

Faculdade
94

Biblioteca Universitária
- UFSC -

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

"DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA COMPUTACIONAL PARA AUXILIAR
A CONCEPÇÃO DE PRODUTOS INDUSTRIAIS"

TESE SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA PARA
A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: SÓLIDOS

MIGUEL FIOD NETO



0.215.894-4
UFSC-BU

FLORIANÓPOLIS, SETEMBRO DE 1993.

CETD
UFSC
PEMC
Ø153
Ex 1

SC 000 18454.4

Tipo de	
Adm.	
Data	
Preço	
Registro	0.215.894-4
Data	03.02.94

BU/DPT

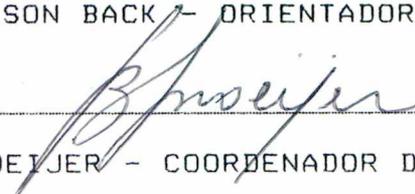
0.215.894-4

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA COMPUTACIONAL PARA AUXILIAR
A CONCEPÇÃO DE PRODUTOS INDUSTRIAIS

MIGUEL FIOD NETO

ESTA TESE FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA,
NA ÁREA DE SÓLIDOS,
E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA


NELSON BACK - ORIENTADOR


BEREND SNOEIJER - COORDENADOR DO CURSO

BANCA EXAMINADORA:


NELSON BACK - PRESIDENTE


CARLOS AMADEU PALLEROSI


EDISON DA ROSA


INGEBORG SELL


ROSALVO TIAGO RUFFINO

Biografia do autor:

Miguel Fiod Neto, 44, é Engenheiro Mecânico formado em 1972 pela Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, da Universidade de São Paulo, onde apresentou seu Mestrado (também em Engenharia Mecânica) em 1976. Desde 1983 é Professor do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, da Universidade Federal de Santa Catarina.

OFERECIMENTO

À Edna - minha esposa -,
amiga e companheira.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Nelson Back, pela orientação firme e pela segurança transmitida ao aluno;

Ao professor Rosalvo Tiago Ruffino, pelo estímulo;

Aos bolsistas Clayton Graf, André Mello Barotto, Ronaldo Carvalho Fontana e, principalmente, a Jamilton Santos da Silva, pela ajuda na resolução de problemas computacionais;

Ao Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, da Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade concedida;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo apoio financeiro.

RESUMO

Desenvolvimento de sistema computacional para auxiliar a concepção de produtos industriais.

A concepção é etapa essencial do processo do projeto de produtos industriais. Nessa fase, procuram-se alternativas para realizar as funções inicialmente estabelecidas para o produto desejado. Como instrumento auxiliar para essa atividade do projetista, foi desenvolvido o sistema computacional SADEPRO para utilização em microcomputador.

Baseado em metodologia consistente, o SADEPRO orienta o projetista para efetuar sistematicamente a síntese de alternativas viáveis para o problema enfocado e para avaliar objetivamente o resultado obtido.

Esse instrumento computacional, que conduz o projetista mais rápida e diretamente a soluções possíveis do sistema técnico em estudo, pretende representar efetiva contribuição ao processo de desenvolvimento de produtos industriais, durante a fase da concepção do produto.

ABSTRACT

Development of a computer-aided design system to aid the conception of industrial products

Conception is an essential stage in the design process of industrial products. During this phase, alternatives for carrying out the initially established functions for the desired product are sought. In order to aid the designer in this process, the SADEPRO (Sistema Auxiliar para Desenvolvimento de Produto - Auxiliar System for Product Development) computational system was developed for use in microcomputers.

Based on a comprehensive methodology, SADEPRO provides guidance to the designer for systematically synthesizing the viable alternatives to the problem in focus, and for objectively assessing the obtained results.

This computational tool, which leads the designer quickly and directly to possible solutions to the technical system under study, represents an effective contribution to the development process of industrial products during the conception phase of the product.

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA COMPUTACIONAL PARA AUXILIAR
A CONCEPÇÃO DE PRODUTOS INDUSTRIAIS**

SUMÁRIO:

1. Introdução: o projeto de produtos industriais:	p.	1
1.1 - Tecnologia e Sociedade:	p.	1
1.2 - O Engenheiro e o Projeto de Produtos Industriais:	p.	3
1.3 - Justificativa para este trabalho:	p.	5
1.4 - Objetivos do trabalho proposto:	p.	6
1.5 - Conteúdo da tese:	p.	8
2. O processo do projeto de produtos industriais:	p.	11
2.1 - Aspectos gerais:	p.	11
2.2 - Metodologias de projeto do produto:	p.	14
2.3 - Uma visão da estrutura do processo do projeto:	p.	27
2.4 - Conclusão:	p.	43
3. A sistematização da concepção do produto:	p.	46
3.1 - Aspectos gerais:	p.	46
3.2 - A fase da Concepção:	p.	47
3.3 - A abstração:	p.	48
3.4 - A Concepção, segundo diversos autores:	p.	50
3.4.1 - A Concepção, segundo Pahl & Beitz:	p.	50
3.4.2 - O método da variação dos efeitos:	p.	55
3.4.3 - Métodos para encontrar soluções com o auxílio de estruturas de funções genéricas:	p.	57
3.4.3.1 - Método proposto por K. H. Roth:	p.	58
3.4.3.2 - Método proposto por R. Koller:	p.	65
3.5 - A introdução do computador como auxílio para a fase de Concepção: uma revisão bibliográfica:	p.	73
3.6 - Conclusão:	p.	84

4. Metodologia proposta para o desenvolvimento de concepção de produtos com auxílio de computador:	p. 86
4.1 - Introdução, justificativa do trabalho proposto, alcance e limitações:	p. 86
4.2 - Generalidades sobre a metodologia utilizada:	p. 88
4.3 - Visão geral sobre a metodologia de projeto utilizada:	p. 89
4.4 - Visão detalhada da metodologia utilizada:	p. 92
4.5 - Conclusão:	p. 149
5. Implementação do sistema computacional SADEPRO:	p. 151
5.1 - Alcance e limitações do SADEPRO:	p. 151
5.2 - Generalidades sobre o sistema computacional SADEPRO:	p. 159
5.3 - Visão geral sobre o funcionamento do sistema computacional SADEPRO:	p. 161
5.4 - Visão detalhada do sistema computacional SADEPRO:	p. 163
5.5 - Conclusões:	p. 218
6. Aplicação do sistema computacional SADEPRO a um exemplo completo: ...	p. 220
7. Conclusões e perspectivas:	p. 255
7.1 - Possíveis extensões:	p. 256
Bibliografia básica:	p. 273
Bibliografia consultada, de âmbito geral:	p. 280
Bibliografia consultada para elaboração do sistema computacional:	p. 281
Bibliografia consultada para composição dos Catálogos incorporados ao sistema computacional SADEPRO	p. 282
Anexos:	
1) Lista de quesitos/requisitos oferecidos ao usuário do SADEPRO: ..	p. 286
2) Informações sobre os Catálogos incorporados ao sistema SADEPRO:..	p. 290
3) Relação dos verbos técnicos incorporados ao sistema SADEPRO:	p. 307
4) Instruções para instalação do SADEPRO:	p. 311
5) Dois disquetes com o programa executável completo do SADEPRO, incluindo o software de instalação:	p. 314

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.

1.1 - Tecnologia e Sociedade.

Para reforçar a idéia central que conduziu em seu livro, JAY (1975) o inicia afirmando que a organização de empresas não pode ser tomada como verdade completa a partir do ponto de vista de um único pesquisador, nem mesmo o seu: as muitas e diversificadas opiniões de estudiosos deveriam ser vistas agrupadas, cada uma das quais contribuindo com um aspecto novo a ser acrescentado à opinião de outros pesquisadores. Exemplifica com a estrutura do cristal, cujo único método disponível para conhecê-la, na época (o original do livro foi publicado em 1971), era a difração de Raios-X, a qual fornece "fotografias" bidimensionais de átomos arranjados tridimensionalmente no cristal. Desse modo, à maneira da empresa, uma única fotografia não bastava para se conhecer a estrutura do átomo, mas muitas fotografias, obtidas de ângulos diferentes, poderiam permitir deduzir a forma real tridimensional das imagens inicialmente indistintas. E, humildemente, prosseguia com seu raciocínio paralelo para justificar sua visão de que a complexidade da empresa, assim como a do cristal, é tridimensional ... e ele estava, com aquele livro, acrescentando uma "fotografia" à complexa "tridimensionalidade" empresarial.

Cerca de vinte anos se passaram, e o microscópio de varredura por efeito túnel, desenvolvido com base na Física Quântica, consagrou-se como instrumento que permite "enxergar" átomos e manipulá-los um a um, tornando real a possibilidade de, no curto prazo de uma década, "construir" moléculas sob medida (CARDOSO,

1992). A nanotecnologia - a ciência do muito pequeno, cujos objetos de estudo costumam ser medidos em nanômetros -, auxiliada por geradores computadorizados de imagens, surge, hoje, como possibilidade insuspeitada na época em que Jay citou a difração de Raios-X como único efeito possível para se conhecer a estrutura dos cristais e ilustrar sua opinião sobre as teses organizacionais.

A alta velocidade com que surgem novas invenções pode surpreender até mesmo pessoas estudiosas e bem informadas como Jay. Afinal, grandes mudanças ocorridas nos últimos vinte anos podem ser identificadas em qualquer campo de conhecimentos: na sociologia, economia, antropologia, música, ecologia, comunicação, medicina, engenharia e informática.

Se se considerarem os avanços nas áreas da eletrônica, da medicina, da informática e da robótica, é inegável que a atual velocidade de desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia produz grande impacto sobre a vida humana.

Hoje em dia, modernos instrumentos de comunicação via satélite difundem para todo o mundo os feitos extraordinários conseguidos com a tecnologia. Padrões de cultura e de comportamento são assim disseminados por entre os habitantes do planeta, afetando a vida mais íntima de cada pessoa, fazendo-as reformular seus desejos e seu comportamento social.

Cercadas por novas e poderosas tecnologias, as vidas das pessoas transformam-se de modo irreversível. Para o homem, que tem ilimitada capacidade de aprendizagem, a vida constitui um extraordinário espetáculo aberto e indefinido. Está-se presenciando período de transformações profundas e aceleradas da vida humana na face da Terra.

A tecnologia parece ser o caminho viável para melhorar efetivamente a qualidade de vida dos seres humanos. Isso fica evidenciado pela evolução cada vez mais rápida dos mercados consumidores e de suas necessidades, pela intensificação da concorrência e pelas transformações tecnológicas, as quais impõem às indústrias em geral a obrigação de continuamente procurarem novas oportunidades para desenvolvimento de produtos. Nesse contexto, a inovação tecnológica se apresenta como centro da dinâmica do crescimento econômico.

Uma nova era tecnológica está surgindo. É preciso acompanhar o seu desenvolvimento.

1.2 - O Engenheiro e o Projeto de Produtos Industriais.

Atender à satisfação de necessidades humanas é o objetivo do projeto de engenharia. Aliando conhecimento científico e fatores tecnológicos à capacidade criadora do projetista, o projeto final representa, em si, o resultado do esforço de pesquisa necessário para se encontrarem soluções que realizem fisicamente aquelas necessidades humanas ou parte delas.

Projetar produtos industriais requer atenção intelectual para defrontar-se com novas demandas. É uma atividade da Engenharia que vai ao encontro de quase toda esfera da vida humana, conta com as descobertas tecnológicas e com as leis da Ciência, e cria condições para aplicação dessas leis na manufatura de produtos úteis.

Devido à natureza complexa da moderna tecnologia, o projetista de produtos industriais tem que ser uma pessoa de muitas partes. Se se considerar o diversificado conjunto de produtos que

ele ajuda a elaborar, e o conhecimento especializado e experiência exigidos pelo desenvolvimento desses produtos, fica evidente que seu trabalho não se ajusta a um molde rígido.

Por outro lado, devido a essa diversidade de conhecimentos necessários para a atividade de se projetar produtos industriais, raramente é possível a um indivíduo dedicar-se sozinho ao projeto e desenvolvimento de um novo produto. Com frequência, é necessário ter-se uma equipe de pessoas para realizar essa atividade, o que introduz problemas de organização, de delegação de tarefas e de comunicação.

Assim, para se tomar uma decisão durante o processo de desenvolvimento do produto:

- 1) deve ser processada uma grande quantidade de informações, provindas de diversificadas áreas do conhecimento técnico e científico;
- 2) a atividade de pessoas, com formação diferenciada, deve ser coordenada e compatibilizada, tendo em vista o projeto comum a ser desenvolvido.

Assim como um escultor lapida sua obra, o projetista lavra sua idéia para solucionar o problema que lhe é colocado sob forma de um desafio a vencer. Seu instrumento de trabalho é a metodologia de projeto, que o impulsiona na direção do objetivo a alcançar: procura identificar e descrever o mecanismo, equipamento ou máquina que concretizará sua idéia e dará solução a seu problema.

Cada projeto tem suas peculiaridades. No entanto, pode-se identificar um conjunto de princípios e conceitos gerais que fundamentam a atividade de projetar. Assim, à medida em que o projeto é iniciado, desdobra-se uma seqüência de eventos, em ordem

cronológica, constituindo um modelo geral que se pode encontrar em todos os projetos.

O projeto de Engenharia contém, então, uma morfologia - representada pela progressão do abstrato até o concreto - e um processo iterativo, para a obtenção da solução de problemas.

A tarefa principal do engenheiro é aplicar seu conhecimento científico para obter a solução de problemas técnicos e, então, otimizar aquela solução com o material disponível, sujeito a restrições tecnológicas e econômicas. Para essa tarefa, uma contribuição importante é a do projetista de produtos industriais: suas idéias, conhecimento e habilidades têm um efeito fundamental na natureza de produtos manufaturados, no apelo aos consumidores e na rentabilidade desses produtos.

1.3 - Justificativa para este trabalho.

As dificuldades para obtenção de produtos industriais, acima expostas, justificam o esforço voltado para a criação de um sistema computacional de auxílio ao desenvolvimento de produtos. Segundo BEITZ (1989), a aplicação de computadores à atividade de projetar produtos é inevitável: exemplos da indústria e de centros de pesquisa alemães mostram que metodologia de projeto e utilização de computadores estão cada vez mais interligados.

O objetivo prático do sistema computacional aqui descrito é o de colocar certos elementos conhecidos de decisão ao alcance do projetista: sob forma rápida e metodizada, ele terá acesso a dados normalmente dispersos pela bibliografia, ou disponíveis apenas através da participação de consultores experientes na área específica do projeto.

O banco de dados de um sistema computacional, desenvolvido para essa finalidade, poderá conter, sistematizadas, grande parte das informações que seriam utilizadas por um projetista altamente qualificado, que as usaria em seus dias de maior criatividade e de melhor disposição para o trabalho.

Para que seja possível aplicar um sistema computacional semelhante ao mencionado, o processo do projeto precisa ser planejado cuidadosamente e executado sistematicamente. É imprescindível haver um método de projeto de produtos industriais eficaz para integrar os diferentes aspectos do projeto, de modo que o processo todo seja lógico e compreensível.

1.4 - Objetivos do trabalho proposto.

Este trabalho tem como objetivo elaborar o Sistema de Apoio Computacional ao Projeto de Produtos Industriais - SADEPRO -, como sistema auxiliar para o trabalho do projetista durante a fase da idealização do produto a ser desenvolvido, chamada **fase da concepção do produto**. Pretendeu-se mostrar que é possível utilizar um sistema computacional para auxiliar o trabalho do projetista nesta fase em que, na metodologia não computadorizada, a criatividade e a experiência do projetista aparecem como os recursos mais importantes.

A necessidade de empregar criatividade, durante a fase de concepção, impõe flexibilidade muito grande às ações do projetista e, por isso, a experiência profissional tem sido colocada como fator de sucesso ou de fracasso do projeto.

Essa flexibilidade de ações tem dificultado, até agora, a elaboração de **software** que possa efetivamente auxiliar o

projetista durante a etapa da concepção do produto - principalmente porque não se conhece claramente a maneira como se encadeia o raciocínio do projetista, durante o ato de projetar (EHRENSPIEL & DYLLA, 1991).

Assim, considerando a necessidade de se empregar criatividade, considerando o relativo desconhecimento sobre as ações reais adotadas pelo projetista, durante a atividade de projeto, levando em conta as inúmeras possibilidades de encadeamento de seu raciocínio durante a fase da concepção, além da enorme quantidade de informações dispersas pela bibliografia de apoio ao projeto, pouco tem sido feito até agora como tentativa de adotar instrumentos computacionais para a fase da concepção do produto. Entendia-se, então, que o projetista experiente traz essas informações em sua mente, e sua habilidade decorre principalmente de já haver vivenciado muitas vezes a situação em que se coloca frente a frente com um problema a solucionar.

A idéia de se elaborar o SADEPRO surgiu como necessidade de se instrumentalizar o projetista para enfrentar essa situação, e assim colocar a fase da concepção sob forma sistematizada, de modo a que pudesse ser realizada com auxílio de computador.

Para se alcançar esse objetivo, foi necessário preparar uma metodologia de projeto de produtos que se adequasse à utilização com computador.

O resultado é que, tomando-se como ponto de partida o problema definido, a metodologia de projeto existente dentro desse sistema computacional conduz o projetista pelas diversas etapas metodológicas do projeto até a descrição final dos elementos que concretizarão a tarefa a ser elaborada. Neste ponto, é mostrada a

maneira pela qual esses elementos estarão dispostos e agrupados dentro da solução encontrada, de modo a serem capazes de executar a função que deles se espera.

Durante a utilização do software, são oferecidas ao projetista facilidades como: catálogos de efeitos, com os quais é possível estimular associação de idéias, que possam conduzir à concepção desejada; ferramentas gráficas, para representar suas idéias sob a forma de croquis; critérios de avaliação, para escolher a alternativa mais adequada para os objetivos iniciais pretendidos com o projeto; e, sobretudo, uma metodologia consistente e já testada, que conduz o projetista de forma sistemática e segura desde a elaboração da Lista de Requisitos até alcançar a concepção do produto.

Como conclusão, o SADEPRO pode ser visto como um instrumento de real utilidade para auxiliar o projetista durante a fase da concepção. Na seqüência, outros sistemas computacionais CAD ou CAD/CAM poderão utilizar os resultados obtidos com a aplicação do SADEPRO para desenvolverem as etapas de projeto preliminar e projeto detalhado.

1.5 - Conteúdo da tese.

Este trabalho foi escrito de forma a situar gradativamente o leitor no assunto central, que é a demonstração de operacionalidade do sistema computacional para auxiliar o projetista durante a fase de concepção do produto. Para tanto, cada capítulo particulariza algum aspecto da metodologia de projeto até se alcançar o enfoque específico desejado.

No Capítulo 2, são comentadas as metodologias de projeto usuais, e descreve-se a metodologia sugerida pela VDI 2221

(1987) - a Recomendação da Associação dos Engenheiros, que trata do assunto na Alemanha.

No Capítulo 3, expõe-se a fase da concepção do produto, extraíndo-a da metodologia geral descrita no Capítulo anterior; comenta-se sobre a **abstracção**, entendida como instrumento de trabalho necessário para se estudar a idealização de qualquer produto. São feitos esclarecimentos sobre as maneiras mais conhecidas de se procurarem soluções para produtos - na fase de concepção -, incluindo também situações em que já se utiliza instrumento computacional para isso.

No Capítulo 4, está detalhadamente descrita uma metodologia para desenvolver concepções de produto com auxílio de computador.

No Capítulo 5, expõe-se, também com detalhes, o sistema computacional **SADEPRO**, o qual foi implementado com base na metodologia descrita no Capítulo 3.

O Capítulo 6 contém descrição de aplicação do sistema **SADEPRO** à concepção de um produto, e no Capítulo 7 colocam-se as conclusões e possíveis extensões relativas a todo este trabalho.

A bibliografia relacionada está dividida em quatro partes:

- bibliografia básica, à qual foi feita referência ao longo do texto;
- bibliografia consultada, de âmbito geral, que foi utilizada para elaboração do texto, mas não foi citada;
- bibliografia consultada para elaboração do sistema computacional, composta principalmente de livros e textos técnicos referentes à construção do software **SADEPRO**; e

- **bibliografia consultada para composição dos catálogos.** Estes catálogos estão incorporados ao SADEPRO e servem como fonte de consulta do usuário quando ele está procurando efeitos que sejam capazes de concretizar as funções técnicas exigidas pelo produto em desenvolvimento.

Finalmente, os Anexos complementam o conjunto com informações específicas, já que alguns assuntos não foram integralmente discutidos no texto, para não interromperem a exposição lá desenvolvida. Assim, têm-se:

- **Anexo 1:** mostra a lista de quesitos e de requisitos incorporados à versão atual do SADEPRO, e oferecidos ao usuário durante a utilização do sistema computacional;
- **Anexo 2:** contém a relação completa dos catálogos de efeito hoje incorporados no SADEPRO, os quais podem ser consultados pelo usuário durante a concepção de seu produto com o auxílio computacional;
- **Anexo 3:** relaciona os **verbos técnicos** disponíveis no SADEPRO, os quais auxiliam o usuário a definir suas funções elementares na forma padronizada de verbo-predicado;
- **Anexo 4:** apresenta informações sobre a seqüência de instalação do sistema computacional SADEPRO no disco rígido do projetista; e, finalmente, há o
- **Anexo 5:** traz dois disquetes de 5 1/4", de 1.44 Mb cada um: são os discos que contêm o programa instalador e o programa executável completo do sistema computacional SADEPRO.

CAPÍTULO 2: O PROCESSO DO PROJETO DE PRODUTOS INDUSTRIAIS.

2.1 - Aspectos gerais.

Devido ao acelerado processo de desenvolvimento tecnológico atual, nos dias de hoje o Projeto de Produtos não pode ser tratado como atividade principalmente intuitiva, dependente apenas de ensaios e erros ou empirismo, mas sim como aplicação de metodologia sistematizada, com sólido embasamento científico que municie o projetista com o benefício de ferramenta científica para assegurar-lhe maiores possibilidades de sucesso; que oriente seu trabalho desde a definição da tarefa a ser executada até o projeto final do produto.

Visto como necessidade racional do desenvolvimento de um produto, o Projeto é hoje considerado um processo complexo de aplicação de conhecimentos e de utilização de conhecimentos existentes dispersos por entre uma avalanche de publicações e informações. Há influências externas a serem respeitadas e pressuposições básicas do projetista, além de leis fundamentais inerentes ao desenvolvimento do projeto, que definem o procedimento para solucionar problemas técnicos. São dominantes os aspectos da estrutura do processo do projeto e da concepção de soluções para sistemas técnicos.

A definição da estrutura do processo é um problema básico que tem importância para todas as fases do desenvolvimento de um Projeto. Partindo-se da formulação verbal da tarefa que o produto deverá realizar, é necessário que haja uma seqüência estabelecida de trabalho que, primeiramente, através de um processo racional de simplificação, consiga dividir o problema inicialmente

posto - concreto e complexo - e transformá-lo em problemas menores, que possam ser solucionados com mais facilidade - o que implica em maior probabilidade de sucesso para o projetista. Assim, em um segundo momento será possível encontrar soluções individuais para essas tarefas menores, soluções que finalmente poderão ser reunidas para compor a solução total do projeto.

Segundo ROTH (1972), o caminho para a busca de soluções é marcado por um aumento inicial de abstração em relação à tarefa estabelecida, seguindo-se etapas cada vez mais concretas de realização do projeto. Esta idéia do processo está esquematicamente representada na Figura 2-1, onde há referências à abstração e à complexidade como parâmetros do processo do projeto. Nessa figura, o ponto de partida é a declaração da tarefa a ser executada (F), e está localizado em certo nível de concretização (referente ao entendimento que se tem do problema a resolver) com um correspondente grau de complexidade associado. Seguindo o processo do projeto, a formalização da tarefa sob forma de funções abstratas apresenta o problema com pouca ou nenhuma complexidade; no entanto, o correspondente grau de concretização da solução é praticamente nulo, já que o problema, neste ponto, estará apresentado sob forma de funções abstratas. Na medida em que se avança no processo, em direção à busca de soluções mais concretas para o problema declarado inicialmente (S), o grau de complexidade das informações e das próprias soluções pesquisadas tende a aumentar (Fig. 2-1).

Pelo exposto, pode-se afirmar que a sistematização do desenvolvimento de produtos industriais traz benefícios reais para o projetista, na medida em que organiza o trabalho dele e o orienta para uma seqüência lógica de atividades, conduzindo-o com

segurança desde a fase abstrata do estudo da tarefa até a concreta visualização do produto final. Dentre as diversas metodologias existentes para essa sistematização, algumas das mais conhecidas serão comentadas a seguir.

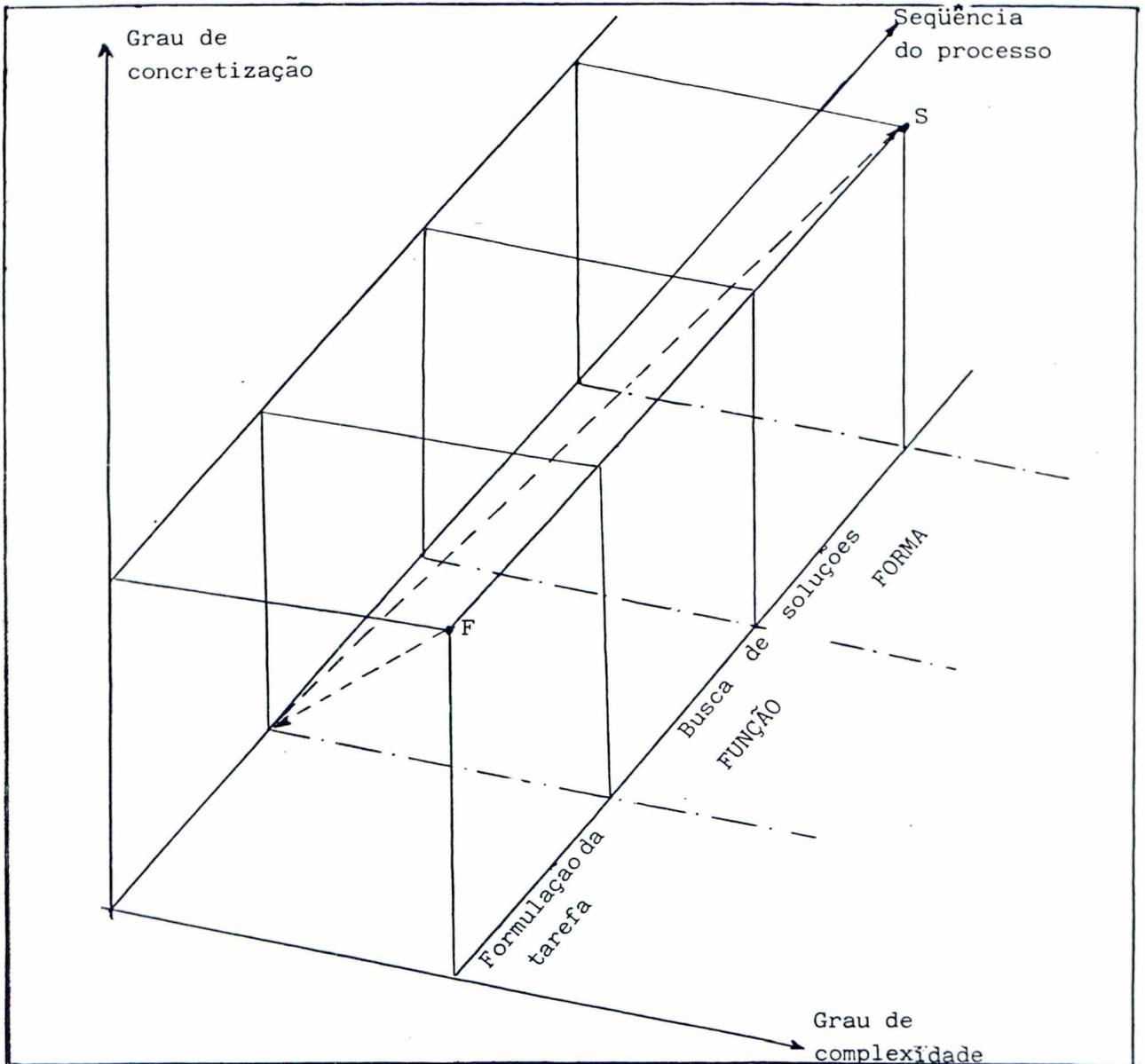


Fig. 2-1 - Seqüência do processo de busca de soluções, com referência à complexidade e concretização; F: declaração da tarefa; S: solução (Fonte: ROTH et alli, 1972).

2.2 - Metodologias de projeto do produto.

Metodologias para projetar produtos industriais têm sido propostas por diferentes autores. Na maior parte delas, as fases descritas anteriormente podem sempre ser identificadas, com ênfase em um ou em outro aspecto que parece mais importante para cada autor.

SUH (1990), por exemplo, reforça a importância dos requisitos funcionais do projeto, ao estabelecer seu "modelo axiomático". Argumentando que a evolução ocorrida em qualquer área da Ciência e Tecnologia teve início em um conjunto de postulados fundamentais, desenvolveu o "modelo axiomático" de projeto a partir de duas afirmações básicas:

1. **axioma da independência**, no qual defende a necessidade de se garantir a completa independência entre os requisitos funcionais de qualquer projeto; e
2. **axioma da informação**, onde sugere minimizar o conteúdo de informações contidas em um projeto, reduzindo-o às essenciais.

Como consequência direta dos axiomas formulados, surgem oito corolários com aparência de regras de elaboração de projeto, aos quais se seguem teoremas e proposições passíveis de demonstração. Segundo o autor, pode-se identificar grande número de teoremas, dependendo do problema e das considerações específicas do projeto.

O "modelo axiomático" descreve projeto como um processo genérico de três passos:

- "1) definição do problema, o que resulta na definição dos requisitos funcionais e nas restrições funcionais;

- 2) o processo criativo de concepção e idealização de uma solução; e
- 3) o processo analítico de determinar se a solução proposta é uma solução racional consistente com a definição do problema."

São estabelecidas funções lógicas como meio de formalizar o segundo passo, de forma interativa (com feedback) com o primeiro passo. O terceiro passo é auxiliado por funções baseadas em informações contidas na lista de requisitos e restrições funcionais do projeto.

Embora assegure que seu "modelo axiomático" é genérico e que pode ser aplicado a qualquer área de trabalho que exija decisões racionais, SUH direciona sua teoria e os estudos de caso que expõe para o campo da Engenharia de Projetos. Reforça a necessidade de se tomar decisões corretas nos estágios iniciais de estudos dos requisitos funcionais, de forma a minimizar defeitos indesejados na saída do projeto e a evitar decisões erradas durante a concepção do produto.

De modo geral, como também ocorre com outras metodologias de projeto do produto, o "modelo axiomático" trabalha com informações abstratas (os requisitos funcionais inicialmente identificados) e busca concretizá-las em um produto final. Para isso, utiliza seus teoremas desenvolvidos de forma organizada e sistemática.

Como se vê, o "modelo axiomático" enfatiza os requisitos funcionais do projeto, e os manipula para chegar ao projeto final do produto. Embora a metodologia resultante não pareça facilmente adaptável para ser utilizada em computador, tem o mérito evi-

dente de sistematizar ações e procedimentos - além de fornecer elementos para facilitar a tomada de decisão durante o processo do projeto. Empenha-se, assim, em substituir a intuição e a experimentação desordenada do trabalho do projetista por axiomas ou leis que procuram explicitar, através de declarações formais, o que se conhece intuitivamente sobre o produto em desenvolvimento. Desse modo, torna possível ensinar e aprender metodologia de projeto do produto.

Por seu lado, POSSAMAI (1992) ressalta o aspecto funcional do produto, em seu "modelo de abordagem para concepção de novos produtos". Propõe focalizar o trinômio necessidade-função-produto em cinco etapas:

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

O objetivo da primeira etapa é identificar a função principal a ser desempenhada pelo produto em desenvolvimento, para atender ao usuário e à empresa fabricante da maneira mais adequada possível. O segundo passo procura definir as outras funções que terá o produto, além de explicitar as restrições impostas ao produto pelo meio externo (o mercado consumidor, a concorrência, a própria empresa fabricante, etc.). O terceiro passo consiste em determinar o fluxo funcional interno ao produto, de modo a que consiga transformar suas entradas nas saídas desejadas. Assim, determinam-se também as subfunções integrantes do fluxo principal. Na quarta eta-

pa, são relacionadas soluções possíveis para cada subfunção antes relacionada, soluções essas combinadas sistematicamente para se obter uma alternativa de concepção para o produto. Finalmente, na quinta fase comparam-se as alternativas de solução com base em suas respectivas adequações aos requisitos de projeto e viabilidades técnica, econômica e financeira.

No texto citado, está descrita a maneira de se operacionalizar a identificação da função principal do produto e das funções secundárias, assim como das respectivas subfunções. A partir de então, pesquisa-se a solução da concepção para todo o produto.

Como se apóia essencialmente no trabalho realizado pela equipe de projetistas, provavelmente essa metodologia não é adaptável para utilização em computador, na sua forma atual. No entanto, devido principalmente à sua simplicidade, parece ser de fácil utilização.

CHAKRABARTI & BLIGH (1991) vêem a concepção do produto como uma atividade recursiva que ocorre através da definição inicial do problema, síntese de soluções parciais, avaliação das soluções encontradas e redefinições horizontal e vertical do problema (redefinição "horizontal" diz respeito à redefinição de funções parciais, no mesmo nível de abstração; "vertical" é a redefinição do problema como um todo, isto é, enfocando o problema como sendo formado por diversas funções parciais justapostas) (Fig. 2-2). Sob esse ponto de vista, as duas características essenciais para a solução do problema do produto são identificadas como:

- a) modelo de divisão e ordenação: o problema não é resolvido como um todo, mas por partes;

b) redefinição do problema: a redefinição do problema ocorre em termos do estado prévio do problema, da contribuição das novas soluções parciais escolhidas, obtidas durante a solução do problema, e dos requisitos adicionais impostos pelas soluções parciais alcançadas.

Com essa idéia, a concepção é formulada inicialmente a partir da definição do problema. A seguir, uma parte do problema é selecionada para ser resolvida. Depois, um conjunto de soluções é obtido para satisfazer aos requisitos da parte selecionada. Na sequência, a primeira solução escolhida é avaliada com respeito ao problema inicial completo, o qual é revisado incorporando esta solução. A seguir, soluções são pesquisadas para as partes não resol-

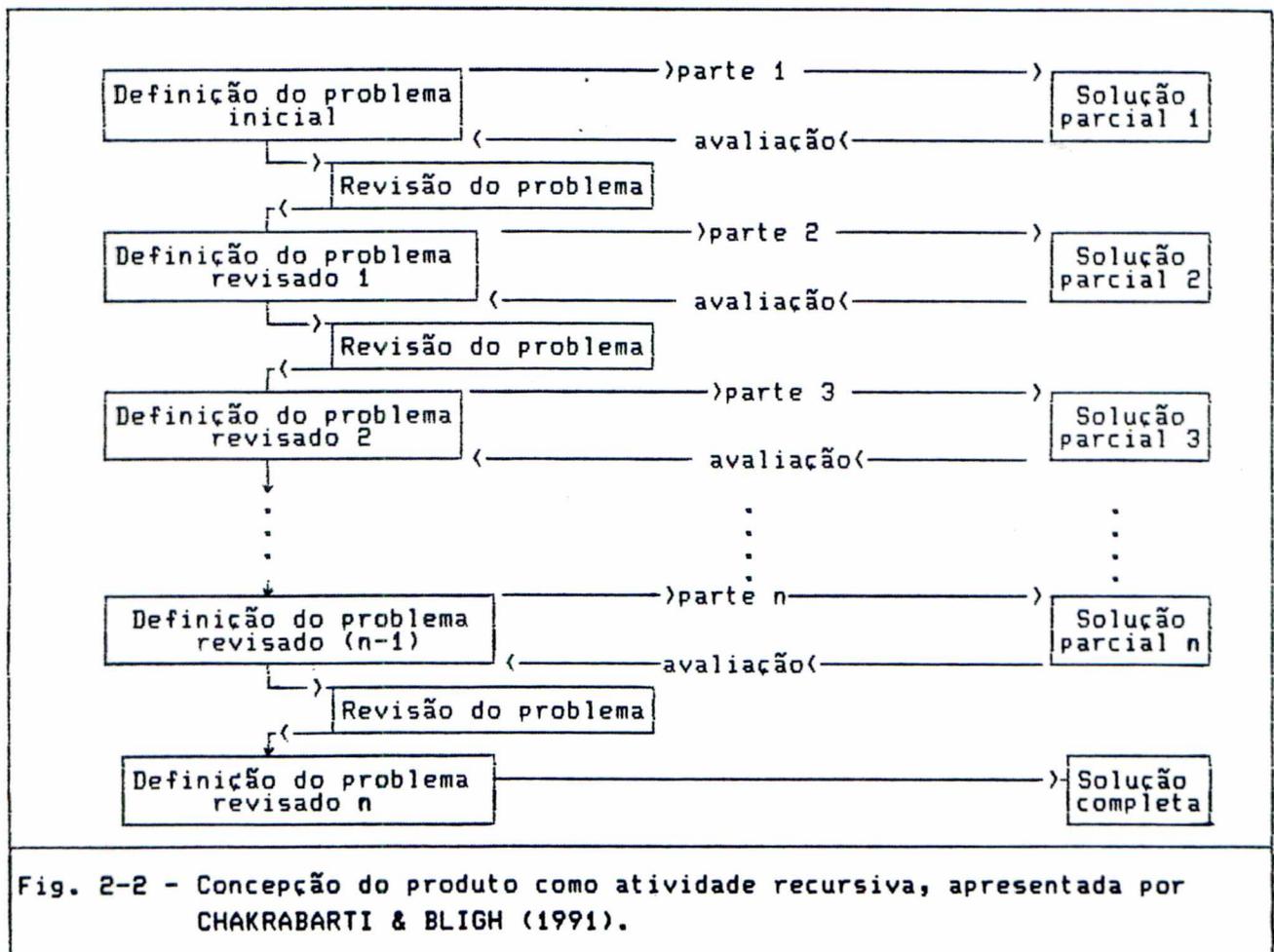


Fig. 2-2 - Concepção do produto como atividade recursiva, apresentada por CHAKRABARTI & BLIGH (1991).

vidas do problema revisado, a primeira das quais é avaliada para produzir a próxima definição do problema revisado. Esse processo recursivo continua até que uma solução completa seja encontrada (Fig. 2-2).

Aqui, "solução parcial" não significa a mesma coisa que "solução de função parcial". Solução parcial, neste caso, é entendida como solução incompleta do problema, a qual leva em consideração apenas parte das funções consideradas necessárias para concretizar o produto em desenvolvimento. A cada "revisão", o problema é redefinido devido à inclusão de mais funções, as quais vão sendo incorporadas ao problema anterior. Assim, gradativamente busca-se solução para o conjunto completo de funções.

Para projetos grandes e complexos, talvez essa seja uma alternativa aplicável de metodologia. Nela, o projetista define por onde deseja iniciar a pesquisa de soluções, avalia as alternativas de soluções parciais obtidas e redefine o problema global levando em consideração o resultado prévio até então alcançado. Dessa forma, a solução do problema global passa a ser orientada pelas soluções parciais factíveis obtidas. No entanto, apesar de haver essa facilidade representada pela possibilidade de se redefinir o problema original, ela parece ser, ao mesmo tempo, a força e a fraqueza da metodologia proposta pelos autores.

De um lado, a metodologia é atrativa para o projetista porque lhe permite pesquisar a solução do problema a partir das partes selecionadas do todo e reformular a definição desse problema na medida em que for conseguindo soluções parciais. Assim, o projetista desenvolverá soluções parciais dentro de sua própria limitação teórica, de sua experiência adquirida e de sua capacidade criativa acumulada até o momento de iniciar o projeto.

Por outro lado, nada assegura que o problema original ficará preservado, isto é, que a solução final obtida para o problema global satisfaça efetivamente aos requisitos previamente colocados para o produto em desenvolvimento. Com este procedimento, parece ser tentador o projetista dirigir-se para a **solução possível**, evitando o caminho mais árduo da **solução desejável**.

Contrariamente a esse enfoque, BJÄRNEMO (1991) é enfático ao afirmar que "para aumentar sua competitividade no mercado consumidor, é necessário que toda empresa não apenas utilize sua capacidade de desenvolvimento de produto tão eficientemente quanto possível, mas também que assegure que o produto final preencha todos os objetivos estabelecidos para ele" (BJÄRNEMO, 1991 - p. 373). Por isso, para escolha da melhor alternativa de solução recomenda procedimento com critérios de decisão que vêem a **solução** como um **todo** - solução essa escolhida de entre as alternativas disponíveis que **preenchem todos os requisitos** previamente estabelecidos para o produto em desenvolvimento.

Para este autor, portanto, a alternativa de solução para uma dada tarefa só é considerada solução aceitável se satisfaz a **todas** as exigências prévias impostas inicialmente para a solução encontrada.

Sob outro ponto de vista, ANDERSSON & HUGNELL (1991) entendem que, na Engenharia Mecânica, geometria e função estão fortemente relacionados. Por isso, recomendam que se utilize metodologia de projeto que integre a modelação funcional com a geometria do produto em desenvolvimento, nos diferentes estágios do processo de desenvolvimento do produto. Para os autores, tal metodologia trará como consequência estrutura de produto mais bem definida, a qual se

baseará em formalismo técnico para descrever os elementos de máquinas tão bem quanto as uniões entre esses elementos.

Opinião diferente é manifestada por HOOVER, RINDERLE & FINGER (1991), que defendem a aplicação de abstração nas primeiras fases do processo do projeto, isto é, defendem que a busca de solução para o produto em desenvolvimento se inicie a partir do maior distanciamento possível entre o projetista e a forma final do produto. Os autores argumentam que a abstração do projetista em relação a soluções concretas, nas primeiras fases do processo do projeto, é essencial para reduzir a complexidade do problema colocado. A abstração simplifica a natureza em geral complexa do projeto mecânico, reduzindo-a a partes componentes mais simples e ignorando formas e procedimentos característicos do produto em desenvolvimento. (O assunto "abstração" voltará a ser comentado na Seção 3.3.)

Conforme foi escrito no início desta Seção, muitas metodologias têm sido desenvolvidas para orientar e facilitar o trabalho do projetista de produtos. Cada metodologia enfatiza o aspecto que parece mais relevante a seu autor, uma às vezes contradizendo outra nas respectivas recomendações, conforme pôde ser mostrado acima.

Por exemplo, ITO & MORITZ (1990) sugerem que as etapas de trabalho para projetos de inovação tecnológica sejam compostas pelas seguintes fases: planejamento da concepção; projeto da concepção; desenhos para protótipo; produção do protótipo; experimentação, aperfeiçoamento e sofisticação do protótipo; teste de campo para produtos comerciais; produção comercial, o que vem a ser um modelo de desenvolvimento de produtos mais simplificado, se comparado com o modelo alemão comentado adiante, na Seção 2.3. (Se es-

sa aparente simplificação do processo do projeto explica ou não as diferenças entre as dinâmicas da inovação alemã e japonesa - a primeira com interregno médio de 5 anos entre a disponibilidade da tecnologia e o lançamento do produto comercial no mercado, e a segunda com 3,5 anos, em média (LONGO, 1993) - é assunto para discussão mais ampla, que provavelmente transcende os objetivos deste trabalho).

EHRENSPIEL & DYLLA (1991) preocuparam-se com aspectos de ensino e aprendizado do processo do projeto. Sob idênticas condições de laboratório, realizaram experiências com diferentes pessoas submetidas à tarefa de projetar o mesmo produto, para investigar o processo de raciocínio do projetista enquanto desempenha seu trabalho.

O objetivo, então, foi examinar o procedimento individual e conhecer o processo de raciocínio do projetista, durante o trabalho, mantidas constantes as influências externas. Os autores pretendiam identificar procedimentos especiais de trabalho que pudessem ser aplicados para otimizar o procedimento de trabalho do projetista, e que permitissem oferecer-lhe métodos e meios auxiliares que pudessem facilitar-lhe o trabalho de projetar.

Através da comparação estabelecida entre os procedimentos individuais das pessoas observadas, aqueles autores verificaram que a análise dos requisitos tem grande significado na qualidade do resultado obtido. A representação gráfica e a imaginação espacial também têm importante responsabilidade na condução do processo do projeto. A avaliação de soluções está altamente interligada à experiência anterior do projetista; para estimular este aspecto, será útil utilizar como materiais de aplicação e de visualiza-

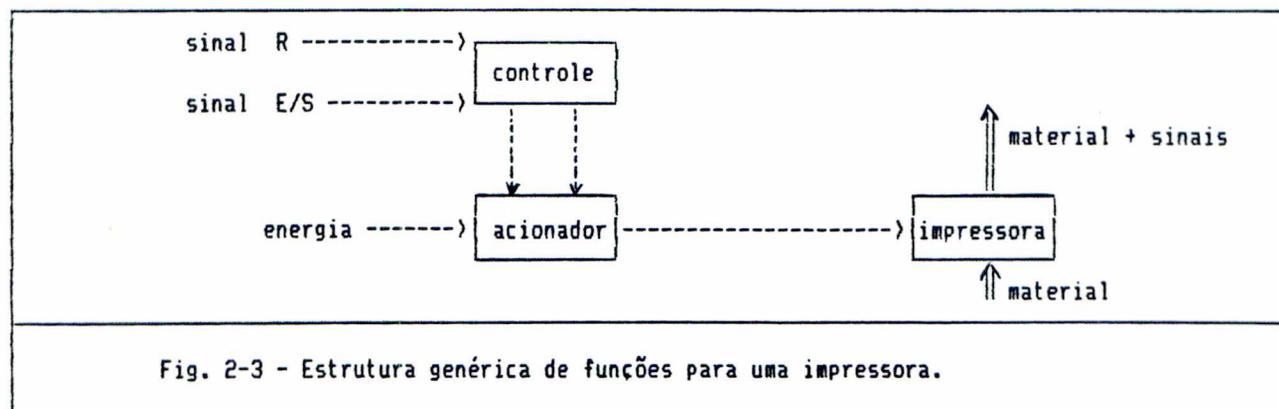
ção objetos e processos reais (elementos de máquinas, dispositivos, processos) e analisá-las. A variação corretiva - isto é, a modificação, em direção a objetivo determinado, de resultados obtidos a partir de correções efetuadas em soluções consideradas insatisfatórias - deve ser sistematizada. Os sistemas CAD hoje existentes para auxiliar o Projeto do Produto deveriam ser modificados para se basearem nas funções desejadas para o produto e na possibilidade de se elaborarem esboços (ou croquis) tanto na fase da idealização da solução (a concepção) quanto na transposição desta para a fase de concretização do produto.

Ressalvando que sua amostra foi pequena e que, portanto, seus resultados não podem ser tomados como definitivos - mas apenas como indicadores de idéias generalizadas - constataram que o projetista geralmente ainda não vê bem claramente a estratégia de procedimento, enquanto trabalha. Esta estratégia é formada por sucessivos encaminhamentos para a frente e para trás, isto é, apresenta passos de concretizações e de abstrações. Segundo ROTH (1989), se se resumir a seqüência relatada por EHRENSPIEL & DYLLA (1991) de passos para a frente e para trás, formando um plano contínuo para o trabalho do projetista, provavelmente resultarão procedimentos de projeto semelhantes aos descritos por ROTH (1982), VDI 2221 (1987) e PAHL & BEITZ (1988) - os quais já mencionavam a natureza propensa a idas e vindas do processo do projeto.

De modo geral, é possível afirmar que as metodologias descritas na bibliografia especializada têm apresentado aparências semelhantes e diferenciadas entre si. Considerando aspectos de diferenciação entre metodologias, YOSHIKAWA (1989) as classifica em "escolas de filosofia de projeto". Para esse autor, podem ser

reconhecidas como mais importantes para projetos de engenharia as seguintes "escolas": a escola semântica, a escola sintática e a escola historicista.

A chamada "escola semântica" pressupõe que em máquinas, equipamentos e aparelhos só podem existir fluxos de energia, de matéria e de sinal. Assim, todo sistema técnico pode ser representado pela transformação de matéria, energia e sinal da entrada em matéria, energia e sinal da saída do sistema técnico. O responsável por essa transformação é um encadeamento logicamente estruturado de funções técnicas e de subfunções. A Fig. 2-3 ilustra o processo para a representação das funções de uma impressora comum: os sinais E/S controlam o acionamento do sistema técnico, e o sinal R regula a velocidade de funcionamento. Sujeito a esses sinais, e por ação da energia da entrada, obtém-se na saída material com sinais, ou seja, papel com informações impressas.



A função global do sistema técnico é subdividida em estrutura de subfunções mais simples, até que seja possível identificar fenômenos físicos que realizem as transformações desejadas.

O aspecto mais favorável a esta "escola" é o de permitir que sejam catalogadas coleções de efeitos físicos que dão ma-

terialidade a princípios de soluções, necessários para a realização das funções técnicas. KOLLER (1985) mostra como utilizar esses catálogos e sugere alguns deles, tais como "catálogo de princípios de separação de materiais", "catálogo de princípios para juntar materiais", catálogo de princípios para aumentar/diminuir grandezas físicas" e outros. ROTH (1982) ensina a utilizar e a construir catálogos, e mostra exemplos como: "catálogo de princípios para ampliação/redução de forças". Além disso, apresenta, também, catálogos de soluções prontas para casos mais simples, como o de "dispositivos para limitar movimentos" e "mecanismos para transmissão de forças", entre outros.

Esta "escola semântica" direciona o trabalho do projetista desde quando inicialmente lhe explicita a função desejada para o sistema técnico a ser projetado até quando a metodologia chega ao final. Então, após submeter as alternativas obtidas a avaliações técnica e econômica, uma (ou mais de uma) solução para o sistema técnico é apresentada detalhadamente, com desenhos técnicos, listas de material, indicações sobre fabricação, montagem, embalagem, transporte, instruções de uso e manutenção.

Por outro lado, a "escola sintática" foi relacionada por YOSHIKAWA (1989) como sendo a que se preocupa mais com aspectos de procedimento do projetista do que com o objeto (do projeto) propriamente dito. A morfologia do projeto proposta por ASIMOW (1968) se enquadra nesse grupo, ao enfatizar os procedimentos e os instrumentos da metodologia e pretender que seja aplicável a qualquer campo da tecnologia.

Para esta "escola", o aspecto metodológico do projeto e o aspecto funcional do produto estão reunidos no modelo pro-

posto por PAHL & BEITZ (1988). Esses autores introduzem o aspecto da hierarquia entre funções e subfunções (Fig. 2-4), em um procedimento sistemático dividido em passos e etapas definidas. Parte-se do estudo da ordem de desenvolvimento do produto, emanada do setor de planejamento de produtos e segue-se a metodologia até a elaboração final do projeto detalhado, através de passos alternados de trabalho e de decisão. A todo passo de trabalho está associada uma saída de informações. Cada passo de decisão determina se o processo deve prosseguir ou se será necessário repetir o passo de trabalho anterior, com nível mais alto de informação - sempre com o objetivo de se obterem melhores resultados. O processo termina com a elaboração da documentação do produto e liberação para fabricação da solução encontrada.

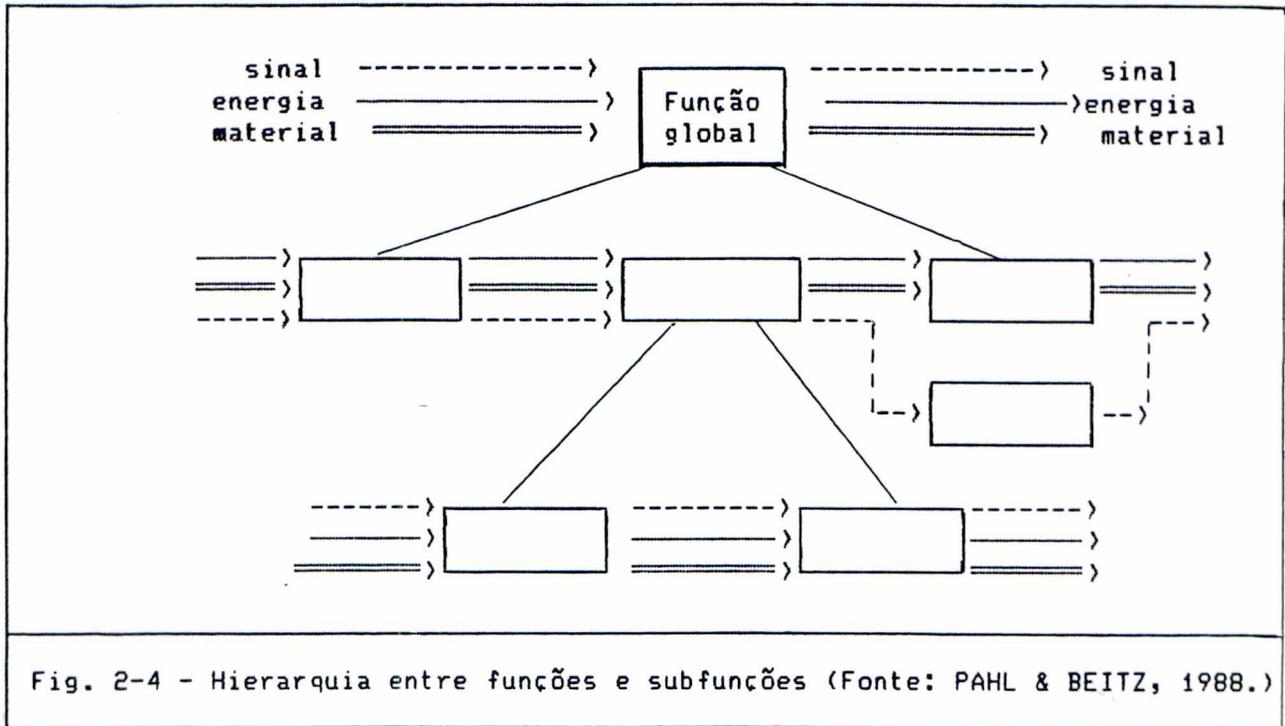
A "escola historicista" (YOSHIKAWA, 1989) enfatiza a importância que o conhecimento tem para o projeto. Isso implica utilizar todo o conhecimento disponível sobre determinado assunto para melhor se aprender sobre a habilidade de projetar.

Excetuando-se a "escola historicista", que necessita colocar à disposição do projetista todos os conhecimentos existentes sobre o assunto em estudo - o que nem sempre é exequível -, os métodos citados têm aspectos comuns e diferenciáveis.

Em comum, esses métodos estabelecem funções parciais muito bem definidas - conforme o seu significado -, através das quais todos os sistemas técnicos podem ser representados

Por outro lado, os métodos de KOLLER (1985), ROTH (1982) e RODENACKER (1984) se diferenciam principalmente pelo número de funções parciais padronizadas. O objetivo da padronização é definir algoritmos e cálculos com essas funções parciais, e também

preparar as bases para a listagem de um sistema genérico de catálogos com elementos de projeto.



Aos métodos para encontrar soluções com o auxílio de estruturas de funções genéricas acima citados devem ser acrescentados o método proposto por PAHL & BEITZ (1988) e o método da variação do efeito, comentado por SELL & FIOD (1989). Esses métodos podem ser adaptados para utilização em computador. Além deles, outros autores também já propuseram metodologias de projeto com vistas à utilização de equipamento computacional, conforme está exposto na Seção 3.5.

2.3 - Uma visão da estrutura do processo do projeto.

Um modelo de metodologia geral para desenvolvimento de produtos industriais está mostrado na VDI 2221 (1987) e foi co-

mentado por FIOD & BACK (1990; 1991,b). Nela, o extenso campo de conhecimento sobre projeto sistemático de produtos é dividido em quatro fases, e cada fase é subdividida em passos (Fig. 2-5). A todo passo está associada uma entrada e uma saída de informações. Durante o processo do projeto, as informações são trabalhadas e lançadas à interação com o projetista. A cada saída de informações há decisão, que determina o prosseguimento do processo ou uma repetição do passo anterior, com nível de informações mais alto, com o objetivo de se obterem melhores resultados. Um resumo dessa metodologia é apresentado a seguir.

FASE I: ESTUDO DO PROBLEMA A SER SOLUCIONADO.

A primeira fase da metodologia (Fig. 2-5) consiste no estudo da proposta de desenvolvimento do produto, e se inicia com a confrontação com o problema colocado.

1º passo: estudo da tarefa.

Este primeiro passo é importante porque esclarece os objetivos a serem alcançados com a elaboração do projeto do produto, procurando, logo de início, clarear a tarefa de maneira ampla e exaustiva. Com isso, espera-se reduzir a necessidade de complementações e de correções no decorrer dos trabalhos de desenvolvimento.

"Estudar a tarefa" significa ampliar e aprofundar as informações que provêm do setor de planejamento do produto, visando explicitar ao projetista - logo no início dos trabalhos - o que se pretende obter como resultado de sua atividade. Para isso, são coletadas informações necessárias para clarear o problema colocado, informações essas que podem advir de:

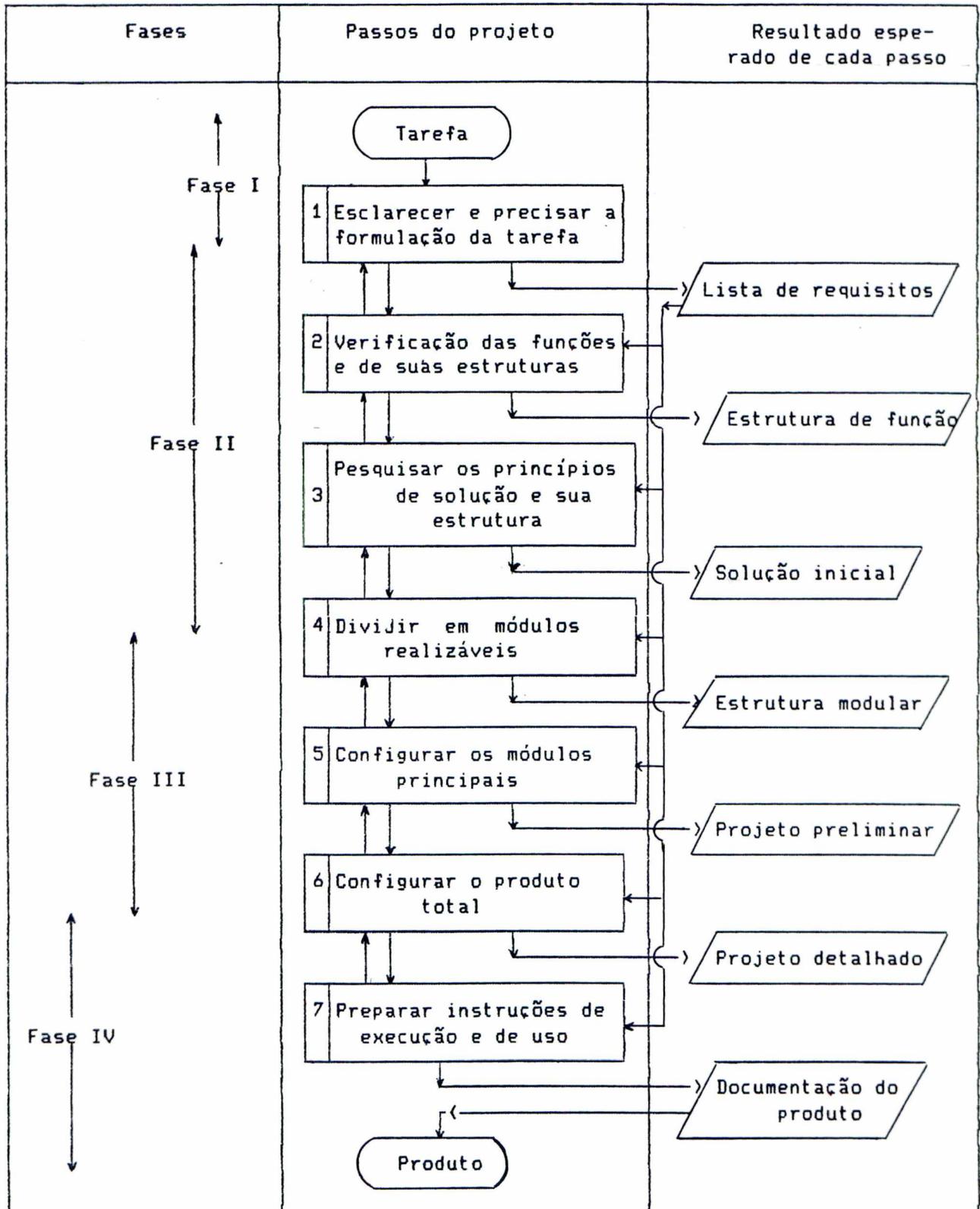


Fig. 2-5 - Procedimento geral para desenvolver e construir sistemas técnicos (Fonte: VDI 2221, 1987).

- contato intensivo e constante entre o setor que propôs a tarefa, e o setor de desenvolvimento e projeto;
- lista de condições e restrições previamente estabelecidas;
- coleta e análise de dados sobre:
 - tendências de consumo;
 - potencial de mercado;
 - desejos e expectativas dos possíveis clientes;
- testes de imperfeição de produtos assemelhados já existentes;
- informações sobre:
 - a situação atual da técnica;
 - tendências de desenvolvimentos futuros;
 - normas e recomendações nacionais e internacionais.

Esse levantamento inicial e abrangente de informações esclarece os objetivos a que a solução almejada deve satisfazer, e as condições e restrições que pesarão sobre o desenvolvimento do produto. Com isso, é possível elaborar-se a **lista de requisitos**.

PAHL & BEITZ (1988) afirmam que, a partir dos objetivos e das condições e restrições pré-fixadas, os requisitos devem ser separados em obrigatórios e desejáveis. **Requisitos obrigatórios** deverão ser atendidos em quaisquer circunstâncias. **Requisitos desejáveis** devem ser considerados, na medida do possível e do custo adicional que representam, e devem ser classificados de acordo com sua importância relativa (grande, média ou pequena importância, por exemplo). O atendimento aos requisitos desejáveis poderá ser um dos critérios que avaliarão as alternativas de solução encontradas - já que os requisitos obrigatórios deverão ser atendidos em todas as

situações. (Este assunto será abordado com mais detalhes nos capítulos 4 e 5).

Aspectos quantitativos e qualitativos dos requisitos obrigatórios e dos desejáveis devem ser tabulados, para que a informação resultante seja adequada:

- **quantitativos** são todos os dados envolvendo números e magnitudes, tal como "número de itens requeridos", "peso máximo", "potência de saída", "taxa de escoamento do fluido", etc.;
- **qualitativos** são os dados envolvendo variações permissíveis ou requisitos especiais, tais como: "à prova de água", "à prova de corrosão", "à prova de choque", etc..

Se possível, requisitos devem ser quantificados e, em qualquer caso, definidos nos termos mais claros possíveis. Influências consideradas importantes, intenções ou procedimentos podem também ser incluídos nas especificações, as quais passam a compor, então, um documento interno contendo requisitos - obrigatórios e desejáveis - expressos na linguagem de vários departamentos envolvidos no processo de projeto. (Este conceito está muito próximo dos formulados pela Engenharia Simultânea, mencionada dentro do estudo do QFD - "quality function deployment" por HAUSER & CLAUSING, em publicação de 1988.) Como resultado, as especificações não apenas refletem a postura inicial da empresa em relação ao produto em desenvolvimento, mas, por estarem reunidas em um documento continuamente atualizado, também servem como instrumento de acompanhamento do trabalho. Por outro lado, esse é um documento que deve ser apresentado à chefia de fabricação e ao departamento de vendas, para que eles possam apor suas objeções antes que o atual projeto seja iniciado.

PAHL & BEITZ (1988) propõem um recurso auxiliar para sistematizar a coleta de informações e a elaboração da lista de requisitos: uma lista de itens característicos a serem observados. A partir disso, as pessoas envolvidas com a clarificação da tarefa são levadas a refletir sistematicamente sobre os pontos essenciais do problema proposto, quantificando-os sempre que possível e registrando-os de forma clara e precisa, de modo que possam ser examinados e criticados por outros setores da empresa envolvidos com o projeto.

Assim que a tarefa estiver suficientemente estudada, e quando os setores envolvidos concordarem que a tarefa formulada é técnica e economicamente viável, pode-se, então, formalizar a Lista de Requisitos e iniciar a próxima fase de desenvolvimento do projeto. Uma representação formal da Lista de Requisitos pode ocorrer conforme mostra a Fig. 2-6.

Em resumo, para o esclarecimento da tarefa, informações diversificadas são enquadradas em diretrizes pré-fixadas pela empresa interessada no desenvolvimento do produto. O resultado esperado dessa fase do projeto do produto é a elaboração de uma **lista de requisitos**.

A **lista de requisitos** - relação de todos os requisitos obrigatórios e desejáveis - representa o ponto de partida do trabalho de desenvolvimento de produtos. Essa **lista** servirá como orientação para o trabalho a ser desenvolvido nas fases seguintes, e permitirá acompanhar o atendimento às exigências prévias impostas ao produto. Modificações feitas nessa **lista** resultarão em conseqüentes modificações no desenvolvimento posterior do projeto.

Data:		Pg.:	
Usuário:		Especificação do projeto ou produto	Identificação: Classificação:
Modificações	O/D	Requisitos	Responsável:
(Data dos dados ou de alte- ração)		(Objetivo ou propriedade com dados quantitativos e qualitativos) (Se necessário, separar em subsistemas (funções ou conjuntos) ou basear-se em "check lists")	(Designar grupo responsável)
Fig. 2-6 - Exemplo de apresentação de Lista de Requisitos (Fonte: PAHL & BEITZ, 1988).			

FASE II: CONCEPÇÃO.

A segunda fase da metodologia é a fase da concepção, e contém a parte do processo de desenvolvimento do produto que, após o estudo da tarefa, procura soluções que realizem o sistema técnico. O resultado esperado desta fase é uma (ou mais de uma) concepção de solução.

2º passo: estudo da função a ser desempenhada pelo produto.

No segundo passo de trabalho, parte-se do estudo da

tarefa inicialmente definida e da lista de requisitos já elaborada. Trabalha-se, então, com a função necessária para que o produto realize aquela tarefa já especificada.

A idéia de função.

Um produto precisa desempenhar uma tarefa, sob condições previamente estabelecidas. A formulação dessa tarefa efetua-se através da descrição da função.

Definição (VDI 2222, 1977: 8): "uma função é a descrição abstrata e genérica de uma verdade, de forma concatenada e coerente, através de grandezas de entrada, grandezas de saída e grandezas de estado de um Sistema, para o desempenho de uma tarefa."

Em outras palavras, máquinas, equipamentos e instrumentos são construídos para satisfazer a uma ou mais funções dentro do objetivo proposto para o produto. Portanto, realizar a função inicialmente determinada é, para o produto, seu requisito técnico mais importante.

A descrição funcional de um produto é uma descrição feita em nível abstrato, sem se referir a possíveis mecanismos de solução. (Contrastando com isso, os desenhos detalhados descrevem o produto de maneira muito mais concreta.)

Genericamente, é conveniente descrever a função através de um verbo e um substantivo, como, por exemplo, "transformar energia", "levantar carga", "fornecer luz", etc. (CSILLAG, 1985). Na maioria das vezes, é necessário complementar a descrição da função com informações específicas - as condições marginais -, como, por exemplo, para a descrição de "levantar carga": tamanho da carga, percurso de elevação, velocidade de elevação, peso da carga e situação da carga no armazenamento.

Caixa preta ("black box").

Uma função técnica pode ser colocada na forma abstrata de uma "caixa preta" (Fig. 2-7), representando um sistema técnico, com o fluxo de três grandezas genéricas de entrada e de saída: material, energia e sinal. Através dessa "caixa preta", são estabelecidos critérios de quantidade e de qualidade para a função.

Esta técnica pode ser utilizada para desenvolver projetos em qualquer campo de atividade. A maneira de aplicá-la está exposta detalhadamente em BACK (1983).

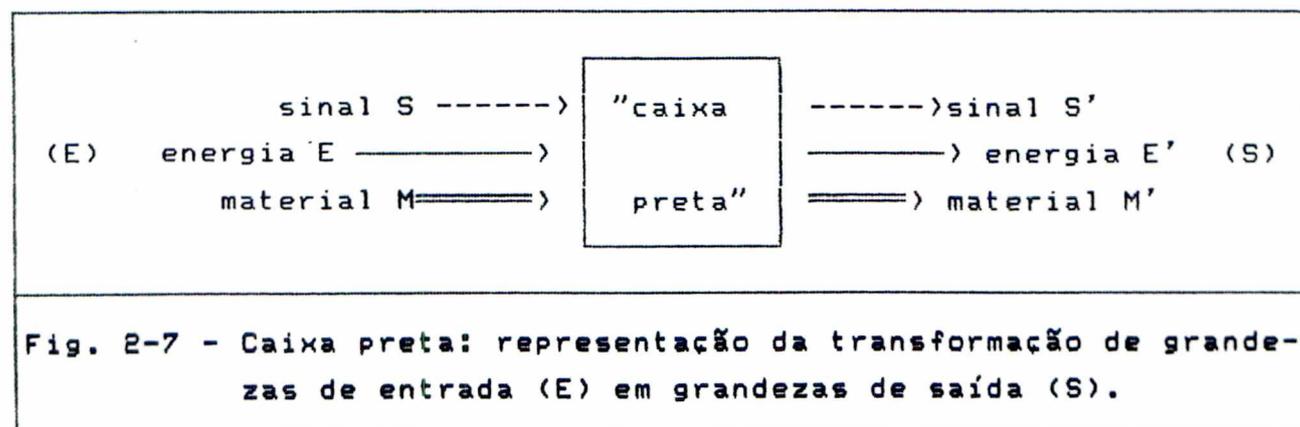


Fig. 2-7 - Caixa preta: representação da transformação de grandezas de entrada (E) em grandezas de saída (S).

Articulação de funções e estrutura de funções.

Procurando racionalizar a pesquisa de solução, inicialmente se volta a atenção para a solução da função global. As dificuldades de busca de solução serão diminuídas ao se repartir a função global em funções parciais de menor complexidade, e então pormenorizadamente procurar soluções para as funções parciais (também chamadas de "subfunções").

Depois que a função global foi decomposta em funções parciais, baixando alguns graus de complexidade, outras decomposições poderão ser feitas, agora em cada função parcial. Essa divisão

continuará até que as subfunções atinjam o grau de menor complexidade que permita encontrar soluções aceitáveis para essa subfunções (veja Fig. 2-4).

Estará sendo desenvolvido, então, um sistema composto por funções parciais de menor complexidade. A interligação das diversas funções parciais componentes resultará na estrutura geral de funções, que reproduz novamente a função total.

A articulação e combinação dessas funções parciais constituem a base para a pesquisa de soluções parciais que, em seu conjunto, realizam a função total desejada para o produto.

Este segundo passo do processo sistemático de desenvolvimento de produtos industriais (Fig. 2-4) produz, como resultado, uma ou mais estruturas de funções, onde as soluções parciais serão descritas ou desenhadas, podendo já serem estabelecidas ligações formais entre elas.

3º passo: pesquisa de princípios de solução.

Para cada função parcial, é necessário encontrar princípios de solução que, interligados entre si, resultam em combinação de princípios. Portanto, é preciso escolher efeitos físicos, químicos ou biológicos que assegurem a realização da estrutura de funções anteriormente estabelecida. O princípio de solução contém o efeito físico e, em princípio, também a configuração necessária para a realização de uma dada função.

Como meios auxiliares, existem os métodos convencionais para procura de soluções: a pesquisa bibliográfica, a análise de sistemas técnicos e de sistemas naturais conhecidos, a observação de analogias, as medições e as experiências com modelos. Além

disso, alternativas de solução podem surgir - e alternativas já existentes podem ser desenvolvidas e aprimoradas - pela aplicação dos conhecidos métodos intuitivos e discursivos de busca de idéias (CSILLAG, 1985; BACK, 1983).

Com a ajuda dos métodos intuitivos - por exemplo, "brainstorming" (OSBORN, 1957), método de Delphi (DALKEY & HELMER, 1963) e sinergia (GORDON, 1961) -, chega-se à solução depois de uma fase de procura e outra de reflexão. A solução é o resultado de um "estado brilhante" ou de uma idéia nova, que praticamente "cai" inteira no subconsciente, cuja origem e criação, na maioria das vezes, não pode ser explicada nem reproduzida. A idéia deve, então, ser aprimorada, modificada e ajustada até a sua total adequação como solução para o problema em questão. Por outro lado, não é recomendável confiar apenas na intuição: o "estalo" não pode ser forçado, e novas tecnologias e processos poderiam deixar de ser considerados.

Os métodos discursivos (CSILLAG, 1985) possibilitam obterem-se soluções com um procedimento sistemático e consciente, pois seus passos de trabalho podem ser descritos e alterados pelo pesquisador. A intuição também está presente aqui. Ela deve ser utilizada nos passos isolados dos métodos, que são os seguintes:

- estudo sistemático de processos físicos (RODENACKER, 1984);
- procura sistemática com o auxílio de sistemas de classificação (DREIBHOLZ, 1975);
- aplicação de catálogos (coleções de soluções conhecidas e provadas para problemas de projetos) (KOLLER, 1985; ROTH, 1982).

O resultado esperado deste terceiro passo da metolo-

gia é a obtenção de um conjunto de soluções para as funções parciais.

4º passo: estruturação em módulos realizáveis.

O passo anterior referiu-se ao modo de obter princípios de soluções para as funções parciais. Neste 4º passo, os princípios são selecionados e agrupados em módulos realizáveis. Para isso, leva-se em conta, de um lado, a facilidade de fabricação e, de outro, a necessidade de compatibilizar os módulos entre si. Essa associação de princípios deve ser orientada pela estrutura de funções, onde estão representadas as seqüências de funções parciais e as ligações entre elas (elas, funções parciais).

A combinação de princípios de solução para realizar a função total é uma atividade de **síntese**: soluções de funções parciais são combinadas, dentro das compatibilidades lógica e física exigidas, para compor a solução global: é a **síntese do sistema total**.

Como método de síntese, deve ser mencionada a **matriz morfológica** (PAHL & BEITZ, 1988; BACK, 1983). Essa técnica é particularmente útil quando se deseja combinar elementos diferentes de uma mesma estrutura de funções, compondo com eles um conjunto global. Consiste em uma técnica de ordenação sistemática, onde cada solução de função parcial é combinada com soluções de outras funções parciais, sintetizando assim funções globais (Fig. 2-8).

Assim, as subfunções e as soluções apropriadas (princípios de solução) são colocadas em linhas da matriz. Se o esquema foi utilizado para a elaboração do sistema global, então no mínimo um princípio de solução precisa ser escolhido para cada subfunção (isto é, para cada linha).

Sub-funções \ Soluções		1	2	...	j	...	m
		1	F_1	S_{11}	S_{12}	...	S_{1j}
2	F_2	S_{21}	S_{22}	...	S_{2j}	...	S_{2m}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
i	F_i	S_{i1}	S_{i2}	...	S_{ij}	...	S_{im}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	F_n	S_{n1}	S_{n2}	...	S_{nj}	...	S_{nm}
		②	①				

Fig. 2-8 - Matriz morfológica para combinação de princípios de solução, obtendo-se soluções gerais:
 Combinação 1: $S_{11} + S_{22} + \dots + S_{n2}$
 Combinação 2: $S_{11} + S_{21} + \dots + S_{n1}$
 (Fonte: VDI 2222, Blatt 1, 1977).

Para constituírem uma solução global, esses princípios são, então, combinados sistematicamente em uma estrutura de soluções parciais interligadas. Se houver m_1 princípios de solução para a subfunção F_1 , m_2 para subfunção F_2 , e assim por diante, então depois de se completarem as combinações haverá $N = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \dots m_n$ variantes de solução global teoricamente possíveis.

O principal problema deste método de combinação é identificar quais princípios de solução são compatíveis, isto é, extrair do campo de soluções teoricamente possíveis o campo de soluções praticamente possíveis. Por isso, é essencial que haja uma

avaliação técnica dos resultados aí obtidos, antes de se prosseguir com a metodologia de desenvolvimento de produto. Por outro lado, já que essa tarefa de se combinarem componentes para se obterem soluções compostas é atividade puramente mecânica, poderia ser efetuada por computador, dentro de um sistema especialista. Para isso, precisariam existir regras previamente definidas para a identificação de compatibilidade entre as soluções das funções parciais a serem justapostas.

O resultado esperado deste quarto passo da metodologia geral é uma (ou mais de uma) estrutura modular, a qual apresenta a divisão da solução global em módulos ou em elementos reconhecidamente realizáveis, e apresenta também a ligação entre esses grupos. Essa estrutura modular representa uma concepção de solução, capaz de realizar as funções parciais de forma compatível com a estrutura global de funções do produto a ser desenvolvido.

FASE III: PROJETO PRELIMINAR.

Esta terceira fase da metodologia é a parte do processo de desenvolvimento do produto que, a partir da **concepção** de um sistema técnico, determina sua **configuração** segundo pontos de vista técnico e econômico. Fornece, também, especificações adicionais, de modo que a execução do projeto detalhado (Fase IV da Fig. 2-5) possa ocorrer sem problemas.

Passo 5: configuração dos módulos principais.

Deste passo resulta um importante salto de concretização e de realização do produto, através da configuração de cada módulo principal da estrutura global de funções. Aqui, vai-se pro-

curar dar forma a cada módulo, selecionar materiais e processos de fabricação, definir medidas básicas do produto, testar a compatibilidade espacial e ainda procurar soluções parciais para eventuais funções parciais que só agora se tornaram evidentes. O resultado esperado é um projeto preliminar para o módulo enfocado, com exposição de cálculos e de desenhos em escala. É essencial que a configuração seja submetida a uma avaliação técnica e econômica.

Passo 6: configuração do produto total.

O passo 6 fixa os pontos importantes do módulo através da descrição dos detalhes finais, através da configuração e complementação dos elementos e dos grupos de elementos, assim como através da ligação definitiva entre todos os grupos e suas partes componentes.

São analisados os acoplamentos entre módulos, sob os pontos de vista de segurança, de ergonomia, de fabricação, de montagem, de utilização e de despesas. O reconhecimento de falhas é de grande importância neste passo.

Avaliação técnica e econômica, agora voltadas para a composição do produto total, também são aplicadas.

O resultado esperado deste passo é uma representação da configuração final, um projeto global que contenha todas as configurações parciais já definidas para a realização do produto, devidamente compatibilizadas com a necessidade imposta pela existência de eventuais funções secundárias. Exige-se representação formal para todos os desenhos, com listas provisórias de peças e recomendações genéricas de fabricação e de montagem.

FASE IV: PROJETO DETALHADO.

O projeto detalhado é a fase do trabalho que completa o projeto preliminar de um objeto técnico, fornecendo determinações definitivas para disposição de elementos, para forma, para medidas, para acabamento de superfícies e para todos os detalhes, especificando materiais, reexaminando possibilidades e custos de fabricação. Aqui, são elaborados os documentos definitivos para a realização física da alternativa de solução selecionada.

Passo 7: fixação das informações de execução e de uso.

O passo sete parte do projeto preliminar e elabora instruções para fabricação e para utilização do produto. Este passo de trabalho se superpõe ao anterior, na medida em que lá foram feitas determinações importantes para a utilização de técnicas de fabricação e para a definição das necessidades do produto.

Aqui, busca-se:

- detalhar e definir peças isoladas, fazendo os respectivos desenhos;
- integrar as partes pela elaboração de desenhos de grupos de peças, de desenhos do todo e listas de peças;
- aplicar normas de fabricação, montagem, transporte e utilização;
- preparar todos os documentos de fabricação, com vistas à aplicabilidade das normas; garantir que os documentos sejam exatos e completos.

O projeto detalhado, no entanto, não consiste apenas em desenhar peças isoladas: é necessário também buscar a compatibilização do projeto em estudo com a utilização do que já existe na

empresa, minimizar custos, verificar a possibilidade de utilizar peças normalmente encontráveis no mercado e peças já fabricadas na empresa.

Portanto, o resultado esperado deste passo é a documentação do produto, com indicação de utilização, por exemplo, em forma de desenhos de partes, listas de peças, instruções para fixação, montagem, testes, embalagem e transporte, instruções de uso ou manual do usuário.

2.4 - Conclusão.

Conforme a descrição da VDI 2221 (1987), a sistematização do desenvolvimento de produtos industriais se faz com a aplicação ordenada desses sete passos de trabalho. Dessa forma, pode-se afirmar que:

- poderão ser obtidos e examinados mais encadeamentos de soluções parciais do que se não fosse empregada essa sistematização;
- poderão ser analisadas cada vez mais variantes de soluções,
- e recair-se-á em mais modelos e protótipos para prova, do que se não houvesse essa sistematização do estudo.

Deve-se ressaltar que passos de escolha, de otimização e de decisão precisarão ser realizados em todas as etapas de trabalho. Em etapas avançadas do projeto, passos de trabalho não poderão ser separados de passos de decisão.

Além disso, também é importante lembrar que esses sete passos de trabalho, conforme a complexidade do problema, deverão ser subdivididos em outros passos de trabalho (veja-se o passo 4, por exemplo).

Uma importante constatação se verifica, na prática: os passos de trabalho não se seguem, rígidos, conforme os descreve a teoria. Pelo contrário, eles ocorrem através de retroação ao passo anterior, em percurso iterativo, em passo-a-passo para se alcançar a viabilização técnica do produto em desenvolvimento.

Um modelo sistematizado para o desenvolvimento de produtos, como esse apresentado, deverá conduzir o projetista mais rápida e diretamente a soluções possíveis. Já que o projeto tem um efeito crucial no valor técnico e econômico do produto (BACK, 1983), o projetista precisa sempre contar com modelo confiável para realizar seu trabalho. Para isso, ele é ensinado a utilizar todos os recursos especiais subjacentes ao procedimento e ao pensamento sistemático. Nesse sentido, a metodologia de desenvolvimento apresentada é, talvez, o mais importante desses recursos.

No entanto, de todas as etapas e passos do processo de desenvolvimento do projeto do produto, pode-se afirmar que a fase de concepção é a que apresenta menor base material para trabalho, porque:

- de um lado, as informações necessárias a essa atividade do projetista se encontram dispersas por extensa bibliografia, quando não estão, na sua maior parte, concentradas no conhecimento adquirido por profissionais que têm longa vivência nessa atividade;
- de outro lado, é quase sempre inevitável aplicarem-se métodos de criatividade na procura de princípios de solução para realizar as funções parciais, e não são poucos os projetistas que se queixam de sua limitação pessoal, nesse campo tão abstrato (DALKEY & HELMER, 1963).

Justifica-se, portanto, o esforço empregado para desenvolver um sistema computacional que forneça ao projetista um instrumento adicional de trabalho, e que lhe sirva de auxílio na fase de concepção do produto. Entretanto, antes de se abordar esse sistema computacional, é conveniente apresentarem-se os métodos convencionais mais utilizados para a concepção do produto. Isso será feito a seguir.

CAPÍTULO 3: A SISTEMATIZAÇÃO DA CONCEPÇÃO DO PRODUTO.

3.1 - Aspectos gerais.

O objetivo de um produto é atender a certa necessidade posta pelo mercado, necessidade esta sujeita a restrições a que o produto deverá se submeter. Para se chegar a esse produto, é preciso obter-se um projeto que, em geral, resulta da aplicação de um processo iterativo.

Conforme KOLLER (1989), o processo de projeto busca desenvolver um produto para satisfazer a finalidade desejada, considerando-se as exigências existentes. Assim, parte-se da formulação da tarefa e, levando-se em consideração os requisitos previamente estabelecidos, progressivamente procura-se encontrar maneiras satisfatórias de o produto cumprir seu objetivo específico.

Uma Metodologia Geral para orientar o processo de projeto de produtos industriais foi apresentada no capítulo anterior. Na segunda fase dessa Metodologia Geral, chamada concepção, procura-se idealizar a solução para o produto estudado, com vistas à concretização da função técnica desejada.

Na etapa da concepção, são procuradas alternativas para realizar a tarefa estabelecida inicialmente. Parte-se do concreto - a tarefa a ser realizada -, passa-se pelo abstrato - a divisão da tarefa em subtarefas e em subfunções, para a pesquisa de soluções parciais -, e volta-se novamente ao concreto, quando são geradas soluções que viabilizam adequadamente a realização daquela tarefa.

A concepção do produto exige do projetista grande capacidade de abstração e de síntese. Há necessidade de se contar

com seu conhecimento acumulado, obtido através do estudo em escolas ou através de sua experiência pessoal. Esse profissional, utilizando técnicas de criatividade como as já citadas ("brainstorming", sinergia, analogia, empatia, método morfológico e outras), procura encontrar alternativas que realizem as funções técnicas em que está interessado.

Durante a concepção, o projetista estará utilizando toda a diversificação e capacidade intelectual que possui. Por isso, a sistematização da busca de concepções para concretizar o produto, através de procedimento adequado, é desejável e necessária.

Para sistematizar a fase da concepção, há metodologias já conhecidas e testadas, como a de KOLLER (1985), ROTH (1982) e a de PAHL & BEITZ (1988), além das de outros autores. Nas próximas seções, pretende-se discutir algumas dessas metodologias e comentar aspectos de sua utilização. Faz-se, também, uma proposição de sistematização para realizar a Concepção com auxílio de computador.

3.2 - A fase da Concepção.

Depois de se definir cuidadosamente a tarefa a ser enfrentada pelo projetista de produtos, a elaboração minuciosa de uma Lista de Requisitos formaliza as expectativas relacionadas com o Projeto em curso.

A sistematização da fase de Concepção se inicia, então, a partir de uma abstração, que é necessária para se identificarem os aspectos essenciais do problema enfocado. Com a abstração, espera-se objetivamente extrair esses aspectos essenciais dentre o provavelmente volumoso conjunto de informações até aqui reunido,

além de manter a mente do projetista distanciada de soluções concretas previamente conhecidas. Em outras palavras, deseja-se que sua mente permaneça aberta à possibilidade de encontrar soluções novas, dissociadas de mecanismos ou dispositivos tradicionais e já conhecidos.

3.3 - A abstração.

RODENACKER (1987) afirma que "abstrair" é um processo de raciocínio que exclui de algo observado ou imaginado os aspectos de pouca importância, para simplificar a visão sobre o problema e tornar possível encontrar solução para esse problema. As informações recebidas através dos órgãos do sentido são trabalhadas pela abstração do projetista até ele chegar a um "reconhecimento" dessas informações e conseguir processar esse reconhecimento de modo lógico e ordenado.

A partir de experiências práticas realizadas sobre o ato de se projetarem sistemas técnicos, envolvendo pessoas sem conhecimento específico de metodologia do projeto, EHRENSPIEL (1987) observou que a atividade do projeto ocorre no "interior" do projetista, em forma de um processo recursivo e/ou iterativo. Esse autor concluiu que o ato de projetar exige conhecimento e experiência em duas áreas distintas: 1) o conhecimento acerca das soluções técnicas, advindo das ciências da Engenharia (que contém informações sobre materiais, processos de fabricação de máquinas e de equipamentos de medição e de normatização, elementos de união, assim como informações sobre funções, procedimentos físicos, etc.). A aquisição do conhecimento é feita consciente e ordenadamente, parcialmente durante a sua formação técnica e parcialmente pela prática ad-

quirida; 2) o conhecimento do processo do projeto, que responde à pergunta: "como proceder?". Este processo se desenvolve na mente do projetista e, portanto, é individual. Sua capacidade de abstração para a formação e utilização de modelos mentais, assim como sua capacidade de associação, são elementos importantes para o trabalho de projeto.

Segundo ainda o autor, a passagem para o abstrato é necessária devido à capacidade relativamente limitada de elaboração do cérebro humano, quando se trata da procura de fatores "parecidos" (ou semelhantes) em outro nível. Em contraposição a essa limitação, chama a atenção para a ênfase dedicada à abstração inerente às metodologias usuais do projeto: soluções concretas já conhecidas podem ser analisadas criticamente e abstraídas, se forem consideradas desfavoráveis ou insatisfatórias. A abstração é ótimo meio para se chegar a raciocínios novos, em direção à solução almejada. A pessoa se desprende do concreto, por assim dizer, do "chão", e sobe para uma visão "do alto", posição na qual se descobrem outras possibilidades de solução (e provavelmente também novas formulações para o problema).

Utilizando outras palavras, PAHL & BEITZ (1988) concordam com EHRENSPIEL (1987) ao falarem de abstração como sendo o início de uma generalização. Afirmam que, para a abstração, é preciso desligar-se de tudo o que seja individual e ocasional, para formular os problemas em forma de solução neutra, isto é, solução sem qualquer comprometimento com soluções previamente já conhecidas. Para esclarecer a formulação da tarefa, o problema deverá ser apresentado sob forma de sentenças de função. Em apoio a essa idéia, ROTH (1982) elaborou uma tabela com 220 verbos técnicos: são

verbos que podem ser utilizados para descrever funções técnicas. Esses verbos podem ser vinculados a diferentes níveis de abstração. Estão relacionados no Anexo 3.

Desse modo, o problema da abstração, quando ligado ao projeto de produtos, consiste em determinar o cerne de uma tarefa e, assim, identificar o princípio básico que possa realizar essa tarefa.

3.4 - A concepção, segundo diversos autores.

A partir da abstração do problema colocado, começa a fase a que EHRENSPIEL (1987) chamou de "recursiva": repete-se o raciocínio inicial em outro nível do problema, ou seja, procuram-se soluções por meio de subdivisão de funções parciais. Como resultante da interconexão entre muitos processos parciais, procura-se chegar à solução do problema global. Esses processos parciais são descritos, a seguir, conforme pontos de vista de autores diversos.

3.4.1 - A concepção, segundo PAHL & BEITZ (1988).

Uma abordagem mais completa da metodologia existente para a fase de concepção do produto é apresentada por PAHL & BEITZ (1988). Para eles, essa fase é subdividida em vários passos a serem percorridos, para garantir a elaboração de uma boa concepção e evitar deficiências graves na mesma (Fig. 3-1).

Segundo os autores, o ponto de partida desta fase é a lista de requisitos já elaborada, e a autorização (ou liberação) para se iniciar a fase de concepção. A liberação é decidida se for considerado suficiente o nível de informação já alcançado a respeito da tarefa, das despesas pertinentes e da utilização ou não de soluções existentes. Os passos estão resumidos a seguir.

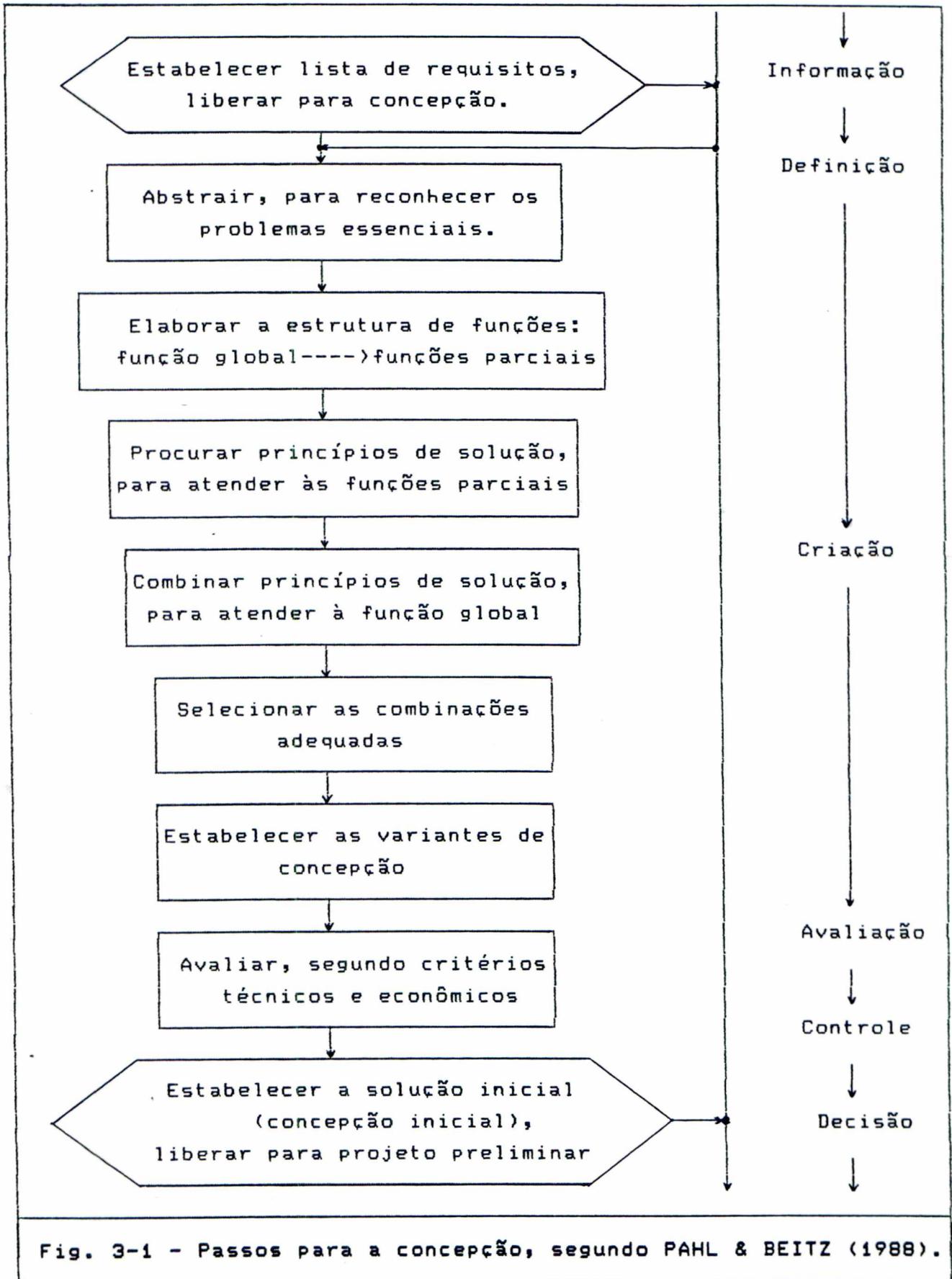


Fig. 3-1 - Passos para a concepção, segundo PAHL & BEITZ (1988).

1º passo: abstração e formulação do problema.

Aqui, o projetista é estimulado a libertar-se de noções convencionais e de idéias pré-concebidas, ressaltando-se o aspecto genérico e essencial em lugar do particular, conduzindo o projetista ao cerne da tarefa. Com isso, a função global e as condições restritivas iniciais ficam evidenciadas. O resultado deste passo é a definição dos objetivos em nível abstrato, sem se fixar qualquer tipo de solução.

2º passo: estabelecimento de estruturas de funções.

O segundo passo consiste em estabelecer a estrutura de funções a serem realizadas pelo sistema técnico.

Com a abstração, a tarefa global já terá sido formulada em seu cerne. Assim, a função global pode ser definida. Essa função global, que relaciona as grandezas de entrada com as de saída, simboliza a transformação de energia, de matéria e de sinal, e é representada por diagrama de blocos. A função global pode ser subdividida em funções parciais, menos complexas e mais bem controláveis (veja Fig. 2-4). A interligação das diversas funções parciais resulta na estrutura de funções que representa novamente a função total.

3º passo: procura de princípios de solução para realizar as funções parciais.

É necessário encontrar princípios de solução para as funções parciais, de tal forma que os princípios possam ser interligados entre si, resultando em uma combinação de princípios. Cada princípio de solução estabelece a maneira pela qual algum efeito

(físico, químico ou biológico) poderá ser aplicado e, eventualmente, estabelece também um esboço da configuração (relação entre peças, dispositivos ou mecanismos) necessária para a realização de uma dada função.

O princípio de solução idealizado para cada função parcial deve ser compatibilizado com as funções parciais vizinhas, sem perder de vista a estrutura global de funções.

Devem ser documentadas todas as idealizações de princípios de solução, ligações entre eles e suas descrições, para permitir posterior revisão das idéias desenvolvidas neste passo e, eventualmente, o aprimoramento dessas idéias.

4º passo: combinação de princípios de solução para realizar a função total.

O passo precedente produz solução (ou soluções) para cada função parcial. Para realizar a função total, no entanto, é necessário selecionar, para as funções parciais, princípios de solução que sejam compatíveis entre si, obtendo-se alguma combinação exequível de princípios. Essa associação de princípios deve ser orientada pela estrutura de funções, onde estão representadas as seqüências e as ligações das funções parciais. O problema principal, em passos de combinação, reside no reconhecimento da compatibilidade física entre os princípios de solução associáveis: deseje-se que ocorra um fluxo de energia, de matéria e/ou de sinal sem perturbações e sem interferências geométricas.

Um problema adicional consiste na seleção das melhores soluções, sob os pontos de vista técnico e econômico, dentre o conjunto de soluções teoricamente possíveis.

5º passo: seleção de combinações adequadas.

Soluções teoricamente possíveis, mas não realizáveis na prática, devem ser eliminadas assim que forem identificadas como tal. É importante que o projetista se mantenha atento para não eliminar princípios de solução promissores. PAHL & BEITZ (1988) propõem um procedimento de seleção ordenado e reproduzível, para que a seleção dentre uma série de soluções propostas se torne mais fácil e mais segura. Desse modo, a seqüência na metodologia de desenvolvimento do produto só ocorrerá para as variantes de solução selecionadas. Esse procedimento de seleção, portanto, reduz o trabalho, pode ser documentado e dá boa visão sobre as propostas de solução e sobre a importância de cada uma em relação às outras.

6º passo: definição de variantes de concepção.

Em geral, as noções iniciais de uma concepção de solução são pouco concretas, tornando difícil e subjetiva a decisão de escolher concepções adequadas para serem levadas à fase seguinte do projeto do produto. Por isso, é necessário obterem-se mais informações sobre as combinações de princípios que parecem promissoras. Com essas informações adicionais, outras alternativas de concepção poderão ser geradas, obtendo-se então maior quantidade de soluções para o projeto em estudo.

Em seguida, todas as soluções já encontradas são submetidas a processo de avaliação.

7º passo: avaliação das alternativas de concepção.

Com uma avaliação, tenciona-se determinar o "valor" ou "os pontos fortes" de uma solução, tendo em vista os objetivos

previamente definidos. Uma avaliação envolve comparação entre alternativas de concepção ou, no caso de comparação com uma solução ideal imaginária, a explicitação do grau de aproximação com aquele ideal.

Um método de avaliação deve ser abrangente, capaz de considerar claramente um grande número de critérios, tanto qualitativos quanto quantitativos. Além disso, é requerido que as despesas da avaliação sejam baixas, e que o procedimento seja transparente e reproduzível. É importante, ainda, que os característicos (veja Fig. 4-3) utilizados para avaliar as alternativas de solução evidenciem aspectos técnicos e econômicos, de modo que os resultados encontrados apresentem segurança aceitável. Um procedimento básico de avaliação é mostrado na Fig. 3-2.

Além da abordagem metodizada da fase de concepção do produto proposta pelos autores aqui comentados, há outras abordagens de eficácia comprovada, conforme é relatado a seguir.

3.4.2 - O método da variação dos efeitos.

O método da variação dos efeitos, com funções parciais conhecidas (ROTH, 1982; SELL & FIOD, 1989), pode ser útil quando já existem produtos cujas soluções de projeto tenham alguma relação com a tarefa a ser solucionada.

Nesse método, as reflexões para o desenvolvimento do novo produto partem de uma solução já existente, que consiga realizar a função desejada no todo ou em parte. Decompõe-se a tarefa global do produto conhecido em tarefas parciais, com o objetivo de conhecer o princípio de solução utilizado para realizar cada uma de suas funções parciais. Procura-se isolar a peça (ou conjunto de peças) que executa cada tarefa. É possível identificar, assim, o

Passo 1: identificar os objetivos e/ou critérios de avaliação a serem usados para a apreciação das variantes de solução, com a aplicação da lista de requisitos (obtida no 1º passo, seção 2.3) e da lista de características (veja Fig. 4-3);

Passo 2: analisar os critérios de avaliação, com respeito à sua contribuição para o valor total da solução. Se houver necessidade, fixar pesos para a ponderação;

Passo 3: listar as grandezas das variantes que são pertinentes para cada solução;

Passo 4: apreciar as grandezas das variáveis, segundo uma escala definida (de 0 a 10, por exemplo);

Passo 5: determinar o valor global das soluções analisadas, em geral tendo como referencial o valor de uma solução ideal;

Passo 6: comparar as variantes de solução;

Passo 7: estimar as incertezas da apreciação;

Passo 8: procurar identificar e eliminar pontos fracos, para melhorar as variantes selecionadas.

Fig. 3-2 - Passos para a avaliação de variantes de concepção, segundo PAHL & BEITZ (1988).

efeito físico, químico ou biológico adotado na solução conhecida. O método conduz, assim, à gradativa **abstração** do projetista em relação ao produto que está desenvolvendo.

A partir da identificação do efeito que realiza a função parcial conhecida, procuram-se outros efeitos que também consigam realizar a função. Esse ato representa a **variação do efeito conhecido**, na busca de outros efeitos para realizar a função.

Para se conseguirem esses outros efeitos, podem ser utilizados catálogos (KOLLER, 1985; ROTH, 1982), pesquisa bibliográfica, consulta a especialistas no assunto ou aplicar qualquer método conhecido de busca de idéias (veja Seção 2.3, 3º passo).

Devido à variação dos efeitos, da aplicação deste método devem resultar outras alternativas de solução para realizar cada função parcial do produto em estudo. A combinação sistemática dessas alternativas resultará na síntese de soluções diversas para a função global. Cada resultado assim obtido será uma concepção de solução se puder realizar as funções parciais e demonstrar compatibilidade entre as funções/soluções parciais e a estrutura global de funções do produto a ser desenvolvido.

3.4.3 - Métodos para encontrar soluções com auxílio de estruturas de funções genéricas.

Para se encontrarem as soluções mais genéricas e completas possíveis, é vantajoso trabalhar com funções parciais na sua forma abstrata e, assim, elaborar as correspondentes estruturas de funções. Para isso, há dois métodos principais (KOLLER, 1985; ROTH, 1982), cujos fundamentos serão resumidos a seguir.

Ambos os métodos têm em comum a fixação de operações padronizadas e definidas conforme o seu conteúdo, através das quais os sistemas técnicos podem ser descritos. Essas operações foram idealizadas partindo-se da hipótese de que em máquinas, equipamentos e aparelhos só podem existir fluxos de energia, de matéria e de sinal (veja Fig. 2-7).

O objetivo da padronização é poder definir algoritmos e cálculos com essas funções parciais, como, por exemplo, uma

"álgebra de conceitos" (conforme Koller), ou "operações de variações" (conforme Roth), e deixar preparadas as bases para a listagem de um sistema genérico de catálogos para projetar sistemas técnicos. A metodologia para construção desses catálogos está exposta na VDI 2222, parte 2 (1982).

3.4.3.1 - Método proposto por K. H. ROTH (1982).

O método da estrutura de funções genéricas define como sendo **funções genéricas** aquelas funções que são representadas através das **grandezas genéricas** matéria, energia e sinal, e das **operações genéricas** de conduzir, armazenar, mudar, unir - como, por exemplo, **conduzir energia ou unir matéria e sinal** (ROTH, 1982).

A Figura 3-3 contém as funções genéricas criadas pelo autor citado, seus símbolos de ligação e exemplos. X e Y significam, nas definições, alguma das três grandezas genéricas (matéria, energia ou sinal). Se em uma mesma definição aparecerem X e Y, estarão significando grandezas genéricas diferentes.

O procedimento para se utilizar o método da estrutura de função genérica pode ser considerado semelhante ao método geral para se projetarem produtos industriais, conforme descrito na Seção 2.2, até a obtenção da Lista de Requisitos (passo 1, Fig. 2-5), inclusive.

A partir de então, na fase de concepção, o método proposto por Roth adquire características particulares até se chegar à obtenção de princípios de solução para tarefas parciais, quando retorna para a metodologia geral.

Antes de resumir o método de Roth, é importante ressaltar um dos seus aspectos mais relevantes: permite a aplicação de tabelas prontas de princípios de solução, montadas genericamente e

Operações genéricas		Unir	
Nome	Operação	Grandezas genéricas iguais	
		Aditivas	Distributiva
Grandezas genéricas	Transformar	Mudança de forma de apresentação de energia, matéria ou sinal; lugar, momento e forma de apresentação permanecem constantes.	Mudança de forma de apresentação de energia, matéria ou sinal; lugar, momento e forma de apresentação permanecem constantes.
	Armazenar	Constância de quantidade de energia, matéria ou sinal X, em determinado tempo. Muda o momento.	Mudança de quantidade de energia, matéria ou sinal; lugar, momento e forma de apresentação permanecem constantes.
Matéria	Conduzir	Mudança de lugar de uma quantidade de energia, matéria ou sinal X; momento e forma de apresentação permanecem constantes.	Mudança de quantidade de energia, matéria ou sinal; lugar, momento e forma de apresentação permanecem constantes.
	Armazenar	Constância de quantidade de energia, matéria ou sinal X, em determinado tempo. Muda o momento.	Mudança de quantidade de energia, matéria ou sinal; lugar, momento e forma de apresentação permanecem constantes.
Energia	Conduzir	Mudança de lugar de uma quantidade de energia, matéria ou sinal X; momento e forma de apresentação permanecem constantes.	Mudança de quantidade de energia, matéria ou sinal; lugar, momento e forma de apresentação permanecem constantes.
	Armazenar	Constância de quantidade de energia, matéria ou sinal X, em determinado tempo. Muda o momento.	Mudança de quantidade de energia, matéria ou sinal; lugar, momento e forma de apresentação permanecem constantes.
Sinal	Conduzir	Mudança de lugar de uma quantidade de energia, matéria ou sinal X; momento e forma de apresentação permanecem constantes.	Mudança de quantidade de energia, matéria ou sinal; lugar, momento e forma de apresentação permanecem constantes.
	Armazenar	Constância de quantidade de energia, matéria ou sinal X, em determinado tempo. Muda o momento.	Mudança de quantidade de energia, matéria ou sinal; lugar, momento e forma de apresentação permanecem constantes.

Fig. 3-3 - Funções definidas com grandezas genéricas (matéria, energia, sinal) - definições, símbolos de ligação e exemplos (Fonte: ROTH, 1982).

catalogadas para utilização durante a fase de concepção. Este aspecto poderá facilitar a futura adoção de sistema especialista como auxiliar de projeto do produto.

Para se utilizar o método da função genérica de Roth, a partir da Lista de Requisitos têm-se os seguintes passos:

- formular sentenças genéricas a partir de dados advindos da lista de requisitos;
- com abstração, explicitar as tarefas contidas nessas sentenças;
- desenvolver a estrutura de funções genéricas;
- fazer variar a estrutura;
- escolher as variantes adequadas da estrutura; - pesquisar princípios de solução para os elementos ou grupos de elementos da estrutura de funções genéricas;
- estudar a compatibilidade entre os princípios de solução encontrados e as funções parciais vizinhas, observada a estrutura total de função genérica;
- avaliar técnica e economicamente a solução - ou soluções - obtida;
- dar seqüência à aplicação da metodologia geral para projeto do produto (passo 4, Fig. 2-5).

Exemplo de aplicação (ROTH, 1982).

Para a elucidação de cada passo deste procedimento, a seguir serão formuladas sentenças a partir de uma lista de requisitos (apresentada na Fig. 3-4), para projetar uma "trava automática para cintos de segurança". Na Fig. 3-5, mostra-se a abstração

dessas sentenças para compor funções genéricas e desenvolver estru-

Núm.	Sentenças
1	Durante o estado normal de condução do veículo, o usuário do mesmo deverá poder mover-se com liberdade. Se acontecer um acidente, ele deverá ser impedido, através do cinto de segurança, de ter movimentos violentos demais em relação ao veículo (há o perigo de impacto, e a sua energia cinética deverá ser cedida a um consumidor inofensivo de energia).
2	Um acidente deve ser detectado automaticamente. Para tanto, o valor limite permitido para o retardamento ou para a aceleração deve ser armazenado para comparação com o valor real.
3	A desaceleração que aparecer deve ser medida.
4	As energias cinéticas do condutor e do veículo devem ser transformadas em energia de deformação.
<p>Fig. 3-4 - Resumo das exigências de projeto, expressas em forma de sentenças (Fonte: ROTH, 1982).</p>	

tura que utiliza essas funções.

A estrutura de funções genéricas, assim obtida, poderá ser variada sistematicamente através de operações que geram variantes, ilustradas na Fig. 3-6.

Utilizando essas operações geradoras de variantes, a partir da variante 1 (Fig. 3-7) resultam as variantes 2 e 3 (Fig. 3-7). Da variante 3, podem ser deduzidas - através da operação 4 - mais duas variantes.

O exemplo de realização citado mostra que novas soluções podem ser forjadas por meio de variação das estruturas de função. Evidentemente, nem todas as variações obtidas correspondem a soluções reais; por isso, é sempre conveniente atentar para a exeqüibilidade dessas novas soluções.

Devem ser eliminadas aquelas variantes onde falta qualquer item arrolado na Lista de Requisitos do projeto. Desse mo-

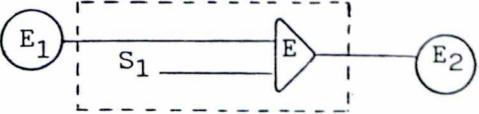
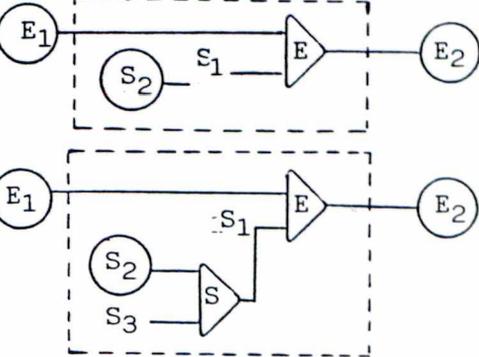
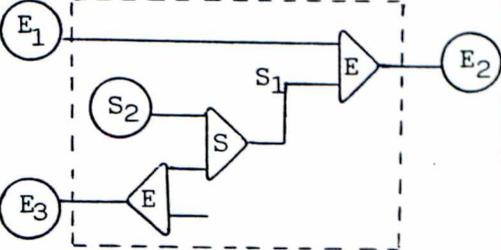
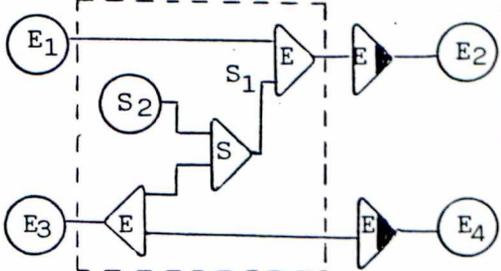
Sentença número	Abstração sobre as funções genéricas	Desenvolvimento do mecanismo da estrutura de função genérica
1	Acoplamento da energia cinética acumulada no homem, em caso de acidente, com o consumidor de energia (o cinto de segurança): "Unir energia E_1 com sinal S_1 ".	
2	Acumular o valor limite permitido do retardamento ou da aceleração: "Acumular sinal S_2 ". Comparar o valor real que aparece com o valor limite do retardamento ou da aceleração: "Unir o sinal S_3 com o sinal S_2 , somando-os".	
3	Medir o retardamento ou aceleração do veículo: "Unir energia E_3 e sinal S_3 distributivamente".	
4	Transformar energia cinética em energia de deformação: "Transformar energia E_1 em E_2 e E_3 em E_4 ".	

Fig. 3-5 - A abstração de tarefas parciais e o desenvolvimento de estrutura de função expressa com grandezas genéricas (Fonte: ROTH, 1982).

Núm	Operações
1	Deslocar os limites do sistema;
2	Mudar a seqüência dos elementos da estrutura genérica de funções;
3	Decompor elementos individuais da estrutura genérica de funções em elementos diversos;
4	Juntar elementos diversos da estrutura genérica de funções em um só elemento;
5	Incluir transformadores e condutores (que são as outras "operações genéricas" mostradas na Fig. 3-3, e que até agora não foram utilizadas);
6	Trocar a posição de aplicação dos sinais;
7	Multiplicar as ramificações da estrutura genérica de funções, com estruturas em paralelo .

Fig. 3-6 - Operações para obtenção de variantes da estrutura genérica de funções (resultado parcial) (Fonte: ROTH, 1982).

do, são eliminadas as variantes 1, 2 e 5 (Fig. 3-7) por não atenderem ao requisito de que, por motivos de segurança, devem ser realizadas, no mínimo, medição e comparação do sistema. As variantes 3 e 4 podem continuar sendo examinadas.

Neste ponto, as variantes de solução obtidas devem ser avaliadas segundo critérios técnicos e econômicos previamente definidos. Portanto, a partir daqui o método de Roth estará recaindo no caso geral da metodologia para desenvolvimento de projetos, descrita na Seção 2.3.

Fig. 3-7 - Variantes da estrutura de função genérica e exemplos para sua aplicação (Fonte: ROTH, 1982).

Operações de variantes	Nenhuma alteração na estrutura de funções variantes	Mudança de lugar do recebimento de sinais		Junção de diversos elementos de estruturas de funções em um só elemento		
Estrutura de função genérica						
número	1	2	3	4	5	
Avaliação	Redundância	nenhuma	nenhuma	Sistema de medição, de comparação e de bloqueio	Sistema de medição e de comparação	Sistema de medição
	Custos	pequeno	pequeno	alto	mediano	razoável
Exemplos de realização, em relação às estruturas de funções geométricas						
Descrição da função	<p>A aceleração do veículo orienta a posição do pêndulo 1:</p> <p>Em caso de desengate suficientemente forte</p> <p>é bloqueado o tambor 2:</p>	<p>Aceleração do motorista em relação ao veículo leva a aceleração do cinto 1 para a aceleração do tambor do cinto.</p> <p>A roda de bloqueio 2 é movimentada axialmente devido à sua inércia:</p> <p>Em caso de ação de desengate suficientemente forte o tambor 4 será bloqueado:</p>	<p>Aceleração a do veículo de sengata o pêndulo 1. Em caso de giro do tambor, a roda de bloqueio 2 é acionada axialmente devido ao bloqueio através do pêndulo; a roda de bloqueio 3 é acionada axialmente devido à inércia:</p> <p>Em caso de desengate suficientemente forte o tambor será bloqueado através dos dentes de bloqueio 4 ou dos dentes de bloqueio exteriores 5:</p>	<p>A aceleração do veículo desengata a esfera 1:</p> <p>A roda de bloqueio 2 é movimentada axialmente através de um pino 3, quando o desengate da alavanca 4 ou a aceleração relativa do tambor 5 são suficientemente grandes:</p> <p>Então, acontece o bloqueio através dos dentes de bloqueio 6:</p>	<p>A aceleração a do veículo leva, pela esfera 1 e pelo cone 2, à movimentação axial para a aceleração do tambor, através de uma rosca devido à inércia da bucha do cone.</p> <p>Em caso de desengate suficientemente forte as tranquetas de bloqueio 3 se fixam nos dentes de bloqueio 4:</p>	

3.4.3.2 - Método proposto por R. KOLLER (1985).

Assim como o método de Roth, o "método de projeto orientado físico-algoritmicamente", proposto por KOLLER (1985), presta-se à utilização de catálogos de soluções previamente definidas e armazenadas e, portanto, admite também a utilização de computador para auxiliar a fase de concepção do projeto do produto.

Koller define doze **operações básicas** físicas interdisciplinares, com suas respectivas inversões.

Uma **operação básica** não tem definidas suas grandezas de entrada ou de saída. A definição dessas grandezas, nas operações básicas, deve ser deixada em aberto, tanto quanto a formulação do problema o permitir. Isso significa que, em uma estrutura de operações básicas, apenas são definidas as **operações** ou **ações** (transformar, agrupar, ampliar, etc.) e não o **quê** e/ou o **quanto** deve ser alterado (Fig. 3-8). As operações básicas(*) de Koller são mostradas

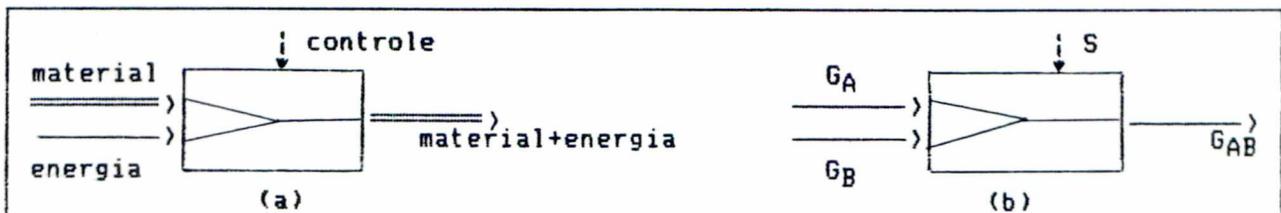
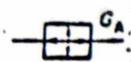
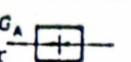
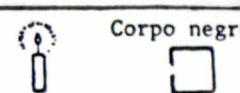
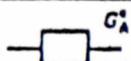
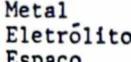
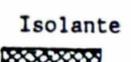
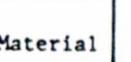
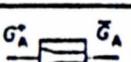
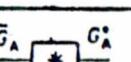
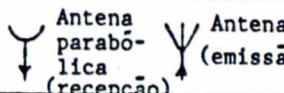
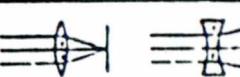
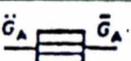
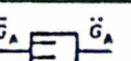
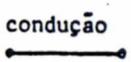
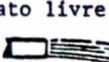
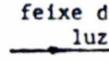
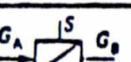
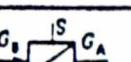
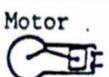
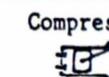
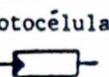
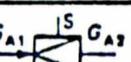
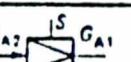
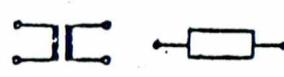
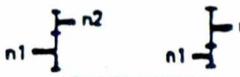
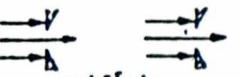
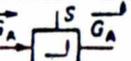
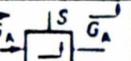
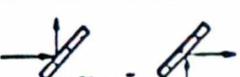
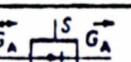
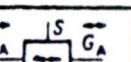
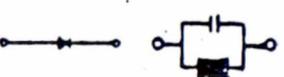
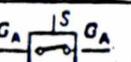
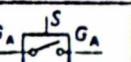
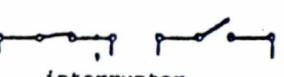
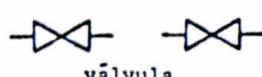
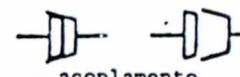
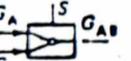
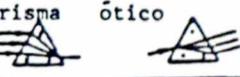
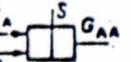
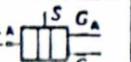
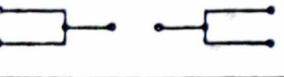
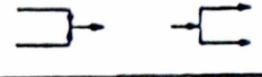
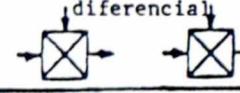
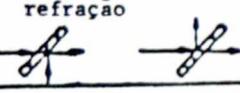
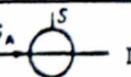
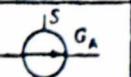
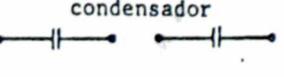
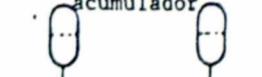
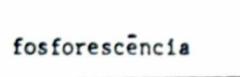


Fig. 3-8 - (a) Operação básica de se misturarem material e energia;
 (b) operação básica representando a ação - controlável pelo sinal S - de se misturarem duas grandezas genéricas quaisquer.

na Figura 3-9, inclusive com seus respectivos símbolos. Esses símbolos são contrapostos, nas diversas áreas de especialização, aos símbolos usuais de funções.

(*) **Operação básica** é uma abstração da função elementar. Para se chegar à operação básica, eliminam-se as denominações e/ou as quantificações concretas de entrada e de saída da função elementar. Consegue-se, dessa forma, uma generalização do problema.

Fig. 3-9 - Operações básicas, símbolos e exemplos aplicados em áreas diversas
(Fonte: KOLLER, 1985).

Operações básicas		Símbolos e exemplos de				
		Eletrotécnica	Hidráulica	Mecânica	Ótica	
1	Emitir (fonte)  Absorver (absorvedouro) 					
2	Transmitir  Isolar 	Metal  Eletrolito  Espaço 		Vedação 		Espaço  Material opaco 
3	Agrupar  Dispersar 		Funil  Borrifador 			
4	Guiar  Não guiar 	condução  Salto da centelha 	tubo  jato livre 	rótula  projétil 	fibra ótica  feixe de luz 	
5	Transformar  Retro-transformar 			Motor  Compressor 	Fotocélula  Arco voltaico 	
6	Ampliar  Reduzir 		Modificador de pressão  Venturi 			
7	Mudar direção  Mudar direção 					
8	Retificar  Oscilar 					
9	Ligar  Interromper 					
10	Misturar  Separar 	modulador  demodulador 				
11	Juntar  Dividir 					
12	Acumular  Desacumular 	condensador 	acumulador 			

Por outro lado, se as grandezas de entrada e de saída estiverem definidas, tem-se uma **função elementar**. Segundo definição do autor, **funções elementares** são as menores funções - significativamente já não mais divisíveis - que teoricamente podem ser realizadas através do uso de um efeito físico, químico ou biológico.

Tem-se, ainda, que, na maioria dos casos, funções parciais compõem-se de duas ou mais funções elementares. Muitas vezes, Koller se refere a funções parciais como agrupamento de sistemas técnicos já existentes (como caixa de câmbio, motor, etc.).

A aplicação do método de Koller, na busca de princípios de solução para sistemas técnicos, inicia-se após o estudo da tarefa e após a obtenção da lista de requisitos (passo 1 do procedimento geral para desenvolvimento e projeto de sistemas técnicos, Fig. 2-5). Para o estabelecimento de estruturas de operações básicas e para a síntese do sistema técnico, o autor propõe os seguintes passos de trabalho:

- formular a função total - desenvolvida em funções físicas, de álgebra ou de lógica -, a partir da descrição do objetivo de um sistema técnico, do estudo da tarefa e da lista de requisitos;
- desmembrar a função total em funções parciais ou em funções elementares conhecidas. Deseja-se compor uma estrutura de função através da união de funções parciais ou funções elementares, de modo que se realize o relacionamento causa-efeito do sistema total;
- realizar abstração sobre as funções elementares para se obterem as operações básicas e seus respectivos entre-

laçamentos lógicos, gerando as estruturas de operações básicas em correspondência à estrutura de funções elementares;

- fazer variar a estrutura de operações básicas;
- escolher as variantes adequadas da estrutura;
- pesquisar princípios de solução para as operações básicas ou para grupos de operações básicas, da estrutura total de operações básicas;
- estudar a compatibilidade dos princípios de solução encontrados, em relação às soluções das operações básicas vizinhas, observando-se a estrutura total de funções;
- avaliar a solução - ou soluções - obtida, sob os pontos de vista técnico e econômico;
- voltar a aplicar a metodologia geral para o projeto do produto (passo 4, Fig. 2-5).

Exemplo de aplicação: sistema de bombeamento (KOLLER, 1985).

É dada a tarefa de transportar um líquido de um lugar A para o lugar B. A vazão do fluido deve ser regulável continuamente. O sistema técnico a ser desenvolvido deve ter a possibilidade de ser ligado e desligado. Para limitar o número de soluções possíveis, informa-se que há energia elétrica disponível.

O objetivo do sistema técnico a ser desenvolvido é o de "transportar líquido". Como e por qual meio este objetivo poderá ser alcançado está totalmente em aberto, para ser definido pelo projeto.

A partir dos dados fornecidos na formulação da tarefa, pode-se deduzir que no sistema a ser desenvolvido existe uma

movimentação de líquido, que entra e sai do sistema. Haverá, pois, um sinal de entrada e de saída (sinal Q de controle de vazão) e um sinal (E/S) de energia. A função total correspondente está mostrada na Fig. 3-10.

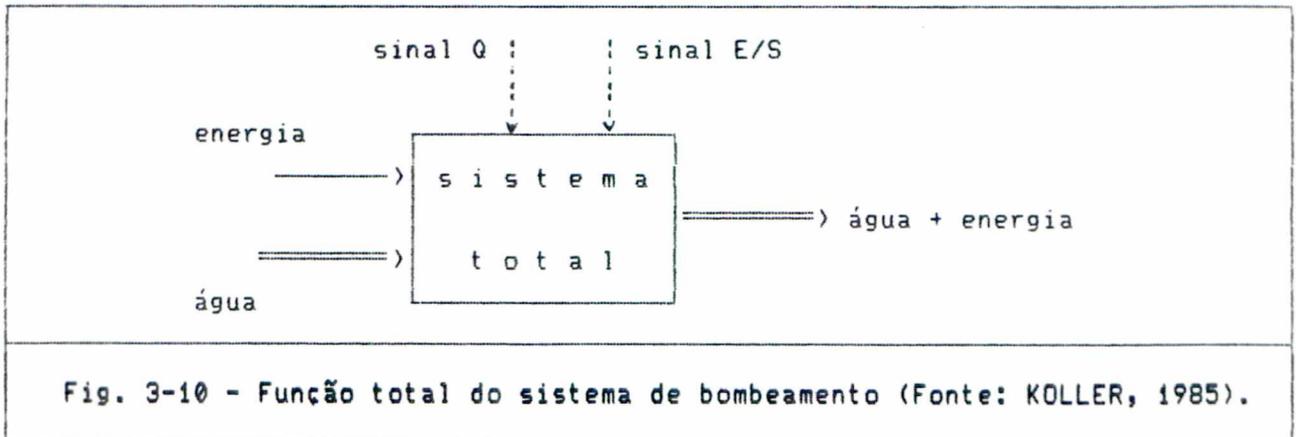


Fig. 3-10 - Função total do sistema de bombeamento (Fonte: KOLLER, 1985).

Essa função total poderá ser desmembrada em uma estrutura composta por funções parciais como bomba hidráulica, acionamento e controle, conforme Fig. 3-11.

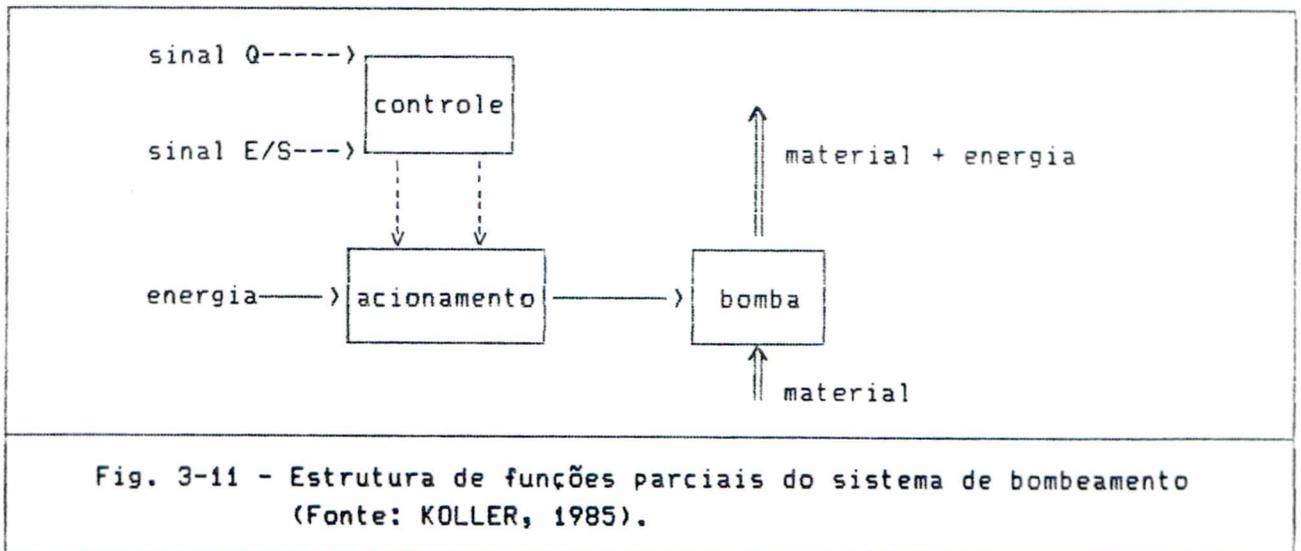
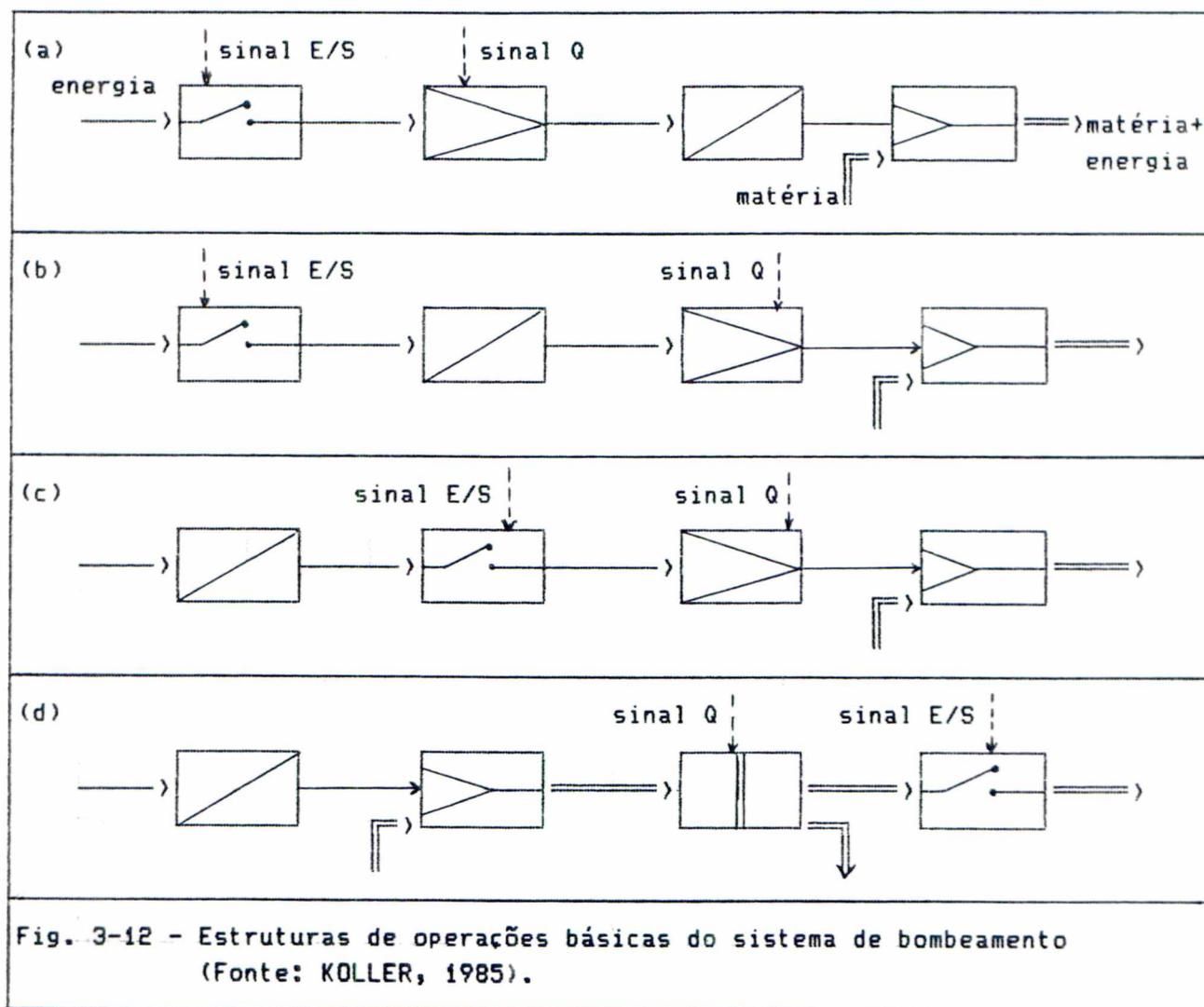


Fig. 3-11 - Estrutura de funções parciais do sistema de bombeamento (Fonte: KOLLER, 1985).

Poderá, também, ser desmembrada na estrutura de operações básicas mostrada na Fig. 3-12. Para isso, deve-se considerar

que, para colocar um líquido em movimento, é necessário misturar líquido com energia de movimento. Assim, tem-se a operação básica "misturar energia e matéria", colocada à direita na Fig. 3-12a.



Neste estado do desenvolvimento, ainda não se conhece a forma de energia necessária para a realização da operação "misturar", já que ela dependerá do efeito físico a ser escolhido posteriormente. Por isso, é necessária uma **adaptação** de energia, isto é, deve ser prevista uma "transformação de energia". Além disso, é exigido que o sistema possa ser ligado e desligado, e ainda que a quantidade a ser transportada seja regulável; por essa ra-

zão, seguem-se também as operações "ligar/interromper" e "reduzir", conforme Fig. 3-12a.

A seqüência das operações básicas da Fig. 3-12a, principalmente as operações de "ligar", "desligar", "reduzir" e "transformar", não precisa ser mantida: as operações podem ser intercambiadas. Outras possíveis combinações são mostradas na Fig. 3-12b e na Fig. 3-12c.

A operação "ligar/desligar" e o controle da quantidade a ser transportada também podem ser colocadas ao lado da matéria, ao invés da energia. A operação "reduzir", então, terá que ser substituída pela operação "dividir", já que não se pode diminuir a quantidade de matéria devido à lei da conservação da massa (Fig. 3-12d).

A esta espécie de estrutura de operações podem se agregar outras estruturas diferentes, obtidas por meio de trocas na seqüência de operações individuais.

Depois de ser selecionada a estrutura de operações básicas - ou estruturas, pois pode haver mais de uma - adequada para a realização da tarefa, a pesquisa de princípios de solução se inicia pela procura de efeitos que realizem cada uma das funções elementares correspondentes. Os diferentes efeitos que realizam cada função elementar podem ser catalogados e arquivados, visando à sua utilização futura.

Para cada efeito, em geral podem ser adotados diferentes materiais ou componentes que os realizem: são os **portadores de efeito**. O efeito e o portador de efeito estabelecem, em conjunto, uma solução básica.

Fazendo variar o portador de efeito (considerando-se

os três estados da matéria: sólido, líquido, gasoso, por exemplo), sistematicamente podem ser desenvolvidas soluções básicas distintas. "Evidentemente, existem efeitos para os quais os diferentes estados da matéria não apresentam significado: é o caso do **efeito alavanca**, por exemplo. Há outros efeitos em que somente dois estados da matéria têm significado: é o caso, por exemplo, do **efeito de sustentação** em perfis de sustentação, onde só se consideram os estados líquido e gasoso. No caso de molas (efeito Hooke), elas podem ser construídas com plástico, aço ou borracha" (KOLLER, 1985).

A partir da seleção do efeito e do portador de efeito, a solução básica estará definida qualitativamente. Para que esteja completa, isto é, para que esteja definida também quantitativamente, a solução básica deverá conter, ainda, as grandezas que entram, como parâmetros, na formulação matemática dos efeitos pertinentes. Seja, por exemplo, o caso em que se pretendesse projetar um sistema técnico para medir temperatura. Aplicando-se abstração ao problema, a variação de temperatura deverá ser transformada em uma grandeza mecânica, tal como força ou deslocamento. Para realizar essa operação básica - transformar variação de temperatura em força ou deslocamento -, há o efeito da dilatação térmica dos materiais. Determinado o efeito, resta escolher o portador do efeito. Aqui, podem ser adotados materiais sólidos ou líquidos.

Duas soluções básicas estão apresentadas na Fig. 3-13, onde os parâmetros para o estabelecimento das equações físicas devem referir-se às propriedades do material empregado (coeficiente de dilatação térmica, por exemplo) como portador de efeito.

O método proposto por Koller, portanto, produz dife-

rentes soluções básicas, na medida em que podem ser adotados diferentes efeitos e portadores de efeitos para realizar cada operação básica ou função elementar. Na definição de uma solução para o sistema técnico total, a compatibilização das soluções individuais pode ser estudada sistematicamente com o auxílio da **matriz morfológica** (veja Seção 2.3, passo 4).

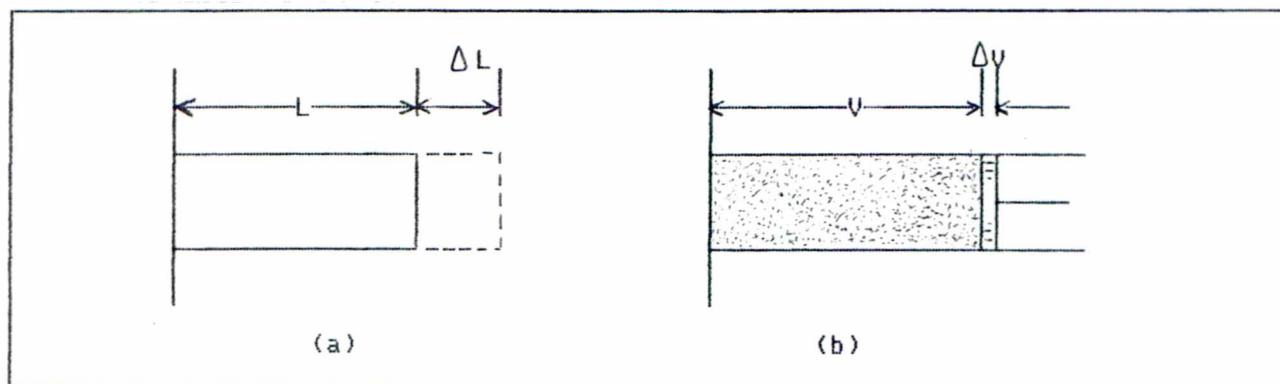


Fig. 3-13 - Princípios de solução para medir temperatura, com portador de efeito sólido (a) e líquido (b) (Fonte: KOLLER, 1985).

A solução - ou soluções - assim obtida deve ser avaliada segundo critérios técnicos e econômicos. Recai-se, portanto, no caso geral da metodologia para desenvolvimento de projetos de produtos industriais, resumida na Seção 2.3.

3.5 - A introdução do computador como auxílio para a fase de concepção: uma revisão bibliográfica.

Além de se obterem mais eficiência e velocidade com a sistematização do projeto, o processo de planejamento e desenvolvimento de produtos pode ser acelerado pela utilização de recursos computacionais, tais como sistemas CAD e CAD-CAM. Os softwares CAD e CAD-CAM hoje disponíveis prestam-se para diminuir o trabalho te-

dioso do projetista, nas últimas fases do processo do projeto, como, por exemplo, nos desenhos, nas especificações, na elaboração de listas de peças e de documentos de fabricação. No entanto, as fases anteriores do processo (as fases do Estudo da Tarefa e Concepção - veja Fig. 2-5) são, até agora, pouco assistidas por computador.

Nas fases iniciais do processo do projeto, as atividades são de natureza mais criativa, e se tornam mais rotineiras na medida em que se aproximam do estágio do projeto detalhado. O uso de computadores, por isso, tem sido mínimo na concepção do projeto, maior no projeto preliminar e muito mais freqüente nas atividades de rotina da fase do projeto detalhado.

Esta situação tende a se modificar, em face das pesquisas desenvolvidas nos últimos anos, incluindo a que está sendo relatada neste texto. O programa computacional descrito mais à frente é interativo com o usuário, e o auxilia a desenvolver a concepção de seu produto. Esse programa é utilizado para determinar a Lista de Requisitos, elaborar a estrutura de funções do produto, realizar a pesquisa de soluções, desenvolver variantes de concepção e selecionar a concepção final. O software utilizado para obter a concepção do produto com auxílio de computador está ilustrado na Fig. 4-2, cujas funções estão detalhadas nos capítulos 4 e 5 seguintes. Essas funções compreendem os primeiros quatro passos do processo do projeto descritas na Fig. 2-5, contidos nas Fases I, II e parte da Fase III.

Antes, porém, que as incursões pelos computadores trouxessem benefícios efetivos para o projetista de produtos industriais, em seus respectivos livros KOLLER (1985) e ROTH (1982) já anteviam o uso do computador na fase de concepção: recomendavam a

utilização de catálogos no auxílio à pesquisa de soluções para os elementos das estruturas de função. Além deles, outros autores se manifestaram explicitamente sobre o emprego de computador para a etapa da concepção.

A diretriz VDI 2221 (1987) apresenta metodologia para desenvolvimento e projeto de sistemas técnicos e de produtos. Nessa metodologia, há padronização das etapas do projeto desde a origem do produto - o que oferece possibilidades de automatização em computador para essas diversas etapas. Além disso, permite pensar-se em utilizar módulos padronizados para concepção de produtos ou quaisquer outras fases. Esses módulos tanto poderão estar baseados em resultados já obtidos pela aplicação de outros métodos de projeto, como poderão se basear em tabelas de função, efeitos e princípios de solução. A VDI 2221, no entanto, não menciona como adaptar sua teoria para torná-la aplicável em computadores.

Para EHRENSPIEL & FIGEL (1987), no que diz respeito à fase de concepção do produto, a tecnologia de Inteligência Artificial está longe da idéia real de inteligência artificial: o mercado oferece alguns "softwares" especiais (linguagens, ferramentas, "shells") e "hardwares" (por exemplo, máquinas LISP) que são adequados para resolver principalmente problemas qualitativos. No entanto, esses "hardwares" e "softwares" são usados em projetos onde há mais sistemas sendo desenvolvidos e testados do que realmente sendo utilizados: a maior ênfase, portanto, ainda está aplicada no desenvolvimento dos sistemas. Além disso, sistemas de diagnóstico e consulta estão mais fortemente representados no mercado do que sistemas de projeto e desenvolvimento (por exemplo, "softwares" de diagnóstico médico, como o MYCIN, ou "softwares" de consulta técni-

ca e financeira). No entanto, segundo ainda os autores, o desenvolvimento de sistemas especialistas, como linha mestra para o processo de projeto de produtos industriais, já começou.

Com vistas à utilização de computadores no projeto, ROTH (1986) fala sobre modelos de representação de produtos, os quais permitem representar qualidades específicas do produto em cada estágio do desenvolvimento do projeto, e que mostram as informações estritamente necessárias para o trabalho no segmento correspondente do projeto. Roth subdivide os modelos de representação de produtos em modelos verbais, modelos funcionais e modelos de configuração. **Modelos verbais** trabalham na fase da definição do problema, e culminam com a obtenção da lista de requisitos do projeto. Os **modelos funcionais** são simbólicos, representados por "caixas pretas" interligadas logicamente, e que transformam as entradas de grandezas genéricas (sinal, energia e material) em saídas desejadas. Os **modelos de configuração** atuam na fase do projeto preliminar (fase III, fig. 2-5), e são mostrados em esboços (croquis) e em desenhos representando duas ou três dimensões.

No mesmo artigo citado acima, Roth propõe o desenvolvimento de modelos de representação de produtos que estejam próximos da idéia central do projetista e, simultaneamente, sejam tão inequívocos que o seu conteúdo - restrito às informações essenciais - poderá ser formulado para interpretação do computador. Assim, esses modelos podem ser repassados ao computador através de dados que definem o produto. O autor enumera, ainda, as condições a que o modelo de representação deverá atender, para que possa ser utilizado em procedimento computadorizado de projeto do produto.

No capítulo 10 de seu livro, PAHL & BEITZ (1986)

propõem uma seqüência possível de passos para a elaboração de projeto de "software" CAD, com vistas à prática de projetos de produtos. O "software" é encarado como um **produto**, e por isso as etapas para sua elaboração são baseadas na metodologia de projeto de produtos industriais. Os autores entendem que a utilização de um procedimento automatizado para projeto de produtos trará benefícios relativos à abrangência do processo, na medida em que os bancos de dados do programa podem ser continuamente enriquecidos com maiores quantidades de informações. Haverá, também, maior velocidade no cruzamento das informações relevantes para o projeto do produto e estará garantida a verificação sistemática das variadas opções e combinações possíveis. No entanto, entendem que poderá haver limitação — entre outros aspectos — a que o computador tome decisões entre os resultados obtidos na fase de concepção, gerados pelo próprio "software" (a partir de sua base de dados). Esta dificuldade poderá, talvez, ser enfrentada a partir do estabelecimento de diálogos entre o usuário e o "software", ou com a prévia programação de mecanismos de ponderação, para possibilitar a escolha automática entre alternativas viáveis.

BEITZ (1987) apresenta um sistema computacional "contínuo e flexível" (sic) para integrar o processo de projeto do produto ao planejamento e controle de operações e de métodos de trabalho. O sistema computacional é elaborado segundo a metodologia de processo de projetos exposta na VDI 2221 (1987). A integração desejada é executada com algumas atividades sendo realizadas fora do programa, isto é, cabe ao usuário, entre outras tarefas, definir princípios de solução e estruturas de trabalho exequíveis pelo produto em projeto. Desse modo, após ter formulado a concepção inicial

do produto, o usuário realimenta o computador com esse dado para dar seqüência às atividades do sistema CAD exposto pelo autor. Para fazer funcionar o processo integrado de projeto assistido por computador, há sugestão de que o projetista chefe, especialistas em projetos e projetistas assistentes, oriundos de vários departamentos, trabalhem juntos. Há reconhecimento de que, em alguns casos, sistemas peritos podem assumir o lugar de especialistas. Como a elaboração de um sistema integrado de administração de projeto provavelmente irá requerer uma enorme quantidade de trabalho, BEITZ recomenda que se elabore primeiro a estrutura do sistema total e se desenvolvam passo-a-passo módulos de programa.

BAUERT (1988) descreve um sistema apoiado por computador para concepção de elementos de máquinas. O autor relata as influências da geometria do produto, da tecnologia do produto e dos conhecimentos exigidos em sua fabricação, para se chegar à modelação de qualidades do produto. O sistema mencionado reúne módulos previamente programados (são citados, por exemplo, o sistema CAD chamado EUCLID, desenvolvido industrialmente pela Matra Datavision, sediada em München, e o sistema DAKOTA - sistema geral de administração de dados de projeto de sistemas técnicos, elaborado por W. Beitz & E. Klippel, no Institut für Maschinenkonstruktion, em Berlin, em 1984), que fazem a integração entre cálculo técnico, modelação geométrica e lógica de projeto de sistemas técnicos.

EVERSHEIM & NEITZEL (1988) apresentam aspectos relevantes do desenvolvimento de sistemas especialistas voltados para projetos de dispositivos técnicos e de seus elementos. Para eles, os sistemas CAD usualmente encontrados no mercado facilitam o detalhamento de projetos de dispositivos técnicos, mas não são sufi-

cientemente úteis na fase de concepção. O sistema especialista que apresentam recebe, como dado de partida, descrição detalhada sobre as funções a serem desempenhadas pelo dispositivo técnico e por seus elementos componentes. É necessário fornecer, também, as condições prévias **internas** - relativas às funções a serem desempenhadas pelo dispositivo técnico - e **externas** - relativas ao acoplamento do dispositivo ora sendo projetado com outros dispositivos e máquinas - que o dispositivo técnico deverá desempenhar; isso irá limitar, por exemplo, o tamanho do dispositivo, a forma de sua superfície ou a intensidade das forças que atuarão sobre o dispositivo em projeto. Com os dados de entrada assim definidos, o sistema especialista localiza, em seu banco de dados, informações sobre elementos específicos para construção do dispositivo. Por inferência, a composição desses elementos é coordenada de modo a que a qualidade do conjunto corresponda ao máximo às condições internas e externas previamente determinadas, e realizem as funções inicialmente especificadas. A aplicação do sistema especialista é mostrada para um cabeçote esférico de carregamento, apresentando-o como sendo um portador de solução aceitável para as condições particulares impostas no exemplo.

Algumas aplicações de sistemas especialistas em projeto do produto têm surgido com objetivos bem específicos. Por exemplo, na determinação de pares de elementos para contato entre partes do produto (junções, articulações, ligações, encaixes) feita com auxílio de computador, ROTH (1989) afirma que essa atividade de projeto só poderá ser transferida ao computador se o **software** criado dispuser de certas particularidades. O autor aplica essas exigências especificamente para definir pares de elementos de contato

entre partes integrantes do produto, e utiliza representação algébrica matricial para descrever as possibilidades de movimento que cada junção, articulação, ligação ou encaixe poderá ter. Essa mesma técnica de representação já havia sido abordada em seu livro (ROTH, 1982) e em artigos anteriores (ROTH, 1988a, 1988b e 1988c), e agora vem adaptada para ser trabalhada com auxílio de computador.

Pela descrição feita no artigo citado (1989), é possível vislumbrar a grande utilidade que terá essa representação algébrica para se determinar a melhor ligação entre partes do produto, com auxílio de sistema especialista. No entanto, como é específica para ser aplicada na determinação de união entre pares de elementos componentes do produto, provavelmente será mais amplamente utilizada dentro de um **software** de maior alcance, no qual a determinação da união correta será uma parte do trabalho total do projetista.

KRAUSE (1991) afirma que a configuração de produtos auxiliada por computador, com base em sistemas especialistas, vem crescendo em importância. Segundo pesquisa do autor, acredita-se que sistemas complexos de configuração apoiada por computador podem ser desenvolvidos e mantidos a custos razoáveis, apenas com a introdução de processamento do conhecimento. Esse processamento do conhecimento pode ser feito através de sistemas especialistas, "que possibilitam a aquisição e o uso de conhecimentos especializados para resolver problemas específicos, em âmbito estreito. Esses sistemas contêm conhecimentos generalizados, como uma coleção de **know-how**, experiência e métodos para a resolução de certos problemas dentro de uma área restrita" (KRAUSE, 1991, p. 51). Para se construir sistemas computacionais orientados para o produto, o autor

sugere o desenvolvimento de módulos de concepção funcional, geométrica e tecnológica a partir de uma mesma base de métodos, integrada e flexível. Conforme o autor, quanto maior for o potencial existente para a integração desses módulos, maiores serão as possibilidades para uma otimização do tempo necessário para a concepção do produto, e também serão maiores as possibilidades de se obter mais qualidade nessa concepção.

Uma importante contribuição à aplicação de computadores à concepção do produto foi descrita por HUNDAL (1990, 1991) e por HUNDAL & LANGHOLTZ (1992), e vem ao encontro às preocupações expressas por FIOD & BACK (1991a). No primeiro texto, HUNDAL (1990) apresenta sua visão geral de como é possível tratar-se a fase da concepção com auxílio de computador. No segundo, HUNDAL (1991) explica como a pesquisa de soluções e a construção de uma matriz morfológica (chamada por ele de "matriz de soluções") pode ser feita através do computador. No terceiro trabalho, mais extenso que os dois primeiros, HUNDAL & LANGHOLTZ (1992) incluem a descrição de uma **interface** gráfica e detalham o funcionamento de um programa computacional. Esse programa primeiramente gera, de forma interativa com o usuário, uma estrutura inicial de funções, acrescentando a essa estrutura: (1) entradas e saídas do sistema global; (2) funções e (3) conexões entre diferentes blocos de funções e entre as entradas e saídas dos blocos vizinhos. Define, assim, a função global do produto. A seguir, o usuário explicita as subfunções conhecidas, especifica suas respectivas entradas e saídas e quaisquer outras informações necessárias e cabíveis. O programa verifica se as entradas, saídas e eventuais descrições são apropriadas para cada dada função.

O usuário introduz as conexões entre subfunções, para definir o fluxo de energia, material e sinal no sistema. O programa verifica, então, se as conexões especificadas são compatíveis entre funções vizinhas; se não o forem, pede que o usuário especifique uma função intermediária. Desse modo, o **software** faz completa verificação da coerência da estrutura de funções elaborada nesse estágio.

Segundo os autores, o programa consegue gerar estruturas alternativas de função e tem recursos para produzir uma grande quantidade delas através da subdivisão, combinação e realocação de funções. Depois, as variantes de estruturas são avaliadas verificando se atendem às solicitações da Lista de Requisitos e se as estruturas geradas são compatíveis com a tarefa global pretendida.

A pesquisa de soluções é feita através de banco de dados, nos quais estão armazenadas as possibilidades de soluções para funções diversas (como "amplificar força", "juntar materiais", etc.). A escolha entre diversas soluções admissíveis é feita pelo usuário, dentre as alternativas arquivadas no banco de dados do programa. Essas alternativas são apresentadas em forma de soluções conhecidas.

Por exemplo, se a função "transformar" refere-se à entrada **material** (cujos parâmetros, neste exemplo, são: líquido, pressão) e à saída também **material** (cujos correspondentes parâmetros são: líquido, pressão), significa que a pressão do líquido à saída da função será alterada em relação à pressão do líquido à entrada do sistema. Conforme os requisitos do problema (caracterizados pelos parâmetros de entrada e de saída do material), as soluções propostas são variadas: se, na entrada da função, tiver-se

pressão constante para obter-se **pressão senoidal** na saída, a solução sugerida pelo programa é a utilização de uma **bomba alternada**; se houver **baixa pressão** na entrada e desejar-se **baixa pressão** na saída, a sugestão será uma **bomba centrífuga**; se houver **alta pressão** na entrada e desejar-se **baixa pressão** na saída, a sugestão será utilizar **uma válvula** como solução.

Para esperar resultados aceitáveis, uma metodologia de projeto que lida com funções elementares precisa ser bem sucedida na transposição da informação completa de causa/efeito da função global para as informações abstratas contidas na estrutura de funções elementares. Pode-se afirmar que este aspecto é crucial para a obtenção de bons resultados com a metodologia citada. No trabalho relatado, os autores não apresentam um modo compreensível ou decisivo para realizar a decomposição da função global, visando a alcançar um nível alto de abstração para utilização do modelo.

De outro lado, as soluções propostas pelo sistema computacional descrito pelos autores são concretamente soluções já conhecidas e armazenadas no banco de dados do sistema. Soluções novas só poderão resultar de combinações diferentes das já existentes soluções de funções parciais, desde que estas funções parciais sejam reorganizadas coerentemente pelo usuário. Portanto, as sugestões do programa para soluções novas ficam limitadas às soluções previamente arquivadas no sistema.

Este último aspecto não pode ser apontado como desvantagem real do sistema proposto porque, segundo os autores, o banco de dados de soluções pode ser aumentado, na medida da necessidade do usuário. Além disso, outras soluções idealizadas pelo usuário poderão ser incorporadas ao programa, enriquecendo desse

modo aquele banco de dados de soluções. Para minimizar os efeitos limitadores decorrentes dessa situação, seria interessante haver opção de o usuário não prosseguir até a fase do **software** em que lhe são sugeridas as soluções arquivadas no sistema. Em outras palavras, seria útil se existisse a opção de o usuário, se quiser, permanecer na fase anterior à da produção automática de soluções, fase essa na qual ele - o usuário - pudesse trabalhar com o **banco de dados de efeitos** e compor, com sua experiência pessoal e criatividade, solução diferente daquelas que estão previamente gravadas no sistema. A descrição do citado artigo não permite concluir se isso é possível.

3.6 - Conclusão.

Conforme se depreende do exposto, computadores começam a ser utilizados nas atividades menos rotineiras do projeto do produto, e muitos aplicativos estão sendo desenvolvidos com essa finalidade.

Com a evolução dessas aplicações, é possível esperar que, dentro de algum tempo, haverá possibilidade de se desenvolver todo o produto com auxílio de computador, desde as fases iniciais da definição da tarefa e estudo do problema até a obtenção final do produto acabado através de sofisticadas máquinas de comando numérico, em um sistema computacional único e integrado.

O trabalho aqui desenvolvido pretende contribuir nesse sentido, já que apresenta metodologia implementada em micro-computador para se chegar à concepção do produto estudado. A partir de então, essa concepção deverá ser trabalhada em sistemas computacionais do tipo CAD ou CAD/CAM que consigam dar seqüência à obtenção do produto.

A síntese da concepção do produto auxiliada por computador, conforme abordada neste trabalho, é obtida em um sistema computacional cuja estrutura fundamental vem exposta nos dois capítulos seguintes.

CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA PROPOSTA PARA O DESENVOLVIMENTO DE CONCEPÇÃO DE PRODUTOS COM AUXÍLIO DE COMPUTADOR

4.1 - Introdução, justificativa do trabalho proposto, alcance e limitações.

A crescente concorrência no mercado mundial requer das empresas respostas cada vez mais rápidas, em forma de soluções para os problemas presentes e futuros dos clientes. Com isso, o tempo disponível para planejar e desenvolver novos produtos tende paulatinamente a diminuir.

A necessidade de se obterem respostas rápidas torna imprescindível que projetistas se utilizem de procedimentos metodológicos para, de maneira sistemática, planejar e desenvolver novos produtos promissores.

Além de mais eficiência e velocidade obtida com a sistematização do projeto, o processo de planejamento e desenvolvimento de produtos pode ser acelerado pela utilização de recursos computacionais, tais como sistemas CAD e CAD/CAM. Os softwares de CAD e CAD/CAM disponíveis servem para diminuir o trabalho tedioso do projetista durante as últimas fases do processo de projeto, como, por exemplo, nos desenhos, nas especificações, na elaboração de listas de peças e de documentos de fabricação. As fases anteriores do processo são, até hoje, pouco assistidas por computador - fato esse que motivou o interesse pelo desenvolvimento do presente trabalho.

Do que foi exposto nos capítulos anteriores, é possível depreender que para as primeiras fases do planejamento e desenvolvimento de produtos (Fig. 2-5) - a elaboração da Lista de

Requisitos, a pesquisa da estrutura de função, a procura de princípios de solução - são necessárias muitas informações, critérios de decisão bem definidos, regras coerentes e, ainda, criatividade. Na etapa da concepção de sistemas técnicos, o projetista conta, principalmente, com seu conhecimento acumulado, com sua experiência pessoal e com a aplicação de técnicas de criatividade (DREIBHOLZ, 1975; DALKEY & HELMER, 1963; GORDON, 1961).

A sistematização do trabalho do projetista de produtos industriais, através de metodologia adequada, é imprescindível para organizar suas reflexões e dirigir seu pensamento no sentido de realizar a idéia que irá concretizar o produto estudado.

Foi implementado um instrumento auxiliar para o trabalho de encontrar a concepção adequada do sistema técnico que pretende desenvolver: é o Sistema Auxiliado por Computador para Desenvolvimento de Produtos Industriais - SADEPRO, criado para servir de orientação ao projetista durante as primeiras fases do projeto do produto, sistematizando seu trabalho e possibilitando-lhe alcançar alternativas de solução para a concepção do produto que pretende desenvolver.

A elaboração do SADEPRO baseou-se em metodologia de projeto especificamente organizada para ser utilizada em computador. Como contribuição para tanto, foram adaptadas partes principalmente das metodologias propostas por PAHL & BEITZ (1988), ROTH (1982) e KOLLER (1985).

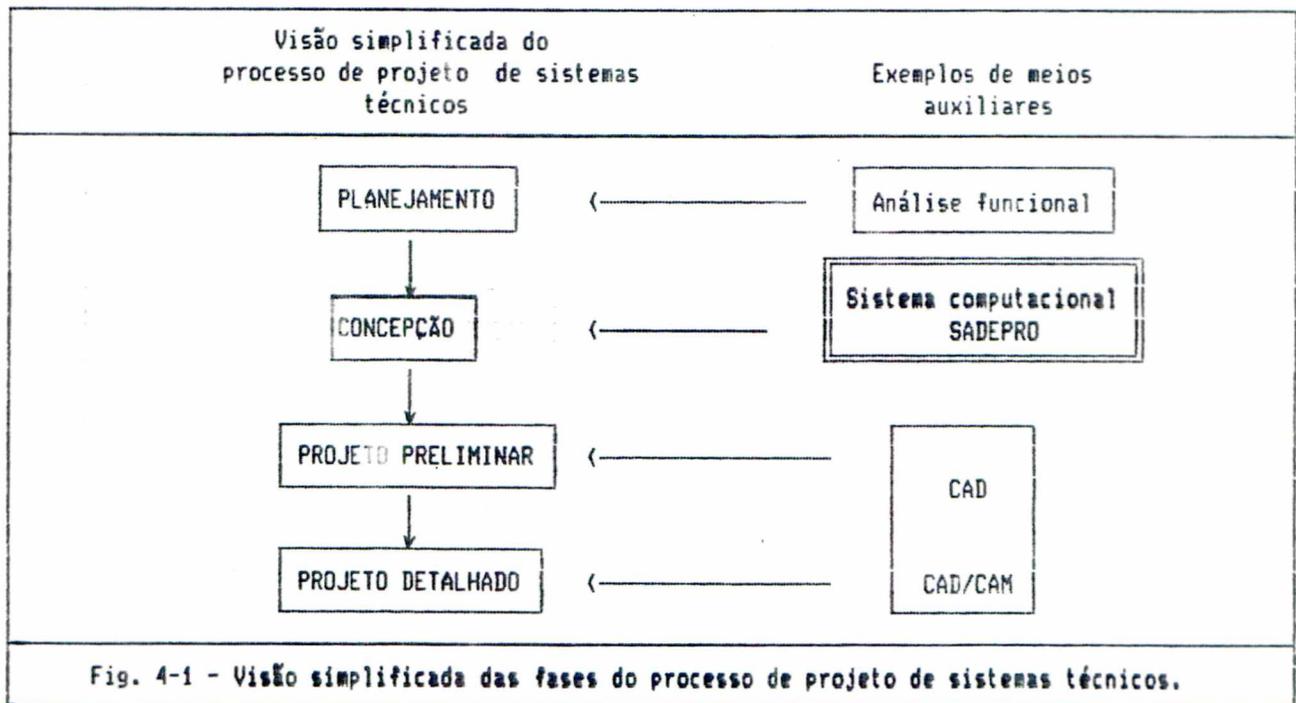
Ainda não se consegue afirmar que esta é a metodologia ideal para se pesquisar a concepção de produtos industriais com auxílio computacional, pois a participação do projetista no trabalho de concepção do produto, mesmo com o computador, ainda é grande

e indispensável; no entanto, conseguiu-se demonstrar - com a implementação do SADEPRO - que é possível obter a concepção de produtos com auxílio de computador, diminuindo o esforço total aplicado pelo projetista nessa tarefa. Por isso, parece lícito esperar que, mais tarde, a partir da evolução do atual sistema, também será possível realizar a concepção de produtos industriais quase que automaticamente, contando principalmente com o trabalho do computador e mínima participação do projetista.

4.2 - Generalidades sobre a metodologia utilizada.

Exposto de forma simplificada, o trabalho de se projetarem novos produtos industriais pode ser visto como dividido em quatro fases distintas: planejamento, concepção, projeto preliminar e projeto detalhado (Richtlinie VDI 2222, 1977) (Fig. 4-1).

Conforme mencionado em seções anteriores, na fase de



planejamento do produto devem ser esclarecidas as exigências do sistema técnico a ser criado, e as de seus elementos. A **análise funcional** (BLANCHARD & FABRYCKY, 1990; CSILLAG, 1985) é importante instrumento auxiliar a ser aí utilizado.

As fases do projeto preliminar e do projeto detalhado contam com **softwares** CAD e CAD/CAM específicos para o detalhamento de aspectos técnicos quantitativos do produto que está sendo projetado.

Na fase da **concepção**, o sistema técnico em elaboração é idealizado e, iterativamente, otimizado com vistas à realização da função total - limitada, neste ponto, pelas restrições impostas pelos requisitos previamente estabelecidos. Para esta fase - que inclui a busca de idéias e princípios de solução -, o apoio de sistemas CAD convencionais ainda é insuficiente, já que não foram projetados para auxiliarem no estudo do aspecto qualitativo da solução para o produto enfocado.

4.3 - Visão geral sobre a Metodologia de Projeto utilizada.

Como apoio para o desenvolvimento deste trabalho, utilizaram-se os estudos de PAHL & BEITZ (1988), ROTH (1982) e KOLLER (1985). Foram aqui reunidas e integradas as partes da metodologia de cada um desses autores que mais bem se adaptavam ao desenvolvimento de um sistema computacional para auxiliar o projetista na concepção de seu produto.

Difícilmente alguma dessas metodologias citadas poderia ser adotada na íntegra, isoladamente, para a elaboração de um sistema computacional, já que não foram idealizadas para funcionarem sob controle de um sistema computacional. No entanto, cada uma

das teorias contribuiu com aspectos úteis à elaboração desse sistema. Por exemplo, PAHL & BEITZ (1988) sugeriram um roteiro simples e fácil de ser seguido na consecução do projeto do produto, o que permitiu determinar as linhas gerais de uma metodologia passível de ser implementada em computador; ROTH (1982), de seu lado, expõe com clareza um procedimento seguro para, a partir da Lista de Requisitos, obter-se a estrutura das funções elementares que compõe a função global. Por sua vez, KOLLER (1985) apresenta uma maneira eficaz de se trabalhar com catálogos de efeitos, organizando-os e colocando-os à disposição do projetista, orientando-o de tal forma que a criatividade do projetista seja estimulada pela existência desses catálogos.

Separadas, as metodologias parecem não estar preparadas para a informatização do processo do projeto. Juntas, no entanto, complementam-se e viabilizam a obtenção de um sistema computacional como o SADEPRO, permitindo-se esperar que seja possível, a partir desse sistema "manual", evoluir e chegar a um Sistema Especialista para conceber produtos industriais.

A metodologia aqui mencionada (Fig. 4-2) começa após o estudo da tarefa. Este estudo estabelece os aspectos gerais do produto em relação à demanda, ao consumidor, à empresa - enfim, esclarece os aspectos relativos à interação do produto com o meio que o cerca.

Com essas informações colhidas e selecionadas inicialmente, elaborase a Lista de Requisitos, que será utilizada desta etapa até o final do projeto: a partir dela são obtidas desde a estrutura de funções elementares até os critérios utilizados para a avaliação das concepções do produto. Além disso, esta Lista sem-

pre será utilizada para as verificações parciais que ocorrerão durante a evolução do projeto.

A partir desta Lista, descreve-se uma função geral - como se fora uma "caixa preta" -, procurando expor com clareza a atividade principal que se deseja ver realizada pelo produto final. A partir dela, desenvolvem-se sentenças de função para caracterizar as diferentes transformações de energia, material e sinal que ocorrerão internamente ao produto. Obtém-se, depois, uma declaração simplificada de função, que é aperfeiçoada até transformar-se em uma declaração de função global, definida em termos das grandezas genéricas energia, material e sinal. Na seqüência, são caracterizadas as funções parciais que têm possibilidade de serem integradas ao produto estudado, devidamente estruturadas entre si. As funções elementares que participam de cada função parcial também se apresentam adequadamente estruturadas e associadas, em conjunto, às funções parciais das quais se originaram. As soluções das funções elementares, neste ponto, já terão sido devidamente estudadas inclusive quanto ao portador de efeito e ao princípio de solução com que se espera concretizá-las.

Com auxílio de catálogos, faz-se a pesquisa de efeitos, de portadores de efeito e de princípios de solução que conseguem resolver cada uma das funções elementares, sem perder de vista as exigências expressas na Lista de Requisitos de projeto.

Inicia-se, então, a fase de síntese da função parcial: cada uma das soluções de funções elementares é estudada como possível solução a ser adotada para fazer parte de respectiva função parcial. Depois de construídas as funções parciais, são estudadas as diferentes soluções para se montar a função global. As solu-

ções parciais obtidas são analisadas quanto à compatibilidade que apresentam entre si. Esta ação garante que haja coerência entre as soluções adotadas para as funções elementares. Do mesmo modo, procede-se à análise de coerência relativamente às funções parciais, por sua vez comparadas entre si.

A síntese do sistema técnico global ocorre, então, quando se têm definidas as funções parciais que realizarão a função global, de um lado, e as soluções das funções elementares que realizarão cada uma das funções parciais, de outro.

Cada concepção sintetizada para a função global é avaliada, e as concepções consideradas viáveis são apresentadas como resultado da pesquisa de soluções para o produto. A estrutura geral de funcionamento dessa sistematização do trabalho está ilustrada na Fig. 4-2.

A aplicação imediata da metodologia citada ocorreu na implementação do sistema computacional denominado SADEPRO, cujos aspectos gerais serão descritos no capítulo 5.

4.4 - Visão detalhada da metodologia adotada no desenvolvimento de concepções com auxílio de computador.

4.4.1 - O estudo da tarefa

Conforme já foi registrado anteriormente, toda tarefa a ser realizada envolve restrições que, apesar de poderem mudar com o decorrer do trabalho do projetista, precisam ser completamente entendidas, se se deseja encontrar a solução adequada para o projeto em estudo. Por isso, a clarificação da tarefa é essencial para se esperarem bons resultados com a sistematização metodológica do projeto do produto.

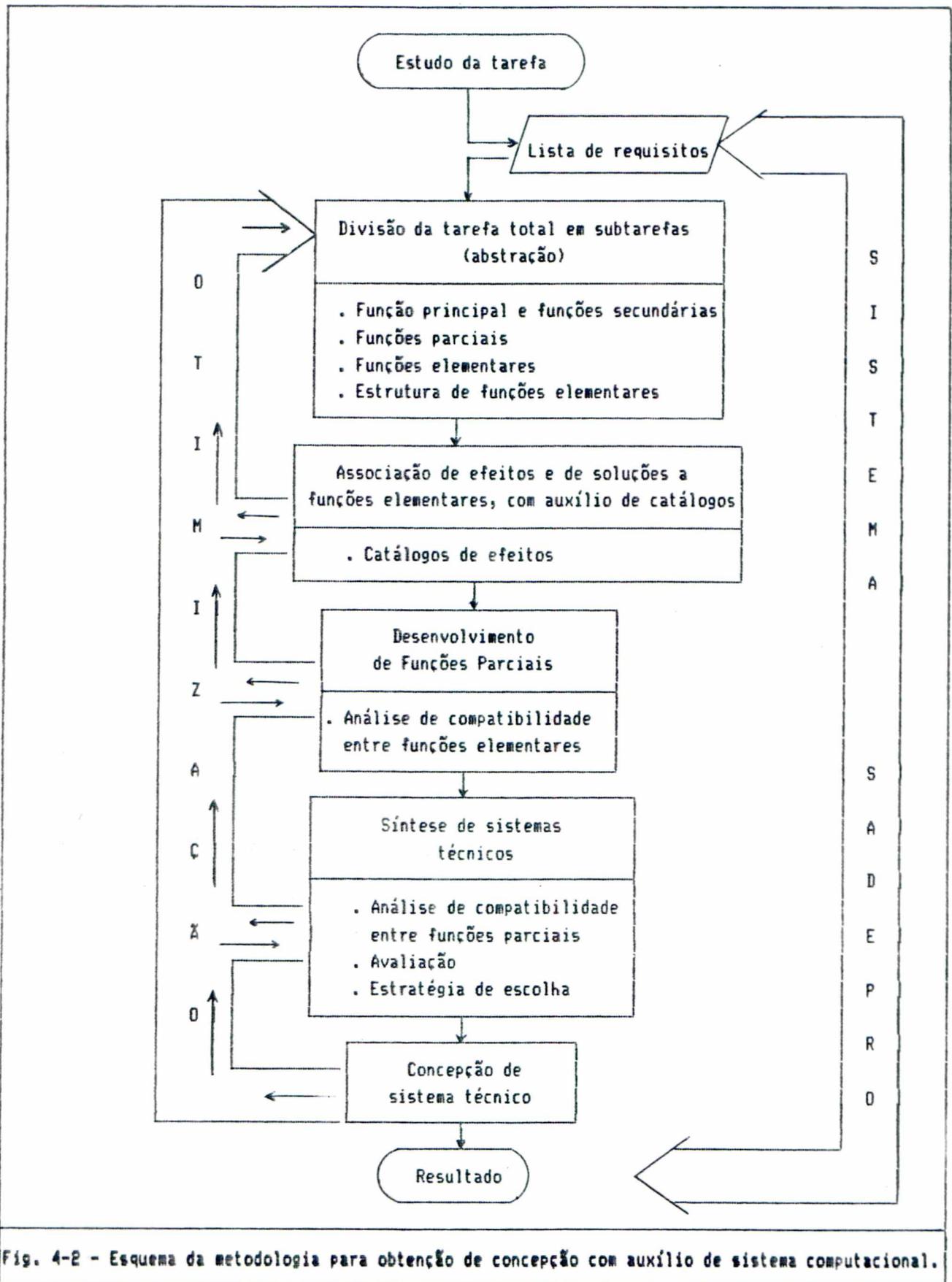


Fig. 4-2 - Esquema da metodologia para obtenção de concepção com auxílio de sistema computacional.

Uma vez que os dados necessários tenham sido colhidos durante a clarificação da tarefa, esses dados precisam ser organizados de forma a que seja possível utilizá-los adequadamente no processo do projeto. Para isso, uma especificação geral do produto em idealização deve ser preparada com esses dados, na forma de uma detalhada Lista de Requisitos de projeto.

Assim sendo, a Lista de Requisitos que orienta a elaboração do projeto do produto deve possuir informações técnicas que estabelecem limites dentro dos quais será concebida a solução para o produto em estudo.

4.4.2 - A Lista de Requisitos.

A metodologia de projeto aqui utilizada para implementar um sistema computacional de apoio à síntese de produtos industriais inicia-se efetivamente pela elaboração da Lista de Requisitos. Neste ponto, são registrados sistematicamente os aspectos técnicos, funcionais, econômicos e geométricos, assim como todas as restrições conhecidas referentes ao produto em estudo.

BLANCHARD & FABRYCKY (1990) apresentam uma extensa relação de tópicos a serem abordados como critérios de revisão de projetos, relação essa à qual sempre se pode recorrer para modificar, expandir e/ou aperfeiçoar a Lista de Requisitos de projetos apresentada neste trabalho.

HAUSER & CLAUSING (1988) comentaram a técnica da "casa de qualidade", inserida dentro de teoria mais ampla conhecida por QFD - "quality function deployment" ("desdobramento da função qualidade", em tradução livre), e a apresentaram como mecanismo eficaz para mostrar as necessidade de planejamento e comunicação

interfuncional, dentro da empresa. Como um dos resultados da aplicação desta técnica, há explicitação de parâmetros capazes de expressar as necessidades do consumidor e de traduzi-las de forma precisa em especificações técnicas relevantes para o projeto do produto. Além de estimular a comunicação entre os diferentes agentes que atuam no desenvolvimento do produto, há relatos de outros bons resultados advindos daí. Apontam-se, assim, facilidade para tradução dos requisitos do consumidor, em geral vagos e não mensuráveis; facilidade de identificação das características críticas para os atributos de qualidade; redução nas mudanças de engenharia do projeto, durante e após o desenvolvimento do produto; diminuição de tempo no ciclo de projeto, e outros benefícios.

A "casa de qualidade" procura compatibilizar os requisitos básicos do consumidor com as características funcionais do produto, definindo os requisitos de projeto através de objetivos específicos. Estuda as possíveis correlações existentes entre esses requisitos, e faz tudo isso sem perder de vista os aspectos técnicos dos produtos competidores e os da própria empresa, além de levar em consideração as limitações e a capacidade instalada de produção de sua própria empresa. No final, os requisitos de projeto identificados recebem valores objetivos que demonstram a importância relativa entre eles.

Em suma, a "casa de qualidade" auxilia o projetista de produtos a explicitamente identificar requisitos dos consumidores, relacioná-los com objetivos característicos de engenharia, identificar oportunidades comerciais e a avaliar as características de um produto relativamente a produtos competidores (HAUSER & CLAUSING, 1988).

Segundo RAMASWAMY & ULRICH (1992), devido à sua natureza os requisitos de projeto obtidos através da "casa de qualidade" abrangem grande extensão de informações relativas à empresa, ao consumidor e ao projeto em elaboração. A técnica é freqüentemente utilizada para fixar metas para o desempenho técnico de um produto. Em uma situação típica, os profissionais do setor de **marketing** coletam dados sobre consumidores e produtos competidores e, com alguma participação da Engenharia, decidem por um conjunto de metas de **performance**, as quais são comunicadas aos projetistas. Como essas metas são determinadas sem conhecimento explícito de o que é tecnicamente exequível, elas são freqüentemente irrealistas e não levam em conta sua ligação com o problema do projeto e a complexidade deste. Conseqüentemente, os projetistas podem falhar ao focar tais metas, resultando em interações que consomem tempo. Devido a isso, RAMASWAMY & ULRICH (1992) examinaram problemas da "casa de qualidade" que se manifestaram quando a ela foi aplicada em estudos de casos e mostraram como se pode ampliar essa técnica com modelos matemáticos de desempenho de produtos, para ajudar a resolver alguns desses problemas.

Por isso, só se deve utilizar a "casa de qualidade" para definir **requisitos de projeto** se houver infra-estrutura empresarial para fazer face a esses problemas todos.

Então, contra a utilização irrestrita dessa técnica apresenta-se a necessidade de se implantar adequada infraestrutura administrativa e operacional para gerenciar a coleta e interpretação dos dados necessários, de forma a torná-los confiáveis para aplicação prática. A estrutura empresarial do porte que é necessário para se trabalhar com a "casa de qualidade" não é hoje muito

comum de se encontrar (CAMPOS, 1992). Por esse motivo, optou-se por não utilizar neste trabalho a mencionada técnica, como base para estabelecer a Lista de Requisitos de projeto da metodologia ora descrita, sob risco de se restringir a aplicação desta metodologia a poucas e desenvolvidas empresas.

Há, portanto, para elaborar a Lista de Requisitos, vários itens de especificação a serem detalhados para utilização da metodologia de projeto aqui comentada. Tais itens podem ser: a cinemática do movimento a ser executado pelo sistema técnico em estudo, forças que agem sobre ele e/ou forças que ele gera, energia de acionamento e/ou de transformação, material de fabricação, sinais enviados e recebidos, etc.. O projetista pode iniciar a elaboração de sua Lista de Requisitos a partir de um conjunto de tópicos previamente relacionados (do tipo "check list"), que visam a identificar os objetivos gerais do problema e as restrições reais impostas a ele. Tem-se na Fig. 4-3 um exemplo resumido de tópicos como esses citados acima. Aplicando a "check list" durante o estudo da tarefa e respondendo às perguntas ali formuladas, o projetista consegue explicitar um vasto conjunto de informações úteis à elaboração de seu projeto. Com respostas qualitativas e quantitativas, é possível combinarem-se os conceitos relevantes para a concepção do projeto, aliados à segurança de se saber que as idéias essenciais não foram esquecidas.

Dentro da metodologia de projeto adotada, mais à frente utiliza-se essa mesma Lista de Requisitos para encontrar a Estrutura de Funções Elementares e para elaborar critérios de avaliação de alternativas de concepção. Para isso, cada especificação registrada na Lista é classificada em **desejável** ou **obrigatória**.

"Desejáveis" são requisitos levados em consideração

geometria:	tamanho, largura, altura, comprimento, disposição, espaço necessário;
cinemática:	tipo de movimento, direção, velocidade, aceleração;
forças:	intensidade, direção, frequência, peso, carga, deformação, estabilidade;
energia:	desempenho, rendimento, atrito, perdas, ventilação, grandezas conexas (pressão, temperatura, umidade);
material:	qualidades físicas e químicas, materiais auxiliares, regulamentações (leis na área de alimentos, por exemplo); fluxo e transporte de materiais;
sinal:	de entrada e de saída (input e output), display, equipamento de controle;
segurança:	sistemas de proteção, segurança industrial, proteção no trabalho e do meio ambiente;
ergonomia:	relação homem-máquina, forma de acionamento, layout, conforto do local de trabalho;
fabricação:	limitações da fábrica, dimensões máximas possíveis, métodos de produção preferidos, tolerâncias possíveis;
controle de qualidade:	possibilidades de medição e testes, normas e padrões especiais;
montagem:	recomendações especiais de montagem, montagem, instalação/montagem em obras, fundação;
transporte:	limitações devidas a guindastes e carregadeiras, meios de transporte (tamanho e peso), tipo e condições de distribuição;
operação:	nível de ruído, usos especiais, local de utilização (ambientes agressivos, úmidos);
manutenção:	manutenção preventiva e corretiva, inspeção, pintura, limpeza;
custos:	custo máximo de manufatura permitido, custo de ferramentas, investimentos e amortização;
programação:	término do desenvolvimento, planejamento e controle do projeto, data de expedição;
meio ambiente:	tratamento do lixo industrial, proteção ao meio ambiente, descarte.

Fig. 4-3 - Resumo dos característicos gerais para a elaboração da Lista de Requisitos, com exemplos de seu significado. Uma lista organizada está mostrada no Anexo 1.

quando possível (por exemplo, recomendando que certos componentes o produto não ultrapassem determinados limites de custo). É aconselhável classificar os requisitos desejáveis como sendo de maior, média ou menor importância, para estabelecer comparação entre eles próprios. "Obrigatórios" são requisitos que precisam ser atendidos sob todas as circunstâncias, sem as quais a solução não será aceitável (por exemplo, "adequado para soluções parciais" (*), "à prova d'água", etc.). Requisitos limites também precisam ser formulados (por exemplo, P (potência) deve ser maior do que 20 kW; C (comprimento) deve ser menor do que 400 mm, etc.).

Desse modo, na medida em que vão sendo estabelecidos, os requisitos desejáveis são classificados quanto à sua pequena (P), média (M) ou grande (G) importância, classificação essa feita de acordo com o entendimento que o projetista tem sobre o alcance de cada um desses requisitos em relação ao plano inicial elaborado para o desenvolvimento do produto. Assim, requisitos de grande importância são aqueles considerados altamente relevantes para serem atendidos pelo produto final, caracterizando, por exemplo, um aspecto diferencial em relação a seus concorrentes imediatos disponíveis no mercado consumidor. No entanto, por terem sido classificados como requisitos "desejáveis", poderão não ser atendidos pelo produto, já que a função global será executada mesmo sem que seja dada atenção a esse requisito. Raciocínio análogo aplica-

(*) "Adequados para soluções parciais" são produtos que têm múltiplas funções em sua forma mais completa, como alguns relógios japoneses, por exemplo, que marcam horas na forma analógica e digital, dias da semana e do mês, têm cronômetro e despertador, calculadora, etc.. Quando alguma dessas funções não satisfaz o controle de qualidade do fabricante, ao invés de consertar ou substituir a parte defeituosa a empresa simplesmente a exclui do conjunto, que, agora, terá uma função a menos, ou seja, terá "solução parcial" - resultando em geral em solução mais barata do que se o produto tivesse que ser retrabalhado na linha de produção.

se aos requisitos desejáveis chamados de pequena e média importância.

Na prática, a Lista de Requisitos é geralmente apresentada na forma mostrada na Fig. 2-6.

4.4.3 - A abstração da tarefa e o estabelecimento da estrutura de funções elementares.

Depois de obtida a Lista de Requisitos, tem início o trabalho de compor a estrutura de funções elementares para o produto em questão. Esse trabalho começa pela chamada "abstração da tarefa", pois através dela são feitas generalizações que visam a facilitar a pesquisa de soluções para o problema colocado.

A seqüência sistematizada de passos necessários à obtenção dessas generalizações utiliza a Lista de Requisitos para auxiliar o usuário/projetista a abstrair-se de idéias e restrições previamente concebidas, em relação ao projeto em andamento. O objetivo deste tópico é explicitar a estrutura de funções elementares (Fig. 4-4).

Para a metodologia de projeto de produto ora abordada, a obtenção da estrutura de funções elementares é um dos aspectos fundamentais na busca de soluções para a concepção do produto. A tática adotada é similar àquela enunciada por Descartes, no início do século XVII, em seu "Discurso do Método" (DESCARTES, 1979), quando recomendou, entre outras coisas, que, para resolver um problema complexo, ele fosse dividido em problemas mais simples e se procurassem soluções para essas partes menores, tendo em vista a solução integrada do conjunto.

Trabalhando, assim, com funções elementares interligadas por estrutura conhecida, tem-se possibilidade de encontrar

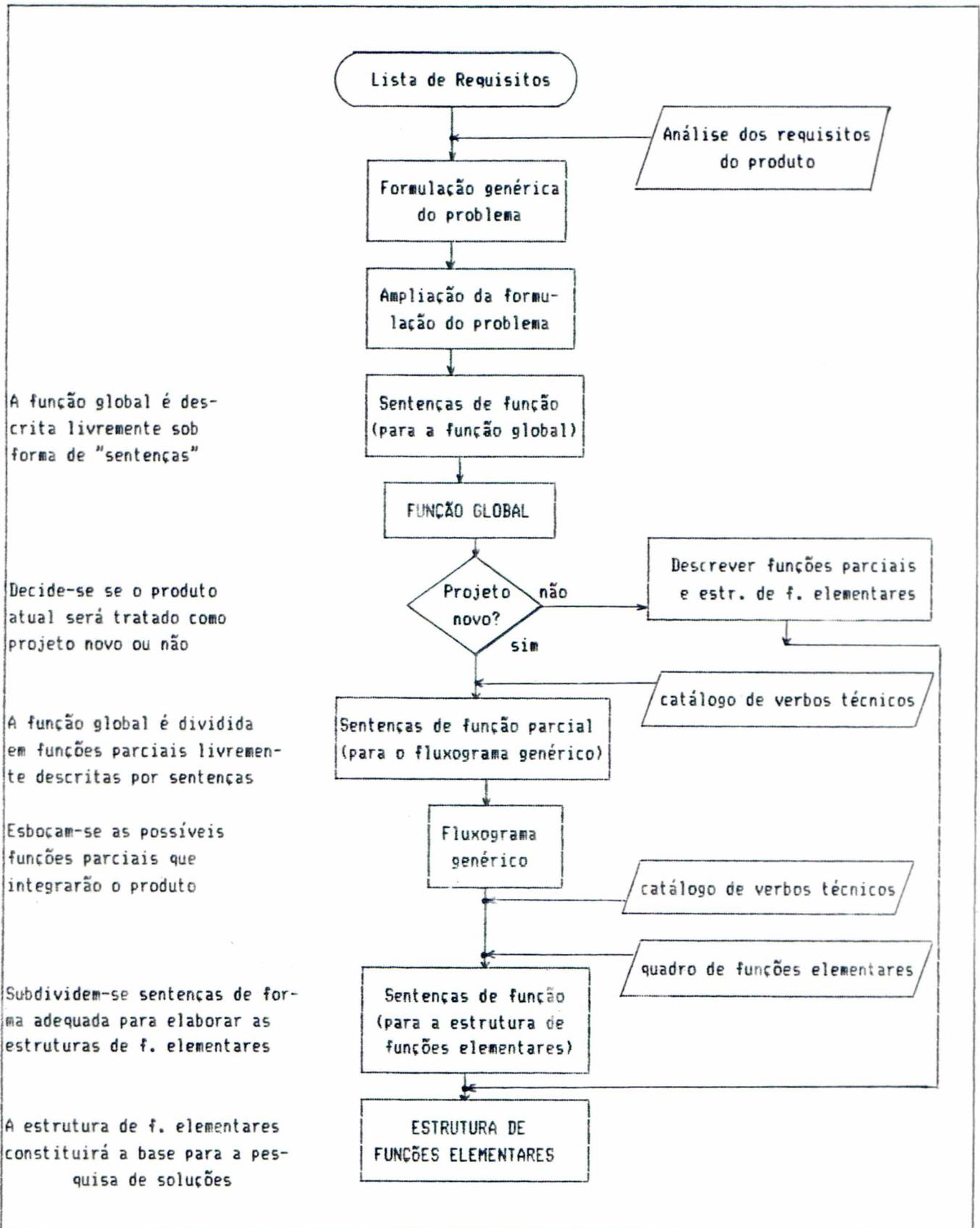


Figura 4-4 - Sequência de passos da metodologia, até se obter a Estrutura de Funções Elementares.

soluções para problemas de menor alcance - as funções elementares - e procurar a compatibilização do conjunto dessas soluções menores através de sua integração à estrutura geral das funções elementares.

Com a finalidade de chegar à estrutura de funções elementares, a partir da Lista de Requisitos inicia-se um processo de crescente abstração para descrever o problema de maneira genérica, isto é, não comprometida com idéias ou restrições prévias.

4.4.4 - Formulação do problema em termos genéricos.

A generalização do problema estudado se coloca como passo necessário e intermediário para facilitar, primeiro, a elaboração da estrutura de funções e, depois, a pesquisa de princípios de solução. Tem-se, como recurso auxiliar, a análise da especificação do produto em estudo (Fig. 4-4).

Essa "análise da especificação" é feita com a finalidade de focalizar a atenção do projetista para a função requerida pelo produto e para as restrições consideradas essenciais. Esta análise conduz a uma definição do objetivo em plano abstrato, sem estabelecer qualquer solução particular. Em um processo de abstração crescente, busca-se revelar aspectos genéricos e características essenciais da tarefa.

Segundo PAHL & BEITZ (1988), a análise da especificação pode ser feita a partir da Lista de Requisitos, seguindo-se algumas etapas previamente determinadas:

- a) eliminar preferências pessoais: da Lista de Requisitos são retirados todos os requisitos classificados como "desejáveis";
- b) omitir requisitos que não têm relação direta com a função e com as restrições essenciais;

- c) transformar dados quantitativos em dados qualitativos, e reduzi-los a declarações essenciais. "Volumes de 20 a 160 litros", por exemplo, passam a ser "vários volumes";
- d) generalizar os resultados do passo anterior. Por exemplo, "a quantidade de líquido varia com o tempo", ou "há vários níveis de líquido nos reservatórios" podem ser expressos como "medir mudanças contínuas na quantidade de líquido";
- e) formular o problema em termos de solução genérica, isto é, sem vincular a solução a qualquer problema específico. Por exemplo, "volumes e formas de reservatórios são variados", "transmissão é feita a várias distâncias", "medir mudanças contínuas na quantidade do líquido" podem ser expressos como "medir quantidade de líquido continuamente modificada, em reservatórios de tamanho e formas não especificados e indicar as medidas a várias distâncias dos reservatórios".

Esse trabalho que o projetista realiza sobre a Lista de Requisitos pode ser visto como uma preparação para obtenção da síntese de soluções propriamente dita, a ser feita posteriormente. Além de aumentar o seu nível particular de informação sobre o problema em estudo, também permite ao projetista formular o problema em termos genéricos.

Em resumo, através da abstração realizada sobre a declaração da tarefa retratada na Lista de Requisitos, chega-se à formulação genérica do problema, temporariamente desvinculada do caso específico que a gerou. Essa desvinculação temporária do problema em relação a suas possíveis restrições e imposições prévias é o resultado direto do trabalho de abstração aplicado sobre a declaração da tarefa, e permite que se procurem princípios de solução

também genéricos, sem riscos de se limitar a criatividade do projetista com restrições reais ou aparentes e sem direcioná-la para soluções previamente conhecidas. Por exemplo, "medir continuamente quantidade de fluido" é uma declaração geral de um problema, desvinculada de quaisquer restrições que normalmente acompanham a declaração da tarefa, tais como "limites máximo e mínimo de vazão", "variação da temperatura do fluido", "portabilidade", "ergonomia", "confiabilidade do dispositivo de medição", etc..

4.4.5 - Ampliação da formulação do problema.

Considerando que a correta formulação do problema em termos gerais tenha permitido identificar a essência da tarefa, explora-se aqui a possibilidade de haver uma extensão - ou mesmo uma modificação - do problema original, que possa conduzir a soluções promissoras. Para isso, o usuário-projetista é conduzido a refletir sobre a declaração obtida para o problema.

Nesse sentido, a metodologia adotada orienta o projetista para refletir sobre os aspectos seguintes, conforme sugestão de PAHL & BEITZ (1988):

- a) é possível identificar restrições fictícias? (Se sim, estas restrições devem ser eliminadas);
- b) quais propriedades a solução precisa realmente ter?
- c) quais propriedades a solução não precisa ter?

Há expectativa de que, através dessas sucessivas perguntas e respostas, o projetista consiga formular seu problema de maneira mais ampla do que a que fora feita até então, permitindo-lhe diminuir (se não eliminar) as restrições à solução do problema que ainda persistem implícita ou inconscientemente em sua mente.

O próximo passo de trabalho será a obtenção de sentenças de função, que permitirão estabelecer a função global.

4.4.6 - Obtenção da função global através de sentenças de função.

Formular a função global de um sistema técnico significa descrever o objetivo de um sistema técnico em desenvolvimento (objetivo esse que foi descrito verbalmente na formulação genérica do problema) como sendo uma relação entre grandezas genéricas (material, energia, sinal) de entrada e de saída.

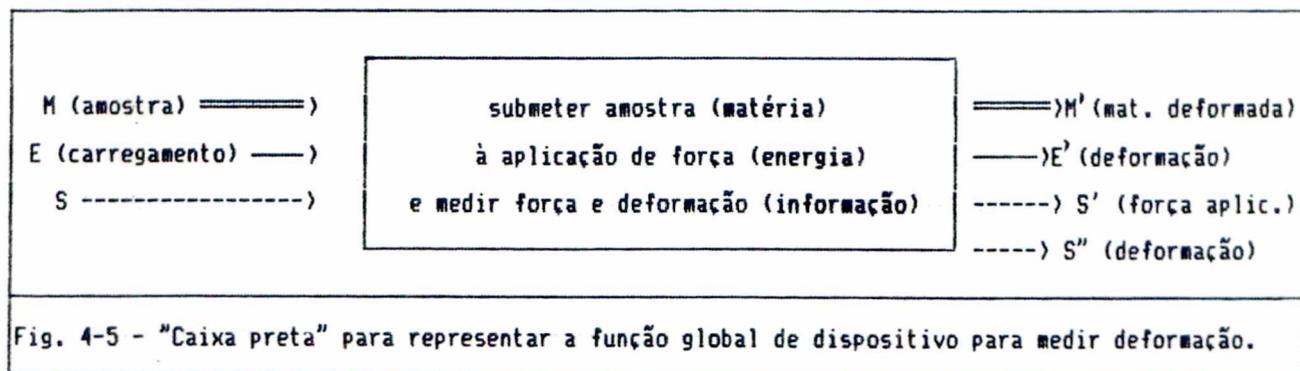
Na prática, parte-se da formulação do problema em termos gerais e procura-se dela obter sentenças de função expressas livremente. PAHL & BEITZ (1988) expõem em exemplo as funções de uma máquina para medir a deformação de um produto submetido a tensão, com fluxo de energia, material e sinais relativamente complexo. Nesse exemplo, aqui reescrito livremente, a declaração que resultou da depuração da Lista de Requisitos foi "medir deformação de amostra do produto devida à aplicação de força controlada", aceita como "formulação do problema em termos gerais".

Essa **declaração de tarefa** representa a síntese generalizada das restrições e objetivos contidos na Lista de Requisitos. A partir dessa declaração, para se caminhar em direção à definição da **função global** é necessário expressá-la em termos de sentenças de função (Fig. 4-4), isto é, em termos de sentenças que mostram a relação direta entre um objeto e um predicado. Por exemplo, da declaração "medir deformação de amostra do produto devida à aplicação de força controlada", podem resultar as seguintes sentenças de função:

- submeter amostra do produto à aplicação de força;
- medir força aplicada;

- medir deformação da amostra do produto.

Agora, é possível reescrever a **declaração genérica de tarefa** - já transposta para sentenças funcionais -, como **função global**. Desse modo, "medir deformação de amostra do produto devida à aplicação de força controlada" pode ser visto como uma **caixa-preta** que realiza as seguintes transformações de grandezas genéricas: submeter amostra do produto (**matéria**) a aplicação de força (**energia**), medir força aplicada (**sinal**) e deformação ocorrida (**sinal**) (Fig. 4-5).



A partir da função global, serão gradativamente estabelecidas as funções parciais, as funções elementares e a estrutura que interliga essas funções. Antes disso, porém, a metodologia adotada exige do projetista uma decisão imediata: deve-se decidir se o projeto que está sendo desenvolvido deve ser tratado como um projeto novo ou como um reprojeto, para definir o rumo correto do trabalho que virá em seqüência.

4.4.7 - Verificação parcial nº 1: projeto novo ou reprojeto?

Durante a aplicação da metodologia aqui adotada para se pesquisar a concepção de um produto, há algumas decisões que o projetista deve tomar.

Uma dessas decisões ocorre justamente neste ponto do desenvolvimento do projeto: é necessário definir se a abordagem a ser dada à continuação do projeto é a de um **projeto novo** ou a de um **reprojeto**.

Se for um reprojeto - isto é, se a intenção do usuário for modificar ou melhorar o projeto de um produto já conhecido -, então será possível descrever as funções parciais do produto atual, bem como sua conhecida estrutura de funções. Neste caso, o trabalho de se obterem as funções parciais e a estrutura de funções elementares para esse produto fica simplificado em virtude de já existir uma conhecida estrutura de funções parciais. Se for um projeto novo - isto é, se o objetivo do trabalho for projetar um produto ainda inexistente no mercado atual ou, até mesmo, procurar solução radicalmente nova para algum produto conhecido -, deve-se pesquisar quais serão as funções parciais, as funções elementares e qual será a estrutura de funções para esse novo produto.

É possível discordar-se do raciocínio acima, a respeito de projeto novo, reprojeto e suas funções parciais conhecidas ou não, argumentando-se que qualquer projeto - novo ou não - sempre conterà funções parciais conhecidas (ou, pelo menos, na etapa da análise funcional sempre se poderá reconhecer alguma função parcial já vista anteriormente). No entanto, o que realmente importa para a decisão a ser adotada neste ponto da utilização da metodologia ("projeto novo" ou "reprojeto"?) é o quanto o projetista conhece sobre o produto que deseja desenvolver: se, naquele momento, o projetista nada souber sobre produtos iguais ou similares ao que está desenvolvendo, deve dar ao seu produto a classificação de "produto novo"; se conhecer algum produto semelhante, pode dar a seu projeto

o tratamento de "produto conhecido" ou, opcionalmente, de "produto novo" (se optar pela classificação de "produto novo", mesmo sabendo que já existe no mercado produto igual ou semelhante, significa que o projetista **não quer utilizar a mesma estrutura de funções** do produto similar conhecido, tendo optado por elaborar uma **nova estrutura de funções**). No entanto, mesmo se o projeto for de produto considerado **novo** mas contiver alguma(s) função(ões) parcial(is) conhecida(s), deve ser tratado como **projeto novo**.

Em suma, a decisão a ser adotada pelo projetista, neste ponto, evidencia o tratamento que estará sendo dado ao projeto do produto em estudo: caracteriza-o como **reprojeto** ou como **projeto novo**, com implicações decorrentes na seqüência da metodologia: no **reprojeto**, evitam-se as fases intermediárias mostradas na Fig. 4-4; no **projeto novo**, todas essas deverão ser percorridas até se chegar à obtenção da estrutura de funções elementares.

4.4.8 - Símbolos de função.

A representação simbólica de funções tem sido aplicada por diferentes autores. Símbolos são principalmente utilizados para representar as funções de um produto na fase mais abstrata da concepção, na qual não se deseja ver a futura solução do problema comprometida desde já com alguma idéia previamente conhecida. Além disso, com símbolos é possível representar funções do produto sem particularizar mecanismos de solução para essas funções.

Com a pretensa generalidade derivada da abstração, espera-se manter a mente do projetista aberta a soluções inovadoras ou, no mínimo, espera-se não mantê-la presa a soluções óbvias e imediatas.

Muitos autores têm seu próprio conjunto de símbolos, adotados para representar abstratamente as funções de um produto em desenvolvimento. Embora tenham objetivos semelhantes, os símbolos às vezes assumem formas bem diferentes. É o caso, por exemplo, da simbologia adotada por ROTH (1982) (veja Fig. 3-3) e por KOLLER (1985) (veja Fig. 3-9). No entanto, esses mesmos símbolos propostos por Koller aproximam-se dos de PAHL & BEITZ (1988), os quais prevêem a representação de cinco diferentes características: qualidade, magnitude, número, lugar e tempo, e todos referem-se a ação exercida sobre energia, material e informação (Fig. 4-6).

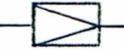
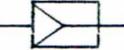
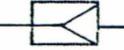
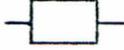
Características	Funções representadas	Símbolos	Explicação E (entrada) / S (saída)
Qualidade	Transformar		Tipo e forma externa de E diferente de S
Magnitude	Variar (aumentar) (diminuir)		E < S
			E > S
Número	Associar (unir) (separar)		número de E > S
			número de E < S
Lugar	Transmitir (transmitir) (bloquear)		localização de E ≠ S
			localização de E = S
Tempo	Armazenar		tempo de E ≠ S

Figura 4-6 - Representação simbólica de funções adotada por PAHL & BEITZ (1988).

Cada autor assegura que seus símbolos conseguem representar as funções de qualquer sistema técnico, o que parece ser verdade. Para o sistema computacional aqui elaborado, adotou-se o conjunto de KOLLER (1985), exposto na citada Fig. 3-9. Seus símbolos foram considerados suficientes para descrever funções técnicas de forma adequada aos propósitos deste trabalho, já que têm variedade suficiente e permitem elaborar catálogos de efeitos para cada uma das funções representadas pelos símbolos. Apenas para facilitar o manuseio durante o trabalho com computador, a alguns símbolos do conjunto de Koller foram acrescentadas informações adicionais, o que os tornou mais precisos e mais específicos, sem contudo alterar seu significado original.

4.4.9 - Esboço das funções parciais.

Conforme foi mencionado anteriormente, se no item anterior de decisão o projetista tiver escolhido a direção do "re-projeto", fica facilitada a obtenção de um conjunto inicial de funções parciais que executa a função global, pois já se conhece um produto - ou parte de um produto - que consegue realizar as funções parciais desejadas dentro de estrutura já existente. Partindo-se de um produto conhecido, quase sempre é possível economizar considerável parcela do esforço necessário para se chegar à estrutura de funções elementares do projeto em estudo.

Para conseguir isso, descrevem-se as funções parciais do produto conhecido, primeiramente com palavras (para que o projetista possa expressar claramente sua visão da função parcial) e depois com símbolos (para sistematizar sua visão da estrutura funcional, e também para ampliar os horizontes de pesquisa de solu-

tes para o trabalho a ser realizado pelo produto (Fig. 4-7b). Depois, substituem-se os elementos funcionais por símbolos adequados,

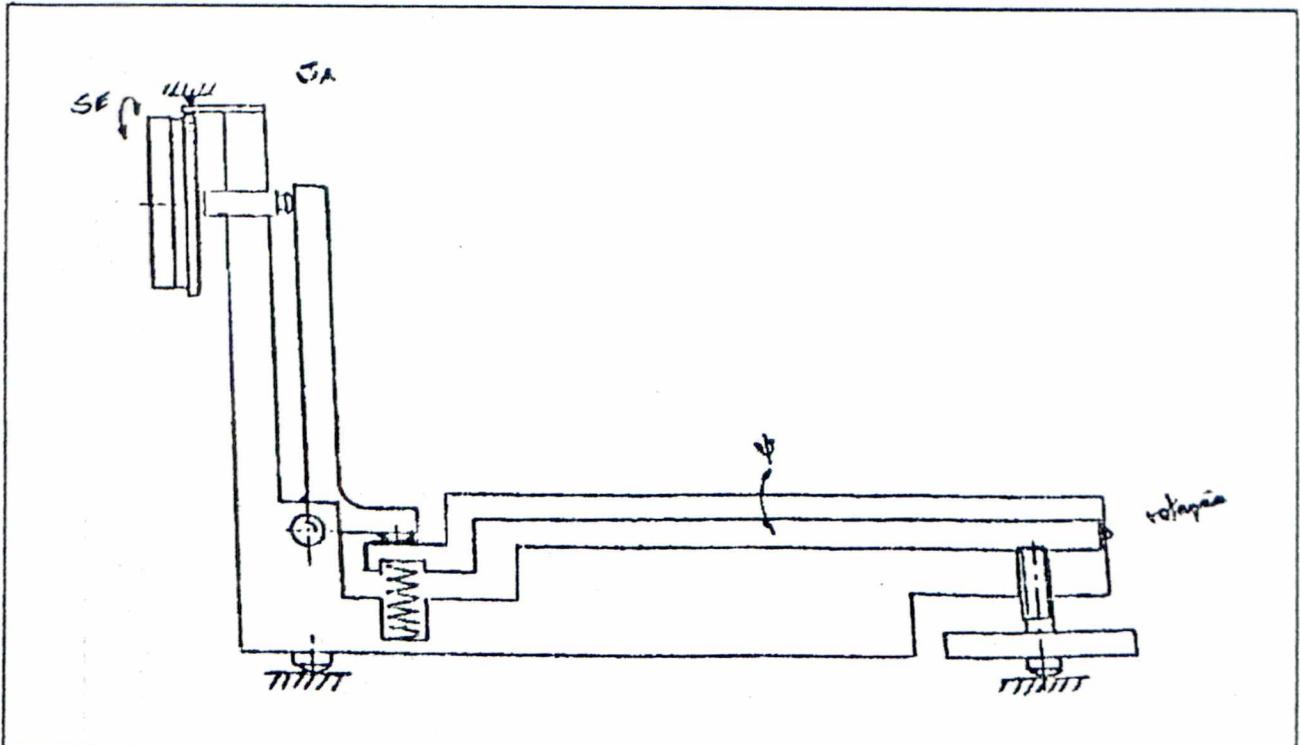
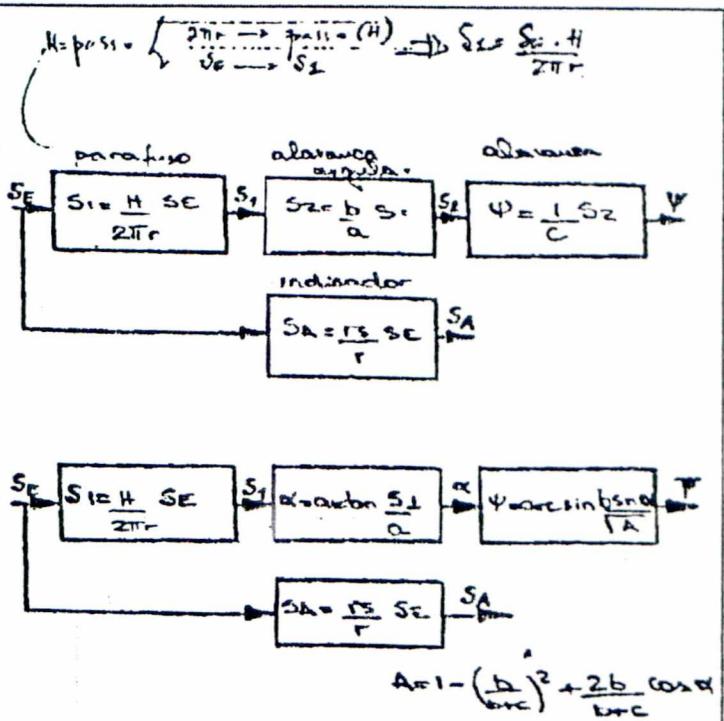
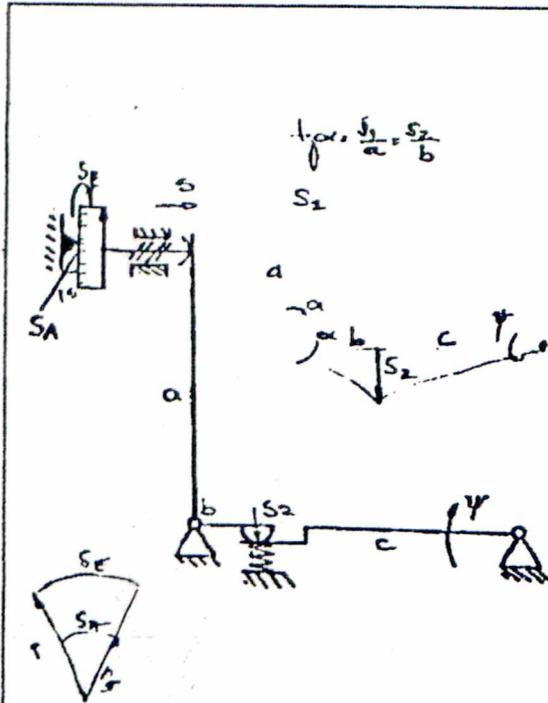


Figura 4-7b - Dispositivo simplificado: elementos mais importantes para a função. Exemplo de obtenção de estrutura de funções parciais a partir de produto já conhecido.
(Fonte: HÖHNE, 1990).

apresentando o princípio técnico idealizado para o dispositivo (Fig. 4-7c) e, finalmente, chega-se à estrutura funcional que representa o produto (Fig. 4-7d).

Por outro lado, se a escolha tiver sido feita no sentido de se trabalhar como "projeto novo", admite-se não haver informações previamente conhecidas para a composição inicial de uma estrutura de funções parciais. Para se chegar às funções parciais que conseguem representar a função global do produto em estudo, deve-se percorrer um caminho de crescente abstração, com informações processadas paulatinamente até a obtenção das funções parciais,

funções elementares e de suas estruturas respectivas (Fig. 4-4).



Figuras 4-7c; 4-7d - Princípio técnico e estruturas funcionais do dispositivo, segundo HÖHNE (1990), para obtenção de estrutura de funções parciais a partir de produto já conhecido.

Para isso, é necessário retomarem-se as sentenças de função já elaboradas para as tarefas parciais. Essas sentenças de função foram declarações livremente expressas, obtidas como expansão da idéia existente de formulação generalizada da tarefa a ser realizada.

No exemplo do item anterior, havia-se chegado à seguinte declaração da tarefa:

"projetar um dispositivo para medir deformação de amostra de produto devida à força aplicada".

A partir daí, podem ser desenvolvidas idéias que conduzem às sentenças seguintes sobre as funções a serem realizadas pelo produto em estudo:

- transformar energia em força e em movimento;
- iniciar e terminar o trabalho de modo controlado;
- medir força aplicada;
- medir deformação resultante;
- realizar trabalho sobre a amostra (submeter amostra a carregamento).

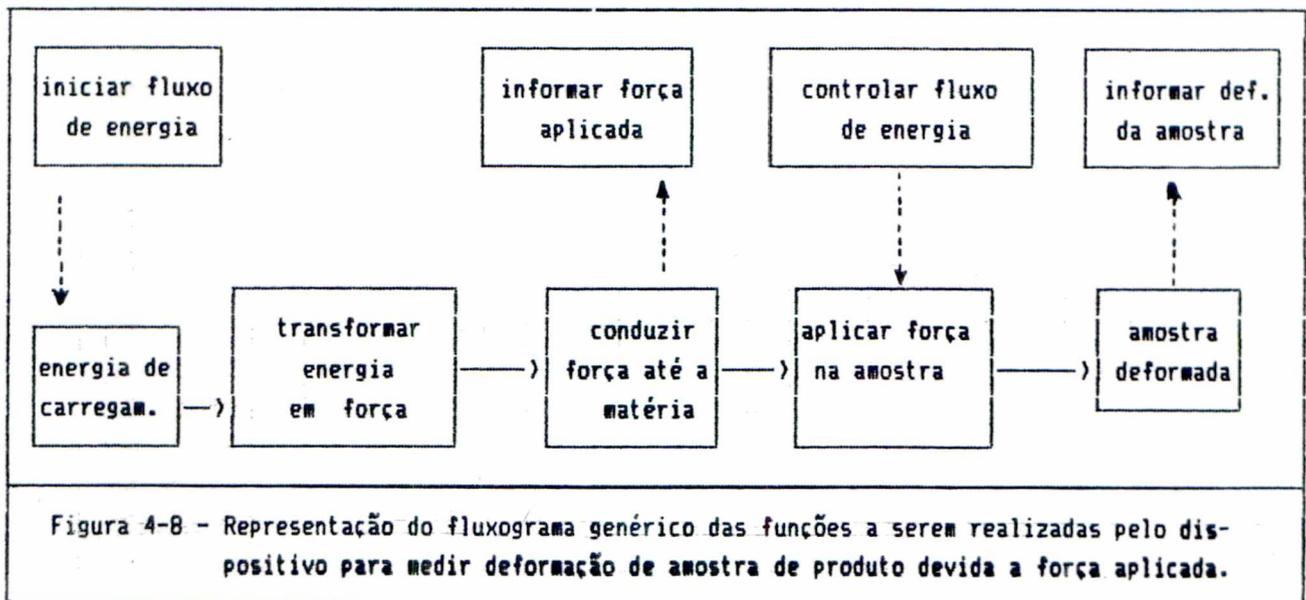
O processo de obtenção das funções parciais transforma, a seguir, essas sentenças de função livremente desenvolvidas em outras sentenças de função agora cuidadosamente elaboradas, com utilização das grandezas genéricas (matéria, energia, sinal) e do arquivo de verbos técnicos. A finalidade disso tudo é generalizar os resultados obtidos antes. Para o exemplo acompanhado, fez-se a seguinte generalização:

1. iniciar e finalizar o fluxo de energia de forma controlada (por informação ou sinal);
2. transformar energia em força e movimento;
3. medir força aplicada (sinal);
4. medir deformação da matéria (sinal);
5. tensionar (movimentar) matéria, por adição de energia.

Tem-se, assim, um fluxograma das funções genéricas, isto é, tem-se uma seqüência ordenada das funções a serem realizadas pelo produto em projeto, funções essas que são expressas pelas grandezas genéricas matéria, energia e sinal (Fig. 4-8).

Com essa estrutura genérica de funções, é possível desenvolver a estrutura de funções elementares. No exemplo que es-

tá sendo acompanhado, a função principal é a de **deformar matéria** (Fig. 4-9a). A energia de deformação é aplicada à matéria (Fig. 4-9b). Os sinais que indicam a deformação da matéria e a intensidade da força aplicada são apresentados na Fig. 4-9c. A energia aplicada é ajustada, de acordo com as informações sobre a força aplicada e a deformação ocorrida até então (Fig. 4-9d); parte dessa energia é dissipada no meio ambiente, devida a perdas por transformação em calor. Finalmente, a estrutura de funções elementares pode ser vista como um todo (Fig. 4-9e).



É possível visualizar, também, todos os subsistemas envolvidos na operação: o objeto a receber força de deformação; o subsistema que fornecerá informações para ajuste da força aplicada; um subsistema "apalpador", a partir do qual serão geradas informações sobre a deformação ocorrida com o material; e o subsistema gerador da força de deformação.

A obtenção de pelo menos uma estrutura de funções elementares para o produto em estudo representa a conquista de uma importante etapa na pesquisa de concepções para esse produto, pois

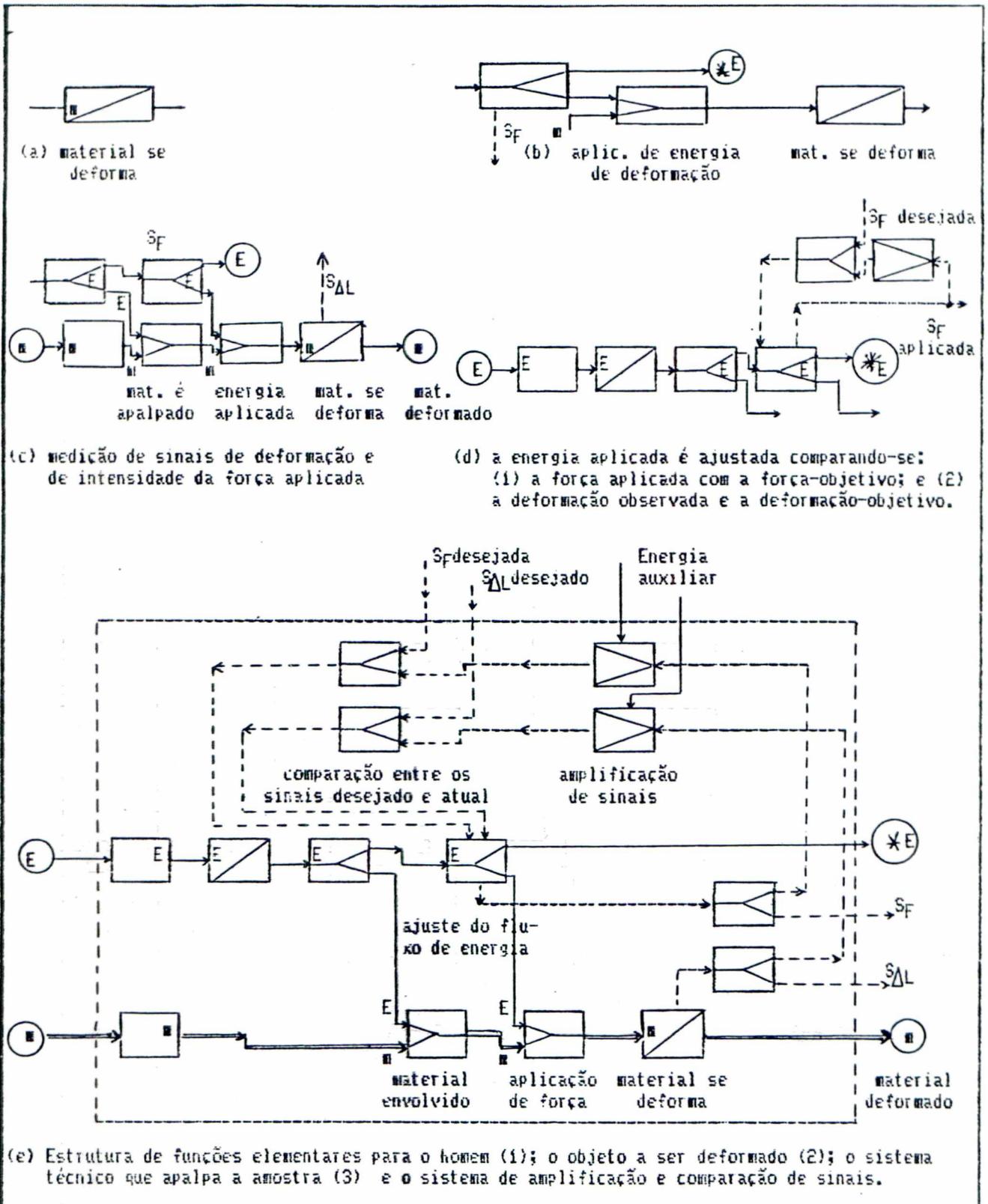
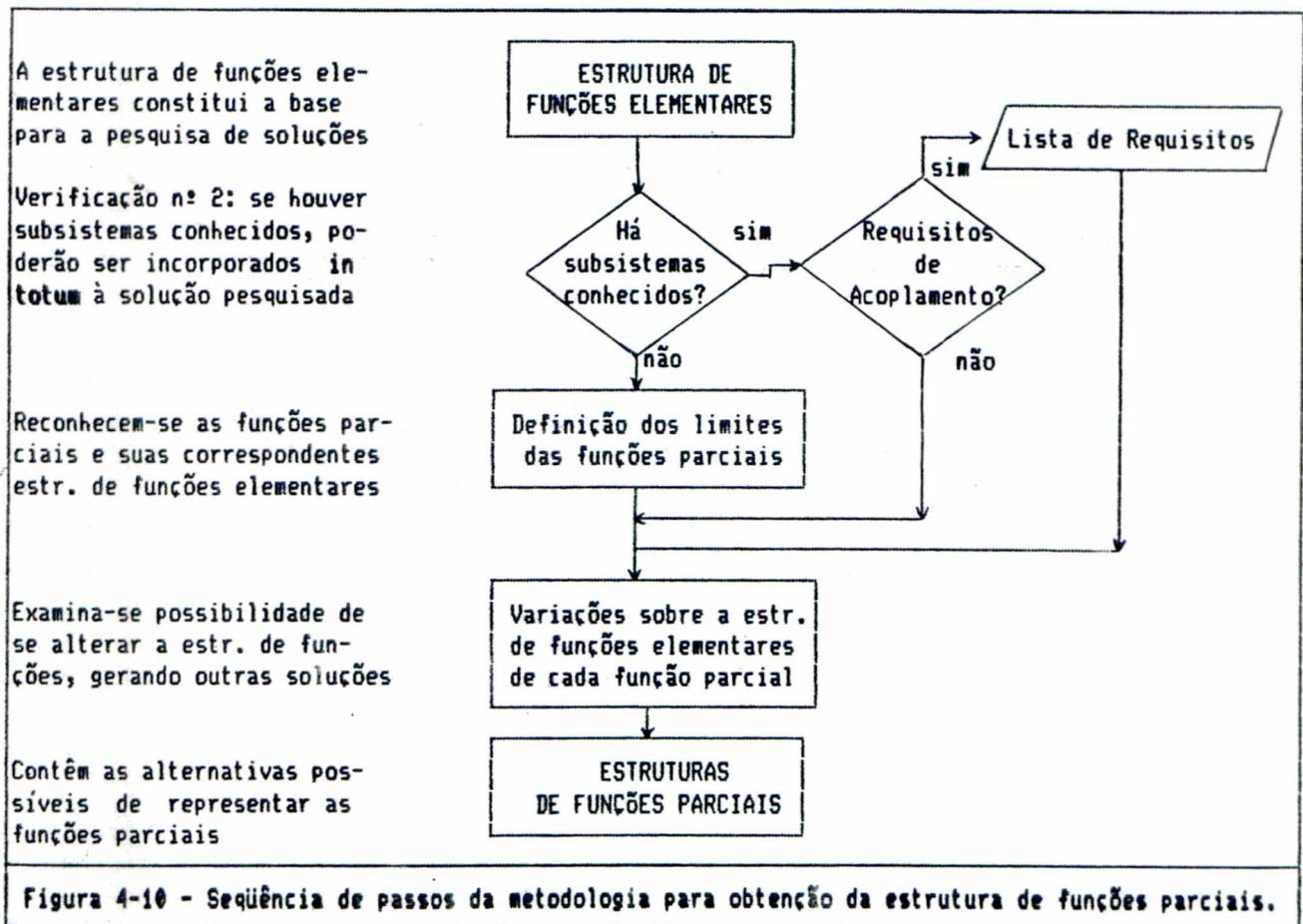


Fig. 4-9 - Exemplo de obtenção da estrutura de funções elementares do dispositivo para medir deformação de amostra de produto devida a força aplicada (Fonte: adaptação de PAHL & BEITZ, 1988).

estabelece a base de apoio para a busca de soluções que virá a seguir.

4.4.10 - Verificação parcial nº 2: há subsistemas conhecidos?

A Fig. 4-10 mostra a seqüência de passos necessários para definir uma estrutura de funções parciais capaz de congregiar as funções necessárias ao produto que está sendo estudado. Essa seqüência pode ser vista como estágio intermediário - porém essencial - para a pesquisa de soluções. Como se pode ver naquela figura, a partir da estrutura de funções elementares já obtida procura-se



chegar às funções parciais devidamente estruturadas - o que representa um avanço mais concreto em direção à obtenção de soluções.

Tendo-se, portanto, uma estrutura de funções elementares que seja capaz de realizar o produto, é necessário examiná-la para verificar se há algum subsistema já conhecido que poderá ser utilizado no projeto.

Esta é uma situação de decisão diferente da "verificação parcial nº 1", quando se pretendia direcionar a utilização da metodologia de projeto para uma situação mais simples - na qual todas as funções parciais que interessam ao projetista são conhecidas: neste caso, já há um produto conhecido em que se basear para estabelecer as funções parciais e suas respectivas estruturas de funções elementares -, ou para trabalhar com projeto novo, situação em que se admite que as funções parciais são desconhecidas.

No caso da presente verificação parcial, o usuário é levado a refletir sobre se há subsistemas já conhecidos que eventualmente possam ser aproveitados ou reprojitados para serem incorporados à solução do problema em estudo. Por exemplo, se o problema em estudo tiver como uma de suas funções parciais a mudança de velocidades de operação, sabe-se que essa mudança poderá ser feita com sistemas já conhecidos e testados, como caixa de câmbio, cames, correias e polias com diâmetros diferentes, etc..

Soluções de subsistemas conhecidos poderão ser incorporadas *in totum* e sem modificações à estrutura em elaboração. Neste caso, as entradas e saídas do subsistema conhecido deverão ser conectadas com os demais subsistemas já existentes na estrutura em elaboração. Para isso (embora a princípio não seja obrigatório), são estabelecidos requisitos de acoplamento, os quais irão garantir a compatibilização desses subsistemas conhecidos com o restante das funções elementares a que vão ser conectados.

Uma dúvida que aqui poderia ser levantada é quanto à possibilidade de existir uma função parcial que venha a ser incorporada à estrutura de funções parciais em elaboração **sem requisito de acoplamento**, conforme aventado no parágrafo anterior. A objeção poderia considerar o argumento de que **qualquer função parcial**, para ser incorporada a uma estrutura que está sendo idealizada, **exige** que se compatibilizem suas entradas e saídas com a estrutura que por outro lado vem sendo elaborada. Neste caso, o que se pode dizer a favor dessa alternativa (a não-obrigatoriedade do requisito de acoplamento) é o fato de ela ser genérica, isto é, essa alternativa admite como **possível** existir tal função parcial, mesmo que ela surja apenas poucas vezes. Portanto, a bem da generalidade com que a metodologia foi elaborada, mantém-se essa alternativa - mesmo considerando-se que sua utilização poderá ser pequena.

Quando forem registradas todas as subfunções conhecidas e seus respectivos Requisitos de Acoplamento (se houver), está-se no ponto de definir os limites das demais funções parciais a serem realizadas pelo produto em estudo.

4.4.11 - Definição dos limites das funções parciais.

Definir "limites das funções parciais" significa delimitar as funções parciais de modo a que seja possível visualizá-las por inteiro, com suas funções elementares componentes, suas entradas e suas saídas. A partir da estrutura de funções elementares completa, devem-se definir, com toda a clareza possível, os limites de cada função parcial. Assim, para cada função parcial deve-se indicar quais são suas entradas, quais são suas saídas e qual é a ação que se espera ver realizada por essa função parcial.

Devem ser definidas, também, as grandezas (sinal, energia, matéria) que farão a integração das diversas funções parciais entre si. Este aspecto é particularmente importante para, posteriormente, poder-se fazer análise de compatibilidade entre as várias funções parciais existentes.

A delimitação de cada função parcial é feita pelo projetista, na medida em que ele reconhece, na estrutura de funções elementares completa, que um certo conjunto dessas funções elementares é capaz de realizar uma desejada função. Ao identificar a função parcial que realizará alguma função do produto, nessa análise, o projetista definirá quais funções elementares farão parte dessa função parcial, e explicitará também quais serão as entradas e as saídas dessa função parcial.

Esse procedimento é aplicado até que todas as funções elementares interligadas pela estrutura já definida anteriormente estejam contidas dentro de alguma função parcial - a menos, é claro, que alguma função elementar constitua ela própria uma função parcial (e, neste caso, a afirmação acima continuará sendo válida). Ter-se-á, então, um conjunto de funções parciais interligadas em estrutura própria, isto é, ter-se-á uma estrutura de funções parciais, onde as saídas de algumas serão entradas de outras funções parciais.

É possível, ainda, modificar a posição relativa que essas funções parciais mantêm entre si, de modo a se obterem outras estruturas diferentes que consigam congregiar todas as funções parciais aqui delimitadas. Essas outras estruturas, se se conseguirem montá-las, também serão alternativas de composição a serem levadas em consideração durante a busca de soluções para o produto em estudo.

Conforme ocorre ao término de cada uma das fases do projeto, neste ponto é feita avaliação de cada estrutura de funções parciais gerada, por comparação com a Lista de Requisitos inicialmente obtida. A seguir, estuda-se a possibilidade de serem realizadas variações sobre a estrutura de funções elementares que compõe cada uma das funções parciais.

4.4.12 - Variações sobre a estrutura das funções elementares que compõe cada função parcial.

Pesquisar sobre a existência de variações eventualmente possíveis sobre a já obtida estrutura de funções elementares significa analisar a possibilidade de modificar a estrutura genérica, já construída, de cada função parcial - tentando, assim, visualizar novas maneiras de realizar a função parcial estudada. Para isso, especula-se com a possibilidade de:

- alterar a seqüência entre as funções elementares, ou alterar sua posição relativa;
- agrupar funções elementares, de modo que duas ou mais funções sejam realizadas por uma outra função única; ou, de outro lado, substituir uma função elementar por outras, para que uma função elementar inicialmente única seja substituída por duas ou mais;
- suprimir funções elementares da estrutura de funções, ou acrescentá-las;
- trocar de lugar a entrada de informação, material e/ou de energia para a estrutura de funções elementares.

Exercendo alguma (ou algumas) dentre as ações acima descritas, possivelmente estará sendo modificada também a solução

dada à função parcial que congrega aquelas funções elementares agora alteradas. Se for esta a situação - se houver alterações na função parcial correspondente -, deve-se refazer o estudo das estruturas possíveis para agregar as funções parciais, e refletir se será o caso de alterar ou adaptar essas estruturas à nova função parcial, ou até mesmo criar outra estrutura de funções parciais, que incorpore a alteração ocorrida. Este processo iterativo deve prosseguir até ser esgotada a possibilidade de se fazerem mais alterações nas posições relativas das funções elementares de cada função parcial, ou até que se conclua que não há mudanças possíveis na estrutura geral das funções parciais.

As variações encontradas para as estruturas de funções elementares de cada função parcial poderão ser incorporadas a outras estruturas de funções parciais, gerando assim tantas estruturas alternativas quantas o projetista conseguir imaginar.

Do mesmo modo que em situações anteriores, considera-se importante, também aqui, examinar todas as variações encontradas para as estruturas de funções parciais quanto ao atendimento dado aos requisitos inicialmente estabelecidos para o projeto. Por isso, após o estudo sobre essas possíveis variantes da estrutura de funções elementares, é feita uma inspeção, e as variantes consideradas inadequadas para atendimento aos requisitos são abandonadas. As variantes consideradas aptas para realizar o projeto em estudo são incorporadas às estruturas de funções elementares existentes, e passam a fazer parte do conjunto de estruturas que seguirão adiante pela metodologia do projeto.

4.4.13 - A pesquisa de princípios de solução.

O resultado conseguido com a aplicação da metodologia de projeto, até o presente momento, pode ser resumido como sendo uma continuada evolução, que foi iniciada a partir da declaração da tarefa e prosseguiu em um caminho que contém níveis de abstração cada vez mais elevados. Desde então, foram obtidas generalizações que visavam, primeiro, à obtenção da função global; depois, à explicitação de funções elementares e de uma estrutura que interligasse essas funções; finalmente, à identificação das funções parciais que pudessem realizar a tarefa inicialmente posta como problema a ser resolvido pelo usuário-projetista (Figuras 4-5 e 4-10) - funções parciais essas devidamente interligadas por uma estrutura que as suporta e organiza.

Com a obtenção da estrutura de funções parciais e de suas possíveis variantes, termina a aplicação de abstração e começa outra fase: a de concretização da solução procurada. O objetivo é identificar efeitos químicos, físicos ou biológicos que consigam realizar cada uma dessas funções elementares. Para isso, é possível utilizar catálogos de efeitos, onde há informações organizadas sobre o assunto (veja-se o Anexo 2).

4.4.14 - A obtenção da matriz de efeitos.

Na seqüência da metodologia de projeto (Fig. 4-13), busca-se agora associar a cada função elementar pelo menos um efeito que consegue realizá-la: conforme assegura a teoria, para que haja uma concepção para o produto em estudo é preciso que cada função elementar tenha, vinculado a si, pelo menos um efeito que consiga torná-la realidade. Havendo um conjunto completo de efeitos vinculado a cada estrutura de funções elementares, e se existir

coerência entre esses efeitos, é lícito supor que se consiga obter pelo menos uma solução para o produto estudado.

Percorrendo catálogos adequados, o projetista consegue selecionar os diversos efeitos que, segundo sua percepção, podem realizar cada função elementar enfocada.

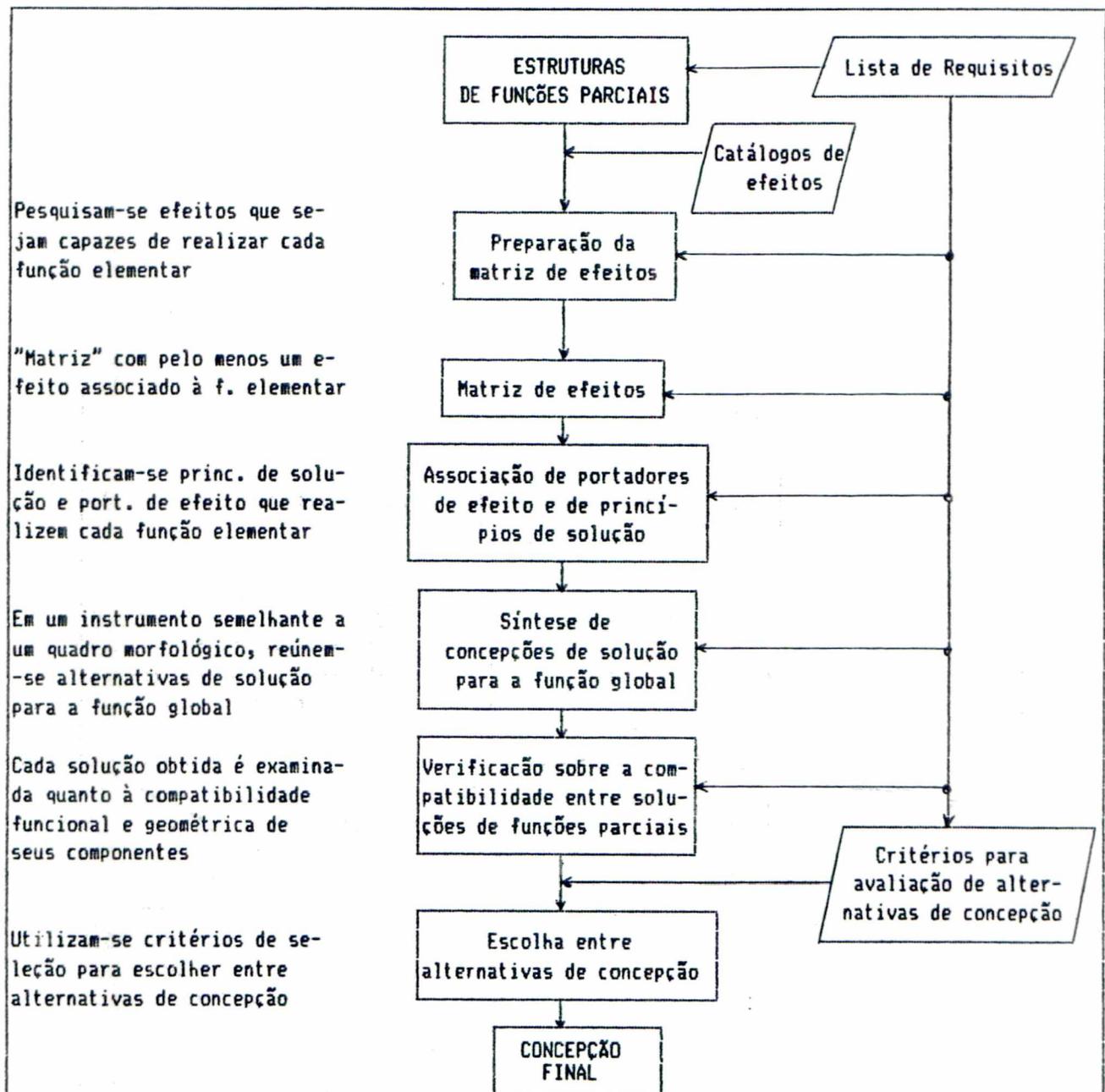
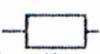
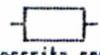


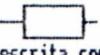
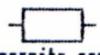
Figura 4-13 - Sequência de passos na metodologia para a pesquisa de soluções do produto em estudo.

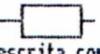
Com o auxílio de catálogos, portanto, há facilidade adicional para se construir a **matriz de efeitos** : trata-se de um conjunto de informações disposto em forma de "árvore", na qual se associam efeitos para cada função elementar. A Fig. 4-14 mostra como essas informações poderão ser trabalhadas pelo projetista, sem que ele perca a noção do conjunto de informações já conseguido: para cada função parcial delimitada, para cada variante que a função parcial tiver, para cada função elementar dessa variante, podem ser descritos efeitos físicos, químicos ou biológicos que realizem a função elementar componente desse conjunto. Em outras palavras, são efeitos associados à função elementar, da variante da função parcial focalizada.

É de se antever, neste momento, a "explosão" de soluções dispostas na forma de ramos de uma árvore de soluções: quanto maior for a variedade de alternativas existentes nos disponíveis Catálogos de Efeitos, ou quanto maior for a experiência profissional do projetista, maior será a quantidade de soluções colocadas para a análise de viabilidade e de compatibilidade. Existe, certamente, o aspecto positivo de, ao haver muitas opções de soluções, ficarem aumentadas as possibilidades de escolha do projetista e, também, as possibilidades de se chegar a soluções finais mais adequadas. Por outro lado, há o aspecto negativo de que será necessário muito esforço para se destacar, de entre a grande quantidade de alternativas possíveis, aquela que poderá mais bem atender aos objetivos do projeto. Neste caso, a solução adotada poderá não ser a melhor solução disponível (e sim apenas uma solução aceitável) por não ter sido possível identificá-la no conjunto das soluções oferecidas à escolha do projetista.

Neste ponto, deve-se ressaltar que a concepção do

FUNÇÃO PARCIAL 1	
VARIANTE 1	
F. elementar 1  (descrita com v. técnico e predic.)	Efeito 1: descrição Efeito 2: descrição Efeito n: descrição
.....	
F. elementar k  (descrita com v. técnico e predic.)	Efeito 1: descrição Efeito 2: descrição Efeito m: descrição

FUNÇÃO PARCIAL 1	
VARIANTE 2	
F. elementar 1  (descrita com v. técnico e predic.)	Efeito 1: descrição Efeito 2: descrição Efeito n: descrição
.....	
F. elementar k  (descrita com v. técnico e predic.)	Efeito 1: descrição Efeito 2: descrição Efeito m: descrição

FUNÇÃO PARCIAL 2	
VARIANTE 1	
F. elementar 1  (descrita com v. técnico e predic.)	Efeito 1: descrição Efeito 2: descrição Efeito n: descrição
.....	

.....

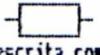
FUNÇÃO PARCIAL j	
VARIANTE 1	
F. elementar 1  (descrita com v. técnico e predic.)	Efeito 1: descrição Efeito 2: descrição Efeito n: descrição
.....	(etc., etc., etc.)

Figura 4-14 - Exemplo de apresentação de parte de uma matriz de efeitos construída no SADEPRO.

produto não estará assegurada apenas por haver no mínimo um efeito associado a cada função elementar: é preciso assegurar também que haja coerência entre esses efeitos, ou seja, é necessário que seja possível realizá-los em conjunto, para garantir que cada função elementar seja realizada e, assim, também o conjunto delas seja realizado. Em etapa posterior do projeto, é examinada cuidadosamente a possibilidade de haver ou não coerência entre os efeitos e entre os princípios de solução decorrentes deles.

Depois de completada a matriz de efeitos associados a cada função elementar, e também para estudar sua adequação aos propósitos inicialmente estabelecidos para o projeto em curso, submete-se a matriz de efeitos a comparação com a Lista de Requisitos, com o objetivo de verificar se todos os efeitos relacionados são compatíveis com as exigências dessa Lista.

Deve-se aqui ressaltar que, apesar de serem muito úteis durante a fase de pesquisa de efeitos, os catálogos devem ser vistos em sua dimensão correta: são auxiliares para a atividade do projetista (e sob este aspecto são realmente úteis, pois facilitam o acesso do interessado a seu conteúdo organizado, tão vasto e abrangente quanto se conseguir preparar o catálogo) e, como tal, orientam a pesquisa de efeitos, em sua fase inicial. Isso não elimina o trabalho de reflexão sobre a pesquisa de soluções e de portadores de efeitos que se segue a esta etapa. Por isso, em passo de trabalho cada vez mais concreto, inicia-se a seguir a identificação de princípios de solução que possam realizar cada um dos efeitos aqui relacionados.

4.4.15 - Preparação da matriz de portadores de efeito e de princípios de solução

"Portador de efeito" é expressão aqui utilizada para designar o elemento que propicia a realização de uma função desejada, pela aplicação do efeito selecionado para fazê-lo. Por exemplo, o "efeito alavanca" para ampliação de forças pode ser reconhecido em mecanismos tão diferentes quanto uma manivela e uma engrenagem. Assim, uma avalanca e uma engrenagem podem ser considerados diferentes portadores de efeito para ampliação de forças, ambos utilizando o mesmo efeito alavanca.

"Princípio de solução", por seu lado, é o contexto em que está colocado o portador de efeito, contexto esse que possibilita realizar a função desejada pela aplicação do efeito selecionado para fazê-lo. Colocado dentro de um mecanismo adequado, o portador do efeito concretiza o princípio de solução. No exemplo acima, o movimento de uma manivela pode ampliar a força aplicada a um cilindro, necessária para retirar-se água de um poço; e uma engrenagem de raio R que aciona outra engrenagem de raio r (onde $R > r$), pode representar o efeito alavanca para multiplicar a força nela aplicada e, assim, retirar água do poço de outra maneira. Nestes dois casos, a manivela presa ao cilindro, de um lado, e o conjunto das duas engrenagens, de outro, são exemplos de diferentes princípios de solução, já que representam a situação em que estão inseridos o cilindro e as engrenagens, o que lhes permite concretizar a função de amplificar forças através do efeito "alavanca".

A preparação da matriz de portadores de efeito é feita simultaneamente com a preparação da matriz de princípios de solução, pois é entendido que quando o projetista visualiza um por-

tador de efeito - isto é, quando ele mentaliza o elemento que lhe possibilitará aplicar determinado efeito para concretizar uma função - ele o faz já imaginando esse portador de efeito dentro de um contexto de funcionamento, ou seja, associado a um princípio de solução.

Assim, para estabelecer a matriz de portadores de efeito e de princípios de solução, procuram-se encontrar maneiras de realizar cada uma das funções elementares estruturadas dentro da função parcial que a contém. Por exemplo, suponha-se a função parcial "transmitir força", estruturada em duas funções elementares: "modificar força" e "amplificar força", nessa ordem (Fig. 4-15). Se a cada uma das funções elementares estiver associado um (ou mais de um) efeito que poderá realizá-la, então a cada efeito será associado um (ou mais de um) portador de efeito, cada qual com um (ou mais de um) princípio de solução correspondente (Fig. 4-16).

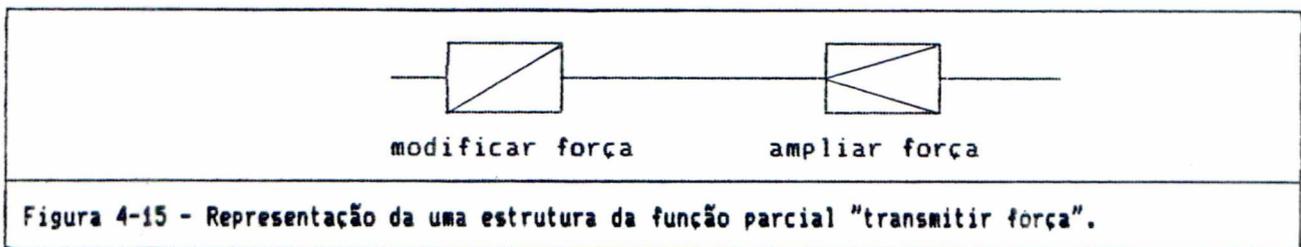


Figura 4-15 - Representação da uma estrutura da função parcial "transmitir força".

Desse modo, com a definição do portador de efeito e com a identificação do princípio de solução correspondente, tem-se preparada uma matriz com as possibilidades de solução associadas a cada função elementar. Estará, assim, montada a chamada Matriz de Portadores de Efeito e de Princípios de Solução.

É necessário, a seguir, verificar se os requisitos de projeto estão sendo respeitados pelos elementos da matriz aqui

obtida. Faz-se, então, uma inspeção com a Lista de Requisitos original: qualquer portador de efeito ou princípio de solução que não satisfizer a algum requisito obrigatório deverá ser excluído da Matriz, já que um ou outro - ou ambos - não estarão conseguindo atender a todas as exigências inicialmente estabelecidas para o projeto.

A partir de agora, já existem condições suficientes para se buscar uma solução integrada para cada função parcial: é o que será explicado a seguir.

FUNÇÃO PARCIAL j : transmitir força			
VARIANTE k			
F. elementar 1  (descrição)	Efeito 1: (descrição)	Port. de efeito 1: (descrição)	Princ. de sol. 1: (descrição)
			Princ. de sol. 2: (descrição)
		Port. de efeito 2: (descrição)	Princ. de sol. 1: (descrição)
			Princ. de sol. 2: (descrição)
	Efeito 2: (descrição)	Port. de efeito 1: (descrição)	Princ. de sol. 1: (descrição)
			Princ. de sol. 2: (descrição)
			Princ. de sol. 3: (descrição)
		Port. de efeito 2:	Princ. de sol. 1: (descrição)
	Efeito 3: (descrição)	Port. de efeito 1: (descrição)	Princ. de sol. 1: (descrição)
Princ. de sol. 2: (descrição)			
Princ. de sol. 3: (descrição)			
Princ. de sol. 4: (descrição)			
F. elementar 2  (descrição)	Efeito 1: (descrição)	Port. de efeito 1: (descrição)	Princ. de sol. 1: (descrição)
			Princ. de sol. 2: (descrição)
		Port. de efeito 2: (descrição)	Princ. de sol. 1: (descrição)
			Princ. de sol. 2: (descrição)
	Efeito 2: (descrição)	Port. de efeito 1: (descrição)	Princ. de sol. 1: (descrição)
			Princ. de sol. 2: (descrição)
			Princ. de sol. 3: (descrição)
		Port. de efeito 2:	Princ. de sol. 1: (descrição)
	Efeito 3: (descrição)	Port. de efeito 1: (descrição)	Princ. de sol. 1: (descrição)
Princ. de sol. 2: (descrição)			
Princ. de sol. 3: (descrição)			
Princ. de sol. 4: (descrição)			

Figura 4-16 - Associação de portadores de efeito e de princípios de solução a funções elementares.

4.4.16 - Obtenção de solução completa para a função parcial.

Se até agora a função parcial só podia ser vista como um agregado de funções elementares, a partir deste instante é possível definir a função parcial **integrada**, isto é, cada função parcial passará a ser vista como **um todo**.

O procedimento descrito a seguir pode ser entendido como o início da síntese de solução para o problema enfocado: partindo-se de soluções já pensadas para cada uma das funções elementares que compõem a estrutura de funções elementares, busca-se encontrar a solução da função parcial escolhendo-se entre alternativas de solução já pensadas para as funções elementares.

A combinação de princípios de solução para realizar a função parcial é, portanto, **atividade de síntese**: soluções de funções elementares são combinadas, dentro das compatibilidades lógica e física exigidas, para comporem a concepção da função parcial: é a **síntese da função parcial**, que ocorre neste ponto da metodologia de concepção do produto.

Um **método de síntese** comumente utilizado nesta fase do desenvolvimento do produto é o **método da matriz morfológica**. É técnica útil quando se deseja combinar elementos diferentes da mesma estrutura de funções, compondo com eles um conjunto global. A aplicação dessa técnica está bem explicada na bibliografia citada (PAHL & BEITZ, 1988; BACK, 1983).

Os princípios encontrados para solucionar as funções elementares são selecionados e agrupados em módulos realizáveis (isto é, em módulos exequíveis). Essa associação de princípios deve ser orientada pela estrutura de funções elementares, onde estão estabelecidas as seqüências das funções elementares e as ligações

existentes entre essas funções elementares. Mais adiante, procedimento semelhante será aplicado para a composição da função global, a partir das alternativas de funções parciais criadas neste passo de trabalho.

A integração - ou síntese - da solução para a função parcial será feita escolhendo-se, dentre as opções disponíveis, uma alternativa para realização de cada função elementar componente da estrutura total da função parcial. Em outras palavras, escolhe-se um único efeito, um único portador de efeito e também um único princípio de solução para realizar cada uma das funções elementares interligadas pela estrutura de funções elementares da função parcial enfocada.

Essa escolha deve ser feita para cada uma das funções elementares individualmente, e para todas elas - sem perder de vista o fato de que todas as funções elementares encontram-se devidamente interligadas através de sua correspondente estrutura de funções elementares.

Assim, para cada função elementar ter-se-á um efeito, um portador de efeito e um princípio de solução que consegue realizar essa função elementar.

Como exemplo desse procedimento, na Fig. 4-16 poder-se-ia escolher, para a função elementar número 1 (ampliar força), o efeito 2, o portador de efeito 3 e o princípio de solução 1. Do mesmo modo, para a função elementar número 2 (modificar força), poder-se-ia escolher o efeito 2, o portador de efeito 1 e o princípio de solução 3. A escolha dessas duas alternativas, dentre todas as possibilidades existentes, caracteriza uma concepção completa para a função parcial considerada. Como resultado dessas escolhas indi-

viduais, para a função parcial em estudo poder-se-ia ter alguma solução que as utilize em seu conjunto, integrando-as.

Neste ponto, é necessário examinarem-se dois aspectos da solução completa da função parcial: se há compatibilidade entre as soluções internas, escolhidas para solução da função parcial completa, e se essas soluções escolhidas estão de acordo com a Lista de Requisitos inicialmente estabelecida. Durante a inspeção, se for constatado que alguma das alternativas resultantes como solução da função parcial não demonstra compatibilidade irrestrita entre as soluções internas encontradas para suas funções elementares, ou se alguma dessas alternativas não preenche todos os requisitos obrigatórios estabelecidos para o projeto em desenvolvimento, essa alternativa será excluída da possibilidade de participar como parte da solução da função global.

Em decorrência dessa análise, obtêm-se alternativas de solução das funções parciais, já examinadas quanto à coerência de solução de seus elementos internos e quanto à satisfação aos requisitos de projeto.

Esse procedimento é repetido para todas as funções parciais integrantes da estrutura global de funções. No final deste passo de trabalho, ter-se-á uma (ou mais de uma) alternativa completa de solução para cada uma das funções parciais do produto em estudo. O conjunto dessas alternativas representa a matriz de funções parciais.

Na seqüência, tem início o procedimento que conduzirá à síntese da solução global: procura-se estabelecer, então, as concepções completas que serão capazes de realizar a função global do produto em estudo.

4.4.17 - Síntese da concepção de solução para a função global.

A concepção de uma função global é composta pela solução das funções parciais que integram a estrutura global. Por sua vez, a solução de cada função parcial contém um conjunto de efeitos, portadores de efeito e princípios de solução que a realizam. Assim, a solução de dada função parcial, justaposta com a solução das demais funções parciais integrantes da estrutura global, produz uma solução completa para a função total. Em outras palavras: neste ponto já existem soluções para as funções parciais arroladas como necessárias para realizar o produto. Escolhendo-se, então, uma solução para cada função parcial e agrupando-a com as soluções das demais funções parciais integrantes da estrutura global, ter-se-á uma concepção completa de solução para a função total.

Para formar uma concepção de função global, o usuário tem que escolher uma única alternativa dentre todas as soluções disponíveis para cada uma das funções parciais. Dessa forma, é possível compor uma concepção de função global.

Se resolver trocar uma das soluções de função parcial já escolhida por outra, também disponível para sua escolha, o projetista terá nova concepção de função global - sendo esta última provavelmente diferente da primeira.

Como se vê, este passo de trabalho tem como consequência a obtenção da síntese de concepção para a função global do produto em estudo. Conforme descrito, escolhendo e combinando alternativas disponíveis para solucionar cada função parcial, é possível sintetizar diferentes concepções de função global. Evidentemente, não é através de escolhas ao acaso que se chegará a concepções exequíveis. É necessário sempre ter-se em mente que o critério

de escolha é a possibilidade de integração entre as soluções das funções parciais selecionadas, assim permitindo a concretização de um conjunto integrado de soluções parciais justapostas. Por isso - para garantir que as concepções sintetizadas serão tecnicamente viáveis -, é necessário proceder-se a uma verificação de compatibilidade técnica e funcional sobre as concepções conseguidas para a função global, conforme vem exposto a seguir.

4.4.18 - Verificação de compatibilidade entre as funções parciais escolhidas para integrar a função global.

Da mesma maneira que foi feito para com a síntese das funções parciais, também cada uma das concepções sintetizadas para a função global é examinada quanto à coerência de suas soluções parciais componentes, e também quanto à satisfação dos Requisitos de projeto inicialmente estabelecidos. Caso seja encontrada qualquer discrepância em relação a qualquer desses dois aspectos, a concepção sintetizada não pode ser considerada solução da função global, e por isso ela é excluída do conjunto de soluções possíveis.

Em seguida a esta verificação, as concepções que estiverem **completas** - isto é, que contiverem soluções definidas para todas as suas funções parciais - e **coerentes** - significando que há compatibilidade entre todos os componentes internos de cada função parcial e entre as diferentes funções parciais - serão submetidas a seleção. Aí, as concepções serão avaliadas quanto ao grau de atendimento que apresentam em relação aos critérios estabelecidos para escolha entre as alternativas de concepção existentes.

Avaliar as alternativas de concepção e escolher

aquela mais adequada aos objetivos do projetista é, portanto, o próximo passo de trabalho a ser vencido pelo projetista.

4.4.19 - Avaliação de alternativas de concepção.

Uma avaliação para a escolha adequada da solução, no final da fase de concepção do produto, é especialmente importante porque, de um lado, deseja-se ter uma solução coerente como base para os trabalhos seguintes do projeto do produto e, de outro lado, muitas vezes só se dispõe de informações qualitativas sobre as variantes de solução obtidas até então, o que pode dificultar a escolha entre elas.

Baseado nas supostas qualidades de um produto desenvolvido segundo a solução enfocada, o projetista submete essa variante de concepção a julgamento. Neste caso, a avaliação tanto pode servir para estabelecer uma comparação relativa das soluções entre si, como para comparar as soluções disponíveis com um caso considerado ideal, procurando nomear como solução final a alternativa que alcançar maior "grau de otimização" em relação àquele padrão.

Ainda considerando que provavelmente durante a fase de concepção o grau de informação é relativamente baixo, avaliações são feitas principalmente sob pontos de vista técnicos. Nesta fase, aspectos econômicos e de fabricação são principalmente qualitativos e em geral assumem a forma de recomendações feitas ao projetista (por exemplo: "evitar custos altos de fabricação devidos à necessidade de tratamento térmico ou retificação de superfície"). Para a concepção, critérios econômicos apenas poderão ser examinados superficialmente - e, às vezes, sem isenção -, e aparecem com mais ênfase somente após a fase do projeto detalhado. Apesar disso, é

recomendável incluir, na comparação entre alternativas de concepção, avaliações relativas de cunho geral como, por exemplo, "gasto esperado de fabricação", "aproveitamento do potencial de fabricação existente na empresa", "número de peças componentes do produto", etc..

Nesse sentido, mesmo a averiguação de custos da função, prevista na metodologia da Análise do Valor (CSILLAG, 1985) como sendo um "passo de avaliação", parece prestar-se menos para a fase de concepção, e mais para o julgamento de projeto de sistemas técnicos já elaborados (além de também prestar-se à procura de pontos fracos e/ou de melhoramentos em produtos já desenvolvidos).

É de se esperar, então, que nesta fase do projeto do produto a avaliação comparativa de variantes de concepção tenha significado maior como um auxílio para as decisões de escolha da concepção de solução adequada. Assim, acontecerá muitas vezes que, apesar do resultado desfavorável da avaliação, ainda algumas variantes de concepção parecem aproveitáveis, e a decisão definitiva só poderá ser tomada após maior concretização da solução e da criação da forma - o que deverá acontecer nas fases do projeto preliminar e projeto detalhado.

Portanto, "avaliar" (*) uma alternativa de concepção, neste ponto do projeto do produto, significa analisar essa concepção à luz de critérios objetivamente definidos - sem perder de vista que esta poderá resultar em uma classificação meramente provisória.

(*) A expressão "seleção entre alternativas" está sendo evitada porque quase sempre induz à pressuposição de que alguma alternativa será adotada como adequada em detrimento de outras consideradas insatisfatórias. Deve-se lembrar que, neste ponto, todas as alternativas disponíveis já foram testadas quanto à sua adequação aos requisitos de projeto, e todas elas foram admitidas como soluções possíveis para o produto em estudo. Como não se trata aqui de rejeitar alguma alternativa, já que todas foram consideradas viáveis, fala-se em escolher a melhor dentre elas, avaliadas e classificadas segundo algum critério objetivo.

Existindo mais de uma alternativa, cada uma deve ser submetida aos mesmos critérios, de forma a se definir uma ordem de importância hierárquica entre as várias possibilidades. Após a ordenação, é possível realizar uma escolha entre elas, ou seja, é possível identificar a concepção mais favorável, de acordo com a visão do projetista e com os objetivos do projeto.

Um aspecto final merece ser comentado: profissionais da área de projeto do produto sabem que a escolha deverá ser feita sob o ponto de vista mais objetivo possível. No entanto, não é raro ver-se a decisão final recair sobre alternativa não classificada entre os primeiros lugares na avaliação. Critérios imponderáveis - como "originalidade da solução", "beleza", "feeling" do tomador de decisões - muitas vezes se sobrepõem aos critérios puramente técnicos, sendo aqueles adotados como elementos de julgamento final na determinação da alternativa supostamente mais adequada.

Apesar disso, a avaliação e escolha entre alternativas de concepção tecnicamente é feita considerando-se as sínteses de solução global obtidas para o produto em estudo. Esse trabalho, portanto, é realizado sobre o conjunto de alternativas de concepção já desenvolvido até então, e estabelece comparação entre as alternativas de concepção disponíveis.

Na bibliografia específica, há vários métodos arrolados para avaliação de alternativas de solução (SELL, 1992; BLANCHARD & FABRYCKY, 1990; PAHL & BEITZ, 1988; BACK, 1983, para citar alguns), os quais oferecem maneiras diferentes de analisar objetivamente as alternativas de concepção para o produto.

Em concordância com o trabalho até aqui desenvolvi-

do, torna-se necessário escolher método de avaliação que se baseie principalmente na Lista de Requisitos inicialmente estabelecida para o produto.

Nesse sentido, um método considerado aceitável é o do atendimento aos requisitos desejáveis da Lista de Requisitos (VDI 2225, 1984; BEITZ, 1972). É método simples e de rápida aplicação, e pondera o grau de atendimento que cada variante de concepção dá aos requisitos de projeto classificados no início do estudo como "desejáveis". Evidentemente, neste ponto do projeto subentende-se que todos os Requisitos "obrigatórios" foram atendidos pela concepção em análise (senão, essa concepção estaria incompleta e, portanto, já teria sido descartada como inaceitável em alguma das etapas anteriores da metodologia).

O método de classificação acima mencionado atribui valores diferenciados a cada um desses requisitos desejáveis. Por exemplo, pode-se atribuir nota 3 para o requisito desejável de pequena importância que for atendido; nota 6 para o requisito desejável de média importância, e nota 10 para o requisito de grande importância que for atendido; nota zero receberá o requisito desejável não atendido pela variante de concepção. Registrando-se os requisitos desejáveis que são individualmente satisfeitos pelas alternativas de solução, é possível calcular-se uma nota média para cada uma das alternativas de concepção existentes. Essa nota média servirá para comparar as alternativas de solução, e estabelecerá uma hierarquização entre as concepções disponíveis.

Dessa maneira, a importância relativa entre alternativas de solução será estabelecida em função do valor médio calculado, o qual representa o quanto cada alternativa dá atendimento aos requisitos "desejáveis" do projeto (Fig. 4-17).

Outro modelo de avaliação - mais complexo e mais completo -, que também utiliza a Lista de Requisitos inicialmente estabelecida para gerar critérios para valoração das concepções de solução, foi sugerido por BEITZ (1972, 1973) e referido em outras publicações (PAHL & BEITZ, 1988; BACK, 1983).

Ordem	Variante de concepção	Pontos
1	Concepção j	35
2	Concepção a	33
3	Concepção l	26
...
...

Figura 4-17 - Exemplo de apresentação do resultado da classificação de alternativas de solução pelo método do atendimento aos requisitos "desejáveis" de projeto.

Neste modelo, auxiliado pela Lista de Requisitos originalmente gerada, o projetista deve estabelecer seus próprios critérios para avaliação da concepção, procurando reconhecer qualidades importantes do produto a ser avaliado e, a partir desse reconhecimento, elaborar objetivos para verificar o cumprimento dessas qualidades e depois elaborar os critérios de avaliação.

Um cuidado a tomar é o de garantir que os objetivos individuais com base nos quais serão produzidos os critérios da avaliação sejam os mais independentes possível entre si (BEITZ, 1973). Este aspecto também foi enfatizado por SELL (1992), e pretende evitar a contradição que haveria se as medidas adotadas para aumentar o valor da utilidade de um critério (ou o grau de cumprimento de um objetivo) de alguma variante fizessem diminuir os valo-

res da utilidade de outros objetivos. Terá de ser assegurado, portanto, que o cumprimento de um objetivo traga por si só contribuição à utilidade geral da variante de concepção, independentemente de conflitos com o cumprimento de outros objetivos.

Nos casos em que o ponto de partida da busca de concepções tiver sido uma Lista de Requisitos criada com a "casa de qualidade" (HAUSER & CLAUSING, 1988), esses critérios de avaliação poderão ser adaptados diretamente dos requisitos de projeto gerados pela utilização daquela técnica. Conforme já foi comentado neste mesmo capítulo, os critérios obtidos através da "casa de qualidade" provavelmente abrangeriam maior extensão de interesses da empresa, do consumidor e do projeto em elaboração. No entanto, para chegar aos critérios da "casa de qualidade" a empresa precisará ter adequada infraestrutura administrativa e operacional para coletar e interpretar os dados necessários, o que hoje ainda não é comum de se encontrar na maior parte das empresas (CAMPOS, 1992).

Voltando ao procedimento sistemático para avaliação de variantes de concepção comentado por BEITZ (1972, 1973) e adaptado para ser utilizado em metodologia auxiliada por computador, para criar seus próprios critérios e realizar a avaliação de variantes de concepção o projetista deve observar os seguintes passos de trabalho:

- 1) identificar critérios de avaliação;
- 2) ponderar os itens de avaliação;
- 3) ponderar os subitens de avaliação;
- 4) definir parâmetros de avaliação;
- 5) determinar os valores dos parâmetros;
- 6) calcular um valor global para cada variante de concepção;
- 7) ordenar as variantes de concepção.

O primeiro passo ("identificação dos critérios de avaliação") consiste em estabelecer um conjunto de objetivos, a partir dos quais os critérios de avaliação podem ser derivados.

Observando-se a Lista de Requisitos, escrevem-se os fatores que serão úteis para se efetuar a avaliação das concepções. Por exemplo, de um requisito como "montagem", se existir, podem ser estabelecidos fatores como "pequena utilização de partes móveis", "baixa susceptibilidade a vibrações", "pequeno número de componentes", "baixa complexidade de componentes", etc.. Assim, ter-se-á para o item "montagem", alguns sub-itens estabelecidos para ele (Fig. 4-18).

Item / sub-item:

1. Montagem:

- 1.1 - pequena utilização de partes móveis;
- 1.2 - baixa susceptibilidade a vibrações;
- 1.3 - pequeno número de componentes;
- 1.4 - baixa complexidade de componentes.

Figura 4-18 - Exemplo de um item e sub-itens identificados como critérios de avaliação de concepções.

Aqui, foram adotados dois níveis (item e sub-item) para elaborar os critérios de avaliação. Com eles, os resultados obtidos já são considerados suficientes para o alcance desta pesquisa. Não há, porém, outro impeditivo para estabelecer mais níveis, a não ser algum trabalho adicional a realizar sobre o software: da mesma forma que foi desenvolvido para dois níveis, o procedimento poderá ser ampliado para mais outros, de modo a atender a trabalhos que assim o exijam.

A obtenção dos itens e sub-itens da avaliação a par-

tir da Lista de Requisitos de projeto é justificada porque é nessa Lista - e em nenhum outro lugar - que estão relacionadas todas as exigências a que o produto em estudo deverá satisfazer. Portanto, é a partir dessa Lista que devem ser construídos os critérios para avaliar as variantes de concepção já obtidas.

A partir da Lista de Requisitos, portanto, o projetista escreve quantos itens e respectivos sub-itens conseguir identificar como importantes para a comparação entre suas concepções.

No segundo passo ("ponderação dos itens de avaliação"), são arbitrados fatores de ponderação a cada um dos itens anteriormente relacionados, diferenciando-os entre si em função da importância que têm para o produto e para o projeto. Conforme ensina a teoria, os fatores arbitrados podem estar contidos na faixa de 0 a 100 (indicando, respectivamente, importância nula ou importância máxima àquele fator). Além disso, a somatória dos fatores atribuídos aos critérios deve ser igual a 100. Evidentemente, se houver um único item de critério, a este será atribuída importância máxima, com fator de ponderação igual a 100.

Do mesmo modo, no passo três será feita a ponderação dos subitens associados a cada item relacionado, também com valores que vão de 0 a 100.

Para cada critério de avaliação, é útil ter-se um parâmetro para comparação com a concepção. Assim, no passo quatro ("definição de parâmetros de avaliação"), procura-se identificar o parâmetro que se presta a essa comparação. Ele deve ser quantificável ou, se não for possível, deve ser expresso por declarações construídas tão concretamente quanto se conseguir fazê-lo. Também neste passo deve ser feita avaliação da magnitude dos parâmetros,

considerando-se que essa "magnitude" representa o valor (quantitativo) considerado ideal para o critério que está sendo aplicado; posteriormente, as concepções serão pontuadas em função da "distância" que se posicionam em relação a esse valor quantitativo "ideal", recebendo "notas" maiores as concepções que mais se aproximam do valor expresso na "magnitude".

Por exemplo, na Fig. 4-19 tem-se um dos critérios de avaliação como "baixo consumo de combustível"; neste caso, o parâmetro será "consumo de combustível" e a unidade de medida, "g/kWh" - ou seja, massa de combustível relativa à energia que essa massa gera. A magnitude considerada ideal, neste caso, foi de 240 g/kWh, o que servirá de padrão de comparação para avaliar todas as alternativas de concepção elaboradas. Outro exemplo, também da Fig. 4-19, tem como critério de avaliação o fator "construção de baixo peso"; seu parâmetro é "massa por unidade de potência", com unidade de medida igual a "kg/kW". Sua magnitude foi estabelecida em 1,7 kg/kW, caracterizando, assim, um padrão de comparação para as alternativas de concepção que forem analisadas a seguir. Por outro lado, se o critério de avaliação for algo não quantificável como "produção simples", o parâmetro de comparação poderá ser "simplicidade de componentes", sem qualquer unidade que se preste para medir esse fator. A magnitude desse parâmetro será "muita simplicidade", querendo significar que quanto maior for a simplicidade da concepção, maior será a pontuação que irá receber, neste item, durante o processo de avaliação. Outro exemplo de critério de avaliação pode ser "vida útil longa", cujo parâmetro será "vida útil", e poderá ser medida em quilômetros percorridos durante essa vida útil. O padrão considerado ideal, neste exemplo, é expresso por magnitude igual a 180.000 km.

Critério de avaliação			Parâmetro			Variante S_j	
Nº	Critério	Peso (w_i)	Parâmetro	Unidade	Magnitude	Valor (V_{ij})	Valor ponderado ($V_{ij} \cdot w_i$)
1	Baixo consumo de combustível	0,3	Consumo de combustível	g/kWh	240		
2	Produto com peso baixo	0,15	Massa por potência	kg/kW	1,7		
3	Manufatura simples	0,1	Simplicidade de component	-	muita		
4	Vida útil longa	0,2	Vida útil	km	180.000		
..					
i					
..					
n					
Somatória (w_i) = 1			Somatória ($V_{ij} \cdot w_i$)				

Figura 4-19 - Exemplo de carta de avaliação para o modelo da valoração dos critérios (Fonte: Pahl & Beitz, 1988 - adaptação).

BEITZ (1973) adverte que as magnitudes de objetivos adotados como base de avaliação deverão ser citadas somente quando for possível atribuir aos respectivos critérios valores numéricos quantitativos com suficiente precisão. Caso contrário, é mais vantajoso fazer declarações verbais de avaliação (por exemplo: alto, médio, baixo), cujo grau de exatidão possa ser reconhecido claramente. Segundo o autor, atribuir valores numéricos com possibilidade de erros é perigoso, pois fazem acreditar em uma segurança de informação que, efetivamente, não existe.

No exemplo da Fig. 4-19, "Nº" significa o número de ordem em que aparecem os critérios de avaliação a serem aplicados às concepções; "critérios" propriamente dito são os sub-itens identificados no passo anterior; "peso w_i " é a ponderação atribuída a esse sub-item i , calculada como produto da ponderação atribuída ao item pela ponderação de cada um de seus sub-itens; "parâmetros" são os elementos que servirão de base para o projetista avaliar a concepção, e são medidos em sua respectiva "unidade"; "variante S_j " representa cada uma das variantes de concepção disponíveis para análise do projetista; "valor V_{ij} " é o valor que o projetista irá atribuir a cada item i de avaliação, para cada uma das j variantes de concepção disponíveis para análise, com pontuação vinda da Fig. 4-20; e "valor ponderado" será o resultado do produto ($V_{ij} \cdot w_i$), cuja somatória representará o valor de cada alternativa de concepção que está sendo avaliada.

No passo cinco ("valoração dos parâmetros"), o projetista deverá atribuir valores a cada um dos critérios de avaliação previamente determinados, considerando um critério de cada vez. Esses valores são expressos por pontos, segundo uma escala previamente definida. Um exemplo dessa escala está na Fig. 4-20, onde os pontos se colocam entre os extremos 0 (indicando que aquele item de avaliação não está satisfeito pela variante de solução focalizada) e 10 (indicando que a variante de solução enfocada satisfaz aquele item de avaliação da melhor maneira possível). Situações intermediárias a essas duas citadas acima serão representadas pelos outros pontos.

O projetista deve pontuar os itens de avaliação de cada uma das variantes de concepção. Para cada critério, devem ser analisadas todas as variantes de concepção disponíveis.

Escala de valores para pontuação de critérios	
Significado	Pontos
Solução absolutamente inútil	0
Solução muito inadequada	1
Solução fraca	2
Solução tolerável	3
Solução adequada	4
Solução satisfatória	5
Solução boa com poucas alterações	6
Solução boa	7
Solução muito boa	8
Solução excedente aos requisitos	9
Solução ideal	10

Figura 4-20 - Exemplo de escala de valores para pontuação de critérios.

O passo seis ("determinação de um valor global para cada variante de concepção") ocorre depois que tiver sido atribuído o último valor à última variante de concepção, referente ao último critério de avaliação: calcula-se o montante de pontos que cada concepção tiver obtido. Esse montante de pontos tanto poderá ser calculado através da soma dos valores atribuídos aos parâmetros (somatória das V_{ij} , i variando), sem a ponderação dos critérios; ou através da soma ponderada dos valores atribuídos aos parâmetros (somatória das $V_{ij} \cdot w_j$, i variando). Esses montantes indicam que o maior valor da somatória de V_{ij} (obtida com variação de i) é a melhor solução; ou, no outro caso, o maior valor da somatória de $V_{ij} \cdot w_j$ (obtida com variação de i) é a melhor solução.

No passo sete ("comparação de variantes de concepção"), procede-se à ordenação das variantes de soluções segundo uma seqüência baseada na somatória das (V_{ij}) ou através da somatória das $(V_{ij} \cdot w_j)$. A comparação segundo uma soma ou outra (sem ou com a ponderação dos critérios) pode conduzir a resultados diferentes para ordenação entre as variantes de concepção.

Há alguns erros ou incertezas de avaliação que podem surgir (BEITZ, 1973), devidos por exemplo a que:

- há comparação de concepções conforme critérios que não se aplicam a todas as variantes. Houve, portanto, escolha inadequada dos critérios de avaliação;
- a ponderação dos critérios não foi elaborada de forma completa. Nesse caso, sugere-se que a ponderação seja feita por profissionais também da área de produção, e não só da área de projetos;
- o avaliador deixa de ser neutro, isto é, passa a ser subjetivo. Isso pode acontecer, às vezes de forma não intencional, quando o projetista compara seus próprios projetos com propostas de soluções de outras pessoas. Sugere-se, aqui, que a avaliação seja realizada por diferentes pessoas, se possível também de áreas diversas como a de projeto e a de fabricação, e que sejam descaracterizadas as alternativas de concepção, nomeando-as de C_1 , C_2 , etc.;
- há grande dependência entre os critérios.

Considerando-se esses e outros possíveis erros e incertezas decorrentes de falhas na avaliação, pode acontecer que a variante de concepção com maior valor total ponderado não seja

realmente a melhor solução dentre todas as possibilidades. Além disso, quando os valores ponderados são muito próximos, pode haver incerteza quanto à correta ordenação - já que é sempre possível esperar a ocorrência de imprecisões, durante a avaliação. Tendo em vista esses problemas, um **perfil de soluções** (PAHL & BEITZ, 1988; BACK, 1983; BEITZ, 1973) poderá ser construído para auxiliar na comparação das alternativas de solução. Este aspecto não foi abordado na construção do SADEPRO, por aumentar consideravelmente a complexidade do modelo de avaliação, e **avaliação** não é o objetivo do presente trabalho.

Concluindo, ressalta-se que embora os modelos de avaliação empregados na presente metodologia possam ser considerados satisfatórios aos interesses deste trabalho, provavelmente ainda há o que aperfeiçoar neste campo, relativamente à avaliação da concepção. Como se pode observar, o modelo descrito por Beitz é antigo, o modelo da "casa de qualidade" é exigente em termos de organização da empresa, o modelo da Análise de Valor é mais apropriado a reprojatos, e assim por diante: não há um modelo desenvolvido especificamente para avaliar produtos durante a fase de concepção do produto. Este parece ser, portanto, um campo promissor para futuras pesquisas vinculadas à concepção do produto.

4.5 - Conclusão.

Conforme foi relatado, a metodologia aqui proposta possibilita implementar um sistema computacional para obtenção da concepção do produto, auxiliando o projetista a atravessar todas as fases previstas na teoria para chegar à concepção do produto.

Partindo-se da elaboração da Lista de Requisitos,

construindo a estrutura de funções elementares, delineando as funções parciais que serão componentes do produto estudado, buscando soluções para as funções elementares e compatibilizando essas soluções com a estrutura organizada das funções parciais, chega-se finalmente à solução da função global.

Com mecanismos de avaliação incorporados ao sistema computacional, pode-se optar pela alternativa de concepção que seja mais adequada aos objetivos do projeto.

O **software** elaborado com essa finalidade está descrito no próximo capítulo, juntamente com explicações sobre sua utilização e funcionamento.

CAPÍTULO 5 - IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA COMPUTACIONAL SADEPRO.

5.1 - Alcance e limitações do SADEPRO.

O Sistema Computacional SADEPRO pretende ser útil ao trabalho do projetista de produtos industriais, durante sua pesquisa para chegar a concepções de sistemas técnicos. Este sistema computacional contém uma metodologia de projetos comprovadamente eficaz, descrita no Capítulo 4; um conjunto de catálogos, com efeitos disponíveis para realizar as funções elementares do sistema técnico em desenvolvimento, organizados de modo a serem compatíveis com o software SADEPRO; e um editor gráfico, que permite ao usuário-projetista, de um lado, descrever as estruturas das funções elementares do sistema técnico em estudo e, de outro, desenhar os possíveis portadores de efeitos que irão realizar as funções elementares desse sistema técnico (Fig. 5-1).

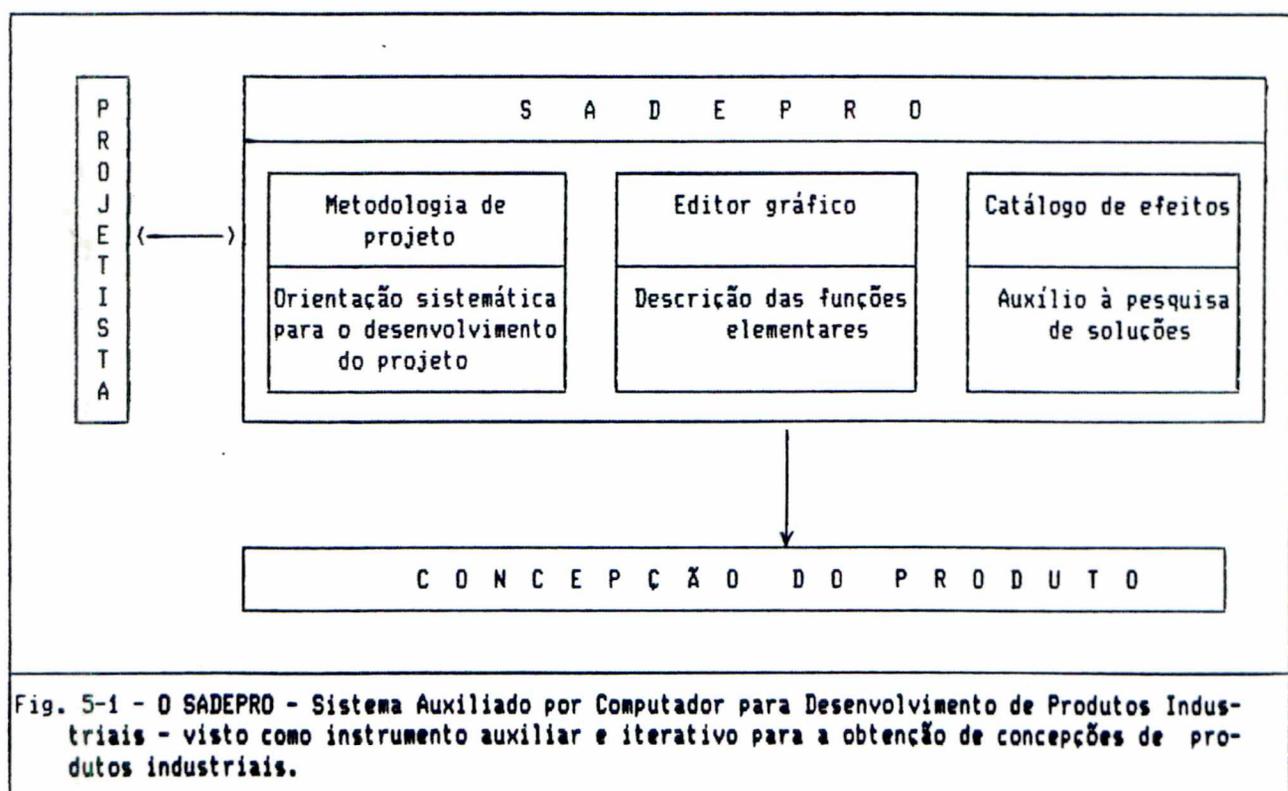


Fig. 5-1 - O SADEPRO - Sistema Auxiliado por Computador para Desenvolvimento de Produtos Industriais - visto como instrumento auxiliar e iterativo para a obtenção de concepções de produtos industriais.

Por intermédio da metodologia de projeto existente no SADEPRO, pretende-se que o projetista consiga ter clara idéia da tarefa a ser executada pelo seu sistema técnico; que consiga identificar as funções parciais que irão compor o produto acabado, e, ainda, organizar essas funções parciais em pelo menos uma estrutura de funções elementares bem definida.

Com essa estrutura de funções elementares, o projetista terá acesso a sugestões de efeitos (catalogados e organizados) que lhe permitem idealizar a realização das funções elementares do produto em estudo. A criatividade para se chegar à concepção do produto será estimulada, então, pela disponibilidade dos catálogos de efeitos e pela sistematização imposta pela metodologia integrada ao sistema computacional.

Auxiliado pelo editor gráfico que integra esse sistema computacional, ao projetista é possível esboçar portadores de efeitos e eventuais soluções para a concepção que estiver idealizando, à medida em que as idéias vão sendo geradas durante a utilização do software.

Lembrando que essas facilidades estão contidas dentro de um sistema computacional integrado a uma metodologia de projeto coerente, todas as possíveis soluções geradas passam por avaliação e as concepções consideradas viáveis são selecionadas e ordenadas conforme seu atendimento à Lista de Requisitos.

Dentro da metodologia geral do processo de projeto, este sistema computacional trabalha, conforme já foi dito, na fase da concepção do produto: esta é a fase II, localizada após o estudo da tarefa e antes do projeto preliminar (Fig. 2-5), fixando o caminho para se encontrarem soluções para o sistema técnico estudado.

Após as soluções geradas serem avaliadas com o auxílio computacional, o projetista terá todas essas concepções prontas para seguirem as fases subseqüentes da metodologia geral de projeto do produto, expostas na Secção 2.3 e na Fig. 2-5.

Esse sistema computacional representa uma contribuição ao processo de desenvolvimento de produtos industriais, e deve ser entendido como auxiliar do projetista na fase de Concepção. É um instrumento computacional que conduz o projetista de forma segura e direta a soluções possíveis do futuro sistema técnico.

O SADEPRO, hoje, ainda é um protótipo. Já foi testado, e verificou-se que funciona a contento como auxiliar do projetista de produtos industriais. À medida que os bancos de dados do sistema forem sendo enriquecidos (com inclusão de, por exemplo, princípios de solução para situações específicas, como engates, geração de forças, mecanismos, etc.) e aumentados (pela inclusão de catálogos de novos efeitos químicos, físicos e biológicos, conhecidos com o desenvolvimento tecnológico), há expectativa de que possa ser útil a muitas áreas de projeto da Engenharia Mecânica. Se esses Bancos de Dados forem convenientemente adaptados para utilizações variadas, o SADEPRO poderá ser um instrumento também útil em áreas diversificadas de projeto, tais como a de Engenharia Elétrica e Eletrônica, instrumentação para medicina, mecânica de precisão, robótica, etc..

Antes de prosseguir com a explanação sobre o SADEPRO, uma observação deve ser colocada. Como este é um trabalho elaborado para ser realizado com auxílio de computador, poderá restar alguma confusão provocada pela dúbia referência feita, no texto, à pessoa que vai utilizar o sistema: algumas vezes, essa pessoa

é chamada de **projetista**, algumas, de **usuário** e, em outras ainda, de **usuário-projetista**. Deve-se ressaltar que essa mistura de nomes é proposital, e visa a caracterizar a dupla atividade que envolve o SADEPRO: de um lado, alguém estará utilizando um sistema computacional e, por isso, é chamado **usuário** - para o qual todo o sistema foi elaborado e aperfeiçoado, na tentativa de lhe facilitar, tanto quanto possível, essa utilização. De outro lado, quem for utilizar o SADEPRO é também um projetista de produtos que, assim, estará tentando obter a **concepção de seu produto** através deste instrumento computacional. Neste caso, é chamado de **projetista**, em função da tarefa que tem de realizar. Dessa maneira, pela sua dupla função a pessoa fica caracterizada como sendo projetista e usuário, ao mesmo tempo. Por isso, a referência a ele se faz, no texto, às vezes como **projetista**, como **usuário** ou como **usuário-projetista**, indistintamente.

O SADEPRO e a criatividade no projeto

Segundo Osborn (1957), criatividade não existe para todos. Pelo menos, segundo aquele autor, criatividade não surge espontânea para todas as pessoas. Os projetistas que necessitam de criatividade e que a utilizam com competência, em geral são treinados para fazê-lo ou se auto-educam para desenvolver e utilizar sua própria criatividade.

Para os projetistas que não adquiriram criatividade por treinamento ou formação, e não a têm como benefício de nascença, a atividade criativa é difícil, penosa, dolorida até. Mesmo com auxílio de técnicas já consagradas, produzir resultados concretos a partir de idéias abstratas não é atividade simples nem produz re-

sultados imediatos: costuma ser tarefa exigente, morosa e, em muitos casos, depois de grande tempo gasto, chega-se a um decepcionante **nada** como resultado. Nesses casos, não há soluções úteis, não há soluções aproveitáveis decorrentes nem mesmo da aplicação **correta** de técnicas de criatividade. Aliás, nada garante ao projetista que, após a aplicação correta das técnicas de criatividade, haverá no final da pesquisa uma ou várias soluções aproveitáveis e úteis para o projeto do produto.

Nesse sentido, o SADEPRO não se propõe a **eliminar** a criatividade no projeto, mas sim a orientá-la, acrescentando-lhe metodologia de trabalho e sistematização de pensamento, através do seqüenciamento de atividades programadas para se realizar o projeto com auxílio do computador. A criatividade, através do SADEPRO, fica **direcionada** para a concretização da tarefa previamente definida, e é estimulada pelos catálogos de efeitos e de princípios de solução, associados às estruturas de funções parciais, funções elementares e operações básicas.

Sabendo-se que possibilita exame exaustivo de alternativas de solução (evidentemente, dentro da limitação imposta por seus Bancos de Dados), é lícito afirmar que o SADEPRO não inibe a criatividade do projetista, apesar de fazê-lo trabalhar dentro de metodologia sistematizada para utilização em computador. O SADEPRO também não lhe limita o pensamento, ao guiá-lo através dos Catálogos de Efeitos utilizados para solução das funções elementares. Pelo contrário, uma vez que coloca à disposição do usuário-projetista os Catálogos com efeitos conhecidos - efeitos esses capazes de realizar cada uma das funções elementares de seu projeto em desenvolvimento -, o SADEPRO estimula a criatividade do projetista ao au-

mentar-lhe as possibilidades de realizar combinações entre efeitos disponíveis nos Catálogos, aumentando assim as alternativas viáveis de se chegar à concepção do produto.

Portanto, o trabalho combinatório realizado dentro do sistema computacional assegura que o projetista irá examinar sistematicamente todas as possibilidades de solução para seu problema, sem desviar-se da metodologia previamente delineada para consecução de seu projeto. No SADEPRO, a limitação à geração sistemática de soluções, conforme já foi dito, ocorre apenas devido à limitação do Banco de Dados do sistema. Na medida em que esse Banco de Dados for enriquecido com mais alternativas de solução, essa limitação será correspondentemente diminuída.

Ao utilizar o programa, então, o usuário-projetista efetuará a síntese de alternativas viáveis para solução do problema enfocado, alternativas essas que são capazes de realizar o sistema técnico total. Maior quantidade de soluções viáveis geradas irá depender, portanto, da riqueza do conteúdo existente no Banco de Dados do programa.

Uma alternativa para se melhorar o funcionamento do SADEPRO seria conseguir-se que a associação de efeitos às funções elementares fossem feitas automaticamente, pelo próprio programa. No entanto, para que isso pudesse ser feito, seria necessário contar-se com mais sofisticação do software, que provavelmente seria um Sistema Especialista.

Por que não utilizar um Sistema Especialista?

Não é possível esquecer que a concepção é uma fase bastante abstrata do trabalho do projetista de produtos. Por isso,

apesar de existir o sistema computacional SADEPRO, admite-se que o auxílio computacional ideal viria de uma programação heurística, baseada em fatos e regras - um sistema especialista -, que apoiasse o projetista nessa etapa do projeto.

Esse sistema especialista funcionaria assim: a partir da estrutura de funções elementares, o próprio Sistema Especialista se encarregaria de associar a cada função elementar o efeito que a realizasse. Associaria, também, portadores de efeito a cada efeito escolhido para as funções elementares. Finalmente, o Sistema Especialista faria as combinações possíveis entre as soluções obtidas para cada função elementar, apresentando ao usuário-projetista um conjunto de soluções viáveis aptas para serem submetidas à avaliação e ao processo de seleção da melhor alternativa.

A principal objeção a esse sistema especialista é a dificuldade de se representar o conhecimento necessário, aí incluído o conjunto de regras que permite ao sistema especialista compatibilizar as várias alternativas de solução geradas a partir, por exemplo, de um quadro morfológico.

Embora seja possível, o desenvolvimento de tal sistema especialista é complexo e certamente trabalhoso, tanto no que se refere à representação do conhecimento e construção das regras de compatibilização quanto à elaboração do software propriamente dito.

Entre o modo "manual" (assim chamado porque ocorre sem auxílio de equipamento), como hoje ainda é trabalhada a Concepção, e o "modo automatizado" (que seria a obtenção da Concepção com auxílio de Sistema Especialista), é possível contar-se com um instrumento de alcance intermediário, o SADEPRO, que é um sistema

computacional não especialista criado para auxiliar o projetista na etapa da Concepção do sistema técnico.

Apesar de ainda ser um instrumento "manual" - pois durante a aplicação do software as etapas de decisão são comandadas pelo projetista-usuário -, a utilização do sistema computacional SADEPRO durante a Fase da Concepção orientará o projetista para realizar o exame sistemático de diversas possibilidades de se obterem soluções viáveis. Esse instrumento, de um lado, abre-lhe possibilidades de relacionar soluções diferentes para suas funções elementares e, de outro lado, minimiza eventuais erros de associação.

Entende-se, portanto, que o SADEPRO é um passo intermediário na obtenção do Sistema Especialista. A continuação provável do presente estudo aponta para o desenvolvimento do sistema especialista anteriormente mencionado, que consiga, a partir de uma estrutura de funções elementares montada pelo projetista-usuário, automatizar a fase da concepção do produto focado... e apresentar, como resultado da aplicação de suas regras, uma (ou mais de uma) solução para apreciação do projetista.

Os resultados obtidos com a utilização do SADEPRO.

Cada uma das soluções viáveis geradas a partir do sistema computacional é examinada pelo projetista, e questionada, na fase da avaliação de alternativas, quanto à sua conveniência e adequação para os resultados globais pretendidos. Depois disso, as soluções selecionadas estarão prontas para seguirem os próximos passos da metodologia de projeto do produto, podendo-se utilizar outros sistemas CAD-CAM de apoio, atualmente disponíveis no mercado de softwares.

5.2 - Generalidades sobre o sistema computacional SADEPRO.

Neste trabalho, foi elaborado o sistema computacional SADEPRO, de apoio ao desenvolvimento de projetos de produtos industriais, com o qual se pretende contribuir para evolução dessa área. Tendo sua utilização voltada para a fase da concepção do projeto, o sistema SADEPRO auxilia na procura de solução para as funções principal e secundárias a serem desempenhadas pelo futuro sistema técnico.

Os catálogos de efeitos incorporados ao sistema SADEPRO foram construídos segundo visões de KOLLER (1985), ROTH (1982), VDI 2222 (1982) e de EWALD (1974), e também baseou-se em extensa bibliografia técnica que descreve efeitos para realizar funções elementares (a respeito desses efeitos, veja-se a "Bibliografia específica utilizada na elaboração do sistema computacional SADEPRO"). Para essa finalidade, teve-se aqui como propósito agregar Catálogos de Efeitos em número suficiente para demonstrar que o SADEPRO é viável como instrumento computacional auxiliar do projetista. Não houve, por enquanto, compromisso de esgotar o assunto referente a cada Catálogo específico. A este respeito, o software está previsto para receber incorporação de outros efeitos, à medida que for constatada a necessidade de incorporá-los. Como consequência dessa compilação e organização de efeitos, tem-se, no Anexo 2, um resumo dos Catálogos contidos no sistema SADEPRO.

Durante a criação das telas que servem de meio de comunicação entre o usuário e o SADEPRO, dedicou-se especial atenção à seqüência, ao formato e à localização das informações dos comandos do sistema. Com isso, pretendeu-se diminuir o tempo de aprendizado necessário para a correta utilização do sistema, aumen-

tar o grau de eficácia do usuário na realização de sua tarefa de projeto e minimizar a incidência de erros durante a utilização do software. As considerações de CYBIS (1991) foram importantes para essa etapa da construção do sistema computacional.

O protótipo completo do SADEPRO tem aproximadamente 28.000 linhas de programação. O programa completo é formado por uma parte executável, com 270 Kb e que fica permanentemente na memória principal; e outra parte, com 195 Kb, que fica em "overlay" (ou seja, fica em arquivo disponível para utilização imediata do SADEPRO, quando necessário). Para a incorporação dos Catálogos de Efeitos que acompanham o software, são necessários cerca de 12 Mb de memória disponíveis em disco rígido, distribuídos entre 11,5 Mb de figuras e 500 Kb com o texto dos Catálogos.

O sistema SADEPRO foi implementado na linguagem TurboPascal (RINALDI, 1990; GRILLO, 1988; SCHILDT, 1988; Borland International, 1987), e pode ser utilizado a partir de um microcomputador compatível com IBM PC-AT 286, com um mínimo de 640 Kb de memória RAM, equipado com monitor EGA, 15 Mb de espaço mínimo disponível no disco rígido para instalação do SADEPRO e mouse.

A escolha do Pascal como linguagem de programação ocorreu devido à facilidade de se conseguir mão-de-obra de programação, o que agiliza essa atividade e a viabiliza tanto no aspecto técnico quanto econômico. Além disso, essa linguagem tem os recursos técnicos necessários para o desenvolvimento do sistema computacional, sem restrições importantes. Há, ainda, o "toolbox", um conjunto de ferramentas disponíveis para o desenvolvimento de softwares e que facilitou o trabalho de programação. A elaboração dos arquivos e sua utilização também ficaram facilitadas dentro da linguagem Pascal.

5.3 - Visão geral sobre o funcionamento do sistema computacional SADEPRO.

O funcionamento do sistema computacional SADEPRO começa pelo estudo da tarefa (v. Fig. 4-2). O sistema oferece ao projetista uma seqüência de perguntas a serem respondidas, cujo resultado define a Lista de Requisitos do produto que estiver sendo estudado. Essa Lista de Requisitos servirá como orientação para o trabalho a ser desenvolvido nas fases seguintes, e permitirá acompanhar o atendimento às exigências prévias impostas ao produto. Servirá, também, como principal instrumento para avaliar e selecionar as alternativas de solução geradas no final do estudo. Modificações feitas nessa lista acarretarão conseqüentes modificações no desenvolvimento posterior do projeto. Se essas modificações ocorrerem durante a aplicação do software, provavelmente será necessário refazerem-se algumas etapas já percorridas, para readaptar o projeto às novas condições impostas pela Lista de Requisitos.

Depois de obtida a Lista de Requisitos, com auxílio do sistema computacional busca-se construir a estrutura de funções elementares que representa o produto em estudo.

Para identificar um fenômeno físico, químico ou biológico que consiga transformar a proposição da tarefa em objeto técnico, o sistema computacional orienta o projetista para, depois do Estudo da Tarefa, efetuar a análise funcional (Blanchard & Fabrycky, 1990; Pahl & Beitz, 1988; Koller, 1985; Csillag, 1985; Burgess, 1984). Por meio dessa análise, a função global é dividida em funções parciais e estas, por sua vez, são particionadas em funções elementares. Estas funções são, então, interligadas logicamente e obtém-se, assim, a chamada estrutura de funções elementares (Back, 1983).

Por intermédio do sistema computacional, essas funções elementares podem ser associadas a efeitos e princípios de solução existentes em Catálogos do próprio sistema. Esses Catálogos podem ser consultados pelo projetista-usuário sempre que necessário, através de "janelas" do sistema.

Os Catálogos que integram o sistema computacional SADEPRO, além de informações sobre efeitos e princípios de solução, contêm "dicionários" com esclarecimentos sobre a lei que rege cada fenômeno. Relacionam, também, a bibliografia técnica que serviu de apoio para elaborar cada "folha" do Catálogo, permitindo assim ao usuário obter maiores esclarecimentos sobre essa lei.

Em geral, há diferentes efeitos que podem realizar cada função elementar. Após escolher nos Catálogos do sistema o efeito desejado para cada função elementar, o usuário-projetista o leva para integrar um quadro morfológico. Ao final das escolhas, esse quadro morfológico conterá um conjunto de efeitos e de princípios de solução vinculados a cada função elementar.

Com auxílio do sistema computacional, o usuário-projetista combinará sistematicamente os efeitos que conseguem realizar cada função elementar, associados a seus respectivos princípios de solução e portadores de efeito. O objetivo é compor sistemas técnicos fisicamente exequíveis que realizem a função total desejada, dentro das limitações impostas pela tarefa inicialmente colocada. A análise de compatibilidade entre as soluções parciais escolhidas para as funções elementares é feita pelo usuário-projetista, orientado pela Lista de Requisitos previamente elaborada. Com as funções parciais estabelecidas, será efetivada a síntese do sistema técnico (veja Fig. 4-2).

O resultado da combinação sistemática das funções parciais será a obtenção de diferentes concepções do sistema técnico em estudo, as quais estarão prontas para serem avaliadas segundo critérios técnicos e econômicos. Essa avaliação é feita com auxílio do sistema computacional, e baseia-se em critérios elaborados segundo proposições de PAHL & BEITZ (1988), da VDI 2225 (1984) e de BEITZ (1973), critérios esses que estão devidamente lastreados na Lista de Requisitos do problema.

Ao final do estudo feito com auxílio do sistema computacional, terão sido selecionadas alternativas viáveis de concepção para realização do sistema técnico focalizado. A partir de então, poder-se-á iniciar o detalhamento da solução escolhida em sistemas existentes de CAD, se se desejar.

5.4 - Descrição do sistema computacional SADEPRO.

5.4.1 - A apresentação ao usuário.

Ao iniciar a busca da concepção para um produto com o auxílio do sistema SADEPRO, o projetista vê uma tela que o instrui para nomear um subdiretório (um arquivo de dados), no qual ficarão guardadas todas as informações relativas ao projeto que está-se iniciando (Fig. 5-2).

Nesta mesma ocasião, o usuário definirá uma **senha** (representada por uma palavra de 8 dígitos alfanuméricos) para ter acesso a esse arquivo. Como forma de preservar a integridade dos dados arquivados, a senha será criptografada pelo sistema, dificultando a entrada no diretório de pessoas que não conheçam a palavra-chave de acesso.

Há, também, uma tela de identificação, onde serão

```

===== SISTEMA SADEPRO =====
Nome do subdiretório [PROJETO1]
Senha do Projeto (8 dig.) [***** ]
<BackSpace> Apaga   <ESC> Sair
  
```

Fig. 5-2 - Tela do SADEPRO para definição de arquivo e senha para o projeto.

descritas informações úteis sobre o usuário e sobre o projeto, para facilitar futuras referências a esse trabalho (Fig. 5-3).

```

-----
Identificação do Usuário
-----
Empresa [LASP Ingeborn/Miguel.           ]
Nome do projeto [SADEPRO                   ]
Descrição do Projeto [Sistema Computacional de Auxílio ao Desenvolvimen-]
                    [to de Projeto de Produto.                        ]
                    [                                                    ]
                    [                                                    ]
Equipe de Trabalho. [Miguel Fiod Neto e bolsistas.                    ]
                    [                                                    ]
                    [                                                    ]
                    [                                                    ]
Responsável-Chefe   [Miguel Fiod Neto.                                     ]
Projetista          [XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]
Data Inicial do Projeto [13/01/91]
                    <ESC> Sair           <F8> Help
  
```

Fig. 5-3 - Tela do SADEPRO para identificação do usuário e do projeto.

5.4.2 - O SADEPRO e o estudo da tarefa

Para se iniciar o trabalho de projetar produtos com auxílio do sistema computacional **SADEPRO**, pressupõe-se haver clareza sobre os objetivos que deverão ser alcançados com o projeto (isto é, pressupõe-se que a clarificação da tarefa já tenha sido discutida entre os responsáveis pelo projeto).

Com auxílio do **SADEPRO**, uma lista de exigências é criada logo no início da aplicação do sistema computacional, e acompanha o usuário-projetista em todas as fases posteriores do projeto: é a chamada Lista de Requisitos do projeto.

5.4.3 - O SADEPRO e a Lista de Requisitos.

O apoio computacional à síntese de produtos industriais dado pelo **SADEPRO** inicia-se pela elaboração da Lista de Requisitos.

O sistema **SADEPRO** oferece ao usuário uma extensa lista de tópicos (do tipo "check list"), que procura identificar os objetivos gerais e as restrições do problema. Uma relação completa do conteúdo do **SADEPRO** relativamente a essa Lista está mostrado no Anexo 1. Se eventualmente for necessário atender a projetos específicos para os quais a Lista de Requisitos atualmente incorporada se mostre ineficiente, com pouca atividade de reprogramação desse módulo do Sistema é possível pensar-se em alterar essa Lista, aumentando-a, diminuindo-a ou modificando-a para adequá-la a outras necessidades. Isso pode ser feito porque os arquivos já foram idealizados e tornados coerentes com os demais módulos do próprio Sistema que necessitam trabalhar com a Lista. No entanto, essa altera-

ção não está aberta ao usuário, para se evitar o risco de ter incluídas alterações incompatíveis com os outros módulos do software.

Para concretizar a Lista de Requisitos referente a um dado projeto, o SADEPRO oferece à apreciação do usuário, seqüencialmente, todo o conteúdo do Anexo 1, quando então o usuário vai gradativamente registrando os itens que lhe parecem importantes (Fig. 5-4). Na tela representada na Fig. 5-4, "escolha" classifica o requisito como "D" (de desejável) ou como "O" (de obrigatório). Se for considerado "D", o requisito deve, ainda, ser classificado como sendo de importância "P" (pequena), "M" (média) ou "G" (grande). "Responsável" é a pessoa que estiver introduzindo aquele requisito, identificada para o caso de haver mais de um projetista trabalhando simultaneamente no mesmo projeto. "Custo" tanto pode ser uma estimativa para aquele requisito como pode ser o limite máximo aceitável: o responsável pela informação tem, ali, espaço su-

```

=====
                          Lista de Quesitos/Requisitos
=====
| QUESITO   : GEOMETRIA
|-----
| REQUISITO : TAMANHO
|-----
| Escolha   [O]
|
| Descrição [O produto deve ser pequeno, transportável dentro ]
|           [do porta-malas do carro, sem tomar muito espaço da]
|           [bagagem. ]
|           [ ]
|           [ ]
| Data Registro [08/06/93]
| Responsável  [MFN ]
| Custo       [Compatível com o custo esperado do projeto. ]
|           [ ]
|-----
|<Esc> Sair  <F7> Editar Requisito  <PgUp/PgDn> Mudar Req.  <F4> Apagar Req.
|
=====

```

Fig. 5-4 - Tela do SADEPRO para especificação do quesito *GEOMETRIA* e requisito *TAMANHO*.

ficiente para justificar o valor descrito.

Depois de passar por todos os itens da lista oferecida pelo sistema computacional, há ainda a opção de acrescentar outros itens que não foram previstos. Essa apresentação seqüencial dá oportunidade a que o usuário pense sobre cada um dos requisitos listados previamente, estimulando-o assim à reflexão sobre um conjunto de requisitos gerais anteriormente estabelecidos. Há, sempre, para cada projeto, a opção de o próprio usuário adicionar novos requisitos à lista inicialmente fornecida pelo Sistema. Se quiser fazê-lo, agora basta ir simplesmente introduzindo esses novos requisitos. A diferença com o caso citado anteriormente - quando a alteração só é permitida ao programador -, é que na presente situação o usuário introduz itens para o seu projeto específico, e naquela outra situação o programador introduz itens que ficam permanentes no Sistema.

5.4.4 - O SADEPRO e a abstração da tarefa.

Neste ponto do SADEPRO, é oferecida ao usuário visão integral da Lista de Requisitos já elaborada, através da exposição individual desses requisitos. A partir de então, é possível conhecer o conjunto das exigências especificamente colocadas para serem satisfeitas pelo produto em estudo. Também é possível analisar cada um dos requisitos existentes, refletindo-se sobre cada um deles. Desse modo, inicia-se o processo de abstração da tarefa com auxílio computacional, quando se procurará entender exatamente qual é a necessidade de cada um dos requisitos estabelecidos na Lista e sua função em relação ao produto que se deseja conceber. A Fig. 5-5 mostra como o usuário recebe essa informação.

A análise da especificação, com fins de clarificar a tarefa, será feita passo-a-passo e revelará aspectos gerais e características essenciais da tarefa.

Esses passos são :

- 1 - Eliminar preferências pessoais;
- 2 - Omitir requisitos que não têm relação com a função e com as restrições essenciais;
- 3 - Transformar dados quantitativos em dados qualitativos, e reduzi-los a declarações essenciais;
- 4 - Generalizar os resultados do passo anterior;
- 5 - Formular o problema, em termos de solução neutra.

<ESC> Menu

<ENTER> Próxima Página.

<F1> Página Anterior

Fig. 5-5 - Texto do SADEPRO para informar ao usuário sobre o passo de trabalho necessário à clarificação da tarefa.

A intenção deste passo é tornar o projetista consciente de todas as exigências - obrigatórias ou desejáveis - colocadas para o produto em estudo, permitindo-lhe, no passo seguinte, trabalhar para chegar à formulação do problema em termos gerais (e essa é a etapa imediatamente anterior à obtenção da "declaração da função global" - ou "caixa preta", conforme mencionado no Cap. 2).

5.4.5 - O SADEPRO e a formulação do problema em termos gerais.

Para aproveitar o potencial de auxílio do SADEPRO, o usuário necessita de instrumento sistematizado que lhe permita partir de uma Lista de Requisitos - concretamente estabelecida em função das exigências que o produto em estudo deve satisfazer - e chegar a uma formulação abstrata do problema enfocado, formulação essa

que não esteja vinculada a soluções já conhecidas ou a restrições não-essenciais para o problema.

Por isso, o sistema computacional mostra ao usuário, de um em um, os requisitos arrolados anteriormente. Já tendo tido oportunidade de, na etapa anterior, refletir sobre o significado de cada um desses requisitos, agora o SADEPRO permite ao usuário elaborar uma Lista de Requisitos "alternativa", isto é, uma segunda Lista de Requisitos, simplificada, da qual constarão apenas os fatores considerados relevantes para se estabelecer a declaração genérica do problema.

Inicialmente, todos os requisitos "desejáveis" são excluídos da apresentação: apenas os requisitos "obrigatórios" constarão da apresentação feita ao usuário neste ponto. Assim se faz porque existe o entendimento de que os requisitos "desejáveis" servirão para acrescentar valor ao produto, mas poderão não existir - e, então, não farão parte da declaração geral do problema, quando se estará tentando identificar a função essencial a ser desempenhada pelo produto.

Conforme explicado na seção 4.4.4, os cinco passos para a análise da especificação sugeridos por PAHL & BEITZ (1988) constituem a base para essa depuração, e são seguidos paulatinamente pelo SADEPRO. Assim, o usuário consegue depurar a Lista de Requisitos e reescrevê-los de forma livre. Desse modo, aos poucos vai sendo gerada uma Lista de Requisitos alternativa e simplificada, menos densa que a Lista original, possibilitando ao projetista enxergar, cada vez com mais clareza, a função essencial que deseja ver desempenhada pelo produto em estudo.

Esse procedimento culmina com a obtenção de uma de-

claração genérica para o problema, desvinculada de qualquer solução previamente conhecida e supostamente isenta de exigências consideradas supérfluas para se definir a função do produto. A Fig. 5-6 mostra uma tela do SADEPRO com o resultado obtido para o exemplo citado na seção 4.4.4, após terem sido seguidos os passos de trabalho descritos. Se não estiver satisfeito, o usuário poderá reescrever a "declaração", pois estará dentro da área de edição. Nessa tela, a Lista de Requisitos refinada pode ser examinada através de janela acionada pela tecla F5. A Lista de Requisitos original foi preservada, já que será necessário consultá-la em etapas posteriores do projeto.

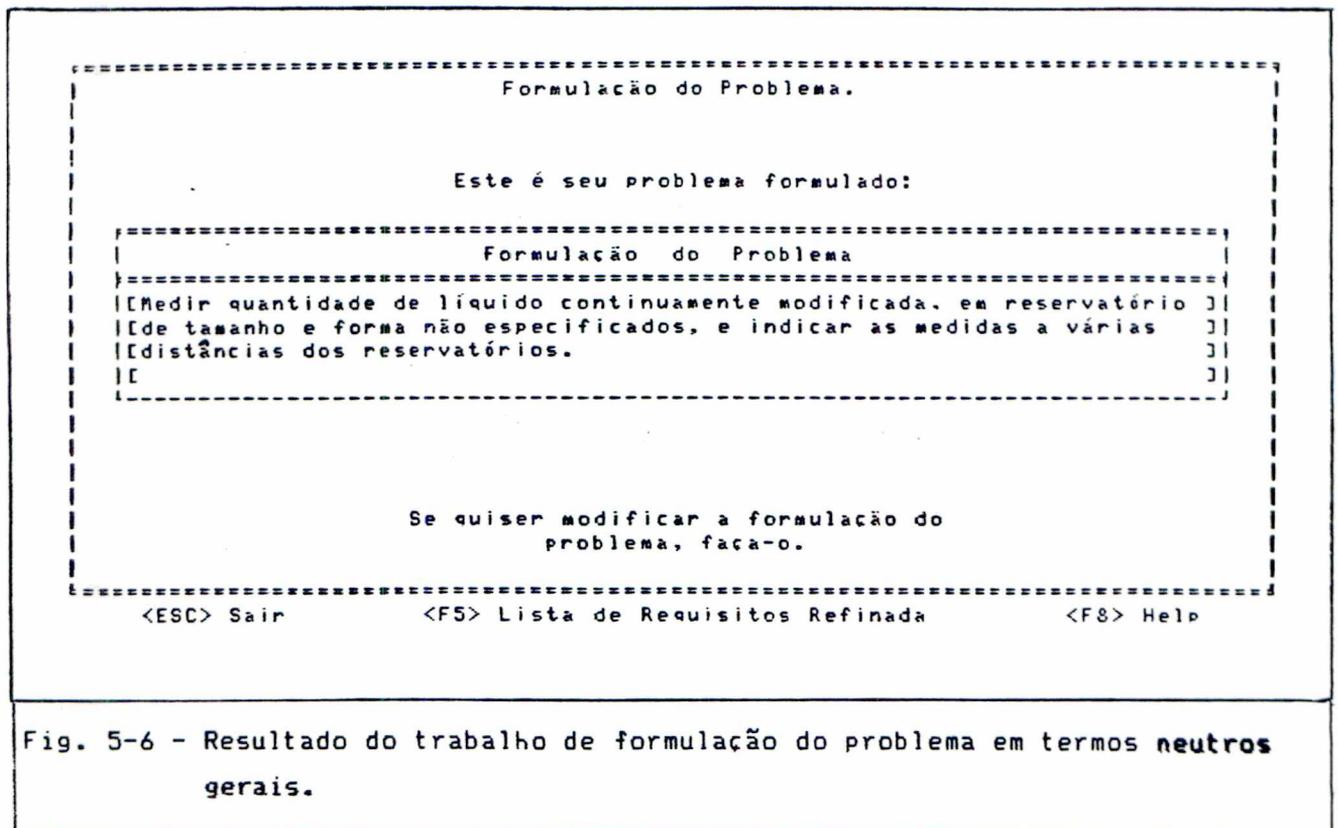


Fig. 5-6 - Resultado do trabalho de formulação do problema em termos neutros gerais.

5.4.5 - O SADEPRO e a ampliação da formulação do problema.

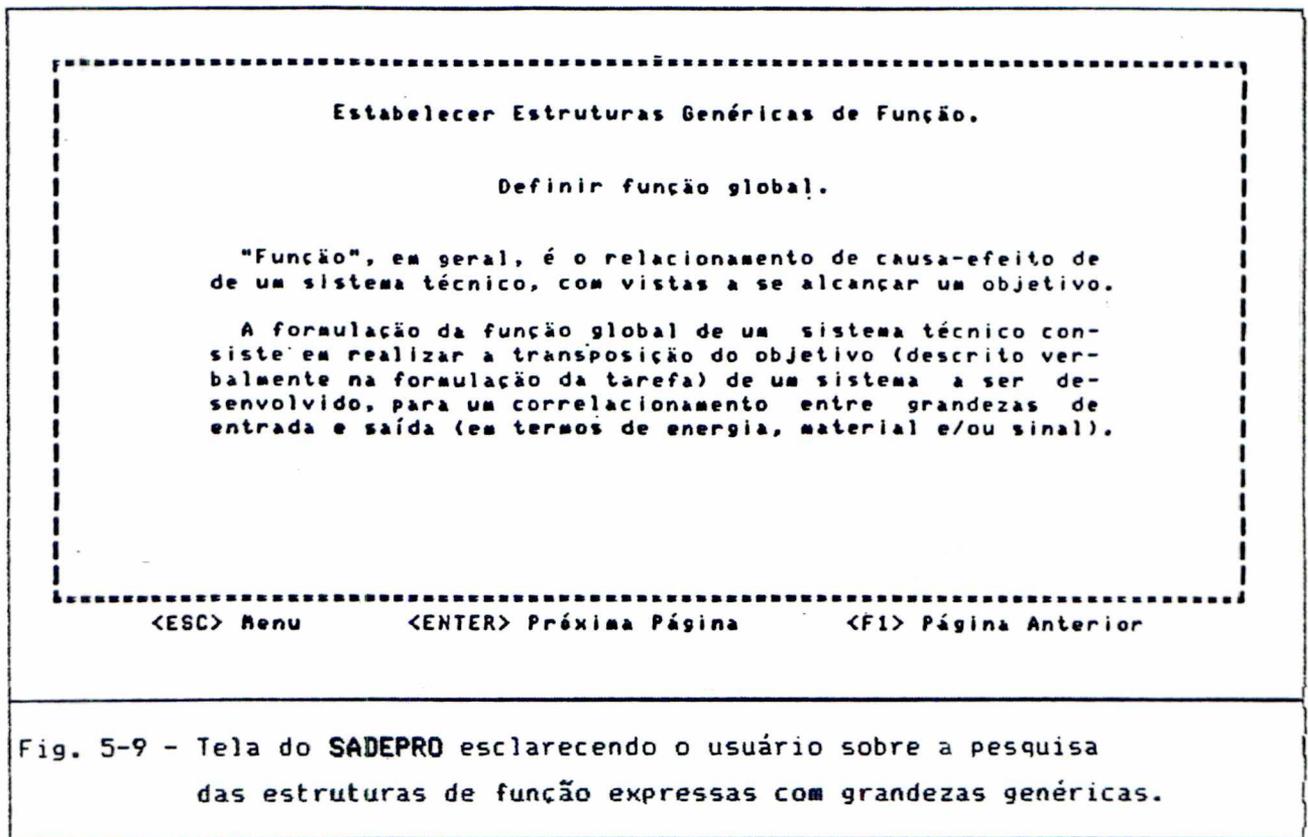
De posse da formulação genérica do problema, busca-se expandir essa formulação, isto é, busca-se verificar se há outras maneiras de expressar a mesma função já estabelecida. Para tanto, o software orienta o usuário a refletir sobre possibilidades alternativas - e eventualmente de maior alcance - para expressar a declaração da função essencial do problema.

Assim, com possibilidade de recorrer à Lista de Requisitos modificada (obtida no passo anterior), o projetista é levado a responder a questões que lhe facilitam identificar eventuais restrições fictícias ainda existentes, e a declarar explicitamente quais propriedades a solução para o produto precisa realmente ter e quais não precisa ter. Com esse procedimento, espera-se subtrair da formulação do problema qualquer limitação - real ou imaginária - eventualmente ainda existente, de modo a compor-se a função global em sua melhor forma de apresentação. A Fig. 5-7 mostra como essa informação chega ao usuário, e a Fig. 5-8 ilustra o resultado desse passo de trabalho.

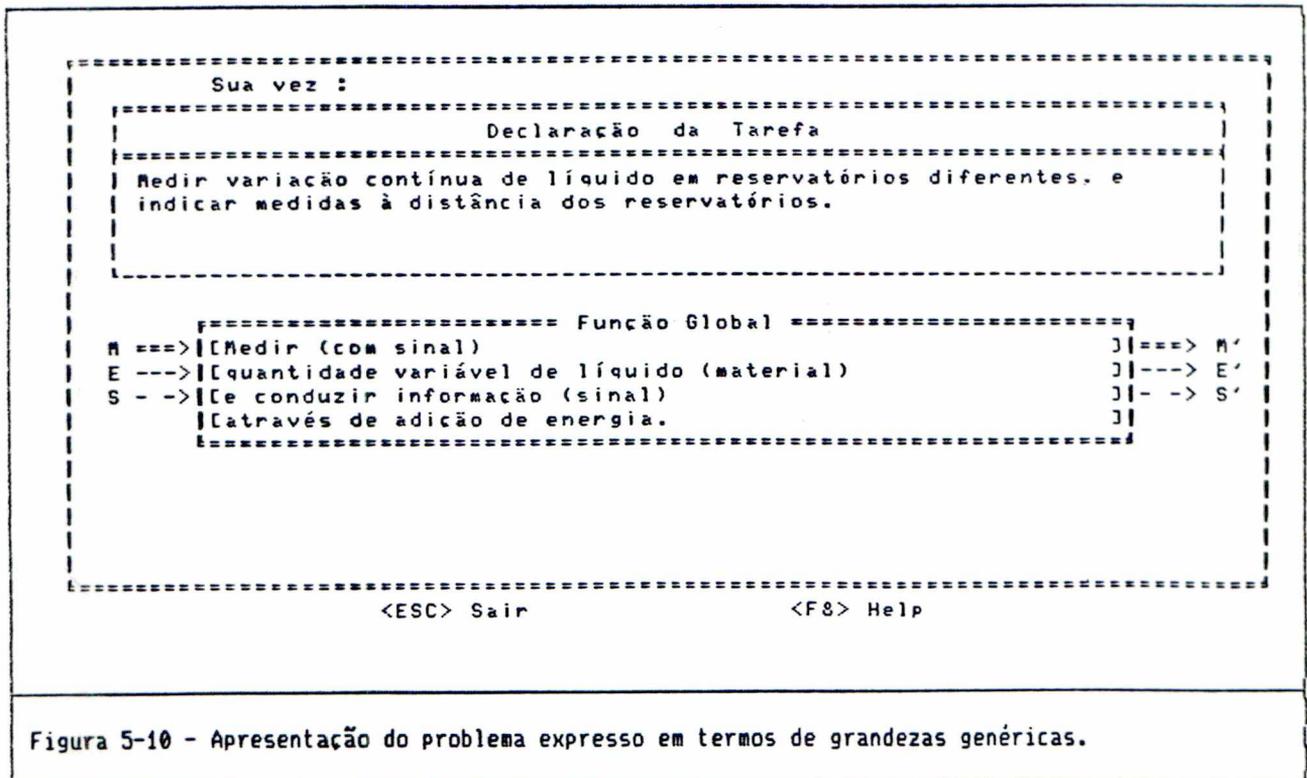
5.4.6 - O SADEPRO e o estabelecimento da função global.

Conforme já foi dito no Capítulo 4, para se chegar à função global no SADEPRO é necessário expressar a declaração do problema (já obtida) em termos das grandezas genéricas energia, material e sinal. As instruções são passadas ao usuário em tela mostrada na Fig. 5-9, e os resultados alcançados estão ilustrados na Fig. 5-10.

A fim de auxiliar nessa passagem, o sistema computacional oferece ao usuário uma lista de verbos técnicos, que é um



rem funções técnicas. Inicialmente, foi adotada lista elaborada por



ROTH (1982) especificamente para projetistas de língua alemã. Constatou-se, na ocasião, que a mera tradução dos termos alemães era insuficiente para expressar funções técnicas em língua portuguesa. Foram feitas, então, adaptações e modificações na lista original, de modo que também em língua portuguesa houvesse um conjunto de palavras capazes de expressar funções técnicas com clareza. Na lista de verbos do SADEPRO, eles são mostrados ao usuário em ordem alfabética, através de "janela" na tela (Fig. 5-11). A relação completa dos verbos técnicos incorporados ao software está no Anexo 3.

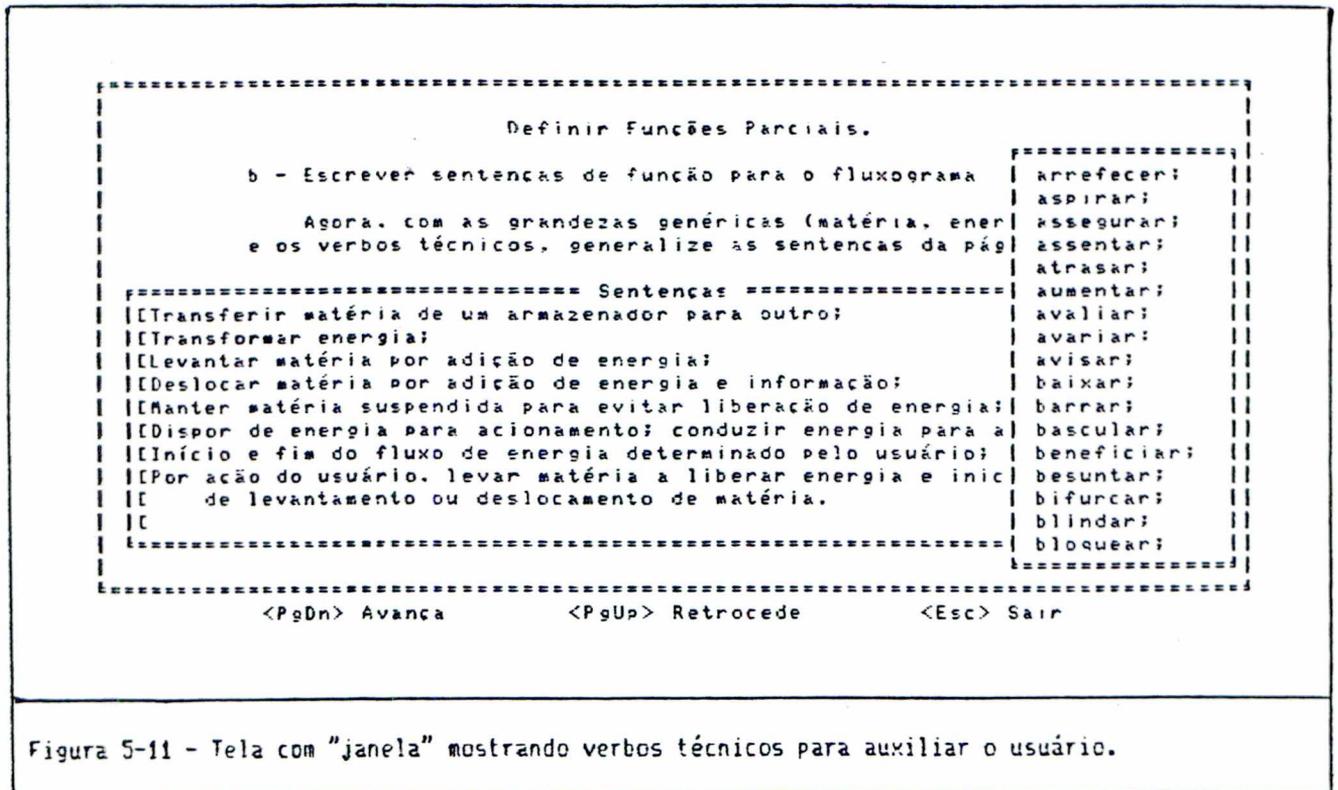


Figura 5-11 - Tela com "janela" mostrando verbos técnicos para auxiliar o usuário.

5.4.7 - O SADEPRO e a decisão sobre "projeto novo" ou "reprojeto".

Depois de obtidas as sentenças funcionais e a função global, é necessário informar ao sistema computacional se se está trabalhando em um projeto novo ou em um reprojeto. Com essa infor-

mação, o SADEPRO direcionará sua seqüência operacional de forma coerente com o projeto em curso.

Na prática, o sistema computacional pretende verificar se é possível contornar algumas passagens seqüenciais do desenvolvimento do projeto e ir direto às fases finais, pois assim haverá economia de trabalho para o projetista. Se a opção for por projeto novo (resposta "1", na Fig. 5-12), o sistema computacional conduzirá o projetista através de todas as fases estabelecidas pela metodologia de projeto aqui adotada (veja Fig. 4-4). Entretanto, se for direcionado para reprojeto (escolha "2", na Fig. 5-12), o sistema irá ignorar as fases intermediárias e instruirá o projetista para definir, neste ponto, a estrutura de funções elementares.

Verificação Parcial.

Deve-se, agora, decidir se este é um projeto NOVO ou não.
Se for NOVO - isto é, se o objetivo deste trabalho for um produto ainda inexistente no mercado atual -, deve-se saltar para o item : "DEFINIR FUNÇÕES PARCIAIS".
Se o projeto for novo e contiver alguma(s) função(ões) parcial(is) conhecidas(s), deve ser tratado como PROJETO NOVO.

Tecla:

- <1> - projeto novo;
- <2> - reprojeto.

<ESC> Menu <F1> Página Anterior

Figura 5-12 - Tomada de decisão: projeto novo ou reprojeto ?

5.4.8 - O SADEPRO e o esboço das funções parciais.

A partir deste ponto do projeto, as informações disponíveis no sistema computacional estarão sendo utilizadas para definir os limites de funções parciais que consigam concretizar o produto em estudo, em processo de crescente abstração: saindo da função global, procura-se delinear as funções parciais que o produto irá conter.

Com esse objetivo, o **software** orienta o usuário para descrever as sentenças de função, as quais ajudarão a definir o "fluxograma de funções genéricas" (ou seja, fluxograma cujas funções têm como entradas e saídas as grandezas genéricas sinal, energia e material). Para isso, como intervenção do usuário, o SADEPRO sistematiza a obtenção das sentenças intermediárias. Há local apropriado para o projetista descrever suas sentenças. Através de janela acionada pela tecla F5, o projetista poderá rever a tarefa anteriormente formulada. A Fig. 5-13 ilustra a referida facilidade do **software**. Assim, a partir das sentenças de função avança-se mais um pouco no sentido de definir a estrutura de funções elementares.

Agora, com aquelas sentenças já elaboradas, o SADEPRO orienta o usuário para descrever funções parciais que conseguem realizar o produto. Ainda não há precisão nessa descrição: é muito mais um "esboço", onde se procura identificar com palavras qual função parcial será responsável por qual parte da tarefa total a ser executada pelo produto, quais poderão ser as relações entre elas, quais serão suas entradas, suas saídas (expressas em termos de material, energia e sinal) e, se for o caso, também quais serão os aspectos gerais que cada função parcial deverá apresentar. Tem-se, assim trabalhado, o fluxograma de funções genéricas, retratando de forma simplificada as possíveis funções que integrarão o produto

Definir Funções Parciais.

Escreva, a seguir, as sentenças de função das tarefas parciais, para o caso atual, em forma de objeto-predicado:

```

===== Sentenças =====
[[Medir volume de fluido; ] ]
[[Detectar variações de volume; ] ]
[[Conduzir informação por adição de energia; ] ]
[[Registrar informações sem a presença de qualquer pessoa. ] ]
[[ ] ]
[[ ] ]
[[ ] ]
[[ ] ]
[[ ] ]
[[ ] ]
[[ ] ]
[[ ] ]

```

<ESC> Sair <F5> Tarefa formulada <F8> Help

Figura 5-13 - Descrição de sentenças de função, utilizando a forma de objeto-predicado.

e as relações entre as próprias funções (Fig. 5-14). Para auxiliar

Definir Funções Parciais.

b - Escrever sentenças de função para o fluxograma genérico.

Agora, com as grandezas genéricas (matéria, energia, sinal e os verbos técnicos, generalize as sentenças da pág. anterior:

```

===== Sentenças =====
[[Medir quantidade de matéria; ] ]
[[Detectar variações na quantidade de matéria; ] ]
[[Transformar variação na quantidade de matéria em informação; ] ]
[[Conduzir informação por adição de energia; ] ]
[[Registrar informação sem presença de pessoa. ] ]
[[ ] ]
[[ ] ]
[[ ] ]
[[ ] ]
[[ ] ]
[[ ] ]

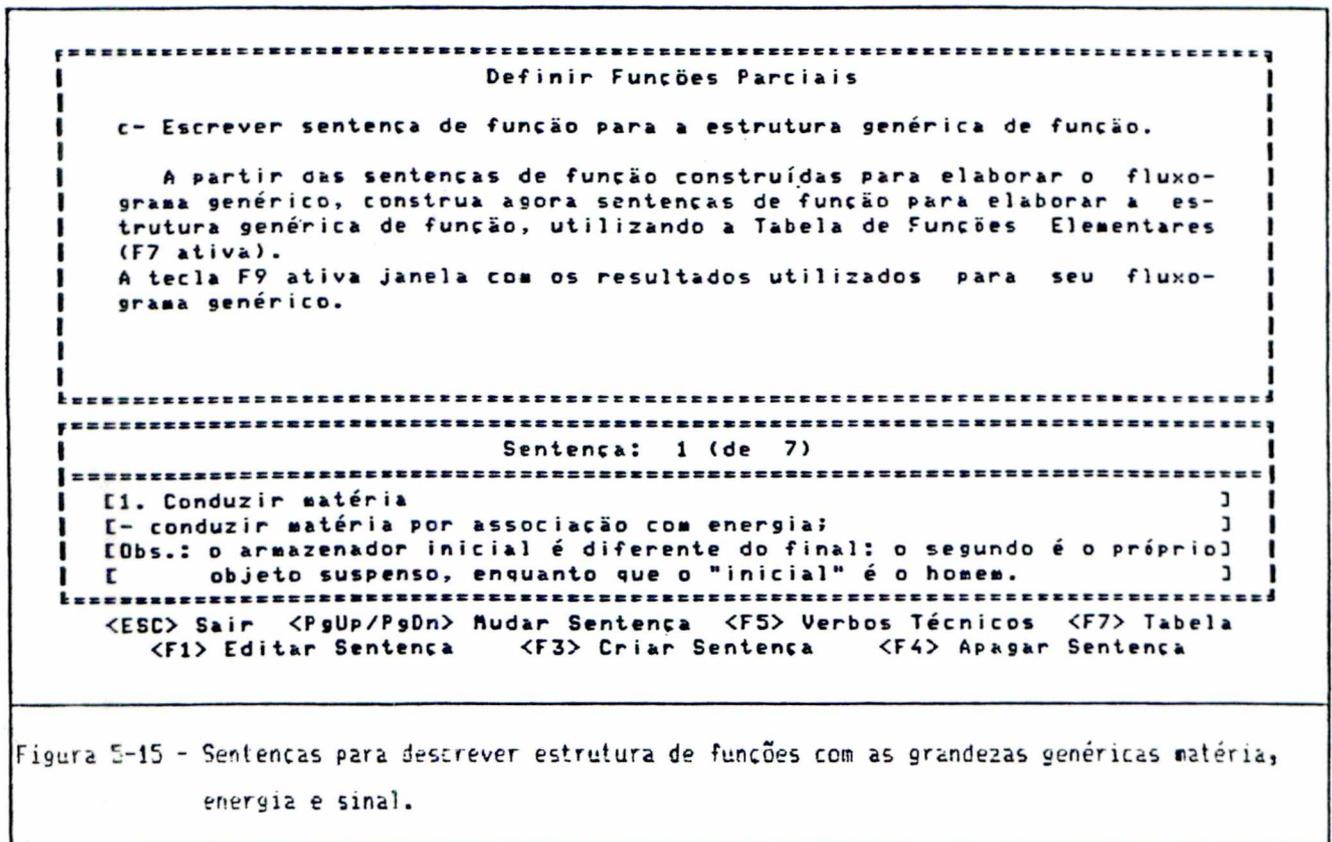
```

<ESC> Sair <F5> Verbos Técnicos/Sentenças Anteriores <F8> Help

Figura 5-14 - Fluxograma de funções genéricas (expressas com material, energia, sinal).

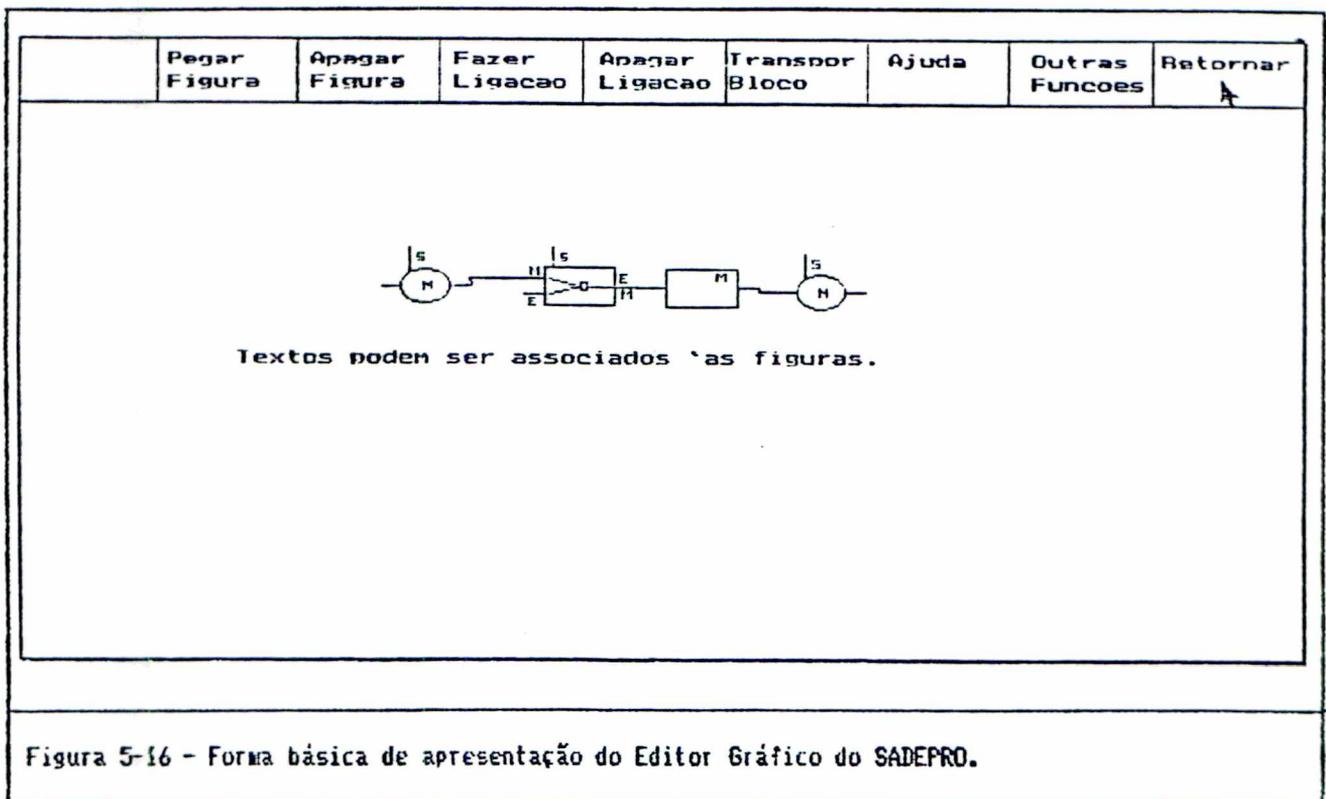
nessa tarefa, o catálogo de verbos técnicos disponível para consulta em "janela" apresentada na tela, ao se pressionar a tecla F5.

Depois disso, procura-se ampliar o alcance das sentenças de função até então estabelecidas. Há, sempre, possibilidade de se recorrer ao catálogo de verbos técnicos através da tecla F5. A Fig. 5-15 reproduz a tela de apresentação dessas facilidades ao usuário: no alto da tela, há um quadro explicativo daquela fase do programa, e na parte de baixo, tem-se um "menu" de opções, esclarecendo como editar as sentenças.



Neste ponto, a cada sentença é possível associar uma figura a ser criada dentro do Editor Gráfico do SADEPRO. Portanto, simultaneamente com as sentenças de função, o sistema SADEPRO possibilita que o usuário-projetista literalmente construa a estrutura

gráfica de funções elementares que está idealizando, ao colocar-lhe à disposição um Editor Gráfico. Dentro deste, é possível visualizar um catálogo com a representação e descrição das principais funções elementares disponíveis para definir a estrutura em que estarão dispostas. Com esse catálogo de funções elementares (mostradas na Fig. 3-9) e utilizando o "mouse", o usuário desenha a estrutura que idealizou, interligando a representação das funções elementares da maneira que lhe parecer adequada. A tecla F1 (mostrada na tela da Fig. 5-15) permite ingressar no Editor Gráfico, cuja forma básica é apresentada na Fig. 5-16.



(Deve-se ressaltar que, para as figuras retiradas do seu catálogo, o SADEPRO consegue distinguir umas das outras. Esse fato é importante para a elaboração do Sistema Especialista - que deverá vir na seqüência deste trabalho -, pois o reconhecimento de

cada função elementar deverá facilitar a atribuição automatizada de soluções ao problema estudado.)

O Editor Gráfico mencionado acima, contido no sistema computacional SADEPRO, é simples e tem limitados recursos, se comparado com programas gráficos comerciais como o DESIGNCAD, AUTOCAD, VERSACAD, HARVARD GRAPHICS e outros. No entanto, apesar de ser modesto, tem papel fundamental na construção e apresentação das estruturas de funções, ajudando o usuário a representar suas idéias e colocando-as sob forma de figuras funcionais, devidamente interligadas em estrutura capaz de concretizar a solução de concepção para o produto estudado.

Com esses recursos disponíveis, chega-se a pelo menos uma estrutura de funções elementares.

Neste ponto, há possibilidade de se modificar a posição relativa entre as funções elementares dessa estrutura, obtendo assim estruturas diferentes da original. Dessa forma, é possível gerar outras estruturas, o que aumentará a possibilidade de se encontrarem diferentes soluções para o produto em estudo. Evidentemente, para que esses rearranjos sejam efetuados de forma produtiva (isto é, sem desperdício de esforços), é preciso que o projetista seja parcimonioso ao fazê-lo. Afinal, não se obtêm soluções a partir de quaisquer estruturas de funções elementares, porque nem sempre haverá encadeamento de efeitos capaz de concretizar uma solução a partir dali. Sob esse ponto de vista, sequer se pode garantir que mesmo para estruturas com encadeamento lógico sempre haja alguma solução.

Por isso, ao utilizar o SADEPRO para definir novas estruturas, o projetista deve fazê-lo com senso crítico, levando em

consideração apenas as estruturas que, a seu ver, possam conduzi-lo a soluções efetivas para o produto em desenvolvimento. Desse modo, é de se esperar que as alternativas geradas sejam direcionadas para a solução efetiva do problema, sem fazer a "árvore" de possibilidades crescer desnecessariamente.

Com uma (ou mais de uma) estrutura de funções elementares disponível para continuar o projeto, inicia-se a delimitação da estrutura de funções parciais. Para isso, é necessário responder à pergunta: "Há subsistemas conhecidos?" (veja Fig. 4-10).

5.4.9 - O SADEPRO e a comparação com subsistemas conhecidos.

Com a estrutura de funções elementares já construída, o software coloca outra decisão ao projetista: trata-se de informar ao SADEPRO se há ou não subsistemas conhecidos que podem ser utilizados no projeto em estudo (Fig. 5-16). Por isso, neste ponto

Deve-se verificar, agora, se há subsistemas já conhecidos que eventualmente possam ser aproveitados ou reprojitados.

Subsistemas conhecidos poderão ser incorporados "in totum" e sem modificações. Neste caso, suas entradas e saídas deverão ser conectadas com os demais subsistemas. Para isso, poderão ser estabelecidos REQUISITOS DE ACOPLAMENTO, para garantir a compatibilização destes subsistemas conhecidos e o conjunto a que vai ser conectado.

Escolha, portanto, sua opção:

- <1> Subsistemas conhecidos serão incorporados, e É NECESSÁRIO registrar Requisitos de Acoplamento;
- <2> Subsistemas conhecidos serão incorporados, e NÃO É NECESSÁRIO registrar Requisitos de Acoplamento;
- <3> Não há subsistemas conhecidos a serem incorporados.

<ESC> Menu <1/2/3> Escolher Opção <F1> Página Anterior

Figura 5-16 - Verificação parcial: há subsistemas conhecidos a serem incorporados ao projeto?

o software orienta o usuário a refletir sobre a possibilidade de haver alguma informação previamente conhecida sobre o problema atual, a qual possa ser aproveitada.

Faz-se, pois, uma verificação parcial, na qual é examinada a possibilidade de se aproveitar algum produto ou função parcial já existente que possam ser integrados in totum ao projeto. Se houver, devem ser estabelecidos os requisitos de acoplamento, para garantir compatibilidade entre a função parcial a ser incorporada e as funções anteriormente existentes na estrutura de funções elementares.

Em relação a esses requisitos de acoplamento, o usuário do SADEPRO é aqui levado a escolher uma dentre as seguintes opções:

- "(1) subsistema conhecido será incorporado, e é necessário registrar requisitos de acoplamento;
- (2) subsistema conhecido será incorporado, e não é necessário registrar requisitos de acoplamento;
- (3) não há subsistemas conhecidos a serem incorporados."

Para incorporar subsistemas conhecidos com requisitos de acoplamento (opção 1, acima), o software apresenta ao usuário Listas de Requisitos de Acoplamento a serem preenchidas pelo usuário-projetista, em seqüência. Ao preencher essas listas, o usuário classifica como "obrigatório" (O) ou como "desejável" (D) o requisito que está sendo introduzido, na medida em que descreve cada um deles. Os requisitos introduzidos neste ponto do software passam a integrar a Lista de Requisitos inicialmente elaborada e, daqui em diante, aparecerão em todas as ocasiões em que essa Lista de Requisitos for necessária para verificar se os requisitos de

projeto estão sendo atendidos pelas alternativas disponíveis de solução. A Fig. 5-17 ilustra a maneira como o usuário poderá registrar informações sobre as necessidades exigidas na integração de uma função parcial conhecida com o conjunto de funções parciais em desenvolvimento.

Lista de Requisitos de Acoplamento	
SUBFUNÇÃO : Acionamento externo do mecanismo de elevação	
REQUISITO : Acoplamento de tubo de gás comprimido ao mecanismo	
Escolha	[0]
Descrição	[Ao se utilizar um tubo de gás comprimido como pos-] [sível fonte externa de energia, é necessário dis-] [por-se de válvula de retenção, que irá impedir a] [saída do gás de seu recipiente de destino.] []
Data Registro	[17/06/93]
Responsável	[MFN]
Custo	[Compatível com válvulas comerciais, adquirida no] [mercado local.]

<Esc> Sair <F7> Editar Requisito <PgUp/PgDn> Mudar Req. <F4> Apagar Req.

Figura 5-17 - Quadro para registrar Requisitos de Acoplamento, para incorporação de subsistemas conhecidos ao projeto em desenvolvimento.

Se houver mais de um subsistema a ser incorporado, o software oferece ao usuário outros quadros para registrar os respectivos requisitos de acoplamento. À medida que esses novos requisitos vão sendo descritos, também são incorporados à Lista de Requisitos preparada inicialmente, e mantêm sua característica de "requisitos de acoplamento". Em outras palavras, os novos requisitos passam a fazer parte da Lista de Requisitos integral do projeto, mas sempre são reconhecidos como requisitos adicionados a essa Lista.

Os itens ora incorporados são utilizados pelo software do mesmo modo que aquela Lista inicial: prestam-se para acompanhar o andamento do projeto, e para selecionar alternativas de solução por ocasião da avaliação.

A seguir, são explicitados os limites das outras funções parciais que serão realizadas pelo produto em estudo.

5.4.10 - O SADEPRO e a definição dos limites das funções parciais.

Antevendo a existência de componentes modulares para realizar subfunções diferentes do futuro sistema técnico, procura-se delinear os limites de cada uma dessas subfunções.

No SADEPRO, a descrição das funções parciais é feita sob a forma de um texto associado à estrutura de funções elementares correspondente e a um croqui desenhado para representar a idéia do projetista para concretizar essa função parcial.

O texto da função parcial é elaborado conforme ilustração mostrada na Fig. 5-18. Para orientação do projetista, cada uma das funções parciais é numerada e situada em relação ao total de funções parciais existentes no sistema em desenvolvimento.

De outro lado, a estrutura de funções elementares associada a cada função parcial é obtida em tela gráfica: teclando F2, a estrutura completa de funções elementares é mostrada ao usuário, que delimitará a região correspondente à função parcial focalizada. A partir de então, a estrutura de funções elementares correspondente àquela função parcial ficará vinculada ao texto referente a essa função parcial. Dessa forma, progressivamente o usuário irá delimitar todas as funções parciais que compõem sua estrutura global de funções elementares. A Fig. 5-19 exemplifica uma tela onde é mostrada a delimitação de funções parciais.

DEFINIÇÃO DOS LIMITES DAS FUNÇÕES PARCIAIS

FUNÇÃO PARCIAL: 3		Total de Funções Parciais: 3
Nome	[Transformador de energia/amplificador de força.]	
Objetivo	[Modificar energia da entrada; amplificar força de] [elevação ou movimentação de carga.]	
Grandeza(s) de Entrada	[Energia de acionamento.]	
Grandeza(s) de Saída	[Energia transformada em força de elevação de car-] [ga.]	
Observação	[A energia da entrada é transformada em força de] [elevação de carga.]	

<ESC> Sair <F1> Digitar Limites <F2> Desenhar F. Parcial
 <PgDn> Próxima Função Parcial <PgUp> Função Parcial Anterior
 <F5> Ver Sentença <F3> Criar Nova Função Parcial <F4> Apagar Função Parcial

Figura 5-18 - Descrição textual dos limites das funções parciais do produto.

Finalmente, também em tela gráfica do software há

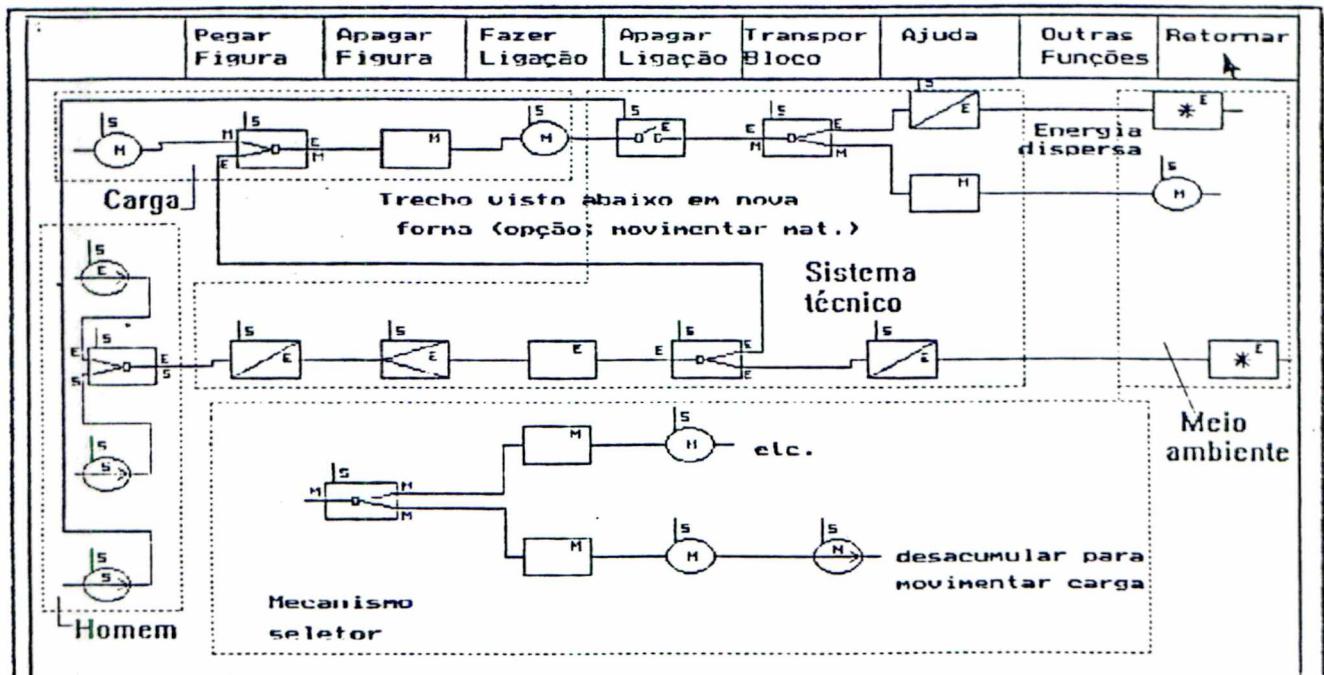


Figura 5-19 - Exemplificação da delimitação gráfica das funções parciais de um produto em desenvolvimento.

possibilidade de se elaborar um croqui vinculado a cada função parcial ora delimitada. Isso é feito com utilização do **mouse**, dentro do Editor Gráfico acionado pela tecla F2. A Fig. 5-20 apresenta um croqui criado para exemplificar este referido ponto.

(Desde já fica aqui preparada uma ação indispensável para permitir o avanço do **SADEPRO** na direção de um futuro Sistema Especialista: a delimitação ora elaborada permite que sejam registrados os requisitos de acoplamento entre funções parciais, na forma de entradas e saídas, o que é essencial para se estabelecer a **análise de compatibilidade** entre as funções parciais vizinhas. Essa análise de compatibilidade garantirá que as escolhas de soluções para as diferentes funções parciais, realizadas automaticamente pelo Sistema Especialista, produzirão resultados capazes de se integrarem, compondo uma solução global satisfatória para o conjunto das funções parciais.)

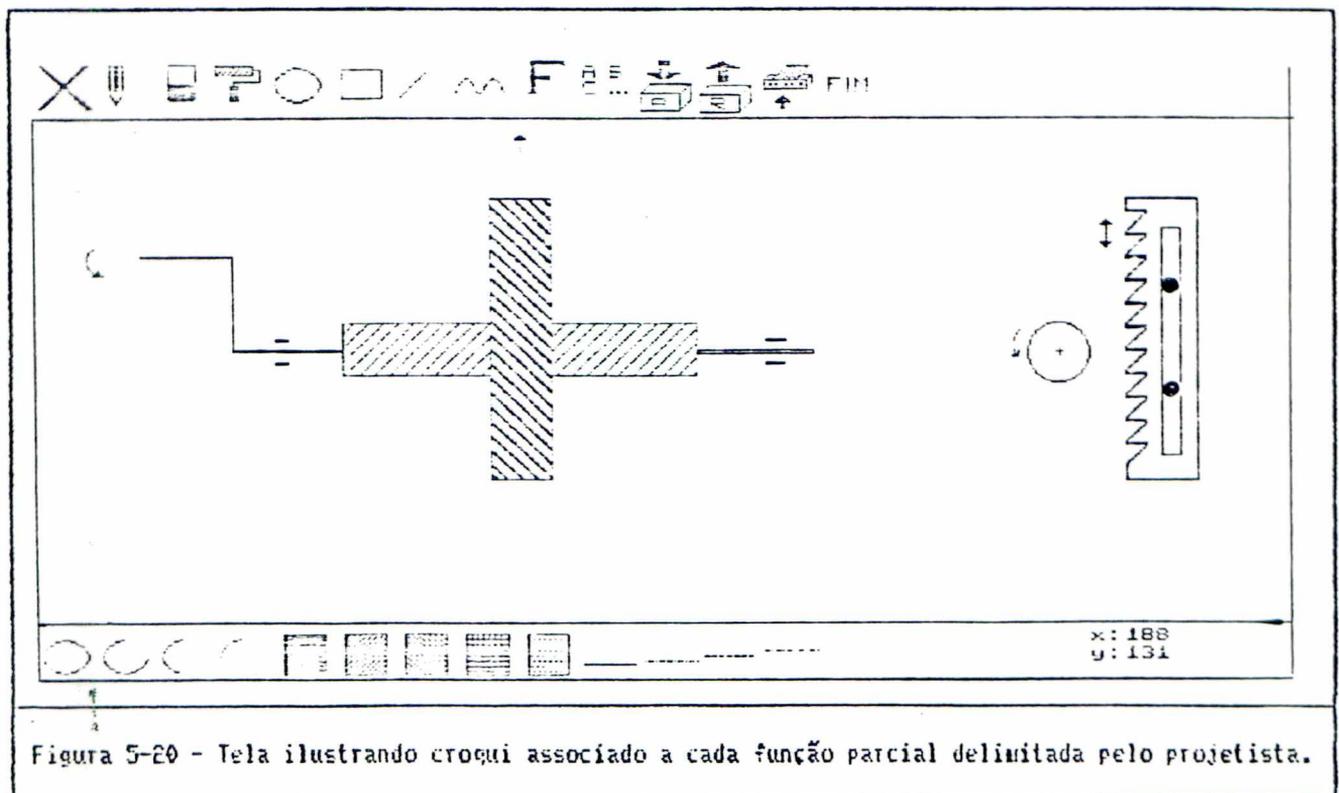


Figura 5-20 - Tela ilustrando croqui associado a cada função parcial delimitada pelo projetista.

Neste ponto, todas as funções parciais já delimitadas e as estruturas que as interligam são cotejadas com a Lista de Requisitos de projeto. A Fig. 5-21 mostra como essa avaliação aparece ao usuário do SADEPRO. Nessa figura, as funções parciais do produto em desenvolvimento são mostradas ao usuário, de uma em uma, na parte inferior da tela; na parte superior, os requisitos de projeto são apresentados ao projetista, de forma a poderem ser comparados com a função parcial mostrada embaixo. Acionando a tecla F2, consegue-se rever o croqui desenhado para a respectiva função parcial e também suas funções elementares componentes, dentro da estrutura correspondente. Estas possibilidades todas pretendem facilitar o trabalho do projetista, quando for comparar a Lista de Requisitos com as alternativas de solução.

COMPARAÇÃO DA ESTRUTURA DAS FUNÇÕES PARCIAIS COM A LISTA DE REQUISITOS			
Quesito	[GEOMETRIA]
Requisito	[TAMANHO]
Descrição	[O produto deve ser pequeno, transportável dentro]
	[do porta-malas do carro, sem tomar muito espaço da]
	[bagagem.]
	[]
	[]
Escolha	[0]]
Custo	[Compatível com o custo esperado do projeto.]
	[]

Função Parcial: 1		Total de Funções Parciais: 3	
Nome	[Fonte de energia (portátil);]
Objetivo	[acionar o sistema técnico;]
	[]
Grandeza(s) de Entrada	[variável, conforme a fonte;]
	[]
Grandeza(s) de Saída	[energia (acionadora);]
	[]
Observação	[a fonte de energia poderá não ser o homem; neste]]
	[caso, poderá estar agregada ao sistema técnico.]]
<ESC> Sair	<Home/End> Mudar Requisito	<PgUp/PgDn> Mudar Função Parcial	
<F1> Alterar Limites da FP	<F2> Alterar Desenho da FP	<F4> Apagar FP	

Figura 5-21 - Verificação: funções parciais versus lista de requisitos.

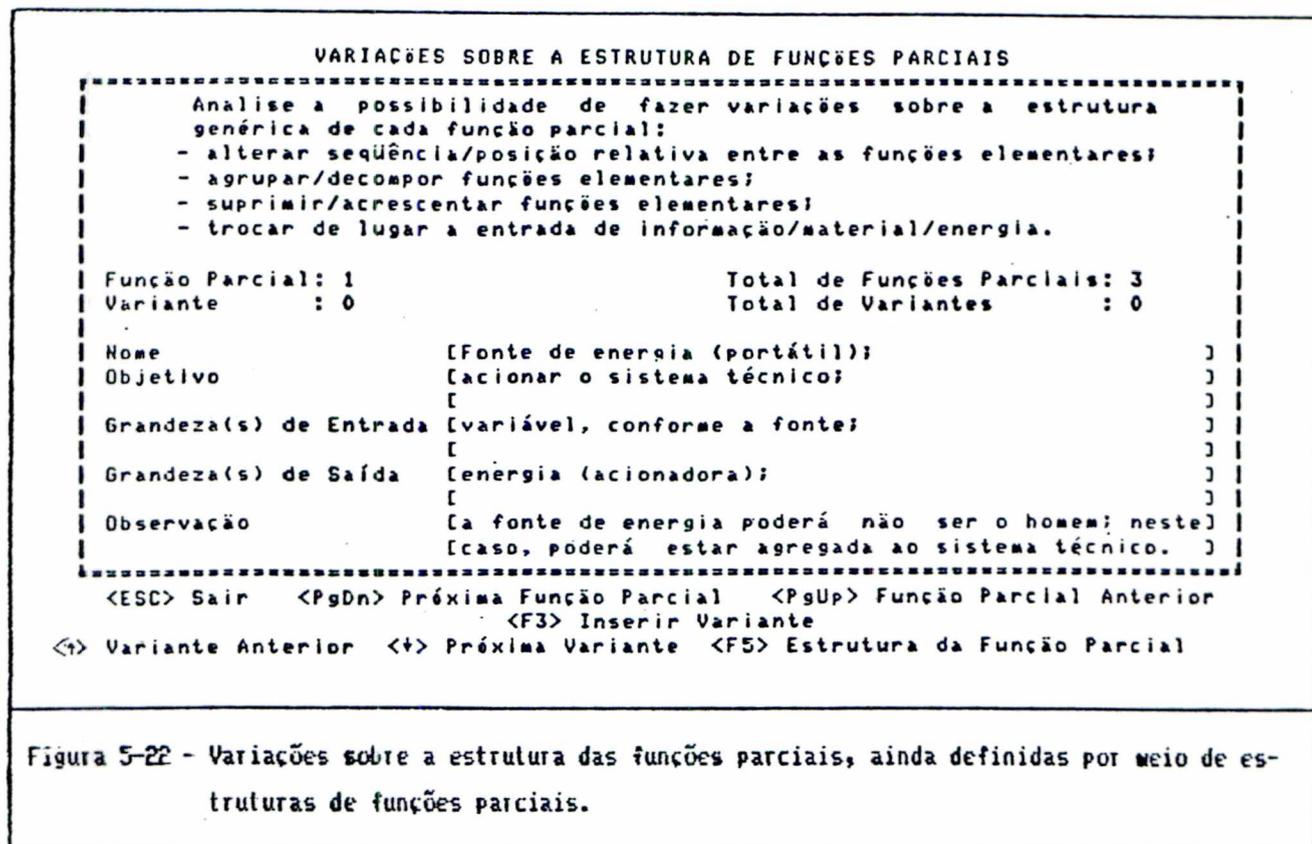
No próximo passo, verifica-se se é possível alterar

as posições relativas das funções elementares, dentro das funções parciais, de modo a se obterem novas combinações para a concepção de cada função parcial.

5.4.11 - O SADEPRO e as variações realizadas sobre a estrutura de funções elementares que compõe cada função parcial.

O sistema **SADEPRO** possibilita que o usuário pesquise alterações nas posições gráficas das funções elementares já estruturadas, agrupadas ou não em funções parciais, em busca de novas combinações que realizem a função global pretendida. Permite-lhe, também, copiar, de um quadro para outro, figuras já desenhadas - no todo ou em parte (neste último caso, o usuário delimita a parte da figura a ser transcrita). Essa ação é efetuada em tela gráfica (Fig.5-20), devidamente associada a tela de texto (Fig. 5-22). Quaisquer variações encontradas para alguma estrutura de funções elementares são facilmente transportáveis pelo **SADEPRO** a outros gráficos de estruturas de funções, gerando estruturas diferentes das existentes até então. O projetista deverá, na ocasião, verificar quais dessas novas estruturas de funções elementares podem ser aproveitadas para compor as variantes - parciais ou totais - da estrutura de funções já existentes. Como em casos anteriores, pode-se elaborar croqui associado a cada variante de função parcial.

Assim, estarão sendo obtidas as **variantes de função parcial**, que representam alternativas para concretização do produto em estudo. Essas variantes passarão a integrar o conjunto de possibilidades de solução do produto: têm um texto que descreve cada uma delas, correspondentemente associado a uma estrutura de funções elementares e a um croqui. Recebem o mesmo tratamento que as funções parciais obtidas antes delas, pois também servirão de auxílio



na busca de soluções para o projeto em estudo.

Todas essas variantes das estruturas de funções elementares, representando funções parciais, são inspecionadas quanto ao atendimento à Lista de Requisitos do projeto da mesma forma que o foram as funções parciais anteriores, como mostrado na Fig. 5-21.

5.4.12 - A pesquisa de princípios de solução com auxílio do sistema SADEPRO.

O SADEPRO oferece, para a pesquisa de soluções e para a identificação de efeitos, um conjunto de catálogos a partir dos quais o usuário pode iniciar a identificação dos efeitos que consigam realizar as funções elementares a que já chegou. Como foram aqui utilizadas as operações básicas relacionadas na Fig. 3-9,

para cada uma delas existem catálogos de efeitos incorporados ao SADEPRO.

A fim de facilitar o acesso ao catálogo - e também a fim de, em futura continuação deste estudo (a elaboração de um Sistema Especialista), possibilitar a busca automática de solução para a estrutura de soluções elementares -, o SADEPRO "reconhece" a função elementar para a qual o usuário está procurando efeitos que a realizem. Assim, este software oferece ao projetista o catálogo de efeitos correspondente à função elementar que estiver sendo focalizada, e o projetista consegue percorrê-lo ao procurar soluções para suas funções elementares. Este aspecto é percebido facilmente na utilização do SADEPRO.

Particularidades dos Catálogos de Efeitos existentes no SADEPRO.

Além da apresentação de efeitos capazes de realizar a função elementar enfocada, também há nos catálogos informações adicionais sobre esses mesmos efeitos. Por exemplo, há um texto que explica o efeito focalizado, incluída aí a lei que rege o fenômeno no qual se baseia o efeito. Vinculada ao efeito enfocando e ao texto explicativo, há, ainda, figura que ilustra uma maneira pela qual o efeito ocorre, em geral a maneira mais comumente encontrada nas aplicações práticas daquele efeito. Há, por último, sugestão de bibliografia na qual o usuário poderá encontrar maiores informações sobre aquele efeito mencionado, se desejar. Exemplo de uma folha desse catálogo está na Fig. 5-23.

Deve-se ressaltar aqui que os Catálogos hoje incorporados ao SADEPRO, embora em grande quantidade, não são exaustivos, ou seja, não contêm todos os efeitos conhecidos para cada função elementar, mas apenas os mais comumente encontrados na Biblio-

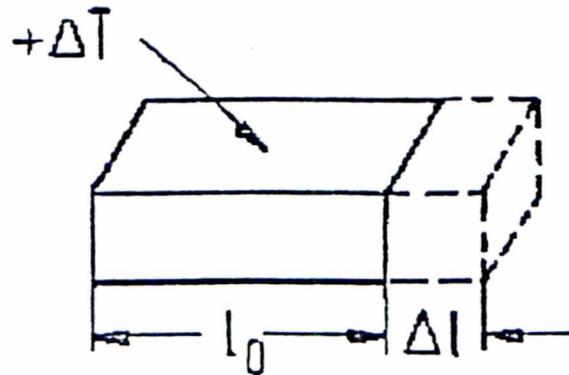
SISTEMATIZAÇÃO PARA A OPERAÇÃO BÁSICA : "TRANSFORMAR"
ENERGIA OU SINAL



CAUSA : TEMPERATURA / CALOR

EFEITO FÍSICO : Dilatação térmica

Esquema do princípio



DESCRIÇÃO: A variação de temperatura provoca uma alteração nas dimensões do corpo.

LEI: $(l_f - l_0) = L_0 * \alpha * (T_f - T_i)$, onde :

α = coeficiente de dilatação térmica

APLICAÇÃO: - Termostato,
- bimetal.

BIBLIOGRAFIA: FERENCZ JR., Michael et al. *Curso de Física Calor*. São Paulo: Edgard Blücher, s. d., p. 9.

SEARS, Francis Weston et al. *Física*, 2ª ed. rev. Rio de Janeiro: São Paulo: LTC, 1984, v.2. *Mecânica dos fluidos. Calor. Movimento ondulatório*, p. 338.

Figura 5-23 - Exemplo de "folha" do Catálogo de Efeitos incorporado ao sistema computacional.

A relação completa dos Catálogos existentes no SADEPRO está apresentada no Anexo 2.

grafia. Além disso, os Catálogos aqui existentes abrangem efeitos ligados em geral a produtos próprios da Engenharia Mecânica. O trabalho de se complementar os Catálogos, acrescentando a eles inclusive efeitos que possam representar fronteiras conhecidas da tecnologia, bem como efeitos ligados a outras áreas do conhecimento humano, é de alcance mais amplo e foge ao objetivo imediato do presente trabalho. No entanto, pode-se afirmar que a estrutura desses Catálogos já está montada e, dentro do SADEPRO, eles funcionam a contento. Na medida em que se dispuser de informações adicionais sobre quaisquer efeitos, essas informações poderão ser anexadas ao Banco de Dados do SADEPRO, enriquecendo-o e aumentando o seu potencial de auxílio ao projetista de produtos industriais.

5.4.13 - O SADEPRO e a construção da matriz de efeitos.

Na construção da matriz de efeitos com auxílio do SADEPRO, os efeitos associados às funções elementares tanto podem provir dos Catálogos previamente incorporados ao sistema computacional como podem também ser introduzidos pelo próprio usuário, pois durante a utilização do SADEPRO é dada opção ao projetista de relacionar efeitos que não estejam disponíveis nos Catálogos. Para isso, ele pode inserir textualmente qualquer idéia que lhe ocorra como possível efeito para realizar sua função elementar. O conjunto dos efeitos relacionados para possíveis soluções do problema enfocado forma uma estrutura semelhante aos ramos de uma árvore. Um exemplo de "árvore" formada com efeitos associados está exposto na Fig. 4-14.

Como a tela do computador tem tamanho limitado - e, em geral é menor do que a matriz de efeitos que se constrói -, a

apresentação dessa matriz ao usuário é feita de forma linear, isto é, no software o usuário visualiza os efeitos associados às funções elementares individual e seqüenciadamente, à medida em que ele próprio vai acionando os comandos para visualizar esses efeitos associados. Para não perder de vista o local em que se encontra, ao percorrer a estrutura de efeitos, há indicadores numéricos que informam a posição do usuário (Fig. 5-24). Nessa figura, vêem-se, em coluna da esquerda, os indicadores referentes ao número da função parcial focalizada, número da variante correspondente, número da função elementar descrita na tela e número do efeito considerado, situando esses números em relação aos respectivos valores totais, mostrados em coluna à direita.

PREPARAÇÃO DA MATRIZ DE EFEITOS

Associe efeitos à função elementar que compõe a estrutura de funções parciais e suas variantes já identificadas.

Função Parcial : 1	Total de Funções Parciais : 3
Variante : 0	Total de Variantes : 0
Função Elementar: 1	Total de Funções Elementares: 1
Efeito : 1	Total de Efeitos : 4

Função Elementar : Desacumular
Verbo Técnico + Predicado [do ser humano para o material]

Efeito : Energia humana?

<ESC> Sair <↑> Mudar Função Elementar <-/+> Mudar Efeito
 <F1> Alterar Ef. <F2> Associar Efeito(Teclado) <F3> Associar Efeito(Tabela)
 <F4> Apagar Efeito <TAB> Verbo Técnico + Predicado <F8> Outras Funções

Figura 5-24 - Preparação da matriz de efeitos, com utilização ou não dos Catálogos de Efeitos armazenados no sistema computacional.

Para a apresentação na tela, "variante 0" é sempre a

primeira estrutura obtida, ou seja, é a estrutura que deu origem às estruturas alternativas; por isso, se houver uma "variante 0" de um "total de variantes 0", significa que existe uma única estrutura idealizada: é a estrutura original (Fig. 5-24). Por outro lado, se uma função parcial é apresentada com "função elementar 1" de um "total de funções elementares 1" significa que essa função parcial contém uma única função elementar; na figura citada, essa função elementar é a de "desacumular".

Também é possível ver, através de "janela", a estrutura de funções elementares referente à função parcial focalizada na tela.

Como facilidade da interface com o usuário, o SADEPRO aceita que o projetista faça inserções de número ilimitado de efeitos - provenientes dos Catálogos ou não - para cada função elementar. Tem, também, flexibilidade suficiente para permitir exclusão, a qualquer momento, de efeitos considerados inadequados, sem prejuízo da organização estrutural do conjunto de efeitos associados.

Ainda como facilidade oferecida pelo SADEPRO, tem-se que se o efeito associado à função elementar provém dos Catálogos armazenados no sistema, todas as informações sobre aquele efeito constantes no Catálogo o acompanharão, ou seja, de dentro da própria matriz de efeitos consegue-se rever os conhecimentos arquivados nos Catálogos, sobre cada um dos efeitos escolhidos. Do ponto de vista da elaboração do projeto, isso é importante porque essas informações tanto podem ajudar o projetista durante a busca de soluções para as funções elementares como podem auxiliá-lo nas etapas posteriores do projeto do produto (projeto preliminar e projeto detalhado).

5.4.14 - O SADEPRO e a elaboração da matriz de portadores de efeito e de princípios de solução.

De conformidade com a teoria de projeto do produto aqui utilizada, a preparação da matriz de portadores de efeito se faz simultaneamente com a da matriz de princípios de solução, já que não se concebe princípio de solução sem seu correspondente portador do efeito.

A associação de portadores de efeito e de princípios de solução a cada efeito relacionado como possível para realizar a função faz-se, no SADEPRO, mediante descrição textual desse portador de efeito (Fig. 5-26) e um desenho esquemático - um croqui - representando o princípio de solução correspondente à solução idealizada (Fig. 5-27). Também aqui o Editor Gráfico do SADEPRO é oferecido ao usuário, para elaborar um desenho simplificado - o croqui - do princípio de solução imaginado.

PREPARAÇÃO DA MATRIZ DE PORTADORES DE EFEITOS/PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO			

Descreva portadores de efeitos e princípios de solução para os efeitos já definidos.			
Função Parcial	: 1 (3)	Variante	: 0 (0)
Função Elementar	: 1 (1)	Efeito	: 1 (5)
Portador de Efeito:	2 (4)	Princípio de Solução:	1 (3)

Função Elementar : Emitir (fonte)			
Verbo Técnico + Predicado : Emitir energia			
Efeito : Energia humana			
Portador de Efeito	[Mãos do operador giram alavanca, que movimenta um]		
	[parafuso-sem-fim.]		
	[]		
Princípio de Solução	[A manivela transfere a força do operador para o]		
	[mecanismo de elevação.]		
	[]		

<ESC> Sair <INS/DEL> Mudar Portador de Efeito <-/+> Mudar Efeito			
Princípio Solução: <Ctrl+F1> Editar / <Ctrl+F3> Inserir / <Ctrl+F4> Apagar			
<F2> Desenhar P. Solução <F11/F12> Mudar P. Solução <F8> Outras Funções			

Figura 5-26 - Preparação da matriz de portadores de efeitos e de princípios de solução.

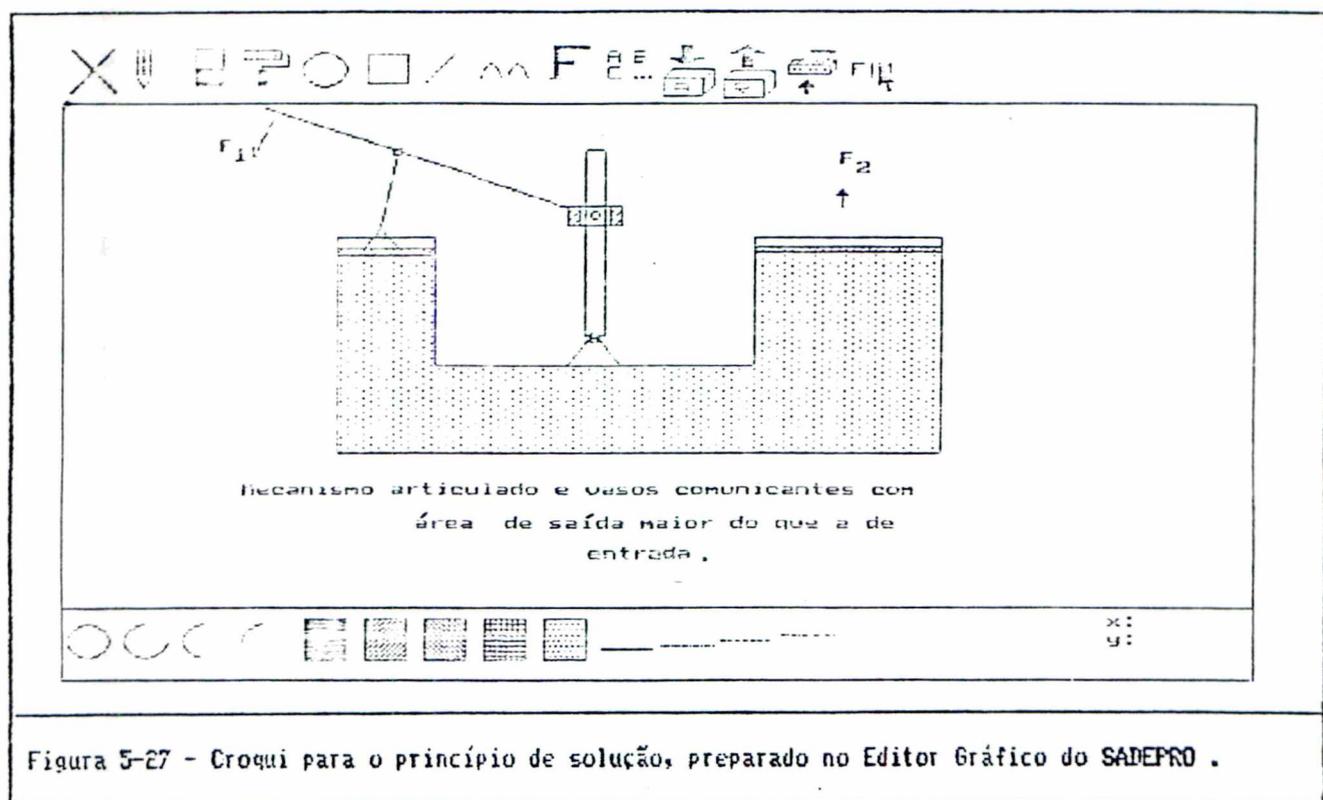


Figura 5-27 - Croqui para o princípio de solução, preparado no Editor Gráfico do SADEPRO.

Na seqüência da utilização do SADEPRO, faz-se a comparação dessa Matriz com os Requisitos inicialmente colocados para o projeto do produto que está sendo idealizado (Fig. 5-28). Como se pode ver nessa figura, o portador de efeito e seu princípio de solução correspondente são mostrados na parte inferior da tela, com opção de visualizar o croqui desenhado para ilustrar o pensamento do projetista; e na parte superior são apresentados, de um em um, os itens da Lista de Requisitos original. Da mesma forma que em situações anteriores, se qualquer requisito obrigatório não for satisfeito por algum portador de efeito ou princípio de solução, essa alternativa deverá ser imediatamente excluída do conjunto das soluções possíveis para o problema em estudo.

Com a descrição do portador de efeito idealizado e o croqui do correspondente princípio de solução, estará completa a

matriz que servirá de base para a pesquisa da solução das funções parciais que compõem o produto. O sistema computacional, então, orienta o usuário para obter essa solução.

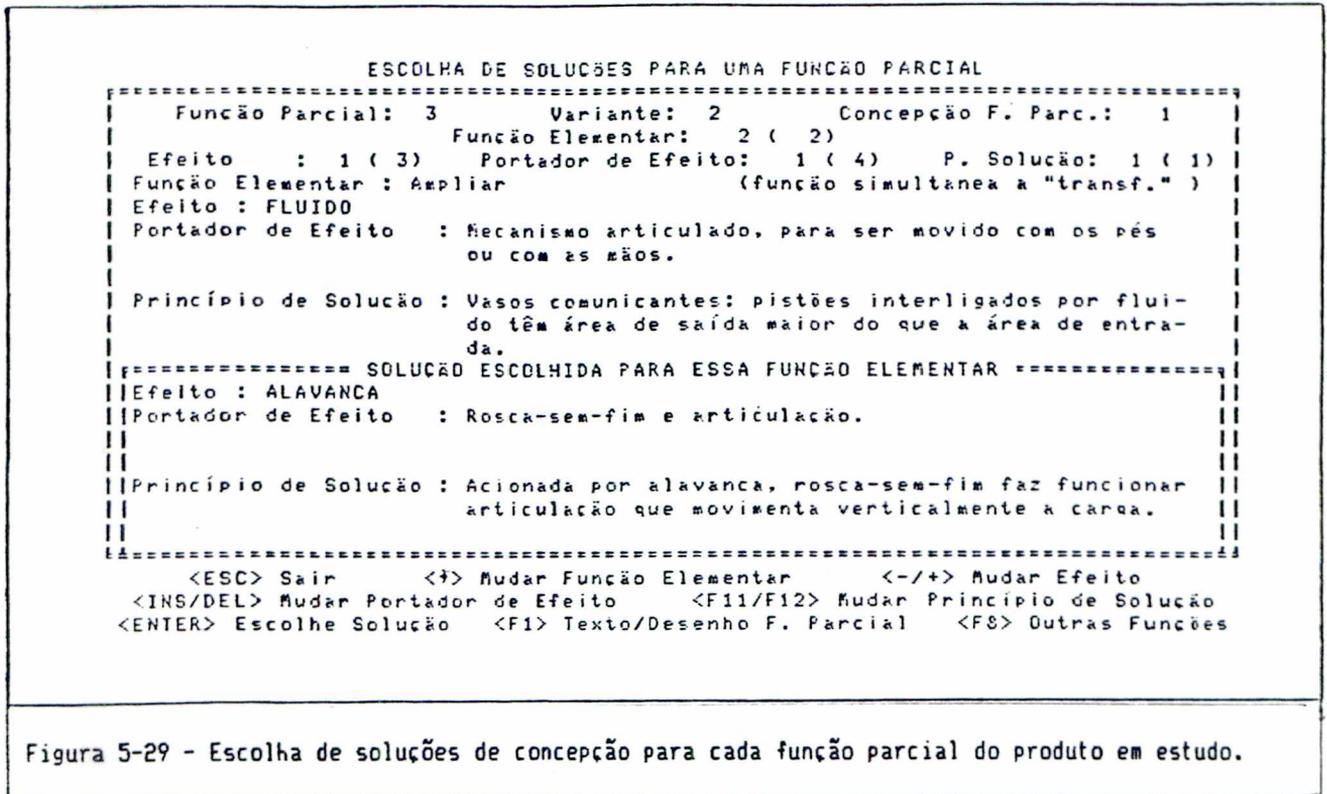
COMPARAÇÃO DOS PORT. DE EFEITOS E PRINC. DE SOLUÇÃO COM A LISTA DE REQUISITOS			
Quesito	[GEOMETRIA]
Requisito	[TAMANHO]
Descrição	[O produto deve ser pequeno, transportável dentro]
	[do porta-malas do carro, sem tomar muito espaço da]]
	[bagagem.]
	[]
	[]
Escolha	[0]]
Custo	[Compatível com o custo esperado do projeto.]
	[]
=====			
F. Parcial:	3 (3)	Variante :	1 (2)
Efeito :	4 (4)	P. Efeito :	1 (1)
Função Elementar :	Retransformar	(en. humana em en. mecânica)	
Efeito :	LEI DE BIOT_SAVART		
Portador de Efeito	[Um motor elétrico movido a bateria pode transfor-]
	[mar ENERGIA (não mais humana) em ENERGIA MECÂNICA)]]
	[para elevar o material, conforme desejado.]
Princípio de Solução:	[Motor elétrico (podendo ser acionado pela bateria]]
	[do veículo).]
	[]
<ESC> Sair <Home/End> Mudar Requisito <F11/F12> Mudar P. Efeito <F8> Outras Princípio de Solução: <Ctrl+F1> Editar / <F2> Desenhar / <Ctrl+F4> Apagar Portador de Efeito: <INS/DEL> Mudar / <F1> Editar / <F4> Apagar			

Figura 5-28 - Comparação da matriz de portadores de efeitos e de princípios de solução com a Lista de Requisitos do projeto.

5.4.15 - O SADEPRO e a obtenção de solução para a função parcial.

No SADEPRO, a busca de solução integrada para a função parcial é feita escolhendo-se portador de efeito e princípio de solução para cada função elementar componente de uma dada função parcial (e também de suas possíveis variantes). Essa escolha é feita a partir dos portadores de efeito e princípios de solução anteriormente já obtidos.

Com esse objetivo, o SADEPRO apresenta ao usuário um quadro para ser completado (Fig. 5-29). Na parte superior do quadro, são registradas informações gerais sobre a função parcial en-

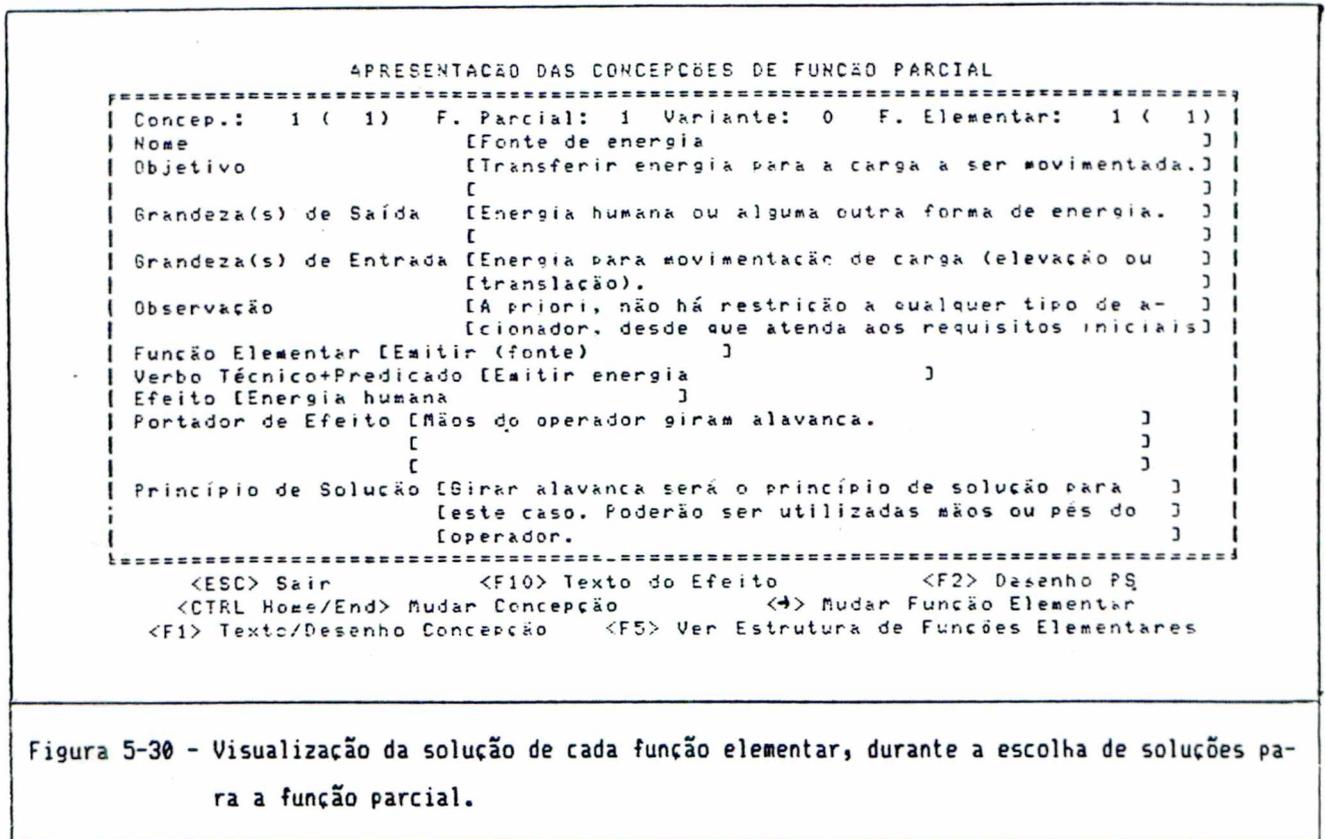


focada, que pode ser visualizada - texto e figura associados - teclando-se F1. Logo abaixo, são relacionados efeitos, portadores de efeitos e princípios de solução já identificados como capazes de solucionar - no todo ou em parte - essa função parcial. Todos esses dados podem ser alternados pressionando-se as teclas correspondentes, indicadas na última linha ("menu") do quadro. Logo acima do "menu", contornadas por linhas tracejadas, são apresentadas, de uma em uma, as soluções - texto e croqui - anteriormente idealizadas para cada função elementar. Dentre estas soluções possíveis, o usuário seleciona (teclando ENTER) a solução de cada função elementar que lhe parece mais adequada para integrar a solução da função parcial considerada. Com sucessivas ações semelhantes, será obtida uma solução completa para a função parcial.

Ressalte-se que, durante o procedimento descrito

acima, tem-se acesso integral aos textos e às respectivas figuras associadas, sendo possível resgatar (a partir dos comandos do "menu") todas as informações até então existentes sobre funções elementares, efeitos, portadores de efeitos e princípios de solução. Neste ponto, ao conjunto de informações poderá ser acrescentado croqui referente à solução completa ora idealizada para a função parcial em questão.

A integralização da solução completa da função parcial, obtida a partir da solução de suas funções elementares componentes (com os portadores de efeito escolhidos e seus correspondentes princípios de solução), é exibida ao usuário mediante comandos de "menu", em tela semelhante à exposta na Fig. 5-30.



A seguir, cada solução integrada de função parcial é

submetida a verificação de compatibilidade funcional e geométrica (Fig. 5-31), para suas funções elementares componentes. Então, duas a duas são comparadas as soluções das funções elementares componentes da função parcial completa. Em seguida, as soluções são analisadas quanto ao atendimento dado à Lista de Requisitos do projeto. Neste e no caso anterior, qualquer discrepância fará com que a alternativa analisada seja excluída do conjunto de soluções possíveis.

```

VERIFICAÇÃO: COMPATIBILIDADE FUNCIONAL/GEOMÉTRICA NA CONCEPÇÃO DE F.PARCIAL
| Função Elementar: 1 ( 6)
| Nome [Bloqueador de refluxo; ]
| Função Elementar [Separar ](separar energia do material; )
| Efeito [ATRITO ]
| Portador de Efeito [pistões ligados por fluidos (em vasos comunican-
| [tes) permitem a inversão do movimento: basta des-
| [travar o bloqueador de recuo nos vasos comunicant.
| Princípio de Solução [Força-peso do carro é maior do que o atrito inter-]
| [no do mecanismo de elevação: destravando-se o me- ]
| [canismo de bloqueio, o carro desce por gravidade. ]
|=Função Parcial: 2 ( 3)===Variante: 0 ( 0)===Concepção F. Parc.: 1 ( 5)=|
| Função Elementar: 2 ( 6)
| Nome [Bloqueador de refluxo; ]
| Função Elementar [Dispersar ](dispersar energia no ambiente;)
| Efeito [Atrito com o mecanismo elevad.]
| Portador de Efeito [O atrito existente no mecanismo de elevação dis-
| [persa a energia potencial pelo meio ambiente.
| [
| Princípio de Solução [O portador de efeito para a dispersão do calor ge-]
| [rado é o proprio meio ambiente. ]
| [ ]
| <ESC> Sair <CTRL Home/End> Mudar C. de F. Parc. <F4> Apagar C. de F. Parc.
| <F1> Texto/Desenho da C. de F. Parc. <F6> Limites da F. Parc.
| <↑/↓> Mudar Variante <F8> Outras funções

```

Figura 5-31 - Verificação da compatibilidade funcional e geométrica nas concepções completas das funções parciais.

Há, após, condições de se efetuar a síntese da concepção para a função global.

5.4.16 - O SADEPRO e a síntese da concepção de solução para a função global.

O SADEPRO orienta o usuário-projetista para que realize escolhas entre as soluções disponíveis de funções parciais, sintetizando assim uma (ou mais de uma) concepção para a função global.

Para esta ação (identificada como "Sintetizar concepção", na Fig. 5-32), o sistema computacional apresenta à apreciação do usuário todas as funções parciais componentes da estrutura global de funções, com as respectivas alternativas de solução já encontradas para cada uma delas. Selecionando uma alternativa de solução para cada uma das funções parciais da estrutura global, o usuário estará sintetizando uma concepção de solução para o produto estudado (Fig. 5-33).

OPÇÕES PARA ESCOLHA DE CONCEPÇÕES DE SOLUÇÃO PARA A FUNÇÃO GLOBAL

<ESC> Sair

< S > Sintetizar concepção

< M > Modificar concepção

< V > Ver concepção

< A > Apagar concepção

< P > imprimir concepção

Selecione a opção desejada pela letra maiúscula indicada

Figura 5-32 - Opções do sistema computacional para tratamento da concepção de solução global.

SÍNTESE DA CONCEPÇÃO GLOBAL NÚMERO: 6	
Variante: 0 (de 0)	Concepção de Função Parcial: 1 (de 5)
TEXTO	[A função básica desta concepção é interromper a]
ASSOCIADO	[liberação de energia potencial.]
CONCEPÇÃO	[Neste caso, optou-se por considerar que a diferen-]
DE FUNÇÃO	[ça entre o braço de aplicação da força e o diâme-]
PARCIAL	[tro do eixo de rotação são os agentes que inter-]
	[rompem a entrega de energia.]
	[]
	[]
===== SOLUÇÃO ESCOLHIDA PARA A FUNÇÃO PARCIAL: 2 (de 3)=====	
Nã há solução escolhida para essa Função Parcial	

<↑/↓> Mudar Variante	<ENTER> Selecciona C. de F. Parc.
<CtrlHome/CtrlEnd> Mudar C. de F. Parc.	<F8> Outras Funções
<F1> Texto/Desenho da Concepção Global	

Figura 5-33 - Síntese de concepção de função global (opção "Sintetizar concepção", na Fig. 5-32).

Como facilidade do **software**, todas as informações referentes à solução sintetizada - como, por exemplo, a estrutura de funções elementares de cada função parcial; o texto e a figura ilustrativa de cada efeito escolhido nos Catálogos, que serviram de base para se obterem o portador de efeito e o princípio de solução para cada função elementar; o croqui referente ao princípio de solução idealizado para aquele portador de efeito, etc. - permanecem disponíveis para o usuário, em qualquer instante que ele desejar recorrer a essas informações. O Relatório de Saída, gerado após uma aplicação completa do SADEPRO, conterà todos esses dados, entre outras informações de interesse do projetista.

Se optar por "Modificar concepção", na Fig. 5-32, o usuário conseguirá alterar completamente a concepção de função global que focalizar. O **software**, para isso, expõe isoladamente a concepção escolhida à análise do projetista (Fig. 5-34).

A seguir, o sistema computacional orienta o usuário para realizar uma verificação de compatibilidade entre as funções parciais que compõem cada solução global sintetizada nesta etapa.

```

MODIFICAÇÃO DA CONCEPÇÃO GLOBAL NÚMERO: 1 (DE 5 COMPLETAS)
-----
Variante: 0 (de 0)      Concepção de Função Parcial: 1 (de 5)
      [Concepção 1 da função parcial 1: ]
      TEXTO [ Esta função só tem uma função elementar. Para a ]
      ASSOCIADO [ concepção n. 1, foi adotada a energia humana como ]
      A [ forma de acionar o equipamento de elevação. ]
      CONCEPÇÃO [ Poderão ser utilizadas as mãos ou os pés do ope-]
      DE FUNÇÃO [ rador para girar alavanca ou para empurrar êmbolos]
      PARCIAL [ de vasos comunicantes. ]
      [ ]
===== SOLUÇÃO ESCOLHIDA PARA A FUNÇÃO PARCIAL: 1 (de 3)=====
Variante: 0      Concepção de Função Parcial: 2
      [ Esta função parcial só tem uma função elementar.]
      TEXTO [ Para o presente caso, trabalha-se com motor a ]
      ASSOCIADO [ gasolina, para acionar o mecanismo de elevação de ]
      A [ carga. ]
      CONCEPÇÃO [ ]
      DE FUNÇÃO [ ]
      PARCIAL [ ]
      [ ]
-----
<↑/↓> Mudar Variante
<CtrlHome/CtrlEnd> Mudar C. de F. Parc. <ENTER> Seleciona C. de F. Parc.
<F1> Texto/Desenho da Concepção Global <F8> Outras Funções

```

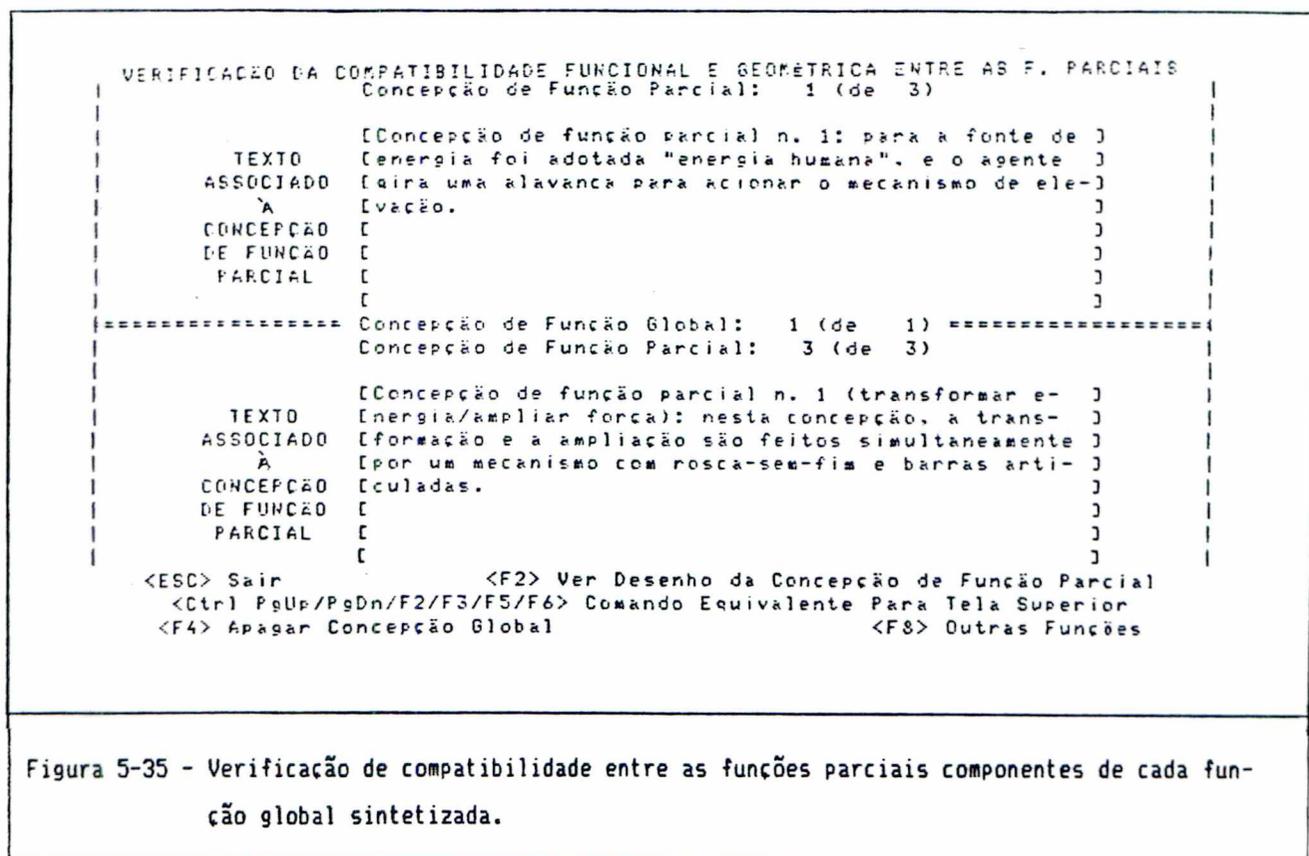
Figura 5-34 - Alteração de concepção da função global (Opção "Modificar...", na Fig. 5-32).

5.4.17 - O SADEPRO e a verificação de compatibilidade entre as funções parciais que compõem cada solução global.

Para cada concepção sintetizada no passo anterior, as funções parciais e suas respectivas soluções são apresentadas em pares ao usuário. O SADEPRO permite confrontar a solução de uma função parcial com a solução de todas as demais funções parciais da mesma estrutura, havendo oportunidade, então, de o projetista refletir sobre cada combinação possível entre funções parciais (Fig. 5-35).

Poder-se-ia argumentar, neste ponto, que há exagero

em se confrontarem, duas a duas, todas as funções parciais de uma mesma estrutura: não bastaria confrontar cada função parcial apenas com aquelas que mantêm interface com ela? Ou, mais amplamente, para se verificar a compatibilidade entre funções parciais de uma mesma estrutura não bastaria confrontarem-se apenas aquelas funções parciais que mantêm alguma relação entre si (por exemplo, uma função X que, embora distante de outra Y, envia-lhe informação - sinal - para controlar Y) ?



A favor deste procedimento, pode-se dizer que preferiu-se correr o risco de ser repetitivo - eventualmente desnecessário - na elaboração do sistema computacional em lugar de perder a generalidade da análise. Assim é que a visão do conjunto de funções parciais poderia ficar prejudicada, se só fossem comparadas as fun-

ções que mantivessem entre si alguma relação direta. Portanto, para assegurar a generalidade da análise, é feita a confrontação, aos pares, de todas as funções parciais que integrarem uma mesma função global.

Finalmente, como sempre tem sido feito, cada solução de função global é submetida à Lista de Requisitos, para verificar se a satisfaz - ficando excluída a alternativa que não satisfizer integralmente a essa Lista.

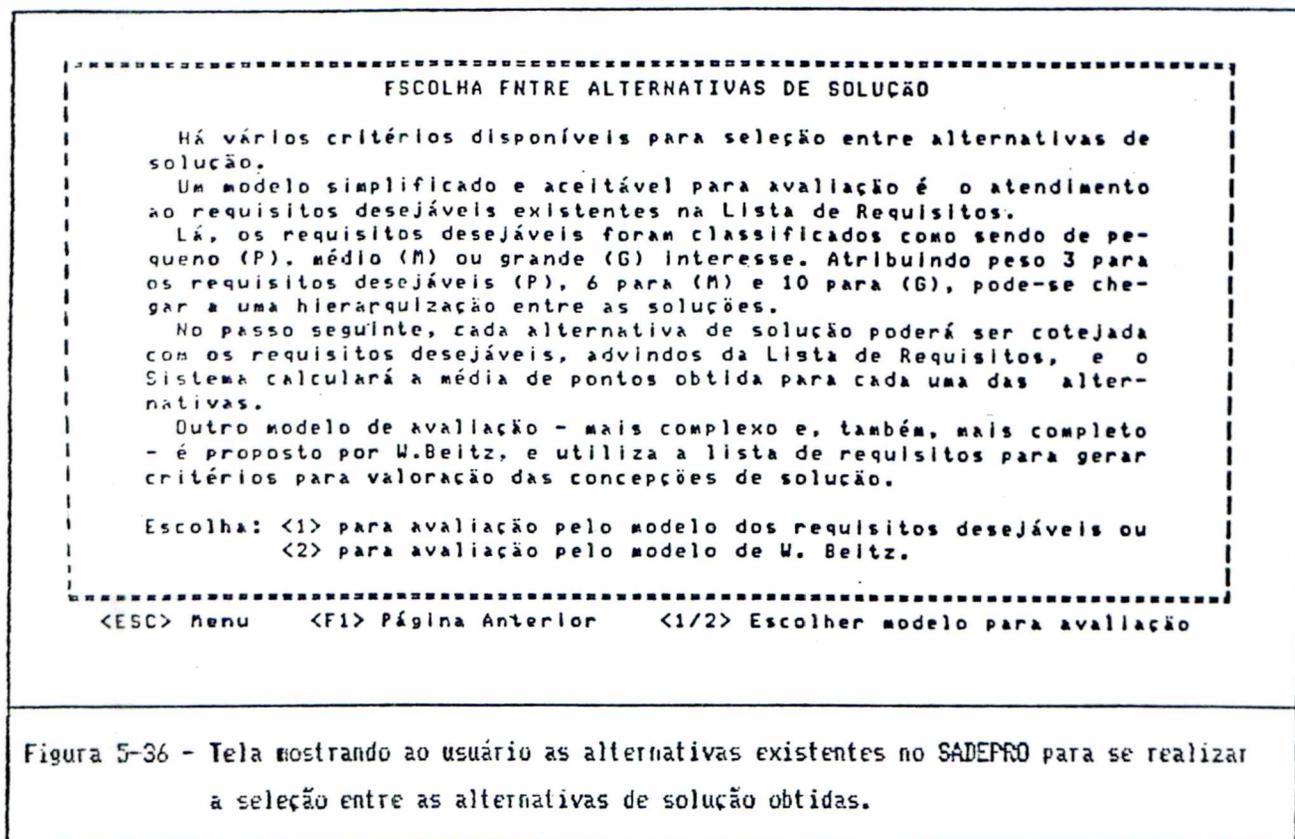
Ultrapassando as etapas da análise de compatibilidade e da comparação com a Lista de Requisitos, deve já existir uma (ou mais de uma) solução completa para o produto que se está analisando. Se houver mais de uma solução aceitável, o SADEPRO conduz o usuário para avaliar essas alternativas, de modo a ordenar as soluções disponíveis conforme critérios objetivamente definidos pelo projetista.

5.4.18 - O SADEPRO e a escolha entre alternativas de solução.

Considerando-se as já obtidas soluções para a concepção do produto em estudo, o trabalho de selecionar alternativas de solução também é auxiliado pelo SADEPRO. Para essa seleção, são oferecidas ao usuário duas opções: o método do atendimento aos requisitos desejáveis e o método da valoração de critérios (Fig. 5-36).

Se selecionar a opção 1, fará a análise das alternativas de solução pelo método simplificado do atendimento aos requisitos desejáveis. Terá oportunidade de ver passarem, no monitor, cada um dos requisitos classificados como "desejáveis" no início do projeto, e deverá opinar quanto ao atendimento ou não-atendimento

que aquela concepção dá aos requisitos desejáveis que lhe forem sendo apresentados (Fig. 5-37).



Quando terminar de examinar os requisitos desejáveis, o sistema calculará a média ponderada - uma "nota" - correspondente ao atendimento que a concepção específica apresenta, em face deste critério de avaliação, e arquiva a nota (o valor resultante) calculado para essa concepção. Muda-se para a concepção seguinte, e repete-se o processo até ser examinada a última concepção. No SADEPRO, a fórmula utilizada para o cálculo da nota da concepção é a seguinte:

$$M_i = \frac{3.n_p + 6.n_M + 10.n_G}{19}$$

onde:

M_i : média obtida pela Concepção i ;

np: número de requisitos desejáveis de pequena importância atendidos;

nm: número de requisitos desejáveis de média importância atendidos;

ng: número de requisitos desejáveis de grande importância atendidos.

AVALIAÇÃO DAS CONCEPÇÕES PELO MODELO DOS REQUISITOS DESEJÁVEIS		
Quesito	[GEOMETRIA]
Requisito	[Requisito adicional de "Geometria", para testes.]
Descrição	[Trata-se de um acréscimo fictício, feito apenas] [para testar a possibilidade de inclusão de algum] [novo requisito em um item como esse, representando] [um item qualquer (genérico).]]
Escolha	[D]	Ponderação [P]
Custo	[Sem qualquer custo adicional.]
	[]
===== Requisito: 1 (de 11) Atendido? SIM =====		
	Concepção de Função Global: 1 (de 5)	
	[Esta é a concepção global n. 1.]
TEXTO	[Escolheu-se, como princípio de solução, a rosca-]
ASSOCIADO	[-sem-fim, com barras articuladas, para acionar o] [mecanismo de elevação.]]
CONCEPÇÃO	[]
DE FUNÇÃO	[]
GLOBAL	[]
	[]
<ESC> Sair	<S/N> Atende ao Requisito	<F4> Calcular Avaliação
<Ctrl Home/End>	Mudar Concepção Global	<Home/End> Mudar Requisito
<F2> Ver Desenho da Concepção Global	<F3> Ver Solução da Concepção Global	

Figura 5-37 - Avaliação das concepções globais pelo modelo do atendimento aos requisitos desejáveis do projeto.

Vê-se que os pesos atribuídos aos requisitos desejáveis foram 3, 6, e 10, respectivamente, para a classificação de pequena, média ou grande importância dos requisitos desejáveis atendidos pela concepção em análise.

O mesmo procedimento é feito para todas as alternativas disponíveis, isto é, todas as alternativas idealizadas pelo projetista-usuário são examinadas quanto ao atendimento que dão -

ou que não dão - a cada um dos requisitos desejáveis, e todas elas terão sua "nota final" respectiva calculada, representando maior ou menor grau de atendimento aos requisitos desejáveis do projeto.

Após passar por todas as alternativas de solução disponíveis, é possível ver-se a classificação relativa entre elas: o software apresenta um quadro onde as alternativas de concepção disponíveis estão colocadas em ordem decrescente de "notas", ou seja, em ordem decrescente de atendimento aos requisitos desejáveis do projeto (Fig. 5-38).

AVALIAÇÃO DE CONCEPÇÕES DA F. GLOBAL PELO MODELO DA VALORAÇÃO DOS CRITÉRIOS			
===== Resultado da Avaliação das Concepções =====			
Concepções com avaliação completa			Concepções com
Concepção	Valor V	* Valor VP	avaliação incompleta
2	169	5.798	5
1	163	5.398	
4	167	4.935	
3	168	4.318	

<ESC> Sair <F2> Avaliação V <CtrlHome/CtrlEnd/CtrlPgUp/CtrlPgDn> Navegação
 <I> Imprime Concepção <P> Imprime Resultado da Avaliação

Figura 5-38 - Quadro final com a avaliação e classificação das concepções globais pelo modelo do atendimento aos requisitos "desejáveis" do projeto.

É possível visualizar, assim, uma classificação ordenada entre as alternativas de solução para o produto estudado, e o projetista-usuário terá argumentos para preferir alguma(s) solução(ões) em detrimento de outra(s). O sistema computacional permite que seja impresso esse resultado, se o usuário quiser fazê-lo.

Dentre as opções disponíveis no **software** para realizar a avaliação das concepções disponíveis (veja Fig. 5-36), se o usuário escolher a de número 2 terá à sua disposição o modelo de avaliação feito pela denominada **valorização de critérios**.

Para tanto, o **SADEPRO** auxilia o usuário a explicitar os fatores a partir dos quais serão derivados os critérios de avaliação. Com a finalidade de explicitar um conjunto de objetivos a serem observados, conforme teoria exposta no capítulo anterior, o **software** oferece ao usuário a Lista de Requisitos inicialmente estabelecida para que ele possa, a partir dessas exigências, identificar os fatores que lhe serão úteis na avaliação de suas concepções. Assim, através de janelas, o usuário pode enxergar os tópicos da Lista de Requisitos e descrever, em primeiro lugar, seu conjunto de itens e, em segundo, o conjunto de sub-itens para efetuar a desejada avaliação. (Observe-se que são utilizados apenas dois níveis de critérios: itens e sub-itens. Embora mais níveis pudessem ser acrescentados, estes dois foram considerados suficientes para os objetivos do **SADEPRO**.)

Simultaneamente com a visualização da Lista de Requisitos, o **software** apresenta ao projetista números de ordem enquanto são inseridos os itens e sub-itens da avaliação - para que o projetista saiba qual é exatamente a inserção em que está trabalhando (Fig. 5-39). Desse modo, após percorrer a Lista de Requisitos, o usuário terá completados os itens e sub-itens que irão participar da avaliação das alternativas de concepção - sempre atentando-se para o fato de que devem ser independentes entre si.

No passo 2 - "ponderação dos itens de avaliação" -, há necessidade de se arbitrarem fatores de ponderação a cada um dos

itens anteriormente relacionados. Adota-se aqui a faixa de 0 a 100 para a ponderação desses fatores, conforme sugerem PAHL & BEITZ (1988) (Fig. 5-40). Neste caso, a soma dos fatores dos critérios deve ser igual a 100. De modo semelhante, é feita a ponderação dos sub-itens, também com valores de 0 a 100.

```

AVALIAÇÃO DE CONCEPÇÕES DA F. GLOBAL PELO MODELO DA VALORAÇÃO DOS CRITÉRIOS
-----
      Consulte a Lista de Requisitos e descreva agora os
      itens que serão utilizados na avaliação das concepções.
-----
| Questão   [GEOMETRIA                               ]
| Requisito [TAMANHO                                 ]
| Descrição [o produto deve ser pequeno, transportavel dentro ]
|           [do porta-malas do carro, sem tomar muito espaço da]
|           [bagagem.                                       ]
|           [                                         ]
|           [                                         ]
| Escolha   [0]
| Custo     [não previsto para este item                ]
|           [                                         ]
-----
| Item 1    [Geometria do produto final                ]
|           [                                         ]
| Subitem 1.1 [Dimensões máximas fechado: 30x10x10 cm ]
|           [                                         ]
-----
<↑/↓> Mudar Subitem   <F8> Help
<PgUp/PgDn> Mudar Item <F1> Inserir Item <F2> Apagar Item <F3> Editar Item
<F4> Inserir Subitem <F5> Apagar Subitem <F6> Editar Subitem
  
```

Figura 5-39 - Inserção de itens e de sub-itens para a avaliação de alternativas de concepção pelo "modelo da valoração dos critérios".

Conforme se pode ver na figura, à medida que se vai registrando o fator de ponderação atribuído a cada item de avaliação - e, depois, a cada sub-item, no passo 3 -, também vai-se mostrando ao usuário uma "contabilidade" dessa ponderação, isto é, já lhe vai apresentando quanto dos 100 pontos já foram marcados e quantos pontos ainda faltam marcar nos próximos fatores a serem ponderados. Assim, o usuário tem sempre presente todo o **status** da ponderação que está efetuando. Por outro lado, garante-se que não

fator de avaliação comparecerá no cálculo do valor de cada concepção que estiver sendo avaliada. A Fig. 4-19 exemplificou a apresentação desses critérios de avaliação e a quantificação de suas importâncias relativas.

Como já deve ter ficado claro, os "critérios" aqui arrolados são os sub-itens de avaliação definidos no passo 1, e o "peso w " é o "peso ponderado" calculado no último passo de trabalho. É importante ressaltar que, se em determinado item de avaliação não houver sub-itens - que possam ser transformados em critérios de avaliação -, o próprio item será considerado critério (desde que tenha recebido ponderação). Por exemplo, se um dos itens relacionados for "montagem", sem sub-itens que a especifiquem, esse mesmo item "montagem" será adotado como um dos critérios de avaliação de concepções, bastando para isso que tenha recebido alguma ponderação (na mesma ocasião em que os demais itens relacionados também foram ponderados).

No passo 4 ("definição de parâmetros de avaliação"), o projetista-usuário tem oportunidade de montar a lista de parâmetros de avaliação, sua respectiva unidade de medida e a magnitude considerada padrão para cada parâmetro, isto é, tem oportunidade de explicitar os parâmetros que servirão para avaliar cada alternativa de concepção já obtida. O SADEPRO oferece-lhe em seqüência os "critérios" já definidos anteriormente, e solicita-lhe que descreva cada parâmetro, com suas respectivas unidade e magnitude, em espaço reservado para isso. Neste ponto, o SADEPRO já estará mostrando ao projetista-usuário o peso (" w_i ") calculado para cada critério i e associado a ele, o que é útil para se ter noção exata da importância do parâmetro que está sendo descrito (Fig. 5-41). Exemplo de

parâmetros de avaliação e de suas respectivas unidades de medida e magnitudes foram mostrados na Fig. 4-19.

AVALIAÇÃO DE CONCEPÇÕES DA F. GLOBAL PELO MODELO DA VALORAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Passo 4: Monte, agora, a lista de parâmetros de avaliação.

Critério de Valoração	1 [Dimensões máximas fechado: 30x10x10 cm]
Ponderação	[0.050]
Parâmetro	[Dimensões do produto]
Unidade	[centímetro]
Magnitude	[30x10x10]

<↑/↓> Mudar Critério de Valoração <F1> Digitar Parâmetro/Unidade/Magnitude <F4> Imprimir Critérios

Figura 5-41 - Elaboração da lista de parâmetros de avaliação, com suas unidades associadas.

No passo 5 ("atribuição de valores aos parâmetros"), o SADEPRO apresenta ao usuário cada um dos critérios e seus parâmetros, com os respectivos pesos e unidades de medida. De uma em uma, as concepções vão sendo avaliadas quanto ao atendimento a esses critérios, e vão recebendo "notas" do usuário, conforme escala de valores estabelecida na Fig. 4-20. Em outras palavras, são pontuados os itens de avaliação de cada uma das variantes de concepção. Para cada critério, são analisadas todas as variantes de concepção. Durante a execução do SADEPRO, esse passo de trabalho é apresentado ao usuário nos moldes da Fig. 5-42.

No SADEPRO, o 6º passo de avaliação ("cálculo de um valor global para cada variante de concepção") acontece assim que o

usuário digitar o último valor, da última variante de concepção, referente ao último critério de avaliação, o software calculará a somatória de V_{ij} , a somatória de $V_{ij} \cdot w_i$, para cada variante de solução.

AVALIAÇÃO DE CONCEPÇÕES DA F. GLOBAL PELO MODELO DA VALORAÇÃO DOS CRITÉRIOS	
Critério de Valoração	1 [Dimensões máximas fechado: 30x10x10 cm]
Peso	[0.050]
Parâmetro	[Dimensões do produto]
Unidade	[centímetro]
Magnitude	[30x10x10]

	Valor [10] Valor Ponderado [0.500]

Concepção de Função Global: 1 (de 5)	
	[Esta é a concepção global n. 1.]
TEXTO	[Escolheu-se, como princípio de solução, a rosca-]
ASSOCIADO	[-sem-fim, com barras articuladas, para acionar o]
Ø	[mecanismo de elevação.]
CONCEPÇÃO	[]
DE FUNÇÃO	[]
GLOBAL	[]
	[]
<ESC> Sair <F1> Digitar Valor <F4> Calcular Avaliação <F7> Tab. de Valores <↑/↓> Mudar Critério de avaliação <F2> Ver Desenho da Concepção Global <F3> Ver Solução da Concepção Global	

Figura 5-42 - Atribuição de valores às concepções da função global, durante avaliação com o "modelo da valoração dos critérios".

Depois disso, há condições de as concepções serem apresentadas ao usuário ordenadas ou pela somatória de V_{ij} - portanto, sem a ponderação dos critérios - (a maior somatória representa a melhor solução) ou pela somatória de $V_{ij} \cdot w_i$ - portanto, com a ponderação dos critérios. O maior resultado indica a solução mais favorável, de acordo com os critérios estabelecidos. Durante a apresentação dos resultados, na tela, o usuário escolhe qual das duas somatórias ele deseja utilizar para conhecer a ordenação das soluções. Também há possibilidade de primeiro ver o resultado orde-

nado por uma somatória, e depois o resultado ordenado pela outra somatória (Fig. 5-43).

AVALIAÇÃO DE CONCEPÇÕES DA F. GLOBAL PELO MODELO DA VALORAÇÃO DOS CRITÉRIOS.			
===== Resultado da Avaliação das Concepções =====			
Concepções com avaliação completa			Concepções com
concepção	Valor V	* Valor VP	avaliação incompleta
2	169	5.798	5
1	163	5.398	
4	167	4.935	
3	168	4.318	

<ESC> Sair <F2> Avaliação V <CtrlHome/CtrlEnd/CtrlPgUp/CtrlPgDn> Navegação
 <I> Imprime Concepção <P> Imprime Resultado da Avaliação

Figura 5-43 - Apresentação do resultado da avaliação realizada entre as concepções da função global com o "modelo da valoração dos critérios".

Há flexibilidade, ainda, para o usuário voltar atrás, atribuir **outras ponderações** aos itens de avaliação e verificar, através da nova ordenação, como essa modificação irá alterar a importância relativa entre as solução existentes.

Após colocar as variantes de concepção em ordem, estará realizado o 7º passo da avaliação, que é a "comparação entre as variantes de concepção" - e o SADEPRO estará pronto para imprimir os resultados obtidos até então, através dos Relatórios de Saída.

5.4.19 - Relatórios de Saída do SADEPRO.

Para o trabalho do projetista de produtos industriais, o sistema computacional implementado a partir de metodologia consistente e comprovadamente eficaz certamente representa um auxílio efetivo para se chegar à concepção do produto estudado. Com o auxílio advindo dos recursos existentes no sistema computacional existente - tais como o Editor Gráfico, os Catálogo de Efeitos e a própria seqüência de trabalho imposta pelo Sistema -, o projetista percorre uma rota segura que o conduz de forma objetiva até a concepção desejada.

Como o SADEPRO é um sistema auxiliar para a concepção do produto, devem ser documentadas todas as conclusões a que se chega quando se atravessam as diversas etapas do **software**, de modo que o trabalho de projetar o produto possa prosseguir em outros níveis do projeto. É, pois, essencial que seja possível ao projetista imprimir todas as informações consideradas relevantes para a continuação do trabalho de projeto, já que a atuação do SADEPRO termina ao concluir a etapa da concepção (o que foi, aliás, o objetivo inicialmente proposto para o desenvolvimento desse **software**).

Depois de concluída a concepção, então, essas informações relevantes poderão ser analisadas por pessoas que irão cuidar das fases do projeto preliminar, primeiramente, e, em seguida, do projeto detalhado (essas diferentes fases da elaboração do projeto do produto foram comentadas no Cap. 2 deste trabalho).

Para as concepções completas e coerentes - que representam, portanto, possíveis concepções de solução para o produto em estudo -, é oferecida ao usuário oportunidade de imprimir o resultado, com informações integrais sobre a constituição interna de cada concepção obtida.

No Relatório sobre as concepções, são apresentados:

- a estrutura das funções elementares que compõem o produto, e descrição dessas funções elementares;
- o efeito que realiza cada função elementar, e sua descrição (inclusive a representação gráfica) extraída do Catálogo de Efeitos;
- o princípio de solução de cada função elementar e o correspondente portador de efeito - incluindo-se o croqui relativo a esse portador de efeito - que, através daquele efeito, realiza a função elementar;
- a descrição das funções parciais que compõem a função global, e o croqui de cada uma delas;
- a descrição da função global acompanhada de seu respectivo croqui.

Portanto, a partir do Relatório de Saída do SADEPRO é possível a outros membros componentes da equipe de trabalho darem seqüência ao projeto do produto, agora em etapas de concretização crescente - evoluindo, assim, para as fases do projeto preliminar e do projeto detalhado. Um exemplo completo desse Relatório é apresentado no Capítulo 6.

5.5 - Conclusões.

O protótipo construído do sistema computacional SADEPRO tem-se mostrado útil no auxílio à concepção de produtos industriais.

Suas características gerais de trabalho tornam-no de fácil aplicação. Sob este aspecto, há interface amigável com o usuário, há documentação na forma de "Guia de utilização" (veja o

Anexo 3), e praticamente não necessita de treinamento, já que é auto-explicativo em todas as suas fases.

Os resultados obtidos são, através do Relatório de Saída, facilmente aproveitáveis em outras aplicações CAD. Isso não significa que o SADEPRO adentra em tarefas de etapas posteriores à da concepção propriamente dita, mas que fornece subsídios para que outras aplicações CAD consigam tomar como entrada de processamento a saída do SADEPRO, ou seja, as diferentes soluções de concepção e as informações que as acompanham.

O SADEPRO, por outro lado, foi criado para ser genérico. Isso significa que ele é capaz de trabalhar em diversas áreas de conhecimento, seja com a concepção de produtos eletrônicos, médicos ou de robôs. Para tanto, as bases de dados do **software** devem ser adequadamente preparadas, conforme a área de trabalho a que vai se dedicar.

O SADEPRO, desse modo, é flexível, pois aceita mudanças na base de conhecimento, aceita inserções de novos catálogos e de verbos técnicos, desde que feitas por programador.

Por último, ressalta-se que o SADEPRO é transportável: isso significa que o **software** consegue funcionar sob diversas plataformas, com poucas adaptações necessárias. Essa característica é importante, pois se o usuário decidir substituir seu computador por modelo mais novo, ou desejar processar sua aplicação em outro equipamento, ele poderá utilizar o mesmo SADEPRO, sem grande custo adicional.

No próximo capítulo, está exemplificada a aplicação do sistema computacional SADEPRO para simular a obtenção de concepção para um produto hoje sobejamente conhecido: um sistema técnico para erguer veículos e permitir a substituição de pneus.

CAPÍTULO 6: APLICAÇÃO DO SISTEMA COMPUTACIONAL SADEPRO A UM EXEMPLO COMPLETO.

6.1 - Introdução.

A presente aplicação do SADEPRO deu-se a um mecanismo já conhecido, e como tal certamente será lembrado logo no início de sua descrição. A intenção de utilizar-se o SADEPRO no "desenvolvimento" de um equipamento conhecido é a de permitir ao leitor fixar sua atenção nos passos de operação do software, sem outras preocupações que não a de apreender o funcionamento do sistema computacional.

6.2 - A tarefa.

O projeto em questão trata de pesquisar a concepção de um sistema técnico destinado a tirar do chão um carro de passeio, elevando-o com a finalidade de substituir pneus furados ou executar, no veículo suspenso, alguma operação.

Genericamente, a tarefa a ser realizada pelo objeto técnico é definida como sendo a de suspender uma carga e mantê-la suspensa enquanto se realiza alguma atividade sob ela.

O início da utilização do SADEPRO ocorre em tela semelhante à da Fig. 5-2, quando o usuário define o nome do seu projeto e introduz uma senha, para ter acesso futuro a esse diretório.

6.3 - A Lista de Requisitos.

Após preencher os dados iniciais relativos ao nome do projeto, equipe de trabalho e data de início (veja Fig. 5-3), o

SADEPRO apresenta seus quesitos e requisitos à consideração do usuário em telas sucessivas, do tipo exemplificado na Fig. 5-4. Começam a ser definidas, então, as exigências mínimas a serem satisfeitas pelo produto em estudo. Há, aí, oportunidade de classificar cada item como "obrigatório" ou "desejável".

Para este exemplo, foram definidas as seguintes características gerais a serem incorporadas ao objeto em estudo:

- o produto deverá ter tamanho pequeno, de modo a que seja possível transportá-lo dentro do porta-malas de um carro de passeio, sem tomar espaço da bagagem;
- o acionamento deverá ser feito por uma pessoa - homem ou mulher -, trabalhando com as mãos ou com os pés;
- deve ser transportável por uma pessoa;
- as condições de operação são genéricas, ou seja, poderá trabalhar em ambientes com poeira, umidade, sob chuva ou sol;
- outras restrições: medidas externas máximas, capacidade mínima de elevação, facilidade de manutenção, etc., devidamente quantificadas.

6.4 - A abstração da tarefa.

A partir dos requisitos, buscou-se definir a atividade principal a ser realizada pelo objeto técnico. Assim, modificando a Lista de Requisitos sob orientação do **software** (conforme Fig. 5-5: eliminando preferências pessoais, omitindo requisitos que não têm relação direta com a função e com as restrições essenciais, transformando dados quantitativos em dados qualitativos e reduzindo-os a declarações essenciais), obteve-se a declaração para o problema mostrada na Fig. 6-1, que aparece ao usuário em tela semelhante à da Fig. 5-6:

Formulação do problema

"conceber mecanismo para movimentação vertical de um carro para a troca de pneus, com controle visual do acionador e com possibilidade de fazer o carro parar em qualquer posição (dentro dos limites de elevação)".
--

Fig. 6-1 - Formulação do problema para o exemplo deste capítulo.
--

6.5 - A ampliação do problema.

Com auxílio da Lista de Requisitos Modificada e refletindo sobre as questões apresentadas na tela da Fig. 5-7, é possível generalizar-se o resultado alcançado no passo anterior (Fig. 6-2). A apresentação do resultado deste passo de trabalho se dá em tela semelhante à da Fig. 5-8:

Reformulação do problema

"realizar movimentação vertical controlável de um objeto ou de uma carga."
--

Fig. 6-2 - Reformulação do problema para o exemplo acompanhado.

6.6 - O estabelecimento da função global.

A função global - entendida como uma "caixa preta" que realiza a tarefa desejada para o produto - pôde, então, ser construída, o que resultou na definição do problema em termos das grandezas genéricas energia, material e sinal (Fig. 6-3). Esta maneira de expressar a função do produto, não comprometida com soluções já conhecidas, é mostrada ao projetista em tela semelhante à da Fig. 5-10.

Função global
"movimentar carga (material) pelo fornecimento de energia (vinda de alguma fonte) sob controle visual (informação)."
Fig. 6-3 - Função global para o exemplo..

6.7 - A decisão entre "projeto novo" ou "reprojeto".

Na seqüência de utilização do **software**, há opção de se classificar este como um **projeto novo** ou como **reprojeto**, dando resposta à questão colocada na tela da Fig. 5-12. Já que a finalidade do exemplo é didática, optou-se por seguir o caminho de **projeto novo**, o qual leva a percorrer maior número de passos dentro do SADEPRO.

6.8 - O esboço das funções parciais.

Com auxílio do dicionário de verbos técnicos do **software**, consegue-se delinear as funções parciais que possivelmente estarão contidas no produto estudado (Fig. 6-4). Isso é feito sob a forma preliminar de objeto-predicado, dentro de tela mostrada na Fig. 5-13.

Generalizando o resultado obtido acima, chega-se ao fluxograma expresso com as grandezas genéricas energia, material e sinal mostradas na Fig. 6-5. O usuário tem essas informações em tela semelhante à mostrada na Fig. 5-14.

Novamente com auxílio do dicionário de verbos técnicos, inicia-se o trabalho de detalhar essas sentenças referentes às

Definir funções parciais:

escrever sentenças de função das tarefas parciais, como objeto-predicado:

- suspender carga;
- realizar trabalho através de energia fornecida;
- começar/terminar levantamento da carga por iniciativa da pessoa;
- manter objeto levantado sem contato da pessoa;
- baixar objeto por iniciativa da pessoa.

Fig. 6-4 - Sentenças de função para as tarefas parciais do exemplo, na forma de objeto-predicado.

Definir funções parciais:

sentenças de função para o fluxograma de grandezas genéricas

- movimentar carga para cima, por
- adicionar energia;
- iniciar/terminar fluxo de energia por
- adicionar informação (ou sinal);
- impedir a liberação de energia para
- manter matéria levantada;
- liberar energia por
- adicionar informação da pessoa para
- baixar matéria.

Fig. 6.5 - Sentenças de função para o fluxograma de grandezas genéricas.

tarefas parciais, utilizando as grandezas genéricas. Isso se faz em telas conforme mostrada na Fig. 5-15. Simultaneamente, vai-se associando uma figura com símbolos de funções elementares a cada sentença. Para o exemplo ora acompanhado, escreveram-se as sentenças da Fig. 6-6, com as quais foram desenvolvidas progressivamente as representações gráficas das funções elementares correspondentes, mostradas na Fig. 6-7.

Assim construída (Fig. 6-7, 8), tem-se a estrutura completa de funções elementares para o produto em estudo.

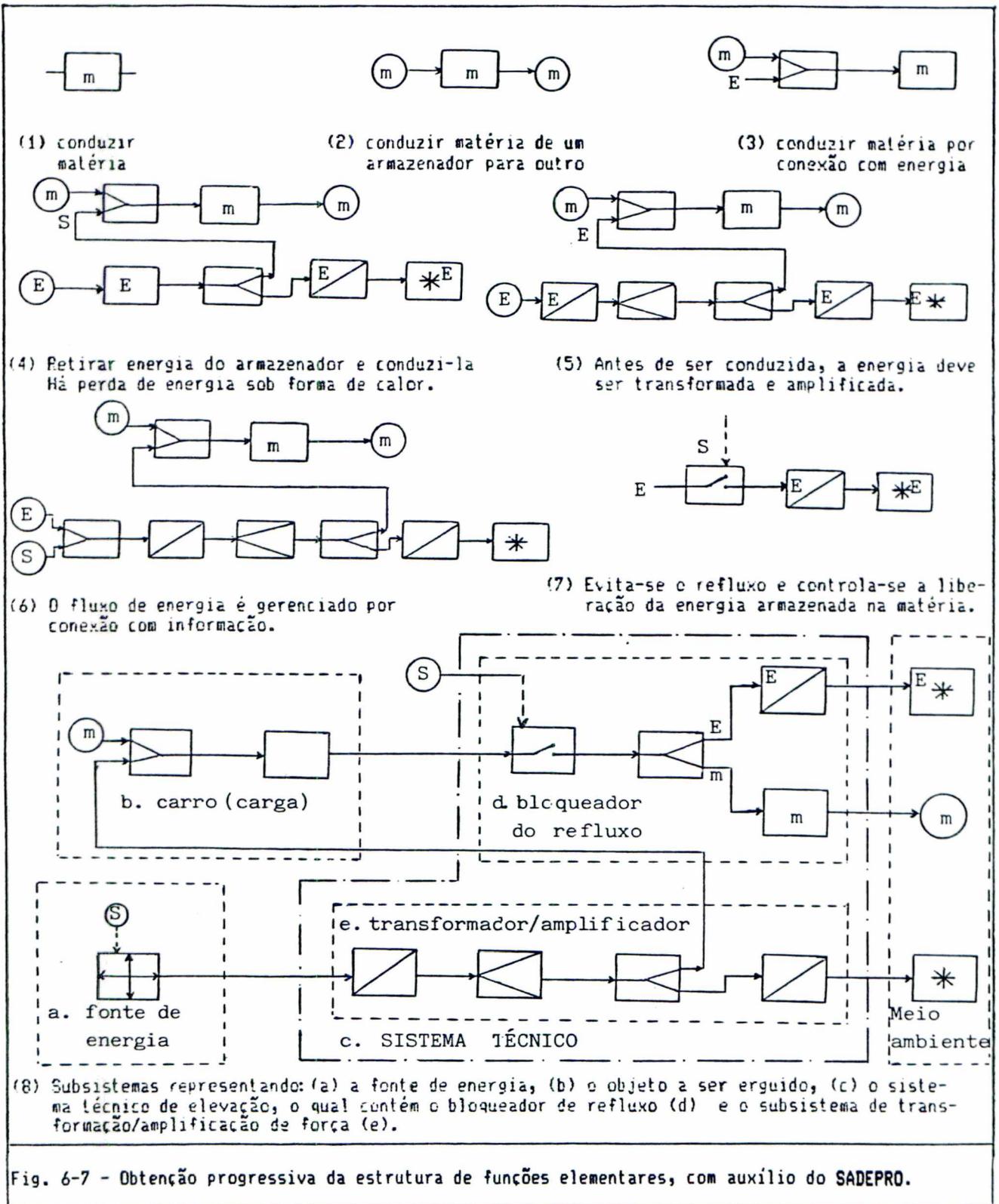
1. conduzir matéria.
2. conduzir matéria de um armazenador para outro.
3. conduzir matéria por conexão com energia.
Obs.: a condução de matéria está vinculada à transmissão de energia; a matéria passa a ser armazenadora de energia.
4. retirar energia do armazenador inicial e conduzi-la.
Obs.: a pessoa é armazenadora de energia.
Obs.: há perda de energia sob forma de calor.
5. antes de ser conduzida, a energia deve ser transformada em força de elevação, e esta deve ser ampliada.
6. gerenciar o fluxo de energia pela conexão com informação.
Obs.: a pessoa também é armazenadora de informação, e dirige o procedimento segundo um programa.
7. manter energia armazenada na matéria (evitar o refluxo da energia).
Obs.: o carro é armazenador de matéria e de energia.
8. liberar energia (do carro) pela conexão com informação.
Obs.: o armazenador de energia "carro" é descarregado (há perda de energia).

Fig. 6.6 - Sentenças do exemplo utilizadas para elaboração da estrutura de funções elementares.

6.9 - Comparação com subsistemas conhecidos.

Na seqüência de aplicação do **software**, "deve-se verificar se há subsistemas já conhecidos que possam ser incorporados ao projeto em estudo", decisão essa que o projetista toma optando por algum caminho oferecido na tela da Fig. 5-16.

Relembrando que a finalidade deste exemplo é principalmente didática, foi escolhida aqui a opção "não há subsistemas conhecidos a serem incorporados". Como no caso da decisão anterior,



pode-se assim percorrer mais passos do software e, portanto, tornar mais clara sua utilização.

6.10 - Definição dos limites das funções parciais.

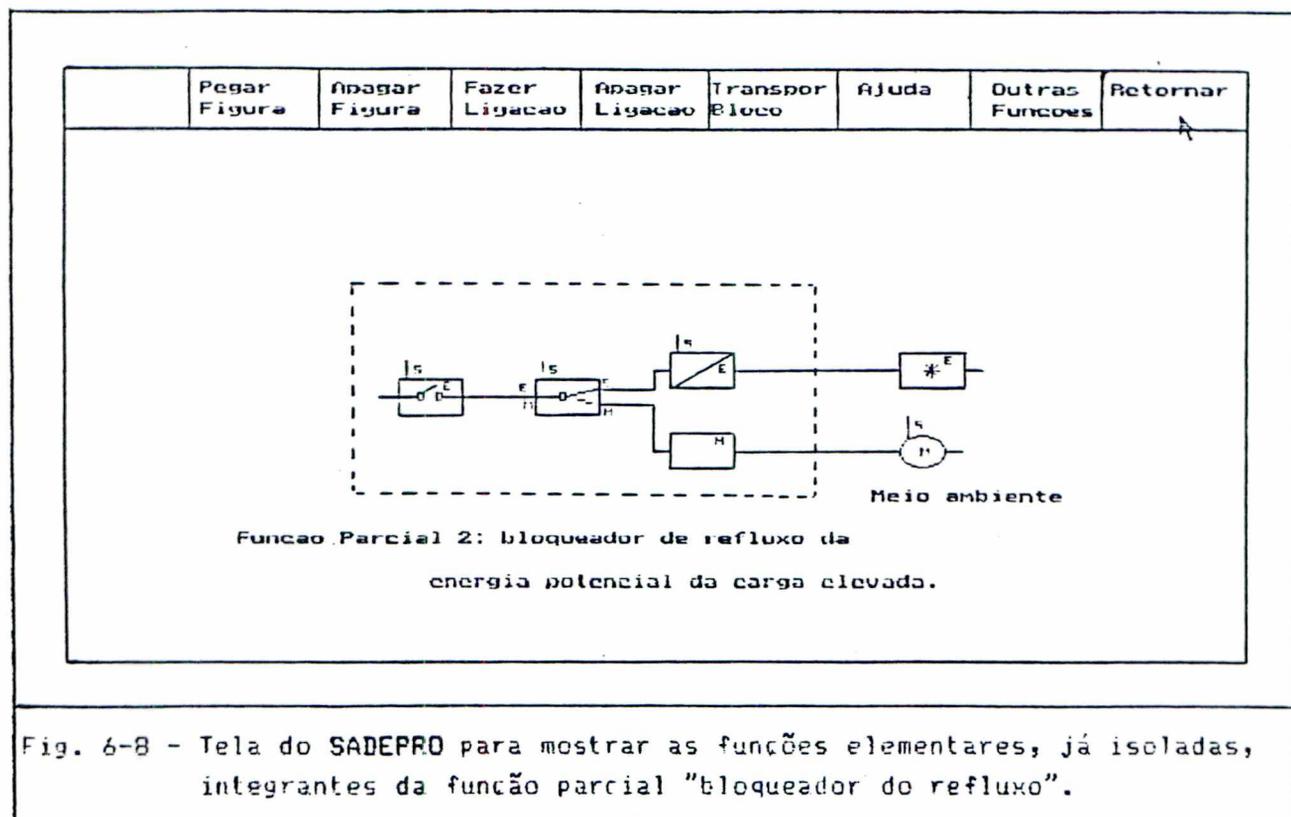
Para o presente exemplo, em telas do tipo mostrado na Fig. 5-18 e Fig. 5-20 foram definidas três funções parciais, com suas respectivas delimitações:

1) **Função parcial 1: fonte de energia**, supostamente portátil, cujo objetivo é o de acionar o sistema técnico de elevação (veja a Fig. 6-7, 8a). Sua grandeza de entrada é, a princípio, indefinida, e depende da fonte de energia escolhida. Sua grandeza de saída representa a energia acionadora do mecanismo de elevação, e certamente dependerá do tipo de acionamento a ser escolhido. Pensando genericamente, observa-se ainda que a fonte de energia poderá não ser o usuário, desde que seja possível acoplá-la ao sistema técnico para fazê-lo funcionar.

A função parcial 1 tem uma única função elementar, que é "desacumular". Significa que a energia sai da fonte - isto é, "desacumula-se" - em direção ao elemento do sistema técnico que vai "transformar essa energia em força e amplificar a força" (que é a terceira função parcial).

2) **Função parcial 2: bloqueador do refluxo** (v. Fig. 6-7, 8d), cujo objetivo é, de um lado, impedir o refluxo da energia potencial durante a elevação da carga e também depois de levantada a carga; de outro, é liberar essa energia, quando o operador desejar fazê-lo. Suas grandezas de entrada são: o objeto que está sendo levantado, energia (potencial) e sinal. Suas grandezas de saída são: matéria (agora com menos energia), energia (dispersada) e sinal. É interessante observar, neste ponto, que a energia dispersada poderia eventualmente ser reaproveitada para repor parte da energia do acionador.

A função parcial 2 contém as funções elementares "interromper" - o que significa que será necessário controlar a liberação de energia potencial da carga elevada - e "dividir", para, quando a carga for abaixada, separar a sua energia potencial em energia de frenagem e energia dispersada no meio ambiente. A tela exibida na Fig. 6-8 mostra a estrutura de funções elementares integrantes da função parcial 2, já definida sendo a função parcial "bloqueador do refluxo".



3) Função parcial 3: transformador/amplificador de força, que modifica e amplia a força aplicada na entrada da função parcial, e a transfere para o objeto a ser levantado (v. Fig. 6-7, 8e). A função parcial 3 tem as funções elementares "transformar" (descrita como "transformar energia da fonte em energia mecânica de elevação") e "separar" (descrita como "separar energia do mate-")

rial"). Significa que inicialmente haverá uma transformação da energia de acionamento em força de elevação, e esta necessita ser amplificada para elevar a carga. Sua grandeza de entrada, portanto, é a força do acionador (Fig. 6-9); sua grandeza de saída é força (resultante da transformação) amplificada, de forma a que possa ser aplicada na carga a ser levantada.

DEFINIÇÃO DOS LIMITES DAS FUNÇÕES PARCIAIS	
Função Parcial: 3	Total de Funções Parciais: 3
Nome	[Transformador de energia/amplificador de força.]
Objetivo	[Modificar energia da entrada; amplificar força de] [elevação ou movimentação de carga.]
Grandeza(s) de Entrada	[Energia de acionamento.] []
Grandeza(s) de Saída	[Energia transformada em força de elevação de car-] [ga.]
Observação	[A energia da entrada é transformada em força de] [elevação de carga.]
<ESC> Sair <F1> Digitar Limites <F2> Desenhar F. Parcial <PgDn> Próxima Função Parcial <PgUp> Função Parcial Anterior <F5> Ver Sentença <F3> Criar Nova Função Parcial <F4> Apagar Função Parcial	

Fig. 6-9 - Tela do SADEPRO para definir a função parcial "transformador/amplificador da força de entrada".

Conforme previsto no item 5.4.10, neste ponto da utilização do **software** é realizada a primeira avaliação parcial: as funções parciais definidas são comparadas com os requisitos estabelecidos inicialmente para o equipamento de elevação. Esse trabalho é realizado em tela semelhante à que foi mostrada na Fig. 5-21.

Se a estrutura interna de qualquer função parcial não atender aos requisitos de projeto, essa estrutura poderá ser reformulada ou excluída do conjunto (acionando-se a tecla F4) e

substituída por outra. Por prudência, antes de apagar qualquer alternativa o sistema pede que o usuário confirme sua intenção de exclusão.

No exemplo atual, as estruturas das funções parciais existentes foram consideradas aptas à continuação do projeto.

6.11 - Variações sobre a estrutura de funções elementares que compõe cada função parcial.

Em tela semelhante à mostrada na Fig. 6-10, o SADEPRO orienta o projetista para procurar variações sobre as já obtidas estruturas de funções elementares correspondentes a cada função parcial. A partir dessa tela, há possibilidade de se modificar a estrutura de funções elementares correspondente à função parcial enfocada, gerando variações possíveis.

VARIACÕES SOBRE A ESTRUTURA DE FUNÇÕES PARCIAIS	

Análise a possibilidade de fazer variações sobre a estrutura genérica de cada função parcial:	
- alterar seqüência/posição relativa entre as funções elementares;	
- agrupar/decompor funções elementares;	
- suprimir/acrescentar funções elementares;	
- trocar de lugar a entrada de informação/material/energia.	

Função Parcial: 2	Total de Funções Parciais: 3
Variante : 0	Total de Variantes : 0
Nome	[Bloqueador do refluxo de energia potencial.]
Objetivo	[Evitar o refluxo da energia potencial; controlar a]
	[liberação de energia, após liberar carga.]
Grandeza(s) de Entrada	[Carga com energia potencial.]
	[]
Grandeza(s) de Saída	[Carga com menos energia potencial. Carga elevada]
	[ou abaixada à posição inicial.]
Observação	[O "bloqueador" presta-se para evitar o refluxo e]
	[para controlar a liberação da energia acumulada.]

<ESC> Sair <PgDn> Próxima Função Parcial <PgUp> Função Parcial Anterior	
<F3> Inserir Variante	
<←> Variante Anterior <→> Próxima Variante <F5> Estrutura da Função Parcial	

Fig. 6-10 - Tela para se estudar a possibilidade de obter variações na estrutura de funções elementares correspondente a cada função parcial.

Para o produto em estudo, o resultado da pesquisa de variantes foi:

- 1) para a fonte de energia: representada por função elementar única - "desacumular" -, não há como fazer variar essa estrutura;
- 2) para o bloqueador de refluxo: também não foram idealizadas variações;
- 3) para o transformador/amplificador de força, entendeu-se que não é possível conseguirem-se variações, pois as alternativas seriam:

3.1) inicialmente amplificar a força aplicada no equipamento e só depois transformá-la em força de elevação. Neste caso, a energia da entrada seria primeiro transformada em algum tipo de "força intermediária", para só em seguida tornar-se força de elevação. Essa idéia pareceu ineficaz, tendo em vista a alternativa (3.2) exposta a seguir;

3.2) simultaneamente, transformar em força a energia inicial aplicada e amplificar essa força (ou seja, o mesmo mecanismo utilizado para transformar a energia aplicada em força de elevação é também o responsável pela amplificação da força). Embora possa parecer idéia nova, esta alternativa facilmente se reduz à variante zero, já que tanto aqui quanto lá as duas funções (transformar energia e amplificar força) podem ser claramente identificadas: isso reduz as soluções à mesma situação. Em outras palavras, as duas idéias não são diferentes, pois representam a mesma solução.

Não havendo então variantes de funções parciais, o SADEPRO omite a inspeção que compararia essas variantes de cada função parcial com os itens da lista de requisitos inicialmente elaborada.

6.12 - A pesquisa de princípios de solução.

A procura de princípios de solução para o exemplo acompanhado é feita inicialmente com auxílio dos Catálogos de Efeitos incorporados ao SADEPRO, nos quais podem ser encontradas informações semelhantes às apresentadas na Fig. 5-23. A partir desses Catálogos, o usuário irá associar efeitos que, segundo sua percepção de projetista, são capazes de gerar solução para a função elementar que estiver focalizando. É também possível ao projetista descrever outros efeitos que porventura não estejam disponíveis na atual versão do software.

6.13 - A preparação da matriz de efeitos.

Essa associação de efeitos a funções elementares ocorre em tela cujo formato é o da Fig. 5-24. A partir dessa tela, tem-se acesso aos Catálogos do sistema computacional (teclando-se F3).

Para o exemplo acompanhado, os Catálogos foram consultados para a única função elementar ("desacumular") da função parcial 1 ("fonte de energia"). Conseguiu-se, assim, associar os seguintes efeitos considerados possíveis para realizar essa função:

- . energia humana;
- . efeito fluido;
- . efeito Biot-Savart;
- . efeito térmico.

A função parcial 2 ("bloqueador do refluxo") tem a função elementar "interromper" associada à liberação ou interrupção da condução de massa com energia, e a função elementar "separar", para separar material com energia potencial em material, de um la-

do, e **energia**, de outro. Consultados os Catálogos do SADEPRO, foram relacionados os seguintes fatores para realizar essas funções:

- para "interromper":

- . atrito;
- . forma;

- para "separar":

- . atrito.

A função parcial 3 ("transformador/amplificador de força") tem as funções elementares "transformar" e "amplificar". Para elas, foram relacionados os seguintes efeitos:

- para "transformar":

- . lei de Biot-Savart;
- . efeito térmico;
- . efeito da pressão hidrostática;
- . efeito cunha;

- para "ampliar":

- . efeito da pressão hidrostática;
- . efeito cunha;
- . alavanca.

A Fig. 6-11 mostra a tela em que fica registrada essa associação de efeitos. Neste caso, trata-se da função elementar "ampliar", da função parcial 3 e de sua variante número zero (isto é, trata-se da estrutura original, em torno da qual foram pesquisadas variantes). Conforme descrito nessa tela, há três efeitos escolhidos como possíveis, os quais podem ser vistos em lista colocada na parte inferior do vídeo.

Deve-se enfatizar que, embora os efeitos enumerados sejam referenciados apenas por algumas palavras-chave (como foi feito acima, por exemplo, citando a "lei de Boyle-Mariotte" e a "lei de Biot-Savart"), essas palavras-chave ficam vinculadas ao Catálogo de

PREPARAÇÃO DA MATRIZ DE EFEITOS

Associe efeitos à função elementar que compõe a estrutura de funções parciais e suas variantes já identificadas.

Função Parcial : 3	Total de Funções Parciais : 3
Variante : 0	Total de Variantes : 2
Função Elementar: 1	Total de Funções Elementares: 2
Efeito : 4	Total de Efeitos : 4

Função Elementar : Ampliar
Verbo Técnico + Predicado [ampliar força p/ elevar carga.]

=====Lista de efeitos associados=====

ALAVANCA
CUNHA
PRESSÃO HIDROSTÁTICA

===== (ESC) Retornar =====

Fig. 6-11 - Tela do SADEPRO para a preparação da matriz de efeitos associados à função parcial 3 (com lista dos efeitos já escolhidos).

onde foram extraídas. Isso assegura permanente acesso do usuário à descrição textual e gráfica do efeito citado. Um exemplo parcial da

Texto do Efeito

EFEITO FÍSICO : Efeito alavanca

DESCRIÇÃO : A relação entre os deslocamentos de dois pontos de alavanca é proporcional à relação entre suas distâncias ao ponto de rotação.

LEI : $s_2 = s_1 * (l_1 / l_2)$, onde :

s_1, s_2 = deslocamentos

l_1, l_2 = distâncias ao centro de rotação

APLICACÃO : - Engrenagens,
- rodas dentadas,
- barras de suspensão.

BIBLIOGRAFIA : HITTIG, Aladar. Manual do engenheiro Industrial. São Paulo: Global, 1984. v. 2. tomo II.

<PgDn> Avança <PgUp> Retrocede <ESC> Voltar <F1> Esquema do Princípio

Fig. 6-12 - Tela do SADEPRO para mostrar o texto explicativo do efeito associado "alavanca".

apresentação dos Catálogos está na Fig. 6-12, mostrando o texto do efeito físico "alavanca". Nessa tela, se se pressionar a tecla F1, consegue-se ver a ilustração gráfica correspondente a esse efeito (Fig. 6-13).

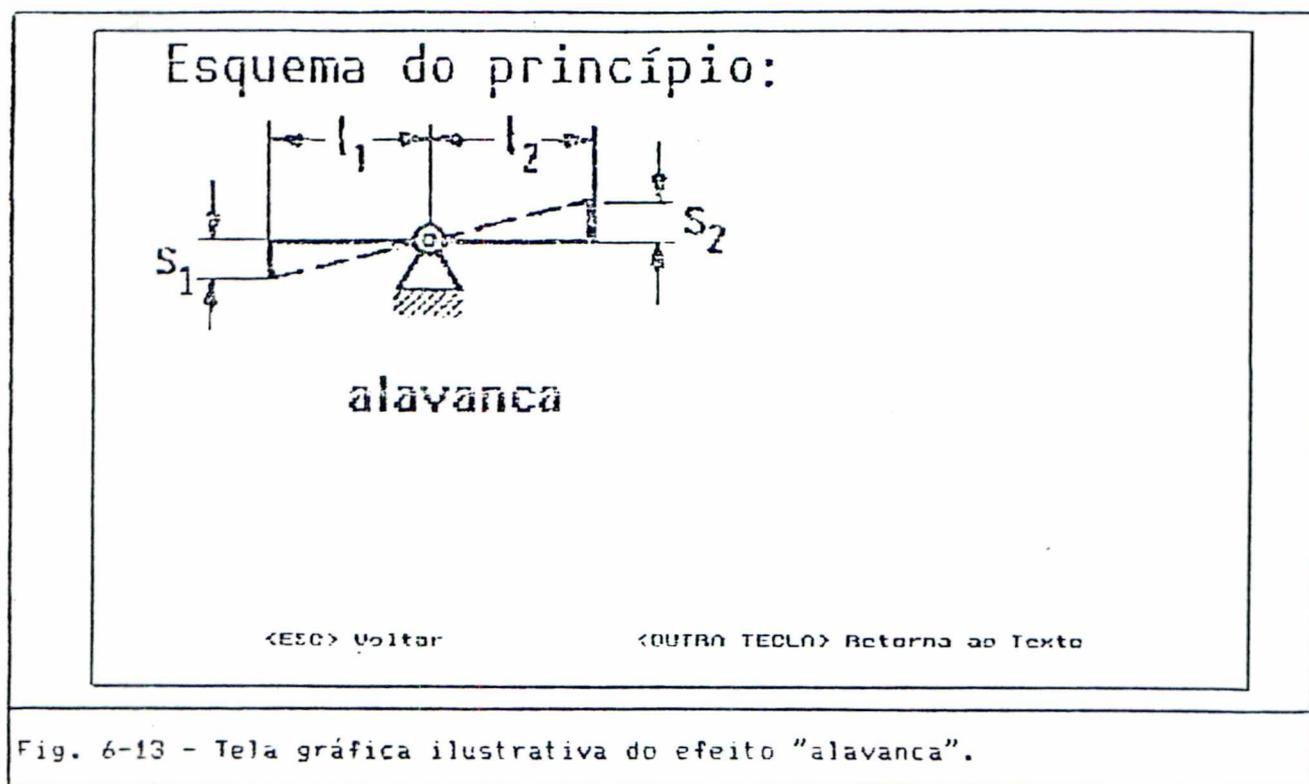


Fig. 6-13 - Tela gráfica ilustrativa do efeito "alavanca".

Na seqüência da aplicação do SADEPRO, foi feita a comparação da chamada "matriz de efeitos" com a Lista de Requisitos. Aqui, todos os efeitos relacionados para as diversas funções parciais foram examinados e considerados exequíveis, podendo portanto passarem à próxima etapa.

6.14 - Preparação da matriz de portadores de efeito e de princípios de solução.

Para cada função elementar, os portadores de efeito e princípios de solução arrolados neste estudo foram:

FUNÇÃO PARCIAL 1

("fonte de energia"):

- VARIANTE ZERO -

Função elementar (única) "fonte de energia":

1.1. Efeito: energia humana:

1.1.1 - Portador do efeito: mãos do operador;

a) Princípio de solução: mãos do operador giram manivela;

b) Princípio de solução: mãos do operador empurram pistão;

1.1.2 - Portador do efeito: pés do operador;

a) Princípio de solução: pés do operador acionam pedal e giram manivela;

b) Princípio de solução: pés do operador fazem pistão se movimentar.

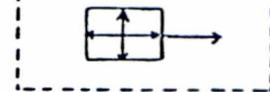
1.2. Efeito: compressibilidade do fluido;

1.2.1 - Portador do efeito: gás;

a) Princípio de solução: garrafa com gás comprimido que, ao ser liberado, empurra pistão.

Explicação: transporta-se uma garrafa portátil contendo carga de gás suficiente para uma ou duas u-

Função Parcial 1:



Fonte (portátil) de energia

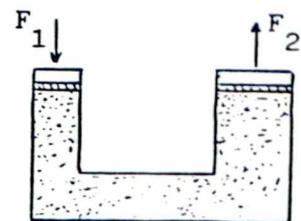
-VARIANTE ÚNICA-

MANIVELA



1.1.1a - mãos giram manivela

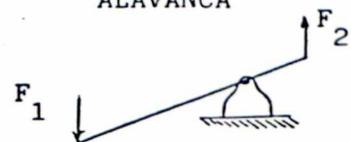
VASOS COMUNICANTES



1.1.1b - mãos acionam pistão.

1.1.2b - pés acionam pistão.

ALAVANCA



1.1.2b - pés acionam alavanca.

tilizações, por exemplo.

b) **Princípio de solução:** utiliza-se o gás do extintor de incêndio do veículo. Ao ser liberado, o gás do extintor empurra pistão.

c) **Princípio de solução:** gás coletado do escapamento do motor do veículo enche balão, que eleva a carga.

1.3. Efeito: Biot-Savart:

1.3.1 - Portador do efeito: motor elétrico;

a) **Princípio de solução:** motor acoplável ao mecanismo de elevação.

Explicação: pode ser acionado pela bateria do carro, por exemplo.

1.4. Efeito: efeito térmico (explosão de combustível)

1.4.1 - Portador do efeito: motor a explosão;

a) **Princípio de solução:** motor a explosão acoplável ao mecanismo de elevação.

FUNÇÃO PARCIAL 2

("bloqueador do refluxo"):

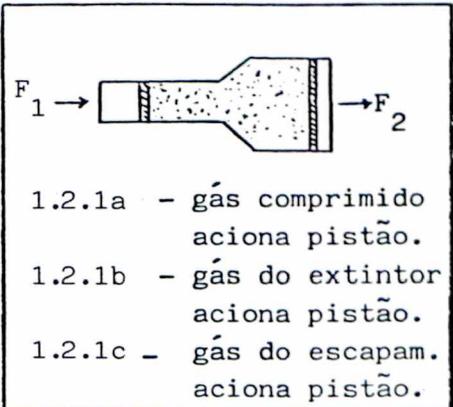
- VARIANTE ZERO -

Função elementar "interruptor de passagem"

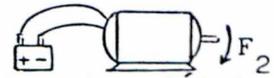
(bloqueador do movimento de retrocesso):

2.1. Efeito: atrito:

2.1.1 - Portador do efeito: parafuso auto-

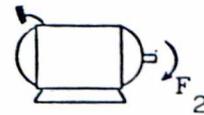


MOTOR ELÉTRICO+BATERIA



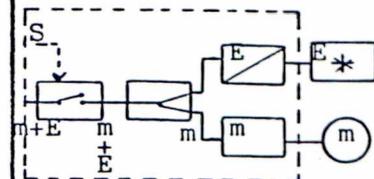
1.3.1a - motor elétrico alimentado pela bateria do veículo.

MOTOR A EXPLOSÃO

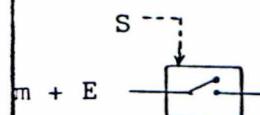


1.4.1a - Motor a explosão aciona mecanismo de elevação.

Função Parcial 2 (variante única):



Bloqueador do refluxo de energia



Função elementar "interruptor de passagem"

-travante;

a) **Princípio de solução:** parafuso de movimento;

Explicação: o passo do parafuso é pequeno, o que bloqueia a força de inversão do movimento.

2.1.2 - Portador do efeito: bloqueador de atrito.

a) **Princípio de solução:** força de atrito impede movimento de rotação de eixo.

b) **Princípio de solução:** força de atrito impede movimento de translação.

c) **Princípio de solução:** posição da trava impede rotação de eixo oco.

2.2 - Efeito: forma:

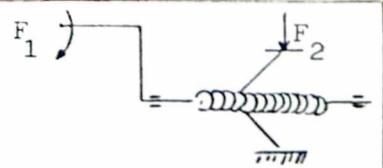
2.2.1 - Portador do efeito: bloqueador de forma.

a) **Princípio de solução:** trava impede deslocamento de cremalheira.

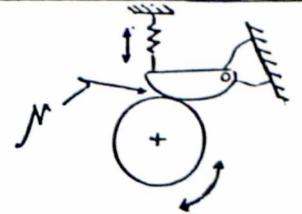
b) **Princípio de solução:** trava impede rotação de roda dentada.

c) **Princípio de solução:** trava em eixo de deslocamento linear.

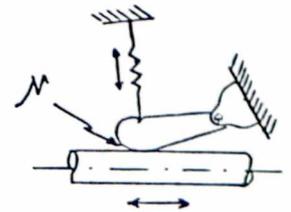
Explicação: para desbloquear, deve-se girar o eixo em 90° . Aí, o bloqueador se desencaixa e o eixo fica livre e desbloqueado.



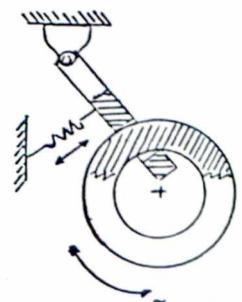
2.1.1a - Parafuso auto-travante



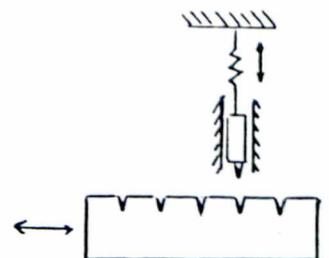
2.1.2a - Força de atrito impede movimento de rotação do eixo.



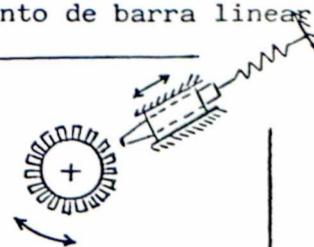
2.1.2b - Força de atrito impede movimento de translação.



2.1.2c - Posição da trava impede rotação do eixo oco.



2.2.1a - Trava impede deslocamento de barra linear



2.2.1.b - Trava impede deslocamento de roda dentada.

Função elementar "separar material e energia":

2.3 - Efeito: atrito:

2.3.1 - Portador do efeito: mecanismo de elevação.

a) Princípio de solução: destravar o bloqueador de recuo, no cilindro hidráulico.

Explicação: destravando-se o mecanismo que bloqueia o retrocesso do movimento, o peso próprio da carga levantada força o mecanismo no sentido inverso, e a energia potencial do carro se transforma em calor devido ao atrito do mecanismo de elevação, durante o movimento de descida.

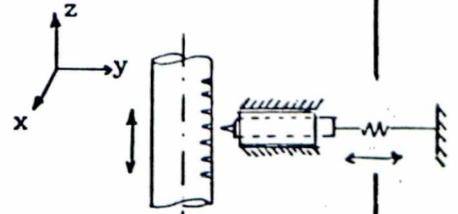
2.3.2 - Portador do efeito: parafuso de movimento.

a) Princípio de solução: fazer retroagir a rosca e articulação.

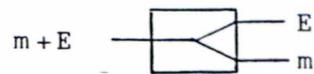
Explicação: sendo o parafuso auto-travante, o agente do movimento (no caso, o homem) aciona ao contrário a alavanca, frenando-a durante a descida do veículo suspenso.

2.3.3 - Portador do efeito: parafuso cônico.

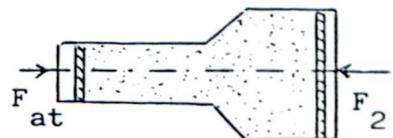
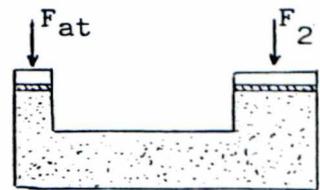
a) Princípio de solução: fazer retroagir o parafuso.



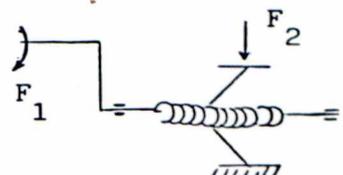
2.2.1 c - Trava em eixo de deslocamento linear. Para desbloquear, gira-se o eixo no plano xy e o bloqueador se desencaixa, liberando o movimento de translação do eixo.



Função elementar:
"separar material e energia"



2.3.1a - Ao ser liberado o movimento do pistão, o atrito interno do mecanismo transforma energia potencial da carga elevada em calor.



2.3.2a - Faz-se a rosca-sem-fim retroagir controladamente, para frear recuo.

Explicação: o parafuso cônico é auto-travante; o agente do movimento aciona a alavanca no sentido contrário ao do movimento, frenando a descida da carga suspensa.

2.3.4 - Portador do efeito: pinhão e cremalheira.

a) Princípio de solução: destravando o bloqueador do recuo, o agente do movimento freia a rotação inversa da alavanca de acionamento.

FUNÇÃO PARCIAL 3

("transformar energia e amplificar força")

- VARIANTE ZERO -

Função elementar "transformar energia":

3.1 - Efeito: lei de Biot-Savart:

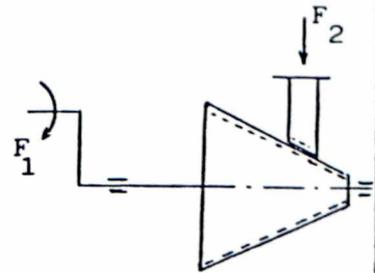
3.1.1 - Portador do efeito: condutor se movimenta dentro de campo magnético.

a) Princípio de solução: motor elétrico é acoplado ao mecanismo de elevação, transformando energia elétrica de bateria em energia mecânica de elevação.

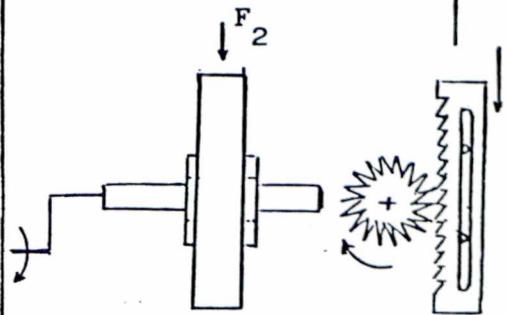
3.2 - Efeito: térmico (explosão de combustível):

3.2.1 - Portador do efeito: motor a explosão

a) Princípio de solução: motor a explosão é acoplado ao equipamento

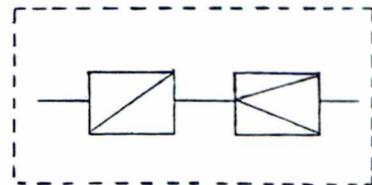


2.3.3a - Frenagem manual do movimento de retorno.



2.3.4a - Frenagem manual do movimento de retorno da massa elevada.

Função Parcial 3:
"transformar energia e amplificar força"



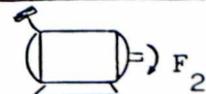
VARIANTE ZERO



Função elementar "transformar"



3.1.1a - Motor elétrico alimentado por bateria produz torque.



3.2.1a - Motor a explosão produz torque.

de elevação.

3.3 - Efeito: pressão hidrostática;

3.3.1 - Portador do efeito: vasos comunicantes cheios de óleo;

a) Princípio de solução: mecanismo articulado, para ser acionado com as mãos ou com os pés;

b) Princípio de solução: mecanismo pinhão e cremalheira (para mover com as mãos).

c) Princípio de solução: mecanismo com duas engrenagens a 90° e rosca-sem-fim interna;

d) Princípio de solução: parafuso de movimento aciona pistão dentro de cilindro hidráulico.

Observação: deve-se cuidar da vedação, para evitar vazamentos.

3.4 - Efeito: cunha;

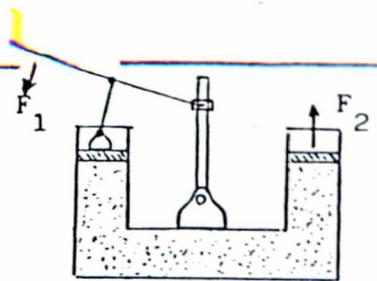
3.3.2 - Portador do efeito: jogo de engrenagens;

a) Princípio de solução: engrenagens acionam parafuso de movimento e elevam plataforma;

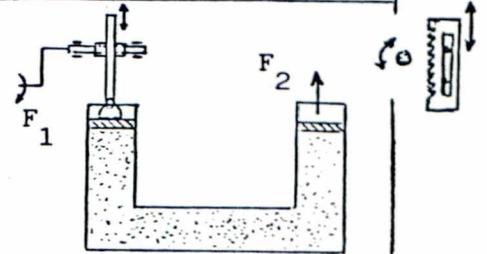
Função elementar "ampliar força":

3.5 - Efeito: pressão hidrostática;

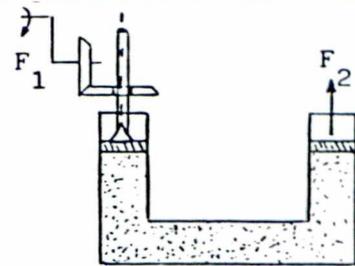
3.5.1 - Portador do efeito: vasos comunicantes com área de saída maior do que a de entrada, preenchidos com óleo.



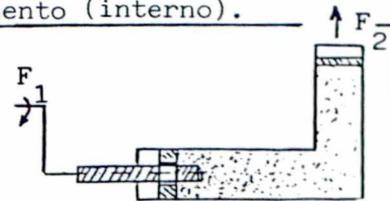
3.3.1a - mecanismo articulado transforma energia humana em força de elevação.



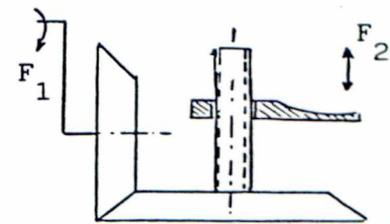
3.3.1b - mecanismo com pinhão e cremalheira.



3.3.1c - mecanismo com engrenagens e parafuso de movimento (interno).



3.3.1d - parafuso de movimento empurra pistão.



3.3.2a - Engrenagens acionam parafuso de movimento e elevam plataforma.

Função elementar "ampliar":



Observação: aplicam-se os mesmos princípios de solução já descritos nos itens 3.3.1 (a), (b), (c) e (d), considerando-se agora as diferentes áreas da entrada e da saída.

3.6 - Efeito: cunha;

3.6.1 - Portador do efeito: jogo de engrenagens;

a) Princípio de solução: engrenagens de diâmetro diferente ampliam a força aplicada na entrada e acionam parafuso de movimento, que eleva plataforma.

3.6.2 - Portador do efeito: barras articuladas;

a) Princípio de solução: parafuso de movimento, em conjunto com manivela (efeito alavanca), amplia a força da entrada e, através de parafuso de movimento, aciona barras articuladas

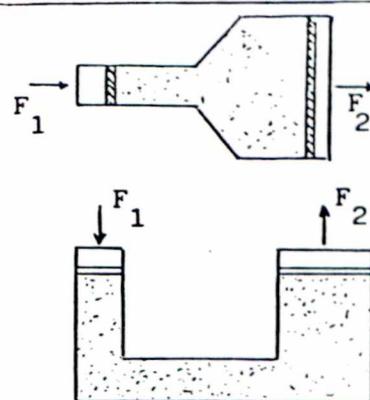
3.7 - Efeito: alavanca;

3.7.1 - Portador do efeito: manivela;

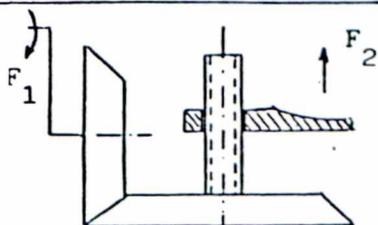
Explicação: manivela amplifica força aplicada na entrada do mecanismo de elevação;

a) Princípio de solução: manivela gira pinhão, que movimenta (efeito cunha) verticalmente uma cremalheira.

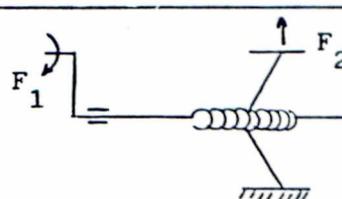
b) Princípio de solução: manivela gira parafuso cônico, que movimenta uma cremalheira.



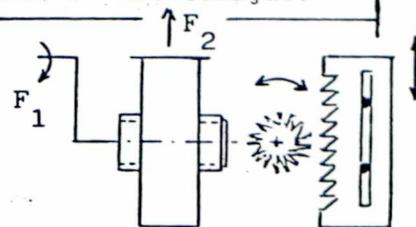
3.5.1 - vasos comunicantes com área de saída maior que a da entrada: ampliam força.



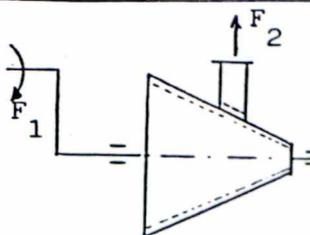
3.6.1a - Parafuso de movimento acionado por engrenagens amplia a força aplicada na entrada.



3.6.2a - Parafuso de movimento e articulação.



3.7.1a - Pinhão e barra dentada.



3.7.1b - Parafuso cônico movimenta barra na direção vertical.

Obtidos os portadores de efeito e princípios de solução para o problema estudado, é necessário cotejá-los com a Lista de Requisitos do projeto. Essa comparação é feita em tela semelhante à mostrada na Fig. 5-28. No caso do presente exemplo, através desse passo de trabalho pode-se perceber que algumas propostas não funcionarão conforme desejado e, por isso, devem ser excluídas do conjunto de soluções viáveis. É o que acontece para as alternativas que propuseram o parafuso cônico, dentre outras. Abaixo estão relacionadas as alternativas eliminadas neste passo de trabalho e as justificativas utilizadas para excluí-las.

FUNÇÃO PARCIAL 1 (fonte portátil de energia):

- VARIANTE ÚNICA -

Função elementar " fonte de energia":

1.2 - Efeito: fluido;

1.2.1 - Portador de efeito: gás;

(b) Princípio de solução: utilização de gás do extintor de incêndio do veículo para mover pistão;

Inspeção: alternativa recusada, por comprometer equipamento indispensável para a segurança do veículo.

(c) Princípio de solução: gás coletado do escapamento do veículo, com o motor em funcionamento.

Inspeção: alternativa recusada, por ser difícil o controle visual do levantamento, caso o usuário esteja só. Assim, há risco de explosão.

1.3 - Efeito: Biot-Savart:

1.3.1 - Portador do efeito: motor elétrico;

a) Princípio de solução: motor elétrico;

Inspeção: alternativa recusada (é, em geral, pesado e difícil de ser manuseado por pessoa de pequena força física. Não atende, portanto, ao requisito obrigatório "portabilidade").

1.4 - Efeito: efeito térmico;

1.4.1 - Portador do efeito: motor a explosão;

a) Princípio de solução: motor a explosão acoplável ao mecanismo de elevação do veículo;

Inspeção: alternativa recusada por não ser facilmente portátil.

FUNÇÃO PARCIAL 2 (bloqueador de refluxo):

- VARIANTE ZERO -

Função elementar: separar material de energia;

2.3.3 - Portador do efeito: parafuso cônico;

a) Princípio de solução: fazer retroagir o parafuso.

Inspeção: recusado, pois a solução com o parafuso cônico foi considerada ineficiente.

FUNÇÃO PARCIAL 3 (transformar energia e amplificar força):

VARIANTE ZERO

Função elementar "transformar energia":

3.1 - Efeito: lei de Biot-Savart:

3.1.1 - Portador do efeito: condutor movendo-se dentro de campo magnético;

a) Princípio de solução: motor elétrico é acoplado ao mecanismo de elevação.

Inspeção: alternativa recusada por não atender ao requisito obrigatório "portabilidade". Além disso, foi considerado inadequado por desgastar a bateria do veículo.

3.2 - Efeito: térmico (explosão de combustível):

3.2.1 - Portador do efeito: motor a explosão.

a) **Princípio de solução:** motor a explosão é acoplado ao equipamento de elevação.

Inspeção: alternativa recusada por não ser facilmente portátil.

Como se vê, para o presente exemplo, excetuando-se as alternativas excluídas durante a comparação da Lista de Requisitos com a matriz de portadores de efeito/princípios de solução, as demais podem ser adotadas como possíveis para concretizar as funções parciais a que se referem.

6.15 - A obtenção de solução para as funções parciais.

O trabalho de composição da função parcial, feito a partir das propostas de solução encontradas para suas funções elementares, é realizado no SADEPRO em tela conforme apresentada na Fig. 5-29. A solução completa de cada função parcial é mostrada ao projetista em tela como a que é exibida na Fig. 5-30. Nesta última, é possível visualizar todas as escolhas feitas para cada uma das funções elementares que compõem a estrutura de cada função parcial, devidamente acompanhadas dos desenhos e esboços elaborados durante a pesquisa de soluções. O "menu" de opções colocado na parte inferior da tela mostrada na Fig. 5-30 indica as ações necessárias para se ter acesso a todas essas informações.

O resultado deste passo de trabalho é a obtenção do conjunto de princípios de solução (que já contêm os portadores de efeito e os próprios efeitos) que consegue realizar cada uma das funções parciais.

Assim é que, neste exemplo, a função parcial 1 - fonte de energia - poderá ser realizada:

- a partir de energia humana, girando alavanca ou empurrando pistões, com o operador utilizando suas mãos ou pés; ou
- a partir de gás comprimido engarrafado, desde que não seja do extintor de incêndio do carro.

Para a função parcial 2 - bloqueador de refluxo -, a função elementar "interruptor de movimento" poderá ser concretizada:

- considerando-se parafusos auto-travantes (parafuso de movimento, por exemplo);
- contando com bloqueadores de atrito (quando força de atrito impede o deslocamento linear ou a rotação de um eixo);
- trabalhando-se com bloqueadores de forma, onde algum tipo de trava (em barra de deslocamento linear, em roda dentada ou em eixo oco) impede o movimento de recuo da massa elevada.

As outras funções elementares (separar material e energia e dispersar energia) desta função parcial serão realizadas em parte pela frenagem que o agente do movimento (o operador do mecanismo de elevação, no caso) impõe à retroação controlada do equipamento e em parte pela perda por atrito que ocorrerá naturalmente durante o funcionamento do mecanismo.

A função parcial 3 - transformar energia e amplificar força - também tem várias alternativas de solução:

- vasos comunicantes preenchidos com óleo, cuja área de saída é maior do que a de entrada, e contendo pistões movidos por mecanismo articulado, mecanismo de pinhão e cremalheira ou por engrenagens justapostas a 90° , podendo ser acionados pelas mãos ou pelos pés do operador;
- jogo de engrenagens, que acionam parafuso de movimento e elevam plataforma;

- manivela, associada com parafuso de movimento e barras articuladas; com pinhão e cremalheira ou acionando sistema de engrenagens.

Cada uma dessas possíveis soluções de funções parciais deve ser analisada quanto ao atendimento dado à Lista de Requisitos do projeto, em tela semelhante à mostrada na Fig. 5-31. Aplicada essa inspeção, observou-se que, para este exemplo, todas as alternativas de solução para as funções parciais acima relacionadas foram consideradas aceitáveis para passarem à próxima etapa de aplicação do software. Com elas, pode-se montar as propostas de solução global que vêm a seguir.

6.16 - Síntese da concepção para a função global.

A síntese da concepção para a função global é feita, no SADEPRO, escolhendo-se a alternativa <S> na Fig. 5-32. Desse modo, ingressa-se em ambiente mostrado na Fig. 5-33, onde o usuário tem oportunidade de selecionar uma única solução para cada uma das funções parciais que compõem a função global. Trabalhando com textos descritivos da solução global e com figuras associadas, o projetista consegue percorrer toda a árvore de possibilidades, realizando a combinação de soluções parciais que lhe parecer mais adequada para o objetivo que tem em vista.

Depois de realizar o trabalho de síntese, se alguma solução completa não mais lhe agrada, poderá retornar a ela e modificá-la, a partir da opção por <M> na tela mostrada na Fig. 5-32 e chega-se à tela exposta na Fig. 5-34.

Após aplicar este passo de trabalho ao exemplo que está sendo acompanhado, chega-se a alguns resultados que não repre-

sentam todas as alternativas possíveis de solução, mas apenas algumas, consideradas suficientes para demonstrar a operacionalização do software. Deste modo, são mostradas a seguir três soluções possíveis.

Concepção de função global 1:

Função parcial 1 (fonte de energia): energia humana (através de mãos do operador) acionam o equipamento de elevação por meio de manivela ligada a parafuso de movimento e barras articuladas;

Função parcial 2 (bloqueador de refluxo): é concretizada pelo fator auto-travante do parafuso de movimento, que impede a liberação indesejada de energia potencial;

Função parcial 3 (transformador/amplificador de força): o sistema composto por parafuso de movimento e barras articuladas realizam todas as funções necessárias.

A Fig. 6-14 ilustra parte do Relatório de Saída do SADEPRO referente a esta concepção de função global 1. Tanto o desenho quanto os textos ali mostrados representam o conteúdo de alguns arquivos internos do software, gerados e organizados durante a elaboração do presente exemplo. As outras duas concepções sintetizadas estão mostradas em croquis simplificados e servirão para ilustrar a escolha entre alternativas de concepção.

SISTEMA SADEPRO -- LISTAGEM DE CONCEPÇÃO DE FUNÇÃO GLOBAL

Concepção Global número: 1

Texto da c. global: Concepção de função global n. 1: o mecanismo de elevação é composto por um parafuso de movimento, que o operador aciona através de manivela. Por sua vez, barras articuladas se movimentam por ação do parafuso, e isso faz levantar a carga, conforme desejado.

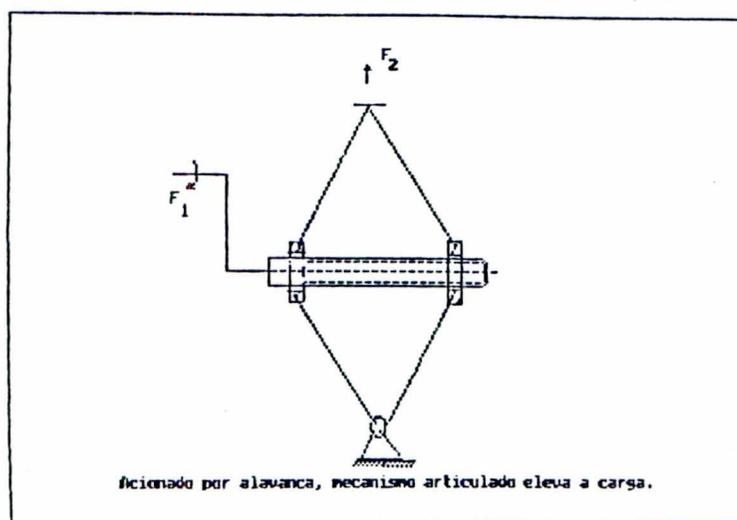


Fig. 6-14 - Relatório de Saída (parcial) para apresentar a função global 1.

Concepção de função global 2:

Função parcial 1 (fonte de energia): energia humana e mãos ou pés do operador acionam o equipamento de elevação;

Função parcial 2 (bloqueador de refluxo): válvula de retenção impede o retorno do óleo injetado dentro dos vasos comunicantes. A liberação da energia potencial será possível ao se abrir a válvula de retenção, permitindo que o óleo dos cilindros retorne ao



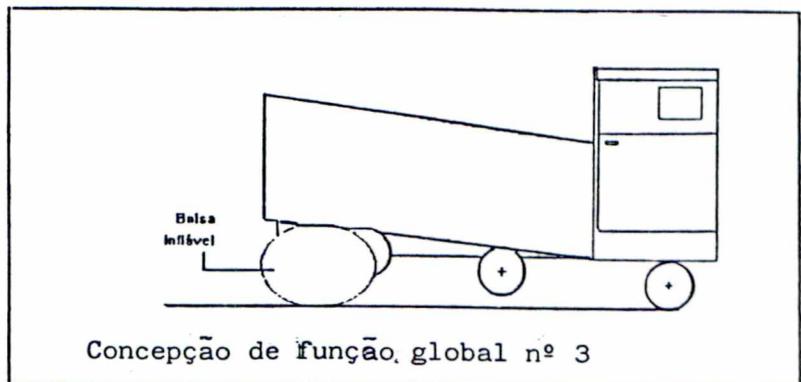
depósito de origem;

Função parcial 3 (transformador/amplificador de força): o sistema de vasos comunicantes com área de saída maior do que a área de entrada realiza as funções necessárias.

Concepção de função global 3:

Função parcial 1 (fonte de energia): energia de acionamento provém de cilindro com gás comprimido. A quantidade de gás do cilindro deverá ser suficiente para realizar pelo menos duas vezes a operação de levantamento.

Função parcial 2 (bloqueador de refluxo): válvula de retenção impede a saída do gás. Aberta, permitirá o retorno da carga à posição inicial;



Função parcial 3 (transformador/amplificador de força): o gás comprimido tem energia suficiente para inflar a câmara que elevará a carga, permitindo que seja realizada alguma tarefa nessa carga elevada.

6.17 - Verificação de compatibilidade entre as funções parciais que compõem cada solução global.

Na tela mostrada na Fig. 5-35, as soluções de funções parciais escolhidas para integrar cada solução global são confrontadas entre si. Conforme explicado no Capítulo 5, o objetivo deste passo é estimular o projetista a refletir sobre as combinações das funções parciais que escolheu para compor cada função glo-

bal, procurando verificar se há alguma incoerência ou disparidade nessas combinações.

Em seguida, cada solução de função global é submetida à Lista de Requisitos, para verificar se a satisfaz.

No caso deste exemplo específico, as três alternativas de solução global mostraram-se aceitáveis para resolver o problema inicialmente proposto, e puderam passar à etapa seguinte da utilização do SADEPRO.

6.18 - Escolha entre alternativas de concepção.

Em tela semelhante à mostrada na Fig. 5-36, o projetista decide qual será o critério de avaliação utilizado para comparar suas concepções globais obtidas. Se optar pelo modelo do atendimento aos requisitos desejáveis, teclando <1>, cada concepção global será examinada quanto ao atendimento que proporciona aos requisitos classificados como "desejáveis", no início do projeto. Essa avaliação se faz em tela mostrada na Fig. 5-37, e o resultado será apresentado ao projetista como na Fig. 5-38.

Se optar pelo modelo de avaliação mais completo, teclando <2> na Fig. 5-36, deverá construir progressivamente seus critérios de avaliação, conforme mostrado na Fig. 5-39, e ponderá-los, segundo mostra a Fig. 5-40. Como resultado, será obtida uma lista de parâmetros de avaliação, devidamente ponderados (veja Fig. 5-41), aos quais as concepções globais serão submetidas, uma de cada vez, conforme exposto na Fig. 5-42. A comparação entre alternativas produzirá resultados que serão apresentados ao projetista em quadro exemplificado na Fig. 5-43.

Neste exemplo particular que está sendo apresentado,

submeteram-se as três concepções globais às alternativas de avaliação oferecidas pelo sistema computacional. O primeiro método - que compara as propostas de solução global em relação ao grau de atendimento que cada uma dá aos requisitos desejáveis do projeto - coloca a Concepção nº 1 em primeiro lugar, devido à facilidade de ser transportada e guardada, quando não está em uso. Em segundo lugar, e principalmente devido também à portabilidade, vem a Concepção nº 3 e, finalmente, em terceiro lugar comparece a Concepção nº 2.

Já a comparação pelo segundo método - o da valoração de critérios de avaliação - dependerá, evidentemente, dos critérios gerados pelo projetista, auxiliado pelo **software**. Um sistema de critérios gerados pelo autor resultou na classificação das alternativas de solução relacionadas acima na seguinte ordem de importância: concepção nº 1; concepção nº 2; concepção nº 3.

6.19 - Conclusões.

Neste Capítulo, foram apresentadas algumas soluções para um projeto específico, sem a preocupação de exaurir o campo de suas possíveis soluções. Conforme já foi mencionado antes, o propósito deste exemplo foi mostrar didaticamente a potencialidade de utilização do SADEPRO.

Nesse sentido, pôde-se ver que a metodologia existente no **software**:

- efetivamente conduz o projetista de forma segura na busca de resultados para a concepção de seu produto;
- propicia freqüentes oportunidades de discussão sobre alternativas de solução, na medida em que elas são geradas;
- induz o projetista a refletir criticamente sobre os resultados (parciais e globais) alcançados;

- orienta o projetista na avaliação e escolha da solução mais adequada para seus propósitos;
- produz Relatórios com os resultados alcançados, úteis para a visualização dos resultados encontrados em cada etapa do trabalho, e prontos para serem utilizados pelas pessoas responsáveis pelas próximas fases do processo do projeto.

Os Catálogos de Efeitos, ainda incompletos nesta versão do **software**, auxiliam a criatividade do projetista na ocasião em que lhe oferecem sugestões para solucionar as funções elementares. Essas sugestões podem ser desenvolvidas e ampliadas pelo projetista, e novas alternativas podem surgir de reflexões iniciadas com as consultas aos Catálogos.

O Editor Gráfico, embora com limitados recursos de desenho, permite que o projetista registre suas idéias e represente as estruturas de funções e as soluções geradas, em forma de esboço, de modo suficientemente claro para o completo entendimento das pessoas que se dedicarem à continuação do projeto, nas fases posteriores à da concepção do produto.

Dentro do Editor Gráfico há quadros com "gabaritos" das figuras que representam as funções elementares, o que facilita a elaboração de estruturas com elas. Por outro lado, figuras podem ser copiadas inteiras ou em partes, de um lado para outro do **software**: o trabalho de copiar figuras, quando for necessário fazê-lo, fica facilitado através dos comandos apropriados do sistema computacional. Além disso, se for necessário retocar alguma figura para representar solução diferente daquela que originalmente contém essa figura, é sempre possível copiar a figura original e corrigi-la, sem necessidade, portanto, de refazê-la inteiramente.

Finalmente, deve-se lembrar que cada figura componente das estruturas de funções elementares permanece ligada ao seu correspondente Catálogo de Efeitos. Tudo se passa como se cada figura fosse "reconhecida" pelo SADEPRO como "representante" da função elementar que simboliza. Para a continuação deste trabalho em direção a um sistema especialista, este aspecto é fundamental para automatizar a tomada de decisões relativas à concepção do produto.

CAPÍTULO 7: CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS.

7.1 - Introdução.

Atendendo à necessidade imposta pela crescente demanda por produtos industriais e também pelo rápido avanço tecnológico, ambos evidenciados pelos mais recentes estudos sobre utilização de computadores na etapa da concepção do produto, o sistema SADEPRO oferece ao projetista a possibilidade de idealizar seu produto com auxílio do computador.

Contendo uma metodologia eficaz e devidamente testada, o SADEPRO orienta o usuário para chegar à concretização da idéia inicial e assim obter uma (ou mais de uma) concepção de solução para essa idéia. Por meio de interação continuada com o projetista, o software o conduz de forma gradual desde a elaboração da Lista de Requisitos até a avaliação das alternativas de concepção resultantes da aplicação do sistema computacional, com a segurança de uma metodologia consistente de projeto.

Para simplificar a comunicação com o software, o sistema SADEPRO oferece ao usuário uma "interface" confortável, com manejo simples através de um diálogo homem-máquina seqüenciado. Desse modo, as facilidades de trabalhar com o sistema computacional tanto poderão ser utilizadas por usuários, que se beneficiam com sua aplicação, como também poderão ser aproveitadas por especialistas em projetos de sistemas técnicos, quando desejarem ampliar e/ou atualizar o próprio sistema SADEPRO, aproximando-o assim de suas necessidades específicas.

Os catálogos de efeitos físicos e de princípios de soluções incorporados ao SADEPRO representam facilidade adicional

ao trabalho do projetista/usuário, na medida em que mantêm à disposição dele um conjunto de idéias prontas para serem incorporadas ao seu projeto particular. Esse conjunto de catálogos poderá ser tão grande quanto for possível construí-lo. Além disso, com certas adaptações no sistema computacional e trocando as bases de dados, o SADEPRO poderá também ser utilizado como instrumento auxiliar para desenvolvimento de projetos em outras áreas que não a Engenharia Mecânica, tais como na área química, elétrica, bio-engenharia, etc..

O eventual acoplamento do sistema computacional a um sistema CAD tradicional poderá facilitar a transferência dos resultados obtidos pela utilização do **software**: enquanto que os elementos básicos da concepção são definidos com auxílio do sistema SADEPRO, o detalhamento do projeto poderá ser realizado através de um sistema convencional CAD ou CAD/CAM.

7.2 - Possíveis extensões.

Como contribuição para investigações nesta importante área do desenvolvimento de produtos, o trabalho aqui desenvolvido conduz ao reconhecimento de alternativas promissoras para futuras pesquisas, a serem desenvolvidas em sua continuação. O assunto central e nucleador dessa continuação é a possibilidade de se melhorar e aperfeiçoar o próprio sistema computacional SADEPRO. Pesquisas "satélites" e complementares dizem respeito a aspectos teóricos e práticos que irão perfazer as condições necessárias àquela evolução pretendida, oferecendo suporte para o desenvolvimento de versões mais avançadas do software.

Sob o ponto de vista dessas investigações complemen-

tares, estão relacionados a seguir alguns temas preliminares que, mais bem trabalhados, poderão resultar em pesquisas conseqüentes.

1. Maior adequação da Lista de Requisitos e de verbos técnicos a procedimentos auxiliados por computador.

Um problema básico a ser resolvido dentro do auxílio computacional à fase de concepção do projeto é a formulação de requisitos de projeto de uma forma mais apropriada para ser processada em computador.

Para isso, pode-se pensar, de um lado, em adequar a aplicação da "Casa de Qualidade" (HOUSER & CLAUSING, 1988) para obtenção da Lista de Requisitos como entrada para o sistema computacional auxiliar do projetista de produtos industriais. Para que a técnica seja genericamente aproveitável, é preciso definir maneiras de se utilizarem seus mecanismos, mesmo em situações nas quais não há disponibilidade de toda a infra-estrutura originalmente arrolada como necessária para a completa obtenção dos dados pertinentes ao estudo.

De outro lado, pode-se pensar em aprofundar a idéia sugerida por JAKOBSEN, SIGURJÓNSSON & JAKOBSEN (1991), segundo a qual a especificação básica de um problema de projeto deverá conter os requisitos funcionais, um critério de avaliação e condições externas conhecidas. Nesse trabalho, os autores sustentam que requisitos funcionais podem ser expressos como pares de palavras compostos por um verbo transitivo e um substantivo. Com isso, as funções devem ser formuladas independentemente de soluções concretas. Propõem a criação de um vocabulário de verbos e de substantivos (além de um "dicionário" para encaminhamento às palavras catalogadas) pa-

ra auxiliar o usuário a formular as funções de seu produto atendendo-se aos termos incluídos no "thesaurus", e sugerem que tanto os verbos quanto os nomes constantes do "thesaurus" sejam organizados hierarquicamente, segundo algum critério prático aceitável.

Tomando de empréstimo a idéia desses últimos autores citados e levando-a um pouco adiante, poder-se-á pensar em também associar operações básicas àqueles verbos e atribuir aos substantivos a descrição de sinal, energia e material da entrada e da saída para compor funções elementares associadas ao verbo escolhido. Assim, na medida em que os requisitos funcionais estiverem sendo descritos por meio de verbos e nomes retirados do "thesaurus", simultaneamente estará sendo composta a estrutura de funções que, mais tarde, servirá para a pesquisa de princípios de soluções. Se for possível anexar a estes, outros conceitos que dêem mais precisão aos dados, como os da Casa de Qualidade (com dados obtidos dentro da generalidade exigida pelas empresas atuais), certamente o problema estará se encaminhando para uma solução mais próxima da realidade e, portanto, terá resultados esperados mais úteis ao projeto de produtos industriais.

2. Aperfeiçoamento de métodos para avaliar concepções.

Não é exagero afirmar que, intimamente ligados aos requisitos previamente definidos, estão os critérios de avaliação de solução, os quais se prestam para comparar e avaliar os objetivos alcançados pelo projeto. Em decorrência disso, diretamente associado à obtenção da Lista de Requisitos, deve-se estudar algum mecanismo integrado a ela, que se preste a avaliar os resultados obtidos com o sistema computacional, tão logo esses resultados sejam conhecidos.

Neste caso, um aspecto que deverá ser discutido mais aprofundadamente e demonstrado de forma irrefutável é a alegada necessidade de haver completa independência entre os requisitos de projeto (SELL, 1992; PAHL & BEITZ, 1988), para que a avaliação neles baseada seja teoricamente correta.

Por outro lado, a avaliação econômica elaborada com precisão técnica não é possível para os resultados obtidos até a concepção, pois nesta fase do projeto não há elementos concretos sobre os quais apoiar o levantamento de dados para realizar essa avaliação. Não há, aqui, escolha definitiva de materiais, componentes, junções ou processo de fabricação.

De certa forma, mesmo dispondo de várias opções de concepção do produto, ainda não terá chegado ao fim a especulação sobre possibilidades de modificação nas soluções consideradas, ou mesmo nos elementos componentes dessas concepções.

Para não se incorrer no excesso de precisão ao comparar custos estimados de elementos de projetos abstratos e ainda imprecisos, o mecanismo mais correto para se compararem alternativas de concepção parece ser o que utiliza critérios derivados da Lista de Requisitos, conforme mencionado nos capítulos 4 e 5 deste trabalho.

É óbvio que, se, dentre as alternativas disponíveis, houver alguma concepção com aspectos de custos discrepantes e visíveis, o projetista deverá descartar essa opção, em avaliação sumária, tão logo tome consciência desses aspectos extraordinários. No entanto, essa situação será a exceção, pois a ocorrência mais comum é chegar até à elaboração de protótipos para se conseguir comparar alternativas de custos, com precisão aceitável pela Engenharia de Projetos.

Diversos autores (SELL, 1992; POSSAMAI, 1992; HÖHNE, 1990; PAHL & BEITZ, 1988; CSILLAG, 1985, entre outros) propõem critérios para avaliação de alternativas, cada um trabalhando com o enfoque que lhe parece mais importante. Apesar dessa variedade, no que tange à comparação de **custos no projeto** durante a fase da concepção, sempre há possibilidade de surgirem controvérsias. É inegável, porém, que o projetista de produtos certamente ficará mais confiante em relação ao resultado de seu trabalho se dispuser de critérios que lhe permitam realizar avaliação e decisão fundamentadas, além de nos aspectos técnicos, também em aspectos econômicos, já na fase de concepção.

Pelo exposto, parece ser interessante aprofundar-se no estudo de uma metodologia de avaliação de concepções (especialmente se forem obtidas com auxílio computacional), que de algum modo contemple também aspectos de custos, vistos de forma confiável e inequívoca, durante a fase de concepção do produto.

3. A concepção do produto e sua forma externa.

Os mesmos argumentos utilizados no item anterior para explicar o porquê de não se ter precisão na avaliação, relativamente a custos, durante a fase da concepção, podem ser aplicados à forma do produto. Ou seja, se é fato que durante a etapa da concepção estão sendo analisadas as alternativas de funcionamento de um produto ainda indefinido, como pensar, neste momento, na **forma** que esse produto poderá assumir? Embora possa parecer pouco objetivo sob o ponto de vista das diferentes escolas de projeto hoje existentes (MÜLLER, em 1988, relacionou 20 delas), talvez não seja absurdo para metodologias apoiadas por computador. Haverá alguma ma-

neira de se visualizar a forma de um produto - sob o aspecto gráfico de croqui ou esboço - ao mesmo tempo em que se idealiza sua concepção? Durante a etapa da concepção, quais seriam, então, as diretrizes principais que definiriam a **criação da forma** do produto nessa fase do seu desenvolvimento?

Se houver respostas a estas perguntas, provavelmente a solução delas passará pela concatenação de sistemas especialistas com metodologias de projeto de produtos industriais. E o SADEPRO, mesmo que atualmente ainda esteja distante dessas respostas, certamente representa um passo no sentido de se chegar até elas.

4. Aprimoramento da simbologia de funções elementares, vista como auxiliar da elaboração de estruturas de funções.

A simbologia de funções elementares utilizada no sistema computacional aqui descrito foi adaptada das proposições de KOLLER (1984), PAHL & BEITZ (1988) e de ROTH (1982), nenhuma delas elaborada com a preocupação específica de ser trabalhada em computador. Não há, por exemplo, símbolos específicos para indicar as operações básicas de **ajustar** nem de **comparar** material, sinal ou energia, dentro de uma estrutura de funções. Para representar as operações básicas citadas, recorre-se ao artifício de juntar duas ou três outras operações básicas que, no seu conjunto, expressam a atividade. Há, é verdade, as chamadas **funções lógicas**, que têm, entretanto (pelo menos teoricamente), funções objetivamente diferentes das que estão sendo aqui mencionadas. Por outro lado, HUNDALL (1992) declara, em seu trabalho, que já dispõe desse estudo, embora não o explique em seu texto.

Quais deveriam ser as características de uma simbo-

logia prática para utilização em sistemas computacionais auxiliares da concepção? De que forma as ligações entre os símbolos deverão ser registradas na memória do computador, para representar entradas, saídas e para permitir a análise automática de compatibilidade e de incompatibilidade entre as funções elementares justapostas pelo usuário, durante a construção de suas estruturas de funções?

Criar simbologia mais adequada ao trabalho de idealizar projetos com auxílio de computador pode ser um desafio para o avanço do SADEPRO. Resolver este problema será essencial para que um sistema especialista tenha condições de apresentar soluções de concepção ao usuário, depois que forem introduzidas as condições iniciais do problema a ser resolvido.

5. Estudo do processo de raciocínio do projetista, com vistas a aplicação em metodologia de projeto auxiliada por computador.

É sabido que a função de projetar produtos pode ser considerada como um processo de conversão de informações, onde certos fatos referentes ao produto a ser projetado não estão explicitados. Isso exige que o bom projetista tenha a característica de conseguir uma aproximação lógica à solução de problemas, acompanhada da capacidade de julgamento intuitivo.

Em artigos já comentados neste trabalho, EHRENSPIEL (1987) e EHRENSPIEL & DYLLA (1991) relataram seus estudos sobre procedimentos adotados por projetistas, durante a atividade de projetar. Nesses dois estudos, os autores ressaltaram que os resultados obtidos não podiam ser adotados como conclusivos, já que era grande a complexidade dos fatores envolvidos, e por isso a amostra utilizada não tinha sido suficientemente ampla para produzir dados

estatisticamente aproveitáveis. Assim, os resultados parciais obtidos pelos autores - relacionando os fatores que possivelmente exercem influência sobre o projetista durante o trabalho de elaboração do projeto - foram adotados apenas como tendências **observadas** nas experiências realizadas.

Por seu lado, MÜLLER (1988) prefere interpretar os diversos passos da metodologia de projeto como **níveis de raciocínio**, em lugar de **caminho obrigatório** a ser seguido por projetistas. Essa opinião é fundamentada no acompanhamento sistemático de projetistas experientes, em seus respectivos lugares de trabalho. O autor constatou que o modelo de passos seqüenciais só é efetivamente seguido em casos limites, dependendo da evolução do projeto: conquanto o engenheiro em geral tangencie os degraus metodológicos, é comum vê-lo adentrar-se no processo em qualquer ponto, oscilando entre os níveis de raciocínio. Embora sem saber como de fato acontece, parece a Müller que o trabalho do projetista não se inicia totalmente abstrato, e que mesmo assim há progressão em direção a resultados cada vez mais concretos. Verificou que o projetista não se abstrai mais do que o necessário, e trabalha com diferentes formas de representação do conhecimento, inclusive com as que exigem cálculos e manifestações lógico-discursivas e, portanto, permitem a realização de passagens por entre os níveis.

Enfim, seja de um modo ou de outro, pode-se inferir que relacionar a experiência pessoal na solução de problemas, com regras de habilidade pessoal, raramente é tarefa fácil para os peritos. Com freqüência, estes são pressionados para descreverem sua perícia de maneira sistemática e sob uma forma racionalmente estruturada. E fazê-los fornecerem uma estreita ligação com o conhecimento científico formal é, amiúde, bem difícil.

Muitos sistemas computacionais utilizados para auxiliar especialistas a desenvolverem suas atividades profissionais já contêm tentativas de apreender o conhecimento do especialista em um domínio restrito. Isso permite ao computador usar esse conhecimento como auxílio na solução de problemas (RIBEIRO, 1987). Para se chegar até esse ponto, é preciso ter acesso ao perito certo, capaz de formalizar seu **know-how** e, com assistência apropriada, expressá-lo em forma de regras.

Nos dias de hoje, a cooperação de especialistas humanos no desenvolvimento de sistemas especialistas permanece vital, e a utilização de métodos intuitivos - métodos não formalizados nem explicitados - em computador fica limitada à qualidade do **conhecimento representado**. O grande desafio nesse esforço é a representação do conhecimento: trata-se de percorrer o caminho que vai desde a aquisição do conhecimento até o desenvolvimento de regras e facilidades fornecidas pelo uso iterativo dessas regras.

Pelo exposto, vê-se que o processo de obtenção e de representação do conhecimento é uma das fases mais difíceis da criação de qualquer sistema especialista, e a maneira de se utilizarem métodos intuitivos da engenharia para serem aplicados pelo computador ficará sempre condicionada e limitada àquela representação de conhecimento.

Aprofundar-se no estudo do processo de raciocínio de pessoas experientes com projeto do produto e tentar expressar esses raciocínios de forma a aplicá-lo em metodologias auxiliadas por computador parece ser uma linha de pesquisa promissora e, sobretudo, muito útil para o desenvolvimento de sistemas especialistas de projeto de produtos industriais.

6. Evolução da interface gráfica do SADEPRO.

Já foi mencionado anteriormente que o **SADEPRO** permite ao usuário realizar desenhos de funções elementares e de suas respectivas estruturas, além de representar, em esboços (em croqui), princípios de solução a serem adotados para concretizar suas idéias. São facilidades úteis, pois com elas o usuário registra suas idéias para visualização futura - e mesmo para apresentar essas idéias, de forma clara, aos projetistas das próximas fases do desenvolvimento do produto. As figuras atualmente desenhadas em estrutura de funções elementares são **reconhecidas** pelo **SADEPRO**, isto é, a informação relativa a cada figura colocada dentro de uma estrutura de funções elementares fica arquivada devidamente associada a um catálogo de efeitos físicos que podem realizar essa função. Esse é um passo importante para o desenvolvimento de Sistema Especialista baseado no atual sistema computacional.

Apesar de sua comprovada utilidade e alcance, a parte gráfica do **SADEPRO** ainda é muito simples e pode mesmo ser considerada rudimentar, se comparada com programas CAD comercialmente disponíveis no mercado de **softwares**.

O desenvolvimento de um programa gráfico mais sofisticado será útil para suprir esta deficiência do **SADEPRO**. Eventual estudo nesse sentido poderia talvez ir um pouco além da própria necessidade aqui exposta, e avançar em direção à elaboração de um programa CAD genérico que permitisse ao projetista de produtos confeccionar seu próprio "dicionário" de **figuras elementares**. Neste caso, para qualquer que fosse a aplicação dada ao **SADEPRO** (por exemplo, em Engenharia Química, em Eletrônica, em Robótica ou em Bio-Engenharia), haveria sempre a possibilidade de o usuário cons-

truir as figuras elementares que bem lhe aproovessem (inclusive inventando-as, se quisesse), assim compondo seu "dicionário" específico. Em todas as situações, a figura criada sempre deveria ser reconhecida pelo **software** e a lógica das ligações estabelecidas entre as figuras sempre poderá ser avaliada pelo próprio sistema computacional.

7. Aprimoramento e ampliação dos catálogos do SADEPRO.

Hoje, têm-se incorporados ao **SADEPRO** catálogos de efeitos físicos para servirem de sugestão ao projetista sobre como concretizar suas funções elementares, transformando-as em princípios de solução. São catálogos organizados - e, portanto, de fácil acesso para o usuário -, e bem integrados à versão atual do sistema computacional. Já foram realizados muitos testes de operação, e pôde-se constatar que esses catálogos realmente funcionam como supridores de idéias ao projetista, durante a fase da pesquisa de princípios de solução. Portanto, dentro da meta inicial de construção do sistema computacional **SADEPRO**, alcançou-se o objetivo: desejava-se modelar catálogos de efeitos que pudessem ser incorporados ao **software** e que funcionassem, o que foi conseguido.

No entanto, apesar de ter essa comprovada utilidade e embora tenham resultado de extensa consulta bibliográfica, não são catálogos exaustivos: para obtê-los, não se percorreu sistematicamente o campo de conhecimentos atuais para chegar até as possibilidades modernas de efeitos disponíveis - mesmo porque, conforme foi dito, esse não era o objetivo central da pesquisa. Esse trabalho foi realizado por EWALD (1974), em tese de doutorado que focalizava principalmente esse assunto, limitado ao conhecimento tecnológico da época.

Desse modo, atualizar os catálogos de efeitos para trabalharem dentro do sistema computacional de auxílio ao projeto de produtos industriais é essencial. Além disso, também deverão ser incorporados catálogos com princípios de solução para funções específicas, como "gerar forças", "estabelecer uniões entre peças" e muitos outros princípios específicos, conforme sugere ROTH (1982) em seu livro.

Não se deve perder de vista, porém, que todos esses catálogos de efeitos e catálogos de princípios de solução deverão ser idealizados para integrarem versão atualizada do SADEPRO e, para tanto, deverão apresentar codificação apropriada, compatível com as novas funções que serão desempenhadas pelo **software**: na nova versão, o próprio sistema computacional terá condições de realizar a busca em tabelas de efeitos e de princípios de soluções, associando-os às figuras (construídas pelo usuário ou não) que representam a estrutura de funções elementares do produto em desenvolvimento.

Portanto, simultaneamente com a ampliação dos catálogos, dever-se-á estar pensando também na possibilidade de codificá-los de forma adequada para o trabalho de pesquisa que o computador fará nesses mesmos catálogos.

Examinando, por outro lado, as possibilidades de continuação desta pesquisa sob o ângulo da evolução do sistema computacional SADEPRO, pode-se afirmar que os próximos avanços do SADEPRO deverão ocorrer em duas frentes: no aperfeiçoamento da versão atual e na direção de um sistema especialista.

- a) **Aprimoramento do sistema computacional SADEPRO:** o aperfeiçoamento da atual versão levará a uma adaptação para fazê-la funcionar no ambiente WINDOWS. Neste caso, todas as características gráficas serão aperfeiçoadas, aparecendo ao usuário de forma mais prática para se trabalhar e mais agradável de se ver, além, é claro, de se contar com a interface padrão do WINDOWS.
- b) **Implementação do SADEPRO em versão especialista:** nessa linha de pesquisa, buscar-se-á transformar o SADEPRO em Sistema Especialista. Visto como extensão do SADEPRO, o sistema especialista de auxílio ao desenvolvimento de projeto de produtos industriais visará inicialmente a automatizar apenas uma das etapas da metodologia de desenvolvimento: a etapa de associação de efeitos a funções elementares. O trabalho especialista terá como ponto de partida a estrutura de funções elementares e as entradas possíveis para a primeira função elementar e saídas possíveis para a última função elementar. O Sistema, através de inferências à base de conhecimentos, fornecerá uma relação das prováveis melhores soluções. Cada uma dessas soluções será a estrutura de funções elementares contendo um conjunto de entradas e saídas representando as ligações entre essas funções elementares e pelo menos um efeito associado a cada função elementar.

Em um segundo passo no desenvolvimento do Sistema Especialista, as escolhas dos efeitos, portadores de efeito e princípios de solução para as funções elementares também serão feitas pelo próprio sistema. Além disso, a análise de compatibilização entre funções elementares justapostas, durante a elaboração da estrutura de funções elementares, será feita pelo próprio sistema especialista. Finalmente, espera-se que o SE também

contenha mecanismos para avaliar as soluções preliminares que ele conseguir gerar, e que o faça antes mesmo de apresentar as sugestões ao projetista. Em outras palavras, as soluções geradas pelo SE e apresentadas ao usuário terão suas partes componentes garantidamente compatíveis entre si, e já terão sido avaliadas e classificadas pelo SE. Ao projetista, caberá a tarefa final de decidir entre as alternativas (viáveis e já avaliadas) que lhe parecerem mais convenientes.

Em qualquer dos casos - tanto no aperfeiçoamento da versão atual quanto no desenvolvimento do Sistema Especialista -, pode-se pensar em estruturar o **software** para utilização em rede de computadores, na qual será possível a vários projetistas trabalharem simultaneamente com o **SADEPRO** e também atualizarem a Base de Dados e a utilizarem ao mesmo tempo - em diferentes projetos simultâneos ou no mesmo projeto. Para isso, evidentemente, será necessário compatibilizar a Base de Dados com mecanismos específicos para redes.

O sistema especialista só poderá realizar a escolha entre as alternativas que ele próprio gerou se conseguir representar formalmente, dentro do sistema especialista, esses critérios de decisão e esses métodos intuitivos, no todo ou em parte.

Mais uma vez, reforça-se a afirmação, já feita anteriormente, de que a representação de conceitos constitui a base do sistema especialista.

Segundo WEISS & KULIKOWSKI (1988), o ponto-chave do sucesso da criação de um sistema especialista consiste em partir de um modelo simplificado, mas funcional, e ir incrementado-o até sua versão final. Isso implica na utilização de uma metodologia de de-

envolvimento de sistemas especialistas a partir de protótipos (protótipos de sistemas especialistas).

Uma das características que distinguem sistemas especialistas de sistemas convencionais reside no aspecto de que, enquanto os últimos podem ser completamente projetados com especificações firmes, os sistemas especialistas não podem ser especificados antes que o sistema esteja realmente construído. Além disso, várias fases do desenvolvimento de um sistema especialista podem ser abstraídas, pois elas representam orientações gerais e não devem ser interpretadas como uma seqüência obrigatória no desenvolvimento de todos os sistemas especialistas.

A Fig. 7-1 ilustra uma estrutura possível de Sistema Especialista para o futuro SADEPRO. No caso de um eventual avanço nessa direção, o sistema resultante poderá, então ser composto por uma **base de dados estática**, onde ficarão acumulados os conhecimentos sobre funções elementares, com seus efeitos físicos e princípios de solução. Com auxílio de uma **componente de aquisição de conhecimentos**, esta base poderá ser ampliada progressivamente. Para o emprego do "know-how" acumulado, subordinado à formulação da tarefa designada no planejamento do produto, será usada a **componente de inferência**. Com seu auxílio, poderá ser comandada a seleção de efeitos, de princípios de solução e requisitos das subfunções, com emprego das regras. Para tornar isso possível, precisar-se-á, ainda, de uma **base de dados dinâmica**, onde estarão acumulados os dados específicos de cada projeto de concepção de sistemas técnicos. Aí, serão trabalhados os dados de entrada e os resultados obtidos, assim como todos os resultados intermediários. Se um caminho de soluções não levar ao resultado desejado, poderão ser encontrados cami-

nhos alternativos, com base nas informações já existentes. Paralelamente, a base de dados dinâmica poderá estar acoplada a um **componente de explicações**. Com ele, serão criados textos explicativos

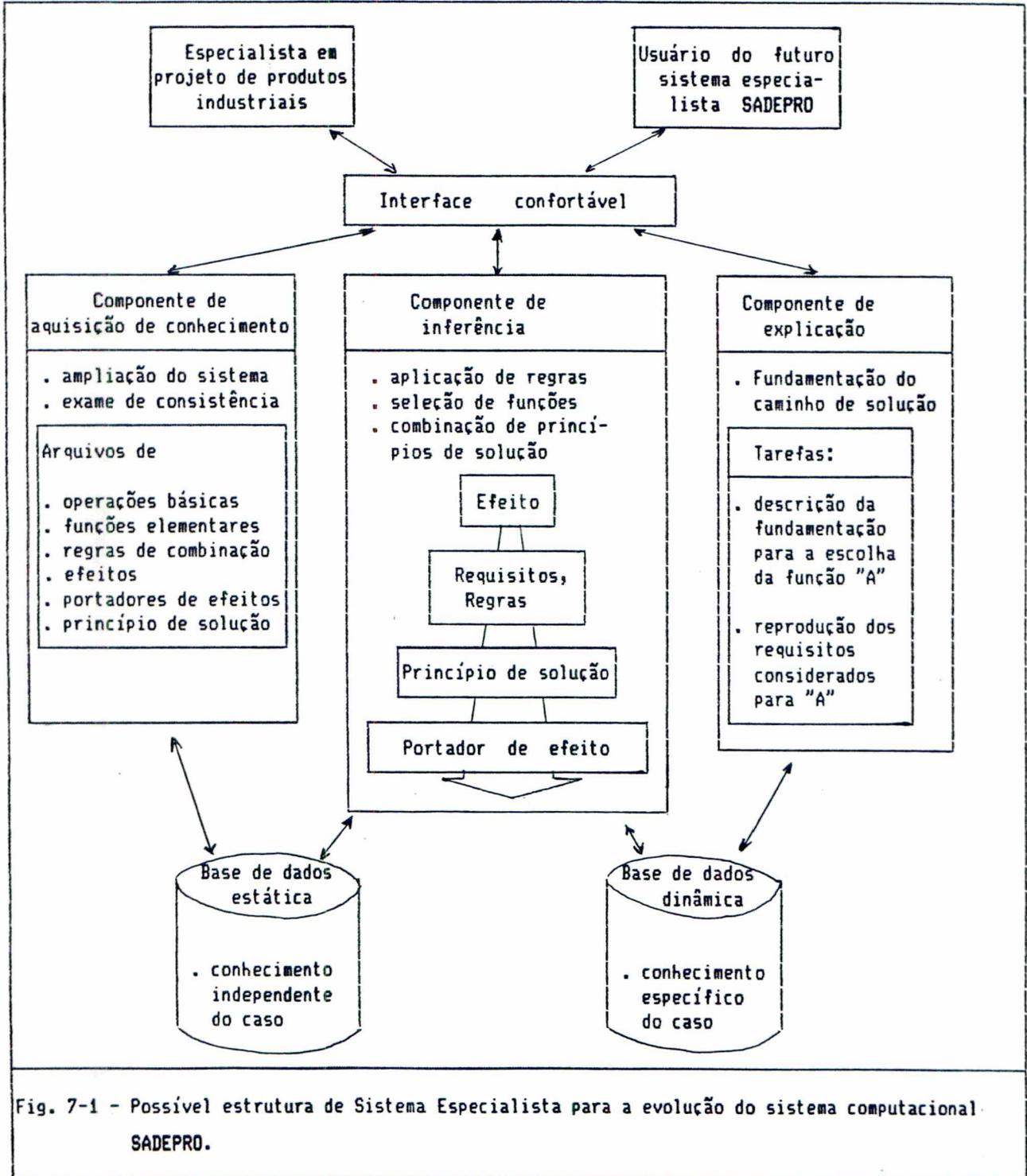


Fig. 7-1 - Possível estrutura de Sistema Especialista para a evolução do sistema computacional SADEPRO.

para o caminho de soluções: se o usuário não conseguir repetir um passo de trabalho do sistema, essas informações adicionais poderão ser ativadas. Assim, o sistema especialista irá gerar, a partir de uma estrutura de funções elementares, todas as concepções possíveis para o sistema técnico estudado, elaborando inclusive o trabalho necessário de compatibilização entre as subfunções escolhidas. Ao final da aplicação do sistema especialista, o projetista verá geradas automaticamente (pelo software) as concepções viáveis para realizar o sistema técnico.

Da mesma forma que é possível para o atual sistema **SADEPRO**, existirá a possibilidade de se transferirem os mecanismos concretizados no sistema especialista para outras áreas de aplicação. Provavelmente, haverá aplicações para as quais isso exigirá somente a troca da base de conhecimentos.

Embora muito trabalho ainda necessite ser aplicado para desenvolver um **software** especialista comercialmente útil contendo as características aqui apontadas, um importante começo já foi dado, com a colocação do **SADEPRO** em pleno funcionamento. Se esta pesquisa puder servir como um degrau na história do desenvolvimento do projeto de produtos feito com auxílio de computador, ela terá servido a um propósito útil, o que por si justifica o esforço dispendido para concretizá-la.

Utilizando a imagem criada por JAY (1975), agora atualizada pela inovação tecnológica advinda com o microscópio de varredura por efeito túnel - espera-se, com este trabalho, estar construindo uma "molécula sob medida" para integrar a complexa "tridimensionalidade" da teoria do desenvolvimento de projetos de produtos industriais.

BIBLIOGRAFIA REFERENCIADA NO TEXTO DA TESE.

1. ANDERSSON, S.; HUGNELL, A. B. J. Functional modelling in Mechanical Engineering design. Proceedings of International Conference on Engineering Design - ICED 91. Zürich: 1991. **Annals:** p. 17-24.
2. ASIMOW, M. **Introdução ao projeto.** São Paulo: Editora Mestre Jou, 1968.
3. BACK, N. **Metodologia de Projeto de Produtos Industriais.** Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.
4. BAUERT, F. Entwicklung von Werkzeugen zur Produktmodellierung - Bestandteil eines Systemkonzepts zur rechnerunterstützten Gestaltung von Konstruktionselementen (GEKO). **Konstruktion** 40 (1988), S. 90-96.
5. BEITZ, W. Konstruktionsmethodik für die Praxis. **Konstruktion** 41 (1989), S. 403-405.
6. BEITZ, W. Management system for continuous and flexible CAD. **Konstruktion** 39 (1987), H. 7, S. 251-154.
7. BEITZ, W. Bewertungsmethoden als Entscheidungshilfe zur Auswahl von Lösungsvarianten (Fortsetzung). **Konstruktion** 25 (1973), S. 29-32.
8. BEITZ, W. Bewertungsmethoden als Entscheidungshilfe zur Auswahl von Lösungsvarianten. **Konstruktion** 24 (1972), S. 493-498.
9. BJÄRNEMO, R. Evaluation and decision techniques in the Engineering Design process - in practise. Proceedings of International Conference on Engineering Design - ICED 91. Zürich: 1991. **Annals:** p. 373-383.

10. BLANCHARD, B. S.; FABRYCKY, W.J. **Systems Engineering and Analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 1990. 2nd. ed.
11. BURGESS, J. A. Design requirements. In: **Design assurance for engineers and managers**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1984, p. 16-31.
12. CAMPOS, V. Falconi **TQC - Controle da qualidade total (no estilo japonês)**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 1992.
13. CARDOSO, Fátima **Nanotecnologia: no coração da matéria**. *Revista Superinteressante*, nº 5, maio/92, ano 6. p. 18-23.
14. CHAKRABARTI, A.; BLIGH, T. P. Towards a decision-support framework for mechanical conceptual design. Proceedings of International Conference on Engineering Design - ICED 91. Zürich: 1991. *Annals*: p. 384-389.
15. CSILLAG, J. M. **Análise de valor. Metodologia do valor**. São Paulo: Atlas, 1985.
16. CYBIS, W. de Abreu **A identificação dos objetos de interfaces homem-computador e de seus atributos ergonômicos**. Projeto de tese apresentado como parte dos requisitos necessários ao Exame de Qualificação ao Doutorado, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: 1991.
17. DALKEY, N. D.; HELMER, O. An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *Management Science*, vol. 9, nº 3 (April 1963).
18. DESCARTES, René **Discurso do Método**. Coleção Os Pensadores, 2. ed. São Paulo: Abril Cultural, 1979.

19. DREIBHOLZ, D. Ordnungsschemata bei der Suche von Lösungen. **Konstruktion 27 (1975)**, S. 233-240.
20. EHRENSPIEL, K. Konstruieren als gedanklicher Prozess. **Konstruktion 39 (1987)**, H. 10, S. 409-414.
21. EHRENSPIEL, K.; DYLLA, N. Untersuchung des individuellen Vorgehens beim Konstruieren. **Konstruktion 43 (1991)**, S. 43-51.
22. EHRENSPIEL, K.; FIGEL, K. Applications of expert systems in machine design. **Konstruktion 39 (1987)**, Nr. 7, S. 280-284.
23. EVERSHEIM, W.; NEITZEL, A. Ein Expertensystem für die Vorrichtungskonstruktion. **Konstruktion 40 (1988)**, p. 97-101.
24. EWALD, Otto **Tabellarische Lösungssammlungen als Hilfsmittel für das methodische Konstruieren**. Dissertation. Darmstadt, 1974.
25. FIOD Neto, M.; BACK, N. Revisão e análise crítica de métodos de projeto, visando ao desenvolvimento de um sistema CAD para concepção de produtos. XI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. São Paulo: 1991 (a). **Anais**, p. 615-618.
26. FIOD Neto, M.; BACK, N. O processo do projeto de produtos industriais. Congresso de Engenharia Mecânica Norte-Nordeste (CEM-NNE/91). Natal: 1991 (b). **Anais**, p. 360-367.
27. FIOD Neto, M.; BACK, N. Uma visão da estrutura do processo do projeto. X Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Belo Horizonte: UFMG, 1990. **Anais**, p. 450-55.
28. GORDON, W. J. J. **Synectics: the development of creative capacity**. New York: Harper, 1961.
29. HAUSER, J. R.; CLAUSING, D. The house of quality. **Harvard Business Review**, May-June 1988, pp. 63-73.

30. HÖHNE, Günther **Notas de aula**, não publicadas, da disciplina "Projetos de Instrumentos", ministrada no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 1990.
31. HOOVER, S. P.; RINDERLE, J. R. ; FINGER, S. Models and abstractions in design. Proceedings of International Conference on Engineering Design - **ICED 91**. Zürich: 1991. **Annals**: p. 46-57.
32. HUNDAL, M. S. A methodical procedure for search of solutions from function structures. International Conference of Engineering Design - **ICED'91**. Zürich: 1991. **Proceedings**, p. 9-16.
33. HUNDAL, M. S. A systematic method for developing function structures, solutions and concept variants. Machine Theory, vol. 25, n° 3, 1990. p. 243-256.
34. HUNDAL, M. S.; LANGHOLTZ, D. Computer-Aided Conceptual Design: an application of X Windows, with C. Fourth ASME Design Theory and Methodology Conferences. DE-42. New York: ASME, 1992. **Proceedings**, p. 1-9.
35. ITO, Y.; MORITZ, E. F. Computer aided production management - innovation and design. Sixth International Conference on Computer Aided Production Engineering. London: 1990. **Proceedings**, p. 11-18.
36. JAKOBSEN, K.; SIGURJÓNSSON, J.; JAKOBSEN, O. Formalized specification of functional requirements. International Conference of Engineering Design - **ICED'91**. Zürich: 1991. **Proceedings**: p. 367-371.

37. JAY, Anthony **O homem S. A.** São Paulo: Editora Edibolso, 1975.
38. KOLLER, R. **Elemente und Parameter der Konstruktion. Konstruktion 41 (1989), S. 341-344.**
39. KOLLER, R. **Konstruktionsmethode für den Maschinen-, Geräte- und Apparatebau.** Berlin: Springer-Verlag, 1985. 2. Aufl.
40. KRAUSE, Frank-Lothar **Configuração de produtos com sistemas especialistas.** Revista Máquinas e Metais, Ano XXVI, nº 307, agosto/1991. pp. 50-65.
41. LONGO, Waldemir Pirró. **Dependência tecnológica e ensino de Engenharia no Brasil. Conferência proferida no 1º Programa de Formação Pedagógica dos Docentes da UFSC, não publicada.** Florianópolis: UFSC, março/93.
42. MÜLLER, J. **Wo steht die Konstruktionsmethodik? Bestandsaufnahme und Orientierung.** Konstruktion 40 (1988), S. 317-323.
43. OSBORN, A. **Applied Imagination. Principles and Procedures of creative problem-solving.** New York: Charles Scribner's Sons, 1957.
44. PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach.** Berlin: Springer-Verlag, 1988. 2nd. ed.
45. PAHL, G.; BEITZ, W. **Konstruktionslehre. Handbuch für Studium und Praxis.** Berlin: Springer-Verlag, 1986. 2. Aufl.
46. POSSAMAI, O. **Uma abordagem funcional para a concepção de novos produtos, utilizando a metodologia de Engenharia e Análise do Valor.** Monografia apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos exigidos para o concurso de Professor Titular, na área de Engenharia do Produto. Florianópolis: UFSC, 1992.

47. RAMASWAMY, R.; ULRICH, K. Augmenting the house of quality with engineering models. The 1992 ASME Design Technical Conferences - 4th International Conference of Design Theory and Methodology. EEUU: Scottsdale, Arizona, 1992. Annals, p. 309-16.
48. RIBEIRO, H. da Cunha Souza - Introdução aos sistemas especialistas. Rio: LTC, 1987].
49. RODENACKER, W. G. Abstrahieren-Abstraktionen. Konstruktion 39(1987), H. 7, S. 255-258.
50. RODENACKER, W. G. Methodisches Konstruieren. Berlin: Springer-Verlag, 1984.
51. ROTH, K. Übertragen von Konstruktionsintelligenz an den Rechner. VDI-Z 131 (1989), Nr. 5. S. 76-83
52. ROTH, K. Modellsystem zum selbständigen Konstruieren des Rechners. VDI-Z 130 (1988a), Nr. 7. S. 68-75.
53. ROTH, K. Elementarmodelle der Maschinenelemente - Möglichkeit zum Konstruieren durch den Rechner. Konstruktion 40 (1988b), Nr. 8. S. 309-316.
54. ROTH, K. Ausführung echter Konstruktionsarbeiten vom Rechner. Konstruktion 40 (1988c), Nr. 3. S. 81-89.
55. ROTH, K. Modellbildung für das methodische Konstruieren ohne und mit Rechnerunterstützung. VDI-Z, Bd. 128 (1986), Nr. 1/2, Januar (I/II), S. 21-25.
56. ROTH, K. Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Berlin: Springer-Verlag, 1982.
57. ROTH, K.; FRANKE, H. J.; SIMONEK, R. Aufbau und Verwendung von Katalogen für das Methodische Konstruieren. Konstruktion 11 (1972), S. 449-458.

58. SELL, Ingeborg **Avaliação de alternativas de produtos: metodologia.** Trabalho apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos exigidos para o concurso de Professor Titular realizado junto ao Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, do Centro Tecnológico. Florianópolis: UFSC, junho/1992.
59. SELL, I.; FIOD Neto, M. **A obtenção de soluções alternativas com o método da variação do efeito.** IX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Porto Alegre: UFRS, 1989. Anais, p. 300-12.
60. SUH, Nam P. **The principles of design.** New York: Oxford University Press, 1990.
61. **VDI Guideline 2221: Systematic approach to the design of technical systems and products:** Düsseldorf: VDI-Verlag, 1987.
62. **VDI 2225 (Richtlinie): Konstruktionsmethodik. Technisch-wirtschaftliches Konstruieren Vereinfachte Kostenermittlung, Blatt 1 - Entwurf.** Berlin: VDI-Richtlinien, 1984.
63. **VDI 2222 (Richtlinie), Blatt 2 (Entwurf): Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen.** Düsseldorf: VDI-Verlag, 1982.
64. **VDI 2222 (Richtlinie), Blatt 1: Konstruktionsmethodik. Konzipieren technischer Produkte.** Düsseldorf: VDI-Verlag, 1977.
65. WEISS, S. M.; KULIKOWSKI, C. A. **Guia prático para projetar sistemas especialistas.** Rio: LTC, 1988.
66. YOSHIKAWA, H. **Design philosophy: the state of the art.** *Annals of the CIRP*, 38 (2), 1989. pp. 579-586.

BIBLIOGRAFIA DE ÂMBITO GERAL CONSULTADA.

1. CHORAFAS, D. M. **Sistemas especialistas. Aplicações comerciais.** Rio: McGraw-Hill, 1988.
2. CUNHA, P. C. F. S. **Um sistema inteligente em LISP.** Rio: Instituto Militar de Engenharia. Dissertação de mestrado, 1985.
3. DANTAS, Vera **Guerrilha tecnológica.** Rio: Livros técnicos e científicos Editora Ltda., 1988.
4. FIOD Neto, M. **Proposta para desenvolvimento de tese de doutorado.** Florianópolis: PPG-EMC/UFSC, 1990.
5. FORNEY, James **MS-DOS: acima de 640 K. Trabalhando com memória estendida e expandida.** São Paulo: McGraw-Hill, 1990.
6. GORLE, Peter **Fundamentos do planejamento do produto.** São Paulo: McGraw-Hill, 1976.
7. LEDUC, R. **Como lançar um produto novo.** São Paulo: Edições Vértice, 1986.
8. MORAIS, Pessoa de . **O desafio da era tecnológica.** Rio: Civilização Brasileira, 1971.
9. PETER, T. J.; WATERMAN, Jr., R. H. **Vencendo a crise: como o bom senso empresarial pode superá-la.** São Paulo: Harper & Row, 1983.
10. SIQUEIRA, Ethevaldo **A sociedade inteligente.** São Paulo: Bandeirante Editora, 1987.
11. STANTON, W. J. **Fundamentos de Marketing.** São Paulo: Pioneira, 1980.

**BIBLIOGRAFIA CONSULTADA NA ELABORAÇÃO DO SISTEMA COMPUTACIONAL
SADEPRO.**

1. BORLAND INTERNATIONAL **TurboPascal: Database Toolbook, version 4.0.** Scotts Valley: Borland, 1987.
2. FERRARO, Richard F. **Guia do programador para as placas EGA e VGA.** Rio: Editora Ciência Moderna, 1990.
3. GRILLO, M. Celia Arruda **Programação e técnicas TurboPascal, versão 4.0.** Rio: LTC, 1988.
4. JAMSA, Kris **Windows: guia do usuário.** São Paulo: McGraw-Hill, 1988.
5. MICROSOFT **MS-DOS 5.0: Guia do usuário.** USA: Microsoft Corporation, 1991.
6. RINALDI, Roberto **TurboPascal: versão 5.5.** São Paulo: érica, 1990.
7. SCHILDT, Herbert **TurboPascal avançado.** São Paulo: McGraw-Hill, 1988.
8. SETZER, Valdemar W. **Banco de dados: conceitos; modelos; gerenciadores; projeto lógico; projeto físico.** São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1986.
9. SILVA, José Milton da ; PEREIRA, Carlos José **Fácil! versão 5.0.** São Paulo: KM Consultores e Editores Associados Ltda., 1990.
10. STINSON, Craig; ANDREWS, Nancy **Windows 3: guia autorizado Microsoft.** São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991.
11. DIGIGRAF. **Digigraf Mouse: Manual do Programador.** Versão 1, revisão 10/89. São Paulo: Digigraf Tecnologia, 1989.

**BIBLIOGRAFIA CONSULTADA PARA COMPOSIÇÃO DOS CATÁLOGOS INCORPORADOS
AO SISTEMA COMPUTACIONAL SADEPRO.**

1. ALONSO, M.; FINN, E. J. **Física: um curso universitário.** São Paulo: Edgard Blücher, 1972. v. 1 (Mecânica).
2. ALONSO, M.; FINN, E. J. **Física: um curso universitário.** São Paulo: Edgard Blücher, 1972. v. 2 (Campos e Ondas).
3. ANDREWS, D. H.; KOKES, R. J. **Química Geral.** Rio de Janeiro: LTC, 1968.
4. BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R. **Mecânica vetorial para engenheiros.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1980. v. 2 (Estática). 3. ed.
5. BLESSMANN, J. **Aerodinâmica das construções.** Porto Alegre: Sagra, 1990. 2. ed.
6. BRUHAT, G. **Curso de Física Geral (Eletricidade).** São Paulo: Editora Difusão Européia do Livro, 1962. v. 3. 7. ed.
7. BUECHE, F. **Principles of Physics.** New York: McGraw-Hill, 1965.
8. CALDAS, M. das Graças C. **Laser: perspectivas tecnológicas e do mercado.** São Paulo: Promocet, 1986.
9. CHANG, Paul K. **Control of flow separation: energy conservation, operational efficiency and safety.** Washington: Hemisphere, McGraw-Hill, 1976.
10. DUBBEL, H. **Manual do engenheiro Mecânico.** São Paulo: Hemus, 1979. v. 1.
11. EISBERG, Robert M.; LERNER, Lawrence S. **Física: fundamentos e aplicações.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1983. v. 2.
12. EWALD, Otto. **Tabellarische Lösungssammlungen als Hilfsmittel für das methodische Konstruieren.** Dissertation. Darmstadt, 1974.

13. FERENGE Jr., M. et al. **Curso de física: eletromagnetismo.** São Paulo: Edgard Blücher, s. d..
14. FERENGE Jr., M. et al. **Curso de física: ondas, som e luz.** São Paulo: Edgard Blücher, s. d..
16. FONSECA, A. **Curso de mecânica.** Rio de Janeiro: LTC, 1964, v. 3 (Dinâmica). 2. ed.
17. FOX, R. W.; MACDONALD, Allan T. **Introdução à mecânica dos fluidos.** Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981. 2. ed.
18. GASIDREK, J. M.; CARTER, W. G. **Mechanics of fluids for mechanical engineers.** New York: Hart, 1968.
19. GENTIL, V. **Corrosão.** Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982. 2. ed.
20. GIECK, K. **Manual de fórmulas técnicas.** São Paulo: Hemus, 1979. 2. ed.
21. GILES, R. V. **Mecânica dos fluidos e hidráulica.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1976.
22. GROTCHE, H.; MCKELVEY, J. P. **Física.** São Paulo: Harbra, 1979. v. 1.
23. GUSSOW, M. **Eletricidade básica.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.
24. HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Física.** Rio de Janeiro: LTC, 1980. v. 1. 3. ed.
25. HITTIG, A. **Manual de Engenharia Industrial.** São Paulo: Global, 1984. v. 2.
26. KAPLAN, I. **Física nuclear.** Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978. 2. ed.
27. KITTEL, C.; KNIGHT, W. D.; RUDERMAN, M. A. **Curso de física de Berkeley: Mecânica.** São Paulo: Edgard Blücher, 1973. v. 1.

28. KOCK, H. **Manual de la tecnología de la soldadura eléctrica por arco.** Barcelona: Editorial Reverté S. A., 1965.
29. MACEDO, H. **Físico-Química I.** Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981.
30. MAHAN, B. H. **Química: um curso universitário.** São Paulo: Edgard Blücher, 1972. 2. ed.
31. MATAIX, C. **Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.** New York: Harper & Row, 1970.
32. MOORE, W. J. **Físico-química.** Rio: LTC; São Paulo: Editora da USP, 1968.
33. NASH, W. A. **Resistência dos materiais.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982. 2. ed.
34. NEVES, E. T. **Curso de hidráulica.** Editora Globo, 1982. 7. ed.
35. NIEMANN, G. **Elementos de máquinas.** São Paulo: Edgard Blücher, USP, 1971.
36. PROVENZA, F. **Molas.** São Paulo: Editora Protec, s.d. 4. ed.
37. QUEVEDO, C. P. **Eletromagnetismo.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978.
38. REBUFFET, P. **Aérodynamique expérimentale.** Paris: Dunod, 1966. Tomo I. 3. ed.
39. REIMANN, A. L. **Physics.** New York: Barnes & Noble, 1971.
40. RUSSEL, J. B. **Química geral.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1981.
41. SCHLIEKELHANN Jr., R. J. **Metallkleben - Konstruktion und Fertigung in der Praxis.** Düsseldorf, Schweisstechnik (DUS) GHBH, 1972.
42. SEARS, F. W. et al **Física.** Rio de Janeiro, São Paulo: LTC, 1984. v. 1 (Mecânica das partículas e dos corpos rígidos). 2. ed. rev.

43. SEARS, F. W. et al **Física**. Rio de Janeiro, São Paulo: LTC, 1984. v. 2 (Mecânica dos fluidos, calor, movimento ondulatório). 2. ed. rev.
44. SEARS, F. W. et al **Física**. Rio de Janeiro, São Paulo: LTC, 1984. v. 3 (Eletricidade e magnetismo). 2. ed. rev.
45. SEARS, F. W. et al **Física**. Rio de Janeiro, São Paulo: LTC, 1985. v. 4 (Ondas eletromagnéticas, ótica e física atômica). 2. ed. rev.
46. SHIGLEY, J. E. **Elementos de máquinas**. Rio de Janeiro: LTC, 1984. v. 2.
47. SILVA Jr., Jayme F. **Resistência dos materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 1972. 2. ed.
48. STEMMER, C. E. **Projeto e construção de máquinas: regras gerais de projeto, elementos de máquinas**. Porto alegre: Globo, 1980. 2. ed.
49. STRASSER, V. E. de **A soldagem moderna dos metais ferrosos pelo arco elétrico**. Rio: Ao Livro Técnico, 1963.
50. TIPLER, P. A. **Física**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1990. v. 1a. 2. ed.
51. TIPLER, P. A. **Física**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1990. v. 1b. 2. ed.
52. TIPLER, P. A. **Física**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1990. v. 2a. 2. ed.
53. TIPLER, P. A. **Física**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1990. v. 2b. 2. ed.
54. VAN VLACK, L. H. **Princípios de ciências e tecnologia dos materiais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1988.
55. VASCONCELOS, M. A. S.; SCHAEFER, H. N. R. **Laboratório de eletricidade e magnetismo**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1983.

**ANEXO 1: LISTA DE QUESITOS/REQUISITOS OFERECIDOS AO USUÁRIO
DO SISTEMA COMPUTACIONAL SADEPRO**

QUESITO 1: GEOMETRIA:

- 1.1 - Tamanho;
- 1.2 - Altura;
- 1.3 - Largura;
- 1.4 - Comprimento;
- 1.5 - Diâmetro;
- 1.6 - Espaço necessário;
- 1.7 - Quantidade;
- 1.8 - Disposição;
- 1.9 - Conexão;
- 1.10 - Ampliação;
- 1.11 - Acabamento.

QUESITO 2: CINEMÁTICA:

- 2.1 - Tipo de movimento;
- 2.2 - Direção do movimento;
- 2.3 - Velocidade;
- 2.4 - Aceleração.

QUESITO 3: FORÇAS:

- 3.1 - Intensidade;
- 3.2 - Direção;
- 3.3 - Frequência das forças;
- 3.4 - Peso;
- 3.5 - Carga;
- 3.6 - Deformação;
- 3.7 - Rigidez (dureza);

- 3.8 - Elasticidade;
- 3.9 - Forças de inércia;
- 3.10 - Ressonância;
- 3.11 - Estabilidade.

QUESITO 4: ENERGIA:

- 4.1 - Saída do sistema;
- 4.2 - Entrada do sistema;
- 4.3 - Rendimento;
- 4.4 - Perdas;
- 4.5 - Atrito;
- 4.6 - Ventilação;
- 4.7 - Grandezas de conexão;
- 4.8 - Pressão;
- 4.9 - Temperatura;
- 4.10 - Umidade;
- 4.11 - Aquecimento;
- 4.12 - Resfriamento;
- 4.13 - Energia;
- 4.14 - Armazenagem;
- 4.15 - Capacidade de trabalho;
- 4.16 - Transformação de energia.

QUESITO 5: MATERIAL:

- 5.1 - Propriedades físicas do material da entrada;

5.2 - Propriedades químicas do material da entrada;

5.3 - Propriedades físicas no produto de saída;

5.4 - Propriedades químicas no produto de saída;

5.5 - Materiais auxiliares;

5.6 - Prescrição de materiais (por exemplo: leis na área de alimentos);

5.7 - Fluxo de materiais;

5.8 - Transporte de materiais.

QUESITO 6: SINAL:

6.1 - Sinais de entrada;

6.2 - Sinais de saída;

6.3 - Forma de se mostrar o sinal (por exemplo, por display);

6.4 - Equipamentos para processo;

6.5 - Equipamentos para controle;

6.6 - Forma do sinal de entrada;

6.7 - Forma do sinal de saída.

QUESITO 7: SEGURANÇA:

7.1 - Sistemas de proteção direta;

7.2 - Sistemas de proteção operacional;

7.3 - Segurança industrial;

7.4 - Segurança do trabalho;

7.5 - Segurança do meio ambiente.

QUESITO 8: ERGONOMIA:

8.1 - Acionamento da máquina;

8.2 - Tipo de operação;

8.3 - Extensão da operação;

8.4 - Iluminação;

8.5 - Compatibilização da forma;

8.6 - Conforto do operador;

8.7 - Clareamento do leiaute.

QUESITO 9: FABRICAÇÃO:

9.1 - Limitações da fábrica;

9.2 - Dimensões máximas possíveis de fabricar;

9.3 - Métodos de fabricação preferidos;

9.4 - Meios de produção;

9.5 - Qualidade possível;

9.6 - Tolerância possível.

QUESITO 10: CONTROLE DE QUALIDADE:

- 10.1 - Possibilidade de se realizarem medições e testes;
- 10.2 - Normas especiais;
- 10.3 - Padrões a respeitar;
- 10.4 - Recomendações especiais.

QUESITO 11: MONTAGEM:

- 11.1 - Regulagens especiais;
- 11.2 - Instalação;
- 11.3 - Posicionamento;
- 11.4 - Fundações;
- 11.5 - Recomendações especiais de montagem.

QUESITO 12: TRANSPORTE:

- 12.1 - Limitações devidas a guindastes e/ou carregadeiras;
- 12.2 - Remoção de entraves (para o transporte);
- 12.3 - Meios de transporte, de acordo com o tamanho e o peso;
- 12.4 - Tipo e condições da expedição.

QUESITO 13: OPERAÇÃO:

- 13.1 - Nível de ruído;
- 13.2 - Grau de desgaste;

- 13.3 - Usos especiais;
- 13.4 - Área de vendas e marketing;
- 13.5 - Local de utilização (por exemplo: ambientes agressivos, úmidos, etc.).

QUESITO 14: MANUTENÇÃO:

- 14.1 - Manutenção preventiva;
- 14.2 - Intervalo entre manutenções ou trocas;
- 14.3 - Duração da manutenção;
- 14.4 - Inspeção;
- 14.5 - Colocação em funcionamento;
- 14.6 - Pinturas;
- 14.7 - Limpezas.

QUESITO 15: RECICLAGEM:

- 15.1 - Reaproveitamento;
- 15.2 - Armazenamento temporário;
- 15.3 - Armazenamento definitivo;
- 15.4 - Decomposição.

QUESITO 16: CUSTOS:

- 16.1 - Custos máximos admissíveis para fabricação;
- 16.2 - Custos de ferramentas;

- 16.3 - Investimentos;
- 16.4 - Amortização/depreciação;
- 16.5 - Vida útil (durabilidade).

QUESITO 17: PROGRAMAÇÃO:

- 17.1 - Data final do desenvolvimento;
- 17.2 - Planejamento e controle do projeto, com rede para acompanhamento das etapas;

- 17.3 - Data de entrega do projeto.

QUESITO 18: MEIO AMBIENTE:

- 18.1 - Poluição ambiental (fumaça, dejetos, etc.);
- 18.2 - Tratamento de lixo industrial;
- 18.3 - Proteção ao meio ambiente;
- 18.4 - Descarte.

ANEXO 2: INFORMAÇÕES SOBRE OS CATÁLOGOS INCORPORADOS AO SISTEMA SADEPRO

Introdução

Os Catálogos de Efeitos incorporados ao SADEPRO auxiliam o projetista a buscar idéias para concretizar as funções do produto que está idealizando. Conforme exposto no texto principal deste trabalho, os Catálogos aqui relacionados não são exaustivos, principalmente porque esgotar o assunto é tarefa extensa e exigirá mais tempo do que o disponível para a atual pesquisa. No entanto, a partir desta pequena parte do total possível de Catálogos, consegue-se mostrar que são úteis ao trabalho do projetista durante a idealização de soluções para o problema enfocado. Além disso, mostrou-se como é possível incorporar esses Catálogos a um programa computacional de auxílio ao projeto de produtos industriais, como o SADEPRO. A partir da estruturação já conseguida, outros Catálogos poderão ser incorporados e, assim, tornar o **software** cada vez mais rico em alternativas de efeitos oferecidas ao usuário e, também por isso, cada vez mais eficaz no auxílio ao projetista de produtos.

A bibliografia especificamente consultada para elaborar esses Catálogos foi relacionada em separado (veja a página B-11 da Bibliografia).

Utilização dos Catálogos

Para a pesquisa de soluções, é conveniente lembrar que os Catálogos de Efeitos estão organizados segundo as funções elementares relacionadas por KOLLER (1985), e apresentadas na Fig.

3-9. A utilização dos Catálogos de Efeitos começa por identificar a **função elementar** a ser realizada e a sua correspondente **operação básica**.

Pode-se iniciar a pesquisa de efeitos favoráveis à solução desejada partindo da **causa** (como dado de entrada) com que se pretende gerar alguma **saída** (ou **efeito**) por meio da operação básica. A partir daquela **entrada**, examinam-se as **alternativas** catalogadas que conseguem fornecer **saídas** adequadas para a operação básica focalizada.

Por outro lado, pode-se partir da **saída** que se deseja obter com a função básica, e procurar quais são as **causas** capazes de gerar aquela saída desejada. Por exemplo, para se obterem "ondas mecânicas" na **saída** da função básica "transformar", pode-se ter como **entrada** (conforme Catálogos existentes no SADEPRO):

comprimento/área/volume:

efeito 1: modificação do comprimento;

efeito 2: dissipação sonora;

ou velocidade:

efeito 1: efeito Doppler;

efeito 2: efeito vai-e-vem;

ou força/pressão/energia mecânica:

efeito 1: efeito vai-e-vem;

efeito 2: onda de pressão;

ou tempo/frequência:

efeito 1: dispersão;

ou tensão elétrica/campo elétrico/corrente elétrica:

efeito 1: termofone.

A partir dos Catálogos de Efeitos, portanto, o usuá-

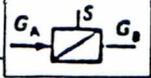
rio tem a seu alcance sugestões de diferentes alternativas para tentar adaptar a seus objetivos.

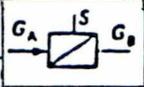
Conforme também já foi explicado no texto principal deste trabalho, a cada um dos efeitos associados aos Catálogos há explicações resumidas sobre a lei que rege o fenômeno, indicações bibliográficas para consultas e também há, quase sempre, uma figura ilustrativa do efeito (veja-se como exemplo a Fig. 5-23).

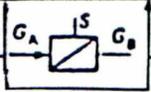
(Com o objetivo de gerar uma publicação à parte, os Catálogos hoje incorporados ao SADEPRO estão sendo revistos e ampliados. Essa futura publicação ficará à disposição de alunos de disciplinas da área de Projeto de Produtos Industriais, como possível fonte de consulta. O texto final está sendo corrigido e, até o momento, já há mais de 900 páginas de efeitos catalogados e organizados de forma a permitirem fácil acesso às informações procuradas.)

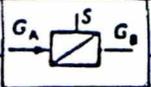
Os Catálogos de Efeitos contidos na atual versão do SADEPRO estão relacionados a seguir.

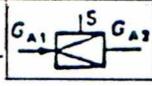
Conteúdo dos Catálogos:

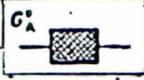
1. Operação básica "transformar" 		
Causa	Saída	Núm. de efeitos físicos, químicos ou biológicos
Comprimento, área, volume	velocidade	05
	aceleração	01
	força/pressão/energia mecânica	11
	massa/momento de inércia/densidade	01
	tempo/frequência	03
	ondas mecânicas (som)	02
	temperatura/calor	04
	resistência elétrica	02
	tensão elétrica/campo elétrico/corrente elétrica	03
	capacitância	04
	campo magnético/indutância	04
	ondas eletromagnéticas (luz, radiação)	04
Velocidade	comprimento/área/volume	02
	aceleração	03
	força/pressão/energia mecânica	10
	tempo/frequência	03
	ondas mecânicas (som)	02
	temperatura/calor	01
	tensão elétrica/campo elétrico/corrente elétrica	03
	campo magnético/indutância	02
	ondas eletromagnéticas (luz, radiação)	02
Aceleração	força/pressão/energia mecânica	01
	tensão elétrica/campo elétrico/corrente elétrica	02
	ondas eletromagnéticas (luz, radiação)	01

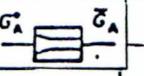
1. Operação básica "transformar"  (continuação)		
Causa	Saída	Núm. de efeitos físicos, químicos ou biológicos
Força, pressão, energia mecânica	comprimento/área/volume	07
	velocidade	06
	aceleração	01
	massa/momento de inércia/densidade	01
	tempo/frequência	01
	ondas mecânicas (som)	02
	temperatura/calor	08
	resistência elétrica	01
	tensão elétrica/campo elétrico/corrente elétrica	08
	capacitância	02
	campo magnético/indutância	03
	ondas eletromagnéticas (luz, radiação)	03
Massa, momento de inércia, densidade	velocidade	01
	aceleração	01
	força/pressão/energia mecânica	05
	capacitância	01
	campo magnético/indutância	01
	ondas eletromagnéticas (luz, radiação)	01
	tempo/frequência	01
Tempo, frequência	comprimento, área, volume	03
	velocidade	01
	força/pressão/energia mecânica	01
	ondas mecânicas (som)	01
	temperatura/calor	02
	resistência elétrica	02
	tensão elétrica/campo elétrico/corrente elétrica	01
	ondas eletromagnéticas (luz, radiação)	01

1. Operação básica "transformar"		(continuação)
Causa	Saída	Núm. de efeitos físicos, químicos ou biológicos
		
Ondas mecânicas (som)	comprimento/área/volume	02
	força/pressão/energia mecânica	01
	temperatura/calor	01
	ondas eletromagnéticas (luz, radiação)	02
Temperatura, calor	comprimento/área/volume	02
	força/pressão/energia mecânica	01
	massa/momento de inércia/densidade	01
	tempo/frequência	01
	resistência elétrica	04
	tensão elétrica/campo elétrico/corrente elétrica	04
	capacitância	01
	campo magnético/indutância	03
	ondas eletromagnéticas (luz, radiação)	05
Tensão elétrica, campo elétrico, corrente elétrica	comprimento/área/volume	01
	velocidade	01
	aceleração	01
	força/pressão/energia mecânica	05
	tempo/frequência	01
	ondas mecânicas (som)	01
	temperatura/calor	03
	resistência elétrica	04
	capacitância	02
	campo magnético/indutância	01
	ondas eletromagnéticas (luz, radiação)	08

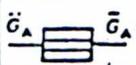
1. Operação básica "transformar"			(continuação)
Causa	Saída		Núm. de efeitos físicos, químicos ou biológicos
Campo magnético, indutância	comprimento/área/volume		01
	velocidade		02
	força/pressão/energia mecânica		06
	temperatura/calor		02
	resistência elétrica		03
	tensão elétrica/campo elétrico/corrente elétrica		04
	ondas eletromagnéticas (luz, radiação)		03
Ondas eletromagnéticas (luz, radiação)	força/pressão/energia mecânica		01
	temperatura/calor		01
	resistência elétrica		04
	tensão elétrica/campo elétrico/corrente elétrica		01
Capacitância	resistência elétrica		01
	tensão elétrica/campo elétrico/corrente elétrica		01
Resistência elétrica	tensão elétrica/campo elétrico/corrente elétrica		01

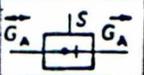
2. Operação básica "ampliar"			
Causa	Saída		Núm. de efeitos físicos, químicos ou biológicos
Comprimento, área, volume	comprimento, área, volume		06
Velocidade	velocidade		04
Aceleração	aceleração		03
Força, pressão, energia mecânica	força, pressão, energia mecânica		04
Tempo, frequência	tempo, frequência		01
Ondas mecânicas (som)	ondas mecânicas (som)		03
Temperatura, calor	temperatura, calor		07
Tensão elétrica, campo elétrico, corrente elétrica	tensão elétrica, campo elétrico, corrente elétrica		06
Capacitância	capacitância		02
Ondas eletromagnética (luz, rad.)	onda eletromagnética (luz, radiação)		06

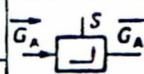
3. Operação básica "isolar"		G_A 
Princípio utilizado	Meio físico	Efeito físico
1. Impermeabilidade de materiais	Sólido	Atrito Impulso Coulomb I Coulomb II
	Líquido	Tensão superficial Coulomb II Viscosidade Turbulência
	Gasoso	Coulomb II Impulso Turbulência
2. Impermeabilidade com campos de força		Coulomb I

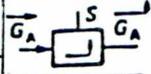
4. Operação básica "agrupar"		G_A 
Princípio utilizado	Meio físico	Efeito físico
1. Efeito concentrador com forças externas		Coesão Coulomb I Coulomb II Impulso Atrito Tensão superficial Viscosidade Gravitação Dielétrico em condensador Fluxo de energia de turbulência
2. Efeito concentrador com forças internas		Efeito de Pinch Tensão superficial Mudança da resistência

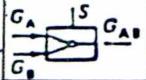
5. Operação básica "dispersar" 		
Princípio utilizado	Meio físico	Efeito físico
1. Forças internas		Impulso Coulomb I Coulomb II Força centrífuga Pressão sonora Indução Expansão
2. Forças externas		Reflexão Expansão Força centrífuga Turbulência

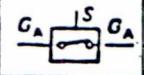
6. Operação básica "guiar" 		
Princípio utilizado	Meio físico	Efeito físico
		Coesão Lei de Hooke Tensão superficial Lei de Boyle-Mariotte Efeito fluido Impulso Coulomb I Coulomb II Bernoulli Força ascensional

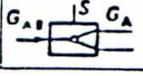
7. Operação básica "retificar"		
Princípio utilizado	Meio físico	Efeito físico
		<p>Resistência imposta ao fluxo de material por formas assimétricas de perfil.</p> <p>Resistência imposta ao fluxo de material por superfícies assimétricas.</p> <p>Perda por choque.</p>

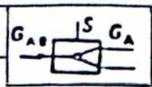
8. Operação básica "mudar direção"		
Princípio utilizado	Meio físico	Efeito físico
<p>1. Modificação das forças posicionadas em direção vertical ao trajeto.</p> <p>1.1 - Obter forças suplementares.</p>		<p>Força ascensional</p> <p>Coulomb I</p> <p>Coulomb II</p> <p>Gravitação</p> <p>Tensão superficial</p> <p>Reflexão (coesão)</p> <p>Efeito "Magnus"</p> <p>Empuxo de perfil</p> <p>dielétrico no condensador</p> <p>impulso</p> <p>atrito</p> <p>viscosidade</p> <p>turbulência</p> <p>pressão sonora</p> <p>pressão de radiação</p> <p>axioma de Newton</p> <p>força de Coriolis</p> <p>carga em campo magnético</p>

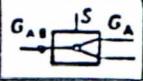
8. Operação básica "mudar direção"		(continuação)
Princípio utilizado	Meio físico	Efeito físico
1.2 - Interromper forças existentes		desligamento de forças de campo
2. Modificação da duração do efeito da força		compensação de forças de campo através de sobreposição
		blindar forças de campo
		modificar a velocidade do fluxo de material
		modificar a expansão (geometria) do campo
		modificar externamente a duração do impulso de força.

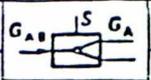
9. Operação básica "misturar"		
Princípio utilizado	Meio físico	Efeito físico
1. Movimento molecular		Difusão
2. Movimento gerado externamente		Tensão superficial
		Adsorção
		Atrito - gravitação
		Coesão - gravitação
		Força centrífuga - força centrífuga
		Atrito - tensão superficial
		Coesão - inércia de massas
		Coulomb I - gravitação
		Coulomb II - gravitação
		Gerar turbulência
3. Estruturas alternativas: inclusão controlada de um componente		Coulomb I
		Coulomb II
		Força ascensional (empuxo)

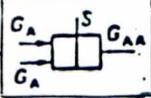
10. Operação básica "ligar" (liberar, permitir passagem)				
Princípio utilizado	Parâmetros de comando			Efeito físico
	Grandeza	Intensidade	Geometria	
1. Impermeabilidade de materiais	Coeficiente de atrito	Força normal	Ângulo de contato	Atrito
	Massa	Velocidade	Ângulo de incidência	Impulso
			Ângulo de desvio	Impulso
	Constante dielétrica	Cargas elétricas	Distanciamento	Coulomb I
	Permeabilidade relativa	Fluxo magnético	Distanciamento	Coulomb II
	Ângulo de borda	Tensão superficial	Largura capilar	T. superficial
	Viscosidade	Velocidade	Dimensões da fenda, área da superfície	Viscosidade
2. Impermeabilidade de campos de força	Carga elétrica	Tensão elétrica	Distanciamento	Coulomb I

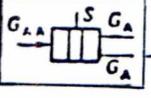
11. Operação básica "separar"		
Características		Nº de efeitos
Comprimento, área, volume	sólido - sólido	14
	gasoso - sólido	01
Ângulo	sólido - sólido	02
Capacidade de umidificação	sólido - sólido	01
	líquido - sólido	01
	gasoso - sólido	02
Massa, peso, inércia de massa	sólido - sólido	17
Viscosidade	sólido - sólido	11
Densidade	sólido - sólido	02
	- líquido	01
	- gasoso	02
	líquido - sólido	03
	- líquido	02
	- gasoso	02
	gasoso - sólido	01
	- líquido	01
	- gasoso	02

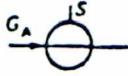
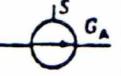
11. Operação básica "separar"		(continuação)
Características		Nº de efeitos
Amortecimento	sólido - sólido	01
Módulo de elasticidade	sólido - sólido	01
Módulo de cisalhamento	sólido - sólido	01
Coeficiente de atrito	sólido - sólido	01
	líquido - sólido	01
Tipo de choque	sólido - sólido	01
Resistência à corrente	sólido - sólido	01
Dureza	sólido - sólido	01
Acabamento superficial	sólido - sólido	01
Coesão	sólido - líquido	03
	- gasoso	01
	líquido - sólido	01
Tensão superficial	sólido - líquido	02
	líquido - sólido	01
	- líquido	01
Compressibilidade	sólido - gasoso	01
Dependência da pressão	sólido - gasoso	01
Temperatura	sólido - sólido	03
Temperatura de fusão	sólido - sólido	01
Temperatura de ebulição	sólido - sólido	01
Ponto de ebulição	sólido - líquido	01
	gasoso - gasoso	01
Pressão parcial	sólido - líquido	01
	líquido - líquido	01
	gasoso - gasoso	01
Dependência da temperatura	sólido - gasoso	01

11. Operação básica "separar"		(continuação)
Características		Nº de efeitos
Constante dielétrica	sólido - sólido	01
	líquido - sólido	01
	- líquido	01
	- gasoso	01
	gasoso - sólido	01
	- sólido	01
Carga elétrica	sólido - sólido	02
	gasoso - sólido	01
	- líquido	01
Condutibilidade	sólido - sólido	02
	líquido - sólido	02
Coefficiente de temperatura do material	sólido - sólido	01
Ponto Curie	sólido - sólido	01
Susceptibilidade magnética	sólido - sólido	01
Solubilidade	sólido - sólido	01
	- líquido	01
	- gasoso	01
	líquido - sólido	01
	- líquido	02
	- gasoso	02
	gasoso - sólido	01
	- líquido	01
	- gasoso	02
Coefficiente de difusão	sólido - líquido	01
	- gasoso	01
	líquido - líquido	01
	- gasoso	01
	gasoso - gasoso	01

11. Operação básica "separar"		(continuação)
Características		Nº de efeitos
Ionização	sólido - líquido	01
Tendência à absorção	sólido - gasoso	01
Tendência à adsorção	sólido - gasoso	01
	líquido - sólido	01
	- líquido	01
	- gasoso	01
	gasoso - gasoso	01
Viscosidade	líquido - líquido	01
Quantidade de gás dissolvido dependente da pressão	líquido - gasoso	01
Temperatura de sublimação	líquido - sólido	01
Solubilidade dependente da pressão	líquido - líquido	01
Solubilidade dependente da temper.	líquido - líquido	02
Pressão crítica	líquido - líquido	02
Temperatura crítica	líquido - líquido	02
Quantidade de gás dissolvido dependente da temperatura	líquido - gasoso	01
Carga	líquido - líquido	01
Permeabilidade magnética relativa	líquido - sólido	01
	- líquido	01
	gasoso - sólido	01
	- gasoso	01
Peso molecular	líquido - sólido	03
	- líquido	04
	- gasoso	01
	gasoso - gasoso	03
Massa	gasoso - sólido	02
	- líquido	02
Grau de umedecimento	gasoso - líquido	01
Carga de íons	gasoso - gasoso	01
Tamanho das moléculas	gasoso - gasoso	01
Ponto de fusão	gasoso - gasoso	01

12. Operação básica "juntar"	
Tipos de "chave" para os Catálogos	
Material	Efeito físico Adesão Coesão através de difusão
Forma	Coesão (firmeza na forma)
Força	Gravitação Lei de Hooke Coulomb I Coulomb II

13. Operação básica "dividir"	
Tipos de efeitos utilizados	
Efeito mecânico (ruptura de material)	Efeito físico, químico, biológico Tração Força centrífuga Pressão Cortar com jato de água sob alta pressão Efeito eletro-hidráulico Cisalhamento Atrito Cortar Flexão Ressonância Torção
Efeito térmico (mudança de fase)	Aumento da temperatura, limitado ao local Aumento da pressão, limitado ao local
Efeito químico (dissolução do material)	Reação química, limitada ao local Reação eletroquímica, limitada ao local Efeitos térmicos e elétricos

14. Operação básica "acumular/desacumular"		
Efeito físico utilizado		
Coesão / impermeabilidade Coulomb I Coulomb II Adesão Tensão superficial Adsorção Absorção Dielétrico em condensador Força centrífuga Pressão osmótica		

ANEXO 3:

LISTA DE VERBOS INCORPORADOS AO SADEPRO.

abarcar;	alisar;	atrasar;	centrar;
abastecer;	alojar;	aumentar;	chanfrar;
abraçar;	alterar;	avaliar;	chavear;
abrandar;	alternar;	avariar;	chocar;
abranger;	amarrar;	avisar;	chumbar;
absorver;	amolar;	baixar;	cilindrar;
acabar;	amoldar;	barrar;	cimentar;
acelerar;	amontoar;	bascular;	cinzelar;
acender;	amortecer;	beneficiar;	cizalhar;
acionar;	analisar;	besuntar;	classificar;
acomodar;	apagar;	bifurcar;	coagular;
acondicionar;	apalpar;	blindar;	cobrir;
acoplar;	apanhar;	bloquear;	coleccionar;
acrescentar;	apertar;	borrifar;	combinar;
acumular;	aplanar;	brilhar;	comprimir;
adaptar;	aplainar;	britar;	comparar;
aderir;	apoiar;	broquear;	comprovar;
adicionar;	aproximar;	burilar;	comunicar;
aferir;	aquecer;	cair;	comutar;
afinar;	armar;	calcinar;	concentrar;
agarrar;	armazenar;	calibrar;	condensar;
agitar;	arrastar;	calcular;	conduzir;
ajustar;	arrefecer;	cambiar;	conectar;
alçar;	aspirar;	captar;	congelar;
alimentar;	assegurar;	carbonizar;	consertar;
alinhar;	assentar;	carregar;	consumir;

contar;	descobrir;	dividir;	equilibrar;
contrabalançar;	desencadear;	dobrar;	erguer;
contrair;	desenhar;	dosar;	escalonar;
controlar;	desentulhar;	elegar;	escarear;
coordenar;	desgastar;	eliminar;	escolher;
copiar;	desintegrar;	embalar;	escorar;
correr;	desligar;	embeber;	escorregar;
corroer;	deslizar;	emitir;	escorrer;
cortar;	desmantelar;	empacotar;	esfregar;
cozer;	desmontar;	empilhar;	esmerilhar;
cravar;	desoxidar;	empunhar;	espalhar;
cronometrar;	desprender;	empurrar;	espremer;
cunhar;	destacar;	encaixar;	esquentar;
curvar;	destampar;	encher;	estabilizar;
cuspir;	destilar;	encolher;	estampar;
danificar;	desviar;	encravar;	estragar;
decantar;	deter;	endireitar;	estender;
decompor;	deteriorar;	enferrujar;	esticar;
demolir;	diferenciar;	enganchar;	estirar;
depor;	diferir;	engarrafar;	estufar;
depositar;	difratar;	engastar;	evaporar;
depurar;	dilatar;	engatar;	examinar;
derivar;	diminuir;	engraxar;	excitar;
derrapar;	dirigir;	engrenar;	excluir;
derreter;	disparar;	enlatar;	expedir;
desagregar;	dispor;	ensaiar;	expelir;
desarmar;	dissolver;	envazar;	extrair;
desatar;	distender;	envernizar;	extinguir;
descarregar;	distribuir;	enviar;	fabricar;
descer;	divergir;	enxaguar;	fechar;

fender;	impulsonar;	lubrificar;	patinar;
filtrar;	inclinat;	macerar;	pegar;
firmar;	incluir;	magnetizar;	pelar;
fixar;	incorporar;	mandar;	pendurar;
fletir;	induzir;	mandrilar;	peneirar;
flexionar;	inflamar;	manipular;	permutar;
forjar;	inflar;	manter;	perturbar;
formar;	indicar;	manufaturar;	pesar;
fracionar;	iniciar;	manusear;	pintar;
frear;	inverter;	marcar;	polarizar;
fresar;	intercalar;	martelar;	polir;
friccionar;	interferir;	medir;	posicionar;
funcionar;	interromper;	minguar;	prender;
fundir;	introduzir;	modelar;	prensar;
furar;	isolar;	modificar;	preparar;
galvanizar;	jatear;	modular;	pressionar;
gastar;	juntar;	moer;	produzir;
gerar;	justapor;	moldar;	proteger;
girar;	laminar;	montar;	provar;
graduar;	lançar;	movimentar;	prover;
gravar;	lapidar;	mudar;	provisionar;
guiar;	lavar;	nivelar;	puncionar;
hierarquizar;	levantar;	obedecer;	puxar;
içar;	ler;	obstruir;	quebrar;
igualar;	liberar;	operar;	ralar;
iluminar;	ligar;	organizar;	ramificar;
imantar;	limar;	oscilar;	rapar;
impedir;	limpar;	oxidar;	raspar;
impelir;	liquefazer;	partir;	reagir;
impressionar;	lixar;	parar;	rebitar;

recalcar;	retificar;	soltar;	transferir;
receber;	retirar;	solucionar;	transformar;
recolher;	revestir;	sortir;	transmitir;
recuperar;	roçar;	suceder;	transportar;
reduzir;	rolar;	sugar;	triturar;
refinar;	sacudir;	suportar;	trocar;
refratar;	saturar;	suspender;	ungir;
refrigerar;	secar;	talhar;	unir;
registrar;	sedimentar;	tapar;	untar;
regular;	seguir;	tarar;	usar;
rejuntar;	segurar;	terminar;	usinar;
registrar;	selecionar;	testar;	vaporizar;
remendar;	separar;	tirar;	vazar;
remover;	serrar;	tocar;	verificar;
reparar;	sincronizar;	tomar;	verter;
repartir;	sintonizar;	torcer;	virar;
resfriar;	sobrepor;	tornear;	volatilizar;
resolver;	soldar;	tosquiar;	voltar;
retardar;	solicitar;	trabalhar;	zerar;
reter;	solidificar;	traçar;	zincar;

ANEXO 4: INSTRUÇÕES PARA INSTALAÇÃO DO SADEPRO

Configuração mínima da máquina:

O SADEPRO pode ser instalado a partir de um computador AT 286, com 1 driver (acionador de disco flexível) de 1.2 Mb, winchester (disco rígido) com pelo menos 15 Mb de área livre disponível e monitor EGA policromático. O sistema operacional compatível é o MS-DOS 3.1 ou qualquer versão posterior.

Instalação do SADEPRO:

O programa executável, bem como todos os catálogos que o acompanham, estão compactados em dois discos flexíveis de 5 1/4" de alta densidade (1.2 Mb), anexos a este texto. Os discos estão numerados como 1 e 2.

Para instalar o programa, basta introduzir o disco número 2 no driver correspondente e digitar

INSTALSA

(este é o nome do arquivo que aciona o programa instalador do SADEPRO). Após alguns instantes de trabalho do computador, uma mensagem na tela solicita ao usuário que substitua o primeiro disco pelo disco número 1 e, depois, pede novamente o disco 2. Terminada a operação, o SADEPRO já estará instalado no disco rígido, dentro de um diretório denominado "SADEPRO" localizado no raiz do winchester (o programa instalador se encarrega de criar esse diretório).

Iniciando o SADEPRO:

Quando a instalação tiver terminado, ver-se-á na tela o sinal:

C:\SADEPRO>

indicando que já se está dentro do diretório criado pelo programa instalador. Para iniciar a utilização do **software**, o usuário deverá digitar "SADEPRO" e pressionar a tecla ENTER. Surgirá, assim, um quadro de apresentação.

Tecla-se ENTER novamente, e o sistema pede para o usuário escrever um nome de 8 dígitos alfanuméricos (são válidos apenas **números** e **letras** do alfabeto; não servem barras, hífen, pontos, vírgulas, espaços em branco ou quaisquer outros caracteres). Esse será o nome do arquivo no qual ficarão guardadas as informações sobre o trabalho que está sendo iniciado.

É necessário definir uma SENHA, também composta de 8 caracteres alfanuméricos válidos. Seu objetivo é proteger o arquivo que está sendo criado, contra ação indesejada de pessoas não-autorizadas (v. Fig. 5-2). Mas, atenção: recomenda-se que o usuário utilize SENHA que lhe seja fácil para memorizar, pois ela é criptografada pelo sistema computacional e, sem ela, ninguém tem acesso ao arquivo recém-criado.

Tecla-se ENTER outra vez, e então pode ser iniciado o trabalho do projetista de produtos industriais, com auxílio do sistema computacional **SADEPRO**.

Saindo do SADEPRO e retornando a ele:

Se por alguma razão o usuário resolver interromper o

trabalho antes de concluir o projeto, poderá retornar a qualquer ponto de utilização do **software**: basta entrar no diretório SADEPRO a partir do sinal de prontidão do computador, teclando

\cd SADEPRO

e, após, carregar o programa, escrevendo

SADEPRO.

Na tela de apresentação, é preciso introduzir o nome do arquivo em que está sendo desenvolvido o projeto, digitar a SENHA correspondente a esse arquivo e poder-se-á reiniciar o trabalho a partir de qualquer ponto definido no MENU que será mostrado ao usuário.