentes		●				○					12
Módulos de estilo	●										9
Unidade comum	●		●	●	●		●	●	○	●	66
Organização e Processo											0
Testes individuais ou separados		○		●							12
Fornecedores estratégicos											0
Serviços e manutenção						●					9
Promover melhorias	●	○									12
Reciclagem				○	○		○	○		○	15

● Relação forte (9)      ○ Relação média (3)      ○ Relação fraca (1)

Figura 3.11 – Exemplo parcial de Matriz de Identificação de Módulos (MIM) para o desenvolvimento de um telefone celular (Adaptado de ERICSSON e ERIXON, 1999)

Os objetivos da fase 3 do método MFD são: definir os módulos com a ajuda das diretrizes de modularização e soluções técnicas oriundas da fase 2; analisar o que pode ser previsto para os desenvolvimentos futuros; gerar o conceito modular com a utilização da Matriz de Identificação de Módulo (MIM) e esboçar o conceito modular.

**Fase 4 - Analisar conceito modular:** 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 (MI) 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 fase 4, a Figura 3.12 mostra um exemplo parcial de Matriz de Interface (MI) com os módulos selecionados e as interfaces identificadas no desenvolvimento de um telefone celular.

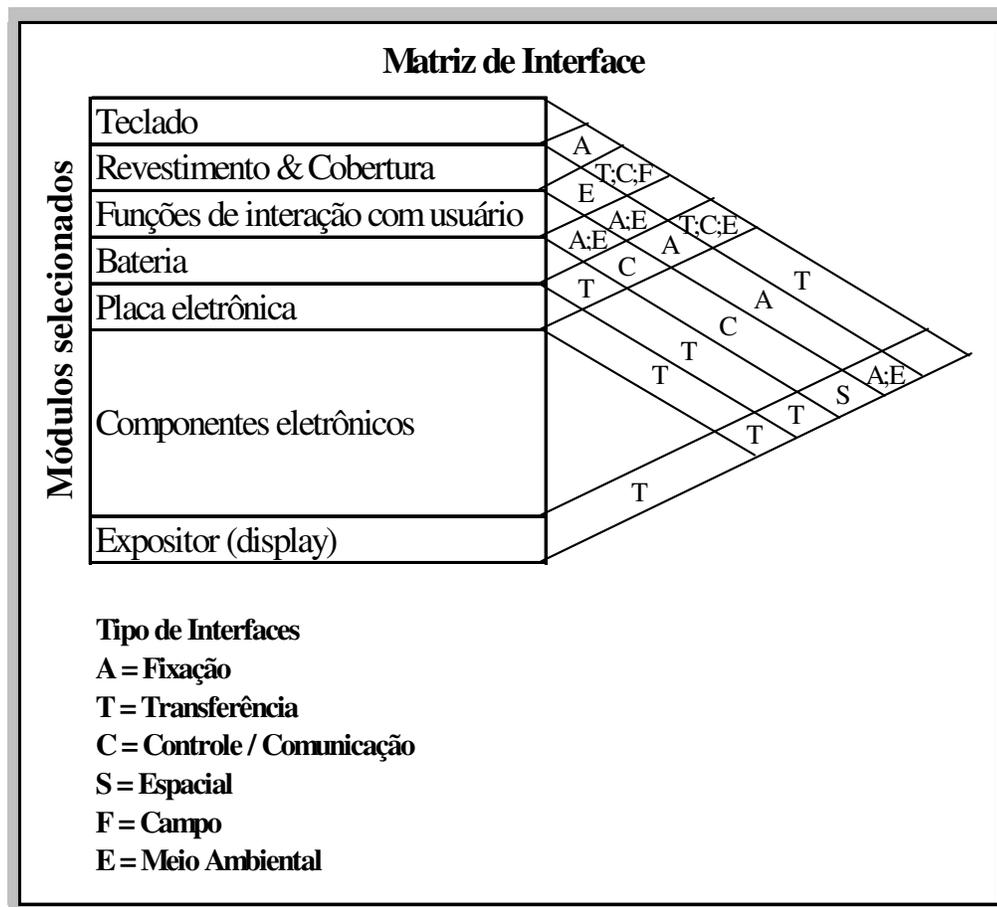


Figura 3.12 - Exemplo de Matriz de Interface (MI) para o desenvolvimento de um telefone celular (Adaptado de ERICSSON e ERIXON, 1999)

Os objetivos da fase 4 do método MFD são: identificar, definir e descrever as interfaces entre os módulos; completar o Mapa de Gerenciamento de Produto (PMM), ilustrado na Figura 3.13, por meio da combinação da matriz QFD, matrizes DPM e MIM, e Matriz de Interface (MI).

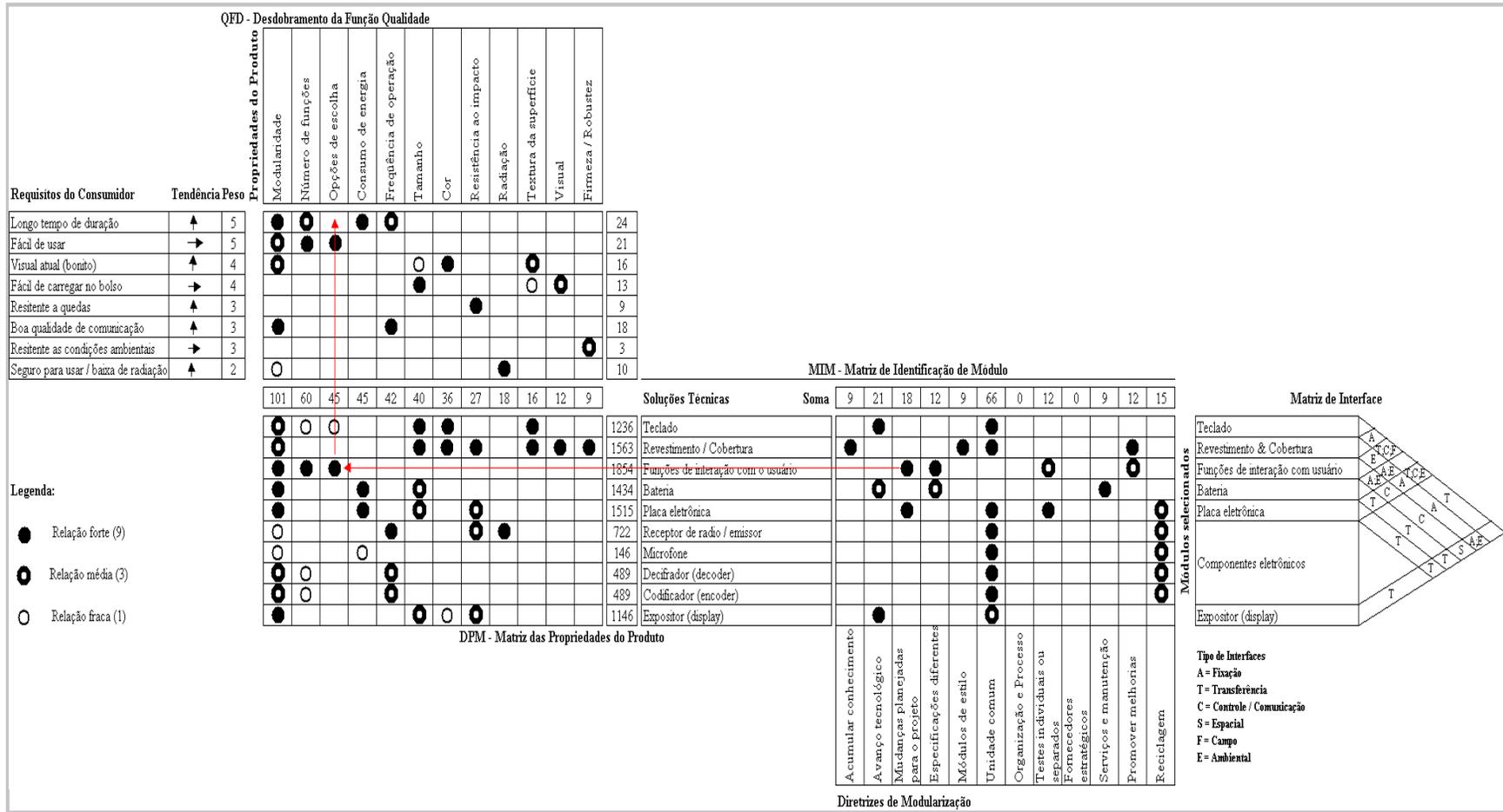


Figura 3.13 - Exemplo de Mapa de Gerenciamento de Produto (PMM) para o desenvolvimento de um telefone celular (Adaptado de ERICSSON e ERIXON, 1999)

**Fase 5** - Otimizar os módulos: nesta fase os módulos são especificados para fornecer os dados de entrada para o detalhamento do projeto. Especificar e descrever os módulos consiste em reunir em uma planilha de dados todas as fases do processo MFD. A Figura 3.14 traz um exemplo de especificação de módulo, indicando a origem das informações.

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

Figura 3.14 - Exemplo parcial de especificação do módulo de entrada e saída de dados de um telefone celular (Adaptado de ERICSSON e ERIXON, 1999).

Os objetivos da fase 5 do método MFD são: especificar e descrever os módulos; fazer a análise técnica e planejar a implementação do conceito modular. 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 e 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.

### 3.4.3 Método Combinado

A partir da combinação do método heurístico proposto por Stone *et al.* (1998) e do Método do Desdobramento da Função Modular (MFD) de Erixon (1998), Eggen (2003) sugeriu um novo método denominado Método Combinado representado na Figura 3.15.

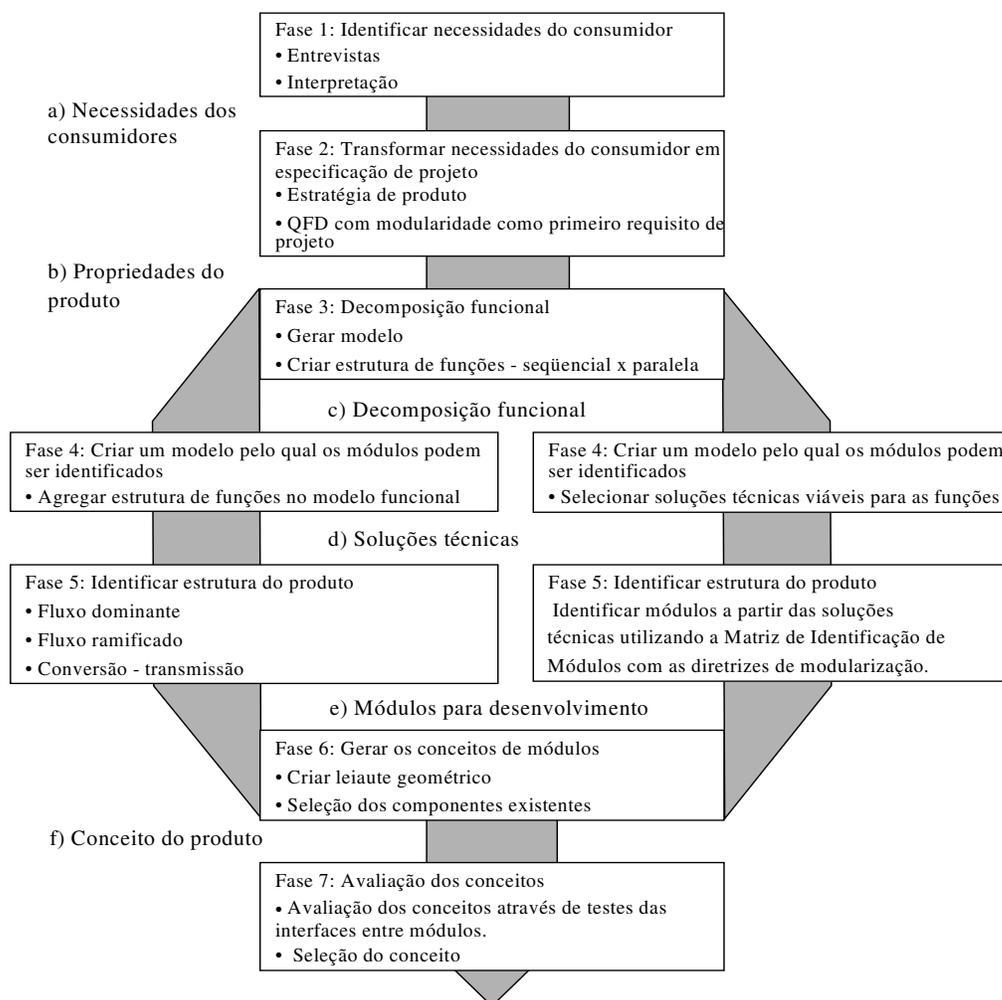


Figura 3.15 - Visão geral do método Combinado para o desenvolvimento de projeto modular (EGGEN, 2003)

Ainda de acordo com Eggen (2003), essa metodologia pode ser utilizada para o desenvolvimento de um único produto bem como para o desenvolvimento de uma família de produtos e consiste de sete fases, que são descritas a seguir.

**Fase 1** - Identificar as necessidades do consumidor: segue o mesmo procedimento descrito anteriormente na fase 1 do método heurístico de Stone *et al.* (1998).

**Fase 2** - Transformar necessidades do consumidor em especificações de projeto: conforme descrito na fase 1 do método MFD proposto por Erixon (1998).

**Fase 3** - Decomposição funcional do produto: conforme descrito na fase 2 do método heurístico de Stone *et al.* (1998).

**Fase 4** - Criar um modelo no qual os módulos podem ser identificados: a Figura 3.15 descreve que nessa fase o modelo sofre uma ramificação, sendo necessária a construção de

dois modelos de produto distintos. O primeiro modelo sugere montar a estrutura funcional completa, agregando todas as seqüências de subfunções em uma única estrutura funcional. O segundo modelo sugere a seleção de soluções técnicas para cumprir as funções do produto.

**Fase 5** – Identificar a estrutura do produto: essa é a fase central na qual os módulos são identificados. O método heurístico proposto por Stone *et al.* (1998) conta com o mapa funcional do produto com fluxos dominantes e ramificados, enquanto que o método MFD de Erixon (1999) considera as diretrizes de modularização específicas para modularização do projeto e introduz a Matriz de Identificação de Módulos (MIM), em que cada solução técnica é comparada com as diretrizes de modularização. A Matriz de Identificação de Módulos foi detalhada na fase 3 do método MFD e um exemplo da sua aplicação é visto na Figura 3.11.

**Fase 6** - Gerar os conceitos dos módulos: os módulos identificados na fase anterior são refinados em diferentes conceitos. Eggen (2003) comenta que é importante levar em consideração que não há um método conhecido para resolver essa fase. O conhecimento e experiência dos engenheiros no desenvolvimento de produtos são essenciais para criar o conceito modular que realmente poderá funcionar.

**Fase 7** - Avaliação dos conceitos: as interfaces têm uma influência vital no produto final. Interfaces bem definidas e padronizadas garantem o desenvolvimento de atividades paralelas, reduzindo o tempo de desenvolvimento, melhorando a qualidade do produto. A matriz de interface (Figura 3.12) ajuda a visualizar as interfaces de conexão entre os módulos.

Eggen (2003) conclui que os métodos Heurístico e do Desdobramento da Função Modular (MFD) podem, aparentemente, serem usados em conjunto para criar um Método Combinado para a geração do conceito modular. O método heurístico considera a funcionalidade como o único critério da modularização. O método MFD tem uma proposta orientada para o negócio, ou seja, fatores como as mudanças freqüentes no mercado são levados em consideração por meio das diretrizes de modularização para assegurar que os módulos selecionados atendam aos objetivos específicos da empresa. O método heurístico fornece uma importante contribuição para o método MFD porque identifica as interfaces entre os módulos na fase inicial.

#### 3.4.4 Método de Projeto de Sistemas Modulares

Maribondo (2002) propõe uma metodologia de projeto para o desenvolvimento de sistemas modulares que está representada na Figura 3.16, cujo fluxo geral do modelo é

configurado na forma *top-down* para facilitar a visualização das ações a serem desenvolvidas pela equipe de projeto. No entanto, segundo o pesquisador, não implica que as tarefas sejam obrigatoriamente executadas na seqüência apresentada, isso é, muitas delas podem ser desenvolvidas de forma simultânea.

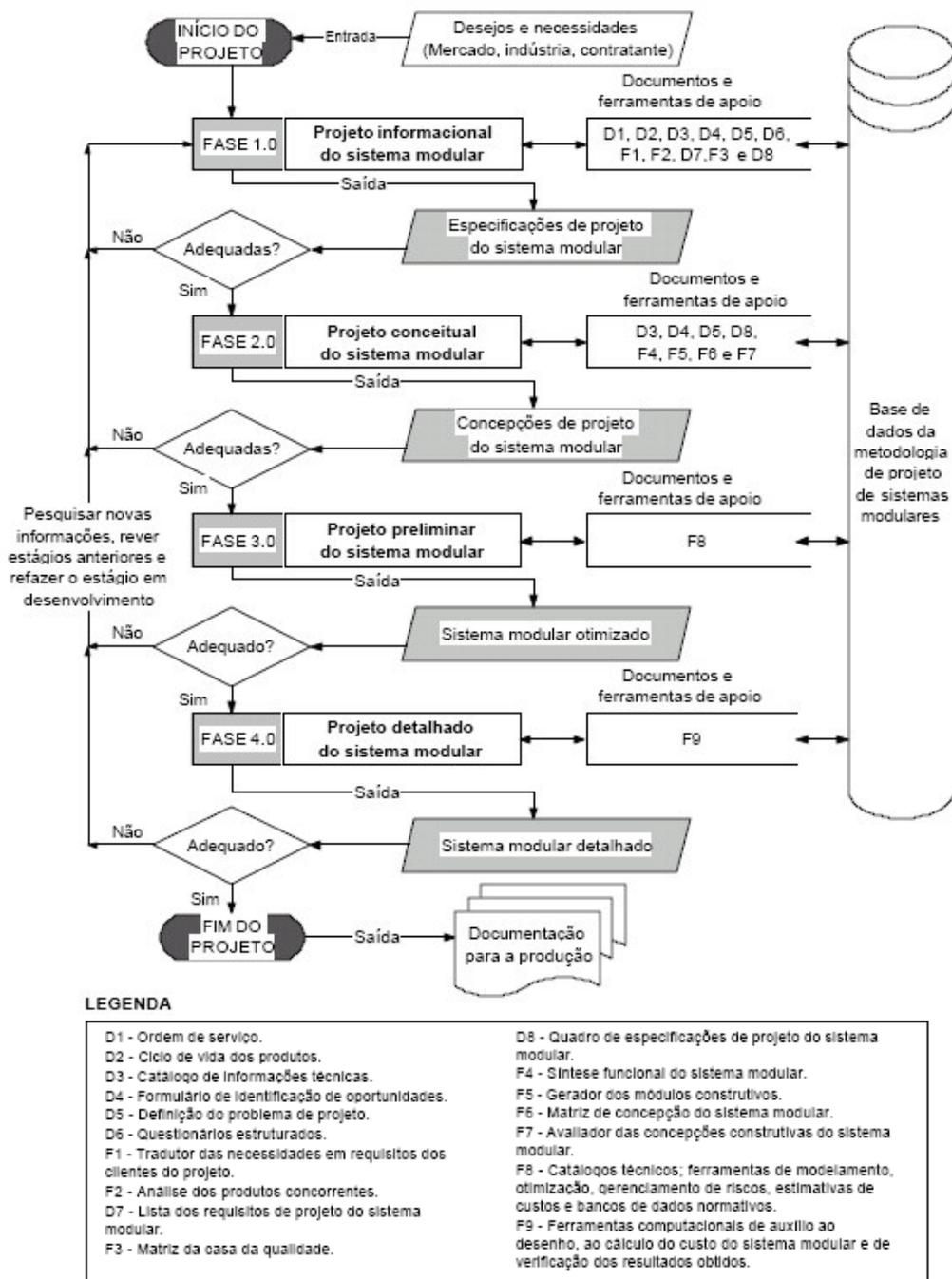


Figura 3.16 - Fluxo geral da metodologia de projeto de sistemas modulares (MARIBONDO, 2002)

Maribondo (2002) salienta que para desenvolver produtos que venham a suprir as necessidades e desejos dos consumidores é preciso definir bem o problema de projeto. Nesse contexto, a primeira atividade de projeto corresponde ao estabelecimento do objetivo geral e das respectivas metas de projeto para o problema em estudo. As informações são obtidas a partir das entrevistas preliminares junto ao mercado, à indústria ou ao contratante do projeto.

**Fase 1** - Projeto informacional do sistema modular: segundo Maribondo (2002) essa fase tem por objetivo oferecer um roteiro para auxiliar a equipe de projeto a esclarecer o problema apresentado, visando definir o problema e estabelecer as especificações de projeto para o desenvolvimento do sistema. A fase do projeto informacional inclui as atividades de pesquisa das informações sobre o tema de projeto; a definição do problema de projeto; a identificação dos desejos e necessidades dos clientes e usuários do sistema modular; o estabelecimento dos requisitos dos clientes do projeto; o estabelecimento dos requisitos de projeto do sistema modular; a análise dos sistemas concorrentes (caso existam); a hierarquização dos requisitos de projeto do sistema modular e o estabelecimento das especificações de projeto do sistema modular. De posse dessas informações, faz-se uma avaliação para determinar se estão adequadas para o desenvolvimento do projeto.

**Fase 2** - Projeto conceitual do sistema modular: Maribondo (2002) destaca que essa fase visa encontrar princípios de projeto para a família de produtos que compõe o sistema modular. As especificações de projeto estabelecidas na fase anterior devem ser usadas para representar o que o projeto deve possuir a fim de atender as demandas do mercado. As atividades contidas na fase do projeto conceitual são o estabelecimento das estruturas funcionais do sistema modular; o estabelecimento dos módulos funcionais do sistema modular; a seleção da estrutura funcional; o estabelecimento dos módulos construtivos e o estabelecimento das concepções de projeto que melhor atendem o problema de projeto. Tais concepções devem ser suficientes para satisfazer as exigências dos clientes e usuários do projeto e, ao mesmo tempo, diferenciar-se dos projetos concorrentes.

**Fase 3** - Projeto preliminar do sistema modular: Maribondo (2002) explica que essa fase tem por objetivo oferecer um roteiro destinado a auxiliar os projetistas a otimizarem a melhor concepção de projeto escolhida na fase anterior. Para alcançar esse objetivo, a equipe de projeto deve desenvolver as atividades de realizar dimensionamentos; selecionar materiais; estabelecer formas preliminares de fabricação do sistema modular; estabelecer formas preliminares: de montagem, de testes, de manutenção, de manuseio seguro, de reuso, reciclagem e disposição final do sistema modular, do projeto estético do sistema modular; adequar o sistema modular às normas; otimizar o sistema modular e calcular os custos

preliminares. O resultado final dessa fase é a concepção de projeto otimizado para o desenvolvimento do sistema modular.

**Fase 4** - Projeto detalhado do sistema modular: para Maribondo (2002), nessa fase define-se o sistema modular, calculam-se seus custos e revisa-se todo o projeto desenvolvido. A lista de materiais é completada, os procedimentos de montagem dos módulos são definidos, a padronização dos componentes determinados, o projeto é revisado e os custos de produção calculados. Se o sistema detalhado atender as especificações de projeto, o objetivo geral e as metas inicialmente traçadas, apresenta-se a documentação final do projeto para o desenvolvimento de protótipos e confecção da família de produtos do sistema modular.

A proposta de metodologia de Maribondo (2002) para o desenvolvimento de projetos de produtos modulares segue em sua estrutura básica a proposta de Back *et al.* (2008) do modelo integrado para o projeto do produto.

Como forma de resumir as metodologias para projeto de produtos modulares descritas elaborou-se o Quadro 3.3 que apresenta as metodologias, autores, fases e abordagem principal.

Quadro 3.3 - Metodologias de projeto de produtos modulares

Metodologia	Proposta por	Fases	Abordagem
Método heurístico	Stone et. al., 1998	Fase 1 - Identificar as necessidades do consumidor Fase 2 - Gerar o modelo funcional Fase 3 - Identificar a arquitetura do produto Fase 4 - Gerar os conceitos dos módulos Fase 5 - Incorporar o projeto	Identifica os módulos a partir de modelos funcionais As decisões são baseadas no conhecimento dos engenheiros
Desdobramento da Função Modular (MFD)	Erixon, 1998	Fase 1 - Definir os requisitos do consumidor Fase 2 - Selecionar soluções técnicas Fase 3 - Gerar o conceito modular Fase 4 - Analisar conceito modular Fase 5 - Otimizar os módulos	Engenheiros fornecem informações estratégicas para tomar decisões com base no conhecimento de projetos anteriores.
Método Combinado	Eggen, 2003	Fase 1 - Identificar as necessidades do consumidor Fase 2 - Transformar necessidades do consumidor em especificações de projeto Fase 3 - Decomposição funcional do produto Fase 4 - Criar um modelo no qual os módulos podem ser identificados Fase 5 - Identificar arquitetura do produto Fase 6 - Gerar os conceitos dos módulos Fase 7 - Avaliação dos conceitos	Combina o método Heurístico com o método do Desdobramento da Função Modular (MFD) para identificar a estrutura do projeto modular.
Projeto de Sistemas Modulares	Maribondo, 2002	Fase 1 - Projeto informacional do sistema modular Fase 2 - Projeto conceitual do sistema modular Fase 3 - Projeto preliminar do sistema modular Fase 4 - Projeto detalhado do sistema modular	Apresenta um roteiro a ser seguido que vai desde a coleta de informações preliminares sobre o problema de projeto até o detalhamento do projeto do sistema modular.

Além das propostas detalhadas neste capítulo ainda pode-se mencionar o trabalho apresentado por Pahl & Beitz (1996) que constituiu uma das primeiras propostas para o desenvolvimento de produtos e sistemas modulares. Pahl & Beitz (1996) apresentam a metodologia de projeto na forma de fluxograma contendo entradas e saídas, as quais

informam as ações a serem executadas pelos usuários dessa metodologia de projeto que apresenta quatro fases: planejamento e clarificação da tarefa; projeto conceitual; projeto preliminar e projeto detalhado.

### 3.5 Considerações finais

Entre as metodologias de projeto de produtos modulares mencionadas identifica-se que o método heurístico de Stone *et al.* (1998) e o método do desdobramento da função modular (MFD) de Erixon (1998) sugerem 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 combinado de Eggen (2003) seleciona entre os dois métodos anteriores os aspectos que apresentam mais objetividade e detalhamento a fim de criar um método mais completo.

O método de projeto de sistemas modulares de Maribondo (2002) foi desenvolvido utilizando por base o modelo do Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos – PRODIP de Romano (2003). Nessa proposta, Maribondo (2002) sugere a geração do conceito modular na macrofase de elaboração do projeto do produto, orientando os engenheiros para o momento da concepção do produto modular.

O método selecionado para este estudo foi o método do Desdobramento da Função Modular (MFD) adotado pela Whirlpool Co., ao iniciar seus esforços para modularização de produtos. Contribuíram para a decisão o suporte técnico da consultoria *Modular Management* para capacitação dos engenheiros e projetistas envolvidos nas iniciativas de modularização. A facilidade de adaptação do MFD à metodologia de desenvolvimento de produtos da empresa, ou seja, o C2C descrito no Capítulo 2, caracteriza-se como um dos mais importantes fatores de decisão e será mostrado no Capítulo 4.

Este capítulo apresentou conhecimento teórico disponível na literatura acerca do tema. Assim, foi apresentada a definição de projeto modular, sua importância, características, vantagens, desvantagens e limitações.

No próximo capítulo apresenta-se a sistemática proposta neste trabalho, que se constitui no uso da metodologia MDF contextualizada no modelo C2C da empresa-alvo e sua aplicação em um estudo de caso.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

#### 5.1 Conclusões

Este capítulo apresenta as conclusões deste estudo que teve como objetivo a sistematização da concepção de produtos modulares com aplicações em uma empresa de refrigeração. As conclusões referem-se, de modo geral, às percepções do autor acerca de diversos aspectos que envolvem a aplicação da modularidade; e, de modo específico, a incorporação da metodologia de projeto modular (MFD) no processo de desenvolvimento de produtos (C2C) da empresa-alvo.

Considera-se que o objetivo geral de sistematizar a concepção de produtos modulares com enfoque na empresa de refrigeração foi atendido uma vez que o método MFD pôde ser aplicado para a concepção modular dos acessórios de um refrigerador. Além disso, pelo estudo realizado, verificou-se que a introdução da atividade “Avaliação dos Competidores” permitiu uma melhor definição das soluções técnicas a partir de uma análise ampliada das tecnologias existentes no mercado de eletrodomésticos, mais especificamente na linha da refrigeração.

A sistematização para concepção de produtos modulares ajudou a remover algumas das barreiras que podem ser citadas como ultrapassadas, ao menos em parte, tais como as barreiras de processo e de competência, uma vez que a equipe envolvida no projeto de produto modular dos acessórios vivenciou o método MFD integrado ao modelo C2C criando-se, portanto, uma nova competência dentro da empresa.

Este trabalho representou na prática, a consolidação do conceito de modularização na empresa-alvo, apontando-se os principais benefícios encontrados, de modo geral:

- a) Primeira experiência de projeto compartilhado entre as regiões criando oportunidades de aproximação entre as diferentes equipes, ajudando no processo de mudança cultural necessária para tornar a modularidade um processo institucionalizado;
- b) Aproximação das equipes de desenvolvimento de produto e de produção: por meio da organização das informações, o projeto modular facilitou o envolvimento da equipe de produção desde as fases iniciais do processo de projeto;

- c) Otimização do método de Erixon (1998) com a inserção da “Avaliação dos Competidores” ampliando as oportunidades na geração de soluções técnicas para mercados consumidores distintos;
- d) Inserção do método MFD na macrofase de conceituação do modelo C2C.

De modo específico, as fases da sistemática ajudaram a desenvolver uma concepção modular com resultados positivos ao produto em relação às versões anteriores, a saber:

1. Na aplicação da primeira fase do MFD, definir os requisitos do consumidor, na fase de seleção de idéias (C2C) a inovação criada para o projeto de produto foi a proposta da modularidade para atender a diferentes expectativas de consumidores de diferentes regiões. Pode-se dizer então que em relação a produtos anteriores ganhou-se versatilidade em termos de utilização/aceitação do produto em diferentes mercados.
2. Nas segunda e terceira fases do MFD, gerar e selecionar soluções técnicas e gerar o conceito modular, além da introdução da atividade de avaliação de produtos concorrentes como uma ação inovadora ao método, as contribuições ao produto pela aplicação da sistemática foram: adaptação dos acessórios a diferentes famílias de produtos; flexibilidade para montar os acessórios em diferentes posições no interior do refrigerador; aumento da facilidade em fazer atualização estética dos módulos que possuem interface com o consumidor (cor, forma e textura); melhor ajuste da temperatura interna do refrigerador advinda da flexibilidade na montagem dos acessórios no interior do produto; aumento da facilidade para o consumidor em fazer a distribuição do espaço interno do produto conforme seus hábitos de uso e aumento da facilidade de montar e desmontar os acessórios para limpeza e manutenção.
3. Na fase do MFD, analisar o conceito modular, a principal contribuição ao produto é a possibilidade de realizar atualizações futuras a partir de uma compreensão prévia de todas as interfaces existentes entre os acessórios, a qual foi possível a partir da elaboração da matriz de interfaces.
4. Na última fase do MFD, otimizar módulos, a contribuição diferenciada ao produto foi a possibilidade de ampliar a utilização dos acessórios em uma família maior (maior número de modelos) de produtos, o que antes estava restrito a um número de modelos menor. A fase de otimização dos módulos é que permite a versatilidade comentada na fase de definição dos requisitos do consumidor.

De forma geral, a aplicação da sistemática inserida no modelo C2C permitiu fortalecimento do conceito de produto porque incita para um maior número de discussões entre os especialistas de todas as áreas (marketing, suprimentos, engenharia, manufatura, assistência técnica, desenho industrial e qualidade) o que garante maior robustez ao projeto de produto.

## 5.2 Limitações

A empresa-alvo deste trabalho está investindo na modularização de seus produtos para alcançar maior flexibilidade e melhor atender as necessidades do consumidor final. Entretanto, algumas limitações foram identificadas e dificultam a possibilidade de tornar esse processo fluído e incorporado ao sistema organizacional. Somando-se as dificuldades relativas à aplicação de cada fase da metodologia MFD e que já foram descritas no fim do capítulo 4 acrescentam-se mais alguns pontos limitadores à concepção de projeto de produtos modulares:

- a) Mudança organizacional: a visão de futuro da empresa-alvo “... Em todos os lares, em todos os lugares...” evidencia a intenção estratégica de posicionamento como a número um no mercado mundial. A modularidade poderá funcionar como uma decisão estratégica para favorecer a busca pela preferência do consumidor no mercado mundial, pelas razões já mencionadas neste trabalho. Contudo, mudanças organizacionais ainda são necessárias, pois o tamanho do negócio e o tamanho da organização irão requerer o patrocínio dos líderes de forma global de maneira a sedimentar a modularidade como uma estratégia de tecnologia para o avanço do negócio, caso a empresa realmente decida continuar a desenvolver-se nessa direção. Considerando-se uma curva de envolvimento das pessoas na mudança organizacional pode-se dizer que a empresa ainda se encontra, de forma geral, na fase de adoção da mudança, porém não de forma homogênea. A consolidação da cultura para modularidade requer muitos investimentos tanto no gerenciamento do conhecimento como treinamento e mudança cultural. Na macrofase de conceituação do modelo C2C, na qual estão inseridas as fases de seleção de idéias e avaliação do conceito, não se observa o alinhamento de toda a liderança na direção da modularidade. Nessas fases deve ocorrer a decisão de optar por um projeto modular ou integral. As questões citadas acima foram, portanto, observadas nessas fases. Como sugestão para remoção dessa barreira indica-se a aplicação de

ferramenta de gerenciamento de mudança e acompanhamento por meio do gerenciamento de performance dos líderes.

- b) Aspectos culturais da empresa: por ser uma empresa multinacional e que desenvolve tecnologia em diferentes continentes (Ásia, Europa, América Latina e América do Norte) e considerando que os Centros de Tecnologia foram incorporados a partir da aquisição de empresas distintas, não há ainda um alinhamento de objetivos que se sobreponha aos interesses particulares de cada região. Além disso, os aspectos culturais que definem a maior ou menor motivação para o trabalho em equipe também interferem na aplicação da modularização uma vez que esse conceito, aplicado na prática, significa uma flexibilização de idéias e pensamentos que não está ainda totalmente absorvida em todas as equipes. Todos esses aspectos comprovam que não obstante o fato de ser uma multinacional, é uma empresa que busca ser globalizada, mas que de fato ainda não alcançou esse nível de integração. Esse aspecto pode ser observado na primeira fase do MFD, ou seja, definir os requisitos do consumidor. Na atividade de identificar e priorizar os requisitos do consumidor, os especialistas de marketing de cada região participam das discussões e evidenciam dificuldade para aceitar mudanças no produto que favoreçam a modularidade, mas que afetam de alguma maneira o produto ou os requisitos do consumidor da região que representam. Esse comportamento demonstra que se busca salvaguardar o resultado da região mesmo que não seja essa a melhor decisão para o resultado global da empresa-alvo. Para remoção dessa barreira também há a recomendação de ferramenta para gerenciamento de mudança organizacional. Além disso, ainda falta o fortalecimento na disseminação do valor trabalho em equipe. De modo prático, ajudaria ainda a remover essa barreira, a intensificação de troca de profissionais pelos movimentos de expatriação o que ajuda a desenvolver pensamento mais flexível, ou seja, capacidade de se trabalhar além das fronteiras físicas e culturais.
- c) Aspectos culturais do mercado consumidor: mesmo considerando que o mundo conectado está cada vez mais parecido em relação ao consumo, cada mercado ainda guarda características que preservam sua identidade. Dessa forma, os negócios da empresa, instalados em cada região, procuram por meio das áreas de marketing atender aos interesses de cada mercado consumidor. Nem sempre a modularidade é a melhor solução para essas situações uma vez que um dos objetivos da modularidade, a comunalização (conforme descrito por Ulrich e

Eppinger, 1995, citados no capítulo 3, item 3.2.1 Vantagens da modularização), pode ser uma barreira para a aplicação de expectativas de um mercado consumidor muito específico. Na sistemática, a comunalização começa a ser discutida na fase de definição dos requisitos do consumidor, nas atividades de identificar e priorizar os requisitos do consumidor e de identificar as propriedades do produto. Pelo fato da comunalização ser uma das vantagens do projeto de produto modular ela permeia todas as fases da sistemática em cada atividade desenvolvida. Para remoção dessa barreira sugere-se *benchmarking* com a indústria automobilística (Toyota, por exemplo) que já demonstrou casos de sucesso em comunalização de partes e acessórios de seus produtos.

- d) Competência para a modularidade: Verifica-se que a competência que envolve os conhecimentos necessários para o desenvolvimento do projeto de produto modular ainda está restrita a pequenos grupos dentro das áreas de engenharia locais. Não há ainda um compartilhamento amplo das experiências vivenciadas em cada região organizadas em um sistema de gerenciamento do conhecimento para projeto de produtos modulares. Esse aspecto foi observado na fase de seleção das soluções técnicas e gerar o conceito modular. Todas as atividades compreendidas nessas duas fases pressupõem a existência de competência técnica para o desenvolvimento do projeto. A equipe de projeto teve dificuldade para obter respostas quando questionou engenheiros/projetistas responsáveis pelo suporte técnico e constatou que nenhuma experiência anterior foi registrada ou organizada em outra forma de gerenciamento do conhecimento. Parte dessa barreira está sendo removida com a criação da sistemática proposta por este estudo. Porém, recomenda-se ainda o fortalecimento do sistema de gerenciamento do conhecimento existente contemplando as experiências acumuladas acerca da modularização e também que o sistema possa ser acessado por todos os centros de tecnologia da empresa-alvo.
- e) Processo: os problemas identificados no processo se relacionam à falta de capacitação das equipes de projeto (Engenheiros e Projetistas). O modelo do processo de desenvolvimento de produtos da empresa ainda não está sistematizado com a metodologia de projeto modular. Essa realidade recebe com este trabalho uma contribuição que poderá ser adotada como alternativa para a dificuldade do processo. Ainda limita o processo a falta de um sistema computacional integrado para compartilhamento de informações/projetos entre os centros de tecnologia da

empresa nas diversas regiões. Em relação à análise de competidores a dificuldade encontrada foi a falta de um procedimento padronizado para coleta e compartilhamento de dados. Essa dificuldade foi resolvida durante este estudo com a criação de um padrão para análise dos competidores cujos resultados estão inseridos neste trabalho (Tabela 4.6). Para remoção das barreiras de processo recomenda-se ainda o sistema de gerenciamento do conhecimento conforme mencionado no item acima e a criação de um plano de treinamento em projeto de produto modular e na sistemática proposta neste estudo de caso para a capacitação dos profissionais que atuam/suportam desenvolvimento de projeto de produtos.

Por fim, uma outra constatação é que a sistemática proposta não oferece benefícios quando, por uma decisão de investimento e negócios, a empresa pretende somente a renovação de um projeto já existente fazendo o aproveitamento dos componentes atuais. O projeto de produto modular compreende a disponibilidade para a realização de novos investimentos, portanto, circunstancialmente, a decisão de manter o projeto integral pode ser a melhor opção. Essa barreira será gradualmente removida quanto mais o projeto de produto modular for aplicado, pois no futuro a empresa-alvo terá o maior número de seus produtos em projetos modulares em relação aos projetos integrais.

### **5.3 Recomendações para trabalhos futuros**

A metodologia sugere o envolvimento prévio de fornecedores, como forma de redução do tempo de projeto. Neste estudo o desenvolvimento do projeto de produto modular para os acessórios foi otimizado com o envolvimento de fornecedores da China que assumiram o detalhamento do projeto, execução das ferramentas, fornecimento de protótipos para testes funcionais do produto em laboratório e campo, fato que contribuiu para a redução do tempo do projeto. Essa situação, contudo, não foi explorada neste estudo. Sugere-se que um trabalho futuro possa efetivamente avaliar se o envolvimento prévio dos fornecedores resulta em redução do tempo de projeto.

Na mesma ordem de resultados que podem ser obtidos a partir do envolvimento do fornecedor está a redução dos investimentos advindos da redução do custo dos equipamentos que serão assumidos pelo fornecedor para o desenvolvimento da sua parte no projeto. Também esse aspecto não foi amplamente explorado neste trabalho, fato que deixa

oportunidades para que se desenvolvam trabalhos futuros que evidenciem e comprovem esses aspectos.

Na aplicação da metodologia, na empresa-alvo, na fase 3 do método MFD, a seleção dos módulos, apesar das indicações do dendograma, foi feita com base no conhecimento e experiência dos engenheiros que a discutiram em colegiado, pois o método não prevê uma ferramenta específica para essa tarefa. Assim, pode ser uma sugestão para futuros estudos o desenvolvimento ou a sistematização de uma ferramenta ou método que auxilie na seleção dos módulos a fim de reduzir a subjetividade nessa atividade. Uma possibilidade de estudo futuro seria a aplicação do MCDA, desenvolvido por Firmino (2007) em sua dissertação de mestrado.

Por fim, recomenda-se ainda que em estudos futuros, a sistemática para concepção de produtos modulares tenha sua aplicação ampliada para a estrutura do produto de forma a identificar sistemas e subsistemas passíveis de modularização que possam se beneficiar desse tipo metodologia.