

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ESTUDO DO PROCESSO E DAS FERRAMENTAS DE
REPROJETO DE PRODUTOS INDUSTRIAIS, COMO VANTAGEM
COMPETITIVA E ESTRATÉGIA DE MELHORIA CONSTANTE**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA

CARLOS ALVARADO DUFOUR



0.257.279-1



Florianópolis, Setembro de 1996

Santa Catarina - Brasil

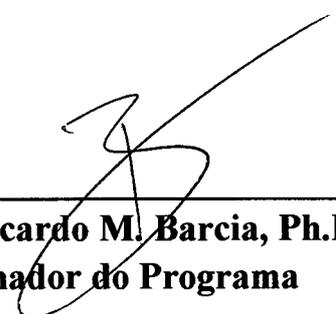
**ESTUDO DO PROCESSO E DAS FERRAMENTAS DE
REPROJETO DE PRODUTOS INDUSTRIAIS, COMO VANTAGEM
COMPETITIVA E ESTRATÉGIA DE MELHORIA CONSTANTE**

CARLOS ALVARADO DUFOUR

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

MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUTO E PROCESSO

Especialidade em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final
pelo Programa de Pós-Graduação.



Prof. Ricardo M. Barcia, Ph.D.
Coordenador do Programa

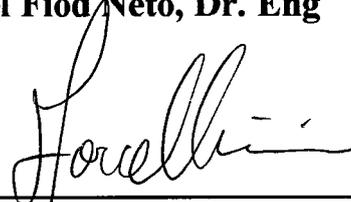
BANCA EXAMINADORA



Prof. Nelson Back, Ph.D.
Orientador



Prof. Miguel Fiod Neto, Dr. Eng



Prof. Fernando A. Forcellini, Dr. Eng.

Dedico este trabalho a meus pais e irmãos, que sempre tenho presentes, e à Tati, que levo no coração.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela perseverança e saúde que me foram dadas e pela sua companhia em todos os momentos.

À minha família, à Tati e a meus amigos que mesmo à distância souberam estar presentes de uma forma ou de outra.

Ao Prof. Nelson Back pelo apoio, orientação e conhecimentos que me foram dispensados.

Aos amigos Antonio Erlindo, Antonio Fonseca e Oskar de La Cruz pelo companheirismo, ajuda e troca de experiências.

À família Telles Ferreira, por seu carinho e apreço.

À Regina e Marcelo, por sua amizade e ajuda prestada.

Ao LBDI, pela ajuda prestada nesta dissertação.

À sociedade mexicana, através do CONACYT, pelo apoio financeiro.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo o estudo do processo de reprojetos de produtos industriais, assim como das ferramentas que são utilizadas durante o processo pelas indústrias como estratégia para manter seus produtos competitivos no mercado.

Na primeira parte do trabalho, é definido o processo de reprojetos, diferenciando-o do projeto de novos produtos. Sua importância para a indústria é descrita e as causas que levam a reprojetar um produto.

A seguir é apresentado um estudo das diferentes metodologias de projeto, encontradas na bibliografia, definindo os princípios e conceitos gerais do processo de reprojetos de produtos industriais, assim como suas diferenças em relação ao processo de projeto de produtos.

Como parte complementar do trabalho, são definidos os fatores determinantes que levam uma empresa a reprojetar seus produtos, assim como os critérios utilizados pela gerência de produtos para avaliar estes fatores e tomar a decisão de mudar o produto.

A partir destas informações são gerados os requisitos do cliente, os quais, através do uso do desdobramento da matriz da casa da qualidade, são posteriormente transformados nos requisitos de qualidade, os quais virão preencher as denominadas Especificações de Projeto de Produto (EPP).

Uma vez determinadas as EPP, segundo o processo de reprojetos, é iniciada a fase de reprojetos conceitual, onde são vistos, primeiramente, os métodos que podem ser utilizados no reprojetos para abstrair a função total dos sistemas e, posteriormente, através de métodos de geração de soluções de melhoria, gerar a solução desejada.

Também são mostrados métodos como: DFMA (Projeto e análise da manufatura e montagem), DFE (Projeto e análise do meio ambiente), FMEA (Projeto e análise da confiabilidade), etc., que ajudam a melhorar o reprojetos detalhado. Por último, é apresentado um estudo de caso, utilizando a metodologia e as ferramentas estudadas para mostrar sua utilização e facilitar sua compreensão.

ABSTRACT

The objective of the study was to examine the redesign process of industrial products, as well as the tools and methodologies utilised by the industries as a strategy to maintain their products competitive in the market place.

In the first part of the study, the **process of redesign** was defined, differentiating it from the existing design development process. Its importance to the industry is described, as well as the causes that effect a redesign of a product.

Secondly, a study of different methodologies of the design are presented, defining the principles and the general concepts of the **redesign process of industrial products**, as well as their differences relating to the product design process

As a complement to the study, some determinant factors are defined that aid enterprises in the redesign of their products, as well as the criteria utilized by product management to evaluate these factors so as to arrive to an appropriate decision..

From this information, the requirements of the client are defined, which through the use of the matrices of the **quality function deployment** method, are later transformed into the quality requirements, known as the Specifications of the Product Design (EPP).

Once the EPPs are defined, as described in the redesign process, the conceptual redesign phase is initiated, where we study the methods that can be utilised to abstract the total function of the systems. Thereafter, utilising creative methods, we arrive at a final solution.

Also illustrated are methods such as: DFMA (Design For Manufacturing and Assembly), DFE (Design For Environment), FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), that help to improve the detailed redesign. Finally a case study is presented illustrating the methodology and tools utilised.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| Capítulo I - Introdução | 1 |
| 1.1 Generalidades | 1 |
| 1.2 Objetivo geral | 3 |
| 1.3 Objetivos específicos | 3 |
| 1.4 Hipótese..... | 4 |
| 1.5 Metodologia | 4 |
| 1.6 Limitações do trabalho | 5 |
| 1.7 Estrutura do trabalho | 5 |
| | |
| Capítulo II - Reprojetos de produtos industriais | 8 |
| 2.1 Introdução | 8 |
| 2.2 Os tipos de projetos de produtos industriais | 8 |
| 2.3 Reprojetos de produtos industriais | 11 |
| 2.4 Diferentes causas ou necessidades que levam a realizar um reprojeto | 15 |
| | |
| Capítulo III - Estrutura do processo de reprojeto de produtos industriais | 18 |
| 3.1 Introdução | 18 |
| 3.2 Visão geral de algumas metodologias usadas em projeto de produtos industriais | 19 |
| 3.2.1 Metodologia de Suh | 20 |
| 3.2.2 Metodologia de Asimow | 21 |
| 3.2.3 Sistemática de Fabrycky & Blanchard | 21 |
| 3.2.4 Modelo de Possamai | 22 |
| 3.2.5 Metodologia de Chakrabarti & Bligh | 22 |
| 3.2.6 Modelo de metodologia utilizada por Pahl & Beitz | 23 |
| 3.2.7 Metodologia utilizada pela VDI 2221, 1987 | 26 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3 Princípios e conceitos gerais do processo de reprojeto de produtos industriais | 29 |
| Capítulo IV - Informações necessárias para a realização de um reprojeto de produtos industriais | 38 |
| 4.1 Introdução | 38 |
| 4.2 Fatores determinantes de tomada de decisão para realizar o reprojeto..... | 38 |
| 4.3 Critérios de avaliação dos fatores determinantes de tomada de decisão para realizar o reprojeto de um produto | 41 |
| 4.4 Obtenção dos requisitos de projeto, utilizando a ferramenta da “Casa da Qualidade” | 45 |
| 4.5 Especificações de reprojeto de produtos | 50 |
| Capítulo V - Métodos para a geração de soluções de melhoria, utilizados na fase de reprojeto conceitual | 52 |
| 5.1 Introdução | 52 |
| 5.2 Inverso do método da síntese funcional | 53 |
| 5.3 Matriz morfológica | 55 |
| 5.4 Listagem de atributos | 56 |
| 5.5 Instigação de questões | 57 |
| 5.6 Análise de valor | 58 |
| Capítulo VI - Métodos para o melhoramento do reprojeto detalhado | 62 |
| 6.1 Introdução | 62 |
| 6.2 Projeto e avaliação da manufatura e a montagem | 63 |
| 6.3 Projeto e avaliação da confiabilidade | 68 |
| 6.4 Projeto e avaliação da manutenibilidade | 71 |
| 6.5 Projeto e avaliação dos fatores humanos | 74 |
| 6.6 Projeto e avaliação do meio ambiente | 78 |

| | |
|---|------------|
| 6.7 Projeto e avaliação estético expressivo..... | 82 |
| Capítulo VII - Estudo de caso prático de reprojeto de produto industrial | 87 |
| 7.1 Introdução | 87 |
| 7.2 Caso prático - reprojeto de “Carrinho de mão para construção civil” | 87 |
| 7.2.1 Identificação da problemática | 88 |
| 7.2.2 Metodologia utilizada | 90 |
| 7.2.3 Conhecimento de base | 90 |
| 7.2.4 Análise da concorrência | 91 |
| 7.2.5 Características dos clientes, requisitos de qualidade e especificações de projeto do produto | 92 |
| 7.2.6 Reprojeto conceitual | 97 |
| 7.2.7 Reprojeto preliminar | 103 |
| 7.2.8 Reprojeto detalhado | 105 |
| 7.2.9 Resultados | 112 |
| 7.2.10 Avaliação e conclusões do processo de reprojeto | 112 |
| Capítulo VIII - Conclusões e recomendações | 114 |
| Referências Bibliográficas | 116 |
| Bibliografia | 122 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 2.1 - Curva de fluxo de caixa e vendas de um produto em seu ciclo de vida. Ciclo de vida do produto, mostrando em que fase se recomenda o reprojeto | 13 |
| Figura 3.1 - Processo de projeto de produtos industriais | 31 |
| Figura 3.2 - Aproximação funcional no reprojeto | 37 |
| Figura 4.1 - Matriz da casa da qualidade | 48 |
| Figura 4.2 - Desdobramento da casa da qualidade..... | 50 |
| Figura 5.1 - Representação abstrata de um sistema técnico. Função total | 53 |
| Figura 5.2 - Matriz morfológica para combinação de princípios de solução | 55 |
| Figura 5.3 - Diagrama Fast | 60 |
| Figura 6.1 - Fases do processo de projeto..... | 62 |
| Figura 6.2 - Diagrama para análise da manutenibilidade | 73 |
| Figura 6.3 - Diagrama de reciclagem de materiais..... | 79 |
| Figura 6.4 - Matriz de impacto ambiental..... | 80 |
| Figura 6.5 - Integração de informações entre o desenvolvimento do produto e o planejamento da desmontagem..... | 81 |
| Figura 6.6 - Síntese dos fatores formais | 83 |
| Figura 7.1 - Carrinho de mão para construção civil a ser reprojetoado | 88 |
| Figura 7.2 - Conhecimento do sistema de produção | 89 |
| Figura 7.3 - Fontes de informação consideradas no histórico ou ciclo de vida do carrinho de mão..... | 91 |
| Figura 7.4 - Análise das dimensões dos produtos da concorrência..... | 91 |
| Figura 7.5 - Matriz da casa da qualidade, para o carrinho de mão | 94 |
| Figura 7.6 - Etapas do reprojeto conceitual | 97 |
| Figura 7.7 - Relação do sistema técnico com o meio ambiente | 98 |
| Figura 7.8 - Estrutura de funções de um carrinho de mão..... | 99 |
| Figura 7.9 - Solução conceitual para o problema | 103 |

| | |
|--|-----|
| Figura 7.10 - Etapas do reprojeto preliminar | 103 |
| Figura 7.11 - Diagrama do conjunto carrinho de mão | 104 |
| Figura 7.12 - Distribuição das cargas para a solução conceitual escolhida | 105 |
| Figura 7.13 - Etapas do reprojeto detalhado | 105 |
| Figura 7.14 - Níveis de montagem para carrinho de mão | 107 |
| Figura 7.15 - Codificação dos desenhos para protótipo de carrinho de mão | 111 |
| Figura 7.16 - Desenho técnico das vistas gerais do produto reprojetoado | 111 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|------------|
| Quadro 2.1 - Matriz de expansão de produtos e mercados | 15 |
| Quadro 2.2 - Causas que põem em prática um reprojeto de produtos industriais | 16 |
| Quadro 3.1 - Fases e etapas da metodologia do processo de projeto | 24 |
| Quadro 3.2 - Informação interna e externa necessária para determinar o campo de pesquisa | 25 |
| Quadro 3.3 - Projeto conceitual segundo Pahl & Beitz | 26 |
| Quadro 3.4 - Procedimento geral para desenvolver e construir sistemas técnicos | 27 |
| Quadro 4.1 - Especificações de projeto de produtos | 51 |
| Quadro 7.1 - Especificações de projeto do produto, para o carrinho de mão | 94 |
| Quadro 7.2 - Matriz morfológica para um carrinho de mão | 101 |
| Quadro 7.3 - Elementos constituintes da solução conceitual escolhida | 102 |
| Quadro 7.4 - Recomendações antropométricas para carrinho de mão | 108 |
| Quadro 7.5 - Revisão dos possíveis modos de falha e efeitos | 109 |

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

O ritmo acelerado da economia atual obriga as empresas a manterem atualizados e competitivos seus produtos no mercado. Para alcançar este resultado, os produtos têm que ser constantemente melhorados. Isto faz com que os projetos, na maioria dos casos, sejam de melhorias de um produto já existente. Porém, esta atividade não pode ser unicamente intuitiva, dependendo apenas do empirismo, mas realizada através de uma metodologia sistematizada que oriente o trabalho do projetista, desde a identificação do problema até o projeto final do produto, oferecendo maiores possibilidades de sucesso.

“Um modelo sistematizado para desenvolvimento de produtos, deverá conduzir o projetista mais rápida e diretamente a soluções possíveis, já que o projeto tem um efeito crucial no valor técnico e econômico do produto”, BACK [1].

Do ponto de vista da engenharia, projeto é toda a atividade dirigida a resolver o problema do cliente da maneira mais eficaz, tendo sempre em consideração suas necessidades. Na prática, à maioria das atividades relacionadas ao desenvolvimento de produtos industriais podem ser consideradas parte de um processo de reprojeto de produto.

PAHL & BEITZ [2], mencionam que, na indústria alemã de engenharia mecânica, 55% dos projetos são adaptativos, isto é, que adaptam um sistema conhecido a uma mudança de tarefa e 20 % dos projetos são de variação, que variam apenas suas medidas e/ou a configuração. Ambos os projetos, de adaptação ou de variação, são reprojeto de produtos existentes que reúnem novas especificações de produtos.

BARDASZ & ZEID [3], declaram que a maioria das atividades dos projetos mecânicos são reprojeto de projetos existentes, adequados a uma nova problemática.

MARK OAKLEY citado por BONSIPE [4], coloca que, em 99% dos casos, um produto novo é em maior ou menor proporção, derivado de um produto existente, portanto é um reprojeto.

“Certamente, reprojeto é a parte de um processo evolutivo no qual um produto existente é submetido a uma reavaliação para melhorar seus aspectos funcionais, de uso, aparência e produção”, GUI BONSIPE [4].

O reprojeção começa quando o produto ou processo precisa ser melhorado ou otimizado. Este pode acontecer dentro do processo de projeto devido a não terem sido satisfeitos todos os requisitos de projeto, ou também em produtos que já estão no mercado, como maneira de aumentar seu ciclo de vida.

Os motivos destas modificações podem ser muitos, como por exemplo : melhorar a capacidade do produto, otimizar o equipamento, reduzir o custo de produção, aumentar a segurança, etc.. Qualquer que seja o motivo, busca-se atender às necessidades humanas, sejam elas novas ou não. Outro motivo pode ser quando se pretende aumentar a longevidade do produto no mercado, seja por estar sob o risco de ficar obsoleto, para atingir novos mercados, para aumentar as suas vendas ou devido que os requisitos de projeto sofrem alteração com o tempo. Nestes casos um reprojeção dirigido à redução de custos pode ser utilizado.

Quando se trata de um reprojeção para aumentar a segurança de um produto, pode-se buscar apoio através da ergonomia, psicologia ou em normas de segurança do trabalho. Este tipo de melhoria, uma vez detectada a necessidade, deve ser feita o mais rápido possível, pois em caso contrário pode-se afetar a integridade física do usuário, FIGGIE [5].

As evoluções dos produtos, citadas anteriormente, podem dar-se em diferentes graus de complexidade, dependendo das razões que levaram a um reprojeção. Estas evoluções devem dar-se de forma gradativa, preservando a coerência com o produto original, visando assim, reduzir a possibilidade de rejeição destes por parte do usuário.

Geralmente, estas evoluções vêm sendo realizadas tomando por base o conhecimento, fruto da experiência da empresa frente ao convívio com o seu produto. Esta experiência é apoiada em métodos conhecidos de projeto, além de estudos de produtos similares.

O trabalho de reprojeção é uma atividade multidisciplinar, que utiliza as descobertas tecnológicas e as leis da ciência para poder melhorar os produtos manufaturados. Trata-se de um processo que requer por parte da equipe responsável grande quantidade de informação e conhecimento científico e técnico, além de uma boa capacidade criadora, para poder responder, com eficiência, às necessidades de seus clientes.

Para que o processo de reprojeção seja eficiente, é importante que este seja feito de maneira planejada e organizada. Isto pode ser alcançado através da utilização de uma metodologia que sistematiza o planejamento das atividades no suporte ao trabalho em grupo e na tomada de decisões, partindo da idéia de que, segundo OGLIARI [6], “as metodologias de projeto têm sido desenvolvidas para satisfazer às necessidades de ensino em projeto, organização do projeto, provisão de auxílio ao trabalho dos projetistas e automação das informações do projeto”.

Dentro desta filosofia também devem ser levadas em consideração as diferentes ferramentas do desenvolvimento de projetos, tais como o QFD (Quality Function Deployment), DFMA (Design For Manufacture and Assembly), DFE (Design For Environment), etc..

1.2 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo geral contribuir dentro do campo do desenvolvimento de produtos, especificamente na atividade de reprojeção de produtos industriais, realizando uma avaliação e ordenação das diferentes ferramentas utilizadas no processo de desenvolvimento de produtos industriais, redirecionando-as às atividades de reprojeção.

Ao final do trabalho, pretende-se gerar um documento que possa ser utilizado pelos projetistas em geral, de maneira rápida e prática. Este documento procura orientá-los a enfrentar os diferentes problemas que se apresentam durante o processo de reprojeção, além de fornecer-lhes uma série de ferramentas que possam ser de grande utilidade nas fases de criatividade, detalhamento e tomada de decisões.

1.3 Objetivos Específicos

- Esclarecer e definir o conceito de reprojeção de produtos industriais e quais são os diferentes motivos que levam a realizar um reprojeção.

- Fundamentar os conceitos citados acima com base nas diferentes informações encontradas na bibliografia existente.

- Determinar os princípios e conceitos gerais da estrutura do processo de reprojeção de produtos industriais, para que o projetista possa ter mais claro o caminho a seguir no processo de reprojeção.

- Determinar as diferentes fases que são utilizadas no processo de reprojeto, assim como fazer as contribuições pertinentes, que complementam o processo.

- Facilitar o trabalho dos projetistas na fase de definição das especificações do reprojeto, através de uma ferramenta que possa lhes auxiliar e garantir o êxito do reprojeto.

- Orientar o projetista na utilização de uma série de ferramentas que podem ser aplicadas, especificamente, no trabalho de reprojeto de produtos industriais e que o ajudem nas diferentes situações que se apresentam.

- Fornecer elementos para melhorar a capacidade de resposta do projetista no trabalho cotidiano de reprojeto.

1.4 Hipóteses

A grande maioria dos projetos de produtos industriais são na realidade reprojetos.

O trabalho tenta demonstrar a importância do processo de reprojeto como uma arma estratégica de sucesso e não unicamente como uma parte a mais do processo normal de projeto. O reprojeto na atualidade deve ser visto como uma maneira de manter competitivamente os produtos no mercado durante mais tempo. Para lograr isto é necessário estabelecer métodos e caminhos que ajudem aos projetistas durante o processo de reprojeto.

1.5 Metodologia

Na primeira parte do trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica referente ao tema de reprojeto de produtos industriais com a finalidade de definir o conceito de reprojeto, identificando os diferentes tipos de projeto e suas características particulares.

Tendo definida esta parte fundamental para a melhor compreensão do processo de reprojeto, inicia-se em seguida o estudo de algumas metodologias de projeto selecionadas pela sua importância e influência na maioria das metodologias encontradas na literatura. Nesta parte do trabalho, faz-se uma análise orientada a identificar quais são os princípios e conceitos comuns que são usados no processo de reprojeto nestas metodologias escolhidas, assim como, destacar as fases em que se deve dar maior atenção ao processo particular de reprojeto. Procurou-se uma convergência de idéias que

permitissem chegar, com pragmatismo, ao estabelecimento de um caminho que oriente o projetista no trabalho de reprojeto.

Na segunda parte, tenta-se facilitar o trabalho prático do projetista no processo de reprojeto através da apresentação de uma compilação das ferramentas mais usadas para resolver problemas específicos de reprojeto, visto que os resultados obtidos com o reprojeto estão diretamente relacionados com a experiência do projetista e a utilização destas ferramentas garante melhores resultados.

1.6 Limitações do trabalho

Devido à abrangência do tema, o presente trabalho trata o reprojeto de maneira global, permitindo que se alcance o maior número de casos possíveis, sejam estes para melhorar uma parte do produto ou para melhorar o produto em sua totalidade, visto que, para ambas as situações, os métodos e ferramentas estudados têm a mesma aplicação.

Este estudo constitui um início do que poderá ser uma série de trabalhos mais específicos sobre as diferentes ferramentas de reprojeto de produtos industriais que aqui se reúne. O trabalho apresenta ferramentas e métodos que, apesar de serem bem conhecidos no campo do desenvolvimento de produtos, necessitam de uma depuração constante, baseada na utilização durante o processo de reprojeto, para que tornem-se mais eficientes na busca dos objetivos que se pretende alcançar no reprojeto de produtos industriais.

Do ponto de vista da pesquisa bibliográfica, foram encontradas dificuldades devido à escassa literatura relativa ao tema. Os autores, em sua maioria, tratam o reprojeto como uma parte do processo de desenvolvimento de produtos, contudo não aprofundam-se a respeito.

1.7 Estrutura do trabalho

Esta dissertação foi dividida em oito capítulos descritos a seguir:

Capítulo 1

Apresenta o tema abordado no trabalho, o problema de reprojeto, a justificativa da importância do trabalho, os objetivos, a metodologia de trabalho, as limitações e a estrutura estabelecida.

Capítulo 2

O segundo capítulo está formado pela revisão bibliográfica específica ao tema. Na primeira parte mostram-se as características que diferenciam um projeto novo de um reprojeto, assim como os graus de inovação destes.

Na segunda parte são colocados alguns aspectos conceituais, definindo as características do reprojeto de produtos industriais.

Capítulo 3

Apresenta várias estruturas do processo de reprojeto de produtos industriais. Define-se a estrutura do processo e se analisa algumas metodologias de projeto, como as de Pahl & Beitz e da VDI 2221, sempre do ponto de vista do processo de reprojeto. O capítulo é concluído com os princípios e conceitos gerais que caracterizam o processo de reprojeto.

Capítulo 4

Neste capítulo é apresentada a maneira como deve ser feito o manuseio das informações necessárias para verificar a oportunidade da realização de um reprojeto. De maneira prática, são apresentados quais tipos de informações devem ser levantadas para que o problema (ou situação) de reprojeto possa ser resolvida, assim como os critérios de avaliação das necessidades de reprojeto e as formas de se prepararem as especificações conforme as ferramentas da casa da qualidade (QFD).

Capítulo 5

Este capítulo contém uma série de métodos de grande utilidade na fase de concepção, também denominada de projeto conceitual. O estudo destes métodos adaptados às necessidades específicas do reprojeto aumentam grandemente o desempenho do projetista.

Capítulo 6

Neste capítulo apresenta-se uma série de métodos que auxiliam ao reprojeto na fase do projeto detalhado. Estes métodos estão dirigidos para facilitar a solução de

problemas específicos, que se apresentam durante o processo de reprojeto de produtos industriais, como pode ser a montagem, o uso, a manufatura, a confiabilidade, etc..

Capítulo 7

É realizado um estudo de caso prático de um reprojeto de produto industrial, que pretende mostrar o uso dos métodos estudados nos capítulos anteriores, já que o conhecimento da experiência profissional, é de grande valor para as pessoas que trabalham com o desenvolvimento de produtos.

Capítulo 8

Neste capítulo são elaboradas conclusões e recomendações do trabalho como um todo, e destacam-se alguns dos pontos de importância para futuros estudos no tema.

CAPÍTULO II

REPROJETO DE PRODUTOS INDUSTRIAIS

2.1 Introdução

Como já é sabido, existe uma série de fatores que influenciam grandemente o desempenho competitivo de uma empresa. Os fatores internos (capacidade tecnológica, humana, etc.) são os únicos sobre que a empresa tem absoluto controle e decisão; já os fatores estruturais (mercado, concorrência, etc.) e do sistema (político, macroeconomia, etc.) são difíceis de se controlar.

Um destes fatores internos que se deve dar grande ênfase é a qualidade do produto em todo o seu ciclo de vida, incluído neste ciclo o fator da melhoria constante da qualidade. A melhoria constante dos produtos, ajudará a empresa a adaptar-se às mudanças de mercado, diferenciando-a de seus competidores.

2.2 Os tipos de projetos de produtos industriais

PAHL & BEITZ [2], definem três tipos de projetos: projeto original, projeto adaptativo e projeto de variantes.

Projeto original é aquele que envolve a elaboração de um princípio de solução original para um sistema, com a mesma, similar ou nova tarefa.

Projeto adaptativo é aquele que adapta sistemas conhecidos com a intenção de mudar as tarefas para as quais foram inicialmente projetados, mantendo os princípios de solução.

Projeto de variante é aquele que varia o tamanho ou o arranjo de certos aspectos de um sistema escolhido; a função original e o princípio de solução do sistema não mudam.

Segundo ULLMAN [7], todos os produtos que encontram-se no mercado podem ser classificados em três grandes grupos, dependendo da origem de seu desenvolvimento. Esta classificação vai determinar quando se trata de um novo produto ou de um produto melhorado.

Estes diferentes tipos de desenvolvimentos podem ser classificados da seguinte maneira:

- desenvolvimento de novos produtos baseados numa nova tecnologia;

- desenvolvimento de novos produtos criados por sistemas integrados e
- desenvolvimento de produtos criados pelo reprojeto de um produto existente.

- Desenvolvimento de novos produtos baseados numa nova tecnologia

Pode-se considerar estes produtos como totalmente novos e inovadores, pelo fato de serem desenvolvidos a partir de uma nova tecnologia.

Quando um produto é baseado em uma nova tecnologia, o risco de fracasso é muito grande porque não existe referencial de um produto similar, assim como não se conhece o mercado no qual se pretende atuar. Mas no caso de ser um produto de sucesso, o lucro também será muito grande em virtude do fator novidade.

Durante este processo geralmente trabalha-se de maneira sigilosa, com o objetivo de evitar a divulgação prévia de informações e, como o consumidor ainda não foi identificado claramente, costuma-se prever os problemas e atitudes que poderiam ser decorrentes do uso desta nova tecnologia. Um exemplo deste tipo de produto é o caso da primeira máquina de fotocopiar, na qual sua viabilidade projetual dependia totalmente da tecnologia existente na época, como foi o caso do uso da ionização para a cópia foto estática.

- Desenvolvimento de novos produtos criados pela integração de tecnologias existentes

Trata-se de produtos novos, sem semelhantes no mercado, que para serem criados utilizam-se tecnologias ou sistemas existentes no mercado, desenvolvidas por outras companhias ou não, podendo estas tecnologias serem terceirizadas, ou adquiridas nos locais de venda especializada, conforme o caso.

Esta aquisição de tecnologia deve-se ao fato de que, em muitos casos, é mais barato utilizar e/ou adaptar as tecnologias existentes para estes produtos em especial, do que desenvolver uma própria, tornando-os mais acessíveis e competitivos.

Um exemplo deste tipo de produto é a primeira máquina de cortar grama e a motocicleta, onde os componentes que as formaram foram adaptados de outros fabricantes.

A primeira motocicleta no mundo foi criada pela Honda, no Japão, sendo basicamente uma bicicleta com um motor de cortador de grama adaptado, que passou a ser a base das motocicletas que se projetam na atualidade.

-Desenvolvimento de produtos criados pelo reprojeto de um produto existente

São produtos que foram lançados no mercado e que constantemente são sujeitos a melhorias. Esta categoria de desenvolvimento de produtos é a mais freqüente e normalmente ocorre quando o produto encontra-se na fase de maturidade do seu ciclo de vida.

As melhorias aplicadas a um produto podem dar-se em diferentes graus, dependendo da intenção do reprojeto:

- podem ser feitas unicamente pequenas melhoras, onde o trabalho se direciona a uma única parte do produto atual, e

- como se mencionou, também podem ser aplicadas melhorias de maior abrangência, onde quase a totalidade das partes ou sistemas são incluídos num programa de melhoria.

Em qualquer das situações o produto passa a ser quase sempre considerado, pelo mercado, como a criação de um novo produto. Em ambos os casos, o reprojeto sempre busca tornar o produto mais eficiente, mantendo suas qualidades e características e eliminando seus problemas.

Bons exemplos de reprojeto, são os de produtos atualizados anualmente, mesmo em pequenos detalhes, como é o caso dos fabricantes de automóveis, que para manterem-se competitivos, submetem seus produtos a pequenas melhorias periódicas, até ocorrer a mudança do produto como um todo.

Também depara-se, constantemente, no mercado com produtos que são similares entre si, divergindo apenas em pequenos detalhes que podem ser de cor, forma, escala, etc., e ainda assim são considerados como produtos novos. Isto ocorre devido ao fato de que, do ponto de vista do marketing, um produto que para uma empresa é considerado como reprojeto, para o mercado pode ser apresentado como novo.

Baseado no comportamento do mercado e também na bibliografia pesquisada, pode-se estabelecer a seguinte diferenciação entre produtos novos e melhorias:

- produtos novos para o mercado;
- produtos novos para a companhia, e
- considerados pela companhia como produtos aperfeiçoados.

- Produtos novos para o mercado

Consideram-se como produtos novos para o mercado, todos aqueles produtos que a companhia desenvolve e coloca no mercado, podendo estes produtos ter similares concorrentes ou não, que tenham sido lançados anteriormente. Estes produtos podem ser resultado do uso de uma nova tecnologia, do uso de sistemas integrados ou por melhorias de reprojeto.

Estes produtos não, necessariamente, são considerados como novos para a companhia (podem já existir protótipos ou produtos menos evoluídos).

- Produtos novos para a companhia

São aqueles que a companhia desenvolve pela primeira vez, podendo já haver similares no mercado ou não. O desenvolvimento destes produtos pode ser pela utilização de uma nova tecnologia ou pela integração de sistemas existentes.

Estes produtos regularmente são considerados também, como novos para o mercado.

- Produtos aperfeiçoados

São aqueles sobre os quais a companhia tem total domínio, que já estão presentes no mercado, e necessitam serem melhorados por alguma ineficiência que apresentam, ou então pertencem a programas de reprojeto (melhoras constantes).

Estes produtos não são considerados como novos para a companhia, podendo porém serem considerados como produtos novos no mercado, devido às suas novas qualidades.

2.3 Reprojeto de Produtos Industriais

O processo de reprojeto de um produto industrial consiste na criação de melhorias de um sistema físico destinado a atender às necessidades do cliente, qualquer que seja ele. HASHIM, JUSTER & PENNINGTON [8], definem o processo de

reprojeto de produtos industriais, como a atividade que introduz mudanças no projeto original, satisfazendo e preservando seus requisitos funcionais com a tentativa de gerar possíveis alternativas que melhor atendam à necessidade apresentada.

Segundo GURGEL [9], estas mudanças podem ser classificadas em três tipos diferentes, que determinarão o grau ou nível de reprojeto:

1. otimizante: Melhoria do projeto do produto, pela introdução de técnicas para a elevação da performance da peça principal e redução do custo das peças de suporte. O projeto básico do produto, porém, é mantido;

2. renovador: Reprojeta-se o produto com uma nova concepção técnica, bem mais evoluída em relação ao projeto inicial, e

3. revolucionário: Criação de um produto totalmente diferente para o exercício das mesmas funções do produto anterior.

Para entender melhor o conceito de reprojeto de produtos industriais, é importante saber que sua intenção sempre estará dirigida à redução de custos e/ou à melhoria da qualidade do produto (acabamento, peso, consumo de energia, etc.). Num programa de reprojeto os projetistas devem buscar mudanças sem comprometer o nível de segurança e desempenho já alcançado pelo mesmo.

Através de um programa de reprojeto, os custos dos produtos podem ser reduzidos notavelmente e o lucro das empresas podem crescer substancialmente. Não obstante, apesar destas vantagens, nem todas as empresas incluem o reprojeto em seus métodos de redução de custos. Uma das razões é devido às mudanças de engenharia acontecerem no âmbito da desempenho e segurança do produto e não na área de custos (ao invés de algumas empresas visarem aumentar a sua fatia do mercado, desejam apenas aumentar a sua margem de lucro).

Um reprojeto de produto industrial deve ser planejado em relação a seu ciclo de vida: desenvolvimento do produto, introdução no mercado, amadurecimento e declínio. Um seguimento deste ciclo de vida permite planejar de melhor maneira o reprojeto antes que o produto comece a gerar perdas. A fase recomendada para começar a trabalhar no reprojeto é no amadurecimento do produto, devido a que este ainda proporciona lucros à empresa, mas pode entrar em declínio e, a empresa já possuir bastante informações sobre ele e o seu público alvo.

Cada projeto deve ter um acompanhamento de mercado particular, devido a que existem ciclos de vida diferenciados entre produtos e estes determinarão em que momento da fase de amadurecimento deve-se contemplar o reprojeto. A vida de um produto pode variar de alguns meses para alguns anos, isso pode requerer poucas mudanças durante sua vida ou muitas modificações.

A Figura 2.1 mostra em qual das etapas do ciclo de vida do produto o reprojeto pode alcançar maiores lucros.

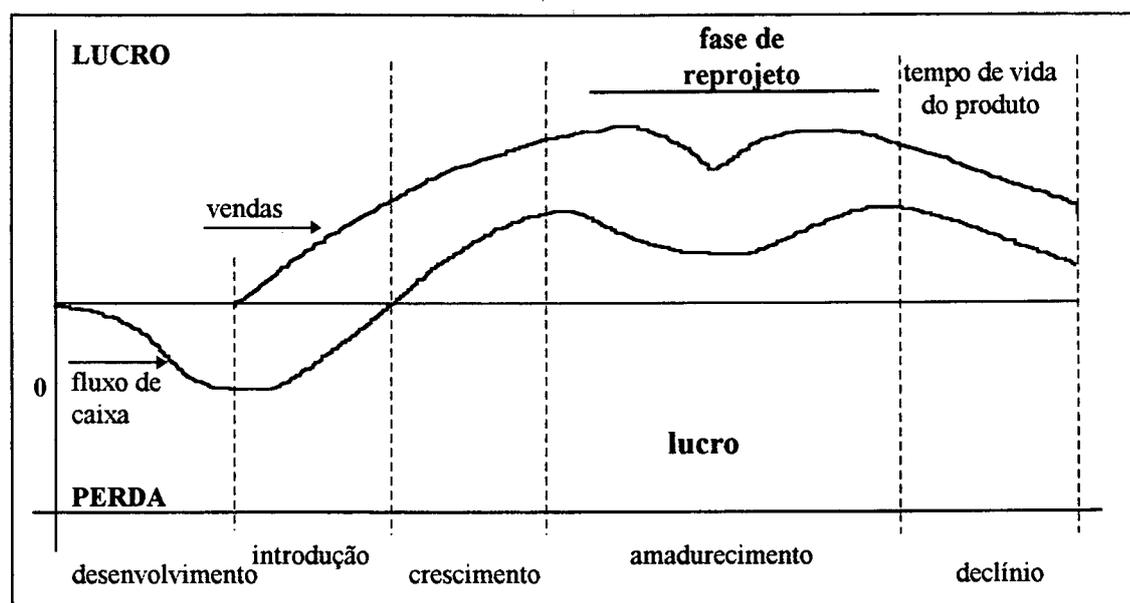


Figura 2.1 Curva de fluxo de caixa e vendas de um produto em seu ciclo de vida. Ciclo de vida do produto, mostrando em que fase se recomenda o reprojeto. (Fonte: HOGARTH) [10].

O ciclo de vida de um produto de sucesso pode normalmente ser descrito numa curva crescente. Segundo RAY MARTYN [11], o estágio inicial do crescimento do produto pode ser lento se existir um produto similar no mercado e rápido se este for um produto de inovação tecnológica. O primeiro estágio será substituído, eventualmente, por um período de vendas estáveis, seguido de um nível de redução de demandas e finalmente uma contração do mercado. O tempo de cada fase dependerá principalmente do tipo de produto, mesmo que outros fatores influenciem, como recessão econômica, aumento do preço dos materiais, decisões políticas, etc.

A promoção de novos produtos deve ser programada, para lançá-los no mercado antes que os ganhos da companhia comecem a cair. Análise de mercado, reconhecimento

prévio das mudanças nos fatores que influenciam as vendas e os custos de produção ajudarão nesta atividade. A escolha está entre reprojeter o produto ou abandoná-lo e concentrar-se em outro. Se um produto reprojeto entrar no mercado muito cedo, as vendas e lucros do produto original se perderão. De qualquer maneira, se ocorrerem atrasos, o produto reprojeto pode entrar numa indesejável fase de queda reduzindo o lucro. A escolha do tempo oportuno é um fator importante.

Com o objetivo de prevenir, ou preferencialmente atrasar o início da fase de queda das vendas, o projetista deve partir para a melhoria e simplificação do projeto (reprojeto), e também na redução dos elementos de custo.

A empresa deve estabelecer a estratégia de reprojeto, observando onde é que seus produtos encontram-se em relação ao mercado e como querem que ele posicione-se em relação à concorrência.

Antes de planejar qualquer estratégia de reprojeto ou de projeto de novos produtos, é necessário analisar a posição da companhia, observando: produtos existentes, seus segmentos de mercado, crescimento ou declínio no mercado, tendências do mercado, lucro, etc.. Também deve dar grande ênfase às deficiências da linha de produção e sua capacidade de manufatura, assim como verificar os pontos fortes e fracos da empresa, no departamento de vendas da empresa, na gerência e nos canais de distribuição. ✱

Na matriz de expansão de produtos e mercados mostrada no Quadro 2.1, pode-se visualizar melhor as prioridades:

- a primeira prioridade, é a estratégia de penetração do produto, que deve ser maximizada na área do mercado que a companhia tem um maior controle, mediante produtos considerados como bem desenvolvidos. Se a companhia pode realizar isto de maneira correta, ganhará recursos suficientes para arriscar em outras áreas;

- a segunda prioridade é reconhecer outras alternativas que aumentem a sobrevivência dos produtos existentes e

- a terceira prioridade, não tão segura como as duas anteriores, é ter cuidado ao introduzir produtos existentes em novos mercados e

Um risco que deve ser levado em conta, se apresenta ao introduzir produtos reprojeto em mercados novos ou produtos novos em mercados existentes (quarta

prioridade). A combinação de um novo produto e um novo mercado pode ser geralmente evitada, a menos que esta seja uma estratégia bem planejada pela empresa. [12].

Quadro 2.1 Matriz de expansão de produtos e mercados (Fonte: LEONARD D. LA PASSO) [12].

| Produto \ Mercado | Mercados Existentes | Mercados Novos |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Produtos Existentes | 1a prioridade | 3a prioridade |
| Produtos Re projetados | 2a prioridade | 4a prioridade |
| Produtos Novos | 4a prioridade | Pouca Prioridade |

FIGGIE [5], considera uma ótima performance quando o processo de reprojeção resulta na redução de 50% dos custos de um produto, uma performance média quando a redução é 30% e uma performance insuficiente quando a redução atinge apenas 10% .

Outra estratégia para manter mais produtos atualizados, é criar famílias de reprojeção, isto é, identificar produtos que têm partes semelhantes e que pertencem às mesmas famílias, porque ao reprojetar um deles se estará atualizando da mesma maneira todos os demais obtendo benefícios de redução de custo. Um programa de reprojeção de famílias pode normalizar e simplificar todas as partes de uma família. [5]

Para manter um produto na frente é importante sempre atribuir mudanças que sejam percebidas pelo cliente, e que agreguem valor ao produto, podendo ser estas simplesmente mudanças externas.

2.4 Diferentes causas ou necessidades que levam a realizar um reprojeção

As necessidades dos clientes são as que determinam as causas de qualquer reprojeção, levando sempre em consideração tudo aquilo que é de grande importância para ele.

- Para os clientes externos é importante que o produto seja fácil de manter, atrativo, com a tecnologia mais recente, que seja barato e que dure muito, assim como a performance e a aparência.

- Para os clientes internos na área de produção é importante que o produto seja fácil de produzir, fácil de montar, use métodos e partes normalizadas, use os recursos existentes na empresa, e tenha o mínimo de desperdício.

- Para os clientes intermediários, da área de marketing, vendas, distribuição, etc., é importante que o produto seja fácil de estocar, de transportar, que seja atrativo para o cliente final, atraente na vitrina, fácil de empacotar, etc..

As diferentes causas que colocam em prática um reprojeito de produtos industriais, podem ser tão amplas que abrangem todas as diferentes áreas que envolvem um processo de projeto, assim como podem ser custos de projeto, desempenho do produto, materiais e processos, segurança, normalização, etc.. Algumas destas causas, consideradas mais importantes, são mostradas no Quadro 2.2 seguindo a classificação proposta pela referência.

Quadro 2.2 Causas que põem em prática um reprojeito de produtos industriais (Fonte: Análise de Valor. Notas do Centro de Pesquisas e Projetos de Treinamento. Fundação Volkswagen) [13].

| CLASSIFICAÇÃO | FATOR | DEFINIÇÃO |
|-----------------|---|--|
| Causas técnicas | Aplicação inadequada de meios (recursos) durante o projeto. | Idéias, habilidades e informações não utilizadas durante a fase de concepção do projeto. |
| | Custos excessivos. | Durante o projeto a viabilidade técnica foi provada e estava adequada; análises de custos posteriores revelam a presença de custos excessivos. |
| | Questionamento de especificações. | As tolerâncias foram super-especificadas em função de julgar impróprias as especificações dos usuários. |
| | Avanços na tecnologia. | Incorporação de novos materiais, componentes, técnicas ou processos que não foram devidamente avaliados durante o projeto. |
| | Avaliações de testes. | Modificações de projetos baseados em avaliações de testes que indicaram parâmetros exagerados de especificações e até erros. |
| | Aplicação inadequada de processos de fabricação. | Novos processos de fabricação que não são usados e que repercutem nos custos do produto acabado. |
| | Método inadequado de montagem. | Durante o projeto não se considerou como teria que ser a montagem mais adequada |
| | Problemas de manutenção. | Durante o projeto não se considerou como teria que ser a manutenção. |

Quadro 2.2 Causas que põem em prática um reprojeto de produtos industriais (Fonte: Análise de Valor. Notas do Centro de Pesquisas e Projetos de Treinamento. Fundação Volkswagen) [13]. (Continuação).

| | | |
|----------------------------|---|---|
| | Deficiência do projeto. | Performance inadequada, deficiência técnica, má qualidade, etc.. |
| Causas de mercado | Introdução em novos nichos de mercado | Nichos de mercado não considerados durante o projeto ou novos mercados que aparecem por mudanças culturais, políticas, comerciais, sociais, etc.. |
| | Perda de mercado. | Porque a concorrência baixou os preços de seus produtos, porque existe uma queda constante de vendas do produto atual, ou porque o produto está saindo de moda para o mercado consumidor ou o produto concorrente é melhor. |
| | Mudanças nas necessidades do consumidor. | Modificações ocorridas nas necessidades do consumidor com o decorrer do tempo, obsolescência. |
| Causas de segurança | Deficiência no manuseio do produto. | Quando o produto possui alguma característica que pode ser perigosa para o usuário. |
| | Aplicação inadequada de materiais. | Quando o produto contém substâncias ou materiais tóxicos. |
| | Deficiência do projeto no aspecto ergonômico. | Quando o produto não contempla aspectos ergonômicos. |
| Causas legais | Cumprimento de normas. | Não foram consideradas ou surgem novas normas de produtos, para exportação, segurança, etc.. |
| | Motivos ecológicos. | Porque o produto é agressivo ao meio ambiente |
| | Situações específicas regulamentadas. | Se obriga a cumprir com especificações próprias de produtos infantis, deficientes físicos, etc.. |
| | Surgimento de novas leis. | No projeto inicial não se considerava a reciclagem, descarte, etc.. |

CAPÍTULO III

ESTRUTURA DO PROCESSO DE REPROJETO DE PRODUTOS INDUSTRIAIS

3.1 Introdução

Este capítulo apresenta metodologias onde se descrevem as várias etapas do processo de projeto, desde a identificação de necessidades até o projeto detalhado do produto. Ao final, é descrito o processo de reprojeto, com base nas metodologias citadas, ressaltando diferentes situações importantes que devem ser levadas em consideração durante este processo.

Segundo YOSHIKAWA [14], as diferentes metodologias utilizadas no desenvolvimento de produtos industriais podem ser classificadas em cinco grupos representados por escolas ou linhas: a escola semântica, a escola sintática, a escola historicista, a escola psicológica e a escola filosófica.

Na *escola semântica* é considerado que em máquinas, equipamentos e aparelhos somente podem existir fluxos de energia, de material e de sinal, portanto todo sistema técnico pode ser representado pela transformação destes fluxos desde a entrada até a saída. Essa transformação se dá pela funcionalidade do sistema técnico. A responsável por essa transformação é uma seqüência de funções e sub-funções. A função global do sistema técnico é subdividida em estrutura de sub-funções mais simples, para melhor identificação dos fenômenos físicos que realizam as transformações desejadas.

Uma das características mais relevantes da escola semântica, é a possibilidade da catalogação de efeitos físicos que servirão para materializar os princípios de solução necessários para a geração das funções técnicas. Alguns exemplos podem ser:

- catálogos de princípios para separar e juntar materiais;
- catálogos de princípios para aumentar e diminuir grandezas físicas, como a ampliação e redução de forças, e
- catálogos de dispositivos para limitar movimentos e mecanismos para transmissão de forças, etc..

Na *escola sintática*, a preocupação maior é relativa aos aspectos de procedimento do projetista do que com os objetivos próprios do projeto. O processo inicia-se com o estudo da origem do desenvolvimento do produto, até a elaboração final

do projeto detalhado, passando por todos os passos inerentes ao seu desenvolvimento, sendo estes de trabalho ou de decisão. Cada passo de trabalho tem associada uma saída de informações, e em cada passo de decisão determina-se se o processo deve continuar ou se é necessário repetir o passo do trabalho anterior. O processo termina com a elaboração da documentação do produto pronta para a fabricação.

Segundo YOSHIKAWA [14], as escolas semântica e sintática não são divergentes em suas abordagens, mas sim complementares. A primeira evidencia os aspectos estáticos do projeto, enquanto a segunda os aspectos dinâmicos. A combinação destas duas em uma só metodologia foi proposta por PAHL & BEITZ [2].

Na *escola historicista*, enfatiza-se a importância do conhecimento disponível sobre determinado assunto em estudo, utilizando-se destas informações para a melhoria do projeto. Portanto, segundo esta escola, o projetista deveria ter à sua disposição todas as informações a respeito do assunto, o que torna esta tarefa pouco prática e difícil de ser realizada.

As *escolas psicológicas e filosóficas* estão mais dirigidas ao processo de projeto, a primeira preocupa-se mais com a criatividade durante o processo, e a segunda com os aspectos do pensamento humano.

3.2 Visão geral de algumas metodologias usadas em projeto de produtos industriais

Segundo BACK [1] : “O projeto de um componente ou um sistema apresenta, em cada caso, características e peculiaridades próprias. Mas à medida que um projeto é iniciado e desenvolvido desdobra-se uma seqüência de eventos, numa ordem cronológica, formando um modelo, o qual quase sempre é comum a todos os projetos”.

Apesar de que os modelos de desenvolvimento de produtos são similares, os objetivos que nos levam a colocá-los em prática na maioria das vezes são diferentes, conseqüentemente os resultados que podem ser obtidos tendem também a ser diferenciados.

YOSHIKAWA [14], comenta que não existe uma teoria de projeto que possa ser adequada à solução de todos os tipos de problemas. O que existem são procedimentos sistemáticos que, com maior ou menor grau de detalhamento, orientam as ações dos projetistas.

As diferenças entre as metodologias de projeto ocorrem a nível de abordagens e profundidade de detalhamento das atividades que as compõem. Como exemplo de metodologias para desenvolvimento de produtos industriais apresentam-se a seguir algumas abordagens que foram comentadas por FIOD [15] e OGLIARI [6].

3.2.1 Metodologia de SUH

Na sua metodologia, SUH [16] dá grande importância aos requisitos funcionais do projeto e estabelece um “modelo axiomático” genérico para qualquer área de trabalho, onde propõe dois axiomas fundamentais:

- **axioma da independência**: se refere à necessidade de garantir a independência entre os requisitos funcionais de projeto, e

- **axioma da informação**: onde sugere minimizar o conteúdo de informações contidas em um projeto, reduzindo-as às essenciais.

Esta metodologia busca, através de axiomas ou leis, sistematizar ações e procedimentos, além de fornecer elementos para facilitar a tomada de decisão durante o processo do projeto com o propósito de concretizar as idéias intuitivas que acontecem dentro deste processo. O “modelo axiomático” descreve o projeto como um processo genérico constituído por três passos principais:

1. **definição do problema**: onde se define os requisitos e restrições funcionais;
2. **processo criativo**: onde se definem a concepção e a idealização de uma solução. Este segundo utiliza as informações geradas no primeiro, para através de funções lógicas enriquecer e facilitar a concepção da melhor solução, e
3. **processo analítico**: onde analisa-se a solução proposta e determina-se se esta é uma solução racional que satisfaça a necessidade identificada. Este terceiro passo auxilia-se nas informações contidas nos requisitos funcionais do projeto.

Outra característica da metodologia de Suh, está na importância que dá à tomada de decisões nos estágios iniciais de estudos dos requisitos funcionais, isto ocorre para tentar minimizar erros indesejados no projeto. Estes requisitos funcionais são informações abstratas que terão que ser progressivamente transformadas em características do produto final.

Pela sua ênfase funcional, a metodologia de Suh pode ser facilmente utilizada em projetos de produtos, já que nestes os requisitos funcionais são claramente definidos, fáceis de serem avaliados e melhorados.

3.2.2 Metodologia de ASIMOW

A metodologia proposta por ASIMOW [17], baseia-se em três elementos principais: um conjunto de princípios e suas derivações lógicas, uma estrutura operacional que resulta em ação e um instrumento de crítica que realimenta o processo.

Esta filosofia depende de um método que estabelece o aspecto operacional do projeto, sendo este definido através de uma seqüência de eventos, formando um modelo comum a todos os projetos. Na metodologia proposta, as idéias sobre as necessidades são transformadas em idéias que servirão para criar objetos úteis.

As três primeiras fases da metodologia concentram-se na viabilidade do projeto, no projeto preliminar e no projeto detalhado, conformando o processo de projeto de produto. As fases seguintes concentram-se principalmente no ciclo de produção, distribuição, consumo do produto e planejamento para a retirada.

3.2.3 Sistemática de FABRYCKY & BLANCHARD

Em sua sistemática, FABRYCKY & BLANCHARD [18] vêem o projeto como uma função no ciclo de vida de um sistema que começa com a identificação inicial de uma necessidade e estende-se através do planejamento, pesquisa, projeto, produção, avaliação, uso do consumidor, suporte logístico e descarte.

A primeira etapa da sistemática, trata do projeto conceitual, que se concretiza através da aplicação do processo de engenharia de sistemas, mediante o detalhamento funcional e requisitos de projeto onde se busca um equilíbrio entre os fatores operacionais, econômicos e logísticos.

A etapa seguinte refere-se ao projeto preliminar, que começa com a análise funcional do sistema. O projeto preliminar inclui o processo de análise funcional e a locação de requisitos, a realização de estudos de otimização e compromisso, síntese de sistemas e definição da configuração na forma de especificações detalhadas.

A fase do projeto detalhado inicia com uma configuração derivada das atividades do projeto preliminar. O projeto avança da forma e da função abstrata, para

posteriormente poder ser detalhado e produzido. Em cada estágio do projeto existe uma avaliação, que é realizada para assegurar que o projeto esteja correto e possa prosseguir ao próximo estágio, sucessivamente até a sua finalização com a produção.

3.2.4 Modelo de POSSAMAI

POSSAMAI [19], ressalta o aspecto funcional do produto propondo um trinômio necessidade-função-produto, conformado em cinco etapas:

1. análise do problema e determinação da função fundamental;
2. determinação das funções secundárias e restritivas;
3. elaboração de modelo virtual do produto;
4. elaboração de matriz morfológica com elementos de solução parcial, e
5. composição da solução e escolha da melhor alternativa.

O objetivo da primeira etapa é identificar a função principal a ser realizada pelo produto, tomando em consideração o ponto de vista do cliente. A segunda etapa procura definir as outras funções e restrições que terá o produto, sendo estas: o mercado consumidor; a concorrência; a empresa fabricante; etc.. A terceira etapa determina o fluxo funcional interno do produto, para transformar suas entradas nas saídas desejadas. Na quarta etapa relacionam-se soluções possíveis para cada sub-função, que culminam na concepção final do produto. Na quinta etapa são comparadas as alternativas de solução com base em suas respectivas adequações aos requisitos de projeto e viabilidade técnica, econômica e financeira.

3.2.5 Metodologia de CHAKRABARTI & BLIGH

A metodologia de CHAKRABARTY & BLIGH [20], considera a concepção do produto como uma atividade recursiva que ocorre através da definição inicial do problema, síntese de soluções parciais, avaliação das soluções encontradas e redefinições horizontal e vertical do problema.

A redefinição horizontal refere-se às funções parciais no mesmo nível de abstração resolvendo o problema não como um todo, mas por partes. A redefinição vertical refere-se ao problema como um todo, conformado este pelas diversas funções parciais justapostas. A redefinição do problema ocorre em termos do estado prévio do problema, da contribuição das novas soluções parciais escolhidas, obtidas durante a

solução do problema e dos requisitos adicionais impostos pelas soluções parciais alcançadas.

Ao utilizar a metodologia, o projetista pode escolher o caminho da busca de soluções, avaliando as alternativas de soluções parciais obtidas e redefinindo o problema global, sempre levando em consideração o resultado prévio até então alcançado, o que faz com que a solução do problema como um todo, seja orientada pelas soluções parciais factíveis até o momento obtidas.

A metodologia inicia pela definição do problema. A seguir uma parte do problema é selecionada para ser resolvida. Depois um conjunto de soluções é obtido para satisfazer aos requisitos da parte selecionada. Posteriormente, a primeira solução escolhida é avaliada em relação ao problema inicial como um todo. A seguir, diferentes soluções são pesquisadas para buscar resolver as partes faltantes do problema, a primeira das quais é avaliada para produzir a próxima definição do problema. Este processo repete-se até culminar na solução total.

3.2.6 Modelo de metodologia utilizada por PAHL & BEITZ, 1977

Este modelo inclui as abordagens das escolas semântica e sintática segundo a categorização de YOSHIKAWA [14].

As quatro fases do modelo refletem a linha de pesquisa básica alemã na área de projeto de produtos:

- definição da tarefa;
- projeto conceitual;
- projeto preliminar, e
- projeto detalhado.

Estas fases de projeto de produtos industriais, são subdivididas em diferentes etapas, com suas respectivas tomadas de decisões entre cada etapa. Nesta metodologia é necessário avaliar cada uma das etapas antes de passar à seguinte, maneira encontrada de se garantir que não está levando à frente erros cometidos em etapas iniciais.

Cada etapa tem uma saída e uma entrada, resultante da retroalimentação entre elas, o que permite um avanço no processo até a conclusão do produto final (Quadro 3.1).

Quadro 3.1 Fases e etapas da metodologia do processo de projeto (Fonte: G PAHL & BEITZ) [2].

| FASES | ETAPAS DO PROJETO | R E T R O A L I M E N T A Ç Ã O |
|---|--|--|
| TAREFA | | |
| FASE 1 DEFINIÇÃO DA TAREFA | 1. Definição da tarefa - Elaboração de especificações 2. Especificações | |
| FASE 2 PROJETO CONCEITUAL | 1. Identificar principais problemas - Estabelecer estruturas funcionais - Busca de princípios solução - Pesquisar princípios de solução - Avaliação de critérios técnicos e econômicos 2. Concepção | |
| FASE 3 PROJETO PRELIMINAR | 1. Desenvolver primeiros leiaute e forma do produto - Selecionar as melhores primeiros leiautes - Refinar e avaliar novamente critérios técnicos e econômicos 2. Leiaute preliminar 3. Otimizar e completar a forma - Verificar erros e custo efetivo - Preparar a listagem preliminar das partes e os documentos de produção 4. Leiaute definitivo | |
| FASE 4 PROJETO DETALHADO | 1. Últimos detalhes - Desenhos de detalhe e documentos de produção - Verificar todos os documentos 2. Documentação | |
| PRODUTO | | |

Fase 1. Definição da tarefa.

Nesta fase reúne-se a maior quantidade de informação possível referente à elaboração da lista de requisitos obrigatórios e desejáveis, além de suas restrições. Nesta etapa pretende-se definir a função requerida, as grandezas de entrada e saída e as perturbações externas ao problema, que resultarão na elaboração detalhada das especificações de projeto.

O Quadro 3.2 mostra a informação interna e externa necessária para determinar o campo de pesquisa que ajudará a esclarecer a tarefa.

Quadro 3.2 Informação interna e externa necessária para determinar o campo de pesquisa (Fonte: G PAHL & BEITZ) [2].

| | | |
|--|--|---|
| <p>Leis, regulamentos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Controle ambiental - Regulamentos de segurança - Regulamentos industriais - Normas | <p>Mercado</p> <ul style="list-style-type: none"> - Demandas de mercado - Mercado potencial - Estrutura do mercado - Segmento de mercado - Concorrência | <p>Política Econômica</p> <ul style="list-style-type: none"> - Medidas econômicas - Política financeira - Política fiscal - Acordo com os clientes - Regras de exportação |
| DETERMINAÇÃO DO CAMPO DE PESQUISA | | |
| <p>Novas tecnologias</p> <ul style="list-style-type: none"> - Processos - Métodos - Materiais | <p>Compania</p> <ul style="list-style-type: none"> - Objetivos de empreendimentos - Ciclos de vida dos produtos - Custo, Lucros - Potencial de empreendimento - Limites de expansão do potencial | <p>Outras informações</p> <ul style="list-style-type: none"> - Patentes e licenças - Internacionalização - Crescimento da população - Educação - Desenvolvimento militar |

Fase 2. Projeto Conceitual.

Esta é a parte do processo de projeto onde, através da identificação de problemas essenciais, estabelecimento de estruturas funcionais, busca de princípios de soluções apropriados e a sua combinação, o caminho de uma solução básica é traçado através da elaboração de uma solução conceitual. Uma vez que o problema central tenha sido formulado é possível indicar uma função global. O detalhamento da função global corresponde ao passo de estabelecimento da estrutura de funções.

Erros de conceitualização dificilmente poderão ser corrigidos nas fases seguintes. Uma solução de sucesso é mais fácil de ser obtida pela escolha do mais apropriado princípio de solução. As variantes de conceito geradas devem ser avaliadas, para determinar se satisfazem ou não as demandas das especificações. A fase de projeto conceitual consta de sete etapas, mostradas no Quadro 3.3

Fase 3. Projeto preliminar.

É a etapa do processo de projeto na qual, partindo do conceito de um produto técnico, o projeto é desenvolvido, de acordo com critérios técnicos e econômicos, que, com o apoio de futuras informações, chega a um ponto que com o detalhamento subsequente, pode levar diretamente à produção. A idéia básica nesta fase do processo

de projeto é satisfazer a uma dada função com a forma dos componentes, leiautes e materiais apropriados.

Recomenda-se produzir vários leiautes para que se possa avaliar as vantagens e as desvantagens das diferentes variantes. Quando decide-se por uma variante aparentemente promissora, deve-se incorporar nesta, as idéias e soluções das outras variantes (pontos fortes) para que ocorra um aperfeiçoamento da escolhida.

Quadro 3.3 Projeto Conceitual segundo Pahl & Beitz (Fonte: G PAHL & BEITZ) [2].

| | |
|---|--|
| FASE 2. PROJETO CONCEITUAL | ESPECIFICAÇÕES |
| | Abstrair e identificar os problemas principais |
| | Estabelecer estruturas de funções, funções globais e funções parciais |
| | Procurar princípios de solução que satisfaçam as sub-funções |
| | Combinar princípios de solução que satisfaçam as funções globais |
| | Selecionar as combinações adequadas |
| | Estabelecer variantes de conceito |
| | Avaliar variantes de concepção contra os critérios técnicos e econômicos |
| | CONCEITO |

Fase 4. Projeto detalhado.

Nesta etapa, os arranjos, formas, dimensões e propriedades das superfícies de todas as partes individuais são definidas, os materiais são especificados e a viabilidade técnica e econômica são reavaliadas. Todos os desenhos e outros documentos necessários para a produção devem ser feitos. As duas principais atividades desta etapa são, a otimização dos princípios e otimização do leiaute e formas.

Também nesta fase são elaborados os documentos finais do projeto na forma de desenhos que possibilitam a realização física das soluções.

3.2.7 Metodologia utilizada pela VDI 2221 1987

É o modelo de metodologia geral para o desenvolvimento de produtos industriais, elaborado pela VDI (Sociedade dos Engenheiros Alemães). Esta metodologia consta de quatro fases que por sua vez são divididas em passos, a cada passo pertence uma entrada e uma saída de informações. As informações de todos os passos das quatro fases, são usadas de modo similar na metodologia de Pahl & Beitz. Deve-se ressaltar

quais passos de escolha, de otimização e de decisão precisarão ser realizados em todas as etapas. No Quadro 3.4 mostram-se as fases e os passos da metodologia.

Quadro 3.4 Procedimento geral para desenvolver e construir sistemas técnicos (Fonte:VDI 2221, 1987) [21].

| FASES | PASSOS DO PROJETO | RESULTADO ESPERADO DE CADA PASSO |
|---------------|--|--|
| | Tarefa | |
| FASE 1 | 1. Esclarecer e precisar a formulação da tarefa 2. Verificação das funções e de suas estruturas | Lista de requisitos Estrutura de função |
| FASE 2 | 3. Pesquisar os princípios de solução e sua estrutura 4. Estruturação em módulos realizáveis | Solução inicial Estrutura modular |
| FASE 3 | 5. Configurar os módulos principais 6. Configurar o produto total | Projeto preliminar Projeto detalhado |
| FASE 4 | 7. Preparar informações de execução e de uso | Documentação do produto |
| | PRODUTO | |

Fase 1. Estudo do problema a ser solucionado.

Esta primeira fase da metodologia consiste no estudo da proposta de desenvolvimento do produto, e inicia com o problema a ser solucionado.

O primeiro passo serve para esclarecer os objetivos a serem alcançados, mediante o estudo da tarefa, para sua melhor e completa compreensão. Ao estudar a tarefa pretende-se aprofundar as informações que provêm do setor de planejamento de produto, visando esclarecer o projetista. Estas informações são oriundas dos diferentes setores envolvidos com o projeto dentro da empresa, mercado, clientes produtos existentes, normas, tecnologia, etc.

A partir destas atividades é possível elaborar a lista de requisitos de projeto. Esta lista serve para orientar todo o trabalho de desenvolvimento de produtos, permitindo um acompanhamento constante das exigências prévias impostas ao produto. A lista reúne todos os requisitos obrigatórios e desejáveis que deverão satisfazer o produto.

Fase 2. Concepção.

Após o estudo da tarefa e sua perfeita compreensão, somados à lista de requisitos anteriormente elaborada, inicia-se a procura das possíveis soluções, na forma de funções,

que satisfaçam o sistema técnico. A função, segundo VDI 2222 1977 [22], é definida como: “é a descrição abstrata e genérica de uma verdade, de forma concatenada e coerente, através de grandezas de entrada, grandezas de saída e grandezas de estado de um sistema, para o desempenho de uma tarefa”. Aqui entende-se que a função possibilita efetuar a tarefa principal que um produto precisa desempenhar, sendo esta função seu requisito técnico mais importante.

Segundo CSILLAG [23], para descrever uma função, recomenda-se utilizar um verbo e um substantivo, como por exemplo: “transformar energia”, “levantar carga”, “fornecer luz”, etc..

Uma maneira de facilitar a busca de soluções da função global, é dividir esta em sub-funções, ou funções parciais. A idéia é baixar o grau de complexidade das funções sucessivamente até atingir o grau menor que permita encontrar as melhores soluções para essas sub-funções. A interligação deste sistema de funções parciais menores, resultará na função total do produto.

Após este passo inicia-se a pesquisa de princípios de solução. Para cada sub-função é necessário encontrar princípios de solução, que interligados resultam em uma combinação de princípios que asseguram a realização da estrutura de funções.

O princípio de solução contém o efeito físico e a configuração necessária para poder realizar uma função. Alguns métodos para procura de soluções são: a pesquisa bibliográfica, análise de sistemas técnicos e de sistemas naturais, analogias, medições e as experiências com modelos, assim como, o uso de métodos intuitivos e discursivos de busca de idéias, CSILLAG [23] e BACK [1].

O quarto passo se refere à estrutura em módulos realizáveis.

Após a busca por princípios de solução, estes são selecionados e agrupados em módulos realizáveis, considerando sempre a facilidade de fabricação e a necessidade de compatibilizar os módulos entre si. Essa associação de princípios deve ser orientada pela estrutura das funções parciais e suas ligações.

Fase 3. Projeto preliminar

A terceira fase do processo, como seu nome indica, é a fase do projeto preliminar. A partir da concepção de um sistema técnico determina-se a configuração

preliminar, segundo os pontos de vista técnico e econômico, onde é realizada a configuração dos módulos principais.

Aqui o que se procura é dar forma a cada módulo, selecionar materiais e processos de fabricação, definir medidas básicas do produto, testar a compatibilidade espacial, assim como atender aquelas funções parciais que surgem neste momento.

Em seguida é realizada a configuração do produto como um todo. É o momento do detalhamento final, onde são configuradas as partes e as ligações conformantes do produto contendo todas as configurações parciais já definidas com antecipação.

São analisadas as relações entre módulos sob os pontos de vista de segurança, de ergonomia, de fabricação, de montagem, de uso e do ponto de vista econômico. É dada grande ênfase à análise de falhas.

Fase 4. Projeto detalhado

O projeto detalhado vem complementar o projeto preliminar e determina as disposições definitivas dos elementos, a forma, as medidas, acabamentos, detalhes, especificações de materiais. Também é feita a última revisão dos custos de fabricação antes de passar à realização física do produto.

Posteriormente é realizada a fixação das informações de execução e de uso. Aqui são elaboradas as instruções para fabricação e para utilização do produto. Através de desenhos e listas, busca-se detalhar e definir as peças, integrar as partes, e aplicar normas de fabricação, montagem, transporte, utilização, etc..

Deve-se levar em consideração também a compatibilidade do produto em estudo com a infraestrutura e material próprios da empresa, assim como o uso de peças normalizadas existentes no mercado, buscando redução de custos.

3.3 Princípios e conceitos gerais do processo de reprojeto de produtos industriais.

Assim como no processo de projeto de produtos industriais, cada reprojeto tem suas características particulares, que nem sempre são consideradas numa metodologia geral, mas uma metodologia sempre ajuda a orientar o projetista no caminho a seguir dentro do processo, garantindo um melhor resultado.

Apesar desta dificuldade, dentro do processo de reprojeto podem ser identificados princípios e características gerais que fundamentam esta atividade, e que propõem um caminho comum.

Segundo MEISTER [24], as metodologias apresentam as seguintes características:

- **molecularização** - o processo trabalha a partir de uma função ampla, e segue para tarefas e sub-tarefas mais moleculares;
- **requisitos são funções compulsórias** - opções de projeto são desenvolvidas para satisfazer requisitos de projeto;
- **o desenvolvimento é descoberto** - inicialmente existem muitos fatores desconhecidos sobre o sistema, e durante o processo de projeto estas incertezas são gradativamente clarificadas;
- **o desenvolvimento envolve transformação de informações** - as informações que são utilizadas durante o projeto sofrem um processo de modificação à medida que o processo evolui;
- **tempo** - o tempo é sempre tão limitado que os projetistas sentem não ter bem concluída a sua tarefa. Eles gostariam de ir mais além, estudar melhor o problema, testar mais o protótipo, etc.;
- **custo** - não existe dinheiro suficiente para financiar o trabalho de projeto e, se as recomendações de procedimentos custarem muito, serão rejeitadas automaticamente;
- **iteração** - as atividades no projeto são repetidas à medida que mais informações detalhadas sobre o produto se tornarem disponíveis, e
- **relevância** - a percepção da relevância do projeto por parte dos projetistas é decisiva para a aprovação e julgamento de valor dos procedimentos de entrada.

Estas características estão presentes em qualquer metodologia de projeto ou reprojeto, por serem fatores que são necessários ao processo de planejamento e desenvolvimento do produto

Partindo do estudo de diferentes metodologias de projeto existentes, observa-se que é possível identificar alguns fatores que levam à adoção de procedimentos sistemáticos para construir um modelo geral do processo de reprojeto. Este modelo consiste de uma seqüência de estágios que abrangem o total do processo, desde o

planejamento do reprojeto até a configuração final do produto melhorado; estabelecendo uma orientação básica que dá uma idéia geral do que deve ser feito durante o processo.

Uma vez identificada a necessidade de melhorar um produto, seja esta real ou hipotética, o primeiro passo antes de iniciar o reprojeto será a recompilação e análise da maior informação relacionada à concepção inicial. O reprojeto é originado do conhecimento do projeto.

A Figura 3.1 mostra como se origina o reprojeto dentro do processo normal de projeto de produtos industriais.

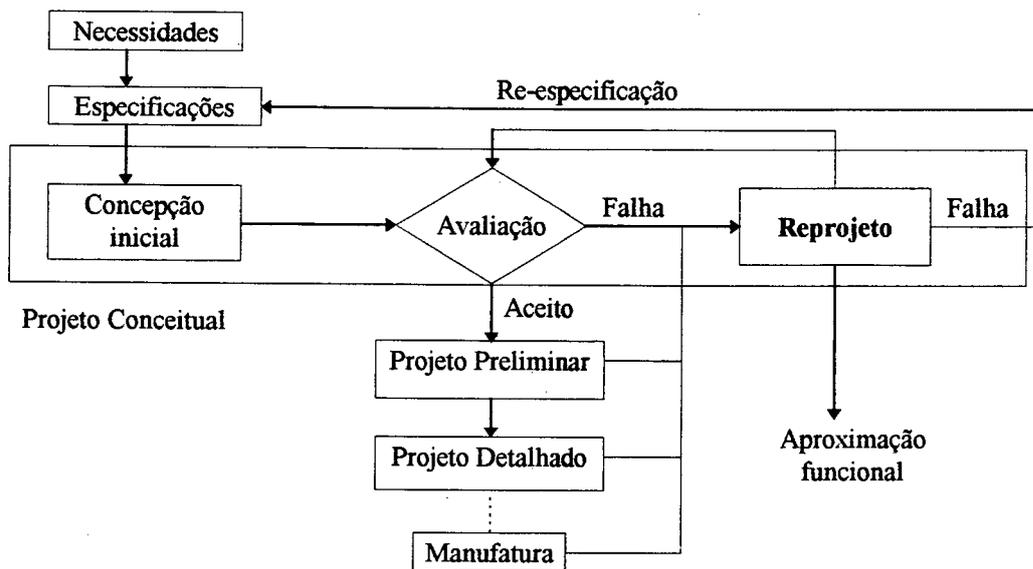


Figura 3.1 Processo de Projeto de Produtos Industriais (Fonte: HASHIM, JUSTER & PENNINGTON) [25]

Base de Conhecimento

O processo de reprojeto inicia-se com a recompilação das informações referentes à concepção inicial do produto (conhecimento de base). Este já conta com uma grande quantidade de informações, provenientes do produto original, a qual pode ser utilizada para definir as especificações de reprojeto. Estas informações provêm da experiência do cliente final com o produto no seu uso diário e de informações recebidas dos clientes internos e intermediários, fruto do conhecimento acumulado com o processo produtivo.

As informações úteis desta fase do reprojeto estão contidas no material que engloba todo o ciclo de vida do produto, o qual inicia no momento em que foi planejado o produto, até as últimas informações provenientes do mercado consumidor, passando pelo desenvolvimento, produção e vendas. Estes dados tão importantes podem ser

encontrados em fotografias, lista de requisitos, lista de necessidades, desenhos técnicos, avaliações, relatórios de testes e de vendas, etc..

Recomenda-se ordenar as informações cronologicamente, identificando as pessoas envolvidas no processo sempre quando seja possível, e resumir as informações de maneira a ressaltar as partes mais importantes, facilitando o uso posterior destas informações [7]. Estas informações servirão também para fazer uma análise de pontos fracos no produto original e em produtos da concorrência. Também recomenda-se criar catálogos dos pontos fortes e fracos, que serão de grande ajuda para implementar programas de reprojeção.

As informações ajudarão a definir os pontos fracos do produto inicial, definidos como sendo a manifestação dos efeitos indesejados e a não manifestação dos desejados do produto, por parte das pessoas direta e indiretamente envolvidas, sejam em sua totalidade ou parcialmente.

Fase 1. Elaboração na nova lista de requisitos

Elaborar a nova lista de requisitos e o estabelecimento das especificações de reprojeção é a primeira fase do processo. Segundo a proposta de ROTH [26], esta fase pode ser realizada com o auxílio de três recursos: lista de perguntas sobre o produto, análise do ambiente do produto e a análise das fases do ciclo de vida do produto. A lista de requisitos é uma maneira de formalizar as exigências, desejos e anseios dos clientes, mas também é utilizada para informar as limitações de projeto, tanto de conhecimento técnico dos membros da equipe como da disponibilidade de materiais, da legislação, etc..

A equipe deve procurar esclarecer ao máximo as informações coletadas e organizá-las para as fases subsequentes, onde as soluções são criadas e desenvolvidas. Este conjunto de informações será utilizado como base para a formulação dos novos requisitos de qualidade. O QFD, ajudará a obter as denominadas “especificações de projeto do produto” (EPP). Mais detalhes sobre o método podem ser obtidos no capítulo 5.

Com o desenvolvimento do projeto novas perguntas deverão surgir para a obtenção de mais informações. Desta forma deverão ser incluídos à lista novos requisitos. Para cada um dos requisitos são estipulados valores objetivos, que devem ser alcançados pelo produto em desenvolvimento. Nas EPP, são estabelecidos sensores para

medir se os objetivos estão ou não sendo atingidos nas diversas fases do reprojeto. É importante também identificar as saídas indesejáveis, ou seja o que se pretende evitar com a agregação desse benefício ao produto.

Fase 2. Abstração da estrutura funcional

Nesta fase o que se procura é estabelecer a nova estrutura funcional do produto a ser melhorado, ou seja, formular o problema da maneira mais abstrata possível, na linguagem de funções (verbo + substantivo) sem a determinação de quaisquer soluções. Este procedimento é realizado para definir a função global e as verdadeiras restrições que o produto terá que satisfazer. A função global deve ser redefinida para reprojeto de sistemas complexos ou para produtos que há tempo não são melhorados.

Depois de recompilar e examinar as informações referentes à concepção inicial e determinar o fluxo funcional entre entradas e saídas, freqüentemente o princípio de funcionamento do sistema não fica bem definido, pelo que é necessário abstrair a estrutura funcional antes de iniciar a concepção do sistema. Métodos como o inverso da síntese funcional ajudarão nesta tarefa de definição. A concepção, segundo PAHL & BEITZ [2], inicia com a abstração e a formulação do problema.

Uma vez definido o princípio de funcionamento, determinadas as grandezas funcionais e estabelecidas as entradas e saídas de cada função da estrutura, é determinada a função global do sistema. A partir deste momento podem-se desenvolver as denominadas estruturas funcionais de variantes ou funções parciais simples, para posteriormente buscar as variantes de melhoria.

Fase 3. Reprojeto conceitual

O passo seguinte é a fase do reprojeto conceitual ou de procura de soluções para as funções parciais. Neste passo é recomendado fazer uso dos métodos que são mais apropriados para a geração de soluções de melhoria, adaptações, etc., encontrados na literatura, que são:

- Listagem de atributos;
- Instigação de questões;
- Matriz morfológica;
- Análise do Valor; e

- Inverso da síntese funcional.

Depois de obter soluções alternativas para as variantes de estrutura funcional, recomenda-se, verificar se estas cumprem com as EPP estabelecidas anteriormente.

Fase 4. Reprojeto preliminar

Tendo concebido um conjunto de soluções viáveis, inicia-se a parte do projeto preliminar que tem como objetivo estabelecer qual das alternativas propostas apresenta a melhor concepção para o reprojeto, mediante um estudo de ordem de grandeza, para determinar quais delas são superiores às outras.

Na realização da configuração básica, são fixadas as manifestações do produto como um todo. PAHL & BEITZ [2] recomendam que inicialmente sejam considerados os portadores de efeitos. Esta preferência ocorre em virtude de que estes portadores determinam, significativamente, a estrutura do produto e, conseqüentemente, as medidas, a localização, posição dos elementos, etc.. A escolha dos portadores das funções secundárias deve ser objeto de trabalho após a configuração das funções principais.

Uma vez selecionada a solução alternativa, recomenda-se submetê-la a estudos mais detalhados, comparando-a sempre com o produto original. É importante fazer uso dos desenhos, peças, dados de testes de uso e fabricação, e de toda a informação que o produto original possa oferecer, para determinar as tolerâncias nas características dos componentes principais e materiais críticos que o produto em processo deverá ter.

As informações que o produto original oferece, já determinam o ambiente sócio-econômico, tal como o gosto do consumidor e a oferta do competidor, assim como o desempenho do produto e seus diferentes usos por parte do consumidor. Complicações no processo de manufatura que resultam diretamente em um aumento dos custos, também são dados já disponíveis. Tendo toda esta informação, os estudos devem ser dirigidos para avaliar o comportamento da concepção escolhida.

Ao final desta etapa, deverá haver alguns projetos preliminares já elaborados. Entretanto, para que o processo de projeto continue, é preciso que seja escolhida a melhor solução. Para que esta seja bem feita é importante realizar uma avaliação entre as variantes de solução. A avaliação das alternativas deve seguir o mesmo procedimento cumprido para avaliar as variantes de concepção.

Para a realização da avaliação, deve-se antes procurar analisar os pontos fracos das alternativas em questão. Estes pontos fracos devem ser eliminados, se possível, ou procurar reduzir os efeitos destes pontos fracos ou melhorar a desempenho da alternativa em relação aos critérios de avaliação.

Para melhorar as alternativas que têm pontos fracos, pode ser realizado o mesmo procedimento anterior, ou seja, combinar novas soluções parciais ou soluções de outras alternativas.

Fase 5. Reprojeto detalhado

Com a concepção desenvolvida no projeto preliminar, a seguinte fase de reprojeto será o reprojeto detalhado. “Seu objetivo é fornecer as descrições de engenharia de um reprojeto frutífero e verificado”, BACK [1].

No reprojeto detalhado é onde os componentes são especificados, as capacidades são determinadas, as dimensões são calculadas, o desgaste é considerado, as partes são detalhadas, as tolerâncias são estabelecidas, etc.. Nesta etapa são determinadas a localização, forma definitiva (detalhamento da forma), dimensões, materiais, acabamentos, processos de fabricação, montagem, transporte, etc..

Esta fase é de grande importância, devido a que são enfatizados os problemas do projeto. A maioria das falhas específicas de projeto serão analisadas e eliminadas individualmente. Avalia-se e refina-se o reprojeto de maneira sinérgica, finalizando esta fase com as especificações próprias do produto reprojetoado.

Ferramentas como DFM, DFA, FMEA, etc., são utilizadas no projeto detalhado como verificação e análise, ainda que se recomende que estas ferramentas sejam incluídas em todo o processo desde as primeiras fases. Estas ferramentas são:

- Projeto e análise da manufatura e montagem (DFMA);
- Projeto e análise da confiabilidade (FMEA);
- Projeto e análise da manutenibilidade;
- Projeto e análise dos fatores humanos;
- Projeto e análise do meio ambiente (DFE) e
- Projeto e análise estético expressivo.

Estas ferramentas ajudam a melhorar o desempenho do produto em atender às necessidades, sejam estas novas ou não.

Ao final são elaborados todos os documentos para serem enviados aos diversos setores envolvidos com a elaboração, embalagem, transporte, etc., do produto. Também nesta fase é construído o protótipo e são realizados os testes. Desta forma todos os componentes são sintetizados, testados e modificados de acordo com o solicitado, sendo o produto totalmente detalhado e claramente descrito para ser fabricável.

Todas as atividades do reprojeto apresentam fluxos de realimentação de informação entre elas, devido ao aspecto dinâmico do processo.

Ao detalhar e especificar as partes que estão sendo melhoradas, deve-se sempre levar em consideração a compatibilidade de umas com as outras, principalmente com as que não serão reprojetaadas, mas que estão de alguma maneira fortemente relacionadas entre si.

É importante que os processos de fabricação destas novas partes melhoradas não representem um gasto desnecessário para a empresa: é recomendado sempre usar no máximo e até onde o reprojeto o permita, a infraestrutura estabelecida.

Num programa de reprojeto, quando existem mudanças significativas ou totais de algumas peças do produto, a empresa terá que decidir entre fabricar essas novas peças ou então comprá-las de terceiros. A decisão entre fazer ou comprar as partes do produto é crucial na redução de custos. Uma vantagem de fabricar as partes é que todos os custos envolvidos na produção podem ser considerados como matéria prima, processos e despesas. Quando existe uma diferença substancial entre fabricar e comprar, devido ao preço do fornecedor, esta parte pode ser feita na fábrica, sempre que se tome em conta o custo do equipamento e o espaço físico disponível.

Outra razão a considerar, é que as partes fabricadas internamente estão sob o completo controle da companhia, tendo um controle maior e sendo consideradas nas análises de redução de custos. Para tomar uma decisão mais objetiva deve-se envolver o departamento de compras, que ajudará a encontrar a melhor performance ao menor custo, FIGGIE [5].

A partir deste momento pode-se efetuar uma série de revisões e testes antes de iniciar o planejamento da produção. Estes testes são dirigidos a verificar se as soluções das partes e componentes vão ser compatíveis com as outras partes do projeto como um todo, buscando refinar o produto até obter um reprojeto final plausível.

Para visualizar melhor o que foi discutido, a Figura 3.2, apresenta, o diagrama de fluxo do processo funcional no reprojeto, baseado no modelo “aproximação funcional” proposto na referência [25].

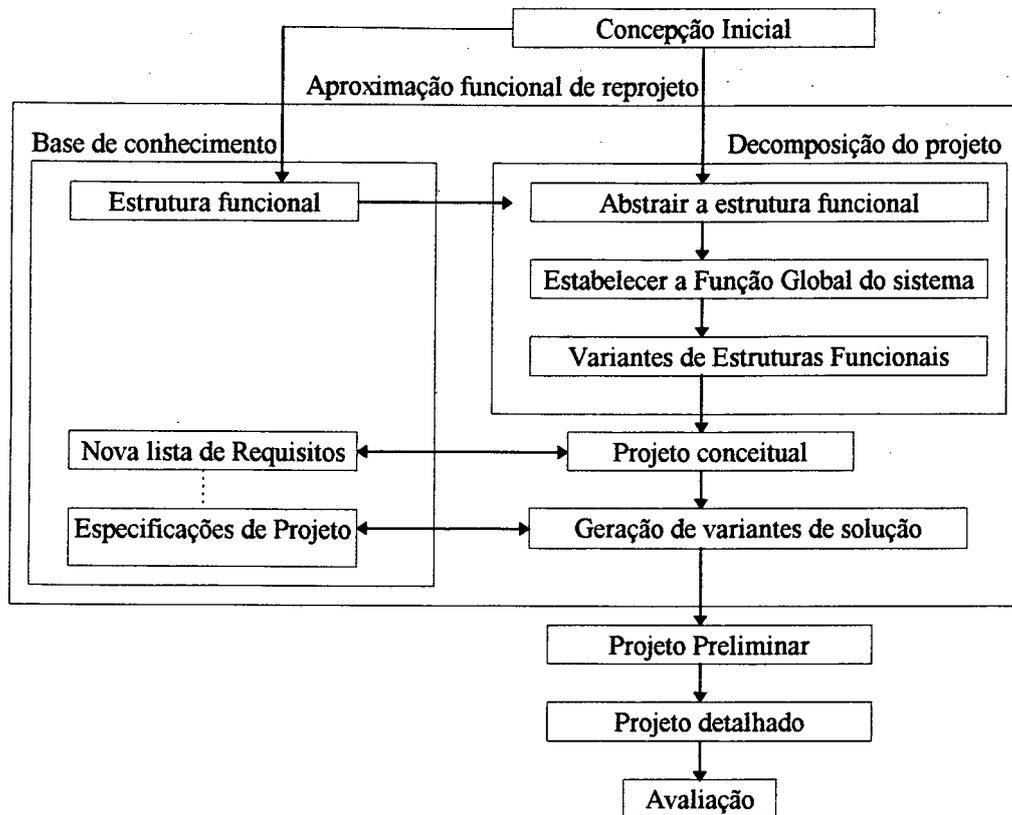


Figura 3.2 Aproximação funcional no Reprojeto (Fonte: HASIM, JUSTER & PENNINGTON) [25].

CAPÍTULO IV

INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS PARA A REALIZAÇÃO DE UM REPROJETO DE PRODUTOS INDUSTRIAIS

4.1 Introdução

As empresas que pretendem diferenciar-se no mercado devem deixar de lado a mentalidade de que mudanças significativas são pouco prováveis, imprevisíveis e, caso ocorram, acontecerão de maneira lenta.

Na atualidade, empresas bem sucedidas sabem que o dia seguinte não será como o anterior. Presumem que, as mudanças são rápidas e, administrá-las é a chave para manter altos níveis de desempenho.

As convicções destas empresas baseiam-se na compreensão da dinâmica da concorrência, FOSTER [27]. Para isto devem planejar objetivos e decidir estratégias, ainda que não seja uma tarefa simples, já que as decisões são complexas e as informações e as variáveis que têm de ser projetadas são muitas. O planejamento estratégico é o responsável pelo gerenciamento de informações relevantes ou fatores, que são utilizados na decisão de mudar ou não um produto, sempre considerando a dinâmica do mercado. Estas decisões estratégicas são tomadas analisando os recursos da produção e identificando os prováveis mercados.

Neste capítulo, o planejamento de produtos será visto unicamente no que se refere à melhoria do desempenho de um produto; especificamente na maneira como são analisados os produtos existentes, com a finalidade de obter informações relacionados aos fatores, que uma vez avaliados por critérios estabelecidos, virão a determinar a realização de um reprojeto. As informações provenientes destes fatores determinantes do reprojeto, serão utilizadas para complementar os requisitos do usuário que determinarão os requisitos de qualidade, através do uso da ferramenta da casa da qualidade.

4.2 Fatores determinantes na tomada de decisão para realizar o reprojeto

As tendências mundiais estão gerando novos fatores que vêm afetar os produtos, modificando os padrões até agora estabelecidos e dificultando ainda mais a gerência do produto, exigindo novas estratégias empresariais, LUCK [28].

A permanente vitalidade e crescimento da economia é atribuída à complexa interação de diversos fatores. Alguns destes como os fatores econômicos da produção e os fatores de estilo e moda, limitam a vida útil da maioria dos produtos. A necessidade de oferecer novos produtos com a finalidade de conservar a posição competitiva no mercado, é a razão do planejamento de produtos, GOSLIN [29].

Para avaliar e melhorar o desempenho dos produtos, são necessárias informações a respeito dos mercados, a empresa deve realizar um exame das possíveis áreas de mudança no seu mercado e identificar os desafios imediatos e mais remotos. Previsões exploratórias podem ser usadas para localizar novas oportunidades de venda e, se possível, prever onde surgirão os perigos. No caso de ser detectada uma ameaça específica, deverá ser feita uma previsão e estimar quão rapidamente ela se materializará. Esta previsão vai depender das variações nos diferentes fatores determinantes. Para fazer a previsão dos reprojeto, esses fatores têm de ser analisados, e se a análise mostrar que ocorreu mudança na vida do produto, a empresa deve melhorá-lo para enfrentar o desafio. Qualquer previsão procurará identificar os fatores que, no passado, provocaram mudanças no comportamento do mercado, e que no futuro podem vir a causar variações em relação à tendência manifestada no presente.

O segredo consiste em decidir que fatores incluir no reprojeto e em quantificar o efeito que eles terão no futuro. GORLE & LONG [30], recomendam fazer um estudo detalhado do efeito de cada um desses fatores sobre o produto.

Alguns dos mais importantes fatores determinantes que fazem a empresa reprojeto seus produtos como estratégia de competitividade, são mencionados por PASCHOAL [31] e, podem ser divididos em fatores externos (mercados, concorrência, canais de distribuição, tecnologia, economia, governo, forças sociais, trabalhistas, políticas e internacionais) e internos (capacidade financeira, tecnológica, capacidade para suprir, marketing, produção e fatores humanos).

a) Fatores externos

Mercados: principal determinante do sucesso do produto, aqui podem ser destacados os seguintes fatores:

- novos mercados;
- necessidades e critérios de compra de clientes potenciais;
- mudanças no padrão de consumo, e

- mudanças no ambiente de comunicação de massa, o que provoca diversas influências no mercado e a dispersão cada vez mais rápida de novas idéias, desejos e aspectos culturais da sociedade.

Concorrência: sempre ameaçadora, mantém alerta a administração de produtos. Aqui pode ser destacada, a avaliação dos concorrentes atuais e potenciais.

Canais de distribuição: Necessários para levar o produto ao usuário; o apoio do intermediário é de vital importância para a estratégia de venda do produto.

Tecnologia: está constantemente envolvida no ciclo de vida do produto. Seu principal efeito é o estado do conhecimento para melhorar um produto. Aqui podem ser destacados os seguintes fatores:

- taxas elevadas de produtos antigos que se tornam obsoletos;
- ciclo de vida mais curto de cada produto, e
- substituição de produtos.

Economia: a economia da nação, ou mundial, determinam as oportunidades para a comercialização do produto, sendo de grande importância para tomada de decisão. Aqui podem ser destacadas as diretrizes estratégicas multilaterais.

Os fatores do governo: afetam drasticamente o produto, podem bani-lo do mercado, proibir estratégias ou dar assistência, subsídios para pesquisa e desenvolvimento, facilidades para patentes, etc.. Aqui podem ser destacados os seguintes fatores: políticas públicas do governo e investimentos governamentais.

Forças sociais, trabalhistas, políticas e internacionais: são difíceis de serem controladas pela empresa e precisam ser previstas. Aqui podem ser destacados os seguintes fatores:

- interesse dos grandes blocos em ampliar seus campos de força;
- intensificação de investimentos das grandes corporações a nível mundial;
- pressões ambientais;
- intensificação de fluxos mundiais de comércio, e
- migrações de fatores de produção, recursos humanos, capitais e tecnologias.

b) Fatores internos

Capacidade financeira: está relacionada com a venda e o risco do produto. As decisões são tomadas observando-se as necessidades de lucro, fluxo de caixa e

orçamentos. Aqui pode ser destacada a tendência de substituir preço por custo, como preocupação gerencial.

Capacidade tecnológica: é a exatidão da informação que a empresa tem sobre o progresso técnico e o desenvolvimento no ramo da indústria, e também sua capacidade para desenvolver produtos. Aqui podem ser destacadas as mudanças na tecnologia de materiais, equipamentos e processos de produção.

Capacidade para fornecer: o fornecimento de materiais e peças é crítico para captar um mercado ou ficar fora. Aqui, podem ser destacados os fornecedores atuais e os novos.

Marketing: significa oportunidades; interpreta as necessidades do mercado e converte a procura potencial em vendas e clientes. Aqui, pode ser destacada a busca de maior competitividade a nível de produtos e preços.

Produção: proporciona a qualidade no produto e a vantagem de preços competitivos. Aqui podem ser destacados os seguintes fatores:

- qualidade e racionalidade;
- custo e produtividade;
- avanços tecnológicos;
- modernização acelerada da planta de produção, e
- internacionalização do processo de produção.

Fatores Humanos: são a base para a implantação do produto, estão relacionados com a qualificação do pessoal e a gerência do produto. Aqui, podem ser destacadas as crescentes influências culturais nas organizações, via aplicação de modelos mundiais de gestão avançada.

4.3 Critérios de avaliação dos fatores determinantes na tomada de decisão para realizar o reprojeto de um produto.

Como foi visto anteriormente, a gerência de produtos é encarregada do planejamento do produto em uma empresa. Aqui, para qualquer tomada de decisão que assegure um melhor resultado, deve-se envolver os seguintes setores:

- pesquisa e desenvolvimento, que além de outras funções, se encarrega de identificar os defeitos dos produtos e determinar suas melhorias com base em testes e uso;

- produção e engenharia;
- financiamento e contabilidade;
- planejamento da empresa, e
- marketing.

Estes setores decidirão que produto deverá ser reprojeto, entre as várias opções e quais modificações sofrerão. Para isto, um modelo geral para tomada de decisão é de grande ajuda e constitui o fundamento para determinar o reprojeto de um produto. Segundo LUCK [28], os níveis de decisão desse modelo são: os objetivos, as políticas e as estratégias.

Em qualquer destes níveis, sempre existirão problemas de decisão. Estes problemas envolvem situações relacionadas à complexidade do problema, à variabilidade dos critérios de decisão e à falta de informação.

Como mencionado anteriormente, o primeiro e mais importante passo, antes de tomar alguma decisão, é definir o **objetivo** que se pretende com o reprojeto, de tal maneira que concorde com a missão geral e metas particulares da empresa. Ao definir um objetivo, se estabelece um alvo bem definido, tanto em termos qualitativos quanto quantitativos.

A partir destes objetivos, devem-se formular os **resultados operacionais** que se pretendem para cada reprojeto. Estes resultados podem ser determinados em relação a:

- níveis de lucro e crescimento;
- fluxo de caixa;
- retorno do investimento;
- crescimento e níveis de vendas;
- participação e penetração de mercado e
- giro dos bens do ativo.

Esses dados podem ser previstos em termos monetários absolutos, em unidades, em termos de razão ou percentagem. Recomenda-se, também que em intervalos apropriados sejam estabelecidos novos alvos quantitativos.

Em seguida, para estabelecer as **políticas e estratégias** apropriadas, a gerência de produtos baseia-se nos fatores determinantes externos, abrangendo as tendências básicas ou padrões de comportamento dos produtos. O estudo da vida de mercado de

um produto serve como linha de orientação ao planejamento de produto. Aqui as decisões basearam-se no ciclo e nas projeções futuras da vida do produto. As políticas e estratégias de produto estão decididas em um ambiente altamente dinâmico.

Uma vez estabelecidos os objetivos e definidas as metas, o passo seguinte, é definir quais produtos precisam ser melhorados.

Na escolha do(s) produto(s), serão necessárias revisões sistemáticas da linha de produtos alvo de reprojeto, avaliando o ciclo de vida de cada um. Tais revisões devem ser realizadas de forma contínua, para garantir a identificação das oportunidades de aumento de lucro a partir do reprojeto. Os **fatores determinantes externos** são utilizados nesta primeira avaliação para os quais serão aplicados os seguintes critérios, [30] :

- a) comparação dos produtos entre si, em termos históricos;
- b) exame das oportunidades nos mercados atuais;
- c) exame das oportunidades nos mercados adjacentes;
- d) previsões de lucros a serem alcançados, e
- e) comparação dos resultados da avaliação com os objetivos da empresa.

Esta avaliação pretende determinar a contribuição presente e passada de cada produto, em relação ao volume de vendas. Este método é excelente para identificar quais produtos oferecem as melhores perspectivas de expansão para a companhia e devem ser reprojeto. Nesta escolha, pode ser utilizado o método da engenharia de valor, que seguindo os princípios alinhados na curva de Pareto, ou na curva de Lorenz, e de acordo com a atividade da análise de valor, pode-se escolher um produto cujo custo total é muito elevado para a função que desempenha, HARDING [32].

Pela análise do desempenho passado e presente também pode ser realizado um estudo do aspecto externo do mercado, dos produtos da companhia em relação ao tamanho, estrutura e tendências dos próprios mercados, fornecendo elementos que capacitam a administração da companhia a responder para cada produto, questões particulares em relação a necessidade do reprojeto:

- a) pode-se aumentar os lucros, reprojetoando esse produto em particular?
- b) o produto atual será em breve substituído por outros?
- c) haverá alguma mudança desfavorável no ramo?

d) haverá na concorrência modificações favoráveis, ou desfavoráveis, que se reflitam na lucratividade do produto?

Após a seleção preliminar, os produtos remanescentes devem ser comparados em termos de compatibilidade, recursos necessários e riscos envolvidos, para o qual são utilizados os **fatores determinantes internos**. Cada provável reprojeto precisa ser examinado para verificar quão estritamente se adequa aos objetivos da companhia, no tocante à magnitude da contribuição, ao movimento da empresa e aos lucros, ritmo e filosofia de mercado. A análise comparativa de diversos reprojeto em potencial, para julgar qual deles melhor atende aos objetivos da companhia, dependerá, em parte, da interpretação objetiva dos fatores que influenciam cada um deles e das projeções financeiras associadas a seu desenvolvimento. Quanto mais claro forem os objetivos formalmente expressos na empresa tanto mais fácil será escolher um produto, [30].

Os produtos potenciais de reprojeto são comparados entre si, baseado numa lista de critérios considerados importantes. A cada produto são atribuídos pontos pela sua qualificação em cada critério, que são somados para a obtenção de um resultado final, ou seja obtém-se para cada reprojeto potencial, um perfil que revela sua atratividade. A ponderação dos itens indicará qual é o mais factível de todos. Os principais critérios são:

- a) tempo exigido para implantar o reprojeto;
- b) tempo exigido pelo reprojeto de um produto comercializável;
- c) custo de cada etapa: pesquisa, desenvolvimento e produção;
- d) necessidade de recursos adicionais e uso dos existentes;
- e) possibilidade de sucesso, isto é, a consecução do objetivo frente à concorrência;
- f) avaliação do sucesso-receita prevista ao longo de um dado período;
- g) a contribuição do produto na porcentagem do lucro;
- h) a situação econômica atual e
- i) a situação da direção da empresa e sua habilidade de manejar mudanças tecnológicas.

Depois da reavaliação, pode emergir um bom número de decisões bem definidas, que determinarão qual produto é mais oportuno para ser reprojeto.

Neste momento, o risco é o elemento mais difícil de se quantificar e, para diminuí-lo, a previsão tecnológica responderá a algumas das questões com pormenores suficientes que permitam a tomada de decisões racionais; a pesquisa de mercado responderá a outras, e a investigação das atividades dos concorrentes poderá preencher alguns dos vazios restantes.

Ficou demonstrado que a decisão de empreender um reprojeto depende de outros fatores além do custo/lucro, mas este será, via de regra, o mais importante fator isolado, pelo qual, ao aumentar a confiabilidade das informações os critérios que servem de base às decisões serão mais precisos e facilitarão o trabalho da gerência de produtos.

Uma vez decidido o produto a ser reprojetoado, o passo seguinte é determinar as especificações do reprojeto. Para isto, informações relevantes geradas pelo sistema de planejamento de produtos, derivadas dos fatores determinantes junto às necessidades dos clientes detectadas com antecedência, serão transformadas nos requisitos de projeto.

4.4 Obtenção dos Requisitos de Projeto, utilizando a ferramenta da Casa da Qualidade (QFD, Quality Function Deployment)

Para estabelecer os requisitos de projeto, primeiramente devem ser definidos os requisitos do cliente/usuário. Os requisitos do cliente são resultado da tradução das necessidades e experiências destes em relação ao produto original. Esta tradução refere-se à transformação de palavras subjetivas em dados mensuráveis e objetivos, assim como determinar a importância relativa dos mesmos.

Uma maneira de determinar a importância relativa dos requisitos dos clientes é utilizar fatores de peso para avaliá-los. Ao colocar um peso relativo a cada requisito é obtida uma imagem da importância deste requisito para o cliente. Um produto é bom apenas se o cliente acha que é bom.

No projeto, a maioria das necessidades já foram identificadas, mas nesta fase ainda é recomendado verificar se não surgirão novas necessidades, mudanças de hábitos dos clientes ou se algo não fora incluído porque estes têm dificuldade para explicá-lo.

As necessidades dos clientes podem ser classificadas em necessidades: manifestas, reais, latentes, culturais, de usos inesperados e de satisfação do cliente. OGLIARI [6] sugere a obtenção da informação tendo em conta o ciclo de vida do produto,

contemplando cada um dos possíveis usuários do projeto e do produto; isto é realizado considerando as necessidades relacionadas com o uso do produto:

- produção/montagem;
- manipulação/embalagem;
- transporte/armazenamento;
- distribuição/venda;
- manutenção/reparo e
- reciclagem/descarte.

Os usuários ou os clientes do projeto respondem a várias perguntas sobre o ciclo de vida do produto, conformando assim uma lista de necessidades. Adicionalmente, é elaborada uma categorização das necessidades, as quais são posteriormente registradas no modelo da casa da qualidade (os QUE'S). O usuário de função/uso tem uma grande importância na geração dos atributos do produto.

Conhecidos os requisitos dos clientes, o passo seguinte é a definição dos requisitos de projeto. PAHL & BEITZ [2] afirmam que, a partir dos objetivos e das condições e restrições pré-fixadas, os requisitos devem ser separados em obrigatórios e desejáveis. Requisitos obrigatórios deverão ser atendidos em quaisquer circunstâncias, mantendo sempre presentes durante tudo o processo. Requisitos desejáveis devem ser considerados na medida do possível em relação à sua importância relativa (grande, média ou pequena importância).

Na fase de tradução dos requisitos abstratos em valores mensuráveis, deve-se determinar o maior número de requisitos de engenharia possíveis que satisfaçam às necessidades do cliente. Os requisitos obrigatórios, os desejáveis, aspectos quantitativos e qualitativos devem ser tabelados para sua melhor visualização.

Para estabelecer o maior número de requisitos de projeto, recomenda-se a análise do ciclo de vida do produto a ser reprojetoado. Para isto FABRICKY & BLANCHARD [18] propõem uma lista de perguntas como: o que o produto deve realizar?; Qual é sua vida útil?; Quais são as características relativas à eficiência, meio ambiente, descarte, etc.? e outras.

Segundo HERNÁNDEZ [87], os requisitos de projeto podem ser estabelecidos com base nos atributos que o produto deverá ter.

Para traduzir os requisitos do usuário em requisitos de projeto se propõe o uso do QFD, "Quality Function Deployment". O QFD, é um método sistemático desenvolvido por uma filial da Mitsubishi Co., que ajuda a traduzir as necessidades do cliente e usuário, em requisitos de projeto.

O QFD utiliza a ferramenta de planejamento "The house of quality", para separar e identificar os requisitos do cliente e transformá-los em requisitos de projeto. Esta ferramenta pode ser usada em projetos ou reprojeto de sistemas totais e de componentes. Ajuda a reduzir o custo de lançar um produto no mercado, assim como diminuir o tempo requerido para seu desenvolvimento. As premissas da ferramenta são:

- facilita o entendimento do problema;
- reduz o número de mudanças de projeto;
- as necessidades dos clientes são traduzidas em alvos de projeto mensuráveis em menos tempo e esforço;
- diminui o ciclo de projeto;
- reduz custos de início de operação;
- favorece a comunicação entre departamentos envolvidos no projeto;
- identifica as características que mais contribuem para os atributos de qualidade;
- pode ser utilizada em problemas globais ou em subproblemas e
- ajuda a ordenar o processo de entendimento das necessidades para depois passar a resolvê-las, [7].

O QFD incorpora o uso das matrizes, ou gráficos, que ordenam de maneira hierarquizada todos os fatores de desenvolvimento do produto: num lado, as exigências do cliente e os requisitos que se considera que o produto deverá conter (os QUE'S), e por outro lado, as informações de projeto referentes aos requisitos acima citados (os COMO'S).

Os QUE'S referem-se aos requisitos dos diversos usuários, e os COMO'S referem-se aos requisitos de projeto que virão a complementar os requisitos dos usuários antes referidos, como é mostrado na Figura 4.1.

A sistemática do método e recomendações para preencher a matriz da casa da qualidade podem ser encontradas com maiores detalhes em KING [33].

Para reprojeto de produtos deve ser utilizado o desdobramento da Casa da Qualidade (CQ), ou da Função Qualidade, que é basicamente a seqüência de atividades

que garantem alcançar a qualidade requisitada pelo cliente/consumidor. Isto ocorre em virtude de que os requisitos de qualidade já foram estabelecidos na concepção original. Estes determinam as partes do produto que deverão ser reprojatadas. A técnica consiste numa análise matricial dos fatores que são considerados de maior importância para o sucesso do produto.

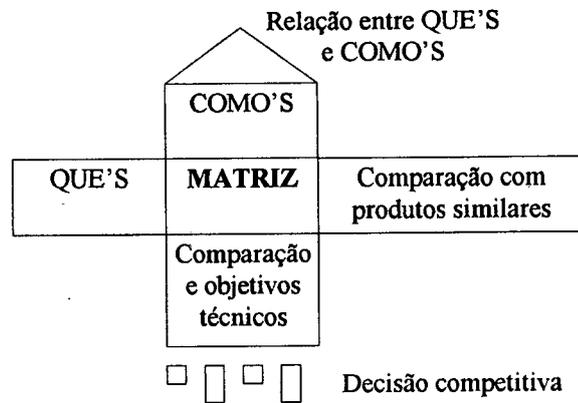


Figura 4.1 Matriz da Casa da Qualidade (Fonte: HAUSER & CLÁUSING) [35].

A primeira matriz da CQ que comumente é utilizada para novos produtos, também, pode ser utilizada quando pretende-se reprojatar produtos onde os requisitos de qualidade têm que ser novamente definidos devido a mudanças nas necessidades dos clientes. O primeiro passo é gerar a matriz que avalia os requisitos dos usuários contra os requisitos do projeto que os cumpriram. Nesta matriz os novos requisitos dos usuários serão os QUE'S e os COMO'S terão que ser preenchidos com os novos requisitos de qualidade que vêm complementar os já existentes. Para isto recomenda-se identificar os requisitos de qualidade que não cumprem mais com a qualidade requisitada pelo cliente e eliminá-los da matriz.

Com os requisitos de qualidade bem definidos passa-se para a fase de melhoria das partes características do produto, para isto se utiliza a segunda matriz da CQ. Nesta situação os requisitos de qualidade já estabelecidos na concepção inicial passam a preencher os QUE'S da matriz. Baseado nestes requisitos devem ser elaboradas as partes características, os COMO'S, que determinarão as melhorias a serem feitas.

Os requisitos de qualidade são contrapostos às partes características ou peças fundamentais da concepção original, para atender aos requisitos. Aqui são identificadas quais peças atendem às especificações e devem ser conservadas, e quais não atendem e

deverão ser mudadas. As características das peças são avaliadas e se estabelecem as correspondentes hierarquias das peças.

Quando há produtos submetidos a programas de reprojeto ou melhoria constante, o desdobramento das matrizes ajudará a melhorar as operações ou processos. Estas matrizes utilizam as informações geradas nas matrizes anteriores.

A terceira matriz utiliza os COMO'S da segunda, partes características, como suas necessidades de reprojeto, os QUE'S. E estes servirão para definir os novos requisitos de qualidade denominadas operações chaves de manufatura. Aqui são estabelecidas as características próprias de cada peça definidas na matriz anterior e estas se contrapõem aos processos chave, necessários para conseguir estas características. Esta matriz representa a transição das melhorias das operações de projeto para as de fabricação. O processo repete-se sucessivamente até conseguir a base de matrizes, as especificações necessárias para garantir com qualidade o desenvolvimento do produto, KING [33], como é o caso da quarta matriz, onde o nível de reprojeto é mais pontual, já que está dirigida a definição dos pontos de verificação e de controle.

É importante notar, que nem todos os requisitos de qualidade da CQ deverão ser desdobrados, mas somente aqueles que representem obstáculos de ordem técnica, e que realmente sejam importantes para a satisfação final do consumidor, BACK & FORCELLINI [34].

Dependendo do alvo do reprojeto (por exemplo : redução de custos, redução da probabilidade de falha, melhorar a reciclagem , etc.) o desdobramento das matrizes deverá ser apoiado por métodos como : Análise de Valor, Análise de Modo de Falha e Efeito, otimização de produtos e processos, Método de Taguchi, Análise de Custos, DFMA, DFE, etc., para garantir a confiabilidade e obtenção de valores objetivos que trazem melhor desempenho ao produto reprojeto. As vantagens de alguns destes métodos são mostrados nos capítulos 5 e 6.

Para a obtenção das matrizes, recomenda-se que todas as pessoas envolvidas no ciclo de vida do produto participem de sua elaboração. A Figura 4.2 mostra o desdobramento das matrizes.

A técnica da Casa da Qualidade não avalia unicamente os requisitos do usuário em comparação com os requisitos de projeto, mas também avalia a possível solução de

reprojeto comparada com alguns modelos existentes da concorrência, para o que HAUSER & CLAUSING [35], recomendam estabelecer metas para cada requisito.

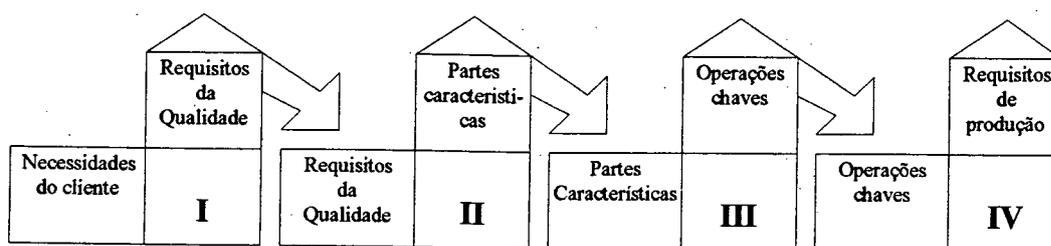


Figura 4.2 Desdobramento da Casa da Qualidade (Fonte: BACK & FORCELLINI) [34].

A avaliação do mercado e do produto inicial ajudam a estabelecer critérios de qualidade. À direita das matrizes, são colocados os resultados de avaliações de consumidores. Estas avaliações são referentes às características funcionais de cada produto da concorrência e sobretudo às características do produto inicial, que são comparadas às novas características de melhoria do produto em processo, sempre sob a ótica dos próprios consumidores. Aqui são identificados os pontos fortes e fracos da nova configuração, para posteriormente melhorá-los ou conservá-los.

4.5 Especificações de Reprojeto de Produtos

Como visto no item anterior, a casa da qualidade visa a hierarquia dos requisitos de projeto e ordená-los pela sua importância para o reprojeto. Um dos objetivos da casa da qualidade, provavelmente o mais significativo, é o de identificar aqueles requisitos de reprojeto verdadeiramente importantes, em função de seu relacionamento com os requisitos de usuário antes definidos.

Os requisitos de reprojeto, com forte relacionamento com a maioria dos requisitos do usuário, passarão então a ser denominados especificações de projeto e serão os que decidirão as características principais do produto que se reprojeterá.

Especificações de projeto, são aquelas que determinam e definem os parâmetros que o produto terá que cumprir, [36]. Estas devem ser acompanhadas de outros elementos importantes para o projeto como: desejos explícitos do ou dos clientes; restrições de uso, funcionais, financeiras, legais, de normalização e operativas importantes, que deve enfrentar o projeto ou o produto; descrição sintética das

características principais do projeto ou produto e qualquer outro elemento importante que o grupo de desenvolvimento estime que deve ser assinalado no documento como elemento de avaliação posterior.

Para a padronização das especificações de projeto, há uma abundante literatura publicada: BACK [1], PAHL & BEITZ [2], FIOD [15], HUBKA [37] e SIVALOGANATHAN [38] dentre aqueles que propõem a elaboração das especificações de projeto utilizando diretamente o “check-list” das possíveis especificações, baseadas em suas categorias.

O modelo utilizado neste trabalho é o proposto por HERNÁNDEZ [39], que classifica as mesmas segundo o critério dos atributos do produto e que inclui as informações adicionais que os projetistas devem conhecer. Este modelo constitui a base para o início das melhorias e dará os parâmetros de avaliação que permitam uma valoração adequada das soluções de reprojeto, como mostra o Quadro 4.1.

Quadro 4.1 Especificações de Projeto de Produtos (Fonte: HERNÁNDEZ) [39]

| <i>ESPECIFICAÇÕES DE REPROJETO DE PRODUTOS</i> | | | | | |
|--|-------------------|------------------|---------------|----------------------------|---------------------------------|
| Atributos do Produto | Requisitos | Objetivos | Sensor | Saídas Indesejáveis | Observações / Restrições |
| Função | | | | | |
| Uso | | | | | |
| Produção/ Montagem | | | | | |
| Ergonomia/ Estética | | | | | |
| Comercial | | | | | |
| Manutenção/ Reparos | | | | | |
| Econômico/ Financeiro | | | | | |
| Segurança | | | | | |
| Ambiental/ Descarte | | | | | |
| Legal/ Normalização | | | | | |

As especificações de reprojeto devem representar os objetivos das melhorias do produto, onde para cada uma deve-se associar um valor meta, elementos sensores para medir se os objetivos estão ou não sendo atingidos e as saídas indesejáveis, que representam o que se quer evitar com a agregação dessa especificação.

CAPÍTULO V

MÉTODOS PARA A GERAÇÃO DE SOLUÇÕES DE MELHORIA, UTILIZADOS NA FASE DE REPROJETO CONCEITUAL

5.1 Introdução

Na fase do reprojeto conceitual é onde se apresenta a maior oportunidade de obter a melhoria do produto e é onde as decisões mais importantes são tomadas. A equipe de reprojeto utiliza a informação gerada na fase anterior para gerar e avaliar conceitos de reprojeto. Durante esta fase conceitual as especificações do reprojeto são usadas como base para desenvolver os modelos funcionais.

O objetivo deste capítulo é indicar técnicas de geração de conceitos que mostram-se mais apropriadas à geração de soluções em problemas de reprojeto. Estes conceitos gerados são avaliados comparativamente com as especificações de reprojeto, para selecionar o(s) melhor(es). Estes são refinados na fase seguinte.

A procura de soluções pode ser realizada com métodos de geração de idéias mais discursivos ou métodos mais intuitivos. Os métodos discursivos baseiam-se em pesquisa sob diversas fontes de informação e os métodos intuitivos consistem em formar grupos para a aplicação de técnicas de estímulo à criatividade. Em ambos os casos, com a aplicação destas técnicas, procura-se obter, princípios de solução para as funções parciais (desmembramento da função global).

Para estabelecer a nova estrutura funcional do produto a ser melhorado, podem ser utilizados métodos como o inverso da síntese funcional e o método da análise de valor. Estes três métodos além de ajudar a estabelecer as funções que o produto reprojeto deverá conter, também auxiliam na geração de alternativas de solução. Outros métodos apropriados para a geração de alternativas no reprojeto, que complementam os métodos antes mencionados são a matriz morfológica, a listagem de atributos e instigação de questões.

Todos estes métodos utilizados nos processos criativos sempre seguem uma série de procedimentos para garantir um melhor resultado, como é mostrado a seguir, não necessariamente na ordem apresentada :

- **preparação**: reunião das habilidades e formulação do problema;
- **esforço concentrado**: trabalhando arduamente por uma solução;
- **afastamento**: período de descanso mental, afastando-se do problema;
- **visão**: ter visão da idéia ou reorganização da solução, e
- **revisão**: generalizando e avaliando.

5.2 Inverso do método da síntese funcional

O método da síntese funcional comumente utilizado na fase de desenvolvimento de projeto de produtos, é uma ferramenta que serve para estabelecer a função total de um sistema técnico. Sob o conceito de síntese funcional compreendem-se todas aquelas ações necessárias para a partir de um problema, formular uma função total de um sistema técnico, assim como as ações necessárias para substituir esta função total por estruturas de funções parciais ou elementares, BACK [15].

Num sistema técnico, somente são transformadas as propriedades (energia, sinal e material) e o seu fluxo. Desta maneira o procedimento do projeto de produtos é desenvolvido a partir da descrição dos objetivos, estabelecendo a função técnica geral e definindo as entradas e as saídas do sistema, como mostra a Figura 5.1.



Figura 5.1 Representação abstrata de um sistema técnico. Função total. (Fonte: BACK) [1].

Em reprojeto de sistemas, como já existe um sistema físico e desenhos de projeto detalhados (base de conhecimento), a partir das especificações de reprojeto estabelecidas, o passo seguinte é a abstração da nova estrutura funcional do produto a ser melhorado, como apresentado no capítulo 3.

O método inverso da síntese funcional, ajudará a redefinir esta nova estrutura.

O primeiro passo para estabelecer a estrutura funcional, é examinar o produto original e/ou seus desenhos técnicos das partes ou sistemas, identificando aquelas a serem reprojctadas.

É importante determinar as relações do sistema técnico com o meio ambiente: isto refere-se a selecionar e analisar as entradas e saídas do sistema.

O seguinte passo, é determinar e descrever o princípio de funcionamento do sistema. Para isto devem-se compor os elementos funcionais, eliminar juntas ou uniões fixas e elementos de funções auxiliares, simplificando a configuração na forma da função. Os elementos funcionais devem ser substituídos por símbolos correspondentes.

O terceiro passo é referente à determinação e descrição da estrutura funcional, isto é separar os grupos funcionais, representar o sistema por uma estrutura funcional e determinar as grandezas funcionais, assim como as relações de entrada e saída de cada função da estrutura.

O quarto e último passo é a determinação e descrição da função global do sistema, ou seja, a definição da função principal e secundárias. Uma vez determinada a estrutura funcional do sistema, pode-se agora a partir deste ponto em diante, utilizar o procedimento normal do método da síntese funcional, ou os outros métodos de geração de variantes de solução para o sistema, sempre objetivando melhoria do sistema anterior.

Os procedimentos restantes do método da síntese funcional, ajudarão a gerar variantes de estrutura que satisfaçam às especificações de projeto estabelecidas anteriormente. O objetivo é dividir a nova estrutura funcional do sistema, em funções parciais, em funções elementares e operações básicas, interligadas para satisfazer os requisitos funcionais do sistema total. Aqui são geradas diversas variantes de estruturas de operações básicas, para posteriormente selecionar a estrutura de funções mais apropriada.

A seguir, buscam-se os princípios alternativos de solução para cada função da estrutura de funções e são determinadas as estruturas alternativas de princípios de solução e de portadores de efeitos. Por último escolhe-se a melhor estrutura alternativa de princípios de solução, obtendo a concepção definida. Informações sobre o método podem ser encontradas em BACK [1], PAHL & BEITZ [2], ULLMAN [7], HUBKA [37] e HUNDAL [40].

Como mencionado anteriormente o método da matriz morfológica também pode ser utilizado para gerar variantes de solução. As características do método são vistas no item seguinte.

5.3 Matriz morfológica

Uma vez estabelecida a estrutura funcional do produto que está sendo reprojeto, o método da matriz morfológica é utilizado para através de uma pesquisa sistemática de novas combinações de seus elementos ou parâmetros, encontrar a melhor solução para o problema.

A matriz morfológica é especialmente útil em reprojeto já que permite gerar e combinar soluções de funções parciais, onde unicamente são envolvidas as partes que pretende-se mudar, permitindo estabelecer relações com as partes que terão que permanecer, sempre procurando afetar estas no mínimo, como se mostra na Figura 5.2.

| Sub-funções \ Soluções | | 1 | 2 | ... | j | ... | m |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | F1 | S11 | S12 | ... | S1j | ... | S1m |
| 2 | F2 | S21 | S22 | ... | S2j | ... | S2m |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| i | Fi | Si1 | Si2 | ... | Sij | ... | Sim |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| n | Fn | Sn1 | Sn2 | ... | Snj | ... | Snm |
| | | 2 | 1 | | | | |

Figura 5.2 Matriz morfológica para combinação de princípios de solução (Fonte: VDI 2222, 1977) [22].

No caso que o método seja utilizado para a elaboração de um reprojeto de sistema global, é necessário, no mínimo, um princípio de solução para cada função parcial. Para constituir a solução global, os princípios de solução devem ser combinados sistematicamente em uma estrutura de soluções parciais interligadas.

O método morfológico quando utilizado em reprojeto de produtos, segue os seguintes passos:

1º passo. Determinação da seqüência de funções do processo. As funções mais gerais podem sofrer desdobramentos quanto à forma em que são feitas, tipos de dispositivos ou princípios. O nível de reprojeto, seja de peça, parte, operação ou de produção, será o que determina o desdobramento das funções na matriz.;

2º passo. Preenchimento da primeira coluna da matriz com a seqüência de funções;

3º passo. Busca de princípios de solução alternativos para cada função listada na primeira coluna. As soluções podem ser na forma de descrições literárias ou representações gráficas. São preenchidas tantas soluções quanto possível;

4º passo. Busca de soluções ou concepções alternativas para o problema global de reprojeto. São estabelecidas combinações adotando o princípio de solução de uma linha com os princípios das demais linhas;

5º passo. Avaliação e seleção das concepções, e

6º passo. Determinar o leiaute e descrever a melhor concepção.

Mais detalhes do método podem ser encontrados em BACK [1].

Uma maneira de enriquecer a busca de melhores soluções, paralelo ao método morfológico ou como complemento, é a utilização dos métodos de listagem de atributos e instigação de questões. Estes métodos também podem ser usados de maneira independente para ativar o pensamento criativo e propor soluções.

5.4 Listagem de atributos

Uma vez determinada a estrutura funcional, outro método que pode ser utilizado na busca de variantes de solução para o sistema é o da listagem de atributos. Os atributos ou características de um produto vêm sendo definidas por diferentes autores. Segundo ROVALO [41], são vistos como esquemas projetuais, ou seja estruturas internas que conformam o projeto integralmente. Este autor propôs três esquemas principais:

- o esquema ou atributo construtivo;
- o esquema ou atributo funcional e
- o esquema ou atributo expressivo.

Já RODRIGUEZ [42], considera um quarto esquema que denomina como esquema comercial. ULLMAN [7] e TJALVE [43], ampliam o número incluindo aspectos legais, de normalização e fatores humanos nas características.

O método da listagem de atributos foi desenvolvido por Robert Crawford e consiste em isolar e listar os principais atributos ou características de um produto, sempre procurando avaliar estas características visando à melhoria do produto.

Este método é de fácil uso em reprojeto de sistemas, devido a que os atributos que pretende-se melhorar, já foram estabelecidos e com base nos mesmos, foram determinadas as especificações do reprojeto. Os atributos da estrutura funcional que

serão melhorados devem ser identificados e utilizados para gerar soluções mais eficientes. Ao descrever os atributos de um produto deve-se buscar o pensamento criativo, surgindo idéias alternativas de como fazer ou usar de maneira diferente, levando a uma melhora no produto existente.

Os atributos reprojatados deverão estar em sintonia com os da concepção inicial que não foram mudados, estes definirão as novas características do sistema.

A seguir, mencionam-se os atributos mais importantes que podem ser alvo de um reprojeto:

- atributo funcional;
- atributo de uso/ergonômico;
- atributo de produção e montagem;
- atributo estético/expressivo;
- atributo comercial/venda;
- atributo de manutenção/reparo;
- atributo econômico/financeiro;
- atributo de segurança;
- atributo de impacto ambiental/descarte, e
- atributo legal/normas.

5.5 Instigação de Questões

Da mesma forma que no item 5.4, o método de Instigação de Questões pode ser utilizado a partir da definição da nova estrutura funcional, para propor variantes de solução. Este método pode ser utilizado tanto para reprojatos de sistemas totais, como de partes, operações e processos, devido a que as questões podem ser direcionadas especificamente ao item que pretende-se melhorar.

O método denominado de Instigação de Questões ou “Question Prompt” foi desenvolvido por Alex F. Osborn e consiste na utilização de uma serie de palavras chaves para gerar idéias novas que possam melhorar o produto. Estas palavras chaves são geradas a partir do entendimento dos pontos fracos do produto que se deseja reprojatar, procurando uma solução. Algumas das palavras chaves mas usuais são:

- **Adapte:** O que mais é igual a isto ?
Que outra idéia isto sugere ?

- O passado oferece qualquer paralelo ?
- O que eu posso copiar ?
- O que eu posso imitar ?
- **Modifique:** Posso modificar o significado, cor, movimento, som, odor, forma, etc ?
Há uma nova tendência ?
 - **Amplifique:** Posso adicionar mais tempo, maior frequência, maior resistência, maior altura/comprimento ou maior valor ?
Posso duplicar, multiplicar, exagerar , etc ?
 - **Minimize:** Posso subtrair, condensar, baixar, encurtar, reduzir peso, omitir, dividir, etc ?
 - **Substitua:** Quem ou o quê posso substituir ?
Existem outros adequados materiais, processos ou aproximações ?
 - **Re-arranje:** Posso intercambiar componentes ?
Posso usar outra configuração, leiaute, ou seqüência ?
Posso transpor causa e efeito ?
Posso modificar o modo ou esquema ?
 - **Reverte:** Posso trocar o positivo e o negativo ?
Quanto a opostos ?
Quanto a frente e trás, de cima para baixo ?
 - **Combine:** Posso usar uma mistura, uma liga, uma montagem, um conjunto ?
Pode-se combinar unidades e idéias ?

5.6 Análise de Valor

Análise de Valor é um dos mais versáteis métodos que podem ser usados no reprojeto de produtos, que visa a desenvolver alternativas, para aumentar o valor do produto através do estudo minucioso de suas funções e de seus custos (valor aqui refere-se à função e não à constituição física do elemento), [13].

O valor de um produto é a maneira mais econômica e simples de desempenhar uma função de modo mais eficiente. “Valor é o mínimo a ser gasto para adquirir ou para produzir um produto com o uso, a estima e a qualidade requerida”, [23]. A definição destes valores: ergonômico, de manufatura, de montagem, estético, de uso, de custo, de

troca, etc. pode ser encontrada com maiores detalhes em CSILLAG [23] e também na referência [13].

Como aqui será exposto o uso da análise de valor no reprojeto, deve-se realizar uma revisão geral do projeto ou produto original para então propor melhorias, através de novos princípios de solução, tecnologias, materiais, processos de fabricação, formas de distribuição, etc., aumentando a qualidade e o valor agregado do produto reprojeto.

O método inclui produtos que serão aperfeiçoados, produtos que não têm sofrido modificações por muito tempo (e observa-se a necessidade de melhorá-los), produtos com elevado custo de manutenção, e outros que podem pertencer a programas de melhoria constante. Para todos estes, a importância da utilização das técnicas da análise ou engenharia de valor, é ajudar na identificação das funções necessárias do produto que constituem a denominada estrutura funcional, através do estabelecimento dos valores das mesmas e assim desenvolver as alternativas de melhoria que levem a desempenhar as funções ao mínimo custo.

Aqui é percebido que, para qualquer produto, seu valor de custo está determinado pelos diferentes valores que são atribuídos a ele, os quais devem ser os estritamente necessários para obter um desempenho satisfatório. Tanto o excesso como a falta destes levará a um aumento no preço.

Antes de iniciar a abordagem funcional no reprojeto, deve-se fixar metas de melhoria de qualidade ou redução de custos, sempre comparando o produto de análise com os produtos da concorrência. Os custos do produto original servirão também, como padrões para a mensuração dos resultados do reprojeto. Como no reprojeto muitas vezes, pretende-se melhorar uma parte do sistema, é importante que os custos do produto sejam desdobrados ao nível de peças, partes, atividades ou operações, materiais, mão de obra, etc.

Na abordagem funcional pretende-se esclarecer e determinar as funções que o produto original contém, para estabelecer qual é a finalidade essencial para a qual o produto foi criado. Tendo esclarecido a finalidade essencial, a abordagem funcional também ajudará a segmentar o produto nas diferentes funções que o compõem, para então avaliar o valor de cada uma destas e propor as alternativas de melhoria correspondentes.

A abordagem funcional mediante a pergunta - o que ele faz ?, facilita a determinação da estrutura funcional no reprojeto, e para isto Wayne, estrutura o Sistema de Técnicas de Análise Funcional (FAST), que é um diagrama que utiliza o **Como?** e **Por que?**, como técnica de perguntas de duplo questionamento para dar resposta aos problemas, [20].

A Figura 5.3 apresenta o digrama FAST de maneira esquemática.

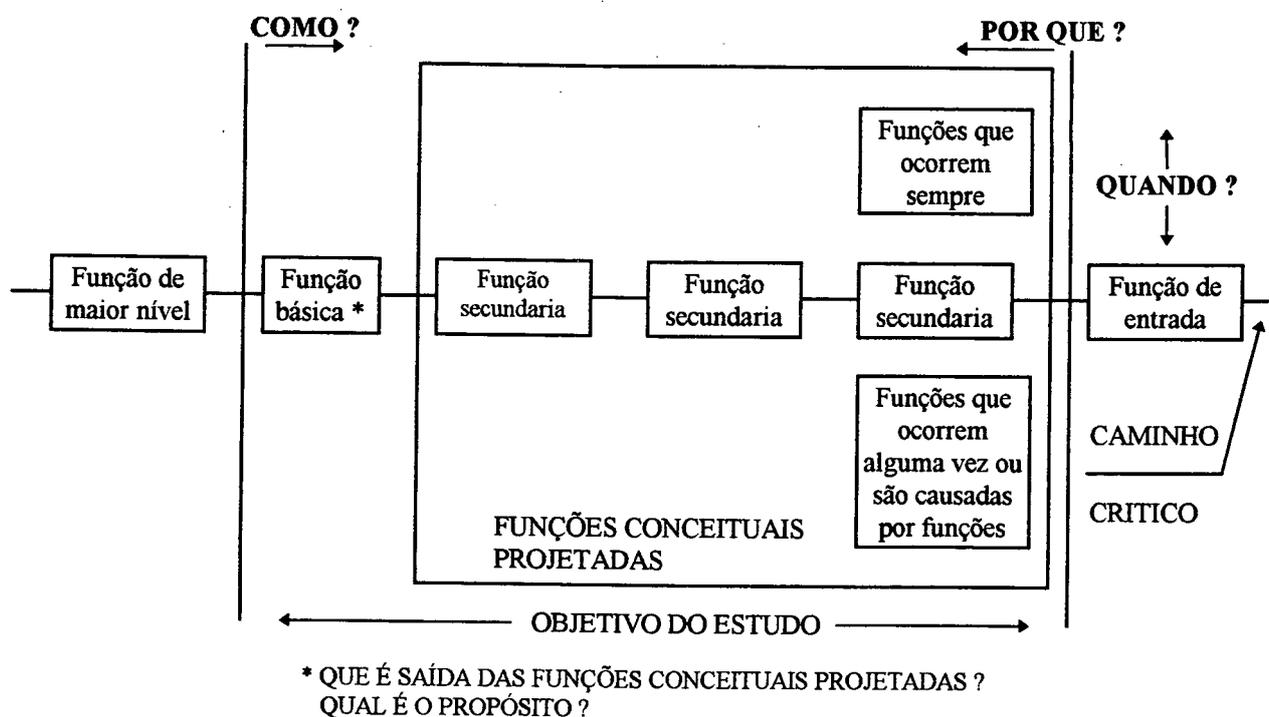


Figura 5.3 Diagrama Fast. (Fonte: notas do CPPT da Fundação VW) [13].

A pergunta **Como?** serve para propor o maior número de funções criativas.

A pergunta **Por que?** serve para perguntar se a função pode alcançar o mais alto nível para explorar as idéias mais criativas.

A definição das funções do produto ajudam a determinar quais seriam os valores do produto mais importantes para os diferentes clientes, se é necessário incluir ou eliminar algum deles. Nesta etapa, o mais importante é definir quais dos valores do produto terão que ser mudados e quais se manterão sem mudança. Ao classificar estas funções de forma lógica e ordenada pode-se compreender melhor os problemas e vantagens do produto.

Uma vez estabelecida a função do produto, pode-se então iniciar a procura de soluções para reduzir os custos ou melhorar a qualidade. Para isto pode-se utilizar as

questões evocativas em cada um dos itens em processo de melhora, como por exemplo: como esta parte pode ser eliminada?, como esta parte pode ser combinada com outras?, etc. As respostas destas questões devem ser posteriormente submetidas à avaliação utilizando as questões: porque esta parte pode ser eliminada?, porque esta parte pode ser combinada com outras?, etc.. A partir deste momento pode-se continuar com as etapas de julgamento e de planejamento, próprias do método normal da análise de valor. Maiores detalhes sobre os métodos de criatividade podem ser encontrados em COMELLA [47], HOLT [48] e DICK [49]. Informações referentes ao método da análise de valor podem ser encontrados em BACK [1] e nas notas da referência [13].

CAPÍTULO VI

TÉCNICAS PARA O MELHORAMENTO DO REPROJETO DETALHADO

6.1 Introdução

O desenvolvimento de produtos têm sido tradicionalmente elaborados sem verificar e avaliar cuidadosamente a montabilidade, processos de fabricação, usabilidade, confiabilidade, fatores humanos, etc., antes de passar ao protótipo ou à fase de produção, obrigando a reprojeto o produto, aumentando o tempo de projeto e encarecendo-o.

Para ajudar nas diferentes atividades do projeto, ferramentas de análise são altamente recomendadas. Estas ferramentas analisam o produto, fazendo-o mais fácil de fabricar e regulando as soluções propostas nos estágios criativos, cap.5.

No reprojeto, as ferramentas de análise pretendem atingir dois objetivos distintos: avaliar a concepção original, eliminando os pontos fracos e estabelecer critérios de reprojeto, fazendo-o fabricável. Estas ferramentas são utilizadas com efetividade nas três fases do processo de projeto, especialmente no projeto detalhado, mas é recomendado considerá-las de modo global durante todo o processo. Nas três fases do projeto (projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado) é descrito **COMO** o produto vai funcionar em relação aos requisitos, como mostra a Figura 6.1.

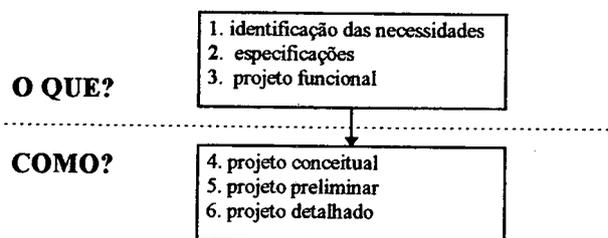


Figura 6.1 Fases do processo de projeto.(Fonte: TICHEM) [50].

Especificamente no projeto preliminar e detalhado, é onde são fornecidas as descrições de engenharia de um projeto frutífero e verificado. Neste ponto não existem mais grandes mudanças como na fase anterior, aqui deve ser feita a decisão final sobre

uma determinada concepção para o projeto chegando a um projeto de produto fabricável, BACK [1].

Os métodos DFMA, DFE, FMEA, etc., têm sido utilizados com maior êxito na fase de detalhamento que na conceitual, devido a que, para o seu uso o projeto deve estar tão detalhado que permita visualizar como os sistemas do produto irão trabalhar em relação às considerações dos métodos, situação que se dificulta na fase conceitual.

No reprojeto estes métodos auxiliam na avaliação da concepção inicial, formulando estruturas de projeto baseada nos diferentes conjuntos de: temas, regras, abordagens, estratégias, etc., para eliminar os pontos fracos e melhorar o produto. Essas abordagens são denominadas como estratégias de projeto para o Ciclo de Vida e devem atuar de maneira conjunta para sua efetividade.

A seguir são apresentados os métodos mais importantes, que auxiliam na melhoria dos produtos, como parte do reprojeto detalhado.

6.2 Projeto e avaliação da manufatura e da montagem

As novas tendências recomendam que os projetos para a manufatura (DFM) e montagem (DFA) sejam tratados simultaneamente no processo de projeto, como Projeto para a Manufatura e Montagem (DFMA). Estas siglas são utilizadas para identificar o método, devido a que na língua inglesa significam Design For Manufacturing and Assembly.

Quando utilizado no reprojeto, pode-se dar maior ou menor ênfase a algum destes métodos, dependendo do alvo do reprojeto, mas sempre serão complementares um do outro.

O DFMA refere-se à compreensão das interações nos sistemas de manufatura e montagem, e uso destes conhecimentos para otimizá-los, visando à eficiência na qualidade, custos e tempo reduzido de manufatura e montagem.

Este método inclui tecnologia de grupo, a qual é uma ferramenta particular para a racionalização na produção, engenharia do valor que permite uma função orientada à racionalização do produto, abrangendo processos e montagem incluindo ainda o conceito de engenharia simultânea de projeto de produtos: organização, ferramentas (DFA e DFM), e informações (sistemas CAD, manuais e reuniões). Estes mecanismos, segundo WAGNE [51], não podem funcionar de forma isolada.

O DFMA procura que o projeto de produto e o planejamento da produção aconteçam simultaneamente. Já no reprojeto, o DFMA ajuda a adequar o produto da melhor maneira às características da produção e montagem, procurando melhorar a qualidade e reduzir o tempo de manufatura-montagem.

O uso do método para melhorar o produto só inicia na fase de reprojeto preliminar, contudo para o processo DFMA esta fase é tão importante como a de detalhamento, na qual realmente as melhorias tornam-se efetivas, avaliando a estrutura, a geometria global das partes e os materiais, assim como utilizando as estratégias DFMA.

A abordagem do método no reprojeto está baseada nas conseqüências das escolhas feitas pelos projetistas durante o processo de projeto e, tem a finalidade de melhorar o produto original em relação à produção e montagem.

Para isto, devem ser estabelecidos os objetivos do reprojeto em relação ao método, tais como:

- identificar os problemas que afetam a produção e montagem de um produto dentro de determinadas especificações (concepção original);
- enfocar o reprojeto dos componentes visando a uma fabricação e montagem mais simples, reduzindo o número de partes e facilitando a manipulação e inserção destas, além de eliminar aquelas que encarecem o produto e
- integrar os projetos do processo de fabricação e montagem com o reprojeto do produto, para assegurar o melhor atendimento dos requisitos.

O que é procurado com estes objetivos, é fazer com que o produto e o sistema de produção e montagem sejam devidamente adequados um ao outro, ou seja, o processo escolhido deve realizar as funções do produto de maneira ótima aumentando seu poder de mercado e melhorando sua qualidade e, por sua vez, o produto deve ser reprojetoado para uma melhor utilização dos materiais e equipamentos de produção e montagem, que levem a uma produção sem problemas.

Para reprojetoar um produto enfocando sua manufatura e montagem, o método DFMA deve ser discutido em vários níveis, como recomendam FABRICIUS [52] e ANDREASEN [53]:

1. a nível da empresa, onde são feitas as escolhas estratégicas de tecnologia e materiais que devem ser adaptados à tecnologia estratégica do produto;

2. a nível de **classificação do produto**, onde são decididas as famílias, reutilização e modulação do produto, assim como, os processos e equipamentos;

3. a nível de **estrutura do produto**, onde especialmente a estrutura de montagem influencia a produção e a seqüência da montagem e

4. a nível do **componente**: onde é feita uma escolha detalhada da cadeia de processo para cada parte e onde o projeto detalhado de cada uma, deve assegurar uma produção eficiente e sem problemas.

Em função de um ou mais destes níveis é que surgirão as melhorias do produto. O projeto ou concepção original é reavaliada e os métodos de montagem e processos de manufatura mais adequados são escolhidos; para isto devem ser levados em consideração os fatores que influenciam os processos e a montagem, os quais podem ser agrupados em três: fatores dos componentes, fatores da montagem e fatores dos processos. O primeiro depende dos componentes individuais que fazem parte da montagem e os outros dois dependem da seqüência de montagem selecionada e do processo requerido para o produto em estudo.

Esta reavaliação tenta criar harmonia entre projeto, seleção de materiais e processos de manufatura. Para lograr essa harmonia, os projetistas têm que lidar com uma grande quantidade de informações que ao serem reavaliadas, ajudarão a determinar as mudanças que o produto deverá sofrer. Estas informações incluem todos os dados que foram utilizados pelos projetistas para definir as partes e montagens. Elas podem ser subdivididas em informações sobre o projeto original, materiais e processos utilizados e serão empregadas no reprojeto para avaliar e modificar o projeto ou produto, como forma de melhorar a manufaturabilidade.

Usando essas informações, os projetistas podem melhorar a qualidade do produto e reduzir os tempos e custos de manufatura. Informações adicionais, podem ser encontradas em MATOUSEK [54] e ANDREASEN [53].

Estas informações são úteis para avaliar a concepção inicial em relação às virtudes universais DFM (custo, tempo, qualidade, eficiência e flexibilidade do sistema produtivo), e determinar falhas no produto, visando a sua melhoria.

Da mesma maneira que os processos de manufatura, a montagem deve ser considerada sistematicamente durante todo o processo de reprojeto. Como ferramenta

para isso, o projetista pode usar “check list” gerais, normas de montabilidade e software de análise DFA. (MATOUSEK [54], EHRENSPIEL [55] e ANDREASEN [53]).

Esta análise DFA permite ao projetista avaliar a montabilidade da concepção original, verificando se é ou não adequado à montagem, a partir da resposta das características das partes, sub-montagens e processos de montagem do produto.

BOOTHROYD [56], recomenda avaliar a montabilidade do produto em relação a quatro critérios:

1. que seja montável;
2. na medida do possível, seja montável de um lado só;
3. que seja montável com perda de tempo mínima, ou seja, simples e
4. se possível, montável com o mínimo ou sem ferramentas.

Sempre que se queira avaliar a montabilidade de um produto, deve-se envolver todas as operações do processo - armazenamento, manuseio, posicionamento, união, ajustagem, segurança e inspeção.

Essa análise ajuda a determinar com clareza a interação entre partes e componentes e, quais devem ser reprojatados. Esta interação é referente a tipos de conexões, informação tecnológica para a conexão e liberdade entre partes e componentes de mover-se entre si. O objetivo é melhorar a praticidade das seqüências de montagem, para a qual uma análise sucessiva da “desmontagem” do produto será de grande utilidade.

Outro fator importante no reprojeto de um produto, é verificar e complementar os requisitos de manufatura e montagem, visto que o produto deve ser reprojatado para satisfazer seus requisitos funcionais.

Os requisitos da concepção original devem ser reavaliados para estabelecer os novos requisitos de qualidade DFMA, considerando sempre os seguintes princípios básicos DFM e DFA:

- **simplicidade** (diminuir o número de partes, formato menos intrincado, menor precisão de ajuste, seqüência de manufatura mais curta, etc.);
- **materiais e componentes padronizados** (produção em série, gerenciamento do inventário e facilidade de compra);

- **projeto de produto normalizado** (mesmas especificações em produtos similares);
- **liberar tolerâncias** (evitar tolerâncias muito justas, que implicam em custos altos);
- **uso de materiais mais processáveis** (o melhor material é aquele com o menor custo na combinação de: material, processo, taxas de garantia e serviço sobre a vida projetada para o produto);
- **colaboração com o pessoal de manufatura** (trabalho conjunto das pessoas envolvidas no reprojeto);
- **reduzir operações secundárias** (operações como inspeção, acabamentos, etc., podem ser tão caros quanto as operações de manufatura primária);
- **projeto apropriado para o nível esperado de produção** (o projeto deve ser compatível com uma produção econômica);
- **utilizar características especiais de processo** (tirar vantagem das capacidades especiais dos processos de manufatura, eliminando operações onerosas e desnecessárias);
- **evitar limitações no processo** (ampliar a possibilidade de escolha de novos processos que produzam as características requeridas pelo menor custo) e
- **utilizar recomendações do projeto de partes** (estas devem ser utilizadas para melhorar problemas pontuais nos processos de manufatura, como: espaçar perfurações em partes usinadas, moldadas, estampados e fundidas; evitar quinas afiadas; usar filetes e raios generosos em fundidos, moldados, usinados e formados; etc). Para outras recomendações, consultar BRALIA [57] e ULLMAN [7].

Como mencionado acima, devem ser ainda considerados os requisitos específicos do DFA. Estes requisitos pretendem no reprojeto melhorar as operações de montagem do produto facilitando o armazenamento e ordenando as partes a serem montadas (para montagem automática); facilitando o manejo de peças (identificação, captação da peça e movimentação); facilitando o posicionamento (orientação e alinhamento); facilitando a união das partes (execução da junta); facilitando a ajustagem final das peças (tolerâncias adequadas); prevendo a segurança de posicionamento das peças de ajuste (união que garanta autoposicionamento); facilitando o controle do posicionamento ou ajuste; prevendo a desmontagem para manutenção ou reciclagem; minimizando o número global de componentes; minimizarndo o uso de elementos de fixação separados; reprojutando o

produto com componente base (não reposicioná-la durante a montagem); utilizando sequência de montagem eficiente e reprojeto de componentes com características que facilitem a captação e inserção.

6.3 Projeto e avaliação da confiabilidade

Confiabilidade pode ser definida como a probabilidade de um produto se comportar de maneira satisfatória num dado período de tempo quando usado sob condições de operação específicas. Esta definição enfatiza as variáveis probabilidade, performance satisfatória, tempo e condições de operação específicas, os quais devem ser levadas em consideração no reprojeto quando pretende-se avaliar a confiabilidade de um produto.

Projeto e avaliação da confiabilidade utilizam as siglas FMEA, devido a que na língua inglesa significam “Failure Mode and Effect Analysis”.

O FMEA inclui prognóstico da confiabilidade e teste de confiabilidade. O primeiro refere-se a uma análise de probabilidades e diagramas que fornecem uma avaliação prévia da confiabilidade, o qual pode ser usado após a seleção dos componentes, durante a fase preliminar e de detalhamento do processo, o segundo tende a acontecer no final do processo e representa o método que pode provar o nível de confiabilidade do produto. Este grau de confiabilidade deverá ser estabelecido em função do risco de vida, do risco financeiro do consumidor e do risco comercial do fabricante, [1].

Estas abordagens tentam assegurar que um produto seja confiável ou não, e são utilizadas no reprojeto para garantir a confiabilidade do produto que está sendo melhorado. A diferença destas abordagens está em quando e como podem ser aplicadas, conseqüentemente no reprojeto deve-se usar ambas as abordagens e, comparar os resultados para chegar a entender como o produto realmente se comporta.

O FMEA é de grande utilidade para identificar a necessidade de um reprojeto visando sua confiabilidade, como resultado da análise do projeto ou produto. Esta análise ajuda a aumentar o conhecimento do produto e as possíveis conseqüências das falhas decorrentes do processo de projeto, assegurando que os resultados de qualquer falha dada irão causar o mínimo de estragos ao equipamento e não darão prejuízo aos operadores e pessoal de manutenção.

A confiabilidade do produto depende da confiabilidade de suas partes e componentes e a seleção destas deve ser compatível com os requisitos. Um alto nível de confiabilidade se obtém ao selecionar no reprojeto, componentes e materiais de confiabilidade conhecida e, para isto deve-se dar grande ênfase na seleção e normalização dos componentes e materiais, isto inclui o estudo das características operacionais, tolerâncias, tensões do material e outras características do componente. Assim, também, deve-se reprojeter somente aquelas partes que não são capazes de alcançar seus objetivos de confiabilidade e não substituir as partes que alcançam os requisitos especificados.

Para utilizar o FMEA, deve-se primeiramente estabelecer os objetivos que se pretende ao utilizá-lo no reprojeto, que são:

- identificar os problemas que afetam a confiabilidade de um produto, dentro de determinadas especificações (concepção original);
- enfocar o reprojeto dos componentes visando sua confiabilidade e
- integrar o projeto para confiabilidade com o reprojeto do produto, para assegurar o melhor atendimento dos requisitos.

A partir destes objetivos, pode-se avaliar a concepção original utilizando os critérios FMEA. O que se pretende é identificar e prever as falhas desta, para posteriormente melhorá-la. Para isto o método propõe realizar uma coleta de dados, uma análise e uma avaliação das capacidades do produto.

Esta análise deve ser feita levando em consideração os fatores de definição da performance do sistema, o perfil da missão, os requisitos de utilização do sistema, definição do ciclo de vida operacional e definição do meio ambiente no qual o sistema pretende operar e ser mantido (transporte, manuseio e tipos de estocagem).

Na análise, primeiramente, são identificadas as funções específicas do produto, para as quais são implementadas as tarefas de confiabilidade, os resultados são avaliados através de um programa de revisões funcionais. Estas tarefas do FMEA consideram:

1. identificação do item. Identificar cada item significativo no sistema componente que falha ou que poderia falhar. Isto pode ser realizado em conjunto com a análise funcional;

2. descrição dos modos de falha. Define os modos de falha mais prováveis para cada item identificado, ou seja como poderia ter falhado ou como irá falhar o equipamento e sob quais condições operacionais ou de meio ambiente o equipamento está sujeito a falhar;

3. causa da falha. Deve-se tentar antecipar a causa da falha e descrevê-la para cada estágio do processo;

4. possíveis efeitos de falhas. Descreve os efeitos possíveis de cada falha identificada e como esta afeta o sucesso do sistema. Os efeitos devem abranger desde uma operação parcial até a completa destruição do sistema;

5. probabilidade de ocorrência. Através de meios estatísticos estima-se a probabilidade da ocorrência das falhas. Para isto são considerados os fatores de experiência e o produto é submetido a provas de falha;

6. termos críticos das falhas. Em relação aos efeitos, as falhas podem ser classificadas em quatro termos críticos: falha menor, falha maior, falha crítica e falha catastrófica e

7. possíveis ações corretivas ou medidas preventivas. São as ações que podem ser realizadas para reduzir a probabilidade da ocorrência de falhas ou minimizar os efeitos destas.

Esta análise serve para identificar as principais partes do sistema que podem falhar, a partir dos níveis mais altos do diagrama de fluxo funcional, para o qual recomenda-se desenvolver um diagrama de confiabilidade. Este diagrama deve mostrar as relações em série/paralelo dos subsistemas requeridos para a performance ou funções individuais do sistema. É importante incluir os efeitos da armazenagem, empacotamento, transporte, manuseio e manutenção na análise.

Recomenda-se também no reprojeto verificar e complementar os requisitos de confiabilidade quantitativos e qualitativos para o sistema, atribuindo ao produto as propriedades que garantem sua confiabilidade. Estes requisitos devem ser distribuídos para o nível de subsistemas, o que garante, possíveis melhorias tanto a nível global como das partes e peças que podem falhar.

Estes requisitos devem ser especificados na forma de uma probabilidade de sobrevivência do produto no tempo médio de falhas. A confiabilidade é considerada

através do sistema do ciclo de vida do produto e os requisitos de confiabilidade devem estar relacionados a este.

Ao incluir estes requisitos no reprojeto, procura-se atribuir ao produto as propriedades que segundo STEPHENSON J. & WALLACE K. [58], garantem sua confiabilidade (projeto confiável). Estas propriedades são:

- **simplicidade**: É referente ao número de elementos necessários, para o bom funcionamento de um sistema técnico. O equivalente a este é o axioma de SUH [16] que propõe que um bom projeto é aquele que minimiza as informações contidas;

- **limpidez**: Esta é a que mais influencia a confiabilidade, descreve como um mecanismo opera e portanto como ele falha. PAHL & BEITZ [2], definem limpidez da função como “a falta de ambigüidade de um projeto”, esta facilita o prognóstico da confiabilidade no produto final. AGUIRRE [59], conduz o conceito de uma maneira diferente: “O grau de independência entre as relações físicas e funcionais que definem a configuração do sistema técnico, devem ser as mínimas necessárias para seu bom funcionamento”;

- **unidade**: AGUIRRE [59], considera a unidade como, “a contribuição relativa de cada elemento do sistema técnico, que deve ser de igual importância para o bom funcionamento do mesmo”;

- **manutenção**: onde o fato de utilizar componentes baratos e sem normalizar, gera problemas na unidade e afeta a confiabilidade e

- **robustez**: é um conceito vital na confiabilidade devido a que um projeto deve ser robusto suficiente para suportar os efeitos que um componente tem que suportar.

Uma vez definida a nova configuração do produto, recomenda-se levar a cabo um modelo de falhas, análise de efeito e análise crítica, para prever a confiabilidade do sistema.

Por último, uma vez pronto o novo protótipo, deve-se realizar um teste e avaliação da confiabilidade, se necessário uma ação corretiva.

6.4 Projeto e avaliação da manutenibilidade

Para definir a manutenibilidade, esta tem que ser diferenciada primeiramente da manutenção. A primeira é uma característica inerente ao projeto de produtos, que pode

ser definida como a habilidade de preservar um item qualquer. A segunda é definida como uma série de ações a serem tomadas para restaurar ou manter um item num estado operacional efetivo. Manutenibilidade é um parâmetro de projeto e da instalação. Manutenção é o resultado do projeto.

A manutenibilidade é a característica do projeto de produtos que tenta minimizar os requisitos de manutenção corretiva e preventiva do produto, quando este passa a ser utilizado pelo consumidor com o menor custo possível. Um dos objetivos é obter o melhor balanço entre o tempo decorrido, tempo de trabalho e número de pessoas requeridas, com o mínimo custo de manutenção.

Daqui se observa que o grau em que um produto se mantém adequadamente no uso está diretamente relacionado com seu projeto de manutenibilidade.

Os objetivos do reprojeto para a manutenibilidade são:

- identificar os problemas que dificultam e/ou requisitam excessivamente a manutenção de um produto, dentro de determinadas especificações (concepção original);
- enfocar o reprojeto dos componentes visando minimizar a manutenção e
- integrar o projeto para manutenibilidade com o reprojeto do produto, para assegurar o melhor atendimento dos requisitos.

Uma vez estabelecidos os objetivos, o produto pode ser analisado visando à sua manutenibilidade. No reprojeto a manutenibilidade pode ser avaliada com maior efetividade que no projeto original, devido a que o produto já evidencia alguns dos fatores relevantes de manutenção em seu ciclo de vida. A análise de manutenibilidade deve ser realizada através do ciclo de vida do produto e, considera para sua efetividade os quatro seguintes fatores:

1. fatores de definição da performance do sistema, perfil da missão e requisitos de utilização do produto (condições de uso, ciclo de uso e como o produto deve ser operado);
2. definição do ciclo de vida operacional (tempo previsto em que o sistema estará no inventário e no uso operacional);
3. definição do conceito de suporte básico do sistema [níveis previstos de manutenção, responsabilidades de manutenção, principais funções em cada nível e

principais elementos no suporte logístico a cada nível (teste de equipamento, pessoal, etc.)] e

4. Definição do meio ambiente no qual o sistema irá operar e ser mantido (temperatura, umidade, vibração, etc., assim como transporte, manuseio e estocagem).

A análise de manutenibilidade, através da análise de manutenção contempla as experiências da concepção original, identificando as partes mais sujeitas a manutenção, (avaliação de alternativas de conceitos de projeto, nível da análise dos reparos, geração de diagramas de fluxo para conferir falhas, etc.), com o objetivo de melhorar a configuração do produto para cumprir com os requisitos estabelecidos. Esta análise envolve opções de manutenibilidade, controle das alternativas de reparo, planos alternativos de suporte logístico, etc.. Aqui a manutenção e o estudo da confiabilidade, são considerados parâmetros chaves nas especificações, pelo que atuam interligados, como mostra a Figura 6.2.

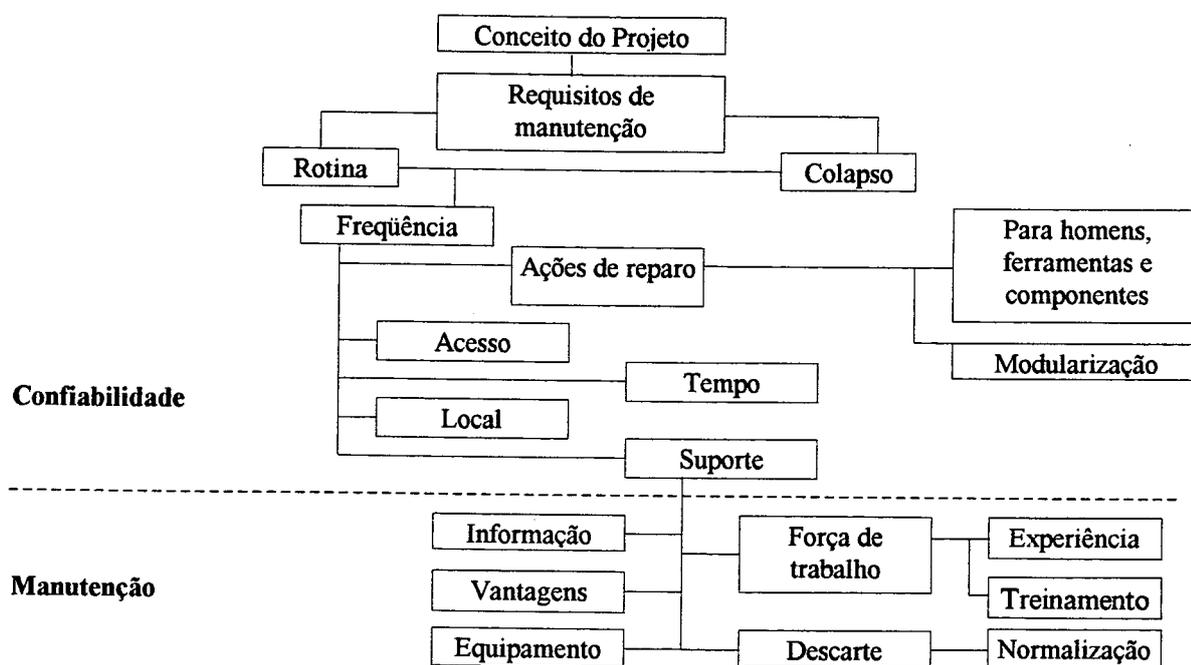


Figura 6.2 Diagrama para análise da manutenibilidade (Fonte: BROADBENT) [60].

A análise permitirá melhorar o produto baseado na confiabilidade, quanto a custos, frequência e duração da manutenção. O melhor caminho para melhorar o projeto ou produto enfocando a manutenibilidade é utilizar a experiência de pessoas que

trabalharam com o projeto anterior, assim como também reutilizar as soluções já consagradas pelos autores BROADBENT [60].

Outro ponto importante é verificar e complementar os requisitos quantitativos e qualitativos de manutenibilidade do produto no reprojeto, como parte dos requisitos operacionais. A manutenibilidade, como característica de projeto, está fortemente relacionada à área do sistema de suporte já que os resultados diretos da manutenibilidade afetam os requisitos de manutenção. Portanto, quando são especificados unicamente fatores de manutenibilidade, também devem-se levar em conta os requisitos quantitativos e qualitativos do sistema de suporte com o objetivo de determinar os efeitos de uma área na outra, BLANCHARD & FABRYCKY [18].

Para poder obter uma melhora significativa do sistema, estes requisitos devem considerar também os fatores de manutenção de tempo decorrido, fatores de manutenção por hora de trabalho, fatores de frequência da manutenção, fatores de manutenção por custos e fatores de manutenção relacionados à logística.

Uma vez definida a nova configuração do projeto, recomenda-se levar a cabo uma análise da manutenibilidade, sem esquecer a aplicação dos métodos de empacotar, provisão de diagnóstico e auto-controle, normalização e levantamento das partes componentes, modularidade, acessibilidade, etc..

Por último, uma vez pronto o novo protótipo, este deve ser avaliado e feitas as ações corretivas, se necessário.

6.5 Projeto e avaliação dos fatores humanos

Os fatores humanos de um projeto de produtos industriais estão diretamente relacionados com o conceito de usabilidade, ergonomia e manuseio do produto. Os conceitos são dependentes um do outro, e têm que ser considerados em conjunto para sua efetividade no processo.

O objetivo do método é determinar quem desempenhará cada sub-função de um sistema, se o usuário ou o produto e distribuir adequadamente as funções entre homem e máquina, já que existem funções que são inadequadas ao homem e que devem ser feitas pela máquina, assim como também existem funções que podem ser realizadas pelo homem devido a que sua solicitação é na medida certa.

Para a divisão destas tarefas, as recomendações mais comuns consistem em listas de declarações gerais sobre coisas que o homem faz melhor que a máquina e vice-versa, que podem ser encontradas em CHAPANIS [61], FITTS [62], WOODSON/CONOVER [63] e MEISTER [24]).

JORDAN [64], observando estas listas, afirmou que o homem pode realizar diversas tarefas em situações inusitadas ou não, porém a sua performance é muito variada, enquanto que a máquina, em relação ao homem não tem nenhuma flexibilidade, porém sua performance é constante.

É importante definir claramente os objetivos que se deseja alcançar com o reprojeto para fatores humanos, já que além dos dados técnicos e econômicos que tradicionalmente são considerados, deve-se considerar o grupo alvo de usuários do produto, o grau de automatização desejado, o que mais tarde auxiliará na distribuição das funções entre pessoa e objeto, e as informações sobre o trabalho de manutenção (corretiva, preventiva e preditiva), transporte, instalação e outros não realizados diretamente pelo usuário. Os objetivos do reprojeto ergonômico são:

- identificar os problemas que afetam a performance homem-máquina, dentro de determinadas especificações (concepção original);
- enfocar o reprojeto dos componentes e atividades visando à menor solicitação do usuário e
- integrar o projeto de fatores humanos com o reprojeto do produto, para assegurar o melhor atendimento dos requisitos.

O método prevê através de uma análise de pontos fracos do produto existente, assim como dos produtos concorrentes, identificar possíveis melhorias em relação às solicitações do usuário. Nesta análise deve-se observar, dentre outros, as funções que a pessoa realiza com o produto, a maneira como o usuário realiza estas funções (postura, posição, força, etc.), os aspectos gerais dos elementos com que a pessoa realiza a atividade (interface) e por último as medidas preventivas de segurança e de danos à saúde física e psíquica.

Após, deve ser realizada uma análise detalhada dos elementos (por exemplo: pedais, manípulos, botões, assentos, rampas, displays, etc.) com os quais o usuário entra em contato direto, bem como dos característicos diretamente relacionados com a

segurança. Como parte dessa análise consideram-se também outras pessoas que de alguma forma entram em contato com o produto e sua embalagem.

A análise da concepção inicial pode ser feita de forma hierárquica, com a intenção de identificar funções ou tarefas que foram realizadas pelo ser humano, realizadas automaticamente pelo equipamento ou realizadas pela combinação de ambos. As funções são avaliadas em relação ao trabalho requerido, em termos de capacidades humanas e custos, para posteriormente serem melhoradas, aqui devem ser levadas em consideração os seguintes itens:

a) fases do ciclo de vida do produto: é preciso observar e respeitar as capacidades, necessidades e limites humanos em todas as fases do ciclo de vida de um produto, assim como a interação entre o produto e o usuário durante estas fases, ou entre o produto e outras pessoas que realizarão atividades como transporte e manutenção;

b) características das pessoas: servem para se ter conhecimento do nível de experiência do usuário com produtos similares, sua formação escolar, suas características físicas, os interesses do usuário (seus desejos), etc.;

c) riscos: para a eliminação ou prevenção de riscos é necessária a identificação destes e de suas causas;

d) sistema de efeitos: no sistema homem-produto o usuário sofre efeitos do produto, o produto sofre efeitos do usuário, ambos sofrem efeitos do ambiente e o ambiente sofre efeitos do produto e do usuário. Estes efeitos devem ser conhecidos, assim como as suas causas e

e) áreas de configuração: Estas áreas definem a tarefa do usuário, a posição e a postura do usuário, os fatores ambientais (ruído, radiação) e os riscos.

O reprojeito deve estar dirigido a buscar ou complementar as manifestações que trazem, na medida do possível, efeitos desejáveis ao produto, considerando como bom projeto ergonômico. SELL [65], recomenda que uma boa solução ergonômica é a que prevê para o usuário uma tarefa em que a posição e a postura a serem adotadas pela pessoa são favoráveis para todo o grupo de usuários almejados; os movimentos do sistema mão-braço ou perna-pé, ou da cabeça podem ser realizados com pequena solicitação; as direções funcionais dos elementos de contato do produto são compatíveis

com os movimentos mais favoráveis do sistema mão-braço ou perna-pé; é garantida uma transmissão de forças propícia entre as extremidades do corpo humano (mão, dedos, pé) e os elementos do produto; a postura da mão e do pé no acionamento de comandos é anatomicamente favorável, de forma a evitar danos às juntas; o tipo de pega necessário foi determinado considerando aspectos anatômicos e fisiológicos, visando à precisão, resistência e o tempo de acionamento do comando, por último considerar os aspectos cognitivos.

Para lograr isto, existe uma série de fatores que determinam as características do produto, do ponto de vista dos fatores humanos, e que devem ser incluídos na avaliação para serem mudados no reprojeto, se necessário, visando à melhoria do produto em relação a seu uso. Estes fatores, são: fatores antropométricos (posição estática e dinâmica), fatores sensoriais humanos (interface homem máquina), fatores fisiológicos (meio ambiente) e fatores psicológicos (mente humana).

Recomenda-se também avaliar e complementar a lista de requisitos de fatores humanos, que servirá para elaborar os critérios de avaliação das alternativas geradas no reprojeto. Os requisitos de fatores humanos derivam inicialmente dos requisitos operacionais do projeto e conceito de manutenção do sistema. Uma descrição do sistema e sua missão a ser realizada é o primeiro passo no processo, antes de definir os requisitos que virão a complementar os já estabelecidos no projeto.

Para a inclusão de aspectos ergonômicos na lista, SELL [65] sugere que os requisitos ergonômicos devem estar relacionados com as interações homem-produto em todas as fases do ciclo de vida do produto, desde a construção do protótipo, passando pela fabricação, uso, reciclagem e eliminação final.

Estas interações homem-produto do ciclo de vida, consideram: o número de pessoal requerido para operar e manter o produto (análise do custo do ciclo de vida), a categoria de trabalho do pessoal e os níveis de perícia necessário para realizar as tarefas/funções de operação, manuseio e manutenção determinadas e os requisitos de nível de perícia que devem ser minimizados.

Estes requisitos permitirão determinar a nova configuração do produto, melhorando as especificações das peças, espaço necessário, peso do equipamento, perturbações aos sentidos, partes do corpo/órgãos com a ajuda dos quais a pessoa deve executar as funções previstas, modos de acionar os comandos e controles com as

extremidades (contato, pega ou empunhadura), tipo dos meios para fornecer informações ao usuário e combinação de meios de informação, etc..

6.6 Projeto e avaliação do meio ambiente

As tendências atuais de proteção ao meio ambiente, determinam que a melhor maneira de preservar é não agredir. No projeto de produtos, esta preocupação deve-se dar desde as primeiras fases, para facilitar e viabilizar de maneira mais eficiente e menos custosa sua implantação.

O Projeto para o Meio Ambiente utiliza as siglas DFE devido a que na língua inglesa significam Design For Enviroment. O DFE significa fazer das considerações ambientais uma parte integral do processo de projeto de produtos, com o objetivo de facilitar a reciclagem de um produto, assim como adaptar os novos materiais e processos, na melhoria e criação de novos produtos. A melhoria na reciclagem esta baseada em vários fatores descritos na VDI2243, 1993 [66].

O termo DFE engloba uma mentalidade quando tomar decisões no desenvolvimento de produtos, procedimentos que dão suporte ao processo de integração do DFE na prática industrial e ferramentas que dão suporte às várias atividades específicas de DFE no processo de desenvolvimento de um produto.

A idéia de utilizar o DFE no reprojeto, está em reduzir o desperdício e utilizar materiais ecologicamente corretos, assim como melhorar a desmontagem e remanufatura do produto, com o menor custo de produção; visando a economia dos recursos naturais e da energia, assim como o uso de materiais não tóxicos que possam ser reutilizáveis na cadeia produtiva.

Os objetivos do reprojeto para o meio ambiente são:

- identificar os problemas que dificultam a reciclagem de um produto, dentro de determinadas especificações (concepção original);
- enfocar o reprojeto dos componentes visando a remanufatura e desmontagem e
- integrar o projeto para meio ambiente com o reprojeto do produto, para assegurar o melhor atendimento dos requisitos.

O primeiro passo no reprojeto é avaliar o produto objetivando os fatores de meio ambiente, aqui deve-se considerar o ciclo de vida do produto original, desde a aquisição

da matéria prima até seu descarte, como caminho para identificar o impacto ambiental e reduzi-lo. O objetivo de avaliar o ciclo de vida, está em reduzir o total de impactos e riscos à saúde causados pelo desenvolvimento do produto e seu uso, COULTER, BRAS & FOLEY [67].

A Figura 6.3 mostra os processos de manufatura e os materiais como parte da reciclagem.

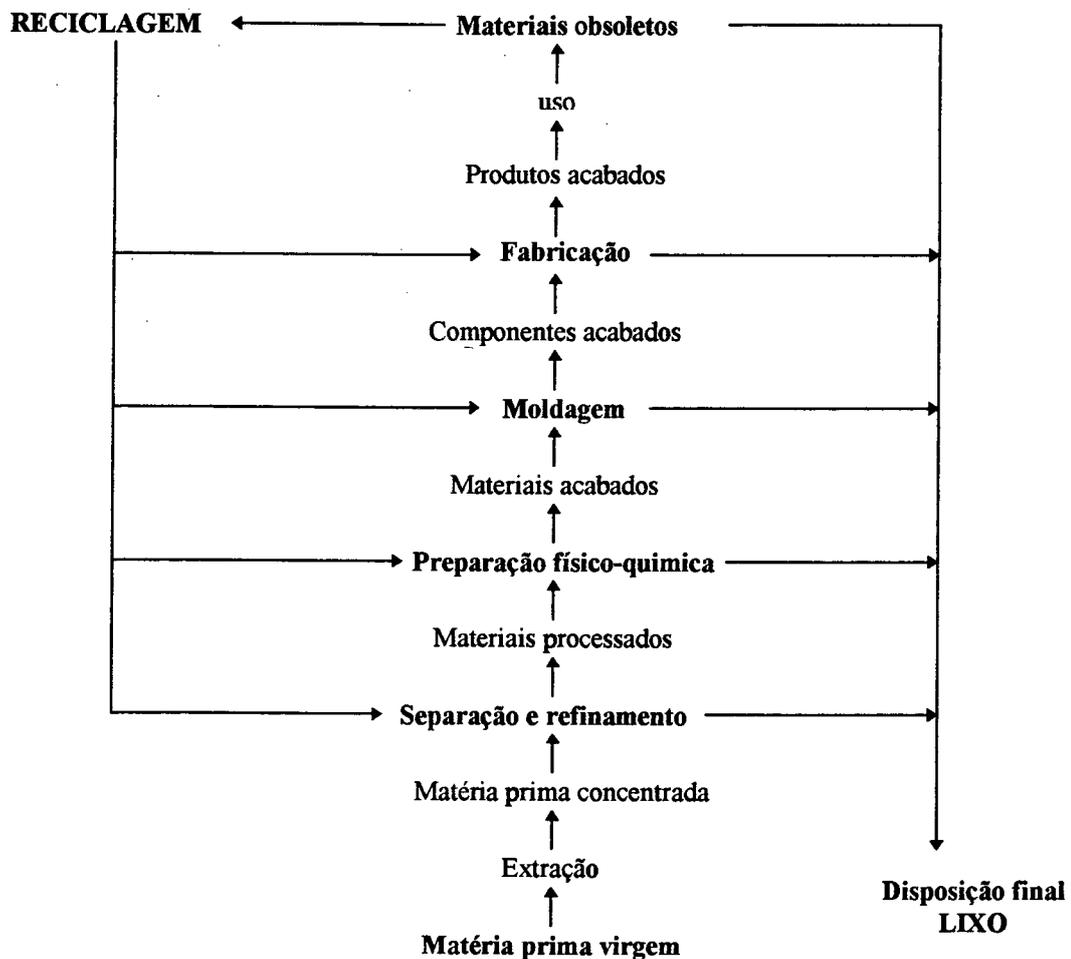


Figura 6.3 Diagrama de reciclagem de materiais. (Fonte: DUARTE) [68].

Nesta avaliação devem ser incluídos os parâmetros que determinam um produto ecologicamente correto. Primeiramente, deve-se identificar que fatores no produto poderiam ser nocivos ao meio, isto pode ser realizado através de uma matriz que analisa o projeto e/ou produto original, como mostra a Figura 6.4.

O objetivo da matriz não é a de gerar alternativas absolutas, mas sim a de indicar onde devem ser feitas as melhorias ambientais.

| estágio | materiais | energia | resíduos sólidos | resíduos líquidos | resíduos gasosos |
|--------------------|-----------|---------|------------------|-------------------|------------------|
| extração | | | | | |
| produção | | | | | |
| embalagem | | | | | |
| uso | | | | | |
| reciclagem do lixo | | | | | |

Figura 6.4 Matriz de impacto ambiental. (Fonte: ASHLEY) [69].

Quando pretende-se alcançar um produto ecologicamente correto, recomendações como utilizar materiais apropriados e de maneira econômica, aumentar o tempo de vida do produto ao máximo quanto possível, considerar o desmonte e reutilização dos materiais escolhidos devem ser incluídos no reprojeto. Outro fator de grande importância e, que deve ser considerado, é a redução dos custos, em virtude de que a reciclagem só é viável se os custos de energia ambiental e de mão de obra são inferiores aos de não reciclar.

O reprojeto deve procurar o equilíbrio entre a demanda dos requisitos próprios ambientais e os outros requisitos do produto, ajudando na realização de melhorias no produto com a menor opressão ambiental possível, para o qual devem ser avaliados e complementados os requisitos de meio ambiente. Estes requisitos DFE devem incluir também no reprojeto critérios de desmontagem e de remanufatura, os quais contribuem a sua vez, grandemente, na incorporação de requisitos ambientais nos requisitos funcionais do sistema. Isto implica que o projeto para a remanufatura (DFR) ou desmontagem (DFD) pertença ao DFE, VAN HEMEL [70].

Ao reprojeter as partes de um produto, deve-se procurar seguir os princípios de remanufatura/desmontagem e re-uso, no qual, a geometria do produto é preservada e o produto é reutilizado para os mesmos propósitos que em seu ciclo de vida original (ex.: garrafas e motores de carros recondicionados) ou para usos secundários (ex.: re-uso de pneus para proteger portos). Comparado ao material reciclado, a base tecnológica para a remanufatura é relativamente pequena e, conseqüentemente, com maiores oportunidades de contribuição. Ao reprojeter visando à remanufatura, consegue-se reduzir um montante de material desperdiçado e de espaço de depósito, assim como de energia e consumo de matéria, devido a que os componentes são reutilizados.

NAVIN-CHANDRA [71], afirma que “ toda vez que alguma parte de um produto é reutilizada, são economizadas energia, gastos na manufatura e processamento dos seus materiais ”. O maior ganho do aumento da reutilidade e remanufatura é a subsequente redução do impacto ambiental.

O projeto para a desmontagem é peça chave no fator reciclagem, pois evita a contaminação entre os diferentes tipos de materiais e possibilita o reaproveitamento de componentes nos mais altos níveis de energia e trabalho incorporados. Para isto é necessário reduzir no reprojeto, a utilização do número de peças e aumentar a utilização de partes comuns em diferentes produtos. Ao reprojeto um produto utilizando o DFR/DFD, prolonga-se sua vida útil, devido a que muitos dos produtos são abandonados por falhas em apenas um de seus componentes podendo-se aproveitar partes com boas condições de uso.

A idéia do reprojeto para desmontagem é possibilitar que os produtos sofram uma separação posterior em sub-montagens e materiais, assim como melhorar o produto ou projeto visando a sua desmontagem. A Figura 6.5 mostra a relação projeto-desmontagem.

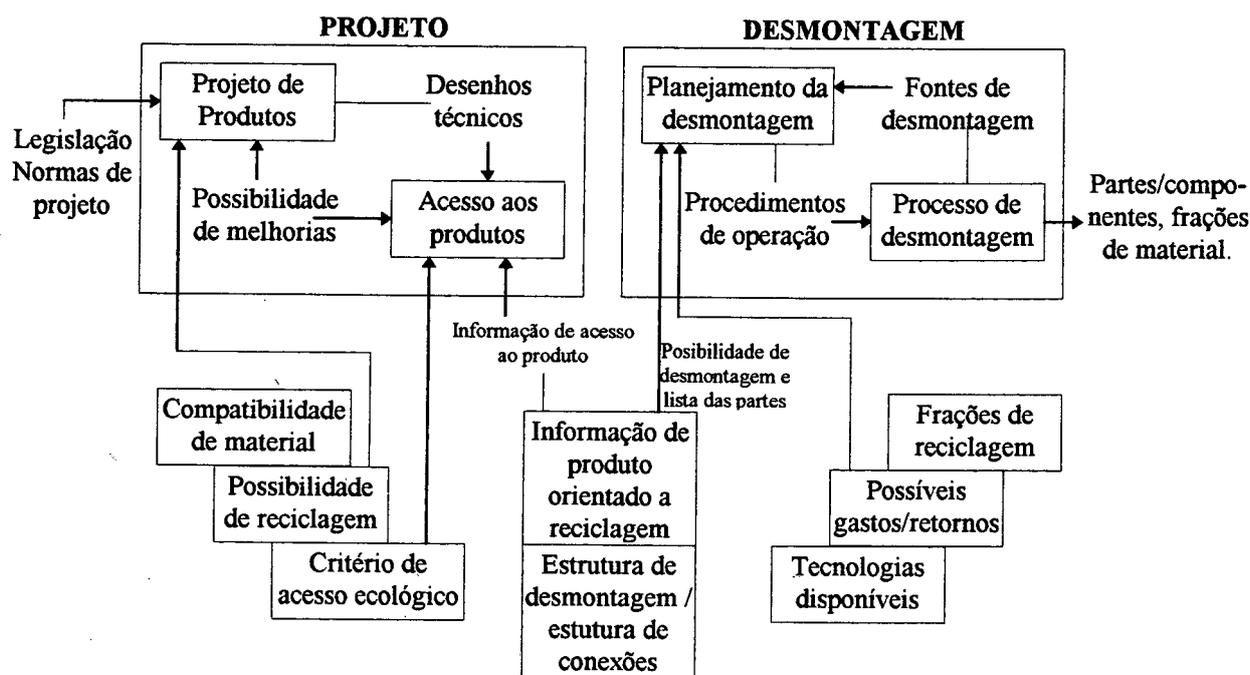


Figura 6.5 Integração de informações entre o desenvolvimento do produto e o planejamento da desmontagem. (Fonte: SPATH et al) [72]

O reprojeto deve avaliar e introduzir no produto o desmonte não destrutivo, parcialmente destrutivo e destrutivo; a drenagem de fluidos; a desmontagem antes do retalhamento; o retalhamento e a classificação dos refugos. Isto traz grandes benefícios como: componentes de maior importância podem ser recuperados, melhor separação dos metais sem contaminação e partes desmontáveis de não metálicos podem ser processadas.

Por último o reprojeto deve incluir no produto o conceito dos denominados “Sorting Borders” (superfícies ou bordas fáceis de serem separadas), para facilitar a separação dos diferentes materiais, já que os componentes que se pretendam ser reutilizados devem manter a totalidade da suas características, assim como também o material deve ser possível de ser usado na manufatura de novos produtos.

No reprojeto, de acordo com os princípios da técnica QFD é necessário desenvolver ou complementar um conjunto de requisitos quantificáveis e métricos caracterizando reutilidade e remanufatura. Para aumentar estes requisitos utilizam-se duas abordagens denominadas:

a) Do geral ao específico. No qual uma abordagem “top-down” é usada. Aqui devem ser considerados os seguintes estágios, para estabelecer os parâmetros métricos da remanufaturabilidade: desmontagem, limpeza, inspeção e classificação, atualização ou renovação das partes e remontagem, e

b) Do específico ao geral. No qual uma abordagem “bottom-up” é utilizada a partir de casos específicos. As partes são desmontadas e remontadas várias vezes para estabelecer os parâmetros métricos da remanufatura.

Estes parâmetros métricos são utilizados para quantificar o grau de remanufatura do produto, assim como complementar os requisitos de remanufatura através de diagramas da Casa da Qualidade. Para que todo o processo funcione bem não se pode apenas levar em conta a dimensão física, mas também devem considerar-se os fatores legais, econômicos e ecológicos.

6.7 Projeto e avaliação estético expressivo

Uma das grandes preocupações do reprojeto de produtos industriais é quanto à forma do mesmo, pois quando se fala de projeto estético expressivo, ARCHER [73], refere-se ao processo de seleção dos materiais corretamente, para serem dotados de

forma satisfazendo às necessidades funcionais e estéticas, sempre considerando as limitações dos meios de produção disponíveis. Aqui o que se entende por estética, segundo LÖBACH [74], é a ciência das aparências perceptíveis pelos sentidos, sua percepção pelos homens e sua importância como parte de um sistema sócio-cultural.

RODRIGUEZ [42], coloca que a estética dos produtos industriais não tem nada a ver com a beleza. “O conceito atual da estética dos produtos industriais está fortemente influenciada pela moda”, a função ideológica da estética é pretender sintetizar a beleza com a função.

RICARD [75], considera que a funcionalidade de um produto depende em grande parte, da adequada ação conjunta dos dispositivos funcionais que compõem a estrutura interna, com incursão externa, onde a estética é o ideal do correto uso dos fatores funcionais e, que por sua vez, esta se consegue pela eficiência e economia dos meios de produção.

WILLIAMS [76], considera que uma forma é resultado da tensão gerada pelos fatores econômicos, tecnológicos, tradicionais e de uso, onde o fator estético atua como o unificador destas tensões num processo de configuração, durante o qual algum dos fatores pode adquirir maior importância. “Todas as formas de êxito tendem à economia como fator comum”. (Forma econômica: é aquela que obtém o máximo com o mínimo de esforço e energia, com o menor uso de material).

Resumindo o anterior, pode-se concluir que o projeto estético expressivo é a síntese dos fatores construtivo, funcional e expressivo, que satisfazem os objetivos particulares dos produtos, como mostra a Figura 6.6.

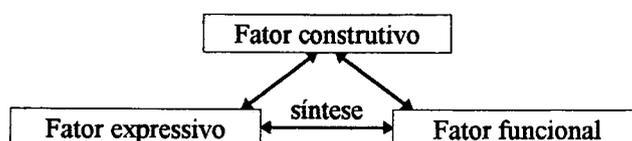


Figura 6.6 Síntese dos fatores formais.

O reprojeto estético expressivo, procura melhorar a aparência do produto, fazendo de suas considerações formais, parte integral do processo global e aumentar sua demanda no mercado.

Os objetivos do uso do reprojeto estético expressivo são:

- identificar os problemas que afetaram a performance do produto, dentro das especificações estéticas expressivas (concepção original);
- focar o reprojeto do produto visando a fazê-lo mais atrativo para o cliente e
- integrar o projeto estético expressivo com o reprojeto do produto, para assegurar o melhor atendimento dos requisitos.

Reprojetar visando a melhoria estético expressiva do produto, significa aumentar os padrões já estabelecidos pelo produto original e concorrência, quanto à aparência deste. Para isto deve-se lembrar que a aparência está intimamente ligada às determinações tomadas no projeto, referentes aos materiais, acabamentos e processos de fabricação do produto original.

É importante também mencionar que modificar a aparência de um produto, não significa incrementar os custos originais, e sim utilizar os atributos de aparência para propor a melhor forma ao mínimo preço.

Quando o que se pretende é melhorar a confiabilidade do produto através da aparência, deve-se procurar destacar os requisitos funcionais deste, ou seja evidenciar ao máximo os atributos do produto como superfícies bem acabadas, peças intercambiáveis ou montadas, etc.. Estes atributos devem ser expressados fisicamente pelo produto para o melhor entendimento e interface deste pelo usuário.

Os atributos que lhe proporcionam a boa aparência ao produto, devem ser avaliados no reprojeto para poderem ser melhorados. Estes atributos podem ser englobados nos termos: psicológico, identificação, amenidade e expressão, [1].

- **atributo psicológico.** O efeito da aparência é psicológica. A aparência atrai e satisfaz ao cliente ou não. Estes efeitos podem ser resultado do gosto particular do cliente que em muitos dos casos tem a ver com a associação de idéias (cultural), e/ou também tem a ver com as linhas, as cores e os signos que surgem no processo de projeto para configurar a forma;

- **atributo identificação.** A aparência é geralmente a primeira forma de identificação do produto pelo cliente, onde a relação boa-aparência bom-desempenho estão fortemente relacionados, ainda que nem sempre tenham uma correlação;

- **atributo amenidade.** Os produtos fazem parte da vida do homem, e é importante que estes sejam ao menos, o suficiente, para torná-la mais agradável e

- **atributo expressão.** A aparência deve expressar a intenção pela que foi projetado esse produto.

Esta análise tem como objetivo introduzir e/ou melhorar no produto manifestações que lhe trazem, na medida do possível, efeitos desejáveis considerados como bom projeto do ponto de vista estético expressivo. Segundo DIETER RAMS [77], para poder melhorar a aparência de um produto, este deve considerar os fatores de um bom projeto estético expressivo:

- **inovador.** Um produto deve refletir o estado da arte a respeito da tecnologia, produção e novos materiais utilizados para sua fabricação;

- **realçar a utilidade do produto.** O resultado de uma forte interação com a realidade do uso, com a vida cotidiana, com as necessidades do usuário e com os desejos e sensações dos seres humanos, atendendo suas necessidades primárias e secundárias, realçar a utilidade do produto;

- **estético.** A capacidade de fascinação de um produto são partes intrínsecas de sua utilidade e função. Aqui são incluídos segundo LANG [78], quatro aspectos estéticos denominados: sensorial, formal, simbólica e alta estética formal;

a) **estética sensorial.** Que se refere ao prazer da variação dos estímulos, como intensidade de luz, cor, som, cheiro e tato. Este também é denominado por LÖBACH [74], como função prática, que tem a ver com os aspectos fisiológicos;

b) **estética formal.** Que se refere ao prazer dos padrões do meio ambiente, através de estruturas de forma, modelos, texturas, cor, etc. Este também é denominado por LÖBACH [74], como função estética, que está vinculada à importância do objeto pela sociedade;

c) **estética simbólica.** Que se refere ao prazer da associação evocada pelos sensores e os impulsos formais. Este também é denominado por LÖBACH [74], como função simbólica, que tem a ver com o efeito psíquico do produto e

d) **alta estética formal.** Que se refere aos princípios de harmonia, ritmo e balanço.

- **compreensível.** Porque o produto deve ser lógico e auto-explicativo, ou seja, fácil de entender pelo usuário;

- **honesto.** A forma não pode ocultar as características reais do produto e sim evidenciar seus atributos funcionais;

- **amigo do entorno.** A forma deve-se integrar ao entorno e às pessoas, sem contaminação visual e ambiental e

- **mínimo projeto possível.** As formas devem ser simples, mas sem esquecer dos detalhes importantes, otimizando esforço, materiais e processos.

Estes fatores devem estar em relação com os requisitos estético-expressivos, os quais são reavaliados e complementados no reprojeto. Estes requisitos são o caminho a seguir no reprojeto para chegar a melhorar a forma básica do produto ou componente, sem dificultar a fabricação. Estes requisitos estéticos expressivos devem estar relacionados com as interações homem-produto em todas as fases de vida do produto, e têm que levar em consideração as seguintes recomendações:

1. otimização dos materiais a serem utilizados. As características destes, seus processos e restrições de transformação determinarão as possibilidades formais (ex.: usar o efeito do material e acabamento de maneira natural, sem tentar imitar outros acabamentos);

2. escolha e disposição dos elementos de fixação (ex.: evitar quando possível elementos de fixação expostos à visão e normalizá-los para dar maior harmonia);

3. as proporções e dimensões devem ser ajustadas até encontrar um equilíbrio entre as partes que conformam o produto. A utilização de métodos de proporção, como a secção áurea, são de grande ajuda;

4. arranjo e projeto de detalhes necessários para o acabamento (ex.: apresentação e arranjo de controles e mostradores, estilo e disposição de letreiros e símbolos, etc.) e

5. análise cromática (ex.: atender às necessidades de ergonomia das cores, significados psicológicos, tendências da moda, contexto, normas e códigos, etc.).

CAPÍTULO VII

ESTUDO DE CASO PRÁTICO DE REPROJETO DE PRODUTO INDUSTRIAL

7.1 Introdução

O conhecimento, fruto da experiência prática no desenvolvimento de produtos industriais, é fundamental para qualquer projetista. A experiência com projetos anteriores é tão importante quanto as regras gerais de projeto.

A finalidade deste capítulo, é ilustrar como uma problemática real de reprojeto pode ser resolvida na prática, apoiando-se na teoria apresentada nesta dissertação.

Com o objetivo de esclarecer melhor o processo de reprojeto visto nos capítulos anteriores, será apresentado a seguir, o estudo de caso de reprojeto do produto industrial “Carrinho de Mão para Construção Civil”. Trata-se de um reprojeto tipo “revolucionário”, que por sua simplicidade e característica, demonstra claramente o processo de reprojeto, aplicando algumas das ferramentas e métodos vistos anteriormente (DFMA, DFE, Fatores Humanos, etc.).

7.2 Caso Prático - Reprojeto de “Carrinho de Mão para Construção Civil”.

A CSM (Componentes, Sistemas e Máquinas para Concreto) LTDA de Jaraguá do Sul SC, Brasil, é uma empresa de porte médio, que fornece equipamentos para a construção civil. A empresa conta com uma infra-estrutura bem montada de máquinas para processamento em metal, onde podem ser produzidos desde protótipos até alta produção. Entre suas linhas de produtos, destaca-se uma grande variedade de fôrmas em aço para concretagem, betoneiras de diferentes portes e ferramentas menores como carrinhos de mão.

O aquecimento do mercado da construção civil entre os anos 1990-94 e a grande concorrência entre fornecedores, fez com que a CSM, com intenção de conquistar mercados externos e manter seu espaço no mercado interno, analisasse a possibilidade de reprojeter alguns de seus produtos.

O carrinho de mão foi um destes produtos, devido a sua alta produção e rápida reposição no mercado. Para lograr os objetivos, o produto teria que concorrer no

mercado, com baixo custo e valor agregado, já que o mercado é muito concorrido e quase não oferece diferença entre seus produtos.

Cabe mencionar, que o reprojeto do carrinho de mão foi realizado no LBDI (Laboratório Brasileiro de Design), como parte do programa de apoio as empresas de Santa Catarina.

A Figura 7.1 mostra o produto a ser reprojetoado.

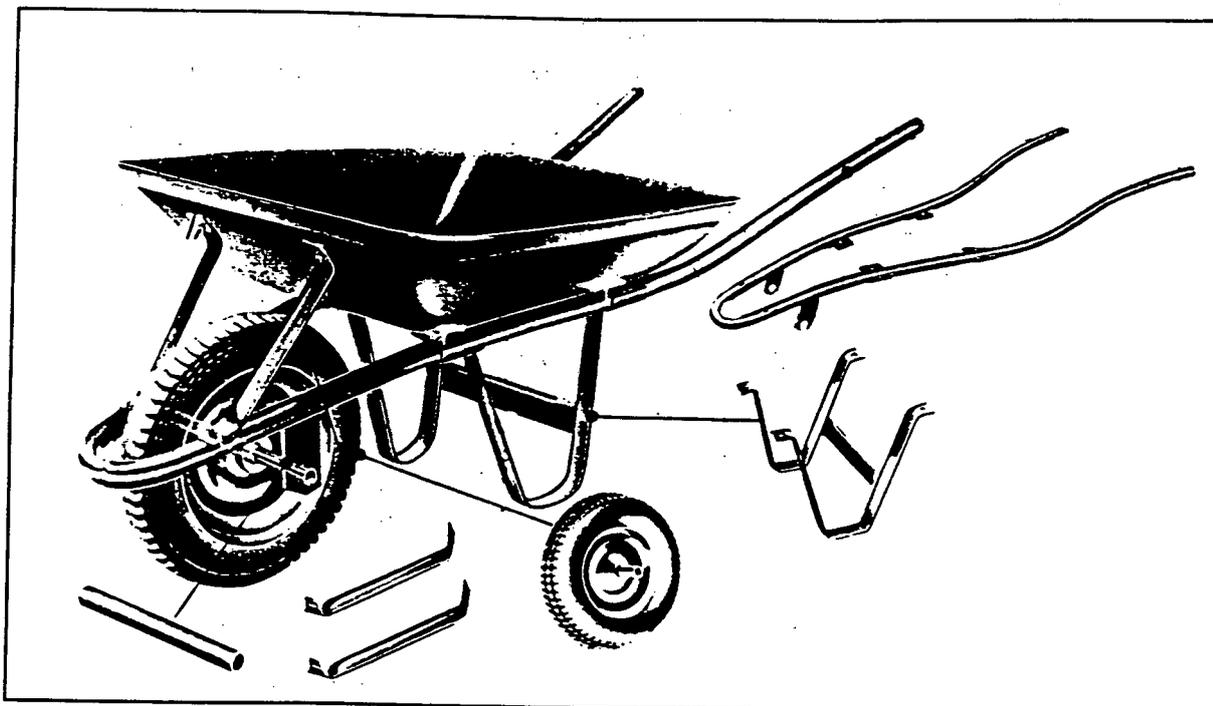


Figura 7.1 Carrinho de mão para construção civil, a ser reprojetoado.

7.2.1 Identificação da problemática

Pelo tipo de mercado ao qual o carrinho de mão pertence (mercado já existente, altamente concorrido com baixos custos e qualidade) o alvo do reprojeto inicialmente foi diminuir o custo de produção de 20 a 30 %, valor significativo para a competitividade deste produto no mercado, assim como, agregar valor ao produto do ponto de vista mercadológico, para diferenciá-lo da concorrência e fazê-lo mais atrativo ao cliente.

Foram feitas análises de valor para todo o ciclo de vida do produto, além de serem estudadas metodologias e disposições de DFM em paralelo ao desenvolvimento do reprojeto. Aqui o conhecimento sobre o sistema de produção foi peça fundamental para a formulação das corretas disposições, durante o desenvolvimento do reprojeto, como mostra a Figura 7.2.

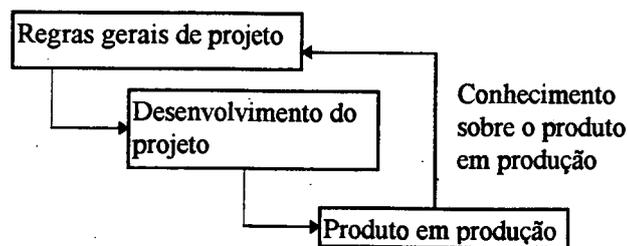


Figura 7.2 Conhecimento do sistema de produção (Fonte: Andereasen) [53].

Como o custo era a principal razão para o desenvolvimento de uma nova geração de carrinhos, a análise de valor ajudou a identificar quais partes do produto eram responsáveis pela elevação dos custos no produto original. Uma das partes mais significativas no custo do produto, é o pneu com câmara, que corresponde a 30 % do valor total do produto.

Também foi identificado que para uma estrutura simples, o carrinho contava com um alto número de partes, o que amplia o tempo de montagem, encarece a produção e aumenta as chances de erro.

A análise dos pontos fortes e fracos do produto, ajudaram a identificar uma série de possíveis melhorias, tendo nos aspectos de segurança e ergonomia os mais relevantes.

a) Do ponto de vista da **segurança** foram detectadas as seguintes deficiências:

- centro de massa muito alto, o que dificulta a mobilização do produto, fazendo com que o operador tenha dificuldade em estabilizar a carga e
- proporção errada entre forma e volume da caçamba, o que causa derrame de material durante seu transporte.

b) Do ponto de vista da **ergonomia** foram detectadas as seguintes deficiências:

- o apoio frontal, é muito alto, dificultando a descarga e aumentando a solicitação do operário;
- não existe um controle do peso da carga, sobrecarregando portanto o operário e
- os carrinhos de pneu maciço transmitem o impacto do solo aos pulsos do operador.

Alguns projetos anteriores também foram analisados e verificou-se que, como no caso do carrinho de mão, não existia um trabalho multidisciplinar no desenvolvimento dos projetos, além do agravante de que a prioridade era manter um orçamento baixo ao invés de utilizar métodos para melhorar e diminuir o tempo de projeto.

7.2.2 Metodologia utilizada

A metodologia utilizada no reprojeto está mais amplamente explicada no item 3.3.

Para este estudo de caso, o reprojeto se baseou nos princípios da engenharia simultânea, com profissionais de diferentes áreas como: projetistas, engenheiros de produção, montagem e marketing.

O primeiro passo foi o estudo e a compreensão do conceito do projeto inicial, utilizando o conhecimento base, ou seja, a informação contida no ciclo de vida do produto para determinar as necessidades dos clientes, que resultaram nas EPP (Especificações de Projeto do Produto). O uso do inverso do método da síntese da função foi utilizado para abstrair a função total do sistema. Uma vez abstraída e redefinida, utilizou-se o método morfológico para gerar alternativas de solução. A solução escolhida foi detalhada utilizando as ferramentas de melhoria de projeto (DFMA, DFE, Projeto para Fatores Humanos, etc.).

7.2.3 Conhecimento de base (Histórico ou ciclo de vida do produto)

Algumas das informações necessárias para iniciar o reprojeto, foram obtidas do estudo do ciclo de vida do produto a ser reprojetoado, iniciando pela avaliação dos desenhos do projeto inicial para identificar as características básicas deste: dimensões, capacidades, materiais, processos, etc.. Outras informações foram proporcionadas por entrevistas com clientes internos, externos e intermediários. Os clientes internos (produção) ajudaram a identificar fatores que possibilitassem diminuir o custo de produção, como diminuição de partes, tempo de montagem, materiais e processos, etc.. Posteriormente foram analisadas as necessidades dos clientes externos (consumidor e usuário direto), com a finalidade de identificar deficiências no produto que, ao serem melhoradas lhe agreguem valor, como melhorar a estabilidade do produto, distribuir melhor a carga, etc.. E os clientes intermediários (revendedores), mostraram idéias relacionadas a estocagem, transporte e preferências do consumidor.

Finalmente, uma análise da concorrência proporcionou dados importantes sobre preferências do cliente, preço e pontos fortes e fracos do produto atual.

A Figura 7.3 mostra as fontes de informação que foram consideradas como parte do histórico do produto.

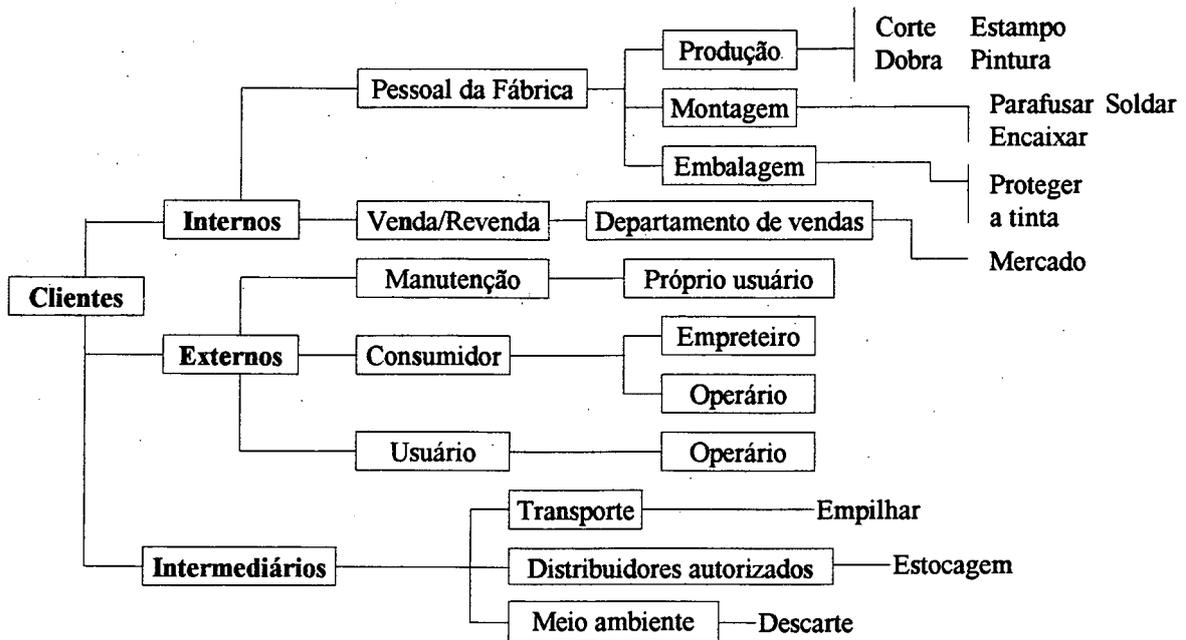


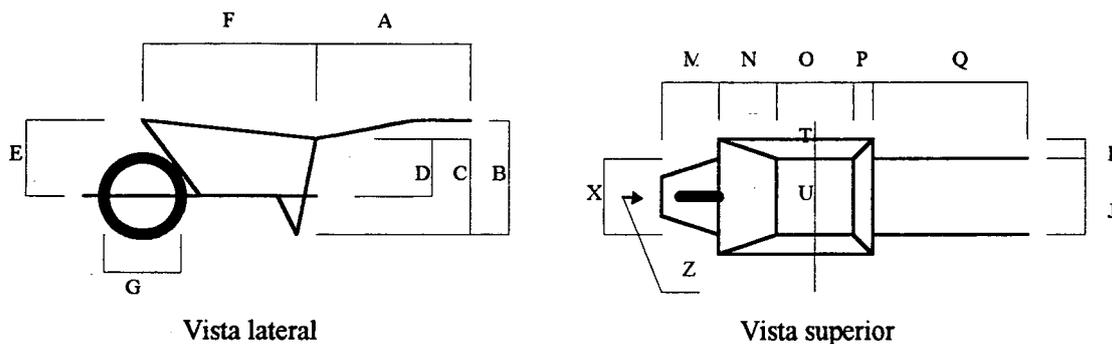
Figura 7.3 Fontes de informação consideradas no histórico ou ciclo de vida do carrinho de mão.

7.2.4 Análise da Concorrência

É importante para complementar as informações, além dos desenhos do projeto já existentes, uma análise dos pontos fortes e fracos de cada produto da concorrência. Esta permitirá uma visão mais definida da preferência do mercado, assim como da dimensão do reprojeto.

Estes dados serão incluídos posteriormente na matriz da CQ, para ajudar a estabelecer os critérios de qualidade.

Das várias marcas de carrinho de mão, os três mais conhecidos foram submetidos a uma análise e agrupados numa tabela que resume suas características principais (Figura 7.4).



| Medidas Modelo | A cm | B cm | C cm | D cm | E cm | F cm | G cm | M cm | N cm | O cm | P cm | Q cm | J cm | Z cm | X cm | T cm | U cm | I cm | Peso kg |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|
| Simba | 48 | 51 | 43 | 13 | 32 | 82 | 32 | 17 | 25 | 40 | 17 | 47 | 59 | 4 | 11 | 15 | 35 | 10 | 14 kg |
| Cruzeiro | 45 | 46 | 34 | 17 | 28 | 78 | 31 | 20 | 18 | 47 | 13 | 45 | 56 | 4 | 13 | 13 | 36 | 8 | 18 kg |
| Ouro verde | 50 | 52 | 43 | 18 | 30 | 83 | 33 | 18 | 26 | 42 | 15 | 50 | 63 | 4 | 12 | 16 | 36 | 8 | 19 kg |
| CSM | 50 | 50 | 40 | 14 | 30 | 80 | 32 | 20 | 25 | 45 | 12 | 47 | 60 | 4 | 12 | 16 | 36 | 8 | 18 kg |

Figura 7.4 Análise das dimensões dos produtos da concorrência (Fonte: PINTO) [79].

Alguns dos pontos fortes detectados nos produtos da concorrência foram: caçamba plástica, caçamba mais profunda, estruturas simples e principalmente baixo custo.

7.2.5 Características dos clientes, requisitos de qualidade (QFD) e especificações de projeto do produto (EPP)

Os clientes do carrinho de mão podem ser divididos em três grupos:

- 1) clientes internos ou de produção;
- 2) clientes intermediários que trabalham com a revenda e transporte do produto e
- 3) clientes externos, podendo ser consumidores que compram o produto mas não os utilizam e, usuários que em geral não compram o produto, mas o utilizam.

A maioria dos requisitos de uso e função foram dirigidos aos usuários, por serem eles determinantes no estabelecimento de mudanças efetivas no produto. Os clientes internos e externos, ajudaram a determinar fatores de custo e, os consumidores foram os que definiram as preferências e o preço do mercado.

Para estabelecer os requisitos de qualidade se utilizou a primeira matriz do “Método da Casa da Qualidade”, devido a que, a finalidade do reprojeto era mudar quase em sua totalidade o produto original (reprojeto revolucionário) e não unicamente alguma das partes. Devido as características próprias do mercado, pequenas mudanças no produto não se diferenciariam da concorrência e não atrairiam clientes. Por ser este um produto que não tem sofrido mudanças significativas desde que foi criado, conta com uma série de características que tinham que ser reavaliadas e melhoradas.

Nesta matriz foram definidos novamente os requisitos de qualidade, adicionando as novas exigências do mercado.

Para preencher os “QUES” da matriz da casa, primeiramente foram identificadas todas as informações referentes aos desejos dos diferentes clientes mencionados anteriormente. Algumas destas informações foram repassadas pelo departamento de marketing o qual acompanhava o seguimento deste produto no mercado e outras, foram obtidas a partir de um levantamento de campo feito pela equipe de reprojetos, entrevistando especificamente os usuários e pessoas que tinham de alguma maneira relação com o produto.

As necessidades dos consumidores foram divididas em três categorias, como mostra a Figura 7.5, as quais englobaram todas as deficiências detectadas no produto original: melhorar o uso, relacionado às necessidades do usuário; melhorar a função, relacionado à produção (clientes internos) e, baixar os custos, relacionado ao consumidor e à produção.

Os resultados da matriz corresponderam em sua maioria às expectativas dos projetistas. O primeiro e segundo requisitos de qualidade - foi evitar o uso de câmara e utilizar mancal simples; corresponderam segundo os entrevistados, aos fatores mais agravantes pelo qual um carrinho deixa de funcionar, visto que quando fura um pneu na obra dificilmente tem-se como arrumá-lo ou trocá-lo. Da mesma forma, o rolamento é a parte que primeiro quebra e com mais regularidade.

O requisito de evitar câmara, também resultaria numa redução do custo do produto, comprovando-se a prioridade colocada pelo departamento de vendas em diminuir os custos.

Requisitos como limitar a carga e amortecer o impacto, foram importantes para agregar valor ao produto tornando-o mais atrativo.

A Figura 7.5 mostra a matriz utilizada para determinar os requisitos de qualidade, que segundo sua classificação, serão utilizados nas EPP.

Os requisitos de qualidade ou “COMOS” da matriz da CQ originam as denominadas “Especificações de Projeto do Produto” (EPP).

As EPP são ordenadas em relação ao grau de importância obtido na matriz da CQ. Para cada uma, são estipulados valores que pretende-se alcançar com o reprojeto. São estabelecidos sensores - que medem se os objetivos estão sendo atingidos, saídas indesejáveis e observações / restrições. O Quadro 7.1, mostra as EPP.

São estabelecidos sensores - que medem se os objetivos estão sendo atingidos, saídas indesejáveis e observações / restrições. O Quadro 7.1, mostra as EPP.

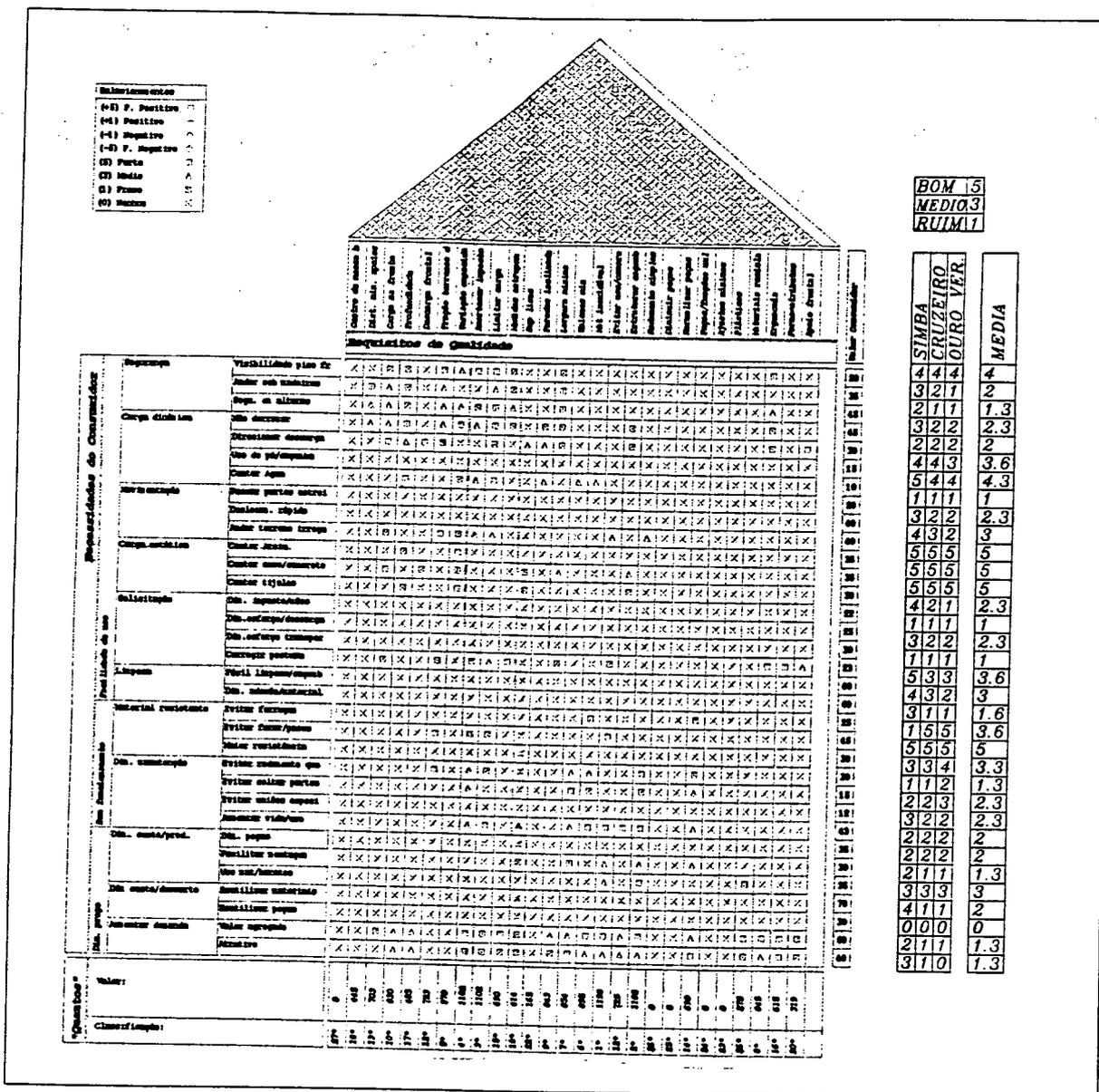


Figura 7.5 Matriz da Casa da Qualidade (CQ), para o carrinho de mão para Construção Civil.

Quadro 7.1 Especificações de Projeto do Produto (EPP), para o carrinho de mão para construção civil.

| ESPECIFICAÇÃO DE PROJETO DO PRODUTO (EPP) | | | | |
|---|------------------------------------|---|---|--|
| EPP's | Objetivos | Sensor | Saídas Indesejáveis | Observações / Restrições |
| 1. Evitar uso de câmara | Evitar furar o pneu frequentemente | Submeter o pneu a provas de sobrevivência | Não permitir o uso do produto. Causa, pneu furado | Usar material ou forma que amortea. sem furar facilmente |

Quadro 7.1 EPP (continuação)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2. Mancal simples | Eliminar rolamento convencional pela constante quebra | Dificuldade para rodar pelo depósito de material | Trancamento e quebra do rolamento pela entrada de material | Mínimo de subpartes; preferencialmente sem peças soltas |
| 3. Limitar a carga | Evitar que o material transborde diminuindo esforços prejudiciais ao operário | Material que transborda no percurso / peso dos diferentes materiais | Carga excessiva de material é igual a desperdício e solicitação excessiva do operário | O nível da carga deve ser independente da decisão do operador |
| 4. Amortecer o impacto | Diminuir o impacto no operador | Uso de medidor de impactos | Problemas físicos nos operários | Diminuir vibração nas pegas |
| 5. Permitir a variação de capacidade | Permitir carregar outros materiais | Inspeção visual "in loco" e volume da caçamba | Quebrar pelo transporte de diferentes materiais | Verificar os pesos dos diferentes materiais a serem transportados |
| 6. Usar materiais não corrosivos | Diminuir oxidação da estrutura e roda | Especificações do material | Quebra do sistema pela oxidação | Não pode encarecer o produto |
| 7. Uniões mínimas | Reduzir os pontos de fratura da estrutura e caçamba | Inspeção do reprojeto | Quebra da estrutura e/ou caçamba | Cuidar com uniões entre materiais diferentes |
| 8. Fatores ergonômicos | Diminuir as solicitações dos diferentes operários | Recomendações e tabelas ergonômicas | Não prever acidentes de trabalho | Utilizar em todo o processo de projeto |
| 9. Largura total do carrinho mínima | Passar por lugares estreitos (portas de 70 cm) | Medição "in loco" | Dificultar a passagem por portas e janelas da obra | O mínimo deve ter relação com a largura do operário |
| 10. Profundidade ideal para transportar e manusear o material | Evitar desbordar o material e facilitar o uso de pá na caçamba | Qualidade da mistura do material | Transbordar o material no caminho e dificultar o uso de pá na caçamba | Cuidado para não dificultar a descarga (aumentar a solicitação do operário) |
| 11. Estruturar a caçamba | Carregar saco de cimento | Submeter a caçamba a provas de desgaste | Quebrar a caçamba pelo mau posicionamento do peso | - Pode ser feita do mesmo material - Pode ser outra peça |

Quadro 7.1 EPP (continuação)

| | | | | |
|---|--|---|--|--|
| 12. Tração em terrenos irregulares | Facilitar o transporte do material | Esforço necessário para empurrar o carrinho/peso | Atolamento e escorregamento | Cuidar para não encarecer o produto |
| 13. Colocar a carga na frente | Concentrar o peso da carga no carrinho | Relação do centro de massa com a roda e o usuário | Colocar o peso da carga no operário | Quanto mais acima do pneu melhor |
| 14. Peças c/funções múltiplas | Diminuir o número de peças (custo) | Inspeção projeto | Aumentar os custos de produção | Evitar peças complexas |
| 15. Medidas antropométricas | Uso por diferentes operadores | Tabelas antropométricas | Não considerar a média | Falta de levantamentos antropométricos da população específica |
| 16. Forma valoriza atributos funcionais | Aumentar a venda (lucro) | Questionários aos usuários | Não evidenciar os atributos do produto | Mostrar robustez e capacidade |
| 17. Descarga frontal | Direcionar o material no local desejado | Inspeção visual no uso | Desperdiço de material pelo direcionamento incorreto | Cuidar para não enfraquecer a caçamba |
| 18. Distância mínima entre apoios | Apoiar em tábuas de 30 cm máxima | Medir em relação as situações de uso | Acidentes pelo fato de não poder apoiar o carrinho em tábuas suspensas | Cuidar para não criar instabilidade na caçamba carregada |
| 19. Superfícies lisas nas paredes e estrutura | Facilitar a limpeza | Quantidade de material depositado | Depósito de material que degrada o sistema | Processos extras encarecem a manufatura |
| 20. Apoio frontal para a descarga | Manter firme a carrinho durante a descarga | Inspeção visual no uso | Não direcionar a descarga corretamente | Um ponto de apoio da liberdade de movimento |
| 21. Utilizar material reciclável | Diminuir custos | Fornecedores | Aumentar custos | PP preto é mais barato |
| 22. Paredes inclinadas | Facilitar a descarga e limpeza da caçamba | Inspeção visual com diferentes materiais | Agarrar material na caçamba | Ângulos negativos dificultam o processo (custo) |

Quadro 7.1 EPP (continuação)

| | | | | |
|----------------------------------|--|--|--|---|
| 23. Material. Plástico | Diminuir custo produção e evitar oxidação da caçamba | Inspeção projeto e fornecedores | Oxidação da caçamba e aumento do custo de produção | Molde simples, sem peças móveis e sem inserts metálicos |
| 24. Ajustes mínimos entre partes | Facilitar a montagem (custo) | Inspeção projeto | Aumentar custos de produção | Cuidar a qualidade percebida do produto |
| 25. Normalizar as peças | Diminuir custos e facilitar manutenção | Inspeção do projeto | Aumentar peças e dificultar a manutenção | Peças nacionais fáceis de achar no mercado |
| 26. Diminuir o número de peças | Facilitar montagem (baixar custos) | Tempo de montagem | Aumentar o custo | Cuidar da simplicidade das peças |
| 27. Baixar o centro de massa | Facilitar o manuseio do carrinho carregado | Problemas no manuseio durante percurso difícil | Acidentes em telhados ou partes altas | Mais baixo melhor. Cuidado com a relação descarga |

7.2.6 Reprojeto conceitual

O procedimento utilizado no reprojeto conceitual, pode ser encontrado mais extensamente no cap. 5. A Figura 7.6 resume as etapas utilizadas.

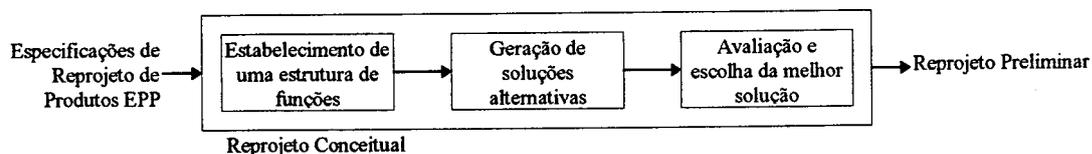


Figura 7.6 Etapas do reprojeto conceitual.

Baseado nas EPP foi estabelecida a estrutura de funções para identificar a função total, mediante o método inverso da síntese funcional e, com ajuda de alguns dos métodos de criatividade, vistos no cap. 5, como o método da matriz morfológica, gerar a solução conceitual para o problema formulado.

Os requisitos estabelecidos nas EPP foram utilizados para reformular os aspectos funcionais do problema “transportar material”. O método inverso da síntese funcional explicado no item 5.2, ajudou a determinar a função global do sistema.

O produto original e seus desenhos técnicos foram analisados para determinar as relações do sistema com o meio ambiente, usuários, entradas e saídas (Figura 7.7).

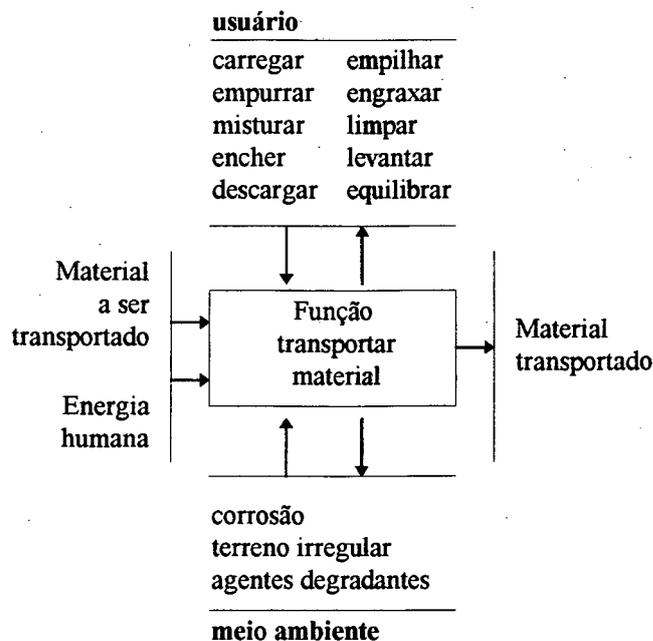


Figura 7.7 Relação do sistema técnico com o meio ambiente.

Uma vez determinadas as relações do sistema técnico com o meio ambiente e, tendo analisado e caracterizado o fluxo funcional das entradas e saídas, foi estabelecido o princípio de funcionamento do sistema, para isto a configuração do produto foi simplificada, substituindo seus elementos funcionais por símbolos.

Uma vez descrito o princípio de funcionamento, determinou-se a estrutura de funções identificando as grandezas funcionais: as entradas (fluxo de energia humana e material a ser transportado); as funções principais (receber / depositar material, levantar o carrinho, empurrar o carrinho, apoiá-lo no chão e descargá-lo / retirar material); as funções secundárias (misturar material, que pode ser antes de levantar o carrinho ou depois de apoiá-lo no chão) e as saídas (material transportado).

A Figura 7.8 mostra em um diagrama de blocos, o relacionamento entre os diferentes requisitos de projeto.

A partir deste momento, iniciou-se a procura de variantes de solução para o sistema, utilizando para isto o método da matriz morfológica.

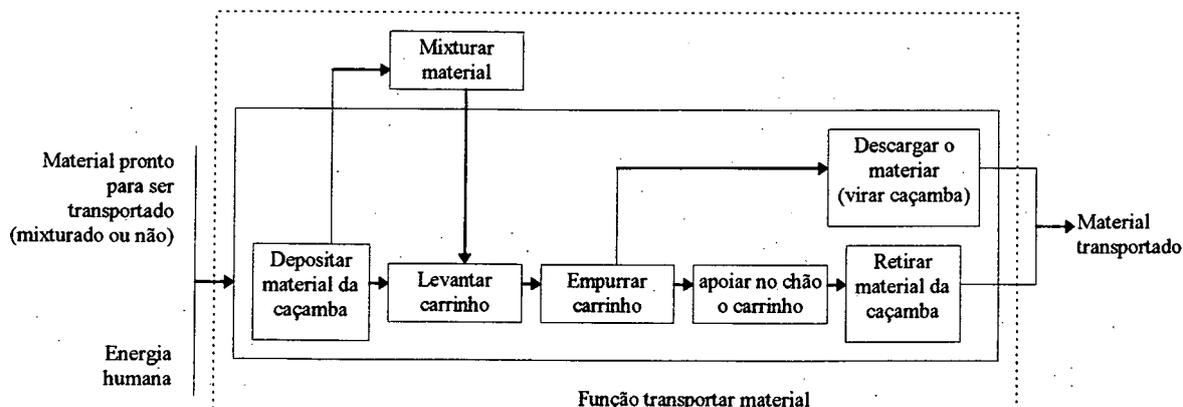


Fig. 7.8 Estrutura de funções de um carrinho de mão.

O método da matriz morfológica foi escolhido para este caso, por ser particularmente útil quando se pretende combinar variantes de solução para realizar a função total.

O método é fácil de usar, quando se tem sistemas simples como é o caso do carrinho de mão, onde, os fatores mais importantes são as superfícies de trabalho, características de projeto e capacidades. A idéia é verificar se os parâmetros geométricos (comprimentos, uniões, ângulos, etc.) do sistema, podem funcionar de outra maneira, aumentando a robustez do produto.

A descrição dos elementos da matriz morfológica estão apresentados na seguinte ordem:

A. Carregar o carrinho

A.1 Limitar a carga

- A.1.1 Leve inclinação para frente da caçamba
- A.1.2 Marcar uma zona de limite
- A.1.3 Caçamba sem profundidade

A.2 Espaço para diferentes cargas

- A.2.1 Caçamba sem profundidade e com boca ampla
- A.2.2 Caçamba com profundidade e com boca ampla
- A.2.3 Caçamba com profundidade e com boca média

A.3 Estruturar caçamba

- A.3.1 Caçamba auto estruturada (material)
- A.3.2 Estrutura principal suporta a caçamba
- A.3.3 Apoios estruturam caçamba

B. Levantar o carrinho

B.1 Pegas na altura certa

B.1.1 Inclinando a estrutura

B.1.2 Dobrando a estrutura

B.1.3 Estrutura reta

B.2 Relação: distância máxima possível entre carga e operário

B.2.1 Estrutura reta

B.2.2 Estrutura inclinada

B.3 Relação entre estrutura e caçamba

B.3.1 Estrutura saindo reta por baixo da caçamba

B.3.2 Estrutura saindo inclinada por baixo da caçamba

B.3.3 Estrutura saindo reta pelas bordas da caçamba

B.3.4 Estrutura saindo inclinada pelos lados da caçamba

C. Empurrar o carrinho

C.1 Centro de massa na frente

C.1.1 Caçamba com fundo reto

C.1.2 Caçamba com fundo inclinado

C.2 Relação entre impacto e pneu

C.2.1 Sistema de amortecimento

C.2.2 Pneu oco, tipo radial

C.2.3 Aço mola

C.3 Mancel simples

C.3.1 Tubo rodando dentro de tubo

C.3.2 Mancel plástico

D. Descarga do carrinho

D.1 Apoio na descarga

D.1.1 Um ponto de apoio na frente

D.1.2 Dois apoios laterais

D.1.3 Sem apoios

D.2 Formato da borda da caçamba

D.2.1 Formato arredondado

D.2.2 Formato reto com quinas arredondadas

D.3 Relação dos apoios com: estrutura / caçamba

D.3.1 Apoios integrados a caçamba

D.3.2 Apoios integrados a estrutura

D.3.3 Apoios independentes

D.4 Altura ideal das pegadas em relação a solicitação do operário na descarga do carrinho em movimento

D.4.1 A estrutura pode ser reta, com as pegas curvas

D.4.2 A estrutura pode ser inclinada, com as pegas curvas

D.4.3 A estrutura pode ser lateral com pegas retas

D.5 Relação do ponto de apoio de descarga entre estrutura e pneu

D.5.1 Apoio saindo do pneu

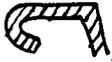
D.5.2 Apoio saindo da estrutura

Os elementos da matriz morfológica estão mostrados graficamente no Quadro 7.2, para maior compreensão. São mostradas as sub-funções e suas respectivas soluções conceituais.

Quadro 7.2 Matriz morfológica para um carrinho de mão para construção civil.

| Sub-funções \ Soluções | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------------|-----|-----------|-----------|------------|-----------|
| A | A.1 | A.1.1 | A.1.2 | A.1.3 | |
| | A.2 | A.2.1 | A.2.2 | A.2.3 | |
| | A.3 | A.3.1 | A.3.2 | A.3.3 | |
| B | B.1 | B.1.1 | B.1.2 | B.1.3 | |
| | B.2 | B.2.1 | B.2.2 | | |
| | B.3 | B.3.1 | B.3.2 | B.3.3 | B.3.4 |
| C | C.1 | C.1.1 | C.1.2 | | |
| | C.2 | C.2.1 | C.2.2 | C.2.3 | |
| | C.3 | C.3.1 | C.3.2 | | |
| D | D.1 | D.1.1 | D.1.2 | D.1.3 X | |

Quadro 7.2 Matriz morfológica para um carrinho de mão para construção civil. (continuação)

| | | | | | |
|--|-----|--|--|--|--|
| | D.2 | D.2.1  | D.2.2  | | |
| | D.3 | D.3.1  | D.3.2  | D.3.3  | |
| | D.4 | D.4.1  | D.4.2  | D.4.3  | |
| | D.5 | D.5.1  | D.5.2  | | |

Depois de obter três soluções gerais, o passo seguinte foi avaliá-las para determinar a mais viável, comparando-as entre si e verificando qual delas atende melhor as EPP.

Esta solução conceitual corresponde a combinação dos elementos escolhidos: **A.1.1+A.2.2+A.3.3+B.1.2+B.2.2+B.3.2+C.1.2+C.2.2+C.3.1+D.1.1+D.2.1+D.3.3+D.4.2+D.5.2.**

O Quadro 7.3 representa a matriz das combinações dos princípios de solução, onde a solução escolhida aparece em negrito e subscrito.

Quadro 7.3 Elementos constituintes da solução conceitual escolhida para um carrinho de mão.

| Soluções \ Sub-funções | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------------|-----|---------------------|---------------------|---------------------|-------|
| A | A.1 | <u>A.1.1</u> | A.1.2 | A.1.3 | |
| | A.2 | A.2.1 | <u>A.2.2</u> | A.2.3 | |
| | A.3 | A.3.1 | A.3.2 | <u>A.3.3</u> | |
| B | B.1 | B.1.1 | <u>B.1.2</u> | B.1.3 | |
| | B.2 | B.2.1 | <u>B.2.2</u> | | |
| | B.3 | B.3.1 | <u>B.3.2</u> | B.3.3 | B.3.4 |
| C | C.1 | C.1.1 | <u>C.1.2</u> | | |
| | C.2 | C.2.1 | <u>C.2.2</u> | C.2.3 | |
| | C.3 | <u>C.3.1</u> | C.3.2 | | |
| D | D.1 | <u>D.1.1</u> | D.1.2 | D.1.3 | |
| | D.2 | <u>D.2.1</u> | D.2.2 | | |
| | D.3 | D.3.1 | D.3.2 | <u>D.3.3</u> | |
| | D.4 | D.4.1 | <u>D.4.2</u> | D.4.3 | |
| | D.5 | D.5.1 | <u>D.5.2</u> | | |

A solução conceitual para o problema está representada graficamente na Figura 7.9, para melhor compreensão.

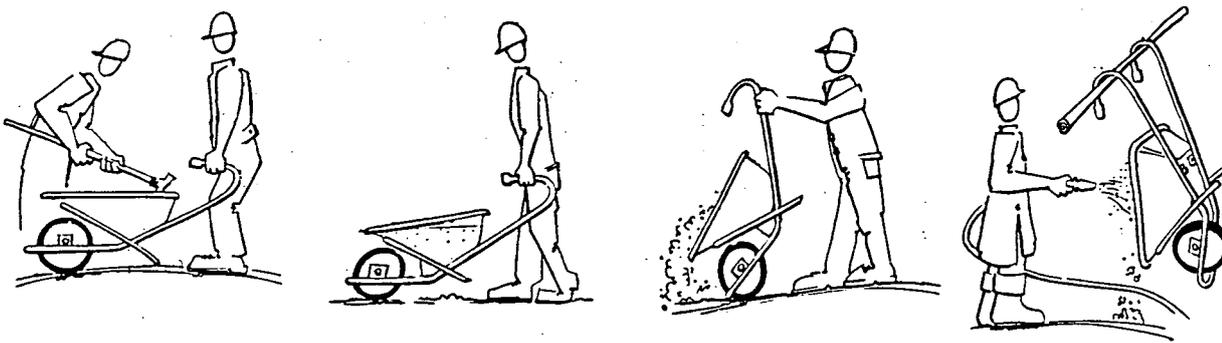


Figura 7.9 Solução conceitual para o problema.

7.2.7 Reprojeto Preliminar

Após obtida a solução conceitual para o problema proposto, esta foi detalhada no reprojeto preliminar, definindo e dimensionando os principais conjuntos que a compõem.

Os procedimentos a serem considerados no reprojeto preliminar estão apresentados na Figura 7.10.

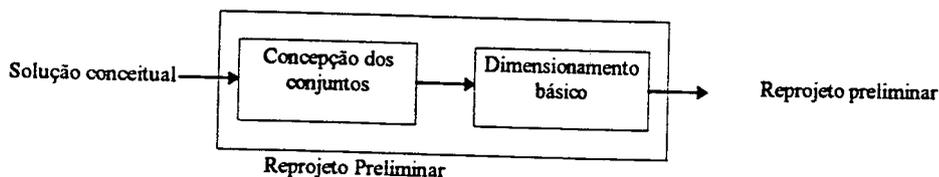


Figura 7.10 Etapas do Reprojeto Preliminar

A Figura 7.11, mostra o digrama do conjunto do carrinho de mão com seus blocos, partes e elementos.

A solução conceitual resultante da matriz morfológica, constituiu a partir daqui o conjunto do carrinho de mão, o qual foi dividido em blocos, partes e elementos, para ser detalhado. Estes elementos e partes foram então refinados individualmente, deixando de ser um conceito, para ser peças fabricáveis.

Foi desenhado o conjunto principal de maneira a harmonizar partes e blocos, para posteriormente detalhar cada elemento, determinando suas dimensões, materiais e processos. Sempre levando em consideração os métodos de melhoria do reprojeto detalhado.

O detalhamento dos conjuntos mais importantes que compõem o sistema e que, correspondem ao diagrama do conjunto mostrado na Figura 7.11.

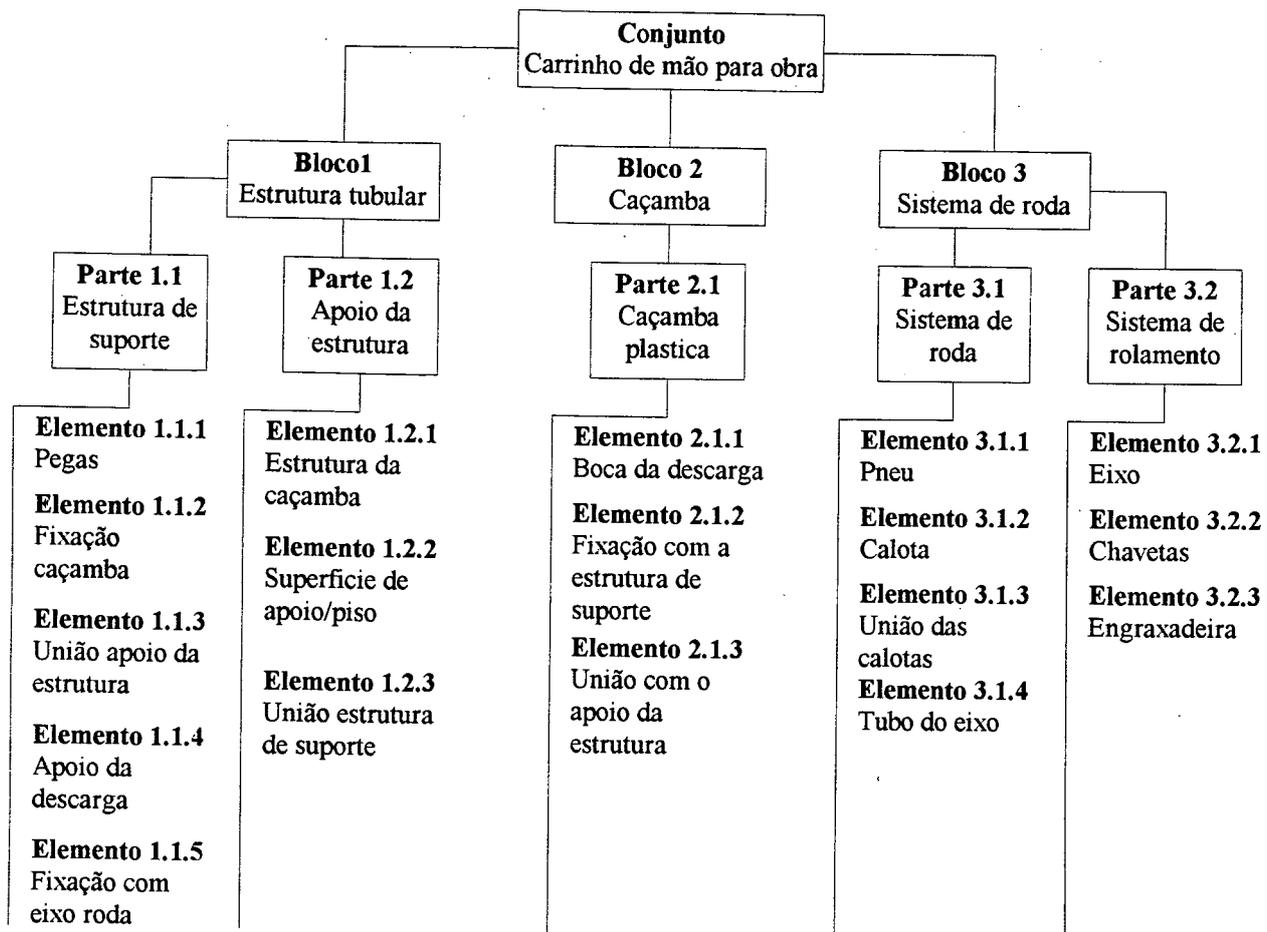


Figura 7.11 Diagrama do conjunto carrinho de mão para construção civil.

1. Análise do volume da caçamba. O estudo do volume da caçamba determinou que a forma escolhida conterà aproximadamente $0,046 \text{ m}^3$. O tamanho da caçamba é menor que o da concorrência, mas possui carga efetiva maior, pois não transborda o material ao ser levantada, como acontece com a concorrência.

2. Análise da estrutura de tubo. Considerando o concreto o material mais pesado por carga ($2,200 \text{ kg/m}^3$), a capacidade de carga total que a estrutura terá que suportar um volume de $0,046 \text{ m}^3$, que corresponde a aproximadamente 100 kg.

3. Análise do centro de massa. A análise do centro de massa determinou que, segundo a forma escolhida o centro se encontra aproximadamente a 23 cm do eixo da roda (horizontalmente) e a 36 cm acima do piso (verticalmente), o que determina que

para uma carga total de 115,2 kg (100 kg mais 14 kg do carrinho), 25 % do peso bruto é repassado ao operário, isso corresponde a aproximadamente 25,3 kg. Como mostra a Figura 7.12

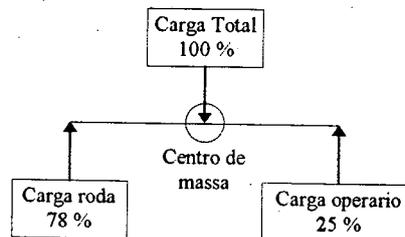


Figura 7.12 Distribuição das cargas para a solução conceitual escolhida.

4. Análise do sistema de rolamento. O sistema de rolamento foi considerado como ponto crítico na solução escolhida, uma vez que este deveria suportar um peso correspondente a 78 % da carga total.

7.2.8 Reprojeto Detalhado

Uma vez terminado o reprojeto preliminar, iniciou-se o reprojeto detalhado, o qual utilizou as diretrizes DFMA, DFE, etc., para o detalhamento total do produto em estudo como foi explicado no Cap 6. Os procedimentos que foram considerados no reprojeto detalhado estão apresentados na Figura 7.13.

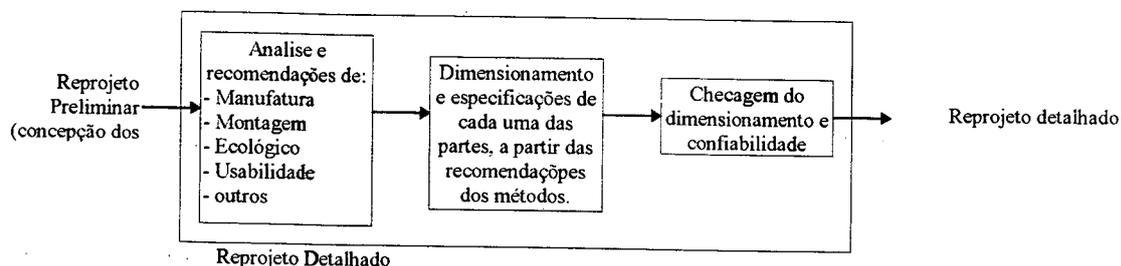


Figura 7.13 Etapas do Reprojeto Detalhado.

As etapas do reprojeto detalhado foram iniciadas no reprojeto preliminar, no qual foi desmembrado o conjunto em blocos, partes e elementos. A seguir, para cada elemento, parte e bloco, foram determinadas as considerações de manufatura, montagem, usabilidade, ergonomia, etc., pertinentes em cada situação.

Dos diferentes métodos que podiam ser utilizados, deu-se maior ênfase àqueles que permitiram atender melhor as EPP, como foi o caso do DFMA, dirigido à redução dos custos. DFE, FMEA, projeto para fatores humanos e o projeto estético-expressivo ajudaram a agregar valor ao produto, melhorando a relação produto-usuário.

Não é fácil compatibilizar todos estes métodos durante o reprojeto, pois alguns critérios se contrapõem. Nestes casos, recomenda-se verificar o grau de importância das EPP.

Como foi visto no capítulo 6, recomenda-se incluir os métodos de reprojeto detalhado desde as primeiras fases do reprojeto. Estes métodos são utilizados para melhorar as características de cada parte e peça, que fazem parte de um produto factível. A seguir estão apresentados os métodos que foram utilizados no reprojeto, assim como algumas das considerações mais importantes em cada um deles.

Uso do DFMA

O DFMA foi utilizado para avaliar o produto original e posteriormente propor melhorias do ponto de vista de manufatura e montagem. O objetivo era otimizar a montagem e a produção para diminuir os custos do produto. Alguns dos critérios DFMA úteis no reprojeto são mencionados a seguir:

a) melhorar e diminuir as curvaturas da estrutura tubular, otimizando o material em relação à estrutura original (aqui foi proposta uma dobra com prensa e as restantes manualmente). O método ajudou também a prever um gabarito para alocar as peças soldadas na estrutura;

b) a matriz da caçamba plástica foi otimizada para conter duas cavidades e moldar duas caçambas por vez, além de evitar insertos metálicos;

c) seqüência de montagem do conjunto: a sub-montagem das peças da estrutura principal, suspeita de ocasionar um maior consumo de tempo na montagem final, foi analisada pelo método DFA de acordo com BOOTHROYD & DEWHURST [56]. Esta análise apontou algumas partes que, de acordo com a análise, poderiam ser integradas em outras;

d) o sistema de montagem foi estudado desde a fase conceitual, para que pudesse prover informações sobre as conseqüências da montagem e sua logística. A idéia era que a montagem final deveria ser feita por um só operador;

e) a montagem foi dividida em três atividades (I, II e III) que podem ser trabalhadas simultaneamente ou não. Cada uma delas tem sua seqüência particular de montagem de elementos, até chegar ao nível das partes. A seqüência para os elementos pode ser em série como mostra a atividade II, ou em paralelo como mostra a atividade I. As partes são montadas em paralelo para determinar os blocos e finalmente, mediante uma seqüência em série destes blocos, se chegou ao conjunto montado.

Os processos são determinados pelas setas e a seqüência de montagem para os níveis, pelas letras **a, b** e **c**, como mostra a Figura 7.14.

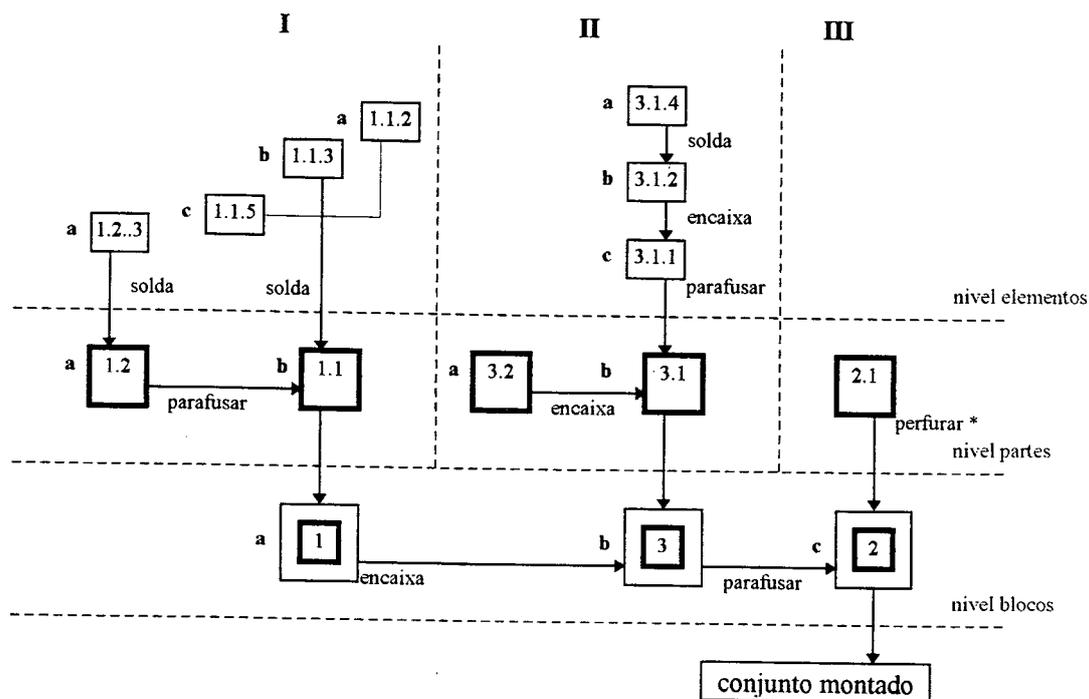


Figura 7.14 Níveis de montagem para carrinho de mão. (*processo de preparação)

f) especificações de montagem:

1. a montagem das partes 1.1, 1.2, 2.1, 3.1 e 3.2 pode ser feita no local de venda. As partes podem ser embaladas soltas para diminuir o espaço de transporte e estoque, e
2. os blocos 1 + 3 (estrutura tubular e roda) podem ser empilhados separadamente do bloco 2 (caçamba), para reduzir seu espaço de estocagem.

Uso do DFE

Devido ao produto contar com um ciclo de vida muito curto (6 meses em uso aproximadamente), a reciclagem foi um fator de grande consideração no reprojeto. Aqui procurou-se utilizar os conceitos DFE, como facilidade de desmontagem (onde foi prevista a separação da caçamba plástica das peças em aço) e reutilização (onde foi utilizado PP reciclado para a caçamba) para melhoria do produto, do ponto de vista ambiental.

Uso do projeto para fatores humanos

Fatores humanos foi um dos alvos do reprojeto. Com base no método recomendado por SELL [65], foram avaliadas as tarefas realizadas pelo operário com o produto, procurando melhorá-lo do ponto de vista ergonômico, de uso, de medidas e de prevenção de riscos. Alguns dos critérios utilizados são mencionados a seguir:

- as dimensões do corpo humano foram reavaliadas e para isto foi utilizado o estudo antropométrico de PINTO [79], mostrado no Quadro 7.4.

Quadro 7.4 Recomendações antropométricas para carrinho de mão (Fonte: PINTO) [79].

| Item | Elementos Antropométricos mm | Média | Moda | Mediana | Valor adotado |
|------|---------------------------------|---------|---------|---------|------------------|
| 1 | Altura do cotovelo | 105,443 | 105,000 | 105,485 | 105,443 |
| 2 | Diâmetro do tórax | 91,948 | 90,000 | 91,640 | 91,948 |
| 3 | Comprimento do braço | 84,934 | 85,000 | 84,950 | 84,934 |
| 4 | Altura do joelho | 47,603 | 48,000 | 47,635 | 47,603 |
| 5 | Altura dos dedos | 61,136 | 60,000 | 61,120 | 61,120 |
| 6 | Comprimento do cotovelo | 27,728 | 27,000 | 27,428 | 27,428 |
| 7 | Comprimento da falange | 25,662 | 25,000 | 25,587 | 25,662 |
| 8 | Largura maior da palma da mão | 9,509 | 10,000 | 9,526 | 9,509 |
| 9 | Altura do ombro | 137,516 | 137,000 | 137,172 | 137,516 |
| 10 | Altura do cotovelo | 105,443 | 105,000 | 105,485 | 105,443 |
| 11 | Comprimento da bacia | 53,314 | 53,000 | 53,236 | 53,236 |
| 12 | Largura maior do pé | 10,171 | 10,000 | 10,105 | 10,000 |
| 13 | Espessura da palma da mão | 34,526 | 33,000 | 34,405 | 34,526 |
| 14 | Espessura do dedo indicador | 22,192 | 22,000 | 21,952 | 21,952 |

- os fatores de interface entre produto e operário, consideraram a geometria da caçamba, visando um rebaixe no centro de massa, forma e dimensões das pegas;

- fatores sensoriais humanos consideraram a semiótica do produto, e

- fatores fisiológicos consideraram conforto e segurança do usuário.

Uso do projeto para a confiabilidade

As recomendações FMEA foram utilizadas para identificar os problemas que afetam a confiabilidade do produto, para isto foram identificados os itens nos quais seriam implementadas as tarefas de confiabilidade, como mostra o Quadro 7.5.

Quadro 7.5 Revisão dos possíveis modos de falha e efeitos.

| Identificação do item | Descrição dos modos de falha | Causa da falha | Possíveis efeitos das falhas | Termos críticos das falhas | Possíveis ações corretivas ou medidas preventivas |
|-----------------------------------|------------------------------|---|--|----------------------------|--|
| Borda da caçamba 2.1.1 | Fratura | - Material ressecado pelos raios UV e agentes degradantes. - Carga excessiva e mal distribuída | Impossibilita transportar material líquido | Falha crítica | - Usar filtros UV e aditivos na composição química do material plástico - Reforçar bordas |
| Rolamento 3.1.4/3.2.1 | Travamento | - Oxidação pela falta de graxa. - Material acumulado que impede rodar. | Impossibilita movimentar o sistema | Falha menor | - Engraxar - Tolerância mínima de rolamento |
| Pneu 3.1.1 | Vazio | - Falta de pressão nas calotas. | Impossibilita movimentar o sistema | Falha menor | - Material com aditivos para diminuir o ressecamento - Assegurar a pressão das calotas |
| Fixação da caçamba 1.1.2 | Separação da estrutura | - Solda mal aplicada. | Solta a caçamba podendo prejudicá-la | Falha maior | - Controle na soldagem - Pessoal qualificado |
| União: apoio / estrutura 1.1.3 | Separação da estrutura | - Solda mal aplicada. | Separa o apoio da estrutura e desequilibra o produto | Falha maior | - Controle na soldagem - Pessoal qualificado |

Quadro 7.5 FMEA (continuação)

| | | | | | |
|---|------------------------|--|---|--------------------|---|
| Fixação eixo da roda a estrutura 1.1.5 | Separação da estrutura | - Solda mal aplicada. | Solta o sistema de roda, podendo prejudicá-lo | Falha maior | - Controle na soldagem - Pessoal qualificado |
| Chaveta 3.2.2 | Quebra | - Oxidação | Solta o eixo da roda, podendo prejudicar o sistema da roda. | Falha menor | - Material não corrosivo |
| Estrutura tubular bloco 1 | Quebra | - Oxidação pela falta de recobrimento. | Impossibilitar o uso total do sistema | Falha catastrófica | - Controle na pintura - Pessoal capacit. - Fechamento dos tubos |

Uso do projeto estético expressivo

O produto foi avaliado em relação aos critérios estético/expressivos do método. As melhorias feitas tentam evidenciar seus atributos funcionais e de uso, devido a que o carrinho de mão é um típico produto onde sua carga formal está diretamente relacionada a sua estrutura funcional. Algumas das melhorias mais importantes foram:

- atributo psicológico, como aparência robusta e de grande capacidade;
- atributo identificação, como referência com o produto original, destacar o produto na prateleira, destacar a marca, etc.;
- atributo amenidade, como o uso de cores neutras, formas simples, proporções entre partes, e
- atributo expressão, como evidenciar as características funcionais do produto.

Especificações e dimensionamento das partes

As especificações e o dimensionamento das partes estão representadas nos desenhos técnicos, que não podem ser apresentados, por motivos de sigilo industrial. A Figura 7.15, mostra como eles foram codificados.

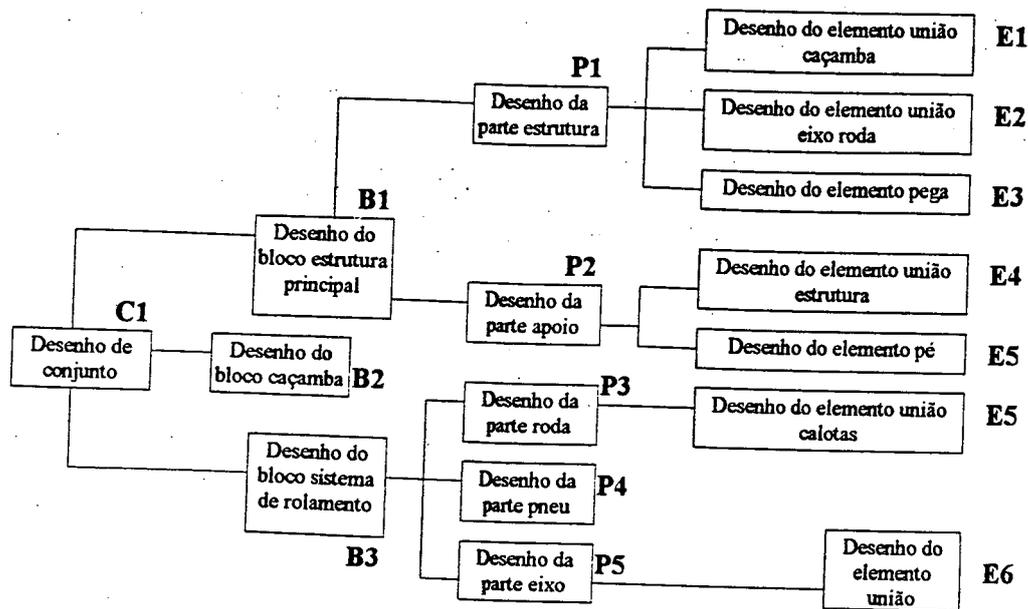


Figura 7.15 Codificação dos desenhos para protótipo de carrinho de mão.

O desenho das vistas gerais (Fig.7.16), é apresentado para ilustrar o resultado do reprojeto.

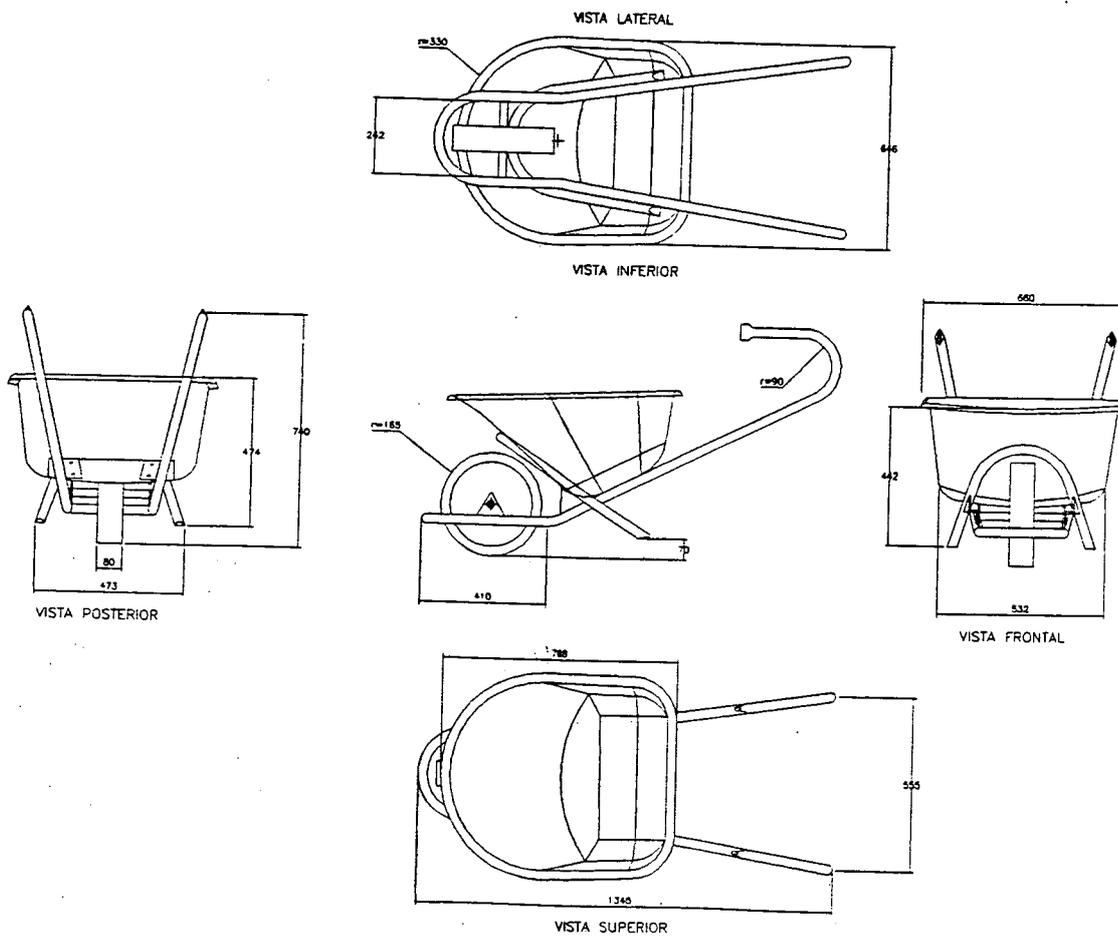


Figura 7.16 Desenho técnico das vistas gerais do produto reprojeto

7.2.9 Resultados

A seguir são listados os novos atributos outorgados ao produto reprojeto. Alguns destes ainda estão sujeitos a futuras avaliações (modificações no protótipo e adaptações ao usuário), mas para fins deste trabalho serão considerados como culminante da proposta:

- em relação a **produção**, o produto reprojeto teve uma diminuição de suas partes, o que implicou em redução do tempo de montagem e custos de manufatura;
- em relação a **função e uso**, foi melhorada a relação carrinho/usuário, reduzindo os riscos de acidentes. Isto foi logrado baixando o centro de massa e colocando-o o mais perto da roda. Também foi diminuída a solicitação do operário ao transportar a carga de concreto, uma vez que esta foi limitada e a distância entre o centro de massa e o operário foi aumentada. Através da forma das pegas conseguiu-se manter pulsos retos (de forma natural) com o braço estendido. Outro ganho no reprojeto, foi a diminuição da solicitação do operário ao descarregar, direcionando o material pela frente, com um apoio de descarga mais baixo e com pega mais perto do corpo do operário, e
- em relação ao **mercado**, os fatores anteriormente citados levaram a uma diferenciação do produto em relação aos da concorrência.

7.2.10 Avaliação e conclusões do processo de reprojeto

Finalizadas as fases do reprojeto do carrinho de mão, passou-se a uma avaliação dos acontecimentos e conclusões:

- conclui-se que o reprojeto foi realizado dentro do planejado e que a maioria dos objetivos foi cumprida dentro dos prazos previstos; contudo, nem sempre um trabalho tão detalhado pode ser realizado dentro de uma empresa, já que estamos vulneráveis a mudanças de políticas e mercados que fogem das mais detalhadas previsões;
- no presente estudo foi utilizada a primeira matriz CQ como foi explicado no item 7.2.5, mas recomendamos que para futuras mudanças de peças ou processos, seja utilizado o desdobramento da matriz. Isto resultará em melhorias mais específicas nas partes do produto;
- neste caso em particular, foram utilizadas várias ferramentas (para produção, para montagem, para ergonomia, etc.), mas dependendo do tipo de reprojeto estas podem variar segundo seu grau de importância, e

- a partir da fabricação do primeiro protótipo do produto, começará a fase da retroalimentação que tende a melhorar e complementar as etapas anteriores. Dois ou três protótipos terão que ser feitos antes de passar a produção piloto. A retroalimentação proveniente dos testes, deverá ser incluída na matriz da CQ, para complementar as EPP.

CAPITULO VIII

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pode-se concluir que o processo de reprojeto de produtos industriais é mostrado de maneira ampla e racional, como uma ferramenta que pode ser utilizada pelas indústrias, de maneira estratégica para se manterem presentes em um mercado cada vez mais competitivo.

Como mostrado no Capítulo II, a maioria dos projetos realizados nas indústrias são na realidade reprojeto de produtos. Desta forma, surge a inquietude de começar a traçar um caminho que dê a importância que o processo de reprojeto tem, ao colocar continuamente novos produtos (produtos melhorados) no mercado. Este mercado exige que os produtos se renovem continuamente, em virtude das necessidades dos clientes serem cada vez mais dinâmicas.

Para enfrentar esta realidade, as empresas têm que criar métodos que lhes permitam gerar soluções adequadas às novas necessidades. Estes métodos têm que ser atualizados continuamente, sempre acompanhando os diferentes fatores que influenciam as mudanças, motivo pelo qual é importante estudar o ambiente em que se encontra inserido o processo de reprojeto, propondo um caminho que sirva de base para os projetistas encarregados de melhorar estes produtos para fazê-los mais competitivos.

Da mesma forma as informações, métodos e ferramentas que são de grande utilidade durante o processo de reprojeto devem ser conhecidos pelos projetistas para poderem oferecer melhores soluções aos clientes.

Estas ferramentas e métodos abrem um amplo espectro do processo, podendo ser cada um deles motivo de um estudo específico. Não se pretendeu aprofundar em algum destes, mas sim dar um panorama de sua utilidade e uso.

Enfim, procurou-se evidenciar o uso de metodologias para o controle do processo de reprojeto, os quais levam a um desenvolvimento mais eficiente de produtos racionais, onde o tempo, os aspectos de mercado, fatores humanos e o meio ambiente devem ser uma preocupação na hora da concepção de um novo produto.

Deve-se lembrar, também, que um sistema complexo, e que requer alta precisão, somente pode ser melhorado utilizando métodos que facilitem a identificação de seus

problemas, melhorando individualmente suas partes e propondo soluções factíveis de se produzirem.

É importante mencionar que o presente trabalho, além de apresentar o processo de reprojeto como uma ferramenta estratégica, e não unicamente como uma parte a mais do processo de projeto, contribui, ao recompilar em um documento único, informações referentes ao reprojeto que se encontram dispersas na literatura, para serem utilizadas com maior facilidade por pessoas interessadas no assunto.

A partir destas conclusões podem ser feitas as seguintes recomendações, com a intenção de aprofundar o estudo sobre o tema abordado.

1. Detalhar melhor o processo apresentado. Pela amplitude do tema, o trabalho representa, um início do que seria um estudo mais detalhado, pelo que se recomenda continuar aperfeiçoando-o e atualizando-o.

2. Pôr em prática o método pela indústria. Utilizar o processo de reprojeto proposto, em trabalhos realizados internamente no Departamento da Engenharia Mecânica da UFSC, e/ou em parceria com a indústria, para melhorar sua efetividade prática, tentando levar o conhecimento acadêmico ao dia a dia da indústria.

3. Aprofundar na área estratégica. No trabalho foi mostrada a importância de manter os produtos atualizados em relação à concorrência e, para isto recomenda-se aprofundar em futuros trabalhos, no que se refere à tomada de decisão para determinar quando deve-se reprojeter um produto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BACK, N. *Metodologia de Projeto de Produtos Industriais*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.
- [2] PAHL G. & BEITZ W. *Engineering design: a systematic approach*. Berlin: Springer - Verlag, 1988. 2nd. ed.
- [3] BARDASZ T.; ZEID. I. Proposing analogical problem solving to mechanical design. In : *Proceedings ASME International Computers in Engineering Conference and Exposition*. Boston Massachusetts. August, 1990. pp. 181-186.
- [4] BONSIEPE G. *Las 7 Columnas del Diseño*. UAM, Universidad Autonoma Metropolitana Azcapotzalco, 1ª edición, 1993, Impreso en México.
- [5] FIGGIE H.E. Jr. Product Redesign as a Cost-Cutting Tool, Chairman and CEO Figgie International Inc. Richmond, VA. *Machine Design*, June 26, 1986.
- [6] OGLIARI, A. *Implementação computacional do processo de concepção de produtos utilizando uma análise orientada a objetos e sistemas especialistas*. UFSC. Dpto. Eng. Mecânica, GRANTE, 1995.
- [7] ULLMAN, David G. *The Mechanical Design Process*. New York : McGraw-Hill, 1992.
- [8] HASHIM M., JUSTER P. and PENNINGTON A. Generating Design Variants Based on Functional Reasoning. In: International Conference on Engineering design. *ICED '93*. The Hague, August 17-19, 1993.
- [9] GURGEL FLORIANO C. A. *Administração do Produto*. Editora Atlas, São Paulo, 1995.
- [10] HOGARTH P. and TABESHFAR K. The Influence of Design Visualisation in Reducing Investment in new Product Development. In: International Conference on Engineering Design. *ICED '93*. The Hague, August 17-19, 1993.
- [11] RAY MARTYN S. *Elements of Engineering Design, and Integrated Approach*. Department of Chemical Engineering, Western Australian Institute of Technology.
- [12] LEONARD D. LA PASSO. *Reducing the Risks in New-Product Planning*. Engineering Dept. PSI Div. Warner Electric Brake and Clutch Co. Pitman, N.J.

- [13] Análise de Valor. *Notas do Centro de Pesquisas e Projetos de Treinamento*. Fundação Volkswagen.
- [14] YOSHIKAWA, H. Design philosophy: the state of the art. *Annals of the CIRP*, 38 (2), 1989. pp. 579-586.
- [15] FIOD NETO M. *Desenvolvimento de um sistema computacional para auxiliar a concepção de produtos industriais*. Tese de doutorado, UFSC, Set. 1993.
- [16] SUH, Nam P. *The principles of design*. New York: Oxford University Press, 1990.
- [17] ASIMOW, M. *Introdução ao projeto*. São Paulo: Editora mestre Jou, 1968.
- [18] FABRYCKY, W. J.; BLANCHARD, B. S. *Systems Engineering and Analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 1990. 2nd. ed.
- [19] POSSAMAI, O. *Uma abordagem funcional para a concepção de novos produtos, utilizando a metodologia de Engenharia e Análise do Valor*. Monografia apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos exigidos para o concurso de Professor Titular, na área de Engenharia do Produto. Florianópolis: UFSC, 1992.
- [20] CHAKRABARTI, A.; BLIGH, T. P. Towards a decision-support framework for mechanical conceptual design. In: Proceedings of International Conference on Engineering Design - *ICED 91*. Zürich: 1991. *Annals*: p 384-389.
- [21] VDI Guideline 2221: *Systematic approach to the design of technical systems and products*: Düsseldorf: VDI-Verlag, 1987.
- [22] VDI 2222 (Richtlinie), *Blatt 1: Konstruktionsmethodisk. Konzipieren technischer Produkte*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1977.
- [23] CSILLAG, J.M. *Análise do Valor. Metodologia do valor*. São Paulo: Atlas, 1985.
- [24] MEISTER, David - *Human Factors : Theory and Practice*. New York : Wiley, 1971.
- [25] HASHIM F., JUSTER N.P., PENNINGTON A, *A Functional Approach to redesign*. Department of Mechanical Engineering, University of Leeds, Leeds, UK, Engineering with Computers 1994 10:125-139, Springer-Verlag London Limited.

- [26] ROTH, K. Übertragen von Konstruktionsintelligenz an den Rechner. *VDI-Z 131 1989*, Nr. 5. S. 76-83.
- [27] FOSTER R. *Inovação, a Vantagem do Atacante*. Editora Best Seller, São Paulo, 1986.
- [28] LUCK J. DAVID. *Política e Estratégia de Produto*. Editora Atlas, São Paulo, 1972.
- [29] GOSLIN N. LEWIS. *El Sistema de Diseño de Productos*. Editora EL Ateneo, México-Buenos Aires, 1971.
- [30] GORLE P. & LONG J. *Fundamentos de planejamento do produto*. Editora McGraw Hill, São Paulo, 1976.
- [31] PASCHOAL R JOSÉ et al. *Transição 2000, Tendências, Mudanças e Estratégias*. Mc. Graw Hill, São Paulo, 1993.
- [32] HARDING H. A. *Administração da Produção*. Editora Atlas, São Paulo, 1989.
- [33] KING B. *Better Design in half the time implementing QFD*. Quality Function Deployment in America, Third edition, Publishaed by Goal/QPC, 1987 - 1989.
- [34] BACK N. & FORCELLINI F. *Projeto de produtos. Notas do curso de Pós-Graduação em Automação Industrial*, UNISINOS/UFSC. Florianópolis, 1996.
- [35] HAUSER, J. R.; CLAUSING, D. *The house of quality*. Harvard Business Review, May - June 1988, pp. 63 - 73.
- [36] BAXTER J.E, JUSTER N.P. and PENNINGTON. *Verification of Product Design Specifications Using a Functional Data Model*. Department of Mechanical Engineering University of Leeds, LEEDS LS2 GJT. United Kingdom.
- [37] HUBKA, V. *Theory of Technical Systems*, London, Springer-Verlag, 1988.
- [38] SIVALOGANATHAN, EVBUOMWAN & JEBB. *A QFD approach to materials selection*. Engineering Design Centre, City University, Northampton Square, London ECIV 0HB, UK. p. 1132-1133.
- [39] HERNÁNDEZ F. A. J. *Desenvolvimento de uma Sistemática para a Obtenção das Especificações de Projeto de Produtos Industriais*. Dissertação de Mestrado, Dpto. Eng. Mec. UFSC, 1996.

- [40] HUNDAL, M. S. A methodical procedure for search of solutions from function structures. In : International Conference of Engineering Design - *ICED'91*. Zürich: 1991. Proceedings, p. 9-16.
- [41] ROVALO, F. *Conformación y expresividad: la forma sigue a la expresión*. Cuadernos de diseño, Universidad Iberoamericana, México, 1995.
- [42] RODRIGUEZ MORALES L. *Para una Teoría del Diseño*, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Tilde Editores S.A. de C.V. México, 1989.
- [43] TJALVE, E.: *A Short Introduction to Industrial Design*, Newnes-Butterworth, London 1979.
- [44] GANDHI A.: MYKLEBUST A. A natural language approach to feature based modelling. In : *Proceedings of the ASME Conf. on Advances in Design Automation*. Montreal. Quebec. September 1989, pp. 69-77.
- [45] REQUICHA A.: VANDENBRANDE J. Form features for mechanical design and manufacturing. In : *Proceedings of the ASME International Computers in Engineering Conference and Exposition*. Anaheim, California. July, 1989. pp. 47-52.
- [46] SOWA J. Conceptual Structures: *Information Processing in Mind and Machine*, Addison-Wesley. Reading . Massachusetts, 1984.
- [47] COMELLA T. How to Manage Creativity Without Killing it. *Machine Design*. March 6, 1975, pp. 68-72.
- [48] HOLT, K. - *Product Innovation*. Londres: Newnes-Butterworths Management Library, 1977.
- [49] DICK M. Creative Problem-Solving for Engineering. *Machine Design*, February 7, 1985, pp.57-101.
- [50] TICHEM M. Design for Manufacturing and Assembly, a closed loop approach. In : International Conference on Engineering Design. *ICED 93* The Hague, 17-19 de agosto de 1993.
- [51] WAGNE O. Design for Manufacture and Assembly - a study conducted in the Swedish industry. In : Internacional Conference on Engineering Design, *ICED 95*. Praha, August 22-24, 1995.

- [52] FABRICIUS, F. and T. Ahm.: *Integrating Desing for Assembly with other Design Tools*, SME, Dearbon 1990.
- [53] ANDREASEN MYRUP. Design for Production - Overview of Methodology. In : Internacional Conference on Engineering Design, *ICED 91*. Zurich, August 27-29, 1991.
- [54] MATOUSEK, R.: *Konstruktionslehre des allgemeinen Maschinenbaues*, Springer, Berlin, 1957.
- [55] EHRENSPIEL, K.: *Kostengünstig konstruieren*, Springer, Berlin 1985.
- [56] BOOTHROYD G. & DEWHURST P. *Product Design for Assembly*. Wakefield, RI 1989, Boothroyd Dewhurst Inc. 136 p.
- [57] BRALIA JAMES G. *Handbook of Product Design for Manufacturing, a practical Guide to Low-cost Production*. McGraw Hill Book Company, New Jersey, 1987.
- [58] STEPHENSON J. & WALLACE K. Design for Reability in Mechanical Systems. In : Internacional Conference on Engineering Design. *ICED 95*. Praha, August 22-24, 1995.
- [59] AGUIRRE, G. J., *Evaluation of Technical Systems at the Design Stage*. Cambrigde University Engineering Department, Cambridge, U.K., 1990.
- [60] BROADBENT B. Industrial Practice in Design for Maintenance. In : Internacional Conference on Engineering Design. *ICED 95*., Praha, August 22-24, 1995.
- [61] CHAPANIS, A. *Human Engineering. Baltimore*: Ed. John Hopkins, 1960.
- [62] FITTS, P. M. - Functions of men in complex systems. *Aerospace Engineering*, v.21, n.1, pp 34-39, 1962.
- [63] WOODSON, Wesley E.; CONOVER, Donald W. *Human Engineering Guide for Equipment Designers*. Los Angeles : University of California, 1964.
- [64] JORDAN, N. *Allocation of functions between man and machines in automated systems. Journal of Applied Psychology*, v.47, n.3, pp 161-165, 1963.
- [65] SELL I. Projeto ergonômico de produtos. In: IV Seminário Brasileiro de Ergonomia, 1989, Rio de Janeiro. *Annais*, pp 172-176.

- [66] VDI, Designing Technical Products for ease of Recycling. *VDI 2243*, VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb, 1993.
- [67] COULTER S., BRAS B. & FOLEY C. A Lexicon of Green Engineering Terms. *ICED 95* Internacional Conference on Engineering Design, Praha, August 22-24, 1995.
- [68] DUARTE M.D. *Projetando para a sustentabilidade*, Universidade Federal de Santa Catarina, Pós-graduação da Engenharia de Produção, Design para o meio ambiente, 1995.
- [69] ASHLEY, S. *Design for the Environment*, Mechanical Engineering, v.115, n3, p 52-55, 1993.
- [70] VAN HEMEL G. C. Tools for Setting Realizable Priorities at Strategic Level in Design For Environment. In : Internacional Conference on Engineering Design, *ICED 95*. Praha, August 22-24, 1995.
- [71] NAVIN - CHANDRA D., *Design for Environmentability*, Third International Conference on Design Theory and Methodology, Miami, Florida, American Society of Mechanical Engineers. 1991, pp.119-125.
- [72] SPATH Dieter, HARTEL Marko & TRITSCH Christian. Life Cycle Assessment. Tools to support environmental product design and economical disassembly of technical consumer products. In : Internacional Conference on Engineering Design, *ICED 95*. Praha, August 22-24, 1995.
- [73] ARCHER B. *Design Awareness and Planned Creativity in Industry*. Londres. The Design Centre, 1974.
- [74] LOBACH, B. *Diseño Industrial. Bases para la configuración de los productos industriales*. Barcelona. Editorial Gustavo Gili, 1981.
- [75] RICARD A. *Diseño Por que?* Barcelona. Editorial Gustavo Gili. 1982.
- [76] WILLIAMS, CH. *Los Origenes de la Forma*. Barcelona. Editorial Gustavo Gili. 1984.
- [77] RAMS D. *Principles of Design*. ICSID/NEWS. ARDI. Spain.
- [78] LANG, J. *Creating Architectural Theory*. Van Nostrand Reinhold, NY. 1987.
- [79] PINTO J. A. *Aplicação da Antropometria na Construção Civil*, Ed 32 v.8, UFSM, 1980.

BIBLIOGRAFIA

- [1] AMEZQUITA T., HAMMOND R. and BRAS B. Designs for Remanufacturing, In: Internacional Conference on Engineering Design, *ICED 95*. Praha, August 22-24, 1995.
- [2] AREBLAD, Mats. Design for reduced lead-time-A case story, In : International conference on engineering design. *ICED'93*, The Hague, 17-19 de agosto de 1993.
- [3] BUUR JACOB & NIELSEN PI. Design for Usability - Adopting Human Computer interaction Methods for the Design of Mechanical Products. In : Internacional Conference on Engineering Design, *ICED 95*. Praha, August 22-24, 1995.
- [4] CHEN W-J & WALLACE K M. Manufacturing Information for Designers. In : International Conference on Engineering Design, *ICED 93*. The Hague, 17-19 de agosto de 1993.
- [5] DALKEY, N.D.; HELMER, O. An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *Management Science*, vol. 9. n. 3 (April 1963).
- [6] DURAN, J. *A qualidade desde o projeto*. Pioneira, São Paulo, 1992.
- [7] ELLIS T.I.A., YOUNG R.I.M. & BELL R. Modelling Manufacturing Process Information to Support Simultaneous Engineering. In : International Conference on Engineering Design, *ICED 93*. The Hague, 17-19 de agosto de 1993.
- [8] FIOD N., M.; BACK, N. O processo do Projeto de Produtos industriais. In: Congresso de Engenharia Mecânica Norte-Nordeste (CEM-NNE/91). Natal: 1991 (b). *Anais*, p. 360-367.
- [9] GEVINS J. and BAUDIN C. *An experimental Study of Design Information Reuse*. Nasa Ames Research Center, Moffett Field, California. Ade Mabogunje. DE-Vol. 42, Design Theory and Methodology ASME 1992.
- [10] GORDON, W. J. J. *Synectics: the development of creative capacity*. New York: Harper, 1961.
- [11] HOLT K. Brainstorming -from Classics to Electronics. In: International Conference on Engineering Design, *ICED'95*. Praga, August 22-24. V. 1, pp.297-284.

- [12] KANDIKJAN T., e DUKOVSKI V. Design for Assembly through evaluation of product assembly sequences. In : International Conference on Engineering Design. *ICED 95* Praha, 22-24 de agosto de 1995.
- [13] KANIS H. and WENDEL I.E. Redesign use, a designer's dilemma. *Ergonomics 1990. Vol. 33 No. 4, 459-464.*
- [14] KARL HENRICK SVENDSEN & CLAUS THORP HANSEN. Decomposition of Mechanical Systems and Breakdown of Specifications. International Conference on Engineering Design, *ICED'93*, The Hague, August 17-19, 1993.
- [15] KAULIO M. *Products requirements engineering. Methods mediantig objects and preconditions in SMEs.* ICED 1995.
- [16] KELDMANN Troels. The Environmental Part of The Product Concept. Institute for Engineering Design, Technical University of Denmark. In : Internacional Conference on Engineering Design, *ICED 95.* Praha, August 22-24, 1995.
- [17] LEDUC, R. *Como lançar um produto novo.* São Paulo: Edições Vértice, 1986.
- [18] LUTTROPP Conrad. Design for Disassembly - The resting loadcase. In: Internacional Conference on Engineering Design, *ICED 95.* Praha, August 22-24, 1995.
- [19] OSBORN, A. *Applied Imagination. Principles and Procedures of creative problem-solving.* New York: Charles Scribner's Sons, 1957.
- [20] PRECLIK V. Design for Assembly. Departmaneto de planejamento de processos CTI. In : International Conference on engineering design. *ICED'95,* Praha, 22-24 de agosto de 1995.
- [21] RAINE J.K., WHYBREW K., DUNLOP G.R., VAN RIJ C.W., WARD D.K, Redesign and Manufacture of the feltex Jacquard Loom Card Punch System. In: International conference on engineering design. *ICED'95,* Praha, 22-24 de agosto de 1995.

- [22] RODRIGUES C, *Re-design de um balancim*, Design de máquinas especiais LDP/DI-SC Laboratório Associado, CADDI Centro de Aperfeiçoamento de docentes de Desenho Industrial, MCT CNPQ 1986 Assessoria Editorial Brasília DF.
- [23] SELL, I.; FIOD Neto, M. A obtenção de soluções alternativas com o método da variação do efeito. In: IX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Porto Alegre: UFRS, 1989. *Anais*, p. 300-12.
- [24] SIUKO Mikko & TUOKKO Reijo. *Integration of DFA in the R&D and Product Design Process*. In : International Conference on Engineering Design, *ICED 93*. The Hague, 17-19 de agosto de 1993.
- [25] SNODGRASS, T.J.; KASI, M. - *Function Analysis, The Stepping Stones to Good Value*, Madison: University of Wisconsin Press, 1986.
- [26] STEVENS J. Methodical Design and Product Innovation in Practice. In: International conference on engineering design. *ICED '93*. The Hague, august 17-19, 1993.
- [27] STREB R., *Re-design de uma chanfradeira*. Design de máquinas especiais, LDP/DI-SC Laboratório Associado CADDI Centro de Aperfeiçoamento de docentes de Desenho Industrial, MCT CNPQ 1986 Assessoria Editorial Brasília DF.
- [28] SUIKO M. & TUOKKO R. Integration of DFA in the R&D and Product Design Process. International Conference on Engineerin Design. *ICED'93*. The Hague, August 17-19, 1993.
- [29] TAGUCHI, G.: *Introduction to Quality Engineering - Designing Quality into Products and Process*. UNIPUB/ Quality Resources, New York, 1986.
- [30] ZÜST R., PLÖTZ J. & CADUFF G. Considerations of Enviromental Aspects in Product Design. In : Internacional Conference on Engineering Design, *ICED 95*. Praha, August 22-24, 1995.