

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR CRISTIANO DOS SAN-
TOS MACHADO E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 24/07/97.


ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Contribuição ao Estudo da Metodologia e Morfologia do Projeto Mecânico

Autor: **Cristiano dos Santos Machado**
Orientador: **Franco Giuseppe Dedini**

07/97

M119c

32276/BC

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO**

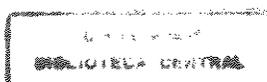
Contribuição ao Estudo da Metodologia e Morfologia do Projeto Mecânico

**Autor : Cristiano dos Santos Machado
Orientador: Franco Giuseppe Dedini**

Curso: Engenharia Mecânica.
Área de concentração: Mecânica dos Sólidos e Projeto Mecânico

Dissertação de Mestrado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Campinas, 1997
S.P. - Brasil



66472745

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Contribuição ao Estudo da Metodologia e Morfologia do Projeto Mecânico

Autor : Cristiano dos Santos Machado

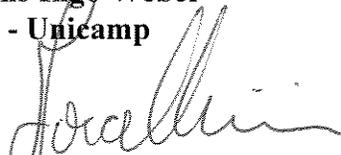
Orientador: Franco Giuseppe Dedini



**Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini, Presidente
DPM - FEM - Unicamp**



**Prof. Dr. Hans Ingo Weber
DPM - FEM - Unicamp**



**Prof. Dr. Fernando A. Forcellini
EMC - Universidade Federal de Santa Catarina**

Campinas, 24 de julho de 1997

Dedicatória:

Dedico este trabalho a meu pai que é um espelho para minha formação e minha mãe que sempre me apoiou a cada etapa da minha vida.

Agradecimentos

A minha esposa Sybile pela compreensão e apoio durante os momentos mais difíceis deste trabalho.

Ao meu orientador Franco Dedini, amigo e entusiasta, pela oportunidade e toda confiança depositada.

Aos professores Katia Cavalca e Rodmar Cardinali por todas as discussões e idéias apresentadas.

Aos professores da Universidade Federal de Santa Catarina: André Ogliari, Nelson Back, Fernando Forcelini e Acíres Dias pelas sugestões e apoio oferecidos a este trabalho.

Aos alunos do curso EM 964 Projeto de Sistemas Mecânicos que testaram o programa.

As empresas: Sharp do Brasil na pessoa do seu gerente de Desenho Industrial C. Rondeico e Flag Comercial Ltda., que se dispuseram a discutir a metodologia por eles utilizada em seus desenvolvimentos.

Aos funcionários do Departamento de Projeto Mecânico e Faculdade de Engenharia Mecânica que direta ou indiretamente colaboraram no desenvolvimento deste trabalho.

Finalmente a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo apoio financeiro, sem o qual este trabalho não teria sido realizado.

A tempo de nascer e tempo de morrer,
A tempo de matar e tempo de sarar,
A tempo de chorar e tempo de rir,
A tempo de dar abraços e tempo de se afastar deles,
Tudo tem seu tempo.

Ecl. 3, 1-8

Sumário

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. A Evolução da Produção Industrial..... | 1 |
| 1.2. O Computador na Atividade de Projeto..... | 4 |
| 1.3. Os Desafios da Indústria Brasileira..... | 6 |
| 1.4. Justificativas..... | 6 |
| 1.5. Objetivos deste Trabalho..... | 7 |
| 1.6. Conteúdo deste Trabalho..... | 7 |
| 2. METODOLOGIAS DE PROJETO - UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 10 |
| 2.1. A Filosofia do Projeto de Produtos Industriais..... | 10 |
| 2.2. Metodologia de Caráter Geral..... | 11 |
| 2.2.1. Estudo de Viabilidade..... | 13 |
| 2.2.2. Projeto Preliminar..... | 17 |
| 2.2.3. Projeto Detalhado..... | 18 |
| 2.2.4. Planejamento da Produção..... | 19 |
| 2.3. A Metodologia Segundo Vários Autores..... | 20 |
| 2.3.1. Metodologia segundo Asimow..... | 22 |
| 2.3.2. Metodologia segundo Ertas e Jones..... | 24 |
| 2.3.3. Metodologia segundo Blanchard & Fabricky..... | 25 |
| 2.3.4. Metodologia segundo Clausing..... | 27 |
| 2.3.5. Metodologia segundo Suh..... | 28 |
| 2.3.6. Metodologia segundo a VDI 2221..... | 31 |
| 2.3.7. Metodologia segundo Pahl e Beitz..... | 32 |
| 2.4. A Qualidade como atributo do Projeto..... | 33 |
| 2.4.1. A Utilização do QFD..... | 36 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.4.2. | A Casa da Qualidade | 38 |
| 2.5. | Sistemas Especialistas | 40 |
| 2.5.1. | O sistema proposto por Hundal | 41 |
| 2.5.2. | O sistema SADEPRO | 42 |
| 2.5.3. | O sistema proposto por OGLIARI (1995) | 43 |
| 2.6. | Conclusões..... | 44 |
| 3. | PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA A FASE CONCEITUAL DO PROJETO..... | 45 |
| 3.1. | O Modelo Proposto..... | 45 |
| 3.1.1. | Utilização da Metodologia..... | 46 |
| 3.2. | As Fases da Metodologia Proposta..... | 47 |
| 3.2.1. | Levantamento das Necessidades..... | 47 |
| 3.2.2. | Geração e Aperfeiçoamento das Concepções..... | 48 |
| 3.2.3. | Verificação dos Subsistemas | 48 |
| 3.3. | Método para Levantamento das Necessidades | 48 |
| 3.3.1. | Voz do Consumidor..... | 52 |
| 3.3.2. | Requisitos de Projeto | 56 |
| 3.3.3. | Relacionar Voz do Consumidor x Requisitos de Projeto | 58 |
| 3.3.4. | Análise Competitiva | 60 |
| 3.3.5. | Comparações técnicas..... | 61 |
| 3.3.6. | Correlação dos Requisitos de Projeto..... | 62 |
| 3.3.7. | Planejamento | 63 |
| 3.3.8. | Determinação das Metas..... | 64 |
| 3.4. | Método para Geração e Aperfeiçoamento de Concepções..... | 66 |
| 3.4.1. | Escolha de Critérios..... | 67 |
| 3.4.2. | Formar a Matriz..... | 68 |
| 3.4.3. | Esclarecer as Concepções | 69 |
| 3.4.4. | Escolher a Concepção de Referência (CR)..... | 70 |
| 3.4.5. | Executar a Matriz..... | 70 |
| 3.4.6. | Avaliar as Somas | 71 |
| 3.4.7. | Atacar os Negativos e Melhorar os Positivos..... | 72 |
| 3.4.8. | Entrar um Novo CR e Executar Novamente a Matriz | 72 |

| | |
|--|------------|
| 3.4.9. Interagir para alcançar a Concepção Vencedora | 72 |
| 3.5. Método para Determinar os Subsistemas | 73 |
| 3.6. Conclusões..... | 74 |
| 4. A IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DA METODOLOGIA | 75 |
| 4.1. Implementação do Programa..... | 76 |
| 4.1.1. Módulos do Programa | 77 |
| 4.2. As Fases do Programa..... | 81 |
| 4.2.1. Determinação das Entradas do Sistema..... | 81 |
| 4.2.2. Executar a Casa da Qualidade..... | 82 |
| 4.2.3. Verificação de Progresso | 91 |
| 4.2.4. Gerar e Aperfeiçoar Concepções..... | 91 |
| 4.2.5. Busca da Melhor Solução de Projeto | 95 |
| 4.2.6. Desdobramento da Função Qualidade para Subsistemas..... | 96 |
| 4.2.7. Apresentação das saídas do programa..... | 96 |
| 4.3. Conclusões..... | 97 |
| 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS | 98 |
| 5.1. Conclusões do Trabalho | 98 |
| 5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros..... | 99 |
| 6. BIBLIOGRAFIA..... | 101 |
| 6.1. Referências da Dissertação | 101 |
| 6.2. Referências de Projetos | 104 |
| 6.3. Referências de Programação Computacional | 107 |
| APÊNDICE A - GLOSSÁRIO..... | 108 |

Resumo

MACHADO, Cristiano dos Santos, *Contribuição ao Estudo da Metodologia e Morfologia do Projeto Mecânico*, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1997. 110 p. Dissertação (Mestrado)

Neste trabalho é feita uma revisão dos procedimentos e metodologias de projeto mais significativos, com a finalidade de estabelecer uma metodologia própria a utilização em sistemas computacionais. Desenvolvendo desta forma, um programa para auxílio à fase conceitual do projeto. Com o intuito de determinar as metodologias utilizadas, o trabalho identifica várias escolas e a relação existente entre as várias fases de projeto analisadas, assim, torna-se possível o desenvolvimento de uma metodologia de projeto passível de aplicação em sistemas computacionais. Este trabalho apresenta uma metodologia para desenvolvimento de projetos, voltada para trabalhos em equipes de projetistas e com morfologia aplicável a sistemas computacionais. São utilizados métodos de qualidade para a realização das várias fases da metodologia. A implementação da metodologia proposta ocorreu através do desenvolvimento de um programa utilizando linguagem visual orientada a objetos. Este programa foi desenvolvido em módulos independentes.

Palavras Chave

- Engenharia mecânica - Projetos; Máquinas - Projetos; Projetos - Avaliação; Qualidade dos produtos; Projeto assistido por computador.

Abstract

MACHADO, Cristiano dos Santos, *Contribution to the Study of Methodologies and Morphology of Mechanical Design Process*, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1997. 110 p. Dissertação (Mestrado)

This work proposes a review of most important design procedures and methodologies, with the aim of determine a methodology capable of be used in computational systems. In this way, it is possible to develop a software to aid in design conceptual phase. With the objective of determine the main used methodologies, this work identify some schools and the existing relationship among many analyzed phases of design. So, it is possible to develop a design methodology directed to computational systems. This work presents a methodology to design process, which has the characteristic to use design teams and a morphology to be used in softwares. It was used quality methods to execute many of the design phases. The implementation of proposed methodology occurred with the development of a software using object oriented visual language. This software was developed in modules, so it is possible to use independent modules as a single program.

Key Words

- Mechanical Engineering - Design; Machines - Design; Design - Evaluation; Product Quality; Computer aided design.

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 - Filosofia de projeto (ASIMOW, 1968)..... | 11 |
| Figura 2.2 - Primeira Fase - Estudo de Viabilidade | 15 |
| Figura 2.3 - Segunda Fase - Projeto Preliminar..... | 17 |
| Figura 2.4 - Terceira Fase - Projeto Detalhado..... | 18 |
| Figura 2.5 - Fluxograma de projeto proposto por ASIMOW (1968) | 22 |
| Figura 2.6 - Metodologia segundo Ertas e Jones(1993). | 24 |
| Figura 2.7 - Ciclo de vida do sistema (BLANCHARD e FABRYCKY, 1981)..... | 25 |
| Figura 2.8 - Metodologia segundo BLANCHARD e FABRYCKY (1981)..... | 26 |
| Figura 2.9 - Morfologia da metodologia proposta por CLAUSING (1993)..... | 28 |
| Figura 2.10 - Domínios do modelo axiomático..... | 30 |
| Figura 2.11 - Norma VDI 2221 | 31 |
| Figura 2.12 - Hierarquia do processo de projeto (PAHL e BEITZ, 1988)..... | 32 |
| Figura 2.13 - Metodologia estabelecida por PAHL e BEITZ (1988)..... | 33 |
| Figura 2.14 - Seleção do estilo certo para cada decisão (CLAUSING, 1993)..... | 35 |
| Figura 2.15 - Círculo de comunicação (CLAUSING, 1993)..... | 37 |
| Figura 2.16 - Casa da Qualidade | 39 |
| Figura 2.17 - Convergência interativa para uma concepção (PUGH, 1991)..... | 40 |
| Figura 2.18 - Fluxograma proposto por HUNDAL (1990) | 41 |
| Figura 2.19 - Metodologia do Sistema SADEPRO (FIOD-NETO, 1993) | 42 |
| Figura 2.20 - Metodologia Utilizada por OGLIARI (1995) | 43 |
| Figura 3.1 - Modelo geral da metodologia proposta | 46 |
| Figura 3.2 - Regiões da Casa da Qualidade..... | 49 |
| Figura 3.3 - Estrutura de desdobramentos do QFD | 50 |
| Figura 3.4 - A Voz do Consumidor | 56 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.5 - Requisitos de Projeto | 57 |
| Figura 3.6 - Matriz de Relacionamentos | 59 |
| Figura 3.7 - Análise Competitiva de Produtos | 60 |
| Figura 3.8 - Comparações Técnicas de produtos..... | 61 |
| Figura 3.9 - Telhado | 62 |
| Figura 3.10 - Cálculo dos Valores de Importância..... | 63 |
| Figura 3.11 - A Casa da Qualidade preenchida | 65 |
| Figura 3.12 - Método de Avaliação e Concepção de PUGH (1991) | 67 |
| Figura 3.13 - Estabelecimento dos critérios para o MACP | 68 |
| Figura 3.14 - Posicionamento das concepções | 69 |
| Figura 3.15 - Escolha da CR..... | 70 |
| Figura 3.16 - Matriz de seleção preenchida..... | 71 |
| Figura 3.17 - Desdobramento para os subsistemas..... | 73 |
| Figura 4.1 - Morfologia do programa..... | 78 |
| Figura 4.2 - Distribuição do programa | 78 |
| Figura 4.3 - Interface gráfica do programa Virgilio | 79 |
| Figura 4.4 - Módulo de QFD..... | 80 |
| Figura 4.5 - Programa <i>Echo!</i> | 80 |
| Figura 4.6 - Módulo de QFD: Voz do Consumidor | 84 |
| Figura 4.7 - Módulo de QFD: Requisitos de Projeto..... | 86 |
| Figura 4.8 - Módulo de QFD: Matriz de Relacionamentos | 87 |
| Figura 4.9 - Módulo de QFD: Cálculo da Importância | 89 |
| Figura 4.10 - Módulo de QFD: Determinação das Metas | 89 |
| Figura 4.11 - Módulo de QFD: A Casa da Qualidade preenchida..... | 90 |
| Figura 4.12 - <i>Echo!</i> : Matriz de Seleção..... | 93 |
| Figura 4.13 - <i>Echo!</i> : Seleção da CR..... | 94 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 2.1 - Ciclo do Consumidor-Produtor-Consumidor BLANCHARD e FABRYCKY (1981)..... | 27 |
| Tabela 2.2 - Sumário do processo das decisões de projeto (CLAUSING, 1993)..... | 35 |
| Tabela 3.1 - Sumário dos passos da Casa da Qualidade | 51 |
| Tabela 3.2 - Atividades para obtenção da VC | 53 |
| Tabela 3.3 - Nível de importância das necessidades do consumidor..... | 56 |
| Tabela 3.4 - Valores de relacionamento..... | 58 |
| Tabela 4.1 - Atividades e Módulos | 81 |

Nomenclatura

Subscritos

i - linha

j - coluna

Abreviações

AC - Análise competitiva

CAD - Computer aided design

CADD - Computer aided design and draft

CAE - Computer aided engineering

CAM - Computer aided manufacturing

CR - Concepção de referência

CT - Comparação técnica

HoQ - House of quality

I - Conteúdo de informação

IR - Importância relativa

MACP - Método de avaliação e concepção de PUGH

MC - Matriz de correlação

MP - Matriz de projeto

NC - Necessidade do consumidor

P_i - Peso da coluna i

p_i - probabilidade de PP_i satisfazer RF_i

P&H - Panhard e Levassor

PP - Parâmetro de projeto

QFD - Quality function deployment

RF - Requisito funcional

RP - Requisitos de projeto

SE - Sistema especialista

VC - Voz do consumidor

VI - Valor de importância

VP - Variáveis de processo

VR_{ij} - Valor de relacionamento da linha *i* com coluna *j*

Capítulo 1

Introdução

1.1 A Evolução da Produção Industrial

Com a repetibilidade alcançada pelas máquinas, o formato e a composição dos produtos industrializados, raramente carregam alguma indicação da participação ou personalização da pessoa que o fez. Por esta razão, muitas vezes eles parecem assumir uma vida própria, sendo na verdade manifestações de um processo de criação humana.

No entanto, o projeto de um produto é um processo de criação, invenção e definição que deve ser integrado aos meios de produção e capaz de múltiplas reproduções por meios mecânicos. Sendo portanto, ligado especificamente ao desenvolvimento da industrialização e mecanização que começou com a Revolução Industrial, na Inglaterra.

A reprodução por meios mecânicos, na realidade, foi anterior a Revolução Industrial. Antes do apogeu do Império Romano a civilização Etrusca era marcada pela produção seriada de vasos e lâmpadas a óleo, produção esta, exportada para todas as regiões próximas ao mediterrâneo. Situação semelhante foi observada durante o último período medieval quando começava a organização de uma sociedade industrial capitalista, baseada nos meios de produção semi artesanais.

HESKETT (1980) aponta Josiah Wedgwood, um fabricante inglês de louças, como um dos inovadores da fabricação artesanal. Wedgwood era um empreendedor com perspectivas, que percebeu a existência de um grande mercado potencial para louças de baixo custo e criou inovações na produção que culminaram na queda do custo. Uma das fábrica construída por ele

foi planejada para a aplicação de utensílios mecânicos, divisão do trabalho e tempos-padrão, com uma grande produção exigindo mercado intensivo.

Com a Revolução Industrial, no século XIX, a distância entre a produção artesanal e a industrial cresceu ainda mais, assim como a distância entre o criador e o executor do produto.

Cabe ressaltar que a introdução do vapor não trouxe mudanças imediatas nas técnicas para todos os campos. HESKETT aponta grandes mudanças na indústria têxtil, mas em outras indústrias como a moveleira, armas e jóias os trabalhos ainda eram em sua essência manuais, com uma larga introdução da mecanização apenas no início do século XX.

Como exemplo disto WOMACK (1992) apresenta a produção de automóveis no final do século XIX. Conta-se que em 1894, S. Ex.^a Evelyn Henry Ellis, um rico membro do Parlamento Inglês foi o primeiro inglês a possuir um veículo automotor. Por não existirem nesta época fábricas inglesas que montassem carros, o senhor Ellis encomendou seu automóvel à renomada fábrica francesa de máquinas ferramentas Panhard e Levassor (P&L), que em 1894 era a principal companhia automobilística do mundo.

A fábrica P&L apresentava um clássico sistema de produção artesanal. Sua força de trabalho compunha-se, na maior parte, de artesãos habilidosos, montando cuidadosamente à mão um pequeno número de carros.

No entanto, após a Primeira Guerra Mundial, devido às grandes modificações introduzidas no cenário da produção de bens de consumo, este sistema de produção foi quase extinto.

A guerra proporcionou uma grande expansão da capacidade produtiva dos EUA, que foi convertida, após 1918, em uma explosão de consumo. Neste cenário Henry Ford realizou suas primeiras tentativas daquele que veio a ser denominado “Sistema de Produção em Massa”.

Com o crescimento da produção em massa, baseada em investimento maciço de capital, houve uma busca constante por métodos para a diminuição dos custos e aumento das vendas. A padronização e a racionalização melhoraram os meios de produção e novos materiais proporcionavam redução de custos.

Em 1927, no entanto, uma recessão começou a mudar o contexto. Muitas indústrias pequenas faliram ou fecharam, acentuando a disputa entre as grandes empresas. Com o “*Crash*” em Wall Street em 1929 e a “Grande Depressão”, as pressões competitivas entre as empresas que sobreviveram eram muito intensas.

Foi neste ambiente que uma nova geração de projetistas surgiu. Oriundos de vários campos utilizavam métodos e técnicas diversas. Como resultado de seus trabalhos, o projeto foi reconhecido como parte essencial da atividade industrial e comercial.

Após a Segunda Guerra Mundial, houve um grande desenvolvimento do projeto no mundo. Depois do conflito, a indústria encontrou-se em situação de assumir o grande desenvolvimento tecnológico das técnicas, dos materiais e dos métodos desenvolvidos pela empresa bélica (MANÁ, 1979).

A Guerra Fria, com origem nas disputas ideológico-econômicas entre os países capitalistas e o novo bloco de países socialistas que surgiu no contexto mundial, gerou uma grande corrida pelo desenvolvimento bélico e trouxe consigo vários produtos com grande complexidade (HOBSBAWM, 1996).

A Corrida Espacial, fruto direto do conflito entre estes blocos econômicos, necessitava de produtos complexos de difícil gerenciamento, assim, as empresas espaciais necessitaram criar métodos de projeto e fabricação capazes de gerenciar tamanha complexidade.

Ao mesmo tempo, o Japão saía da Segunda Guerra Mundial derrotado. Seu grande parque industrial foi completamente destruído, mas o país possuía um longo histórico de industrialização e produção, acrescentando a isto uma população altamente qualificada e com um alto grau de obediência, estando disposta a reconstruir o país. Neste cenário surge os EUA como um interventor, coordenando as atividades industriais que iriam colocar o Japão na liderança da produção de bens de consumo no decorrer da década de 80/90 (HOBSBAWM, 1996).

Neste cenário do pós-guerra ocorreram as maiores mudanças no desenvolvimento dos produtos industriais, sobre tudo em bens de consumo.

As três décadas que seguiram à Segunda Guerra Mundial podem ser denominadas as “Décadas de Ouro” da humanidade. Houve um grande progresso social e a população mundial, sobre tudo dos países desenvolvidos, teve seu padrão de vida elevado, desta forma a indústria pode contar com uma sociedade de consumo em massa. HOBBSAWM afirma que esta sociedade, que se caracterizava pelo alto grau de informação possibilitado pelos novos meios de comunicação, passou a gerar uma demanda por uma diversidade de produtos com aplicação de inovações tecnológicas.

Isto causou uma drástica diminuição dos ciclos de vida dos produtos, que vêm diminuindo aceleradamente desde 1950 (WOMACK, 1992). Desta forma, produtos são lançados no mercado cada vez mais rápido e com maior grau de inovação tecnológica. Por sua vez a sociedade faz pressão para diminuição destes ciclos, comprando os produtos com tecnologia de ponta no mercado. Assim as empresas se vêm obrigadas a projetarem seus sistemas em tempos cada vez menores e com utilização de tecnologia de ponta.

Observando estes aspectos as indústrias produtoras de bens de consumo passam a necessitar de metodologias capazes de administrar de forma efetiva a criação e fabricação de novos produtos. Só assim conseguirão disponibilizar rapidamente no mercado altamente competitivo suas inovações.

1.2 O Computador na Atividade de Projeto

O processo de projeto é algo evolutivo, sendo característico da sociedade onde é realizado e dos meios de produção existentes. No entanto, uma característica é comum a todos produtos de produção em larga escala: o grande volume de informações necessárias para a sua execução. A informática é hoje a grande aliada do processo de projeto e a tecnologia atual vem tornar possível o trabalho com grandes volumes de informação.

Além disto a informática veio facilitar também as atividades diretamente ligadas à área de projeto. Muitas ferramentas computacionais surgiram para dar apoio e acelerar todo o processo de criação.

Os programas voltados a *Computer Aided Manufacturing* (CAM) geram códigos para ferramentas de controle numérico (CNC). São sistemas normalmente integrados a plataformas

para desenho do produto, podendo executar o produto diretamente do desenho. Apresentam grande vantagem na redução do tempo entre criação e produção de um produto.

Entende-se por programas de *Computer Aided Engeneering* (CAE) aqueles que auxiliam todo o desenvolvimento. São programas que irão fazer desde modelagem matemática até a simulação do comportamento do sistema quando submetido às mais variadas situações, segundo as soluções de engenharia propostas.

As ferramentas de CAE mais recentes são as de simulação virtual de protótipos. Estas são na realidade pacotes de vários programas especializados e interligados. Um sistema destes possui ferramentas como sistemas de carregamentos dinâmicos, análise de durabilidade, otimização, análise de manutenibilidade e confiabilidade, entre outras para projetos mais específicos.

Os programas de *Computer Aided Design* (CAD) possibilitam o desenho por computador, facilitando futuras alterações e quando integrados a outros sistemas são apenas o primeiro passo para a fabricação de um produto. O CAD já é utilizado amplamente pelos engenheiros como ferramenta para a criação. Com a evolução das tecnologias de informação surgem os programas denominados *Computer Aided Design and Draft* (CADD), que são programas que vão além do simples desenho (*Draft*), participando do próprio processo de projeto (*Design*).

Neste mesmo contexto, muitas ferramentas próprias para o tratamento de imagens vêm sendo lançadas no mercado. Estes novos programas permitem animação e modelagem tridimensional, podendo realizar animação de objetos de acordo com leis físicas (gravidade, densidade, elasticidade). A sua utilização permite a simulação e a visualização de seus resultados, sendo uma grande ferramenta para a interface de saída de dados.

Uma vez que o modelo econômico atual caminha para um novo paradigma, onde o elemento chave é a individualização em massa, esta nova tecnologia leva ao caminho do servir bem o cliente. Os novos produtos irão se adequar às necessidades de seus compradores. Já existem exemplos de fábricas que possuem sua estrutura voltada para este novo conceito, como no Japão, onde algumas indústrias de bicicletas fabricam um modelo totalmente personalizado em duas semanas.

1.3 Os Desafios da Indústria Brasileira

Os aspectos discutidos até aqui apresentam grande relação com a realidade presente em países de mercado de consumo extensivo com indústrias fortes. Porém, quando temos como referência a realidade da indústria brasileira algumas considerações devem ser feitas.

A indústria brasileira hoje está exposta a produtos estrangeiros, que entram no mercado com preços competitivos e inovações tecnológicas. Com o início da abertura do mercado brasileiro, muitas indústrias não foram capazes de superar a concorrência e gerar novos produtos de forma competitiva. Conseguir manter-se competitiva dentro de um mercado que vem sofrendo rápidas alterações, é o grande desafio à indústria hoje, segundo COUTINHO (1995).

A indústria deve ter a capacidade de administrar e gerar novos produtos, destinados ao mercado interno ou externo. Para isto COUTINHO (1995) afirma a necessidade de sua capacitação administrativa através de geração de metodologias adaptadas à realidade da produção brasileira.

A este desafio aglomeram-se muitos outros, como políticas governamentais sólidas e duradouras que possibilitem o planejamento a longo prazo e investimentos em áreas de produção, melhorias administrativas e capacitação criativa.

1.4 Justificativas

Buscando realizar uma análise do ensino do projeto mecânico, em sua forma e conteúdo BONSIEPE (1986) advoga que:

“De um modo geral, considera-se o projeto de máquinas como tarefa exclusiva das ciências da engenharia, uma concepção que do ponto de vista atual precisa ser encarada como pré-moderna e ultrapassada. A justificada (e imprescindível) ênfase à eficiência física de uma máquina propicia a necessária, porém não suficiente, condição para poder atribuir a um objeto moderno o termo “produto técnico”.

Com esta afirmativa, seu autor procura estabelecer a necessidade de alterações na forma atual do ensino do projeto mecânico e a forma como é concebido. Além da necessária ênfase à

eficiência física é primordial acrescentar novos valores ao desenvolvimento de produtos industriais. BONSIEPE defende assim uma “modernização do projeto”.

Dentro de uma nova concepção de projeto, a gerência da sua criação torna-se mais complexa, exigindo métodos desenvolvidos com o fim de melhor administrar as informações e atividades de projeto. Colaborando assim, de forma produtiva, no aumento do valor intrínseco associado ao produto.

Portanto, é justificada e imprescindível, a valorização do estudo e desenvolvimento de metodologias de projeto. O caminho passa pelo conhecimento daquilo que é desenvolvido para propor novas alternativas, tanto para utilização pelas indústrias, como no ensino universitário, assim atingindo níveis superiores na qualidade da formação do profissional da área.

1.5 Objetivos deste Trabalho

Este trabalho aborda a fase conceitual do desenvolvimento de produtos e dentro deste ambiente seu objetivo é apresentar as metodologias de projeto utilizadas. O interesse principal recaiu sobre aquelas empregadas em ambientes industriais e apresentadas como solução para problemas atuais do projeto mecânico.

Uma vez bem estabelecidas, foi desenvolvido um programa computacional que sintetizará estes processos. Este foi desenvolvido em linguagem *Visual Basic*, devido a sua característica de interface gráfica amigável, utilização em ambiente Windows e a capacidade de gerenciar múltiplos bancos de dados, arquivos de texto e cálculo. Será distribuído a instituições de ensino e indústrias, servindo como ferramenta para a fase conceitual do desenvolvimento do projeto.

1.6 Conteúdo deste Trabalho

O **Capítulo 2** apresenta uma revisão bibliográfica do tema Projeto de Sistemas Mecânicos. Após estabelecer um modelo geral para o projeto e as principais fases que o constituem, são discutidos os enfoques apresentados por vários autores para metodologias empregadas na fase conceitual do projeto. Na seqüência são discutidos fatores e atributos de qualidade associados ao projeto. Além disto são discutidos alguns resultados apresentados na

literatura para o desenvolvimento de metodologias com utilização em sistemas computacionais.

Este capítulo delimita o campo do projeto de sistemas mecânicos. Desta forma é possível determinar o escopo onde este trabalho apresenta sua contribuição. O espaço aqui analisado será a base para o desenvolvimento de uma metodologia de projeto, apresentada no próximo capítulo.

O **Capítulo 3** apresenta uma proposta de metodologia de projeto. Esta metodologia tem como base o levantamento bibliográfico e discussões apresentadas no capítulo anterior. Os métodos utilizados para a realização de cada fase da metodologia são apresentados e discutidos. Desta forma, este capítulo delimita uma metodologia aplicável a fase conceitual do projeto.

O **Capítulo 4** apresenta a forma como a proposta de metodologia de projeto apresentada no capítulo anterior foi implementada em um sistema computacional para apoio a fase conceitual do projeto.

O **Capítulo 5** apresenta as conclusões deste trabalho bem como perspectivas e sugestões que surgem para trabalhos futuros.

A **Bibliografia** está dividida em: Referências da Dissertação, são as referências apresentadas no texto desta dissertação; Referências Complementares em Projeto, são referências utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho, sem no entanto serem apresentadas diretamente no texto, sendo de grande utilidade a quem pretende realizar pesquisas nesta área; Referências de Programação Computacional, são referências a programação computacional que foram utilizadas para a construção do programa.

O **Apêndice A** apresenta um glossário de termos utilizados no campo do projeto e desenvolvimento. Para uma melhor compreensão dos termos utilizados neste trabalho é recomendada a leitura do **Apêndice A**, onde os termos encontrados na literatura, muitas vezes de forma conflitante são discutidos. Este conflito surge uma vez que o desenvolvimento de produtos industriais é um ramo da ciência que apresenta pesquisas muito recentes, portanto sua terminologia está em formação.

Os termos utilizados neste trabalho são coerentes com as definições apresentadas neste apêndice.

Capítulo 2

Metodologia de Projeto - Uma Revisão Bibliográfica

2.1 A Filosofia do Projeto de Produtos Industriais

O projeto de produtos industriais não deve ser uma atividade empírica, mas deve estar balizado por um conjunto de normas. ASIMOW (1968) afirma esta proposição ao propor a elaboração de uma filosofia para o projeto de engenharia.

Para tanto é necessário selecionar princípios e conceitos que sejam úteis e que possam dar origem a uma disciplina de projetos. Um segundo elemento deve ser formulado. É necessário estabelecer uma metodologia pela qual a disciplina de projetos possa ser aplicada no sentido mais geral, uma vez que uma filosofia que não resulte em ação é estéril: torna-se um exercício sem conseqüências. A determinação desta metodologia é apresentada como a principal problemática da disciplina. Além disto necessita-se estabelecer um terceiro elemento, que exerça a função de avaliação elaborando uma regra geral de criticismo que resulte num meio para medição da validade e do valor dos resultados, em aplicações específicas. Estabelecendo estes elementos ASIMOW (1968) delimita a filosofia de projeto.

De acordo com estes princípios uma filosofia de projeto de engenharia deve compreender três partes principais:

- Um conjunto de princípios consistentes e suas derivações. Engloba as disciplinas que fornecem apoio ao desenvolvimento de projetos dentro desta filosofia;
- Uma disciplina operacional que resulta em ação. O conjunto de práticas realizadas para a obtenção de resultados, no campo onde a filosofia se aplica, é o corpo desta disciplina operacional. O resultado do seu estabelecimento será uma metodologia de projeto;

- Um instrumento de crítica que avalia as vantagens, identifica as falhas e indica as direções de aperfeiçoamento da disciplina operacional ou metodologia aplicada no desenvolvimento do projeto.

A figura 2.1 apresenta o relacionamento dos elementos constitutivos da filosofia de projeto.

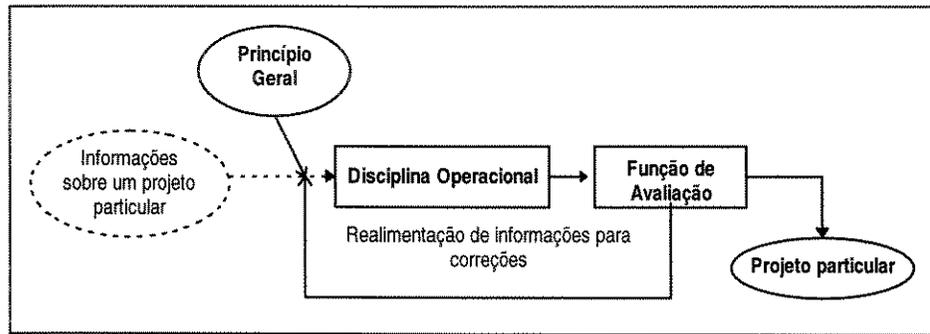


Figura 2.1 - Filosofia de projeto (ASIMOW, 1968)

O conjunto de informações delimitadas pelo princípio geral em conjunto com informações referentes ao projeto ao qual a filosofia será aplicada irá fornecer informações para uma disciplina operacional. Através da metodologia presente nesta disciplina operacional soluções para o projeto serão determinadas. A função de avaliação irá de forma crítica fornecer informações para melhorar o projeto ou apresentá-lo como solução final.

O próximo item aborda um dos aspectos da filosofia de projeto: o conjunto das disciplinas de projeto ou metodologia de projeto. O item estabelece a metodologia de projeto de uma forma geral, isto é, os aspectos comuns a várias metodologias. A metodologia geral apresentada no próximo item representa uma visão centrada nas atividades do projeto.

2.2 Metodologia de Caráter Geral

Tomando como foco as metodologias de projeto delimitadas no item anterior, pode-se buscar características globais as várias metodologias de projeto, alguns modelos podem ser estabelecidos.

A metodologia aqui apresentada está focalizada nas atividades de projeto. Desta forma a importância maior é dada as atividades do projeto, resultando assim em uma metodologia que irá privilegiá-las. Adiante os passos são estabelecidos.

Para se obter bons resultados, independente de acasos, é necessário a adoção de metodologias no processo de criação. O objetivo de toda metodologia é apoiar o projetista no desenvolvimento do projeto. Para que isso seja possível algumas metas devem ser alcançadas:

- Desenvolver métodos de trabalho sistemático que possibilitem a determinação do maior número possível de novas soluções e o aprimoramento das soluções existentes de acordo com a formulação inicial do problema;
- Estabelecer critérios para a seleção das variantes elementares e conceituais em relação à sua otimização técnico-econômica;
- Estabelecer regras, diretrizes e parâmetros para a conformação construtiva, aplicação de elementos e o respectivo dimensionamento realizando assim um produto otimizado econômica e funcionalmente;
- Possibilitar a racionalização do processo construtivo;
- Compilar a informação sobre os campos de conhecimento antigos, aperfeiçoados e novos.

Assim a metodologia deve necessariamente:

- Ser geral, aplicável a vários campos, independentemente do ramo;
- Facilitar o trabalho, reduzir o tempo e assegurar uma cooperação ativa e interessante;
- Produzir soluções definidas e precisas e não ao acaso;
- Ser didática e facilmente absorvida;
- Promover criatividade e conhecimento, permitindo encontrar a solução otimizada.

O projeto de um componente ou sistema apresenta em cada caso características e peculiaridades próprias. Mas à medida que um projeto é iniciado e desenvolvido, desdobra-se em uma seqüência de eventos, numa ordem cronológica, formando um modelo, o qual quase sempre é comum a vários projetos (BACK, 1983).

A metodologia de caráter geral pode ser dividida em quatro fases principais:

- 1ª Fase - Estudo de viabilidade: Durante esta fase as necessidades do mercado são levantadas. Procura-se determinar as características necessárias ao produto para sua aceitação pelos consumidores. Além disto determina-se as necessidades econômico financeiras para a sua produção, alocando recursos que serão utilizados no decorrer de todo o processo. Nesta fase são levantadas as primeiras soluções do problema proposto.
- 2ª Fase - Avaliação do produto: As concepções apresentadas na fase anterior serão avaliadas segundo critérios estabelecidos. Nesta fase surgirão novas concepções e melhorias para as já estabelecidas. Com a sua conclusão a solução principal para o problema estará definida, podendo ainda apresentar conjuntamente um pequeno número de soluções alternativas.
- 3ª Fase - Detalhamento do produto: O produto delimitado na segunda fase será detalhado, as soluções propostas são avaliadas e se o projeto apresentar chances reais de sucesso será produzido.
- 4ª Fase - Execução do produto: As etapas necessárias a produção do projeto especificado são realizadas. Produções de pilotos, pré-série e produção em série ocorrem de acordo com a realidade do mercado e características do produto.

2.2.1 Estudo de Viabilidade

O processo de projeto terá seu início com a identificação das necessidades que o mercado apresenta e que o esforço de engenharia tem condições de suprir (ERTAS e JONES, 1994). Esta pode ser formulada na forma de uma proposição primitiva, apoiando-se em observações ainda não verificadas, ou pode ser elaborada numa proposição autêntica e sofisticada, baseada nos estudos de mercado e de consumo.

Ao refletir sobre o reconhecimento das necessidades ASIMOW (1968) afirma que a necessidade pode ainda não existir, mas deve ser evidente que esteja latente e possa ser evocada quando houver disponibilidade de meios econômicos para sua satisfação. Ela pode ser sugerida por uma realização técnica que torne possível os meios para a sua satisfação. Independentemente do modo pelo qual ela possa ser percebida, a sua existência econômica, latente ou corrente, deverá ser estabelecida com suficiente segurança, de modo a justificar a

mobilização dos fundos necessários para explorar a viabilidade do desenvolvimento dos meios para satisfazê-la.

Sendo assim, é necessário uma correta identificação do problema e das necessidades do mercado, pois as próximas etapas de desenvolvimento do projeto utilizarão as informações adquiridas nesta etapa inicial. Desta forma o produto final da atividade de projeto será uma resposta aos requisitos levantados nesta fase.

Existem dificuldades para se atingir a correta identificação das necessidades de mercado. Deve-se evitar o risco de determinar para os consumidores as necessidades que julgamos os mesmos possuem, isto é, evitar o risco de impor idéias ao mercado consumidor. BACK (1983) salienta o fato que a afirmação de uma necessidade pelo público consumidor não irá determinar a aceitação de um produto.

É necessário determinar as necessidades efetivas, ou seja, aquelas que deverão existir quando o produto estiver pronto para ser lançado no mercado, que pode ocorrer muitos meses depois. E ainda cabe questionar alguns aspectos na fase de determinação das necessidades:

- Como se modificará o gosto do consumidor?
- Quais serão as ofertas dos competidores?
- Qual será o clima econômico?

A figura 2.2 apresenta a morfologia para a primeira fase do desenvolvimento de projetos. Este fluxograma pode ser dividido em três grupos principais: levantamento das necessidades, conceituação e análise de viabilidade. A definição de conceituação é entendida como a determinação de soluções viáveis para aquelas necessidades encontradas na análise do mercado (ERTAS e JONES, 1994).

Existem várias técnicas desenvolvidas para se atingir um número de soluções viáveis e com chances de tornarem-se produtos de sucesso.

ULLMAN (1992) sugere duas técnicas de grande importância para conceber soluções para o problema em questão: Decomposição funcional e Determinação de soluções a partir das funções. Existem muitos métodos propostos para conceber soluções como: brainstorming

(ULLMAN, 1992; BACK, 1983; ERTAS e JONES, 1994), método morfológico, inversão, analogia, fantasia, empatia, sinergia, técnica da caixa preta (ASIMOW, 1968), soluções dos usuários, serviços, competidores e outras firmas (URBAN, 1993), patentes, livros de referência e revistas especializadas, consultas a especialistas (ULLMAN, 1992).

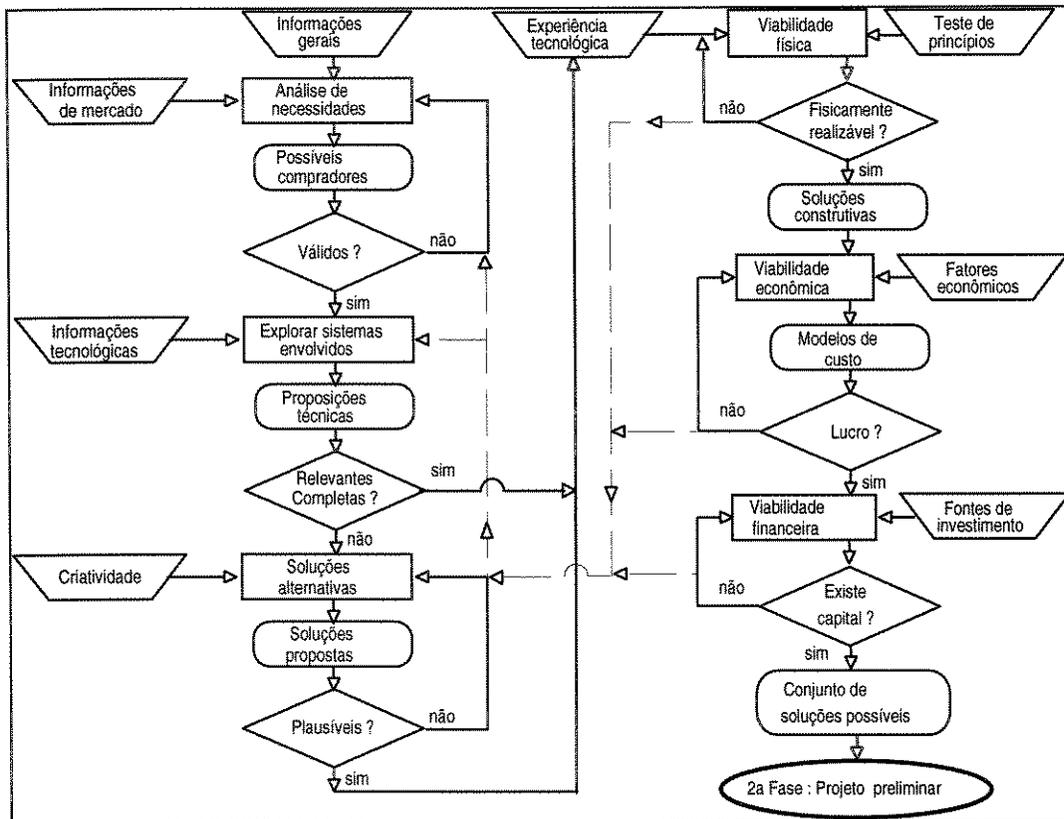


Figura 2.2 - Primeira Fase - Estudo de Viabilidade

De posse de um conjunto de soluções para as necessidades determinadas, deve-se filtrar e avaliar estas soluções através de um estudo de viabilidade física, econômica e financeira (BACK, 1983).

O objetivo do estudo de viabilidade é basicamente assegurar que o projeto, ao entrar na fase de detalhamento, será aceitável tanto técnica quanto economicamente. Este estudo irá sugerir alterações para as soluções encontradas, adequando-as aos aspectos já referidos.

Viabilidade Física:

Uma solução será a primeira vista: fisicamente viável, funcional sob condições ou aparentemente inviável (ULLMAN, 1992). Sendo necessário um estudo detalhado para

garantir a sua determinação. Esta avaliação é feita segundo os critérios técnicos estudados pelo engenheiro em sua formação.

Uma solução pode ser aparentemente inviável quando ao primeiro contato do observador, baseado na sua experiência, determina-se sua impossibilidade de funcionamento ou execução. Porém, isto não é suficiente para determinar a falência de uma idéia. É necessário determinar o porquê da sua inexecutabilidade física. Acima de tudo, deve-se evitar rejeitar uma idéia devido a sua inovação técnica, pois “existe uma tendência natural em preferir o tradicional à inovação” (ULLMAN, 1992).

Uma solução pode ser funcional sob condições quando para sua realização é necessário o cumprimento de uma condição específica, por exemplo, a solução funcionará se for implementado um avanço tecnológico específico.

E finalmente, a solução fisicamente viável é aquela que após estudos detalhados, sugestões de modificações e melhorias não apresenta problemas construtivos ou conceituais.

Viabilidade econômica:

Um objeto para ser tópico adequado de um projeto de engenharia deve passar em um teste de compensação econômica, isto é, deve ser de suficiente valor para compensar o esforço (ASIMOW, 1968). Valor tem uma conotação que é singularmente pessoal. A única medida objetiva encontra-se no mercado. Quando se pode aplicar este instrumento de medida, os resultados podem ser quantitativamente estimados e expressos em termos de dinheiro. Caso contrário, os valores permanecem subjetivos.

Segundo BUARQUE (1989), o projetista deve estar preparado e capacitado a avaliar os estados econômicos do produtor, distribuidor e consumidor, pois cada um deles possui interesses específicos e a adaptação do projeto a suas necessidades irá fornecer uma solução com provável viabilidade econômica.

Viabilidade financeira:

Um projeto pode apresentar méritos sob todos os pontos de vista e ser de um grande valor econômico, mas sua realização necessita de recursos econômicos não disponíveis (ASIMOW, 1968). O projeto deve ser examinado com relação a sua viabilidade financeira, antes que sejam feitas despesas substanciais com o seu trabalho. Pode ser que algumas das

soluções propostas acarretem mais demanda financeira que outras; algumas podem exigir maiores recursos financeiros do que os disponíveis e devem ser, por conseguinte, abandonadas.

2.2.2 Projeto Preliminar

A figura 2.3 apresenta a morfologia do projeto preliminar. Esta fase inicia-se com um conjunto de soluções úteis que foram desenvolvidas no estudo de viabilidade.

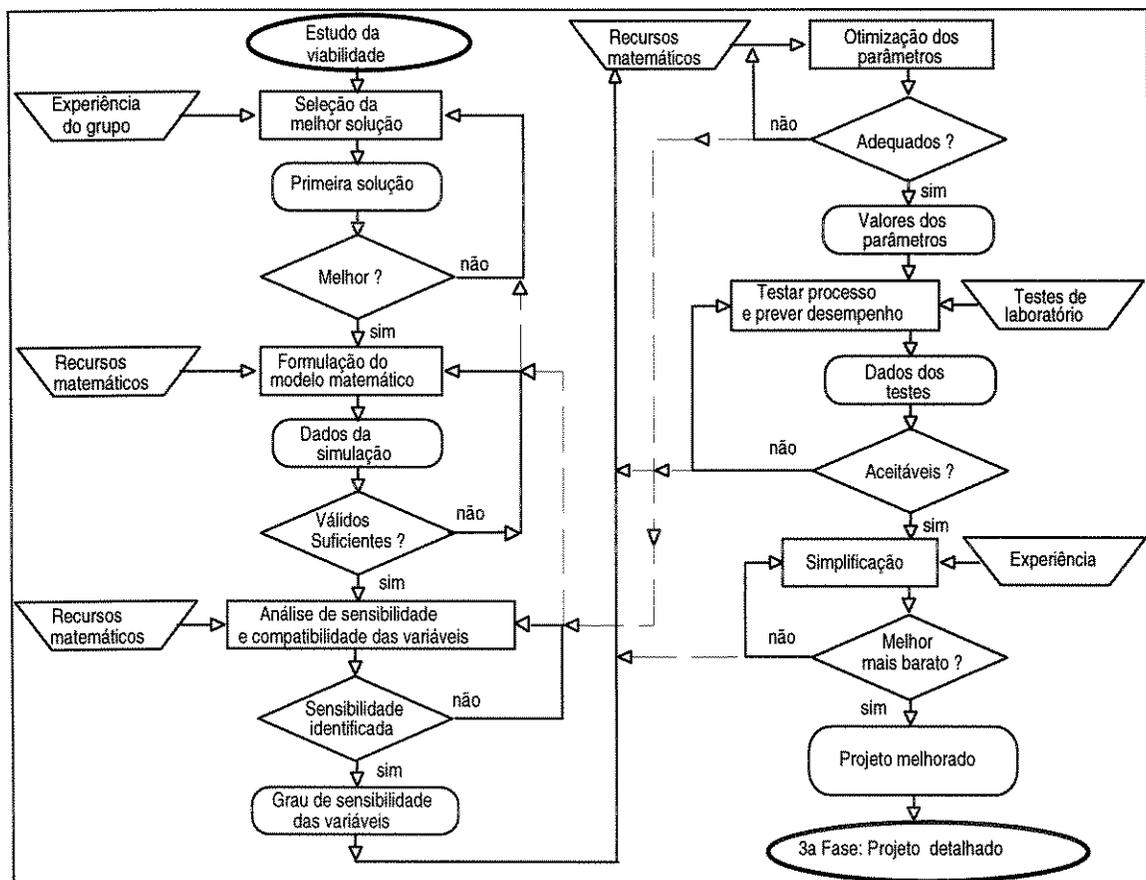


Figura 2.3 - Segunda Fase - Projeto Preliminar

O objetivo de um projeto preliminar é estabelecer qual das alternativas propostas apresenta a melhor concepção para o projeto. Cada uma das soluções alternativas fica sujeita à análise em ordem de grandeza, até que a evidência indique que uma delas é inferior a algumas ou superior a todas as outras. A solução escolhida é submetida a exames mais detalhados. Os estudos de síntese são iniciados para estabelecer, numa primeira aproximação, a extensão da faixa dentro da qual os principais parâmetros do projeto devem ser controlados (BACK, 1983; ASIMOW, 1968).

Em seguida, empreendem-se estudos do tipo projetivo, dirigido para as questões de como a solução se comporta com o tempo. As condições sócio-econômicas, tais como o gosto do consumidor, a oferta do competidor e a disponibilidade de matérias-primas podem ser modificadas; o estudo da arte técnica pode progredir (BACK, 1983). O tempo, muito provavelmente, reduzirá a qualidade do produto. O problema é saber com que rapidez a razão de obsolescência ou desgaste deve ser aceita como uma das considerações importantes de um projeto. Finalmente, os aspectos críticos do projeto devem ser verificados, a fim de se validar a concepção para o mesmo e de se fornecer as informações essenciais para suas fases posteriores.

2.2.3 Projeto Detalhado

A fase do projeto detalhado começa com a concepção desenvolvida no projeto preliminar. Seu objetivo é fornecer as descrições de engenharia de um projeto frutífero e verificado. Sua morfologia é apresentada na figura 2.4.

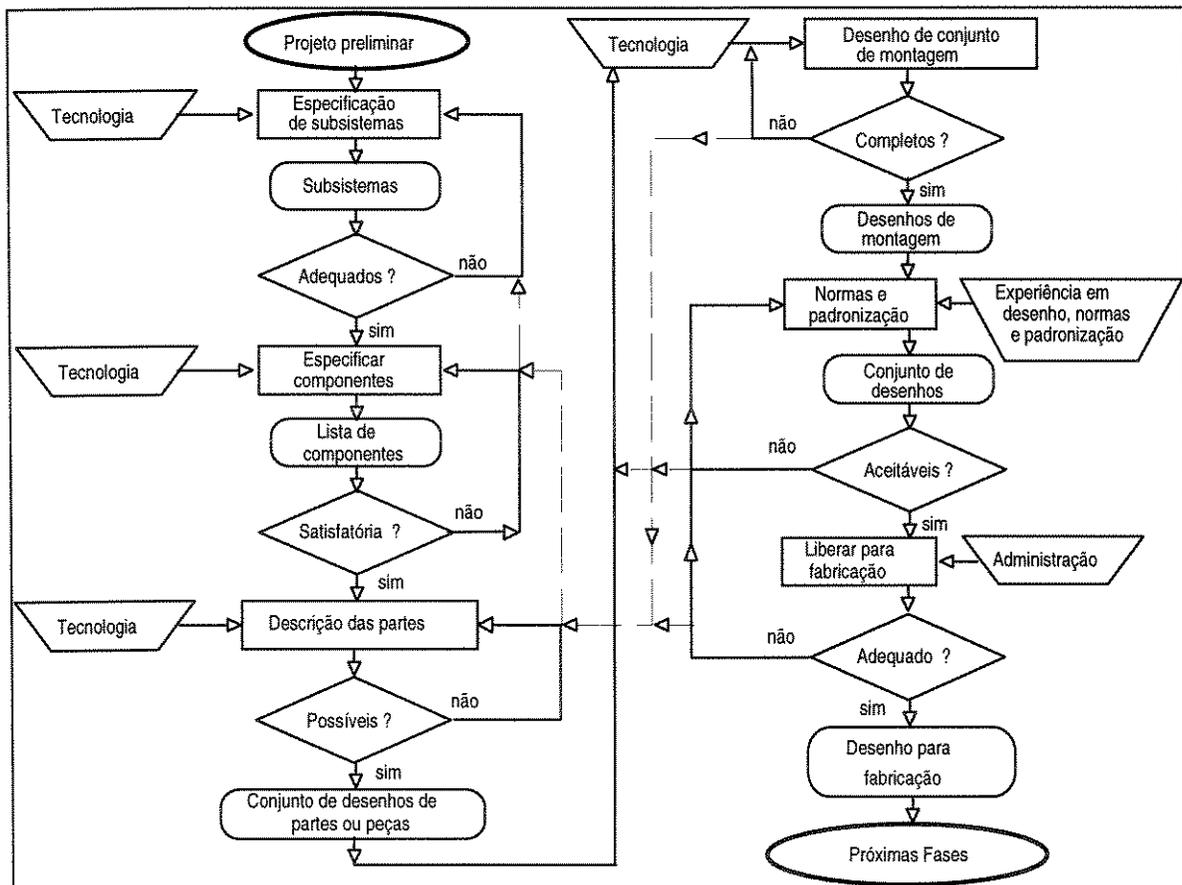


Figura 2.4 - Terceira Fase - Projeto Detalhado

Com a concepção para o projeto em mente e as informações preliminares em mão, consegue-se, provisoriamente, uma síntese geral. Nesta fase estabelece-se um programa do projeto a ser elaborado (BACK, 1983). Com este programa como base, o projeto detalhado ou especificações dos componentes são efetuados. Capacidades são determinadas exatamente, dimensões são calculadas, o desgaste é considerado, partes são detalhadas, etc. Assim todos os componentes são sintetizados, testados e modificados de acordo com o requerido e a máquina ou sistema torna-se inteiramente desenvolvido, completamente detalhado e claramente descrito, ou seja, chega-se a um produto fabricável.

2.2.4 Planejamento da Produção

Enquanto as fases anteriores situavam-se praticamente na esfera de um engenheiro projetista, grande parte da fase presente tem sua responsabilidade compartilhada com outros setores da administração. Uma nova série de experiências técnicas, concernente a projetos de ferramentas e engenharia de produção, entram em jogo; o grupo projetista, original, contudo, deve continuar representando seu papel de liderança. A decisão sobre a produção de um determinado produto envolve, freqüentemente, um compromisso econômico enorme. O grau de confiança no sucesso do produto deve ser muito alto, a fim de apoiar uma decisão definida. A fase do planejamento de produção envolve muitas pessoas que modificarão, em forma e detalhe, de acordo com a indústria.

BACK (1983) sugere a seguinte lista típica de indústrias de produção em massa para as atividades de planejamento de produção:

1. Planejamento detalhado dos processos de fabricação de acordo com as exigências de todas as partes, submontagens e montagem final;
2. Projeto de ferramentas e gabaritos;
3. Planejamento, especificação e projeto de nova produção e mesmo de novas instalações da fábrica;
4. Planejamento do sistema de controle da qualidade;
5. Planejamento para o pessoal da produção;

6. Planejamento do controle de produção;
7. Planejamento do sistema de fluxo de informações;
8. Planejamento financeiro.

No item 2.2 apresentou-se a metodologia de projeto com características amplas, abrangendo várias áreas do projeto, porém a filosofia deste item está focalizada nas atividades. No próximo item é apresentado um enfoque geral, porém centrado no ciclo de vida do produto. Este modo de perceber a realidade do projeto é voltado para a engenharia simultânea e surge como uma solução para as necessidades atuais.

2.3 A Metodologia Segundo Vários Autores

Existem várias metodologias propostas na literatura. Muitos autores desenvolveram seus trabalhos de forma paralela, surgindo assim soluções muito próximas, por vezes divergindo apenas em aspectos morfológicos. Numa tentativa de organizar estas metodologias YOSHIKAWA (1993) propõem uma divisão em escolas, agrupando assim as metodologias segundo premissas básicas que as compõem. Sua divisão é feita em cinco escolas: Escola Semântica, Escola Sintática, Escola Historicista, Escola Filosófica e Escola Psicológica.

Segundo YOSHIKAWA (1993), o dogma central da Escola Semântica é que qualquer máquina é um objeto de projeto, é algo que transforma as entradas de três tipos básicos: substância, energia e informação em saídas dos três tipos respectivos, que possuem diferentes estados das entradas. A diferença entre os dados de entrada e saída são denominados funcionalidades. Os requisitos iniciais são dados em forma de funcionalidades.

O projeto inicia com esta funcionalidade, que será analisada segundo uma estrutura lógica, que fornece conexão entre as sub-funcionalidades. Depois de decompor a função inicial em subfunções simples o suficiente, o projetista substitui cada uma das funções por efeitos físicos que realizarão a transformação específica. Muitas pesquisas enquadram-se nesta escola, principalmente na Alemanha e Suíça.

A definição da Escola Semântica é próxima à definição lingüística do termo. De fato, a filosofia desta escola aproxima-se de um estudo semântico do projeto, onde os vários

elementos do produto são divididos e a compreensão dos menores elementos poderá fornecer a compreensão do produto como um todo.

A Escola Sintática é a próxima divisão proposta por YOSHIKAWA (1993), para estruturar as metodologias de projeto. Nesta escola mais atenção é dada aos aspectos procedurais no desenvolvimento do projeto que aos objetos da ação, isto é, aos produtos projetados. Pode-se dizer que um aspecto dinâmico ou temporal é abstraído do projeto, negligenciando os aspectos estáticos, que foram enfatizados na Escola Semântica. YOSHIKAWA (1993) apresenta ASIMOW (1968) como um dos fundadores desta escola.

Novamente a definição desta escola surge da lingüística. Enquanto a semântica está associada ao estudo dos vocábulos a sintática está associada ao estudo das leis que ordenam estes vocábulos. Desta forma a escola semântica de projeto irá estudar o produto em si, enquanto a escola sintática terá nas atividades de projeto, que darão origem aos produtos, o seu objeto de estudo.

Como pode ser percebido, esta filosofia não é contraditória à Escola Semântica. Ao contrário, estas indicam dois aspectos importantes do projeto, respectivamente, que possuem características estáticas e dinâmicas. Por conseqüência, ambas serão combinadas para atingir melhores metodologias. Neste sentido apresenta destaque o trabalho realizado por PAHL e BEITZ (1988).

A metodologia da Escola Historicista é baseada na necessidade do conhecimento da atividade de projeto para se desenvolver o mesmo. Em outras palavras para desenvolver um projeto é necessário conhecer a história do desenvolvimento de casos anteriores. Além disto é necessário aplicar estes conhecimentos a um caso real. Desta forma os trabalhos desenvolvidos por esta escola negam a possibilidade de desenvolver metodologias que não tenham como base um projeto real.

Assim como a Escola Historicista, as Escolas Psicológica e Filosófica possuem desenvolvimentos muito recentes. Pesquisas na área de sistemas cognitivos, teoria do conhecimento, inteligência artificial e modelos da criatividade humana serão a base para seu desenvolvimento.

Dentro das escolas Semântica e Sintática as metodologias propostas pelos autores que seguem refletem de maneira ampla o espaço proposto.

2.3.1 Metodologia segundo Asimow

A metodologia proposta por ASIMOW (1968) procura determinar de forma extensiva e encadeada todos os passos do desenvolvimento de produtos. Apresenta grande importância histórica, por se tratar de um trabalho pioneiro no desenvolvimento de metodologias de projeto.

ASIMOW (1968) baseou seu trabalho na morfologia para desenvolvimento de um projeto, apresentada na figura 2.5.

Segundo o modelo o projeto irá se desenvolver através da série de fases apresentadas. Dentro do modelo proposto pelo autor uma nova fase não começará antes que a anterior esteja completa, mas esta determinação pode ser modificada para alguns casos.

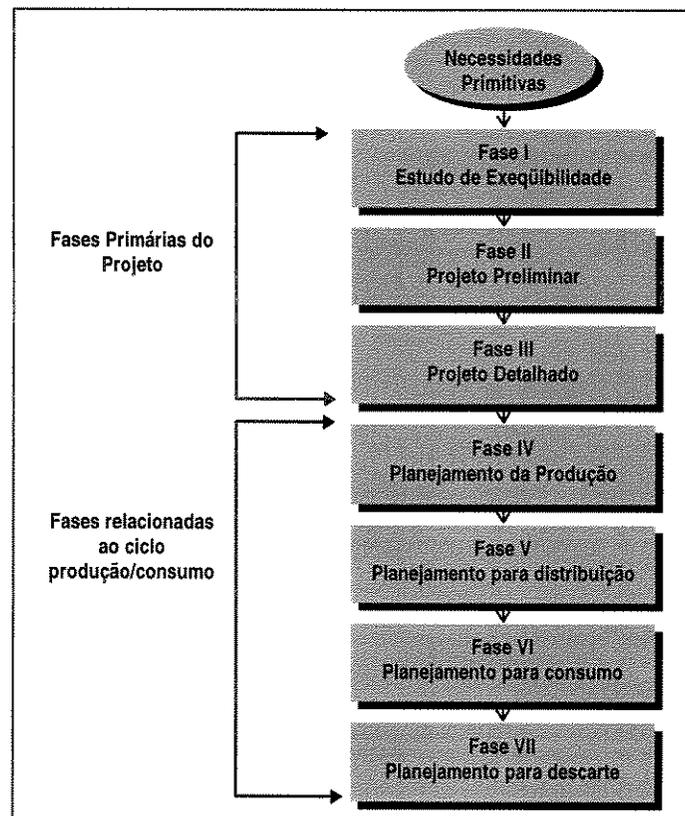


Figura 2.5 - Fluxograma de projeto proposto por ASIMOW (1968)

O modelo é dividido em dois grupos principais: Fases primárias do projeto (Fases I, II e III) e Fases relacionadas ao ciclo produção-consumo (Fases IV, V, VI e VII). O primeiro grupo está relacionado as atividades para desenvolvimento da concepção do projeto, enquanto o segundo grupo engloba as atividades ligadas ao desenvolvimento da produção e serviços de apoio.

A Fase I compreende um estudo de exequibilidade do projeto. Dentro desta fase o autor propõe uma série de passos que resultará em um produto bem determinado e com possibilidades de fabricação. Dentre as etapas necessárias o autor propõe, a análise das necessidades do mercado, identificação do sistema, concepções para o projeto, análise física, econômica e financeira.

A Fase II é denominada projeto preliminar. Nesta fase as várias concepções determinadas na primeira fase serão avaliadas e como resultado tem-se uma concepção promissora. As atividades propostas para a determinação do projeto preliminar: Seleção da concepção de projeto, modelos matemáticos, análise de sensibilidade, análise de compatibilidade, análise de estabilidade, otimização, projeção no futuro, previsão do comportamento, testes, simplificações.

A Fase III é denominada projeto detalhado. A concepção escolhida na fase anterior e apresentando probabilidade de ser um bom produto, será detalhada. As atividades apresentadas são: preparação para o projeto, descrição dos subsistemas, descrição dos componentes, descrição das partes, desenhos de montagem, construção experimental, programa de testes do produto, análise e previsão, reprojeção.

As fases de IV a VII compõem as partes da metodologia ligadas ao desenvolvimento da produção, não sendo objeto de estudo deste trabalho.

Através de uma análise da metodologia proposta pelo autor percebe-se um forte encadeamento das atividades e uma divisão em blocos fortemente estruturados. Atualmente este tipo de estrutura acarreta um consumo de tempo elevado no desenvolvimento do projeto, pois erros no desenvolvimento exigem muitas vezes a executar novamente toda uma fase.

Muitos autores desenvolveram seus trabalhos a partir da metodologia apresentada por ASIMOW (1968), adaptando-a as necessidades existentes no contexto atual. Como exemplo

pode-se citar o trabalho de ERTAS e JONES (1994). A metodologia apresentada pelo autor, aproxima-se de ASIMOW (1968), indo além, o autor modifica a morfologia a fim de realizar sua adequação.

2.3.2 Metodologia segundo Ertas e Jones

Esta metodologia é composta pelos seguintes passos: Reconhecimento das Necessidades; Conceituação e Criatividade; Determinação de Viabilidade; Estabelecimento dos Objetivos e Critérios; Síntese e Análise no Processo de Projeto; Indicação das Responsabilidades; Projeto Preliminar; Projeto Detalhado; Planejamento da Produção e Projeto das Ferramentas e finalmente Produção. A figura 2.6 apresenta a morfologia da metodologia proposta por ERTAS e JONES (1994).

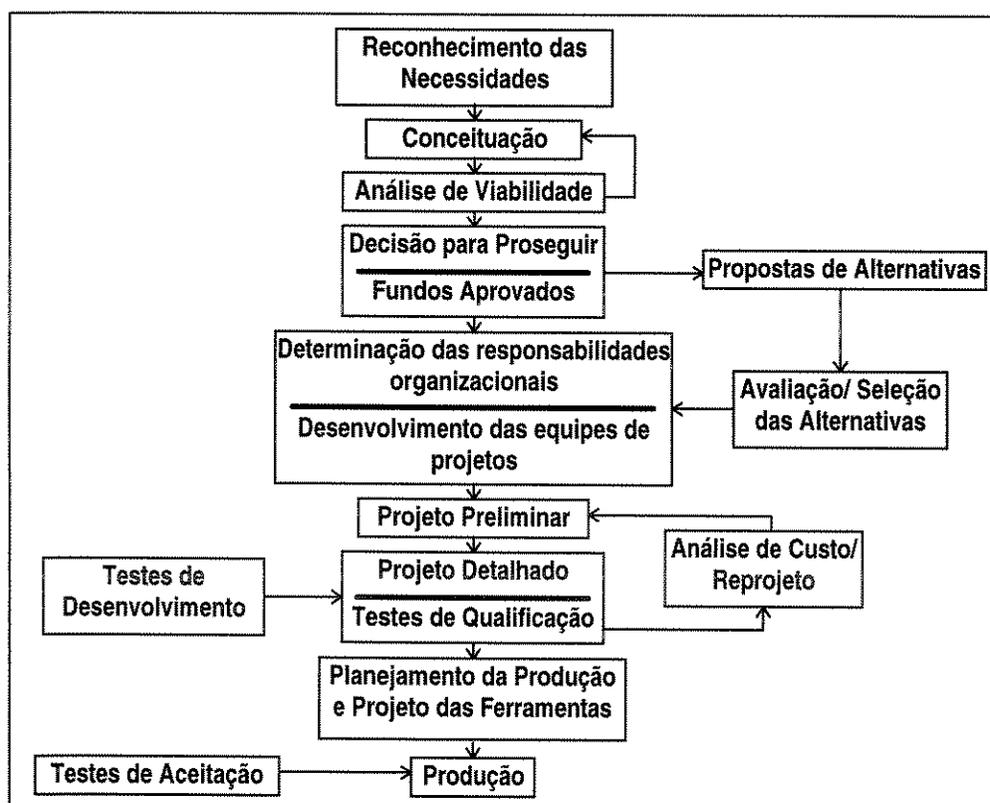


Figura 2.6 - Metodologia segundo ERTAS e JONES (1994).

A metodologia proposta por ERTAS e JONES (1994) muito se aproxima da proposta por ASIMOW (1968), a diferença patente entre os autores está nos métodos utilizados para a execução das atividades. ERTAS e JONES (1994) sugerem a utilização de equipes de projeto, ferramentas computacionais e técnicas de qualidade, como o QFD (*Quality Function Deployment*). Este último será abordado mais adiante no item 2.4.

2.3.3 Metodologia segundo Blanchard e Fabricky

A metodologia proposta por BLANCHARD e FABRICKY (1981) também integra o grupo proposto por YOSHIKAWA (1993) como Escola Sintática.

A figura 2.7 apresenta uma forma simplificada do ciclo de vida adotado na metodologia proposta, este é classificado em duas fases básicas: viabilização e utilização. Durante a primeira fase do ciclo de vida o produto será viabilizado para seu consumo na fase de utilização.

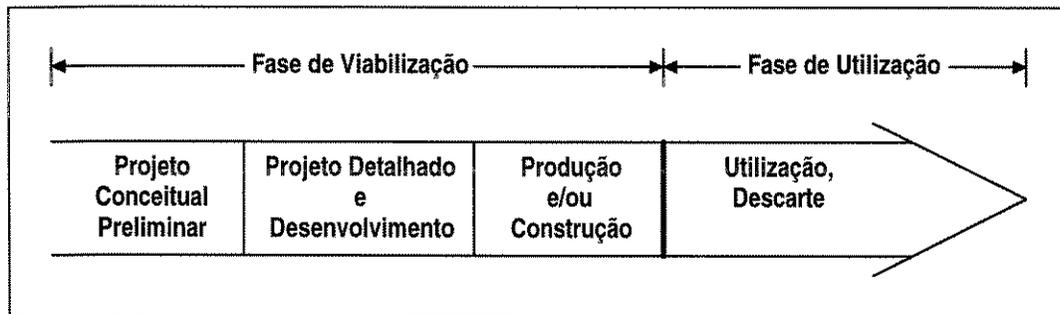


Figura 2.7 - Ciclo de vida do sistema (BLANCHARD e FABRYCKY, 1981)

O autor propõe que os engenheiros no geral tendem a focar principalmente na fase de viabilização do ciclo de vida e estão envolvidos nas atividades iniciais de análise e projeto sem a participação dos consumidores. Desta forma a performance do produto têm sido o principal objetivo, em detrimento do desenvolvimento de um sistema global com fatores econômicos em mente. Salientando assim a necessidade do desenvolvimento de produtos com um enfoque no ciclo de vida do produto.

A figura 2.8 apresenta a morfologia da metodologia proposta por BLANCHARD e FABRYCKY (1981) para o desenvolvimento do projeto, com foco no ciclo de vida e utilizando uma visão de sistemas.

A metodologia é dividida em 6 fases principais:

- Projeto Conceitual: onde são realizados os primeiros estudos de viabilidade e necessidades do projeto. Nesta fase são utilizadas pesquisas e algumas determinações de necessidades existentes. É uma fase para planejamento de todo o processo;

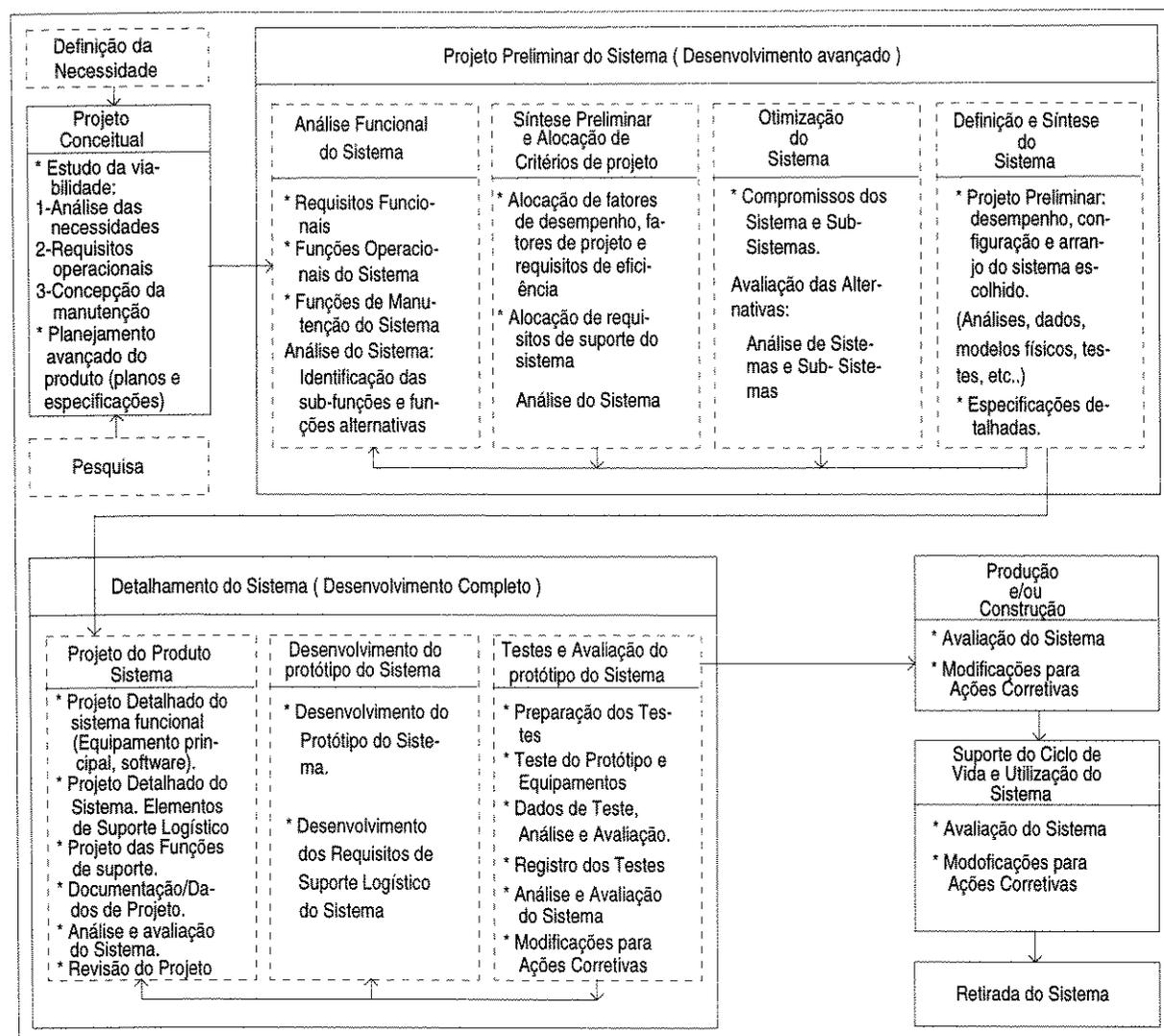


Figura 2.8- Metodologia segundo BLANCHARD e FABRYCKY (1981)

- **Projeto Preliminar do Sistema:** Nesta fase são realizados os levantamentos dos requisitos técnicos do projeto e são definidas soluções para o problema proposto. Em conjunto com o desenvolvimento destas soluções, as necessárias alocações de recursos para a próxima fase são realizadas;
- **Detalhamento do Sistema:** A solução proposta no passo anterior deve ser detalhada e testada. Protótipos da solução são testados para assegurar a sua capacidade de atingir os requisitos esperados;
- **Produção e/ou Construção;**
- **Suporte do Ciclo de Vida e Utilização do Sistema;**

- Retirada do sistema: Hoje esta fase começa a tornar critica em vários países com altas taxas de consumo. O problema ecológico exige alterações no produto, visando uma menor agressividade ao meio-ambiente, quando do descarte.

A tabela 2.1 apresenta o ciclo do produto, tendo sua origem nas necessidades do consumidor e como fim o preenchimento destas necessidades. As atividades estão divididas entre os responsáveis dentro do ciclo.

Tabela 2.1 Ciclo do Consumidor-Produtor-Consumidor BLANCHARD e FABRYCKY (1981)

| | | |
|-------------------|--|--|
| Consumidor | Identificação das necessidades | Necessidades ou desejos por sistemas devido a uma deficiência óbvia ou problemas tornam-se evidentes através de resultados de pesquisa básica |
| Produtor | Função de planejamento do sistema | Análises de mercado, estudos de viabilidade, planejamento avançado do sistema (seleção do sistema, especificações e planos de pesquisa, aquisição, projeto, produção, avaliação, suporte logístico e uso do sistema), revisão do planejamento, proposta. |
| | Função de pesquisa do sistema | Pesquisa básica, pesquisa aplicada (orientada às necessidades), métodos de pesquisa, resultados da pesquisa, evolução da pesquisa básica para o projeto e desenvolvimento do sistema |
| | Função de Produção do sistema | Requisitos de produção e/ou construção, análise de operações e engenharia industrial (engenharia de planta, engenharia de manufatura, engenharia de métodos, controle de produções), controle da qualidade, operações de produção. |
| | Função de projeto do sistema | Requisitos de projeto, projeto conceitual, projeto preliminar do sistema, projeto detalhado, suporte de projeto, desenvolvimento de protótipo/modelo, testes, transição do projeto para a produção |
| Consumidor | Função de avaliação do sistema | Requisitos de avaliação, categorias de avaliação e testes, fase de preparo dos testes (planejamento, recursos, etc.), avaliação e testes formais, coleta de dados, registro, análise, ações corretivas, re-teste |
| | Função de uso e suporte logístico do sistema | Uso operacional e distribui do sistema, elementos de suporte ao ciclo de vida e logístico, avaliação do sistema, modificações, fase externa do produto, disposição de material, reclamação e/ou reciclagem. |

2.3.4 Metodologia segundo Clausing

CLAUSING (1993) propõe uma metodologia voltada para engenharia simultânea e desenvolvimento em equipes. A figura 2.9 apresenta a metodologia proposta pelo autor. Esta é apresentada como solução para vários problemas encontrados no modelo tradicional de projeto (ver item 2.4).

As fases principais são:

- **Concepção:** É a fase inicial. É dividida em três etapas: Casa da Qualidade, Seleção da Concepção do Sistema Total, Desdobramento para as especificações dos Subsistemas.

Nesta fase, quando necessário é adquirida tecnologia, isto é, novos processos, técnicas, materiais, etc., são estudados para sua utilização no desenvolvimento do projeto. Como resultado teremos uma concepção para o problema proposto;

A Casa da Qualidade é a primeira matriz do QFD, que será determinado com detalhes no item 3.2. O método utilizado para a Seleção de Concepções é o Método de PUGH (1991), discutido no item 3.3 e a última fase o Desdobramento, faz parte do QFD.

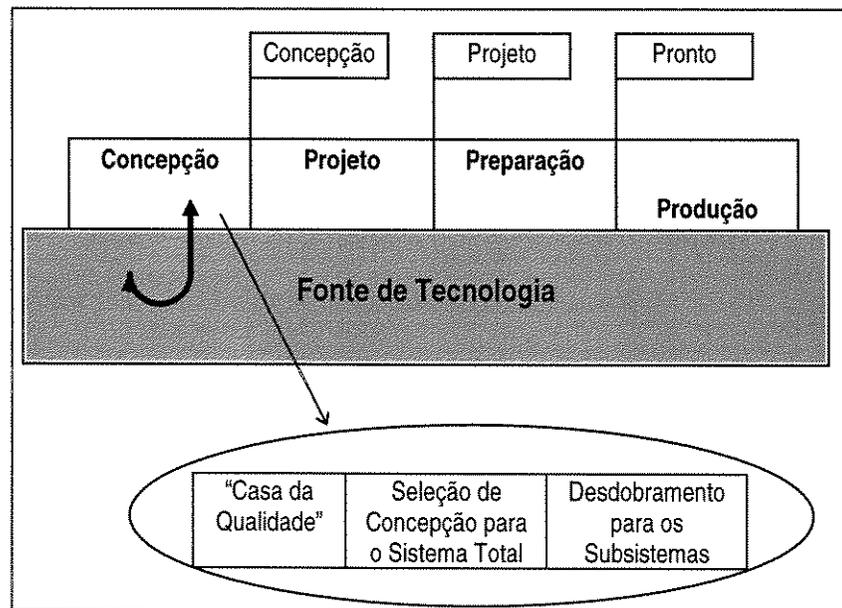


Figura 2.9 - Morfologia da metodologia proposta por CLAUSING (1993).

- Projeto: A concepção é detalhada e avaliada segundo critérios estabelecidos na fase anterior. Tem como resultado um projeto detalhado;
- Preparação: Nesta fase é realizada a preparação para a produção, ao seu final teremos um produto pronto para entrar em produção.

2.3.5 Metodologia segundo Suh

A metodologia proposta por SUH (1993) também denominada *Axiomatic Design* ou Projeto Axiomático procura delimitar o projeto de sistemas através de axiomas, que determinarão um projeto concebido de forma correta ou um projeto com probabilidade de falhas.

Apesar das práticas de projeto em diferentes campos, aparentemente serem distintas entre si, o Projeto Axiomático presume que exista uma linguagem comum de pensamento a todos os campos de criação. Como consequência desta preposição a verdadeira diferença entre estes campos seria menor, consistindo de definições de palavras, dados específicos e conhecimento.

Em comparação grandes diferenças podem haver em um dado campo entre sistemas simples e grandes sistemas, devido ao tamanho e a natureza dependente do tempo dos requisitos funcionais.

O modelo axiomático de projeto fornece uma armação geral para todos estes campos do projeto, incluindo o projeto mecânico.

O autor propõe que através da utilização da visão axiomática não apenas o projeto de produtos mas todos tipos de projetos, incluindo projeto de processos, sistemas, programas computacionais, organizações e materiais tornam-se possíveis de um tratamento sistemático.

O modelo axiomático presume a existência de conjuntos de atividades que formarão grupos, divididos em quatro conjuntos:

- Domínio do Consumidor: É composto pelo conjunto de vetores das Necessidades dos Consumidores (NC). O vetor NC possui elementos que representam necessidades do consumidor para um produto específico
- Domínio Funcional: É o conjunto dos vetores representando os Requisitos Funcionais (RF). Um vetor RF é constituído de requisitos que serão respostas para as necessidades dos consumidores;
- Domínio Físico: É o conjunto dos vetores representando os Parâmetros de Projeto (PP). Os elementos dos vetores PP são os parâmetros de projeto capazes de preencher os requisitos levantados no domínio anterior;
- Domínio do Processo: É o conjunto dos vetor representando as Variáveis de Processo (VP). Os vetores VP são formados por variáveis de processo que irão controlar os parâmetros de projeto do Domínio Físico.

A figura 2.10 apresenta o relacionamento dos 4 domínios funcionais do modelo axiomático. O primeiro axioma determina a forma de relacionamento entre eles.

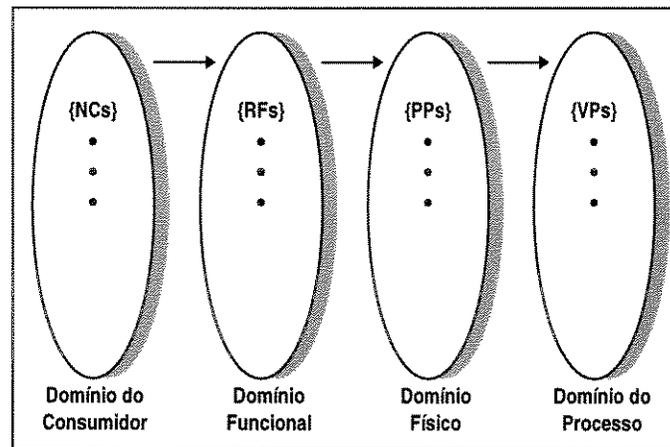


Figura 2.10 Domínios do modelo axiomático

Axioma 1: O Axioma da Independência - Manter a independência dos Requisitos Funcionais.

A independência dos Requisitos Funcionais significa que cada elemento de um vetor RF será relacionada apenas a um elemento do vetor PP. Podendo ser descrito na seguinte equação:

$$\{RF\} = [MP] \times \{PP\} \quad 2.1$$

Onde MP é a matriz de projeto. Esta deve ser diagonal ou triangular, garantido o primeiro axioma.

De uma forma mais clara este axioma pode ser visto como uma forma de evitar efeitos secundários na determinação de um parâmetro de projeto. Com a independência cada parâmetro afetará apenas um requisito, assim torna mais fácil modificar um produto e atingir um resultado esperado.

Axioma 2: O Axioma da Informação - Minimizar os conteúdos de informação

Informação é definida em termos de conteúdo de informação I que é relacionada em termos simples a probabilidade de satisfazer um dado RF. No caso geral de n RFs para um projeto desacoplado I pode ser expresso por:

$$I = \sum_{i=1}^n [\log 1/p_i] \quad 2.2$$

Onde p_i é a probabilidade de PP_i satisfazer RF_i uma vez que temos n elementos a probabilidade será o somatório indicado.

O axioma da informação diz que o projeto que possuir o menor conteúdo será a melhor solução. Desta forma o axioma garante a resposta para casos onde existirem mais de uma solução possível.

O projeto axiomático não é plenamente aceito na literatura como uma metodologia possível de utilização. Apresenta muitos pontos obscuros, como por exemplo a determinação dos domínios. Espera-se que a metodologia seja aplicada a campos distintos, demonstrando de forma clara sua validade.

2.3.6 Metodologia segundo a VDI 2221

A norma alemã VDI 2221 procura determinar de forma geral o que deve ser o ato de projetar. É dividida em quatro fases principais e cada fase é dividida em etapas, conforme a figura 2.11.

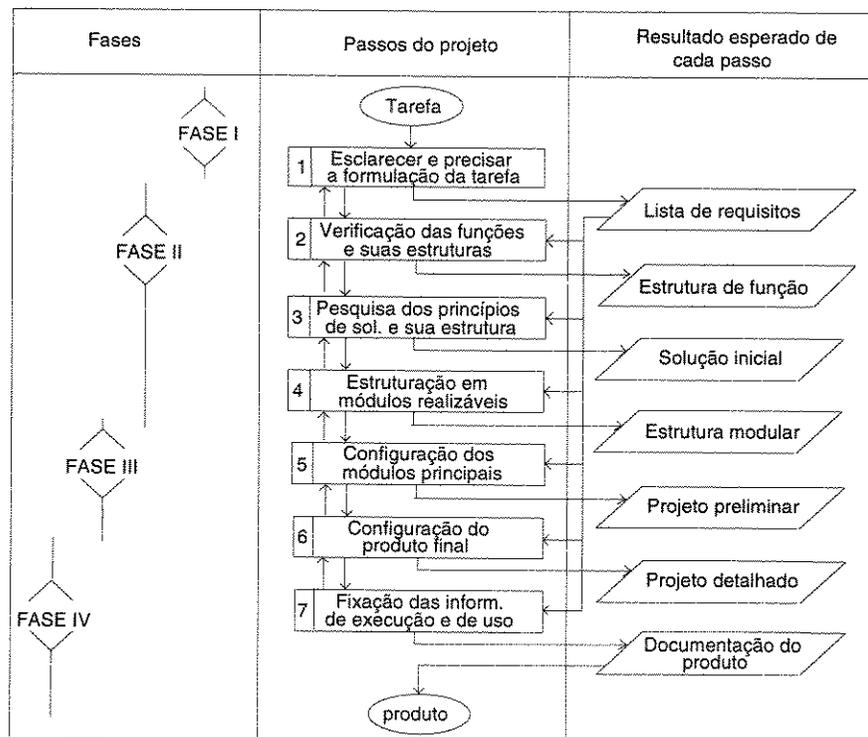


Figura 2.11 - Norma VDI 2221

Esta norma busca delimitar o campo de projeto, apresentando um fluxo que deve ser comum a todas metodologias propostas para a atividade de projeto. A norma VDI 2221 é utilizada no desenvolvimento de grande parte dos trabalhos das Escolas Alemãs e Suíças na área de projeto, tendo destaque o trabalho de PAHL e BEITZ (1988). Foi analisada por FIODNETO (1993).

2.3.7 Metodologia segundo Pahl e Beitz

A figura 2.12 apresenta a hierarquia do processo de projeto.

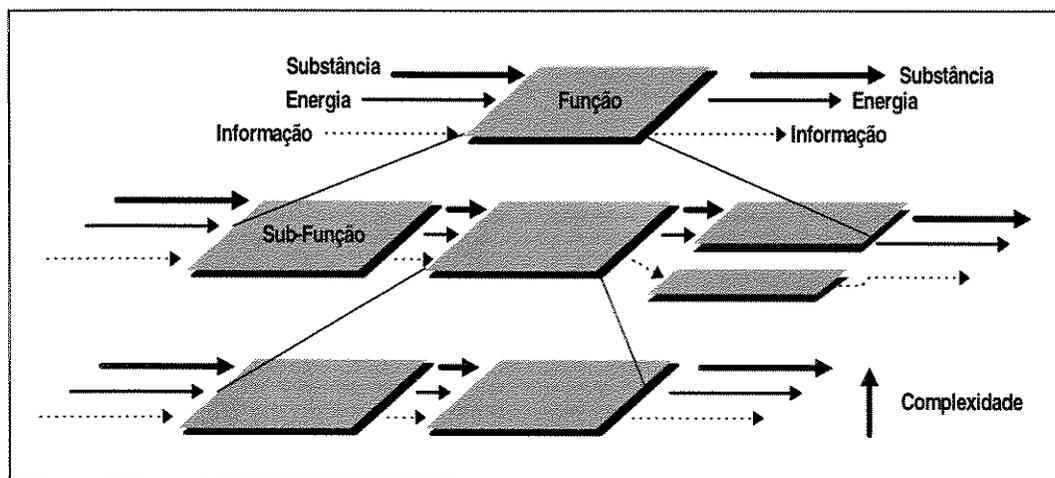


Figura 2.12 - Hierarquia do processo de projeto (PAHL e BEITZ, 1988)

Para alcançar a solução do problema a metodologia utiliza o método de composição funcional. O processo de projeto é dividido segundo a hierarquia apresentada na figura 2.12, buscando atingir um nível mais simples possível. Esta tarefa será de fácil execução. A soma de todas as tarefas do projeto resultará na execução do produto.

Segundo YOSHIKAWA (1993), o trabalho desenvolvido pelos autores enquadra-se como um conjunto de Semântico e Sintático. A figura 2.13 apresenta a morfologia da metodologia estabelecida por PAHL e BEITZ (1988).

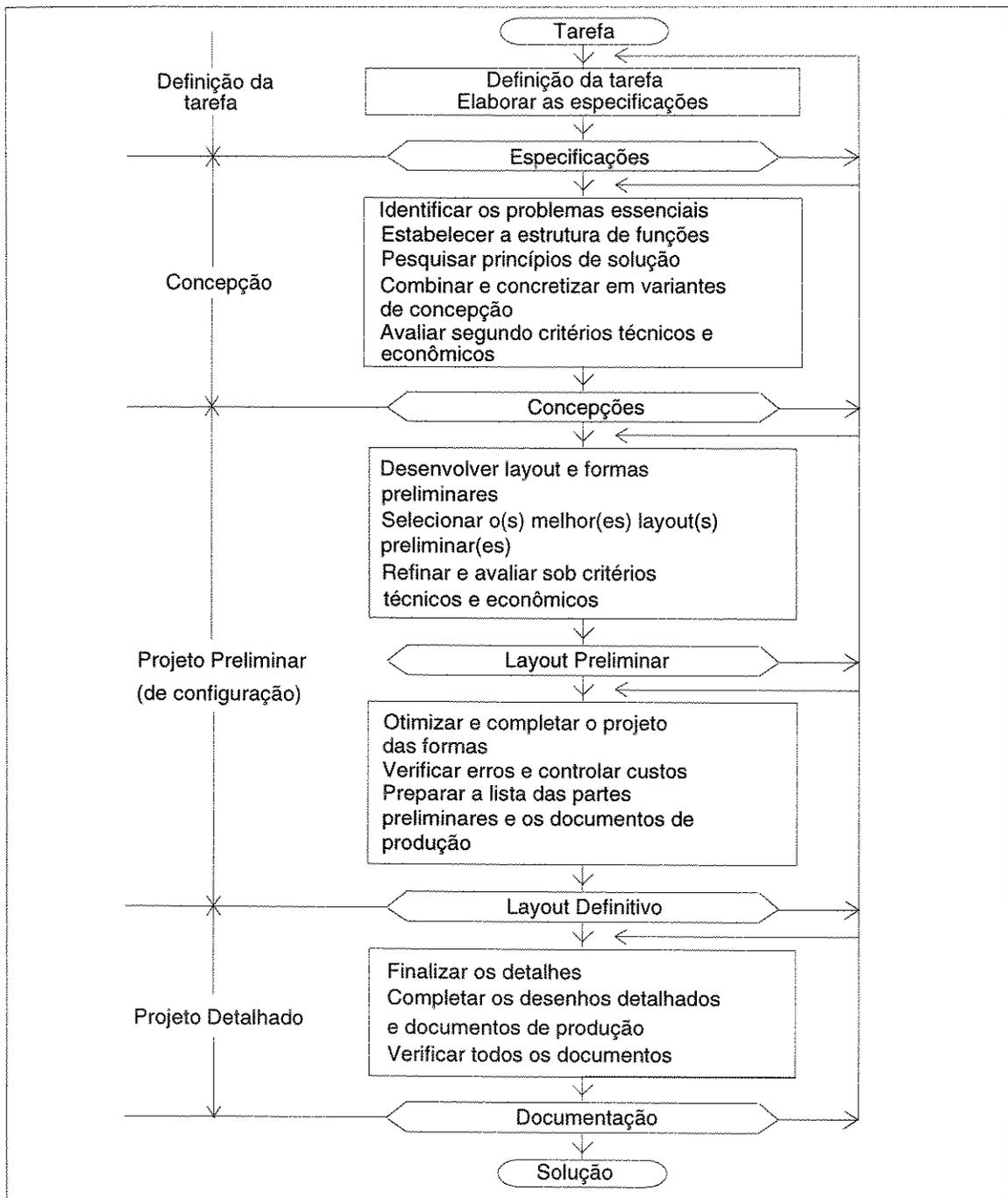


Figura 2.13 - Metodologia estabelecida por PAHL e BEITZ (1988)

A figura 2.13 demonstra o estabelecimento do projeto em quatro fases principais. Percebe-se que esta metodologia está de acordo com a norma VDI 2221.

2.4 A Qualidade como atributo do Projeto

CLAUSING (1993) afirma que a competição global do mercado exige das empresas um processamento constante das informações envolvidas nas etapas do ciclo de vida de um

produto. Um produto complexo exige muitas decisões até sua fabricação ou colocação no mercado. O programa de desenvolvimento começa com metas gerais que posteriormente serão focalizadas pelas necessidades do consumidor. A tomada de decisões no desenvolvimento total da qualidade apresenta as seguintes melhorias se comparadas com o processo tradicional:

- Decisões da equipe (utiliza a experiência coletiva e desenvolve o consenso);
- Métodos conectivos visuais, normalmente empregando grandes figuras no papel;
- Foco no consumidor;
- Otimização das decisões críticas;
- Prevenção de problemas

Existe uma hierarquia de decisões no projeto. Indivíduos tomam a maior parte das decisões no desenvolvimento com base em experiência (própria e de terceiros). Os responsáveis por decisões se utilizam dos conhecimentos experimentais armazenados sobre o assunto, como análises, cálculos, manuais entre outros.

Porém as decisões mais críticas exigem maior atenção, e a resposta adequada não estará no conhecimento individual mas sim na experiência coletiva, devidamente concentrada no assunto. Métodos sistemáticos para esta tomada de decisão e proporcionar o aumento da qualidade, antes da fase de produção têm sido empregados com considerado sucesso. Um dos melhores sucedidos é denominado Quality Function Deployment (QFD). Este é um método estruturado que pretende determinar os desejos e necessidades dos consumidores e traduzi-los em requisitos técnicos de engenharia. O principal método utilizado para desenvolver o QFD é a matriz da “Casa da Qualidade”.

Porém existem ainda algumas decisões que continuam cruciais, onde a utilização do QFD e experiência do time não responderão de forma adequada. Estas decisões serão alcançadas através da utilização de métodos de otimização sistemática. O processo de melhor resultado para tanto é o sistema de qualidade proposto por TAGUCHI (1986), utilizando o projeto robusto.

Em suma, mesmo quando indivíduos tomam a maior parte das decisões, principalmente no projeto parcial, a utilização do QFD e da Engenharia de Qualidade de TAGUCHI (1986) irão resolver os problemas onde a experiência individual não seria suficiente.

É fundamental que cada decisão empregue o estilo correto para sua solução, a figura 2.14 apresenta os processos de decisão.

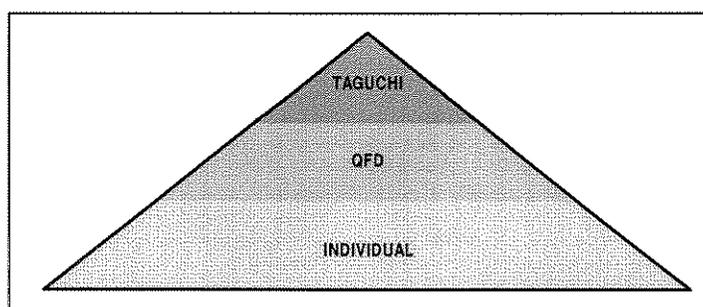


Figura 2.14 - Seleção do estilo certo para cada decisão (CLAUSING, 1993)

Na base do triângulo está a tomada individual de decisões. Em um projeto o maior número de decisões é tomada assim. Logo acima está o QFD que trará solução para um número menor de problemas, porém estes são relativamente de maior importância. No alto encontra-se a Engenharia da Qualidade proposta por TAGUCHI (1986). É responsável pela otimização de alguns parâmetros críticos.

A tabela 2.2 apresenta uma comparação entre 4 métodos utilizados no desenvolvimento de produtos. O modelo tradicional de desenvolvimento, a engenharia simultânea, o QFD e a Engenharia da Qualidade. Todas possuindo vantagens em sua utilização, quando empregadas no caso certo.

Tabela 2.2 - Sumário do processo das decisões de projeto (CLAUSING, 1993)

| | Tradicional | Engenharia Simultânea Básica | QFD | Eng. Qualidade de Taguchi |
|--------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Beneficiado | Especialista | Cliente | Cliente | Cliente |
| Estilo | Reativa | Preventiva | Preventiva | Preventiva |
| Quem executa | Indivíduo | Equipe | Equipe | Equipe |
| Comunicação | Formal | Verbal | Visual, conectada | Utiliza QFD |
| Fonte | Experiência dos especialistas | Experiência da equipe | Experiência da equipe | Otimização |

2.4.1 A Utilização do QFD

Segundo NOBLE e TANCHOCO (1993), o QFD é um método visual conectivo que ajuda as equipes de projeto a trabalharem voltadas às necessidades dos consumidores ao longo do desenvolvimento total.

Segundo CLAUSING (1993), a aplicação destas ferramentas no desenvolvimento de produtos é uma resposta aos principais problemas encontrados no processo tradicional:

- Não ouvir o consumidor;
- Não focar a competição;
- Concentração em cada especificação em isolado;
- Baixas expectativas;
- Pouca troca de informações entre projeto e produção;
- Interpretações divergentes das especificações;
- Falta de estrutura;
- Perda de informações.

Pode-se entender melhor a fonte destes problemas a partir do círculo de comunicação (ver figura 2.15), existente no desenvolvimento de novos produtos.

As necessidades do consumidor são verificadas pelo Departamento de Marketing que informará ao Planejamento de Produto, seguindo as informações conforme o círculo da figura 2.15. No método tradicional este fluxo tenderá a distorcer a necessidade inicial do consumidor, criando um produto que não responde aos anseios do mercado. O QFD é um processo disciplinado e sistemático para ultrapassar a degradação da voz do consumidor ao longo do processo de desenvolvimento de um produto.

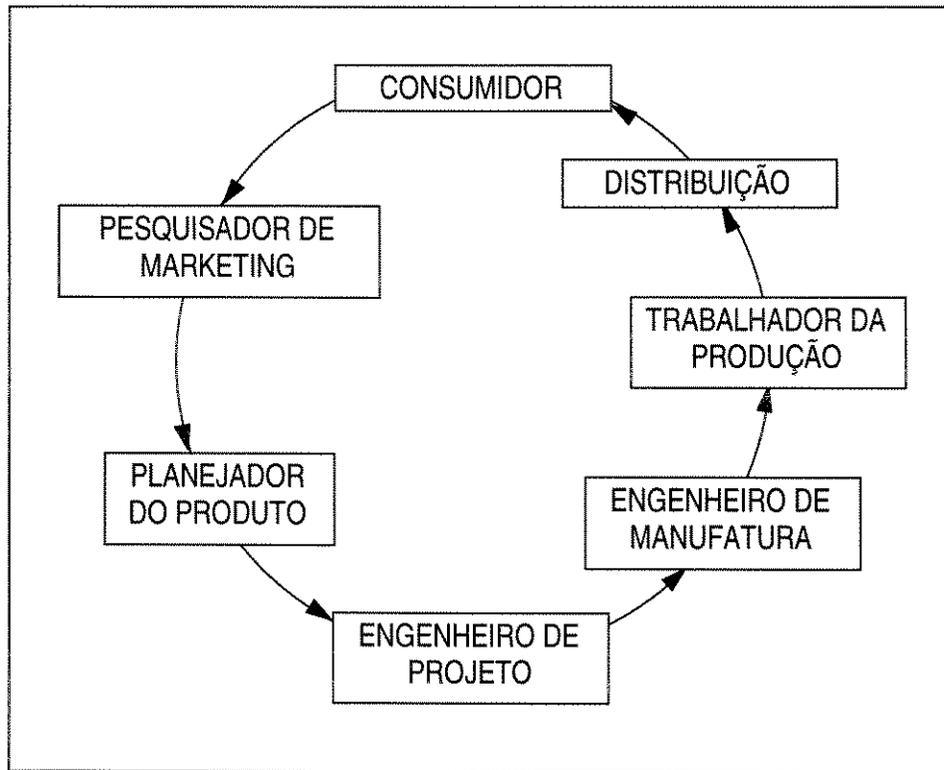


Figura 2.15 - Ciclo de Comunicação (CLAUSING, 1993)

Buscado apresentar uma visão mais ampla de QFD, DEAN (1992) o vê como um processo sistemático que transforma os desejos do consumidor/usuário na linguagem necessária, em todos os níveis de projeto, para a implementação de um produto, além disto este proporciona a união necessária para ligar todas as fases e administra-las. Em suma, este é um método excelente para assegurar que o consumidor obtenha produtos de grande valor intrínseco.

A concepção do QFD foi introduzida no Japão em 1966 por AKAO (1990), como uma resposta as alterações que o mercado apresentava. Destacando-se entre elas:

- diminuição do ciclo de vida dos produtos;
- surgimento de inovações tecnológicas em tempos cada vez menores;
- aumento da complexidade dos produtos;

Segundo AKAO (1990), o QFD é um método para desenvolver a qualidade no projeto baseado na satisfação do consumidor e então traduzir as necessidades do consumidor em objetivos de projeto e melhores índices de qualidade para serem utilizados na fase de

produção, este é um caminho para assegurar a qualidade do projeto enquanto o produto esta na fase de projeto. Um importante efeito secundário é apontado por AKAO (1990): a diminuição do tempo de projeto. Quando aplicado de forma correta o QFD demonstra uma diminuição no tempo de desenvolvimento entre metade a um terço.

SULLIVAN (1993) vem comprovar este fato apresentado o sistema utilizado pela Toyota desde 1977. O QFD foi implantado nesta indústria japonesa, seguido de um período de treinamento e preparação de quatro anos. Entre janeiro de 1977 e abril de 1984 a Toyota Autobody introduziu no mercado 4 novos modelos de veículos. Usando 1977 como base, a Toyota apresentou uma redução de 20% nos custos iniciais no lançamento de um novo veículo em 1979; uma redução de 38% em 1982; e uma redução acumulada de 61% em abril de 1984. Durante este período, o ciclo de desenvolvimento do produto foi reduzido em um terço com um aumento correspondente na qualidade devido a uma redução no número de alterações de engenharia.

2.4.2 A Casa da Qualidade

A Casa da Qualidade (House of Quality - HoQ) é a primeira matriz utilizada no desenvolvimento do QFD. É um método estruturado com uma linguagem visual e um conjunto de diagramas de engenharia e administração interligados que utilizam as “Sete Novas Ferramentas da Qualidade”. Esta estabelece os valores do consumidor utilizando a “Voz do Consumidor” e transforma estes valores para as características dos processos de projeto, produção e manufatura. O resultado é um processo de engenharia de sistemas que prioriza e liga o desenvolvimento do produto, de forma a assegurar a qualidade do produto, segundo a definição do consumidor.

A figura 2.16 apresenta a “Casa da Qualidade”. Seu processo será melhor explicado no próximo capítulo.

etapas até atingir uma solução madura que represente uma concepção com grande chance de sucesso.

Parte-se de um número inicial de concepções propostas pelo grupo, após uma primeira avaliação as melhores soluções são escolhidas. Cabe ao grupo refletir sobre as escolhas e propor melhorias, surgindo assim novas concepções. Este processo repete-se até atingir a concepção final. A figura 2.17 apresenta a evolução das concepções no decorrer do tempo.

A utilização do Processo de Seleções de Pugh será explicado com detalhes em próximo capítulo.

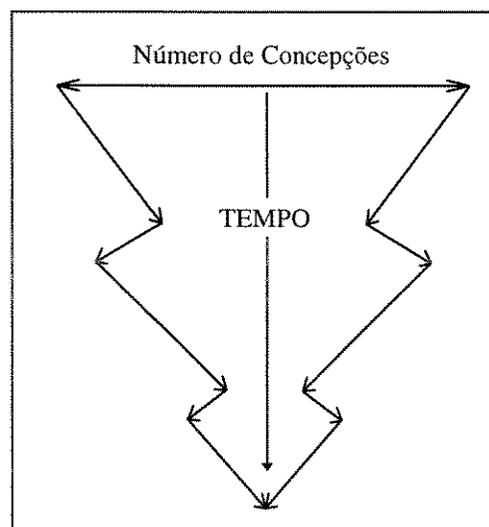


Figura 2.17 - Convergência iterativa para uma concepção dominante (PUGH, 1991)

2.5 Sistemas Especialistas

Um dos primeiros esforços na direção de um programa de apoio a fase conceitual do projeto foi realizado por KRUMHAUER (1974) (in HUNDAL, 1990), utilizou-se de algoritmos para estabelecer estruturas funcionais e buscas de soluções. O programa possuía bancos de dados com efeitos físicos e funcionais. As soluções mais promissoras eram guardadas em uma matriz que possibilitava uma composição manual de variáveis conceituais que eram avaliadas. Os principais problemas deste programa eram a falta de dispositivos gráficos, a pequena capacidade dos computadores, muito trabalho manual envolvido e a utilização de apenas um princípio para soluções. Muitos trabalhos surgiram desde então.

2.5.1 O sistema proposto por Hundal

HUNDAL (1990) desenvolveu um sistema computacional para apoio a fase conceitual do projeto, utilizando-se do fluxograma apresentado na figura 2.18.

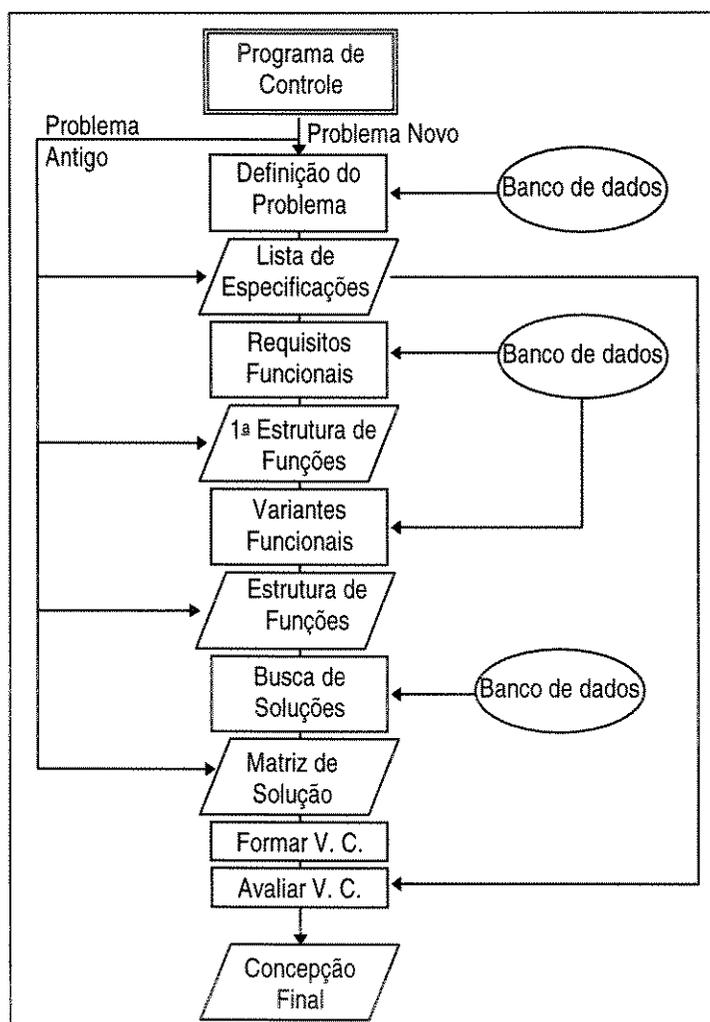


Figura 2.18 - Fluxograma proposto por HUNDAL (1990)

O programa é dedicado a busca de soluções para estruturas funcionais. Desta forma para sua utilização é necessário abstrair o problema inicial ao seu nível funcional. Após este passo é efetuada uma busca em bancos de dados que armazenam princípios de soluções para estas funções. O resultado da busca será a soma de todas as partes, formando assim em um produto final.

HUNDAL (1990) observa que seu programa não modela a criatividade do projetista, nem tão pouco a substitui. Mas segundo o autor poderá ajudar a desenvolver as habilidades dos usuários pois: guia a execução do projeto segundo uma metodologia, garante que

nenhuma alternativa será sub-avaliada, evita o preconceito com uma determinada solução e avalia idéias de projeto alternativas.

2.5.2 O sistema SADEPRO

O Sistema SADEPRO foi desenvolvido por FIOD-NETO (1993) para ser um auxiliar a fase conceitual do projeto. Este sistema sistematiza e orienta a ação do projetista, oferecendo-lhe uma metodologia consistente a ser seguida. Segundo FIOD-NETO (1993) o sistema implementado segue a norma VDI 2221 (ver item 2.3.6). A figura 2.19 apresenta o esquema da metodologia utilizada.

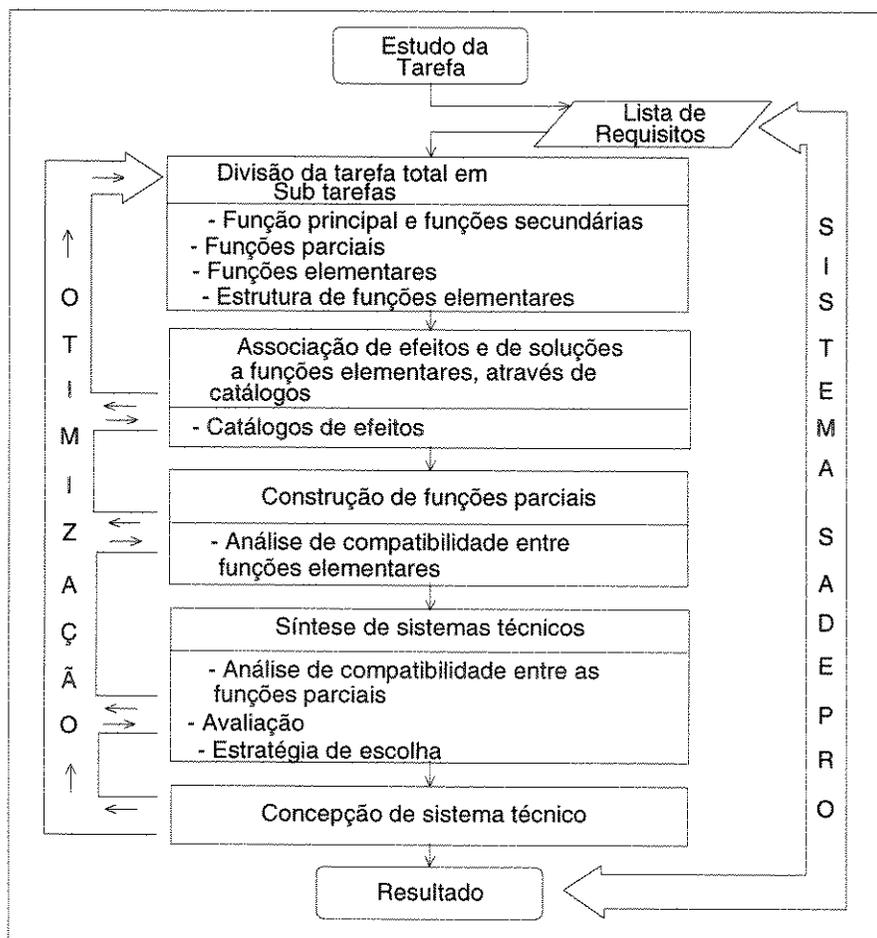


Figura 2.19 - Metodologia do Sistema SADEPRO FIOD-NETO (1993)

A partir de uma lista de requisitos iniciais, o programa orienta, passo a passo, o usuário na análise e síntese de funções do produto em estudo. Oferece também catálogos de soluções conhecidas, para o projetista compor a concepção de produto que lhe interessa.

SILVA (1995) desenvolveu melhorias ao sistema, adaptando-o ao ambiente *Windows*. SILVA (1995) realizou ainda alterações nos métodos utilizados, facilitando sua utilização e melhorando o fluxo de informações.

2.5.3 O sistema proposto por OGLIARI (1995)

OGLIARI (1995) desenvolveu um programa baseado em sistemas especialistas e linguagem orientada a objeto, para dar apoio ao projeto de sistemas de medição. A figura 2.20 apresenta a metodologia utilizada no programa para apoio a fase conceitual do projeto.

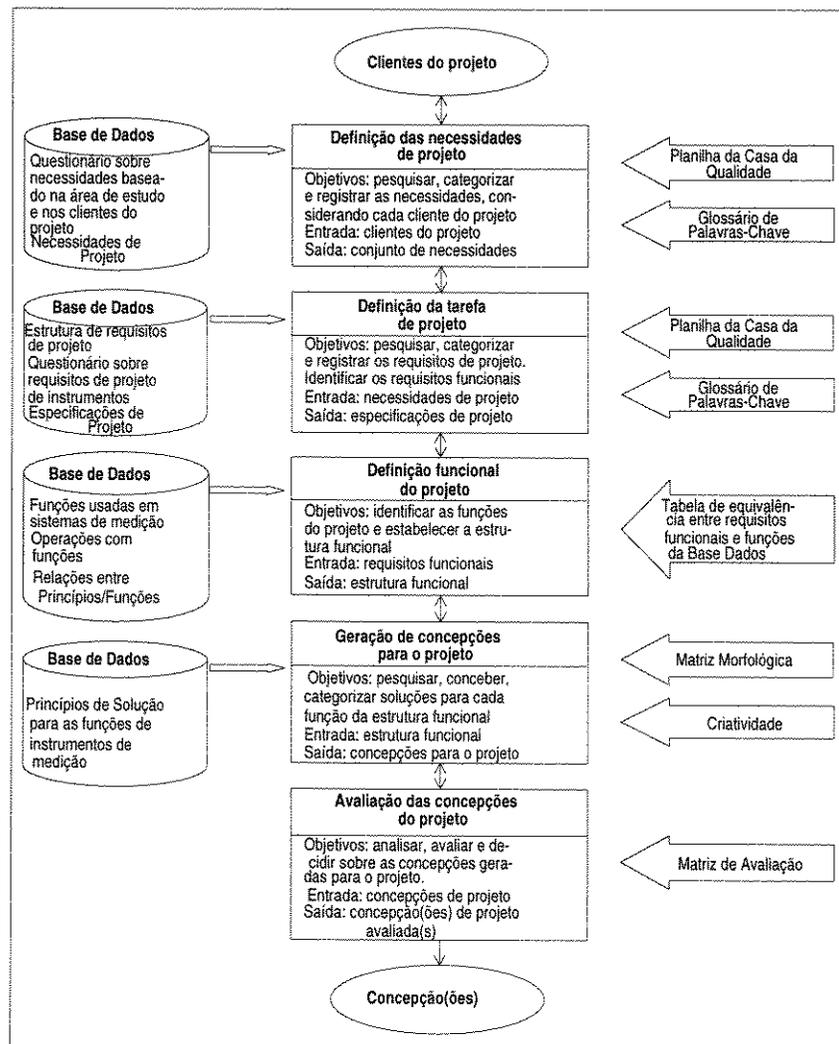


Figura 2.20 - Metodologia Utilizada por OGLIARI (1995)

O metodologia implementada tem como base a norma VDI 2221. No entanto o sistema apresentado por OGLIARI (1995) diferencia-se daquele implementado por FIOD-NETO

(1993) com relação aos métodos utilizados. Como grande diferença está a utilização do QFD na fase de levantamento das necessidades ou requisitos de projeto.

OGLIARI (1995) apresenta em seu trabalho um sistema baseado em funções e catálogos de princípios para a busca de soluções. O levantamento das funções agrega algumas modificações que buscam a inserção do trabalho dentro do conceito de sistema especialista. Desta forma o sistema pretende criar um conjunto de soluções, partindo das necessidades do consumidor.

2.6 Conclusões

Este capítulo apresentou a metodologia do projeto, buscando estabelecer o campo de pesquisa deste trabalho, limitando assim seu escopo: A FASE CONCEITUAL DO PROJETO.

Para ordenar o campo das metodologias de projeto, foi apresentada uma divisão segundo Escolas. Na seqüência foram discutidas várias metodologias para a fase conceitual, demonstrando sua adequação a estas escolas.

A questão da qualidade associada ao desenvolvimento de produtos foi avaliada e métodos para alcançar esta qualidade foram sugeridos.

Ao final deste capítulo foram discutidas algumas aplicações computacionais de metodologias de projeto, visando a determinação de um sistema que auxilie uma equipe de projetos nesta fase conceitual.

O próximo capítulo apresenta o desenvolvimento de uma metodologia de projeto, utilizando-se da pesquisa bibliográfica aqui apresentada.

Capítulo 3

Proposta de Metodologia para a Fase Conceitual do Projeto

No capítulo 2 foram apresentadas várias metodologias e métodos utilizados no desenvolvimento de projetos, tendo sempre como foco a sua fase conceitual. Neste capítulo buscou-se determinar uma metodologia de projetos que possa ser implementada em forma computacional, pretendendo desenvolver um sistema de apoio as atividades de projeto.

Para estabelecimento desta metodologia foram utilizados vários aspectos de trabalhos apresentados no capítulo anterior. Estes sofreram adaptações visando sua utilização dentro de um sistema computacional. Desta forma foram assimilados métodos, morfologia de algumas fases, críticas e sugestões de autores além de outros pontos que pudessem colaborar no desenvolvimento desta metodologia.

Por estar voltada à fase conceitual o resultado da aplicação da metodologia será um conjunto de concepções para o problema proposto. As fases de detalhamento da concepção, testes do modelo, produção e descarte deverão seguir uma metodologia própria.

A metodologia proposta está apresentada no item 3.1, onde se discutem os problemas iniciais, o modelo utilizado, seu campo de aplicação e suas restrições, na seqüência, o item 3.2 apresenta as fases da metodologia, por fim, os métodos utilizados em cada uma destas fases são discutidos nos itens 3.3 ao 3.6.

3.1 O Modelo Proposto

A determinação da metodologia tem como base os trabalhos apresentados no capítulo anterior. A morfologia proposta para a metodologia é apresentada na figura 3.1.

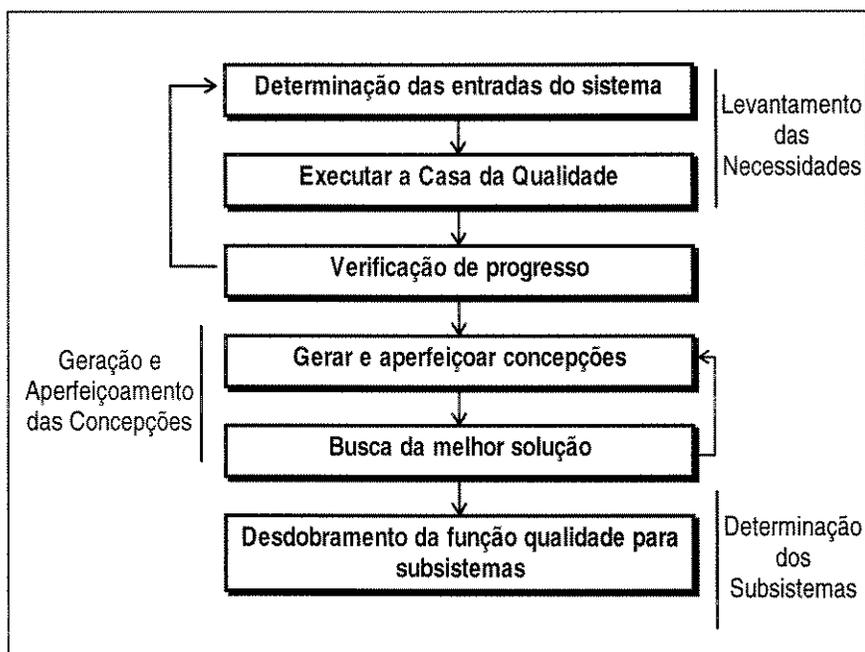


Figura 3.1 - Modelo geral da metodologia proposta

Esta é dividida em três fases principais com atividades específicas dentro de cada uma. Estas atividades são discutidas no item 3.2.

- **Levantamento das Necessidades:** É a primeira fase da metodologia. Aqui são determinados os requisitos que deverão ser atendidos durante o ciclo de vida do produto;
- **Geração e Aperfeiçoamento das Concepções:** Nesta fase a metodologia prevê a utilização de métodos criativos para a busca de concepções que representem soluções para o problema proposto. Para o aperfeiçoamento destas concepções será utilizado um método específico (ver item 3.4);
- **Verificação dos Subsistemas:** Após a determinação da concepção final para o problema, seus subsistemas serão avaliados e sua adequação aos requisitos apresentados na primeira fase serão verificados, para isto é proposto a utilização do QFD. Esta é a última fase da metodologia, resultando na concepção total do produto.

3.1.1 Utilização da Metodologia

A metodologia tem caráter amplo, sendo aplicada a vários campos do projeto, como o projeto de sistemas mecânicos, projeto de bens de consumo, projeto de programas computacionais, projeto de serviços entre outros. Porém os métodos propostos para sua

execução apresentarão melhores resultados em ambientes de projeto que apresentarem algumas características, como:

- **Uso em equipe de projetos:** O trabalho em equipe pode garantir um aumento da criatividade individual, fornecendo assim meios para um melhor resultado. Desta forma a equipe deve ser composta de profissionais com conhecimento em várias áreas;
- **Administração produtiva dos grupos:** A equipe de projeto deve estar organizada de forma produtiva, isto é as interações devem ocorrer com objetivos específicos;
- **Ambientes favoráveis ao trabalho:** Isto significa que é necessário o apoio dos altos escalões para a equipe. Esta deve possuir o suporte necessário para realizar seu trabalho.

A satisfação deste pontos aumenta as chances da metodologia resultar em um novo produto de qualidade, com uma diminuição do tempo total de desenvolvimento. No entanto a aplicação da metodologia poderá ocorrer sem estes parâmetros, porém as chances de sucesso serão menores.

3.2 As Fases da Metodologia Proposta

3.2.1 Levantamento das Necessidades:

Para realizar o levantamento das necessidades três etapas estão estabelecidas:

- **Determinação das Entradas do Sistema:** Para iniciar o projeto algumas deliberações devem ser tomadas. A equipe de projeto deve saber os limites impostos pelo ambiente. Em outras palavras, é necessário determinar as informações gerenciais associadas ao trabalho, estas são compostas pelas diretivas do ambiente onde o produto será produzido. Informações como uso de subsistemas ou sistemas específicos, público alvo, preferência de utilização de famílias de produtos entre outras são determinadas.
- **Executar a Casa da Qualidade:** Este passo é necessário para definir os requisitos do produto, de acordo com as necessidades dos consumidores. É uma etapa do QFD e será discutida no item 3.3.

- **Verificação de Progresso:** Uma verificação de progresso se faz necessária para avaliar a adequação do volume de informações presentes até o momento. As informações adquiridas até aqui não devem mais ser alteradas, correndo o risco de aumentar excessivamente o tempo de projeto.

3.2.2 Geração e Aperfeiçoamento das Concepções

Uma boa concepção poderá facilitar e garantir as etapas futuras, no entanto erros ou equívocos nesta fase acarretarão em aumento do tempo de projeto, devido a necessidade de refazer o projeto após as fases de desenvolvimento de protótipos e avaliação dos clientes. A geração e aperfeiçoamento de concepções é dividida nas seguintes atividades:

- **Gerar as Concepções:** É sugerido a utilização de pesquisas ou métodos criativos para a determinação de concepções para o problema proposto (ver item 2.2.1).
- **Aperfeiçoar as Concepções:** As concepções serão aperfeiçoadas através da utilização do método proposto por PUGH (1991). Este é altamente iterativo e possibilita o surgimento de respostas direcionadas as necessidades levantadas no item anterior. A interação do método de PUGH irá garantir uma busca extensiva da melhor solução para o projeto.

3.2.3 Verificação dos Subsistemas

Esta é a última fase da metodologia. Quando estiver completa o resultado será uma solução para o projeto que responderá as necessidades determinadas inicialmente. A atividade abaixo é realizada nesta fase.

- **Desdobramento da Função Qualidade para Subsistemas:** A fase anterior terá como resposta uma concepção que se apresentará como solução para o problema. Esta será determinada de forma a preencher os requisitos de projeto da primeira matriz do QFD, a Casa da Qualidade. Porém, uma concepção pode ser composta por um grupo de subsistemas e cada um destes subsistemas deverá preencher os requisitos iniciais.

3.3 Método para Levantamento das Necessidades

Dentro da metodologia proposta, o levantamento das necessidades do consumidor será realizado pelo QFD.

O método foi descrito em linhas gerais no capítulo anterior, onde foram apresentadas as principais características e limitações do método. Este item apresenta a sistemática para sua execução, discutindo os seus passos.

O QFD auxilia a equipe de projeto a desdobrar as necessidades do consumidor nas operações de produção, no ambiente de fábrica. Para iniciar este processo o QFD utiliza uma matriz que normalmente é denominada como “Casa da Qualidade” ou HoQ (House of Quality).

A HoQ é o primeiro de uma série de diagramas em forma de matriz utilizados em uma cadeia de comunicação visualmente conectada, esta possui linhas onde são armazenados os dados de entrada e colunas das quais os dados de saída são relatados. As entradas neste caso representam a “Voz do Consumidor”, isto é os requisitos e expectativas dos consumidores em relação ao produto. A HoQ apresenta oito regiões (ver figura 3.2), cada qual representando uma diferente faceta do planejamento do produto. Estes podem ser associados aos cômodos de uma casa, surgindo deste fato o seu nome. Esta é considerada “construída” quando linhas e colunas estão preenchidas com todos os dados de entrada e saída necessários.

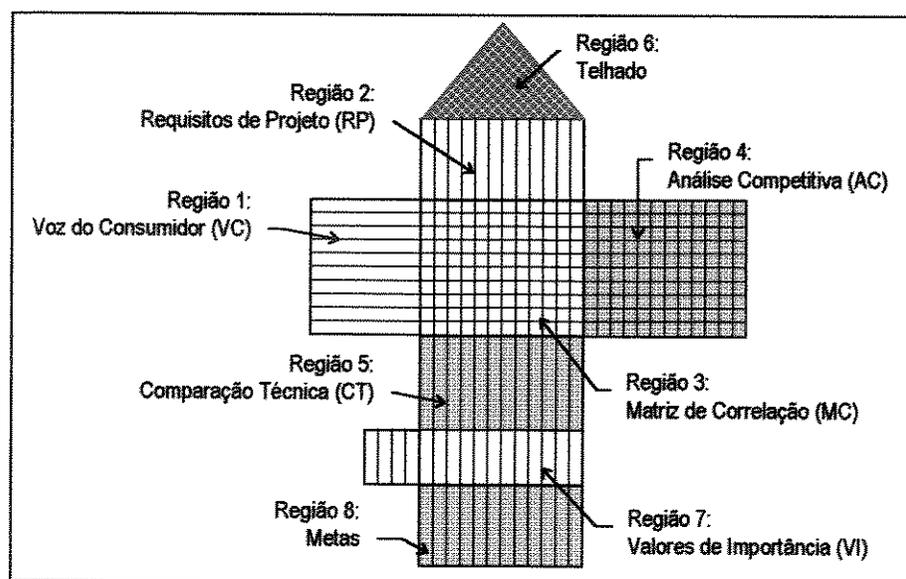


Figura 3.2 - Regiões da Casa da Qualidade

A HoQ não é uma nova atividade dentro do desenvolvimento de produto, mas um modo mais efetivo de se realizar atividades tradicionais de planejamento. Eliminando os retrabalhos que tradicionalmente são realizados mais adiante no processo de desenvolvimento, a HoQ reduz em muito o tempo de desenvolvimento do produto. Esta,

também produz uma grande satisfação do cliente, como o resultado de uma maior concentração na Voz do Consumidor (VC). Na HoQ a equipe de projeto desdobra (no inglês *deploy*) a VC nas diretrizes da empresa para o novo produto. Este é o primeiro passo no círculo de comunicações e a HoQ ajuda a equipe a manter uma alta fidelidade a voz do consumidor.

Uma das características principais da forma e conteúdo da VC foi apresentada por CLAUSING (1993), ao discutir um caso de aplicação do QFD. O exemplo citado refere-se a empresa Toyota Autobody. O levantamento para a VC apresentou a seguinte necessidade: “A pick-up não irá enferrujar no carregamento de frutas frescas” nem irá enferrujar “como resultado da lavagem em máquinas automáticas”. Estas necessidades apresentam claramente a perspectiva do consumidor. Esta é subjetiva, qualitativa e não técnica. Para o desenvolvimento de novos produtos é essencial que a equipe de projeto traduza as necessidades do consumidor na linguagem da empresa, que é mais quantitativa e técnica, apresentando uma perspectiva muito diferente.

A figura 3.3 apresenta a seqüência de desdobramentos realizadas no decorrer da execução do QFD.

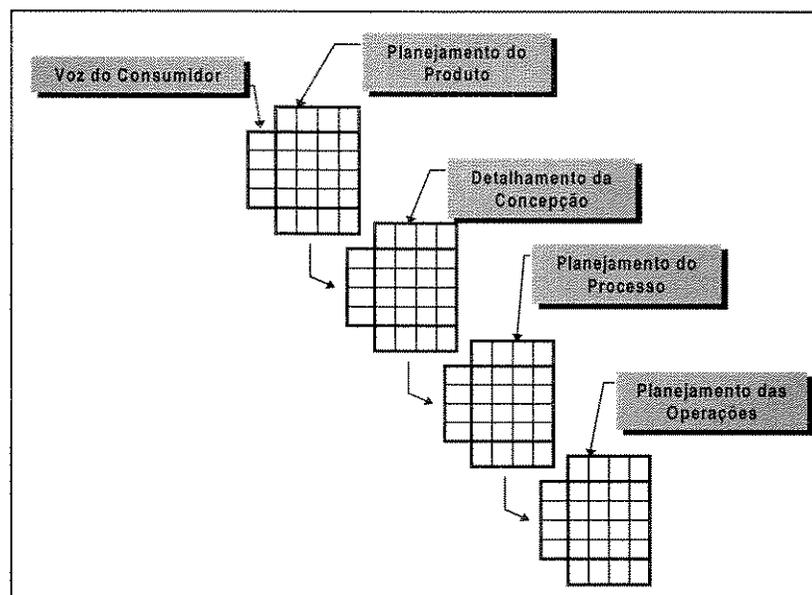


Figura 3.3 - Estrutura de desdobramentos do QFD

Após completar a HoQ a equipe utiliza o QFD no desdobramento para o levantamento de concepções e engenharia de processo/produção e então para planejamento das operações

de produção, que definirá a operação no chão-de-fábrica. Os dados de saída para cada matriz são as colunas sendo transformadas em linhas para a próxima matriz.

A primeira matriz apresentada na figura 3.3 corresponde a matriz da HoQ. Seus dados de entrada são constituídos pela VC. Esta matriz terá como resultado os Requisitos de Projeto (RP).

Estes requisitos serão os dados de entrada para a próxima matriz, onde resultarão nos requisitos necessários ao detalhamento da concepção. Estes serão desdobrados para o planejamento da produção e posteriormente para o planejamento das operações.

Cada etapa do desenvolvimento do produto pode ser vista como um consumidor para a etapa seguinte e ao mesmo tempo um fornecedor da etapa anterior. Desta forma todas etapas do desenvolvimento do produto responderão as necessidades de consumidores e o produto final estará respondendo também as expectativas do consumidor inicial.

A tabela 3.1 apresenta um sumário dos passos necessários para sua realização do QFD.

Tabela 3.1 - Sumário dos passos da Casa da Qualidade

| Passos | Descrição |
|---------------------------|---|
| 1. Voz do Consumidor | Determinação das necessidades e desejos dos consumidores. |
| 2. Requisitos de Projeto | Determinação dos requisitos técnicos relacionados com as necessidades dos consumidores. |
| 3. Correlações | Quais são os relacionamentos entre a VC e RP. |
| 4. Análise competitiva | Na opinião do consumidor, como sua empresa esta se comportando frente as concorrentes? |
| 5. Comparações técnicas | Como a performance do seu produto se compara com os concorrentes? |
| 6. Telhado | Quais são os relacionamentos potenciais? |
| 7. Planejamento | Planejar os próximos passos de utilização da HoQ |
| 8. Determinação das metas | Determinar as metas para cada RP. |

Todos os procedimentos necessários para a “construção” da HoQ estão nos itens 3.3.1 ao 3.3.9. Utilizamos como exemplo ilustrativo o desenvolvimento de um fogareiro portátil para acampamentos (SANCHES, 1993), no próximo capítulo, onde é exposta a implementação da metodologia em um programa computacional, será apresentado um caso de utilização da metodologia.

3.3.1 Voz do Consumidor

Com o uso do QFD as necessidades dos consumidores irão guiar o projeto de um novo produto. Logo o primeiro passo é questionar um grupo representativo de consumidores (que pode incluir distribuidores e revendedores em conjunto com os consumidores finais), o que eles precisam e desejam.

Uma boa determinação da VC irá minimizar problemas em todas as fases de desenvolvimento. A grande vantagem trazida pela correta identificação da VC está no momento final do desenvolvimento do produto. O resultado deverá preencher todas as necessidades claras e subjetivas do consumidor. Uma sub-avaliação das necessidades resultará em um maior número de reprojatos aumentando o tempo de desenvolvimento e custos associados.

Esta etapa deve ser realizada por uma equipe multifuncional, desta forma as informações serão captadas sobre diversos aspectos. É fundamental a participação dos envolvidos diretamente no desenvolvimento do produto nesta etapa, para assegurar um correto entendimento das necessidades dos consumidores.

CLAUSING (1993) sugere os seguintes passos para a determinação da VC :

1. Planejamento;
2. Interação com os consumidores;
3. Apurar os dados para uma maior clareza;
4. Selecionar necessidades expressivas;
5. Estruturar as necessidades;
6. Caracterizar as necessidades dos consumidores.

A tabela 3.2 apresenta organização destes passos em grupos de atividades. Os passos de 1 e 2 estão relacionados com a imersão no ambiente do consumidor. É necessário caminhar na direção do consumidor e entrar dentro de seu mundo, só assim as necessidades refletirão as realidades concretas e não uma realidade fora de seu contexto. As atividades 3 e 4 são propostas para esclarecer os dados recolhidos. As duplas interpretações e mal entendidos são esclarecidos para que a equipe de projeto possa adquirir uma visão consistente e homogênea das necessidades dos consumidores. A estruturação das

necessidades (passo 5), busca ordenar toda a informação recolhida. Por fim o passo 6 irá caracterizar as informações, isto é, itens da VC serão agrupados em categorias, assim permitindo uma visão geral das necessidades.

Tabela 3.2 - Atividades para a obtenção da VC

| Atividade Genérica | Passos |
|---------------------------------|--------|
| Imergir no contexto e obter voz | 1 e 2 |
| Esclarecer | 3 e 4 |
| Estruturar | 5 |
| Caracterizar | 6 |

1. Planejamento

O planejamento das estratégias e etapas que serão realizadas é de extrema importância dentro do desenvolvimento de qualquer atividade. Desta forma no desenvolvimento do projeto, em particular na realização desta etapa da metodologia proposta, o planejamento irá garantir um trabalho frutífero e evitar problemas futuros devidos a esquecimentos e imprevistos.

Nesta etapa a equipe de projeto irá planejar as interações com os consumidores. É importante garantir que os fatores de sucesso estão bem determinados. CLAUSING (1993) apresenta os seguintes fatores relacionados ao sucesso da implementação completa do QFD:

- Uma equipe de projeto multifuncional;
- Suporte gerencial (apoio do alta e média gerência);
- Flexibilidade na adaptação do QFD.

A multifuncionalidade da equipe de projeto se faz necessária para assegurar uma maior interação. Os conhecimentos serão trocados e a capacidade da equipe gerar novos conhecimentos fica potencializada. Garantindo assim uma sinergia no processo de desenvolvimento.

O suporte gerencial irá apoiar as decisões da equipe de projeto. Garante autoridade à equipe, preservando assim seus membros e mantendo suas expectativas altas. Uma alta motivação irá resultar em um desenvolvimento mais criativo.

A flexibilidade da equipe ao realizar o QFD é um dos pontos críticos no método. Na realização de cada etapa é necessário discernir o momento quando os objetivos foram atingidos. A tentativa de atingir a perfeição em cada passo irá tornar o processo de projeto inviável, sob o ponto de vista do tempo. Desta forma o planejamento das atividades, com um estabelecimento dos objetivos de cada fase irá viabilizar o desenvolvimento.

Além do estabelecimento de objetivos para cada fase, o planejamento determinará os grupos de consumidores que melhor representam o mercado, as formas de interação com os consumidores, as forma de análise dos dados obtidos, além de outras informações relacionadas a desenvolvimentos específicos.

2. Interação com os consumidores

A interação com os consumidores busca o levantamento de suas necessidades. Entre as várias formas de interações possíveis as mais utilizadas são as entrevistas e observações em ambiente real.

As entrevistas com os consumidores podem ser realizadas de diversas formas: contato pessoal, entrevistas por telefone, questionários por correspondência, reuniões em grupos e outras formas possíveis.

A observação em ambiente real irá buscar algumas informações que não foram ou não podem ser expressas na forma verbal. Com esta forma de interação a equipe procura comportamentos ou atos que possam ser traduzidos como desejos ou necessidades do consumidor.

3. Apurar os dados para uma maior clareza

A interação com os consumidores irá gerar um grande volume de frases ou necessidades. Muitas serão ambíguas ou duplicações não exatamente com as mesmas palavras. Logo a equipe deve apurar os dados obtidos, editando as informações, esclarecendo ambigüidades separando pensamentos compostos e trazendo todas informações para um mesmo nível de abstração quando apropriado. Quando as duplicações forem identificadas a melhor frase deve ser selecionada. Em alguns casos frases específicas que não são exatamente duplicações são agrupadas em uma categoria única, que irá representá-las.

Isto ajudará a reduzir a quantidade de necessidades a um número razoável para ser administrado.

4. Selecionar necessidades expressivas

É necessário dar prioridade a algumas necessidades dos consumidores, diminuindo ainda mais a dispersão das informações. O método do QFD procura determinar quais necessidades dos consumidores trarão melhor retorno quando atendidas. Estas características tornam-se peças chaves no desenvolvimento.

Na seleção das principais necessidades questões estratégicas devem ser levadas em conta, como o mercado de atuação da empresa, o público alvo, etc. Assim as necessidades que apontarem para realizações destas estratégias devem ser selecionadas.

Avaliando o número de necessidades do consumidor que devem ser utilizadas na HoQ, SANCHES (1993) sugere um valor de 15 a 20 itens como o ideal.

5. Estruturar as necessidades

As informações obtidas devem ser agrupadas em categorias que representem estas necessidades dos consumidores. A separação em grupos de afinidade trará uma visão mais abrangente à equipe e irá colaborar para uma melhor organização das necessidades.

6. Caracterizar as necessidades dos consumidores

A caracterização das necessidades dos consumidores busca estabelecer valores comparativos de importância. Isto garante a concentração dos esforços em áreas que apresentam maiores capacidades de agregarem valor ao produto.

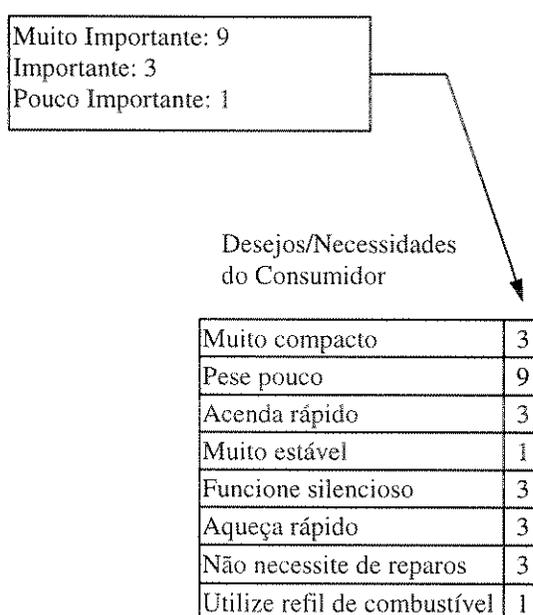
Um método utilizado aqui é a atribuição de valores de importância a cada item das necessidades selecionadas. Para isto solicita-se a um grupo de consumidores que classifiquem cada um destes.

A tabela 3.3 apresenta as opções normalmente sugeridas para os consumidores. A divisão em três níveis é suficiente para grande parte dos casos.

Tabela 3.3 - Nível de importância das necessidades do consumidor

| Classificação | Peso |
|---------------------|------|
| 1. Muito Importante | 9 |
| 2. Importante | 3 |
| 3. Pouco Importante | 1 |

Este é o último passo para o levantamento das necessidades dos consumidores. No decorrer dos passos a equipe adquire uma melhor visão sobre o que realmente espera o consumidor e o processo criativo irá iniciar a geração de concepções para o sistema. A figura 3.4 apresenta a forma gráfica esperada para a Voz do Consumidor.

**Figura 3.4 - A Voz do Consumidor**

3.3.2 Requisitos de Projeto

As colunas na HoQ (ver Região 2 da figura 3.2), são as características desejadas alcançar no desenvolvimento do produto. As necessidades dos consumidores serão normalmente colocadas em uma linguagem subjetiva e qualitativa. Os requisitos de projeto são um desdobramento destas necessidades em uma linguagem mais objetiva, técnica e quantitativa.

1. Desenvolver Requisitos de Projeto

Como um exemplo de necessidade para transformação das necessidades do consumidor em RP, toma-se a necessidade apontada na figura 3.4: “Muito estável”. Um projetista pode considerar que conseguir manter o fogo aceso em uma noite com vento normal como estabilidade, enquanto outro pode considerar estabilidade como a capacidade do fogareiro manter-se em posição, mesmo na utilização de grandes vasilhas e em terrenos irregulares.

O exemplo demonstra a necessidade da equipe possuir uma visão homogênea do problema. Desta forma o desdobramento pode ser específico e quantitativo para garantir que o produto terá uma vantagem competitiva e que todos da equipe estarão trabalhando para preencher os mesmos requisitos.

Para desenvolver os itens do RP, cada item da VC deve ser analisado e atribuída uma forma de medir este item no novo produto. Deve existir pelo menos uma resposta de RP para cada item da VC.

2. Definir os testes para os Requisitos de Projeto

É necessário que todos os itens de RP possam ser medidos. Sendo assim a equipe deve estabelecer testes bem definidos e apropriados para cada um deles. A figura 3.5 representa a forma gráfica obtida para o desdobramento da VC em RP, no exemplo proposto.

| | | | | | | | |
|---|---|----|---|---|---|---|---|
| V | P | T | N | V | T | N | D |
| O | E | E | Í | O | E | U | U |
| L | S | M | V | L | M | M | R |
| U | O | P | E | C | O | R | Ç |
| M | | O | L | O | P | E | Ã |
| E | | P/ | R | M | Q | F | O |
| | | A | U | B | U | I | R |
| | | C | Í | | E | L | E |
| | | E | D | | I | | F |
| | | N | O | | M | | I |
| | | D | | | A | | L |
| | | E | | | R | | |
| | | R | | | | | |
| A | B | C | D | E | F | G | H |

Figura 3.5 - Requisitos de Projeto

3.3.3 Relacionar Voz do Consumidor x Requisitos de Projeto

O relacionamento da VC com RP é realizada em uma matriz (ver Região 3 da figura 3.2). Este relacionamento tem o propósito de garantir que os itens de RP serão uma resposta fiel a VC. Para a determinação da matriz as atividades a seguir são necessárias:

1. Determinar a matriz de relacionamento

Para a determinação da matriz de relacionamento a equipe de projeto deverá verificar todas as células da matriz. Nesta verificação é levantada a questão: “Se este requisito de projeto for satisfeito, haverá uma tendência forte, média, fraca ou inexistirá tendência de preencher a necessidade do cliente?”.

Uma variedade de símbolos e números são usados na matriz para representar os pesos utilizados. Usualmente a associação é feita com a utilização de numero positivos. O fato que alguns itens de RP podem ter efeitos negativos não é avaliado aqui, mas no Telhado da HoQ. A tabela 3.4 apresenta os valores de relacionamento entre os itens da VC e RP.

Tabela 3.4 - Valores de Relacionamento

| Relacionamento | Peso |
|----------------|------|
| Forte | 9 |
| Médio | 3 |
| Fraco | 1 |
| Sem Relação | 0 |

É um erro comum preencher quase todas as células na matriz de relacionamento. CLAUSING (1993) afirma que uma matriz útil deve apresentar um símbolo em menos que a metade de suas células, nos melhores casos apresenta de 1/3 a 1/4 de células preenchidas. É claro que o objetivo não é preencher uma certa porcentagem das células, mas atingir uma nível elevado de significado.

Uma primeira avaliação é realizada levando-se em consideração se a matriz faz sentido e se é apoiada por observações da realidade.

3.3.4 Análise Competitiva

Para cada item da VC deve-se realizar uma Análise Competitiva (AC) ou *Benchmarking*. Esta é uma comparação de produtos segundo os critérios da VC. Tipicamente um dos produtos utilizados na comparação é o próprio produto atual da empresa. A equipe pode desejar também verificar o comportamento de algum líder do mercado, podendo ser líder em: tecnologia, vendas, serviços ou aquele produto que atender um aspecto específico da qual se deseja obter um maior conhecimento. A figura 3.7 representa uma análise competitiva para o problema do fogareiro.

Os dados são levantados principalmente através de entrevistas com os consumidores. O planejamento utilizado no levantamento da VC também se aplica à AC. Muitas equipes preferem até trabalhar as duas fases em conjunto ou partem diretamente para a AC após o levantamento de VC. Isto demonstra a necessidade da flexibilidade da equipe em adaptar as fases do método ao seu ritmo de trabalho.

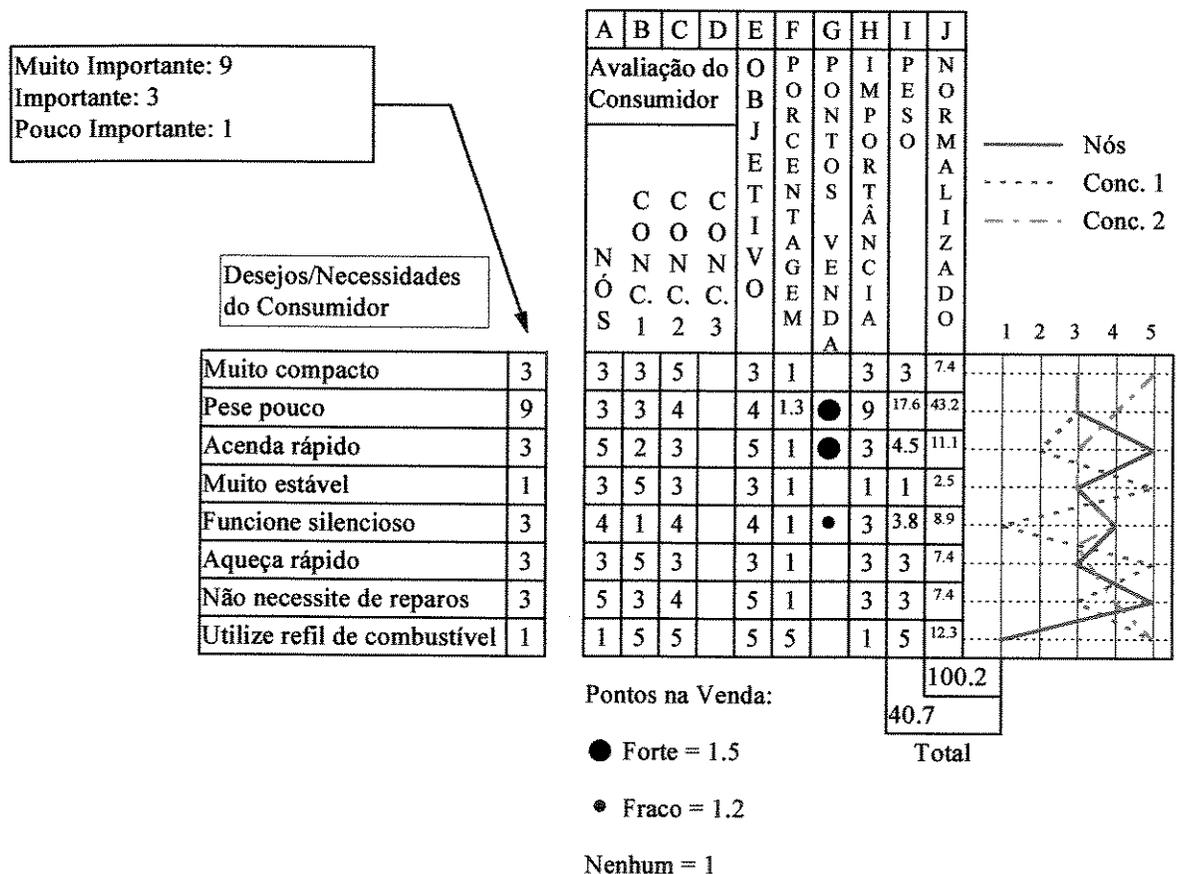


Figura 3.7 - Análise Competitiva de Produtos

Onde:

- Esta análise foi realizada entre o produto da empresa (“Nós”), os líderes de vendas (“Conc. 1”) e os líderes de tecnologia (“Conc. 2”).
- A. A posição daquele que esta realizando a HoQ. Cada linha representa o valor associado ao seu produto, variando de 5 (melhor) a 1 (pior);
- B. Posição do concorrente 1;
- C. Posição do concorrente 2;
- D. Posição do concorrente 3;
- E. Objetivo: Representa a marca que desejamos atingir no conceito do consumidor;
- F. Porcentagem: Quanto será necessário para atingirmos a meta estipulada. $\text{Porcentagem} = (\text{objetivo}/\text{nosso conceito})$;
- G. Pontos Venda: Possibilidade do item da VC alavancar as vendas do produto;
- H. Importância: Importância do item da VC. É determinado por este.
- I. Peso: Peso do item para uma comparação. $\text{Peso} = \text{Importância} * \text{Pontos Venda} * \text{Porcentagem}$;
- J. Normalizado: O peso medido percentualmente.

3.3.5 Comparações Técnicas

A figura 3.8 apresenta um exemplo da avaliação dos competidores.

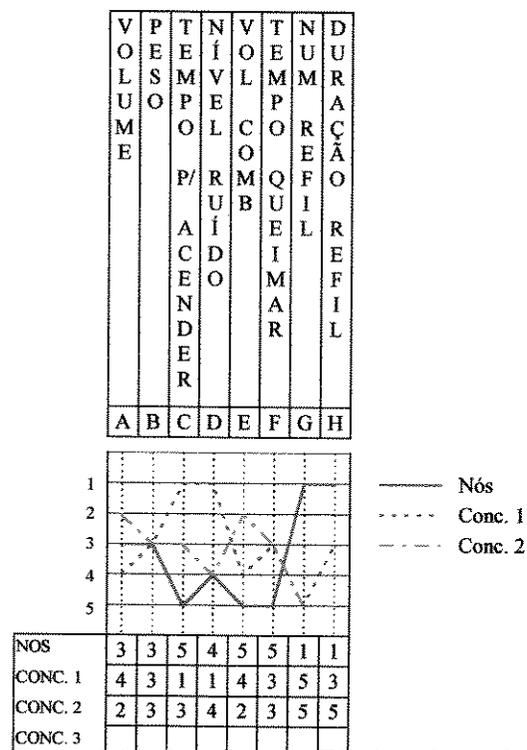


Figura 3.8 - Comparações Técnicas de produtos

capacidade de expansão. Computadores compactos possuem uma correlação inversa com a sua capacidade de instalação de novas placas e componentes. Com o exemplo citado percebe-se que o “Telhado” da HoQ indicará os pontos onde a equipe deverá administrar melhor os conflitos.

3.3.7 Planejamento

Para a realização do planejamento subsequente do projeto e desenvolvimento utiliza-se a importância relativa das necessidades dos consumidores, a importância dos requisitos de projeto e sua dificuldade técnica. O planejamento é dividido em duas etapas:

1. Cálculo da importância dos RP

A importância dos itens de RP é calculada utilizando-se o peso de cada item da VC e sua relação com o item de RP. A figura 3.10 apresenta a forma gráfica desta etapa. Os valores de peso são originários da análise competitiva dos produtos (ver item 3.3.4).

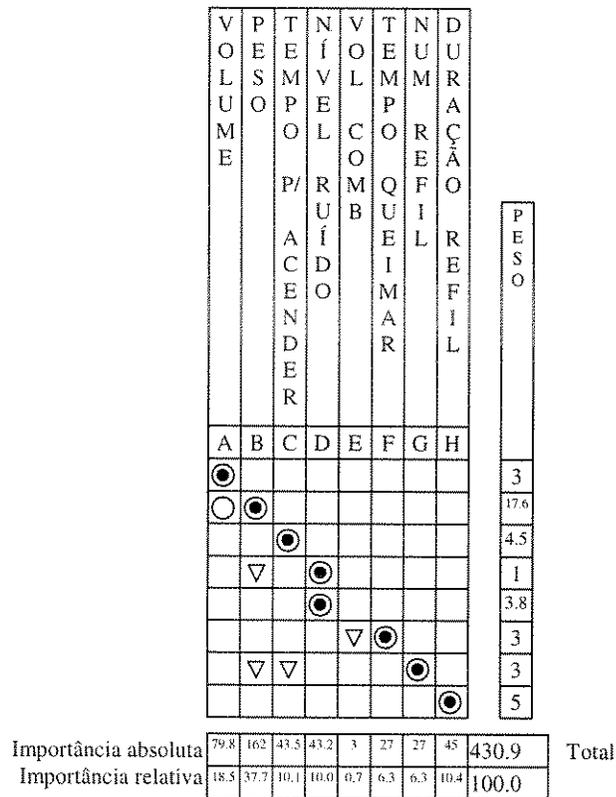


Figura 3.10 - Cálculo dos Valores de Importância

Como exemplo toma-se o item “volume” da figura 3.10. Esta coluna possui duas relações com a VC (itens: “muito compacto” e “pese pouco”). Deve-se multiplicar cada

relação (9 e 3 respectivamente) pelos valores de peso apresentados na mesma linha (3 e 17.6 respectivamente), soma-se todos os valores da coluna obtendo o valor de importância.

$$VI_j = \sum_{i=1}^n VR_{ij} * P_i \quad 3.1$$

onde:

i = Necessidade do consumidor i;

j = Requisito de projeto j;

VIj = Valor de Importância do requisito j;

VRij = Valor de Relação da necessidade i com o requisito j;

Pi = Peso da necessidade i.

2. Avaliação das dificuldades técnicas

A equipe deve avaliar a dificuldade técnica em se realizar cada item de RP. Normalmente atribui-se valores de 1 a 5 para cada item. Esta etapa tem como objetivo determinar os requisitos que necessitaram maiores esforços de engenharia para sua execução.

3.3.8 Determinação das Metas

A determinação das metas irá concluir a HoQ. Para sua correta determinação a equipe deve escolher os valores das expectativas de projeto que irão responder corretamente as necessidades apresentadas pela VC. A figura 3.11 apresenta a Casa da Qualidade totalmente preenchida.

Aqui deve-se estabelecer também os limites de operação, isto é, definir os intervalos onde as necessidades do consumidor será atendida. Estes podem ser do tipo nominal - “O valor x é ideal”, ou restritivo - “Deve apresentar valor maior que y” ou “Nunca deverá ser ultrapassado o valor z”.

Estes valores devem ser competitivos, pois a satisfação plena do cliente pode tornar o produto inviável do ponto de vista econômico (NOBLE e TANCHOCO, 1993) e possuir uma linguagem comum a empresa, pois estes dados serão lidos por vários setores com culturas diferentes e muitas vezes por pessoas que não participaram da elaboração da HoQ.

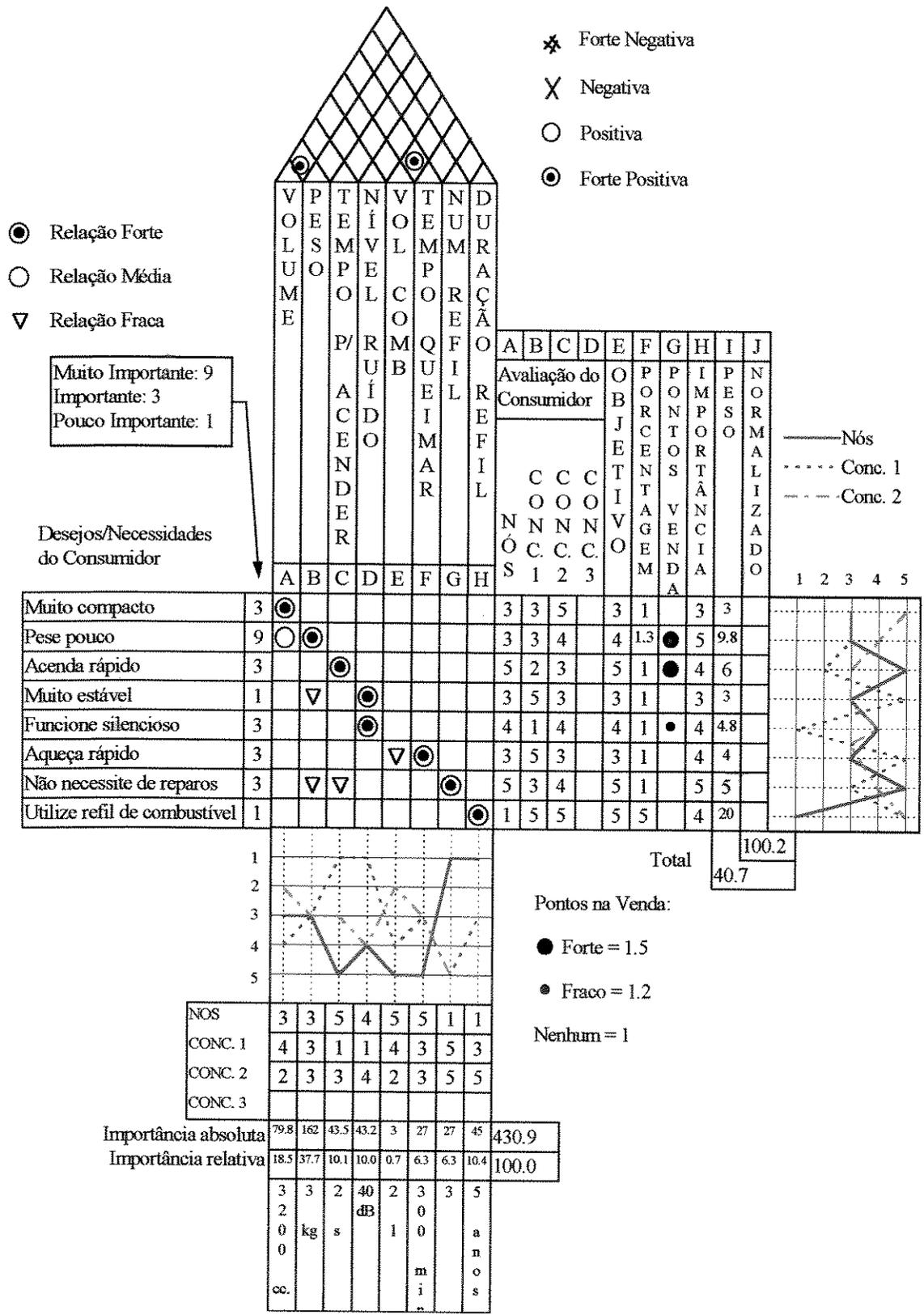


Figura 3.11 - A Casa da Qualidade preenchida

3.4 Método para Geração e Aperfeiçoamento de Concepções

A busca de concepções para solucionar o problema é a primeira atividade desta fase. A metodologia sugere, para a geração de soluções, a utilização de métodos interativos como Brainstorming, Delphi, Sinergia, Inversão entre outros.

A fase criativa das metodologias de projeto são áreas que apresentam grandes avanços recentes. Algoritmos de criatividade estão sendo determinados e métodos direcionados a fase conceitual estão sendo desenvolvidos. Como exemplo disto, o trabalho apresentado por FEY et al. (1994) apresenta a utilização de teoria criativa de solução para problemas (ARIZ) aplicada ao projeto e manufatura. Este método apresenta grande adequação ao uso com o QFD. Segundo FEY sua aplicação trará grandes alterações na forma como a fase criativa é estruturada hoje.

Dentro da metodologia proposta, a realização da avaliação das concepções utiliza o método proposto por PUGH (1991), denominado *Método de Avaliação e Concepção de Pugh (MACP)*. Este apresenta como grande vantagem o desenvolvimento, pela equipe multifuncional, de concepções melhoradas, como resultado da disciplina e inspiração proporcionados pela aplicação do método.

Aplicações industriais demonstram que o MACP é um componente chave do desenvolvimento com sucesso de produtos. Este supera o problema de concepções surgidas milagrosamente após algumas considerações como a solução para todos os problemas, que no entanto, não passam em testes rígidos.

O MACP é viável com todos os tipos de produtos, de automóveis e giroscópios a circuitos integrados e programas computacionais. Este também foi aplicado com sucesso a serviços como bancos e turismo e seleção de estruturas organizacionais. Na realidade, o MACP pode ser aplicado a qualquer seleção onde hajam critérios claros e alternativas bem definidas.

O processo começa com as concepções que foram geradas. Durante o processo do MACP, novas concepções são geradas. Muitas delas são híbridas ou variações das concepções iniciais. A escolhida raramente é exatamente uma das concepções iniciais. O método é interativo e sua morfologia está apresentada na figura 3.12.

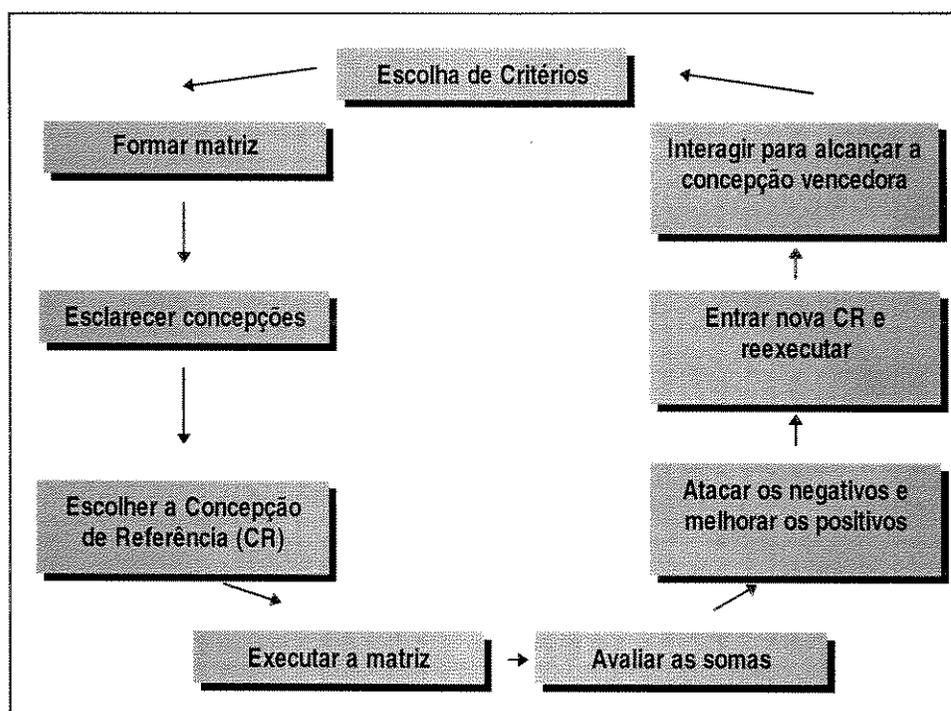


Figura 3.12 - Método de Avaliação e Concepção de PUGH (1991)

Para serem um sucesso no mercado os produtos devem ter uma concepção correta. O MACP ajuda a equipe a obter uma concepção adequada que irá resistir ao teste do tempo e pressões competitivas. Igualmente importante é o fato da equipe alcançar uma compreensão das concepções, isto é, as razões que fazem da solução escolhida superior as demais.

3.4.1 Escolha de Critérios

Os critérios aplicados no MACP são derivados das expectativas do produto ou requisitos de projeto. Estes por sua vez foram desdobrados da Voz do Consumidor. Então a concepção selecionada é responsável pela satisfação do consumidor. Em casos simples o RP podem ser tomado diretamente da HoQ e entrar nas linhas da matriz de seleção.

Quase sempre em praticas reais a equipe vai desejar refinar mais o RP para formular critérios para a seleção das concepções. Os itens que formam o RP são testes ou direcionados para inspeções. Eles são formulados para serem utilizados no final do processo de desenvolvimento do produto, para assegurar que o produto atendeu as expectativas e deve prosseguir para a produção e mercado.

Um outro motivo para a equipe realizar um refinamento do RP, para os critérios de seleção de concepções, é evitar um número excessivo de critérios. O MACP funciona melhor

com quinze a vinte critérios, enquanto a HoQ normalmente tem mais itens de RP que isto. Muitos critérios que são importantes checar no final do desenvolvimento, podem não fazer muita diferença para o MACP, portanto podendo ser ignorados. Por outro lado, muitas vezes é importante incluir critérios que não são oriundos da HoQ. Cobertura de patente e riscos técnicos são dois exemplos de critérios que normalmente não surgem na HoQ e são vitais para a seleção em muitos projetos.

A figura 3.13 representa uma matriz utilizada para o MACP. As linhas A, B, C e D representam os critérios escolhidos para a avaliação de concepções.

| CRITÉRIO | | | | |
|----------|--|--|--|--|
| A | | | | |
| B | | | | |
| C | | | | |
| D | | | | |

Figura 3.13 - Estabelecimento dos critérios para o MACP

3.4.2 Formar a Matriz

Os critérios selecionados devem entrar na matriz, como cabeçalho das linhas. Esta é uma outra oportunidade para rapidamente fechar a compreensão geral e consenso em torno dos critérios. As concepções assumem o cabeçalho das colunas.

A matriz deve ser preparada em algum meio para a visualização da equipe, seja papel, cartões ou na tela de um computador. A figura 3.14 apresenta a matriz com as concepções posicionadas. É conveniente o posicionamento de uma imagem de cada concepção na sua coluna correspondente.

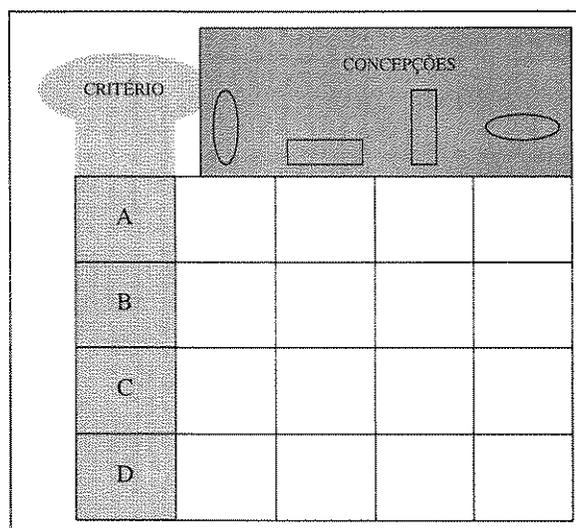


Figura 3.14 - Posicionamento das concepções

3.4.3 Esclarecer as Concepções

As concepções devem ser esclarecidas uma a uma para os membros da equipe. Assim é possível alcançar um entendimento geral. Este é um passo crucial. No início da primeira sessão de trabalhos da equipe no MACP, os membros têm um diferente grau de entendimento de cada concepção. Neste ponto, a discussão trará todos eles a um grau de entendimento semelhante e mais aprofundado. Na melhor hipótese esta atividade será uma continuação do processo de invenção.

As contribuições das experiências variadas da equipe irão melhorar as concepção e normalmente identificar pontos críticos para a viabilização de cada concepção.

Este passo é altamente produtivo. É um trabalho criativo no melhor sentido. Uma interação frutífera entre as várias experiências da equipe, para mais adiante desenvolver as concepções. É crítico para o sucesso deste passo o desenvolvimento da posse coletiva das concepções. Se cada concepção permanecer identificada com um indivíduo em detrimento do grupo então negociações podem dominar a interação da equipe.

Este passo melhora grandemente a compreensão pela equipe das concepções. Na realização do MACP uma grande vigilância deve ser tomada para evitar o risco de cair apenas no preenchimento automático de papéis. O esclarecimento das concepções é uma grande oportunidade para interações criativas que tomam vantagem da experiência abrangente da equipe.

3.4.4 Escolher a Concepção de Referência (CR)

Nesta etapa, a equipe deve escolher uma concepção para ser a CR na primeira execução da matriz (ver figura 3.15). Esta será a concepção com a qual todas outras serão comparadas. É importante escolher uma das melhores concepções, uma CR pobre resultará em todas as outras concepções sendo avaliadas positivamente em relações a esta, causando demoras e oferecendo pouco para aumentar a visão da equipe.

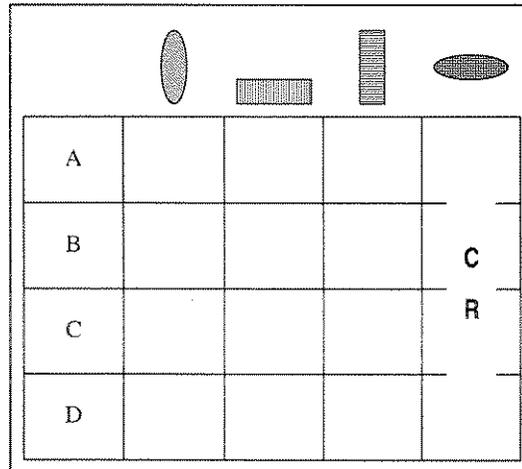


Figura 3.15 - Escolha da CR

3.4.5 Executar a Matriz

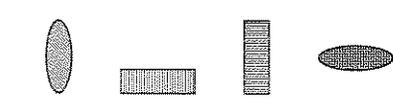
A execução da matriz consiste em uma avaliação comparativa. Cada concepção é comparada com a CR para cada critério, em outras palavras, cada célula da matriz é avaliada. O primeiro critério é aplicado a cada concepção, então o segundo critério é aplicado e assim sucessivamente. A avaliação começa na primeira célula, aplicando o primeiro critério a primeira concepção. A pergunta respondida aqui é: “Esta é melhor ou pior que a CR na sua capacidade de preencher o primeiro critério?”. A figura 3.16 apresenta a matriz preenchida.

A avaliação utiliza uma escala com três níveis: melhor (+), pior (-) ou igual (I). Igual (I) significa que a concepção não é claramente melhor ou pior que a CR. Um desejo natural para usar mais níveis na esperança de alcançar uma comparação mais precisa e diferenciada deve ser fortemente evitado. Segundo PUGH (1991) a experiência mostrou que a aplicação consistente de três níveis é uma conquista. Ocasionalmente uma concepção vai parecer excepcionalmente superior a CR para um critério e pode-se desejar avaliá-la como ++. Isto não é aconselhável. Esta escala em três níveis vai levar à melhor concepção depois da

interação completa. Em interações subsequentes a CR será alterada e haverá uma oportunidade para avaliações de segunda ordem.

O benefício principal não surge do preenchimento de uma matriz com +, - e I. A maior vantagem do processo são as novas idéias. Esta busca deve ser a ênfase da equipe em preencher cada célula. Uma breve discussão direcionada da equipe revela pontos de vista divergentes e traz contribuições luminosas das várias experiências dos participantes. Este compartilhamento de diferentes perspectivas traz um aumento da compreensão individual.

As avaliações são feitas com relação a CR. Esta comparação específica é mais eficiente que tentar realizar avaliações abstratas. Aqui a equipe simplesmente procura a melhor concepção possível de ser gerada no tempo proposto. Se esta é melhor que todas as alternativas, incluindo as melhores do mercado então esta é a desejada.



| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | + | - | + | |
| A | + | - | + | |
| B | I | + | - | C |
| C | + | - | - | R |
| D | - | + | I | |

Figura 3.16 - Matriz de seleção preenchida

3.4.6 Avaliar as Somas

Após executar a matriz os resultados são computados. O número de + e - são computados para cada coluna. O resultado não é a soma (negativos subtraídos de positivos), pois isto pode causar uma sub-avaliação de alguma característica importante de alguma concepção. Por exemplo uma concepção com 3 positivos e 10 negativos seria igual a -7. No entanto os 3 positivos podem estar associados com algum elemento conceitual que seria útil na geração de uma concepção híbrida.

3.4.7 Atacar os Negativos e Melhorar os Positivos

A equipe ataca os negativos especialmente para as concepções mais promissoras. Normalmente uma concepção pode ser facilmente alterada para superar uma avaliação negativa com respeito a algum critério. Uma breve discussão da equipe revela as melhorias que podem ser facilmente identificadas.

De forma similar a equipe reforça os positivos. Isto significa aplicar características fortemente positivas a outras concepções. Isto leva ao surgimento de concepções híbridas. Um híbrido ou uma nova concepção é adicionada a matriz antes da próxima avaliação.

3.4.8 Entrar um Novo CR e Executar Novamente a Matriz

Então a equipe escolhe uma nova concepção como segunda CR e executa a matriz novamente. Normalmente a segunda CR é a concepção que recebeu a melhor qualificação na primeira avaliação. No entanto, o propósito não é verificar se esta é a melhor concepção, mas adicionar bases que mais além irão inspirar a criatividade para alcançar a melhor concepção. Normalmente a segunda CR é uma concepção híbrida ou o resultado do melhoramento de uma concepção original.

A segunda execução da matriz ajuda a equipe a desenvolver conhecimentos adicionais pois a nova CR traz uma perspectiva diferente.

3.4.9 Interagir para alcançar a Concepção Vencedora

O processo tem uma característica interativa. Em uma nova interação a equipe irá propor novas concepções que surgiram das idéias da interação anterior ou melhoria as concepção já avaliadas. É claro que algumas das concepções menos promissoras da primeira matriz são retiradas. A matriz é executada novamente e a equipe continua a interagir até alcançar o consenso que a melhor solução para o problema original foi atingida por uma concepção dominante.

3.5 Método para Determinar os Subsistemas

A determinação dos subsistemas é um desdobramento do QFD. Os procedimentos utilizados para sua execução foram apresentados em 3.3. Porém as seguintes considerações devem ser feitas:

- A Voz do Consumidor será representada pelos Requisitos de Projetos determinados na matriz da HoQ (ver item 3.3.2), tomando-se apenas os itens relativos ao subsistema em análise;
- Nesta fase não é necessário a determinação das regiões 4, 5 e 6 (ver figura 3.2);
- Os valores determinados para as metas serão utilizados no dimensionamento dos subsistemas e conseqüentemente da concepção total.

A figura 3.17 representa uma matriz utilizada para a determinação de um subsistema do exemplo. As linhas formam a VC e as colunas os RP.

| Requisitos para o sistema total | | Subsistema do queimador | | | | | |
|---------------------------------|------------------|-------------------------|------|------------------|-------------|--------------|---------------|
| | | VOLUME | PESO | TEMPO P/ ACENDER | NÍVEL RUIDO | DURABILIDADE | TEMPO QUEIMAR |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| A | VOLUME | 3200 cc. | | | | | |
| B | PESO | 3 kg | | | | | |
| C | TEMPO P/ ACENDER | 2 s | | | | | |
| D | NÍVEL RUIDO | 40 dB | | | | | |
| E | TEMPO QUEIMAR | 300 min | | | | | |

Figura 3.17 - Desdobramento para os subsistemas

3.6 Conclusões

Neste capítulo apresentamos a metodologia proposta para o desenvolvimento de projetos em engenharia.

No próximo capítulo apresentaremos a aplicação desta metodologia de projeto para um sistema computacional. Desenvolvendo-se assim um programa computacional para apoio ao projeto

Capítulo 4

A Implementação do Programa

No capítulo anterior foi definida uma metodologia para a fase conceitual do projeto. Esta metodologia foi estabelecida com base em trabalhos apresentados na literatura e discutidos no capítulo 2. Esta próxima etapa do trabalho apresenta uma discussão da implementação desta metodologia, na forma de um programa computacional.

Devido as características da tarefa de projetar, um programa para auxiliar o projeto pode enquadrar-se na proposta de sistemas especialistas (SE) (DIXON, 1995). Porém, para sua construção é necessário avaliar o contexto onde este será executado (SILVA, 1995). SILVA apresenta três dimensões para a análise da questão:

- se é possível;
- se é justificável;
- se é apropriado.

SILVA (1995) propõem ainda, dois parâmetros a serem analisados no desenvolvimento de um SE: a tarefa e o especialista humano.

A tarefa não deve possuir um grau de complexidade alto, pois isto dificulta o processo de aquisição do conhecimento do especialista humano. Segundo SILVA (1995), uma tarefa difícil é aquela que tomaria dias ou semanas para um especialista resolvê-la.

Uma primeira análise do desenvolvimento de projetos, demonstra que este enquadra-se como uma tarefa complexa. Um especialista humano não é capaz de descrever com exatidão

todos os processos criativos que utilizou no decorrer do projeto. Isto torna difícil a aquisição do conhecimento.

Para a implementação de um SE direcionado à fase conceitual do projeto, ainda se faz necessário aprofundar os conhecimentos existentes em ciências cognitivas.

Além disso, outro fato é fundamental na aquisição do conhecimento. A existência de um especialista que utilize a metodologia proposta. Isto é necessário, uma vez que as regras adquiridas serão dependentes da metodologia utilizada, assim, uma correta aquisição de regras só será possível quando existir especialistas que utilizem a metodologia proposta.

Portanto, o primeiro passo a ser dado é a implementação de um sistema de apoio ao projeto, que possa formar especialistas aptos a colaborar em um próximo passo, o desenvolvimento do sistema especialista. Este foi o objetivo pretendido nesta etapa do desenvolvimento. Desta forma o programa aqui apresentado não pode ser tido como um sistema especialista.

4.1 Implementação do Programa

O programa desenvolvido é de uso geral, isto é, sua estrutura pode ser utilizada no desenvolvimento de qualquer produto. Portanto, a facilidade de personalização para as atividades foi uma exigência. Desta forma o programa apresenta um grau suficiente de flexibilidade que permite alterações ou exclusão de algumas atividades.

No entanto, a utilização do programa gera bancos de dados que serão específicos para áreas de projetos. Estes irão facilitar futuras alterações no programa visando a implementação de um sistema especialista. Quando isto ocorrer será necessário uma avaliação do uso geral do programa.

No desenvolvimento de um sistema especialista para projetos OGLIARI et al. (1995) optou por uma configuração dedicada ao projeto de sistemas de medição. Em contra partida, KRAUSE et al. (1994) apresenta alguns procedimentos para implementar um sistema especialista, sem contudo privilegiar um campo de aplicação, enfatizando sim, a importância da gerência de informações.

Estas divergências demonstram que não existe um consenso em torno do desenvolvimento de sistemas especialistas para projeto. Provavelmente o caminho esteja no desenvolvimento de um sistema geral, capaz de gerenciar bancos de dados de origens diversas.

SILVA (1995) em seu trabalho apresenta como sugestões para desenvolvimentos de programas de apoio ao projeto:

1. Criação de sistemas multi-usuários;
2. As funções de entrada (matéria, energia, sinal) devem ser quantificadas, para facilitar a sugestão de princípios de soluções;
3. Utilização de símbolos personalizáveis;
4. Utilizar o programa em disciplinas de ensino de projeto.

4.1.1 Módulos do Programa

A implementação do programa para apoio ao projeto teve como um de seus passos iniciais a determinação do fluxograma de informações e atividades necessárias à execução de um projeto. Desta forma as fases da metodologia proposta (ver item 3.2), podem ser representadas segundo a figura 3.1.

Com o intuito de facilitar alterações futuras, foi utilizada uma linguagem orientada a objetos. Isto possibilitou a divisão da metodologia em módulos, capazes de funcionar independentes ou em conjunto. Foram desenvolvidos três módulos responsáveis pela execução das diversas fases do fluxograma apresentado na figura 4.1.

Implementou-se um módulo responsável pelo gerenciamento das informações e do fluxograma geral denominado **Virgílio**; um segundo, responsável pelas tarefas associadas a Casa da Qualidade e um terceiro, responsável pelo desenvolvimento e seleção de concepções denominado **Echo!**. A interação entre estes módulos esta apresentada na figura 4.2.

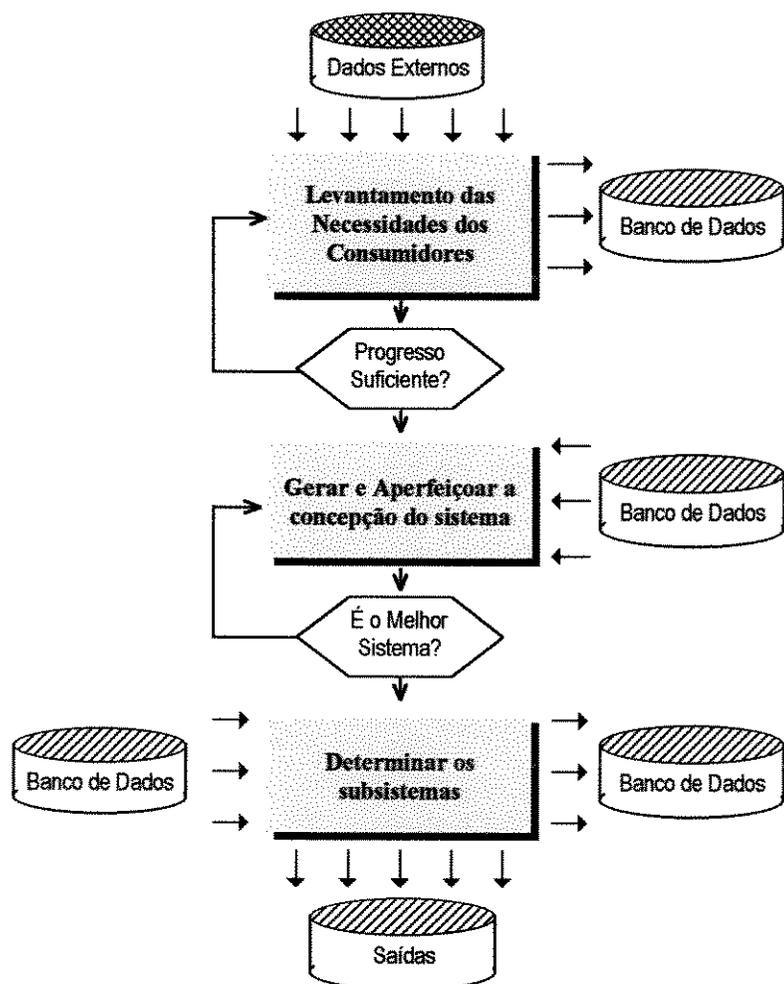


Figura 4.1 - Morfologia do programa

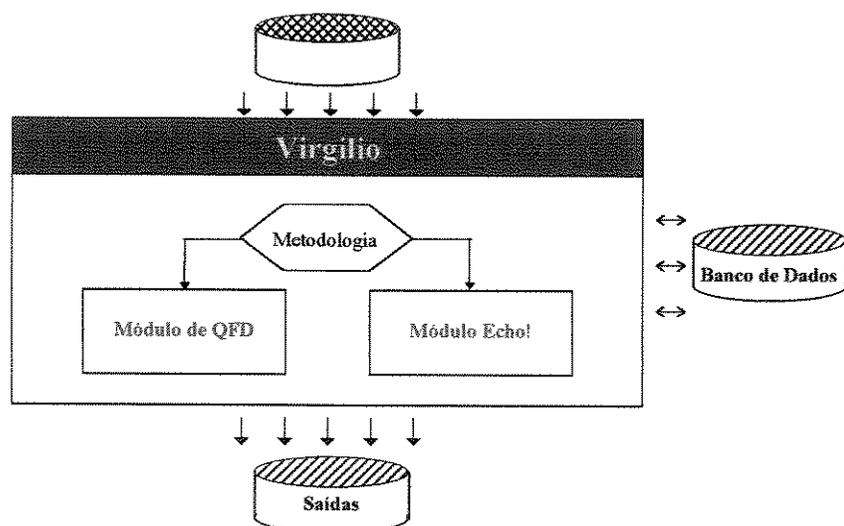


Figura 4.2 - Distribuição do programa

1. O Módulo Virgílio

Seu nome é uma homenagem ao personagem da obra “A Divina Comédia” de Dante Alighieri. Assim como Virgílio foi um guia para o poeta em sua viagem do inferno ao céu, este programa pretende ser um guia para as equipes de projeto nos seus desenvolvimentos, passando pelos momentos iniciais até a concepção final.

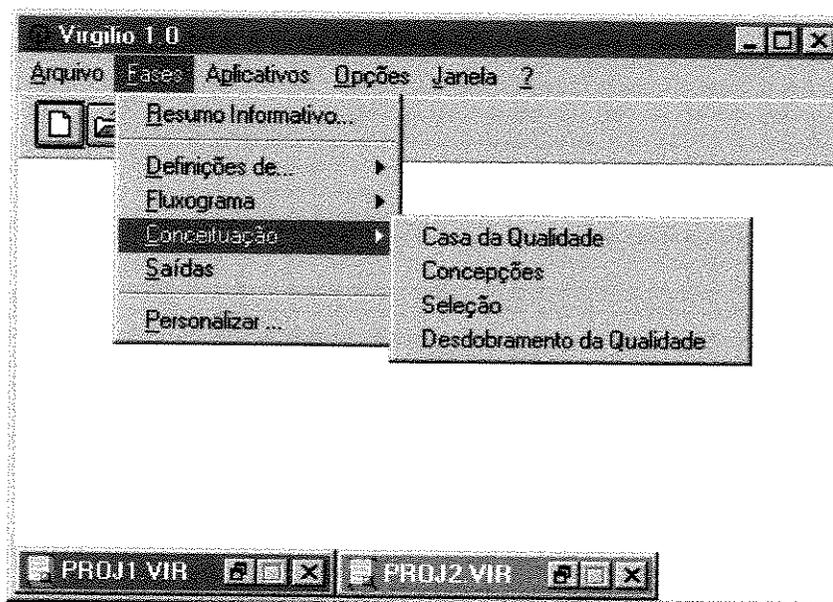


Figura 4.3 - Interface gráfica do programa Virgílio

Este é o módulo principal da implementação da metodologia. É o responsável pela administração de todo o fluxo do projeto. O módulo permite acesso aos módulos de QFD e *Echo!*.

2. O Módulo para QFD

Este módulo pode funcionar como um programa independente, direcionado a realização do QFD, em particular da Casa da Qualidade. Pode ainda ser utilizado pelo programa Virgílio, através dos fluxos de um projeto.

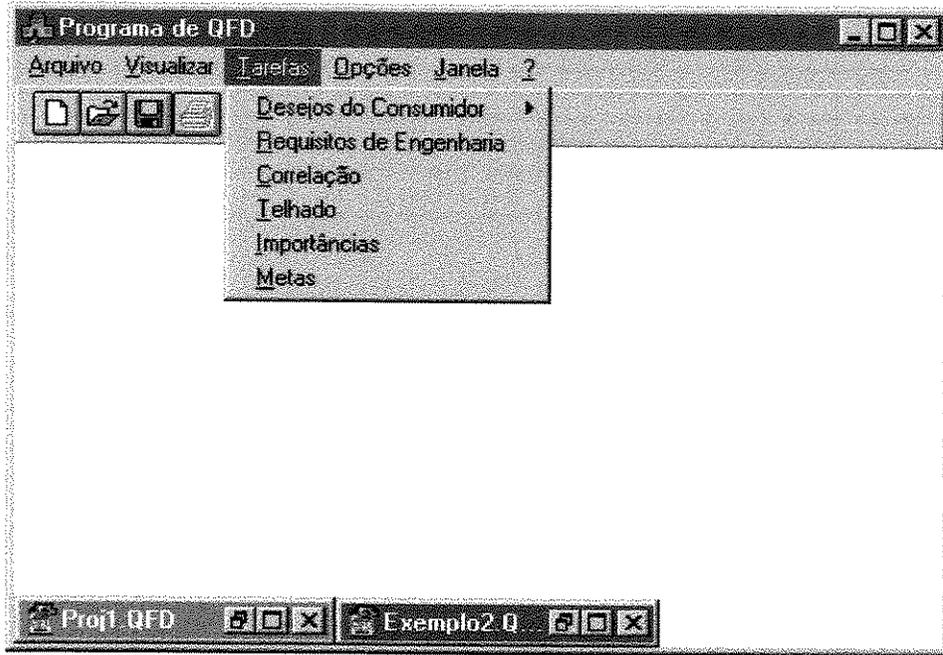


Figura 4.4 - Módulo de QFD

3. O Módulo *Echo!*

Assim como o módulo para QFD o módulo *Echo!* Também pode ser utilizado como um programa individual ou através de chamada do programa *Virgilio*. É responsável pelas atividades do Método de Avaliação e Concepção de PUGH (1993).

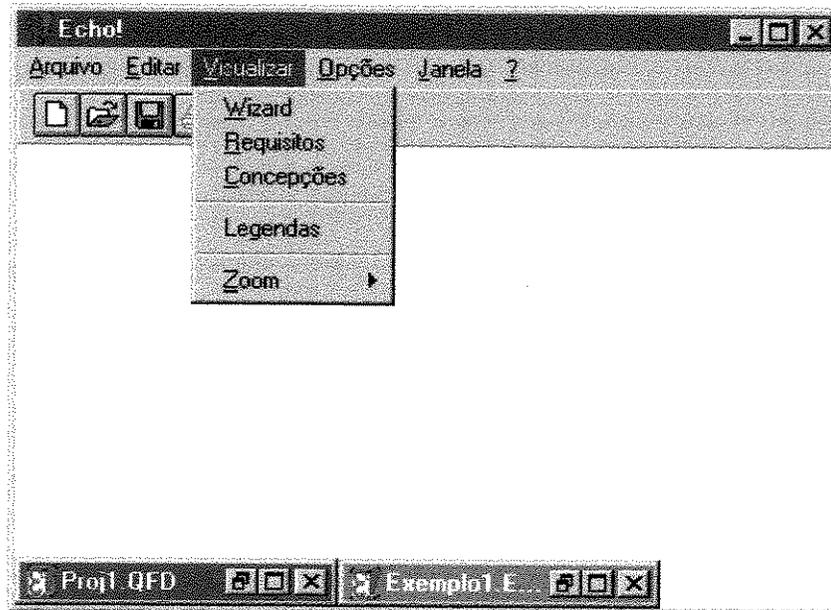


Figura 4.5 - Programa *Echo!*

4.2 As Fases do Programa

A implementação seguiu a metodologia proposta no capítulo 3, portanto as fases do programa são:

- I. Determinação das entradas do sistema
- II. Executar a Casa da Qualidade
- III. Verificação de progresso
- IV. Aperfeiçoamento de concepções
- V. Busca da melhor solução de projeto
- VI. Desdobramento da função qualidade para subsistemas
- VII. Saídas do programa

A tabela 4.1 apresenta a responsabilidade de cada módulo em relação as fases do projeto.

Tabela 4.1 - Atividades e Módulos

| Tarefa | Módulo |
|--------|--------------|
| I | Virgilio |
| II | QFD |
| III | Virgilio/QFD |
| IV | <i>Echo!</i> |
| V | <i>Echo!</i> |
| VI | QFD |
| VII | Virgilio |

4.2.1 Determinação das Entradas do Sistema

O programa Virgilio procura preencher a lacuna de ferramentas que auxiliem à fase conceitual do processo de projeto. Portanto este será executado quando surgir a necessidade do desenvolvimento de um projeto conceitual, para um produto específico. Enquanto esta necessidade não for clara e palpável, não é justificado ou possível a utilização do programa (OGLIARI et al., 1995).

Sendo assim no início da execução do programa uma série de premissas já foram determinadas. Dentre elas destacam-se:

- Mercado onde será inserido o produto;
- O parque industrial que deverá ser utilizado;
- Reutilização de peças e sistemas de produtos anteriores;
- Estimativa do custo máximo que o produto pode ter no mercado.

Estas informações devem ficar bem claras no início do projeto, evitando-se assim desvios das metas originais no decorrer do processo (CLAUSING, 1993). Esta etapa é realizada pelo Módulo Virgílio. Este armazena os dados como forma de avaliar, em alguns pontos, se o projeto caminha de forma consistente na direção estabelecida.

4.2.2 Executar a Casa da Qualidade

A Execução da Casa da Qualidade, nas rotinas do programa, segue as etapas propostas no capítulo 3. É executada pelo Módulo para QFD.

- a) Voz do Consumidor;
- b) Requisitos de Projeto;
- c) Relacionar Voz do Consumidor x Requisitos de Projeto;
- d) Correlação da Voz da Engenharia;
- e) Planejamento;
- f) Determinação das Metas.

O exemplo apresentado aqui é referente ao desenvolvimento de um programa computacional para servir como auxiliar didático em cursos para alunos de graduação.

1. Voz do Consumidor

Outras formas de pensar na voz do consumidor incluem:

- ⇒ Necessidades do consumidor
- ⇒ Desejos do consumidor
- ⇒ Atributos do consumidor
- ⇒ Requisitos do consumidor

As necessidades do consumidor são tipicamente obtidas em entrevistas qualitativas. Estas desenvolvem e identificam as necessidades em linguagem informal. Tipicamente cada necessidade é uma frase curta. Aqui é importante a proximidade com linguagem própria ao consumidor.

O programa irá auxiliar nos vários passos da execução, armazenando as informações necessárias em bancos de dados. A determinação da VC deve seguir os seguintes passos:

- **Planejamento:**

A equipe planeja as interações com os consumidores e, em alguns casos pode planejar todas as atividades da HoQ. As principais perguntas devem ser esclarecidas e entendidas por todos da equipe.

Perguntas como: *Quem são os consumidores?, Quantas entrevistas serão necessárias?, Que tipo de comunicação é mais adequada?*; entre outras relacionadas a setores específicos de mercado irão surgir nesta fase. Ao final do planejamento os questionários estarão prontos, bem como as diretrizes para a determinação da VC. Estas informações serão armazenadas em bancos de dados.

- **Interação com os consumidores:**

Existem vários tipos de interações possíveis com os consumidores, sendo as mais utilizadas as entrevistas e observação no ambiente de uso.

- **Apurar os dados para uma maior clareza:**

Pode-se facilmente obter algumas centenas de frases de necessidades específicas. As ambigüidades e duplicações devem ser esclarecidas. As respostas dos consumidores serão armazenadas para processamento no próximo passo.

- **Selecionar necessidades expressivas:**

As necessidades do consumidor são priorizadas, logo a equipe pode concentrar-se nas poucas necessidades vitais que tornarão o produto um sucesso. Trabalhar com muitos itens tornará o processo inadequado e não trará resultados positivos. A seleção deve resultar algo entre 15 a 30 necessidades do consumidor (SANCHES, 1993).

- **Estruturar as necessidades:**

As necessidades obtidas no item anterior devem ser separadas em grupos de afinidade. Este tipo de separação trará uma melhor visão do relacionamento dos itens levantados anteriormente. O programa permite o estabelecimento de até três níveis de informações.

- Caracterizar as necessidades dos consumidores:

A caracterização das necessidades irá garantir uma concentração dos esforços nas áreas onde há uma chance maior de retorno. Um dos métodos mais utilizados para tal é a atribuição de importância às necessidades. O consumidor é solicitado a avaliar a importância de cada uma de suas necessidades com índices como: Muito Importante, Importante ou Pouco Importante. Os valores usuais para as necessidades será utilizado pelo Módulo de QFD (ver tabela 3.3), no entanto o usuário terá a possibilidade de alterar estes valores para índices mais convenientes.

Após a realização destes 6 passos a Voz do Consumidor estará determinada. O programa apresenta estas informações na forma da figura 4.6.

| | | |
|-------------------------------|------------------|---|
| Visualização | Fácil utilização | 3 |
| | Funções fáceis | 9 |
| Saídas | Gráficos | 3 |
| | Textos | 9 |
| Ambiente multi-usuário | | 9 |
| Gravar/Ler em vários formatos | | 3 |
| Criar ambiente próprio | | 3 |
| Indicação de erros | | 3 |

Classificação de Absoluta

Figura 4.6 - Módulo de QFD: Voz do Consumidor

2. Requisitos de Projeto

Outros nomes para os Requisitos de Projeto são:

⇒ Voz da Engenharia

- ⇒ Expectativas da Empresa
- ⇒ Requisitos do produto
- ⇒ Características das expectativas do produto
- ⇒ Características de engenharia

Estes refletem as características que os consumidores esperam encontrar no novo produto, sendo uma tradução das necessidades dos consumidores na linguagem da empresa. As duas atividades propostas para a realização desta etapa são:

- Desenvolver os requisitos de projeto:

O primeiro passo recomendado é deixar claro as expectativas dos projetistas com relação ao produto. É necessário esclarecer algumas questões como:

- ◇ Qual é a função do produto?
- ◇ Quais as características físicas atuais do produto?
- ◇ Que custos estarão envolvidos?
- ◇ Onde e como será vendido?
- ◇ Que tipo de assistência o consumidor terá?

O programa apresenta cada item da Voz do Consumidor e o usuário deve fornecer um item de RP que traduza na linguagem técnica aquele requisito. É permitido ainda incluir funções genéricas que não estejam associadas a um único item.

- Definir os testes para os requisitos de projeto:

Aqui é necessário elaborar os testes para cada item dos Requisitos de Projeto. Assim será possível a avaliação do comportamento de vários produtos com relação a este item, facilitando ainda a otimização futura. O programa armazena estes dados na forma visual apresentada na figura 4.7.

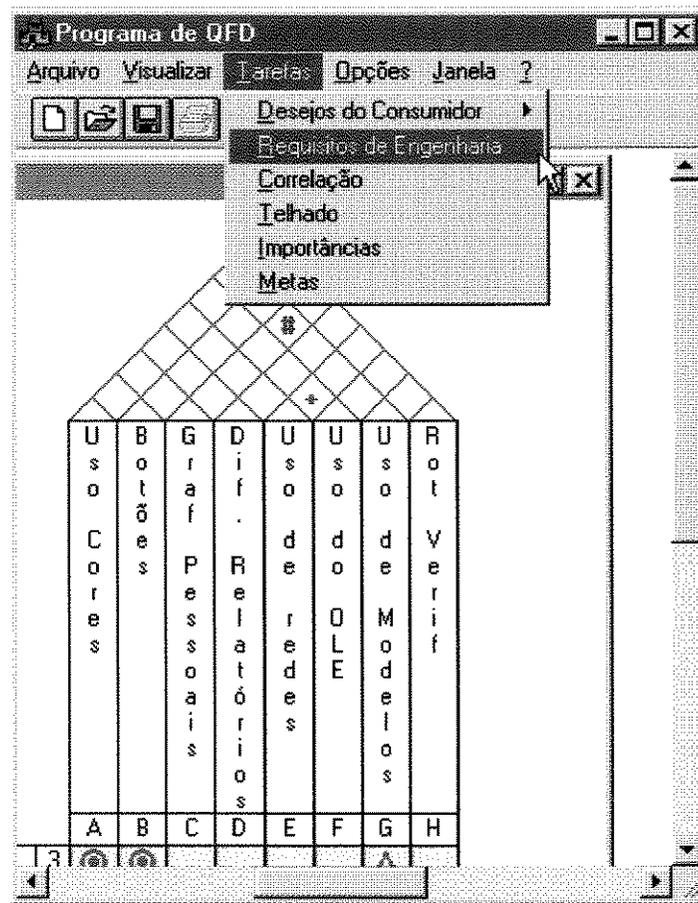


Figura 4.7 - Módulo de QFD: Requisitos de Projeto

3. Relacionar Voz do Consumidor x Requisitos de Projeto

Para a sua realização devemos:

- Determinar a matriz de relacionamento:

Seguindo cada linha deve-se verificar que tipo de relação existe entre o item da VC e os vários itens de RP. A figura 4.8 apresenta a matriz do exemplo preenchida. O Módulo de QFD utiliza um círculo para relações fortes, um triângulo para relações médias e um quadrado para relações fracas.

- Verificar a fidelidade das expectativas:

Após o preenchimento da matriz o programa avalia a fidelidade das correlações e indica as possíveis alterações. As seguintes proposições são verificadas:

- ◇ Cada linha deve conter pelo menos uma correlação forte, caso contrário é aconselhável rever as expectativas de projeto. Não é correto deixar algum item da voz do consumidor sem resposta da engenharia
- ◇ O mesmo procedimento deve ser tomado com linhas vazias
- ◇ Uma matriz muito preenchida significa erros de compreensão ou ambigüidades

The screenshot shows the 'Programa de QFD' window with a menu open over the 'Correlação' option. The main window displays a matrix with the following structure:

| | | | U s o C o r e s | B o t õ e s | G r a f i c o s | D i f i c i l i d a d e | U s o d e R e d e s | U s o d e O L E | U s o d e M o d e l o s | R o t u n d a r |
|-------------------------------|------------------|---|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|--|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|
| | | | A | B | C | D | E | F | G | H |
| Visualização | Fácil utilização | 3 | ⊗ | ⊗ | | | | | | △ |
| | Funções fáceis | 9 | △ | ⊗ | | | | | | |
| Saídas | Gráficos | 3 | | | ⊗ | | | | | □ |
| | Textos | 9 | | | | ⊗ | | | | □ |
| Ambiente multi-usuário | | 9 | | | | | ⊗ | □ | □ | |
| Gravar/Ler em vários formatos | | 3 | | | | | | ⊗ | ⊗ | |
| Criar ambiente próprio | | 3 | | | △ | △ | | | ⊗ | |
| Indicação de erros | | 3 | | | | | | | | ⊗ |

Figura 4.8 - Módulo de QFD: Matriz de Relacionamentos

Nesta etapa o programa armazena o valor das relações existentes.

4. Correlação dos Requisitos de Projeto

As correlações de RP são conhecidas também como “Telhado” da Casa da Qualidade. Deve-se verificar as correlações existentes entre cada item dos Requisitos de Projeto. Estas serão de ordem qualitativa, divididas entre:

- ◇ *Forte Negativa*: os itens são fortemente relacionados e inversamente proporcionais;
- ◇ *Negativa*: os itens são inversamente proporcionais;
- ◇ *Positiva*: os itens são fortemente relacionados e diretamente proporcionais;
- ◇ *Forte Positiva*: os itens são diretamente proporcionais.

5. Planejamento

É realizado pelos algoritmos do programa.

- Calcular a importância dos requisitos:

Efetuar o cálculo da importância relativa e absoluta. Sendo que

$$IR_j = \sum P_i * V_{ij} \quad 4.1$$

onde:

i = número da linha

j = número da coluna

IR_j = Importância Relativa da coluna j

P_i = Peso da linha i

V_{ij} = Valor do relacionamento da linha i e coluna j

A figura 4.9 apresenta o cálculo de importância do exemplo. É importante notar que o Módulo de QFD não está implementado para realizar as análises comparativas (ver itens 3.3.4 e 3.3.5). Desta forma o cálculo de importância tem uma forma diferente da apresentada no item 3.3.7.

Programa de QFD

Arquivo Visualizar Tabela Opções Janela ?

Desejos do Consumidor
Requisitos de Engenharia
Correlação
Telhado
Importâncias
Metas

| | | | A | B | C | D | E | F | G | H | |
|---------------------------------|------------------|----------|------|------|-----|------|------|-----|------|-----|---------------|
| Facilização | Fácil utilização | 3 | ⊗ | ⊗ | | | | | | △ | |
| | Funções fáceis | 9 | △ | ⊗ | | | | | | | |
| Imagens | Gráficos | 3 | | | ⊗ | | | | | □ | |
| | Textos | 9 | | | | ⊗ | | | | □ | |
| Interface multi-usuário | | 9 | | | | | ⊗ | □ | □ | | |
| Imprimir/Ler em vários formatos | | 3 | | | | | | ⊗ | | | |
| Trabalhar em ambiente próprio | | 3 | | | △ | △ | | | | ⊗ | |
| Prevenção de erros | | 3 | | | | | | | | | ⊗ |
| | | | | | | | | | | | Total: |
| Classificação de importância | | Absoluta | 54 | 108 | 36 | 90 | 84 | 36 | 57 | 27 | 492 |
| | | Relativa | 11,0 | 22,0 | 7,3 | 18,3 | 17,1 | 7,3 | 11,6 | 5,5 | 100,1 |

Figura 4.9 - Módulo de QFD: Cálculo da Importância

- Avaliar a dificuldade técnica:

A equipe deve analisar a dificuldade técnica em trabalhar com cada item de RP. Isto ajudará nos próximos passos.

6. Determinação das Metas

A determinação das metas exige que a equipe de projeto reflita sobre quais são os valores que cada item de RP devem possuir, satisfazendo critérios competitivos e técnicos. A figura 4.10 apresenta uma janela do módulo que permite a determinação das metas.

Determinando as Metas

Requisitos de Engenharia:

- Uso Cores
- Botões
- Gráf Pessoais
- Diff. Relatórios
- Uso de redes
- Uso do OLE
- Uso de Modelos
- Rot Verif

Item:

Meta atual:

Unidade:

Definiu teste? sim não

OK Cancel Help

Figura 4.10 - Módulo de QFD: Determinação das Metas

A equipe deve também definir os testes para avaliação de cada item de RP. Neste ponto é possível registrar este fato.

7. Conclusão: Fazendo da Casa da Qualidade um plano de trabalho:

A figura 4.11 apresenta o exemplo completo da Casa da Qualidade. Com a primeira parte do trabalho pronta é necessário o planejamento dos passos futuros e das tarefas necessárias para alcançar o desenvolvimento do novo produto, com base nos dados recolhidos e processados.

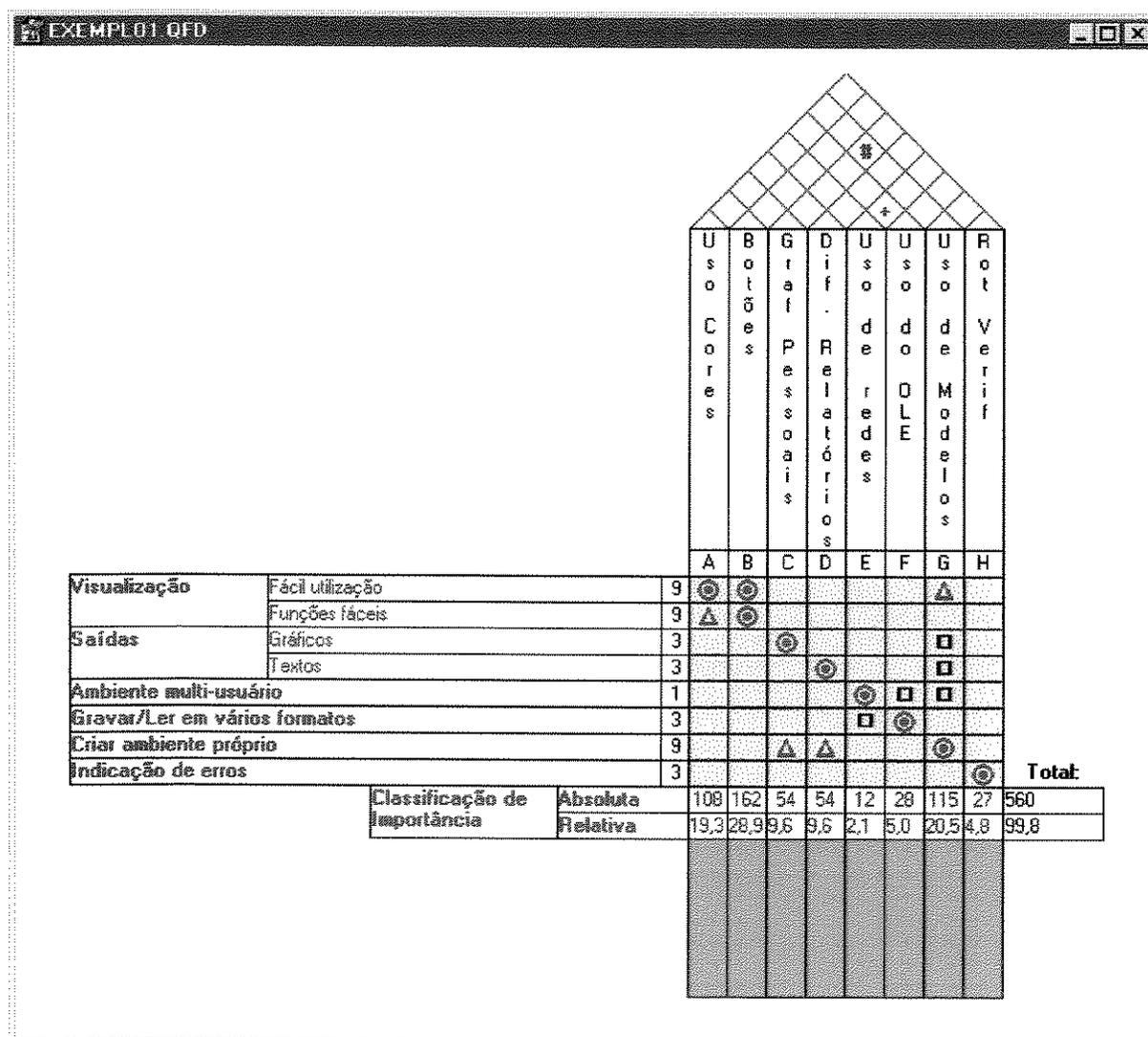


Figura 4.11 - Módulo de QFD: A Casa da Qualidade preenchida

A Casa da Qualidade não será refeita para todos os projetos. Segundo CLAUSING (1993), itens como a Voz do Consumidor e os Requisitos de Projeto são estáveis para muitas

indústrias, mudando apenas os níveis de importância pois satisfação dos clientes apresenta-se de forma dinâmica.

Portanto, o trabalho inicial para implantar o sistema é grande, mais as reutilizações são facilitadas.

4.2.3 Verificação de Progresso

Uma vez executada a Casa da Qualidade é necessária uma verificação de progresso para assegurar que as expectativas de projeto reflitam um produto de sucesso que guiará a equipe a uma concepção adequada.

A partir deste ponto algumas variáveis não devem mais sofrer alterações, como as estratégias do negócio e do produto pois o custo de alterações torna-se excessivamente alto.

O principal critério para a aprovação do projeto até aqui é:

As especificações definem um produto vencedor?

O programa verifica se todas as etapas foram cumpridas. Esta verificação aconselhará executar novamente alguns passos da Casa da Qualidade ou seguir em frente sem problemas. Esta etapa é realizada pelo Módulo Virgílio em conjunto com o Módulo de QFD.

4.2.4 Gerar e Aperfeiçoar Concepções

Para a busca da melhor solução o Módulo *Echo!* é utilizado. Os seguintes passos da metodologia são realizados:

- a) Estabelecer as concepções iniciais;
- b) Escolha de critérios;
- c) Formar a matriz de seleção;
- d) Estudar as concepções;
- e) Escolher a Concepção de Referência (CR);

- f) Executar a matriz;
- g) Avaliar os resultados;
- h) Atacar os negativos e melhorar os positivos;
- i) Entrar um novo CR e executar novamente a matriz;
- j) Planejar os próximos passos.

1. Estabelecer as concepções iniciais

A execução da Casa da Qualidade é capaz de iniciar o processo criativo que resultará na geração de concepções para solucionar o problema do desenvolvimento do projeto. No entanto não foi implementado módulo específico para isto. É aconselhado a utilização de métodos criativos ou intuitivos para gerar soluções como:

- Delphi;
- Brainstorming;
- Quadro Morfológico.

Neste primeiro passo a equipe deve apresentar todas as concepções criadas até o momento.

2. Escolha de critérios

Os critérios aplicados as concepções são derivados dos RP, estes por sua vez foram desdobrados da VC, logo a concepção selecionada será responsável pela satisfação deste consumidor. Em casos mais simples a RP pode entrar diretamente nas linhas dos critérios de seleção. Porém, na maioria dos casos, a equipe pode refinar o RP, pois este é direcionado a testes e inspeções, que são realizados ao final do processo de seleção.

A figura 4.12 apresenta a matriz de seleção do programa.

| | | Concepção 1 | Concepção 2 | Concepção 3 | Concepção 4 |
|-----------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Critério 1 | | | | | |
| Critério 2 | | | | | |
| Critério 3 | | | | | |
| Critério 4 | | | | | |
| Somatória dos Valores | Positivos (+) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Negativos (-) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Iguais (0) | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 4.12 - *Echo!*: Matriz de seleção

3. Formar a matriz

As concepções geradas na etapa anterior são adicionadas nas colunas, conforme a figura 4.12.

4. Estudar as Concepções

A equipe deve estudar as concepções uma a uma, criando uma visão clara de cada uma delas. É fundamental para o processo que todas as dúvidas e ambigüidades sejam esclarecidas.

5. Escolher a Concepção de Referência (CR):

Deve-se escolher uma provável melhor concepção. Esta será a fonte de comparação. A escolha de uma concepção fraca resultará em pequena geração de novas concepções e dificultará o processo. A figura 4.13 apresenta a concepção escolhida para CR.

| | | CR | Concepção 2 | Concepção 3 | Concepção 4 |
|-----------------------|---------------|----|-------------|-------------|-------------|
| Critério 1 | | | + | - | - |
| Critério 2 | | | + | + | - |
| Critério 3 | | | - | + | + |
| Critério 4 | | | I | + | I |
| Somatória dos Valores | Positivos (+) | 0 | 2 | 3 | 1 |
| | Negativos (-) | 0 | 1 | 1 | 2 |
| | Iguais (I) | 0 | 1 | 0 | 1 |

Figura 4.13 - *Echo!*: Seleção da CR

6. Executar a matriz

Procede-se da seguinte forma:

1. Toma-se o primeiro critério e compara-se cada concepção com a CR;
2. O item comparado recebe os seguintes sinais: (+) quando melhor que a CR, (-) quando pior ou (I) quando for igual ;
3. Verificar todos os critérios para todas as concepções, realizando as comparações

A execução deste processo irá aumentar a compreensão dos participantes sobre as concepções envolvidas, percebendo melhor os problemas e vantagens de cada uma. Assim, surgirão novas e melhores concepções.

7. Avaliar os resultados

Os sinais positivos e negativos são somados, demonstrando as características boas e ruins de cada concepção.

Ao final da execução da matriz o Módulo *Echo!* apresenta a interface da figura 3.13.

8. Atacar os negativos e melhorar os positivos

A equipe deve discutir os pontos negativos principalmente das concepções mais promissoras. Normalmente, nesta etapa uma concepção pode ser alterada para superar um ponto negativo com respeito a um critério.

Ao mesmo tempo os pontos positivos devem ser reforçados através da adição destes pontos a outras concepções, gerando concepções híbridas.

Uma nova concepção ou um híbrido deve ser adicionado a matriz antes do próximo passo.

9. Entrar um novo CR e executar novamente a matriz

Escolhe-se um novo CR, que pode ser a nova concepção adicionada ou aquela que recebeu um maior número positivo na execução anterior.

O objetivo deste passo é trazer novas idéias aos participantes e reforçar os conceitos absorvidos de cada concepção.

10. Planejar os próximos passos

É necessário planejar os próximos passos antes de executar a matriz novamente. Deve determinar a busca de informações, realizar análises, experiência de performance e recrutar ajuda, principalmente de pessoas que possam dar suporte em áreas que são críticas nas concepções emergentes.

4.2.5 Busca da Melhor Solução de Projeto

A busca da melhor solução exige a interação até alcançar uma concepção vencedora. Para isto os passos 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 do item anterior devem ser refeitos, até o critério ser cumprido:

A Concepção escolhida reflete um produto vencedor

O programa não irá determinar a resposta para esta pergunta. Esta responsabilidade cabe a equipe de projeto.

4.2.6 Desdobramento da Função Qualidade para Subsistemas

Uma vez bem determinado o sistema, o próximo passo dentro desta concepção de projeto é o desdobramento da função qualidade para os subsistemas. O processo é semelhante a execução da Casa da Qualidade (ver item 4.2.2), portanto, não será exposto aqui em toda sua extensão. O módulo de QFD realizará esta etapa.

Para esta fase a grande alteração é o 1º passo. As linhas do primeiro quadro deixam de ser preenchidas com a VC e receberão os itens de RP.

Portanto os passos a serem realizados são:

- a) Requisitos de Projeto;
- b) Requisitos dos Subsistemas;
- c) Relacionar Requisitos de Projeto x Requisitos dos Subsistemas;
- d) Correlação dos Requisitos dos Subsistemas;
- e) Planejamento;
- f) Determinação das Metas.

4.2.7 Apresentação das saídas do programa

O programa apresenta como principal resultado uma concepção do produto, com desenvolvimento utilizando uma metodologia bem estabelecida.

Como resultados o programa apresenta ainda: o preenchimento total da Casa da Qualidade; soluções alternativas para o projeto, geradas pelo módulo *Echo!*; a descrição dos sistemas projetados e seus subsistemas e listas de requisitos para o projeto detalhado do sistema.

4.3 Conclusões

Foi implementado um sistema computacional composto por módulos, destinado a executar a metodologia de projeto determinada no capítulo 3.

O sistema não é caracterizado como sistema especialista, no entanto a forma como foi implementado permitirá alterações futuras, com este fim.

Capítulo 5

Conclusões e Sugestões para Próximos Trabalhos

5.1 Conclusões do Trabalho

Metodologias de projeto foram pesquisadas e estabeleceu-se uma metodologia de caráter geral, englobando aspectos presentes em vários modelos apresentados na literatura. Estes modelos foram discutidos e levantaram-se suas morfologias e conceitos principais. Estas metodologias foram divididas em escolas, possibilitando assim uma melhor compreensão dos mesmos. Foi dada especial atenção a fase de concepções, onde verificou-se a necessidade de aprofundamento de estudos principalmente na área de ciências cognitivas YOSHIKAWA (1993).

Toda a literatura concorda que durante as fases iniciais a possibilidade de melhorias ao produto são mais viáveis, pois os custos associados a isto são pequenos em comparações com intervenções mais avançadas no ciclo de desenvolvimento.

Utilizando-se das metodologias estabelecidas na literatura foi proposto uma metodologia compatível com aplicações computacionais. Com isto pretendeu-se preencher uma lacuna existente atualmente nos programas voltados ao auxílio da fase conceitual do projeto.

A metodologia proposta utiliza métodos de qualidade e engenharia simultânea, sendo voltada ao uso por equipes de projeto. Desta forma pretendeu-se agilizar a metodologia e permitir melhorias no desenvolvimento de produtos. Foram sugeridos métodos para a execução das fases da metodologia, desta forma a contribuição torna-se mais concreta, indicando meios possíveis para a sua execução.

A metodologia proposta foi implementada na forma de um programa computacional voltado para a fase conceitual do projeto. Devido a utilização de linguagens orientada a objetos tornou-se possível a implementação dos métodos em módulos executáveis, desta forma os módulos podem ser utilizados como ferramentas individuais.

Cabe ainda ressaltar que a utilização da metodologia em equipes de projeto é revestida de um caráter didático. Esta pretende fornecer caminhos mais promissores e ampliar as possibilidades dos projetistas. A metodologia não é uma camisa-de-força, mas é um instrumento crítico que auxilia, mesmo os iniciantes, a atingirem sua meta de forma satisfatória. A metodologia não diminuirá a criatividade dos indivíduos, pelo contrario, irá estimular e necessitar da criatividade individual e coletiva em cada passo dos métodos propostos.

Conclui-se que com alguns investimentos em novas ferramentas de apoio ao projeto, metodologias podem ser implementadas, agregando grande valor aos produtos que venham a ser desenvolvidos por estas. Por fim, pode-se afirmar que os objetivos iniciais foram alcançados.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

No decorrer deste trabalho dificuldades foram verificadas, assim surgindo possibilidades para ampliações deste trabalho.

É necessário realizar um levantamento das metodologias utilizadas na indústria brasileira, verificando seu grau de adequação e sugerindo alterações que venham a direcionar os esforços do desenvolvimento de produtos.

As indústrias são o campo de maior aplicação de metodologias. Portanto é necessário verificar a adequação da metodologia proposta neste trabalho a uma situação real. É necessário aplicá-la ao desenvolvimento de um produto no âmbito real, desta forma será possível verificar seus pontos falhos e adaptá-la as necessidades apresentadas em um ambiente industrial.

Além disto é necessário desenvolver melhores métodos para a metodologia proposta. É necessário estabelecer um método mais adequado para a criação de concepções. Este deve ser

direcionado a utilização em conjunto com método proposto para avaliação de concepções (Método de Avaliação e Concepção de PUGH (1991)).

A visão de sistemas especialistas discutida não foi aplicada ao programa, desta forma existe um forte apelo no sentido de realizar melhorias através da implementação de um sistema especialista para a fase conceitual do projeto, utilizando-se a metodologia proposta e através de modificações no programa Virgílio.

A característica de programas objeto permite incorporar novos módulos ao sistema desenvolvido assim, podem ser desenvolvidos módulos que agregados ao programa Virgílio definirão um sistema completo para desenvolvimento de produtos. Módulos para cálculos de confiabilidade, cálculos de custos durante as fases iniciais, módulos para avaliações de manutenibilidade e montabilidade entre outros.

Bibliografia

1. Referências da Dissertação

- ANDREASEN, M. MYRUP Methodical Design Framed by New Procedures. *Annals of International Conference on Engineering Design*, Zurich, 1991, pp.165-170.
- ASIMOW, M. *Introdução ao Projeto de Engenharia*. 1. ed. São Paulo: Editora Mestre Jou, 1968.
- BACK, N. *Metodologia de Projeto de Produtos Industriais*. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A., 1983.
- BONSIEPE, G. *Design de Máquinas Especiais*. Brasília: CNPq, Coordenação Editorial, Brasília,1986.
- BUARQUE, C. *Avaliação Econômica de Projetos*. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1989.
- DEAN, E. B. Quality Function Deployment for Large Systems. *Proceedings of the 1992 International Engineering Management Conference*, Eatontown NJ, october, 1992, pp. 25-28.
- CLAUSING, D. *Total Quality Development*. N. Y.:ASME Press, 1993.
- COUTINHO, L. G., FERRAZ, J. C. *Estudo da Competitividade Brasileira*. 3. Ed. Campinas: Papirus, 1995.
- DORMER, P. *Design Since 1945*. London: Thames and Hudson, Ltd., 1993.

- ERTAS, A. e JONES, J. C. *The Engeneering Design Process*. N.Y.:John Wiley & Sons, Inc., 1994.
- BLANCHARD, B. S., FABRYCKY, W. J. *Systems Engineering and Analisys*. New Jersey: Prentice - Hall, 1981.
- FEY, V. R., RIVIN, E. I., VERTKIN, I. M. Application of the Theory of Inventive Problem Solving to Design and Manufacturing Systems. *Annals of the CIRP*, Vol. 43/1/1994, pp. 107-110.
- FIOD-NETO, M. *Desenvolvimento de sistemas computacionais para auxiliar a concepção de produtos industriais*. Santa Catarina: UFSC, tese de doutorado, setembro de 1993.
- FIOD-NETO, M., BACK, N. Análise Crítica de Métodos de Projeto, Visando ao Desenvolvimento de um Sistema CAD para a Concepção de Produtos. *Revista Brasileira de Ciências Mecânicas (RBCM)*, Vol. XVII, no. 4, 1995, pp. 387-393.
- HESKETT, J. *Industrial Design*. London: Thames and Hudson, Ltd., 1980.
- HOBSBAWM, E. *A Era dos Extremos: O Breve Século XX: 1918-1990*. 2. Ed. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.
- HOLTE, J. E., RADCLIFFE, R. F., SHOORL, D. Design or Problem-Solving - a Critical Choice for the Engineering Profession. *Design Studies*, 6, 2 april 1985; pp. 107-110.
- HUNDAL, M. S. A Systematic Method for Developing Function Structures, Solutions and Concept variants. *Mechanisms and Machine Teory*, Vol. 25, no 3, 1990, pp. 243-256.
- HUNDAL, M. S., BYRNE, J. F. Computer-Aided Generation of Function Block Diagrams in a Methodical Design Procedure. *DE-Vol. 27*, New York: ASME, 1990, pp. 251-258.
- HUNDAL, M. S. A Methodical Procedure for Search of Solutions from Function Structures. *Annals of International Conference on Engineering Design*, Zurich, august, 1991, pp. 9-16.
- ISHII, K. Modeling of Concurrent Engineering Design. *Concurrent Engineering: Automation, Tools, and Techniques*. London: John Wiley & Sons, Inc., 1993, pp. 19-39.

- ISHII, K. Life-Cycle Engineering Design. *Transactions of the ASME, Special 50th Anniversary Design Issue*, Vol. 117, June, 1995, pp. 42-47.
- JONES, J. C. A Method of Systematic Design. *Conference on Design Methods*, Oxford: Pergamon, 1963.
- KRAUSE, F. L., KIESEWETTER, T., KRAMMER, S. Distributed Product Design. *Annals of the CIRP*, Vol. 43/1, 1994, pp. 149-152.
- KRUMHAUER, P. *Dissertation*. Technische Universität, Berlin, 1974.
- MANÁ, J. *O Desenho Industrial*. Rio de Janeiro: Salvat Ed. do Brasil S.A., 1979.
- NOBLE, J. S., TANCHOCO, J. M. A. Design for Economics. *Concurrent Engineering: Automation, Tools, and Techniques*, London: John Wiley & Sons, Inc., 1993.
- OGLIARI, A. et al. Implementação Computacional do Processo de Concepção de Produtos Utilizando Análise Orientada a Objetos e Sistemas Especialistas. *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica*, 1995.
- OGLIARI, A. *Implementação Computacional do Processo de Concepção de Produtos Utilizando Análise Orientada a Objetos e Sistemas Especialistas*. Apresentado a UFSC para exame de qualificação de doutorado, 1995.
- PAHL, G., BEITZ, W. *Engineering Design: a Systematic Approach*. Berlin: Springer-Verlag, 1988.
- PUGH, S. *Total Design Integrated Methods for Successful Product Engineering*. USA: Addison Wesley Publishing Company, 1991.
- SANCHES, S. M. et al. Quality by Design. *Concurrent Engineering: Automation, Tools, and Techniques*, John Wiley & Sons, Inc., 1993, pp. 235-286.
- SILVA, J. S. *WINSAPPI: A Evolução de uma Metodologia Computacional para o Projeto Conceitual*. Santa Catarina: UFSC, dissertação de mestrado, 1995.
- SUH, N. P. Axiomatic Design of Mechanical Systems. *Transactions of the ASME, Special 50th Anniversary Design Issue*, June, 1995, pp.2-10.

- SULLIVAN, L. P. *Quality Function Deployment*. Quality Progress, June, 1986.
- TAGUCHI, G. *Introduction to Quality Engineering*, Asian Productivity Organization. Romulus, MI: American Supplier Institute, 1986.
- ULLMAN, D. G. *The Mechanical Design Process*. 1. ed. USA: McGraw Hill Book Company inc., 1992.
- URBAN, G. L. *Design and Marketing of New Products*. 2. ed. USA: Prentice-Hall, Inc., 1993.
- WOMACK, J. P. Et al. *A Máquina que Mudou o Mundo*. Rio de Janeiro: Editora Campos, 1992.
- YOSHIKAWA, H. Design Philosophy: The State of the Art. *Annals of the CIRP*, Vol. 38/2, 1993, pp.579-586.

2. Referências de Projetos

- ANTONSSON, E. K., OTTO, K. N. Imprecision in Engineering Design. *Transactions of the ASME, Special 50th Anniversary Design Issue*, Vol. 117, june, 1995, pp. 25-32.
- BRADLEY, S. R., AGOGINO, A. M. An Intelligent Real Time Design Methodology for Component Selection: na Approach to Managing Uncertainty. *Journal of Mechanical Design*, Vol. 116, december, 1994, pp. 980-988.
- BRANDON, J. A., HUANG, G. Q. Use of an Agent-Based System for Concurrent Mechanical Design. *Concurrent Engineering: Automation, Tools, and Techniques*, John Wiley & Sons, Inc. , 1993, pp. 463-479.
- CROSS, N. A History of Design Methodology, *Design Methodology, and Relationship with Science*, Kluwer Academic Publishers, 1993, pp. 15-27.
- DIXON, J. R. Knowledge-Based Systems for Design. *Transactions of the ASME, Special 50th Anniversary Design Issue*, Vol. 117, june, 1995, pp.11-16.
- FEYERABEND, P. *Contra o Método*. Rio de Janeiro: Livraria Francisco Alves Editora S.A., 1977.

- FIOD-NETO, M., BACK, N. Assessment of Product Conception: A Critical Review. *Revista Brasileira de Ciências Mecânicas (RBCM)*, Vol. XVII no. 1, 1995, pp. 109-115.
- FIOD-NETO, M. The Systematic Teaching of Product Design in Undergraduate Engineering Courses. *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica*, 1995.
- GREENWOOD, D. C. *Engineering Data for Product Design*. USA: McGraw Hill Book Company inc., 1961.
- GREENWOOD, D. C. *Product Engineering Design Manual*. USA: McGraw Hill Book Company inc., 1959.
- GREENWOOD, D. C. *Mechanical Details for Product Design*. USA: McGraw Hill Book Company inc., 1964.
- HANSON, T. F. *Engineering Creativity*. Newhall, USA: T. F. Hanson, 1987.
- HAUG, E. J. et al Virtual prototyping simulation for design of mechanical systems. *Transactions of the ASME, Special 50th Anniversay Design Issue*, june, 1995, pp.63-70.
- KRISHNAN, V., EPPINGER, S. D., WHITNEY, D. E. Accelerating Product Development by Exchange of Preliminary Product Design Information. *Journal of Mechanical Design*, Vol. 117, dec., 1995, pp.491-498.
- KUHN, T. S. *La Estructura de las Revoluciones Cientificas*. México: Fondo de Cultura Económica, 1971.
- KUSIAK, A., LARSON, N. Decomposition and Representation Methods in Mechanical Design. *Transactions of the ASME, Special 50th Anniversay Design Issue*, june, Vol. 117, 1995, pp. 17-24.
- IIDA, I., WIERZBICKI, H. A. J. *Ergonomia*. 2. ed. São Paulo: Comunicação-Universidade-Cultura Editora, 1973.
- LUCCHESI, C. A Silenciosa Revolução. *Dinâmica*, n. 2, 1995, pp.40-44.
- MELLONE, O. Estúdio Aplica Programas de CAD no Design de Produtos. *CADesign*, n. 1, 1995, pp.22-25.

- MUNIZ JR, J., PLONSKY, G. A., LOURENÇÃO, P. T. M. A Utilização da Engenharia Simultânea no Aprimoramento Contínuo e Competitivo da Organizações: Estudo de Caso do Modelo EMBRAER. *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica*, 1995.
- NETO, E. P. *Cor e Iluminação nos Ambientes de trabalho*. São Paulo: Livraria Ciência e Tecnologia Ed. Ltda, 1980.
- PAPALAMBROS, P. Y. Optimal Design of Mechanical Engineering Systems. *Transactions of the ASME, Special 50th Anniversay Design Issue*, june, 1995, pp. 55-62.
- PEREIRA, L. T. V., BAZZO, W. A. Uma visão Crítica do Ensino de Projeto. *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica*, 1995.
- PEPPERS, D. O Corpo-a-corpo no Mercado On-line. *Exame/informática*, n. 110, 1995, pp. 12-15.
- PAPALAMBROS, P. Y. Optimal Design of Mechanical Engeneering Systems. *Transactions of the ASME, Special 50th Anniversay Design Issue*, june, 1995, pp. 55-62.
- REICH, Y. The Study of Design Research Metodology. *Journal of Mechanical Design*, Vol. 117, june, 1995, pp. 211-214.
- REICH, Y. A Critical Review of General Design Theory. *Research in Engineering Design*, 7(1):1-18, 1995.
- REICH, Y. AI-Supported Quality Function Deployment. *Proceedings of the Fourth International Workshop on Artificial Intelligence in Economics & Management*, 1995.
- REICH, Y. Computational Quality Function Deployment is Knowledge Intensive Engineering. *Proceedings of KIC-1, IFIP WG 5.2 Helsinki*, september, 1995.
- ROTHBERG, R. R. *Corporate Strategy and Product Innovation*. 1. ed. N.Y.: The Free Press, 1976.
- SINGH, N. *Systems Approach to Computer-Integrated Design and Manufacturing*. USA: John Wiley & Sons, Inc., 1995.

SIVARD, G., LINDBERG, L., AGERMAN., E. Costumer-Based Design with Constraint Reasoning. *Annals of the CIRP*: Vol. 42, 1993, pp.139-142.

SCHRAGE, D. P. Concurrent Design: A Case Study. *Concurrent Engineering: Automation, Tools, and Techniques*, John Wiley & Sons, Inc. , 1993, pp. 535-581.

TULLY, F. L. G. Science and the Design of Mechanical and Optical Devices: a few case Studies. *Design Methodology, and Relationship with Science*, Kluwer Academic Publishers, 1993, pp. 29-61.

VDI Verlag, Düsseldorf. **Guideline 2221**: Systematic approach to the design of technical systems and products. Düsseldorf, 1987.

WOODSON, T. T. *Introduction to Engineering Design*. USA: McGraw Hill Book Company inc., 1966.

3. Referências de Programação Computacional

BELHOT, R. V. *Conceitos e Desenvolvimento de Sistemas Especialistas*. Universidade de São Paulo, São Carlos. Publicação 063/93.

CUNHA, H., RIBEIRO, S. *Introdução aos Sistemas Especialistas*. 1. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1987.

D'ISSY, M. CAD/CAM na linha branca. *CADesign*, n. 8, 1995, pp. 14-19.

PILLERS, M. Novas Tendências do Design em CAD para o Desenvolvimento de Produtos. *CADesign*, ano 2, n. 14, 1996, pp. 14-23.

TAUHATA, S. Acerte o Passo com CAD/CAM. *CADesign*, n. 4, 1995, pp. 36-38.

Apêndice A

Glossário

As palavras aqui apresentadas encontram-se muitas vezes na literatura de forma ambígua e com significados diversos. Pretende-se com este glossário determinar o sentido de cada palavra, desta forma sua apresentação no texto pode ser entendida independente de seu contexto. Para cada termo está apresentada a definição segundo “O Novo Dicionário Básico da Língua Portuguesa Folha/Aurélio” e uma breve discussão em torno do sentido utilizado no contexto de projeto de sistemas mecânicos.

Algumas palavras apresentadas são de uso corrente e portanto não divergem segundo os vários autores, porém foram incluídas neste glossário com o intuito de fornecer perspectiva mais abrangente para o entendimento daquelas palavras de uso mais conflitante.

Equipe de projeto - Design team: “Conjunto ou grupo de pessoas que se aplicam a uma tarefa ou trabalho”. Esta palavra é utilizada neste trabalho referindo-se aos participantes de cada fase do projeto. O desenvolvimento do novos produtos está associado a equipes multifuncionais, isto é, compostas por profissionais oriundos de diversas áreas.

Fases do projeto - Design phase: “Parte homogênea de um sistema heterogêneo”. É a reunião de um grupo de atividades com características comuns, que resultarão em fim específico dentro do projeto. Busca uma melhor compreensão ou execução das atividades. As fases do projeto são o resultado de sua divisão sistemática (ver: *Sistemática*).

Método - Method: “Programa que regula previamente uma série de operações que se devem realizar, apontando erros evitáveis, em vista de um resultado determinado”. O *método* de projeto, portanto é constituído de um conjunto de procedimentos que irão guiar a *equipe de projeto* no desenvolvimento de uma determinada fase. Mais que uma série de passos, este

conjunto de procedimentos é ordenado de forma crítica, pois pretende “apontar os erros evitáveis”. Esta associado a forma de agir, de acordo com cada situação apresentada.

Metodologia - Methodology: “Estudo dos métodos e, especialmente, dos métodos das ciências”. Está associada ao estudo crítico dos métodos utilizados dentro das **fases do projeto**, caracterizando-se como uma forma de pensar toda atividade de projeto. Como toda atividade crítica uma **metodologia de projeto** possui um corpo filosófico. Seu corpo dará origem a uma série de sugestões de métodos e sua aplicação para cada caso de desenvolvimento de projeto. Portanto uma metodologia de projeto terá um caráter amplo, diferindo em essência na utilização dos métodos segundo casos específicos.

Morfologia - Morphology: “Tratado das formas que a matéria pode tomar”. É a representação possível para cada atividade. A morfologia da metodologia de projetos dará origem a estruturação dos vários métodos plausíveis em vários grupos que serão soluções para casos específicos. A morfologia do método do projeto será a estruturação dos procedimentos buscando um organograma para a utilização em casos específicos.

Sistemática: “Ciência que se ocupa das classificações dos seres vivos; taxionomia”. Esta palavra tem sua origem ligada a biologia onde representa a classificação dos seres vivos segundo características morfológicas. Em uma adaptação para a área de projetos, pode ser entendida como o estudo da atividade de projeto, visando uma classificação coerente. Desta forma a sistemática de projeto dará origem as fases do projeto. Está diretamente associada a **Taxionomia do projeto**.

Sistemas especialistas - Expert systems: “Novo sistema de computação que retém uma fração significativa do conhecimento de um especialista em uma determinada área, e que pode utilizar este conhecimento para sugerir conclusões às quais o especialista chegaria, se ambos fossem confrontados com os mesmos problemas”. Utilizando-se dos conhecimentos absorvidos de um especialista no conhecimento e de regras para tomadas de decisões o sistema especialista para o projeto irá encontrar uma solução para um problema específico. A dificuldade atual está na compreensão do processo criativo do especialista humano. Desenvolvimentos na área de ciências cognitivas e teoria do conhecimento poderão trazer grandes avanços aos sistemas especialistas dedicados ao projeto de sistemas mecânicos.

Técnica de projeto: “A parte material ou o conjunto de processos de uma arte”. A técnica de projeto é a forma característica como os *métodos* para determinadas *fases do projeto* são aplicados por uma *equipe de projetos*. Está associada aos meios materiais utilizados e formas de interpretação na utilização do método.

Taxionomia do projeto: “Ciência da classificação”.(ver: *Sistemática*)