

CAPÍTULO V

MÉTODO DA FUNÇÃO SÍNTESE

5.1. INTRODUÇÃO

No capítulo 2 mostrou-se várias formas de estruturar o processo de projeto e entre estas pode-se destacar as proposições de Pahl e Beitz [5-2] e da VDI, no que se refere à fase de concepção ou da obtenção de soluções alternativas para o problema proposto. Se estas propostas forem examinadas verifica-se que a fase de criatividade ou busca de soluções, segue um procedimento bem definido compreendendo os seguintes passos:

- formulação da função total;
- estabelecer uma estrutura ou um fluxo de funções do problema ou processo;
- pesquisar ou criar princípios de solução alternativos para cada função da estrutura anterior;
- combinar, um princípio de cada função da estrutura, para formar concepções alternativas para o problema global e
- selecionar as concepções viáveis.

Como pode-se observar, este método é apropriado para o desenvolvimento da concepção de sistemas técnicos destinados a executar um processo de transformação ou seqüência de operações. Citando um exemplo, num instrumento de medição de uma grandeza mecânica, um sinal, captado por um transdutor, passa por uma série de operações de transformações e de transmissão e, finalmente, é registrado numa forma analógica ou digital. Uma máquina ferramenta tem como função a fabricação de peças e, isto se realiza por uma série de operações de transformações de grandezas de entrada, nas de saída. Um outro exemplo de maior porte, uma termoeletrica e a correspondente linha de distribuição, é um sistema que, através de uma seqüência de ações, transforma a energia contida no carvão ou petróleo em energia elétrica, na tomada de uma residência, para ligar um refrigerador.

Em cada um destes exemplos pode-se identificar algumas características típicas:

- uma função global ou total, no caso do instrumento, a medição de uma grandeza mecânica e no caso da termoeletrica, a transformação da energia armazenada no carvão, no pátio da usina, na energia elétrica de 220v e 60 Hz, na tomada de uma residência, a centenas de quilômetros de distância;
- estes sistemas técnicos podem ser considerados como processos de transformação sucessiva, do estado e das propriedades, de grandezas de entrada nas de saída e
- normalmente, os sistemas técnicos podem ser considerados como processos de transformação de estado e das propriedades de grandezas do tipo de energia, material e informações.

A função dos sistemas permite um desdobramento, em seqüência e de nível de complexidade, de funções para a adequada transformação das entradas nas saídas.

Para a obtenção de soluções de sistemas de processos de transformação de energia, material e informação como exposto acima, tem-se desenvolvido uma sistemática bem definida, como será descrito no presente capítulo sob a denominação de método da função síntese. A origem deve-se a diversos autores [5.1 a 5.5] e tem sido aceito como um método, com grande potencial, para a informatização do processo de concepção de sistemas técnicos, conforme citado pelos autores[5-6 e 5-7]

5.2. FORMULAÇÃO DA FUNÇÃO GLOBAL

O primeiro passo do método é a definição da função global do objeto para o qual se procura uma solução. O ponto de partida é, a partir das especificações de projeto obtidas conforme descrito no capítulo 3, estabelecer uma formulação ou declaração condensada da função global do sistema e as interfaces com outros sistemas técnicos e o meio ambiente, como esquematizado na fig. 5.1

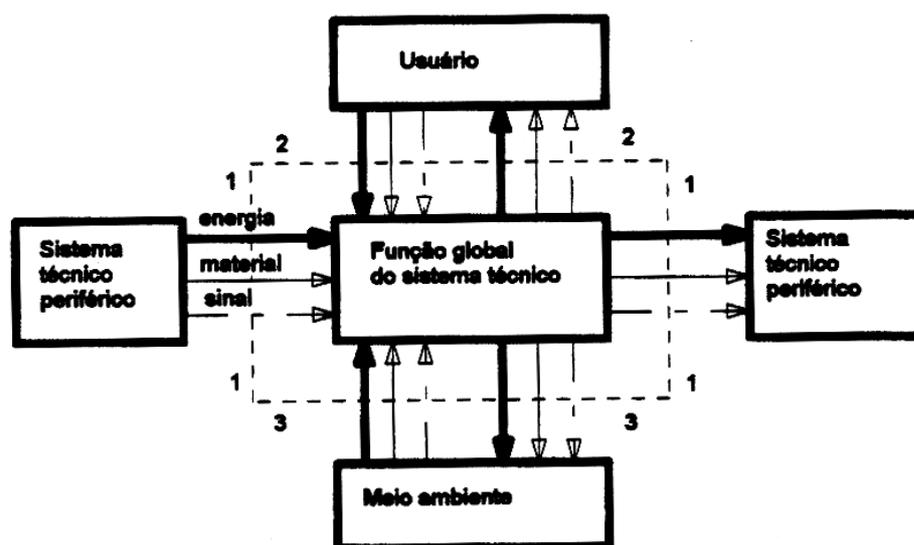


Fig. 5.1. Formulação da função global do sistema.

No bloco central da fig. 5.1 tem-se a declaração de função do sistema numa forma condensada e abstrata, sem qualquer indicação da forma de resolver o problema. Como exemplo, esta declaração abstrata pode ser a sentença seguinte: medir continuamente a quantidade de líquido em um reservatório de tamanho e forma não especificado e indicar as medições à distância. Este mesmo problema poderia ser declarado de modo mais condensado ainda, um verbo e um substantivo, assim como: medir e indicar a quantidade de líquido.

O passo seguinte da formulação do problema é a definição das interfaces do sistema, destacando as seguintes: 1 - interfaces com sistemas técnicos periféricos; 2 - interface com o usuário e 3 - interface com o meio ambiente.

Quase sempre um sistema técnico, a ser desenvolvido, faz parte de outros sistemas técnicos então, as entradas e saídas necessárias destes sistemas técnicos, definem as interfaces do tipo 1 do sistema em estudo.

A interface 2 foi destacada devido a sua importância e para que não seja esquecida pelo projetista desde o início. Trata-se do controle que o usuário quer ter sobre o sistema, comandos, informações de entrada e saída para atuação e identificação do estado de operação e manutenção.

Por último tem-se destacado a interface tipo 3, onde o projetista identifica quais são as possíveis influências do meio ambiente. Neste caso busca-se um projeto robusto e ecologicamente adequado.

Tem-se agora o problema formulado através da função global e no seu contorno as restrições de solução e todas as entradas e saídas.

5-3. DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA FUNCIONAL DO SISTEMA.

Examinando o bloco central da fig. 5.1, repetido na fig. 5.2, precisa-se se preocupar com a solução do problema, limitado pelas interfaces, isto é, buscar a função global que transforma as entradas nas saídas. Qualquer função que atende as condições de restrições ou de interfaces é uma solução alternativa para o problema.

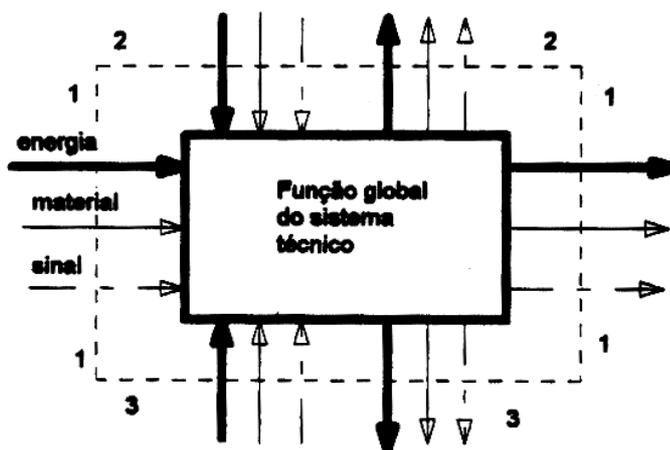


Fig. 5.2. Função global do sistema.

Difícilmente se consegue visualizar ou encontrar uma solução para a função global, que transforma diretamente as entradas nas saídas desejadas, esquematizadas na fig. 5.2. Tomando, novamente, o exemplo da termoelétrica, não é fácil visualizar a transformação direta da energia química, no carvão do pátio da usina, na energia elétrica na tomada de uma residência. Mas, agora, se a função global for decomposta, sucessivamente, em funções mais simples, funções parciais e até ao nível de funções elementares, o problema já pode parecer mais fácil, ou seja, de uma forma simplificada. A energia química é transformada para a energia calorífica pela combustão do carvão; a energia calorífica é transferida para a água que evapora; através da turbina a energia térmica do vapor é transformada em energia mecânica; o eixo de saída da turbina aciona o gerador que transforma a energia mecânica em energia elétrica; na subestação a tensão é elevada para transmissão numa linha de alta tensão, através de vales e montanhas até chegar à subestação, próxima da cidade, para abaixar a tensão; novamente é transmitida até o transformador próximo onde a tensão é rebaixada novamente e deste ponto até a tomada na residência.

De um sistema existente ou conhecido, o desdobramento da função global nas suas funções parciais ou elementares, normalmente, é fácil, basta seguir o fluxo de energia, material e ou informação e, assim, montar a estrutura de funções que ligam as entradas às saídas.

Para um problema novo ou projeto de inovação, o desenvolvimento da estrutura funcional do sistema não é uma tarefa fácil, mas também pode-se dizer que é um dos passos fundamentais para uma boa concepção. Nos últimos anos, tem sido grande o esforço de pesquisa para encontrar um método racional, lógico, eficiente e de fácil informatização, para desenvolvimento e representação da estrutura funcional, mas os resultados ainda não são satisfatórios [5-1 a 5-3 e 5-7 a 5-9]

A dificuldade passa, em primeiro lugar, pela identificação das funções que o sistema deverá ter e, em seguida, como arranjar aquelas funções para representar funcionalmente o produto. Na prática corrente tal estrutura é elaborada, levando-se em conta a experiência dos projetistas em outros projetos de natureza semelhante, analogias com sistemas existentes, intuição, tentativa e erro, julgamento próprio e pesquisa exaustiva. Estes procedimentos são

difíceis de serem capturados, descritos e implementados na forma de princípios e metodologias para o ensino e apoio computacional.

Algumas diretrizes que podem ser seguidas são as seguintes:

1- Decompor a função global numa estrutura com sub-funções, ou funções parciais, identificadas nas especificações de projeto ou nas interfaces como mostra a fig. 5.3. Nesta decomposição, num segundo nível de complexidade, além de decompor o bloco, deve-se procurar decompor a declaração da função global e para isto as sub-declarações devem ser as mais condensadas, na medida do possível, limitar-se ao par de verbo e substantivo.

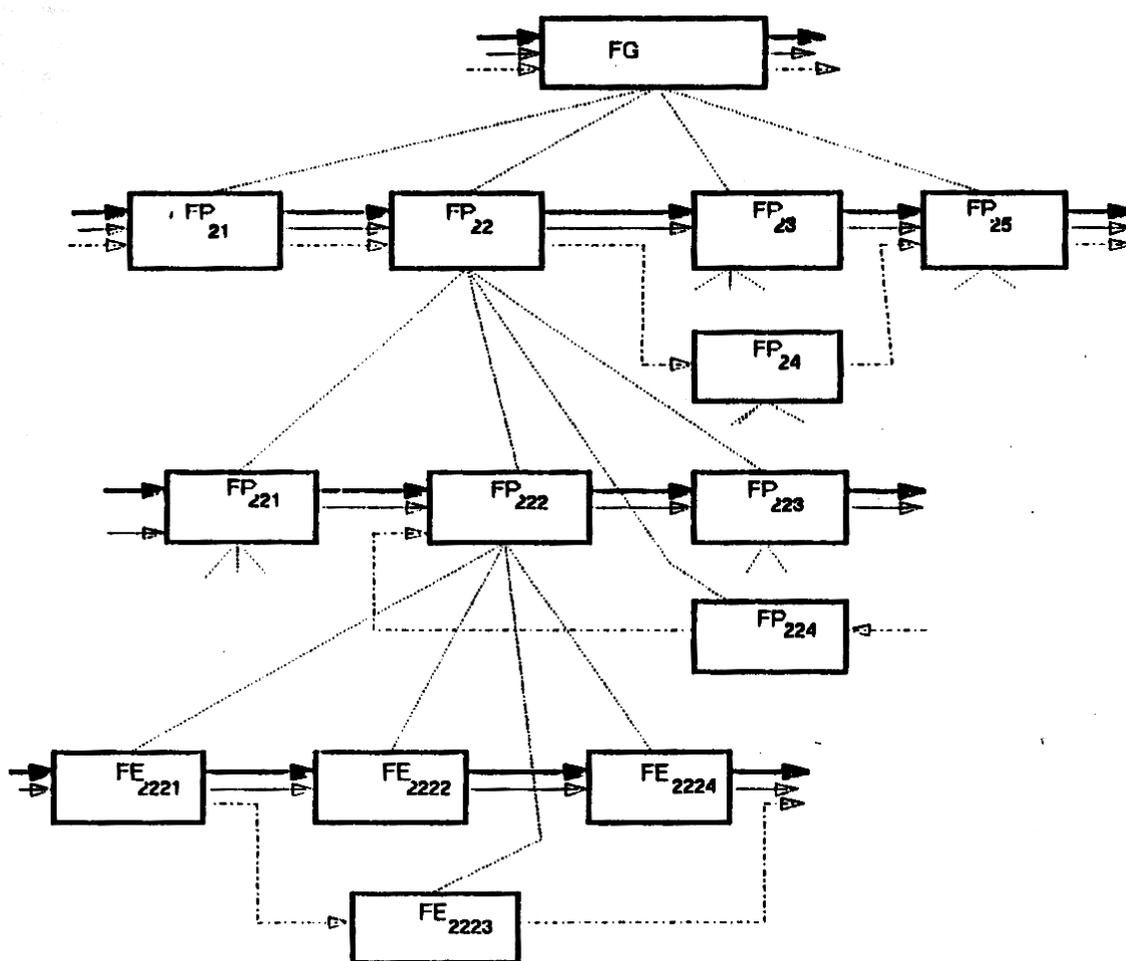


Fig. 5.3. Desdobramento da função global na estrutura funcional do sistema.

2- Se o apropriado entendimento, de uma função parcial no segundo nível de complexidade, não for alcançado ou não permite a identificação de um princípio de solução da função, esta deve ser decomposta em níveis de complexidade cada vez menor, se necessário, até ao nível de funções elementares.

3- As entradas e saídas de cada bloco devem ser identificadas na medida do possível quanto ao tipo, mas neste estágio não é necessário indentificar-las quantitativamente.

4- É adequado iniciar o trabalho com atenção no fluxo principal do sistema o qual, em geral, determina a função do sistema e é mais facilmente identificado a partir das especificações de projeto. Os fluxos auxiliares ajudam na elaboração futura da estrutura. A estrutura completa pode ser obtida por um processo iterativo, ou seja, parte-se do fluxo principal de energia, material e informação, retornando e complementando a estrutura com fluxos auxiliares.

5- Nas declarações de funções parciais e até ao nível de funções elementares, usar o mínimo possível de diferentes pares de verbo-substantivo para declaração das funções. Ao

examinar os sistemas técnicos em geral, as ações ou funções podem ser descritas com poucos verbos técnicos. No próximo item este aspecto será estudado em mais detalhes, quando serão apresentadas sugestões de normalização e representação de funções típicas de sistemas técnicos.

6- No desdobramento sucessivo da função global esquematizada na fig. 5.3, deve-se considerar os seguintes aspectos. Em cada nível de complexidade da seqüência de desdobramento, verificar se não existem princípios de solução ou módulos já usados em outros sistemas, que podem ser adaptados ou empregados para uma dada função parcial. Por exemplo, se para a função parcial FP_{21} da fig. 5.3, já existe um subsistema que pode ser adaptado ou usado diretamente, então não há necessidade de continuar com o desdobramento desta função. Por análise ou analogia de sistemas conhecidos é possível: derivar variantes adicionais da estrutura funcional total ou parcial; dividir ou combinar sub-funções; variar o arranjo destas funções e variar as ligações, em paralelo, em série ou em ponte.

7- Como já foi observado existe a possibilidade de obter diversas estruturas funcionais alternativas, ao menos parcialmente. Cada uma destas estruturas é uma potencial concepção alternativa do sistema em desenvolvimento, deve-se então compará-las com as especificações de projeto, selecionar e otimizar a melhor estrutura. Este aspecto será discutido em item posterior.

Para tornar mais claro este procedimento, a seguir serão apresentados alguns exemplos práticos simples.

O caso da fig. 5.4 foi adaptado de um exemplo mostrado na referência [5-5] e que consiste no desenvolvimento de estruturas funcionais de um sistema de alimentação de peças, tipo tampas, numa determinada posição, a partir de um recipiente onde as tampas são depositadas de forma intermitente e em posição aleatória. Como mostra a fig. 5.4, a função global foi decomposta, inicialmente em três funções parciais e, para simplicidade, somente a terceira função foi novamente decomposta e, desta vez, em três formas alternativas.

Como pode-se observar neste exemplo, ainda mais se as demais funções do segundo nível fossem decompostas, também com alternativas, rapidamente poder-se-ia chegar a várias estruturas funcionais para o problema, sem preocupações com tecnologias ou princípios de solução física.

Um segundo exemplo de elaboração da estrutura funcional, trata da medição e indicação, continuamente, da quantidade de fluido em um reservatório de tamanho e forma não especificados, que pode ser usado em diferentes tipos e tamanhos de tanques [5-2].

Na fig. 5.5 tem-se na primeira coluna indicado um resumo da sucessiva formulação do problema e, na terceira, o estágio de desdobramento da estrutura funcional. Acompanhando os vários estágios de desenvolvimento da estrutura funcional tem-se:

1º Estágio. É indicada a função global de medir e indicar a quantidade de líquido num reservatório, tendo então como entrada e saída uma informação ou sinal.

2º Estágio. A função global pode ser decomposta numa função parcial de receber um sinal, este deve ser transmitido até um dispositivo que tem a função de indicar o sinal.

3º Estágio. Para transmitir e indicar o sinal deve haver a necessidade de mudar o tipo de sinal, pôr exemplo, um sinal mecânico num elétrico, tem-se então a função de transformar o sinal.

4º Estágio. Como o instrumento deve ser usado para medir a quantidade de líquido em reservatórios de diferentes tamanhos, deve-se prever uma função de ajustar o sinal.

5º Estágio. Se o instrumento deve ser usado para medir a quantidade de líquido em reservatórios de formas não definidas a prior, então será necessário introduzir uma função de corrigir o sinal.

6º Estágio. Para as diferentes funções é necessário suprir energia externa, adiciona-se mais esta função.

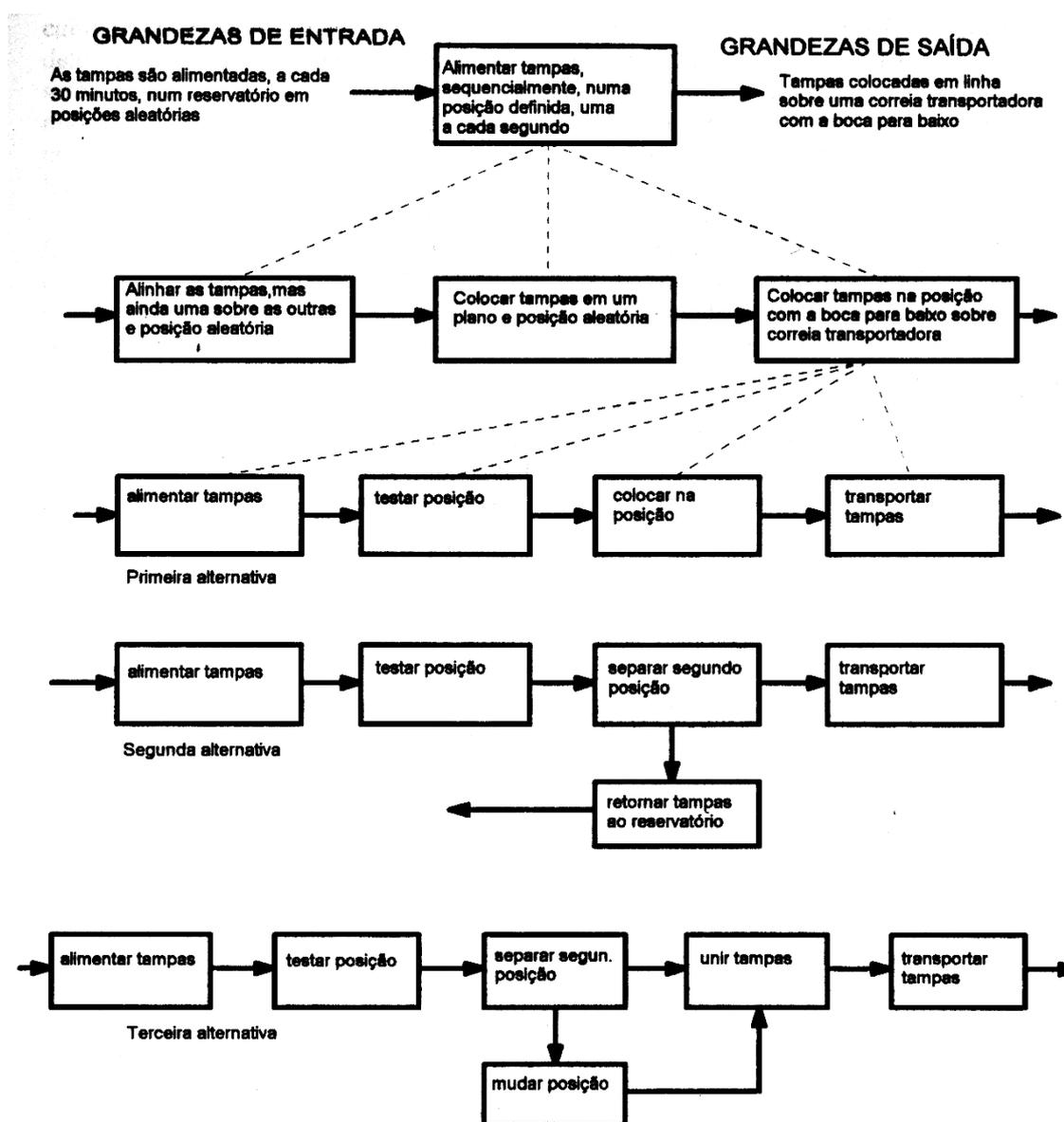


Fig. 5.4. Estruturas funcionais alternativas de um sistema de alimentação de tampas[5-5]

7ª Estágio. Durante o desenvolvimento da estrutura funcional, é interessante examinar para que conjunto de funções já existem módulos ou subsistemas prontos que poderiam ser utilizados ou integrados ao sistema em desenvolvimento. Como mostrado no sétimo estágio se do conjunto de funções delimitado, houver uma saída elétrica e se dispõe de um instrumento de indicação com esta entrada, então não há necessidade de desenvolver todo o sistema como mostrado no oitavo estágio.

Como um terceiro exemplo de desenvolvimento da estrutura funcional, tem-se o caso mostrado na fig. 5.6, que trata do desenvolvimento de um implemento agrícola, acoplável a um microtrator, destinado à abertura e adubação de sulcos, para o plantio no processo de mínimo cultivo. Como mostra a fig. 5.6a, a função global é preparar e adubar sulcos, numa determinada largura e profundidade, num terreno com cobertura vegetal para, ao longo deste sulco, transplantar mudas ou deposição de sementes de diferentes culturas. Como as funções principais do implemento são a colocação de adubo, numa determinada dosagem, e preparar um sulco com adubo incorporado, tem-se na fig. 5.6b, o desdobramento da função global, nas funções parciais de adubar o solo e abrir sulco.

Na fig. 5.6c está mostrado um novo desdobramento. A função parcial de adubar solo foi desmembrada nas seguintes: armazenar adubo; dosar adubo; para esta dosagem deve haver uma função de regulagem e fornecimento de energia; uma vez dosado o adubo, este deve ser transportado para o solo, aproveitando a ação da gravidade. O adubo depositado sobre a superfície do solo, deve ser incorporado ao solo contido no sulco. Pode-se, então, decompor a função parcial de abrir o sulco nas seguintes funções elementares: cortar a palha na largura do sulco; desagregar o solo na largura e profundidade do sulco; conter o solo desagregado dentro do sulco e misturar o adubo com o solo desagregado. A profundidade do sulco preparado depende do tipo de cultura a ser implantada, logo deve haver uma função de regulagem. Para as ações compreendidas nesta segunda função parcial, de abrir sulco, deve haver o fornecimento de energia mecânica.

5.4. PADRONIZAÇÃO E REPRESENTAÇÃO DAS FUNÇÕES DA ESTRUTURA FUNCIONAL.

No item anterior foram apresentadas algumas recomendações sobre a forma de desenvolver a estrutura funcional de um sistema, incluindo exemplos, mas sem maiores preocupações com a uniformização de expressão e representação das funções e da própria estrutura funcional.

Com o objetivo de uma maior sistematização deste processo encontram-se, na literatura [5-1 a 5-4, 5-7 e 5-8], várias sugestões procurando uniformizar as funções, as correspondentes representações e as interligações das funções, com o objetivo de facilitar o desenvolvimento, o arranjo, a visualização, interpretação e comunicação de uma estrutura funcional. Até o momento não se chegou a ferramentas apropriadas e nem a um consenso sobre os aspectos mencionados, mas procurar-se-á orientar o leitor sobre alguns destes aspectos.

Produtos são definidos pela sua função, por isso o projetista deve iniciar com uma descrição funcional do produto a ser desenvolvido, resultando na função total. Esta função total é então decomposta em várias descrições de funções. A medida que se progride na decomposição funcional, chega-se ao que se pode chamar de funções elementares que, em sistemas técnicos como anteriormente definidos, podem ser enquadradas em um número limitado de funções típicas. Como um primeira sugestão dada na referência [5-1], estas funções são em número de 24 como mostrado na fig. 5.7, para cobrir as ações sobre energia, material e informação. Como se observa na figura tem-se, lado a lado, a função elementar e a sua inversa e, também, uma sugestão de representação gráfica, em vez da forma literal apresentada nas figuras 5.4 a 5.6. Para mostrar que não são somente verbos, as funções indicadas na fig. 5.7, far-se-á uma breve descrição com exemplificações de princípios de solução que elas poderão representar.

Emitir e absorver. Para ocorrer um fluxo de energia, material ou informação, deve haver de um lado uma fonte e do outro um absorvedouro. Por exemplo, para fontes de energia tem-se baterias, potenciais de água, combustíveis ou para o sistema em desenvolvimento, pode ser qualquer fonte de energia mecânica, elétrica ou química. Como absorvedouros de energia tem-se todos sistemas que consomem energia. Há casos em que se instala, especialmente, absorvedouros para absorver energia, como exemplos, os dispositivos amortecedores de vibrações e de absorção acústica.

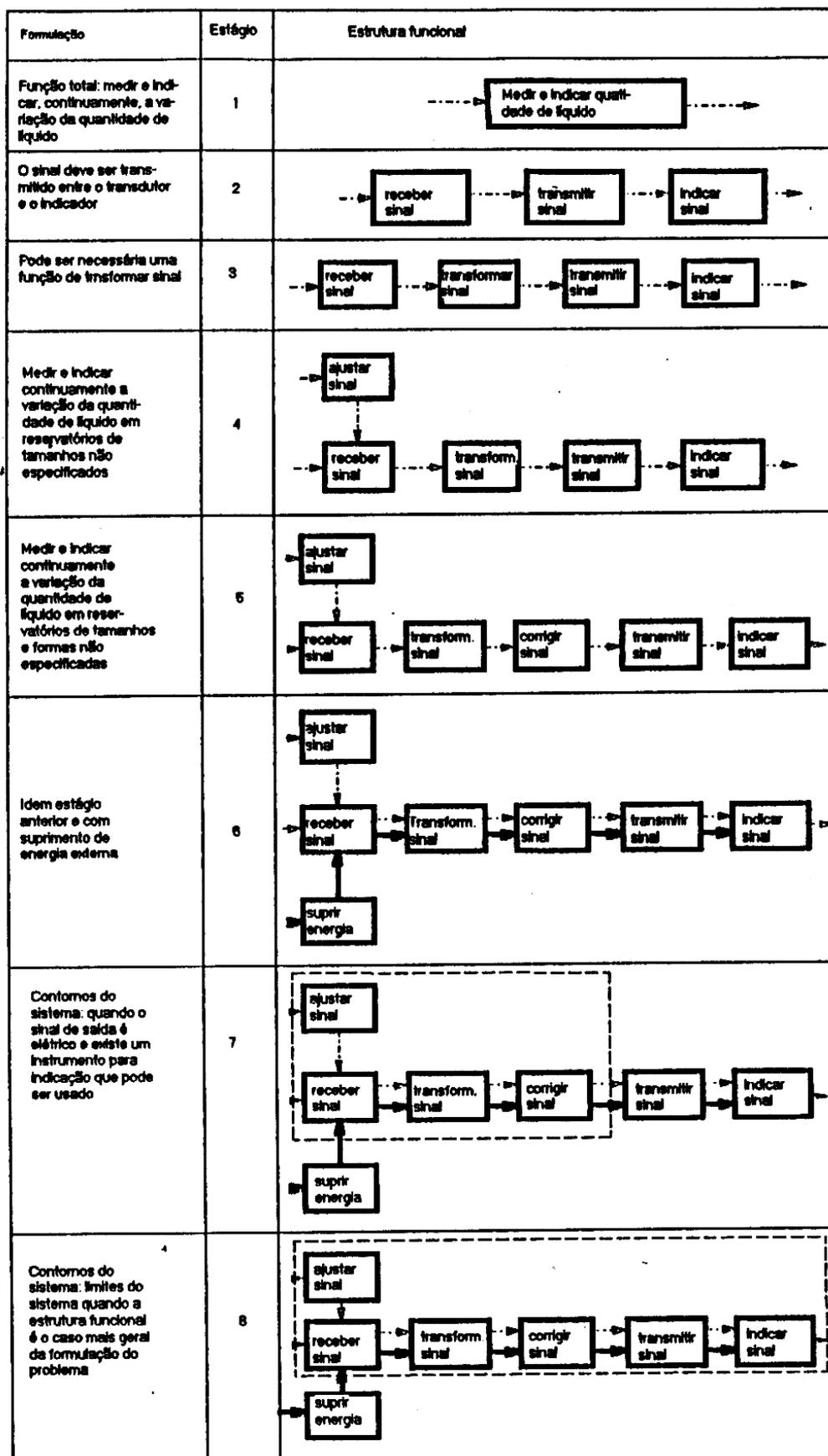


Fig. 5.5. Estrutura funcional de um instrumento de medição e indicação da quantidade de fluido num reservatório.

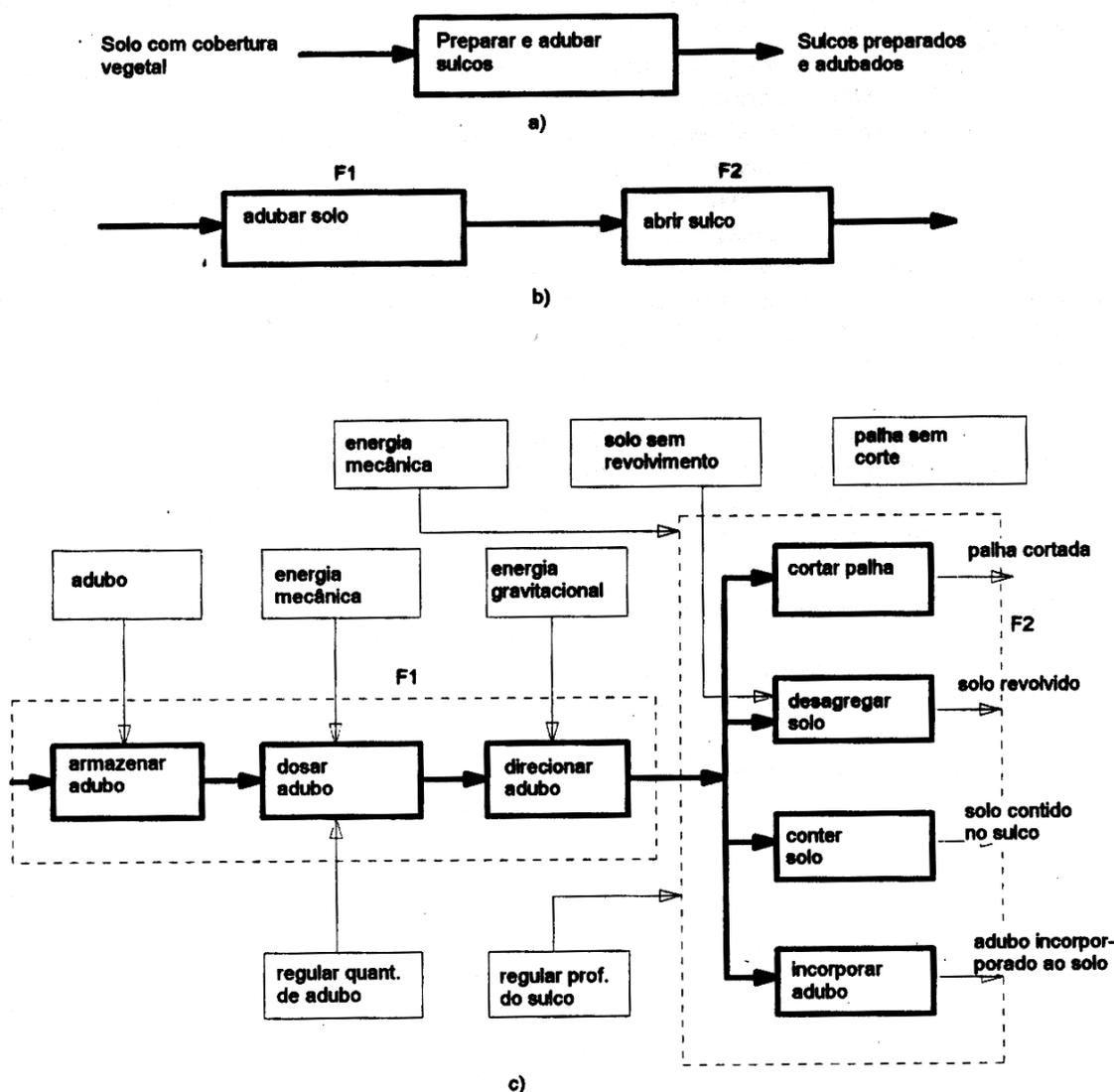


Fig. 5.6. Estrutura funcional do implemento de abertura e adubação de sulcos. a) Função global. b) Estrutura de funções parciais. c) Estrutura de funções elementares.

Ao examinar a função ou palavra emitir, pode-se interpretá-la com um sentido mais amplo ou que expressa ações ou funções de outros verbos técnicos da língua portuguesa, como por exemplo, fornecer, abastecer e suprir. Do mesmo modo o verbo absorver tem semelhança com os verbos, amortecer e dissipar. Desta forma no final de cada descrição do par de funções, se apresentará o verbo da função e sugestões de verbos sinônimos, similares ou que guardam certa analogia de ação, como mostrado a seguir.

Emitir: abastecer; alimentar; fornecer; prover e suprir.

Absorver: amortecer; aterrar; consumir; dissipar e gastar.

Transmitir e isolar. Para haver um fluxo de energia, material e informação, é necessário prover um meio com capacidade de transmissão, por exemplo, o ar para transmitir o som e espaço para transmitir ondas eletromagnéticas e a luz. A função contrária é isolar e, como exemplos, tem-se os isolamentos de calor, elétricos, elementos de vedação de fluidos e material opaco para isolar a luz

Isolar: barrar; blindar; bloquear; cobrir; fechar; impedir e proteger.

Agrupar e dispersar. Agrupar ou concentrar tem como função inversa a de dispersar. Como exemplos de componentes que têm a função de agrupar, encontra-se o funil, lentes

convergentes e antenas receptoras. Para dispersar tem-se as antenas emissoras, pulverizadores, lentes divergentes e espelhos convexos.

Agrupar: abraçar; abranger; amontoar; aproximar; concentrar; condensar; comprimir; empilhar; espremer; juntar e reunir.

Dispersar: borrifar; espalhar; decompor; desagregar e distribuir.

Guiar e não guiar. Como exemplos de elementos com a função de guiar tem-se entre outros: guias; mancais; canalizações; cabo elétrico e cabo óptico.

Guiar: alinhar; arrastar; centrar; conduzir; dirigir; endireitar e posicionar.

Não guiar: divergir; dobrar; fletir; flexionar; virar e voltar.

Transformar e reto-transformar. Dentro destas funções entende-se todas as ações de transformação de energia, material e informação ou sinal. Transformar energia engloba formas de transformação de um em outro tipo, as energias sob as formas: cinética; potencial; óptica; térmica; química e mecânica. A transformação de materiais compreende as transformações de estado e de suas propriedades. Exemplos de transformação de informações ou sinais são: transformar sinal óptico em digital; mecânico em elétrico e elétrico em óptico.

Transformar: alterar; condensar; congelar; converter; destilar; derreter; evaporar; fundir; liquefazer; modificar; imantar e solidificar.

Função		Função Inversa	
Emitir		Absorver	
Transmitir		Isolar	
Agrupar		Dispersar	
Guiar		Nao Guiar	
Transformar		Retransformar	
Ampliar		Reduzir	
Mudar de		Mudar De	
Retificar		Oscilar	
Ligar		Interromper	
Misturar		Separar	
Juntar		Dividir	
Acumular		Desacumular	

Fig. 5.7. Funções elementares para representar ações em sistemas técnicos.

Ampliar e reduzir. As funções de ampliar e reduzir são entendidas como ações que aumentam ou diminuem o valor de grandezas ou propriedades da energia, material ou informações. No caso da energia, estas funções ampliam ou reduzem o valor das grandezas de

estado da energia mecânica, elétrica ou química. De uma forma geral as variáveis de estado da energia são do tipo: tensão; corrente; deslocamento linear ou angular; velocidade; força; torque; temperatura; volume; pressão; etc. Como exemplos de princípios de solução que executam estas funções na prática, encontra-se a vasta gama de tipos de amplificadores ou redutores mecânicos, hidráulicos, pneumáticos e elétricos. No caso de materiais estas funções executam as ações de modificar o valor quantitativo das propriedades, como por exemplo: condutibilidade elétrica e térmica; resistência mecânica; dureza; etc. Para sinais ou informações valem as observações feitas sobre energia, isto é, são ampliadas ou reduzidas as variáveis de estado destes sinais.

Ampliar: acelerar; acrescentar; aquecer; aumentar; dilatar; distender; elevar; encher; erguer; esticar; estufar; inflar e levantar.

Reduzir: atrasar; baixar; contrair; descer; diminuir; encolher e minguar.

Mudar de direção. Esta função tem por objetivo a ação de modificar a direção vetorial de uma grandeza física, sem modificar o seu valor quantitativo. Como exemplos desta função: um par de rodas dentadas muda o sentido de giro; o espelho e o prisma mudam a direção de um raio de luz; o leme muda a direção do barco, etc.

Mudar a direção: derivar; desviar; divergir; dobrar; endireitar; fletir; flexionar; girar; inclinar; inverter e quebrar.

Retificar e oscilar. Um movimento ou um fluxo pode ser contínuo ou oscilatório. Retificadores elétricos, catracas e válvulas de retenção têm a função de retificar. Mecanismos de quatro barras e de biela-manivela são alguns dos exemplos práticos que têm a função de oscilar.

Retificar: alisar; aplainar e bloquear.

Oscilar: agitar; alternar; bascular; balançar; embalar e sacudir.

Ligar e interromper. Um fluxo de energia, material ou informações pode ser interrompido e refeito. Exemplos práticos de elementos ou dispositivos que executam as ações de ligar e interromper são os mais variados: interruptores em geral; acoplamentos; embreagens; válvulas hidráulicas; diafragmas, etc.

Ligar: acionar; acoplar; agarrar; amarrar; chavetar; comutar; conectar e engatar.

Interromper: cortar; desarmar; desatar; desligar; obstruir e reter.

Misturar e separar. Energias, materiais e informações de diferentes características ou propriedades podem ser misturados ou separados. Misturados em geral e modulados são exemplos de princípios de solução que têm a função de misturar materiais e informação. Para a separação de materiais os princípios de solução são bem variados, como alguns exemplos, pode-se citar: métodos de centrifugação e decantação; peneiras; filtros, etc. Polarizadores, filtros de luz e sinais, demoduladores, estes têm a função de separar a energia e informação. A ação de misturar e separar inclui, também, material e energia, por exemplo, uma bomba hidráulica mistura energia e material e um motor hidráulico separa a energia contida no óleo. Outro exemplo, numa caldeira se mistura material com energia calorífica e na turbina ou radiador se separa a energia do material.

Misturar: combinar; dissolver; dosar; modular e sinterizar.

Separar: classificar; decantar; decompor; depurar; destilar; extrair; filtrar; peneirar; sedimentar e selecionar.

Unir e dividir. Estas funções distinguem-se das funções de misturar e separar, quando se tem as ações de unir ou dividir quantidades de energias, materiais ou informações de mesmas características ou propriedades. Como exemplos tem-se: redes de distribuição unem ou dividem energia elétrica; diferenciais para energia mecânica e espelhos para energia óptica. Formas de união e divisão de materiais e informações são bem diversas como pode-se deduzir de verbos análogos ou similares apresentados a seguir.

Unir: aglomerar; amarrar; amontoar; encaixar; incluir; juntar; rebitar; soldar e somar.

Dividir: bifurcar; britar; cisalhar; cortar; derivar; desagregar; desintegrar; desmontar; fracionar; quebrar; ramificar; repartir e serrar.

Acumular e desacumular. Energia, materiais e informações podem ser acumulados ou armazenados e desacumulados. Como exemplos de acumuladores de energia, tem-se entre outros: baterias; pilhas; capacitores; volantes; pesos; molas; represas; recipientes contendo gases ou fluidos sob pressão, etc. Informações podem ser acumulados em materiais, discos e fitas magnéticas, relês de tempo, transistores e diodos.

Acumular: abastecer; acrescentar; armazenar; carregar; depositar; encher; gravar e registrar.

Desacumular: consumir; extrair; gastar e vazar.

Para mostrar a aplicabilidade das funções apresentadas anteriormente, será desenvolvida a estrutura funcional de um problema de bombeamento de óleo, sob as seguintes condições: dispõe-se de energia elétrica para os devidos acionamentos; o óleo deve ser transportado de um reservatório para outro mais elevado e esta alimentação deve ser variável, de zero até uma determinada vazão máxima.

Como mostra a fig. 5.8a, a função total consiste em fornecer óleo sob pressão, com vazão variável utilizando energia elétrica. Esta função total pode ser decomposta em três funções parciais como mostra a fig. 5.8b, onde tem-se: a primeira função de ligar e variar o fornecimento de energia; a segunda de transformar energia elétrica em energia mecânica e a terceira de misturar energia mecânica com material, o óleo.

Fazendo um desdobramento mais detalhado tem-se na estrutura funcional da fig. 5.8c as seguintes funções elementares: fonte de energia elétrica; fonte de informação que comanda ligação ou interrupção de energia elétrica; fonte de informação que comanda a variação contínua de fornecimento de energia elétrica; função de variação contínua de energia elétrica; função de transformação da energia elétrica em energia mecânica; fonte de material; função de misturar energia mecânica e material; guiar a mistura de energia e material até um acumulador.

Na fig. 5.9 tem-se, repetido na primeira alternativa uma forma simplificada, da estrutura funcional da fig. 5.8c. As demais estruturas funcionais são alternativas para o mesmo problema de bombeamento de óleo. Resumidamente estas quatro estruturas podem ser interpretadas, através de suas funções, como segue:

Primeira alternativa: ligar/interromper energia elétrica; reduzir a energia elétrica (reduzir frequência ou tensão); transformar energia elétrica em energia mecânica (motor elétrico); misturar energia mecânica com óleo (bomba hidráulica); guiar a mistura, através de uma canalização, até acumular num reservatório.

Segunda alternativa: ligar/interromper energia elétrica; transformar energia elétrica em energia mecânica (motor elétrico); reduzir a rotação do eixo através de um redutor de velocidade; misturar energia com material (bomba hidráulica); guiar e acumular.

Terceira alternativa: transformar energia elétrica em energia mecânica (o motor elétrico estaria sempre ligado); ligar/interromper a transmissão de energia mecânica (usando uma embreagem); reduzir a rotação do eixo; misturar energia e material; guiar e acumular.

Quarta alternativa: transformar energia elétrica em energia mecânica; misturar energia mecânica com material; dividir a quantidade de óleo (através de válvula de retorno); ligar/interromper (usando um registro); guiar e acumular.

Fazendo uma análise do que foi apresentado no presente item, sobre a padronização das funções, sua representação e o campo de aplicação, observa-se o seguinte:

- os vinte e quatro verbos mostrados na fig. 5.7, permitem declarar ou expressar uma vasta gama de funções ou operações de processamento de energia, material e sinal. Se forem incluídas as sugestões, apresentadas no final da descrição de cada par de função e a correspondente função inversa, de verbos sinônimos ou similares, a variedade de ações, em sistemas técnicos que podem ser descritos, é ampliada consideravelmente;

- o projetista, geralmente, atua num domínio de conhecimento ou de produtos bem mais restrito, por exemplo, de máquinas ferramenta, eletrodomésticos ou máquinas agrícolas e, dentro destas, alguns tipos. Assim as funções, para estes domínios mais restritos, necessárias para estabelecer as correspondentes estruturas funcionais, podem ser em número menor ou criadas outras mais apropriadas e

- a sugestão de funções apresentada não pretende ser definitiva e nem que seja adotada diretamente mas, como mostram as fig. 5.8 e 5.9, dão uma visão mais rápida e global das estruturas funcionais, do que os exemplos das figuras 5.4 a 5.6.

5.5. SELEÇÃO DA ESTRUTURA FUNCIONAL.

No item 5.3 foi sugerido que o projetista procurasse desenvolver estruturas funcionais alternativas para a concepção do problema. Assim como mostra a fig. 5.4 tem-se para uma das funções parciais, três alternativas de estruturas funcionais e na fig. 5.9, quatro alternativas.

Para dar continuidade ao trabalho de projeto, deve-se selecionar a melhor estrutura funcional. O primeiro passo, então, é o estabelecimento de critérios de seleção ou confrontar as alternativas com as especificações de projeto, procurando identificar a estrutura que tem o melhor potencial de atendimento futuro. Como estas estruturas estão, ainda, numa forma muito abstrata, não foram escolhidos ou desenvolvidos os princípios de solução, fica difícil estabelecer critérios de seleção mais objetivos como descrito no capítulo 6, para a escolha da melhor concepção. Para o estágio atual de desenvolvimento, recomenda-se seguir um procedimento simplificado e este será mostrado através de dois exemplos de seleção da estrutura funcional.

No exemplo da fig. 5.4, como já foi descrito, as tampas vem sendo alimentadas, uma atrás da outra, mas aleatoriamente com a boca para baixo e para cima e, devem sair do subsistema, todas com a boca para baixo. Para executar este processo foram então propostos três alternativas, agora qual é a melhor, dispondo somente destas informações e confrontar com as especificações de projeto ou critérios de seleção. As especificações ou critérios de seleção, como se sabe são do tipo: funcionalidade; precisão; compacticidade; geometria; estética; custos; fabricabilidade; uso; confiabilidade; manutenibilidade; etc.

Assim para confrontar estas estruturas com critérios de seleção, uma forma é examinar cada função, imaginando princípios de solução. Considerando então as alternativas da fig. 5.4, em todas elas achou-se necessária uma função de testar a posição das tampas. Agora, identificada a posição, na primeira alternativa deveria haver um dispositivo que fosse acionado, agarrasse a tampa com a boca para cima, invertesse sua posição e a colocasse novamente sobre a esteira em movimento. Imaginando um pouco, a solução talvez seria um pequeno manipulador ou um mecanismo complexo, de alto custo, pouco compacto, com problemas de confiabilidade e manutenção. Na segunda alternativa, uma vez identificada uma posição incorreta sobre a esteira transportadora, bastaria acionar um dispositivo que retirasse esta tampa e que a retornasse ao reservatório inicial. Esta solução deve ser melhor do que a primeira mas, ainda será necessário um mecanismo de transporte, destas tampas separadas ao reservatório. Na terceira alternativa, a tampa que estava na posição errada e que foi separada, pode-se imaginar que só virar ou mudar para a posição correta, não deverá requerer um dispositivo complexo. Agora unir ou recolocar a tampa sobre a esteira de transporte, talvez seja mais simples do que retornar a tampa ao reservatório. Nesta terceira estrutura poder-se-ia dizer que levou a uma solução de melhor funcionalidade, mais compacta, fabricabilidade, custo e confiabilidade do que as anteriores, como mostram as duas soluções da fig. 5.10.

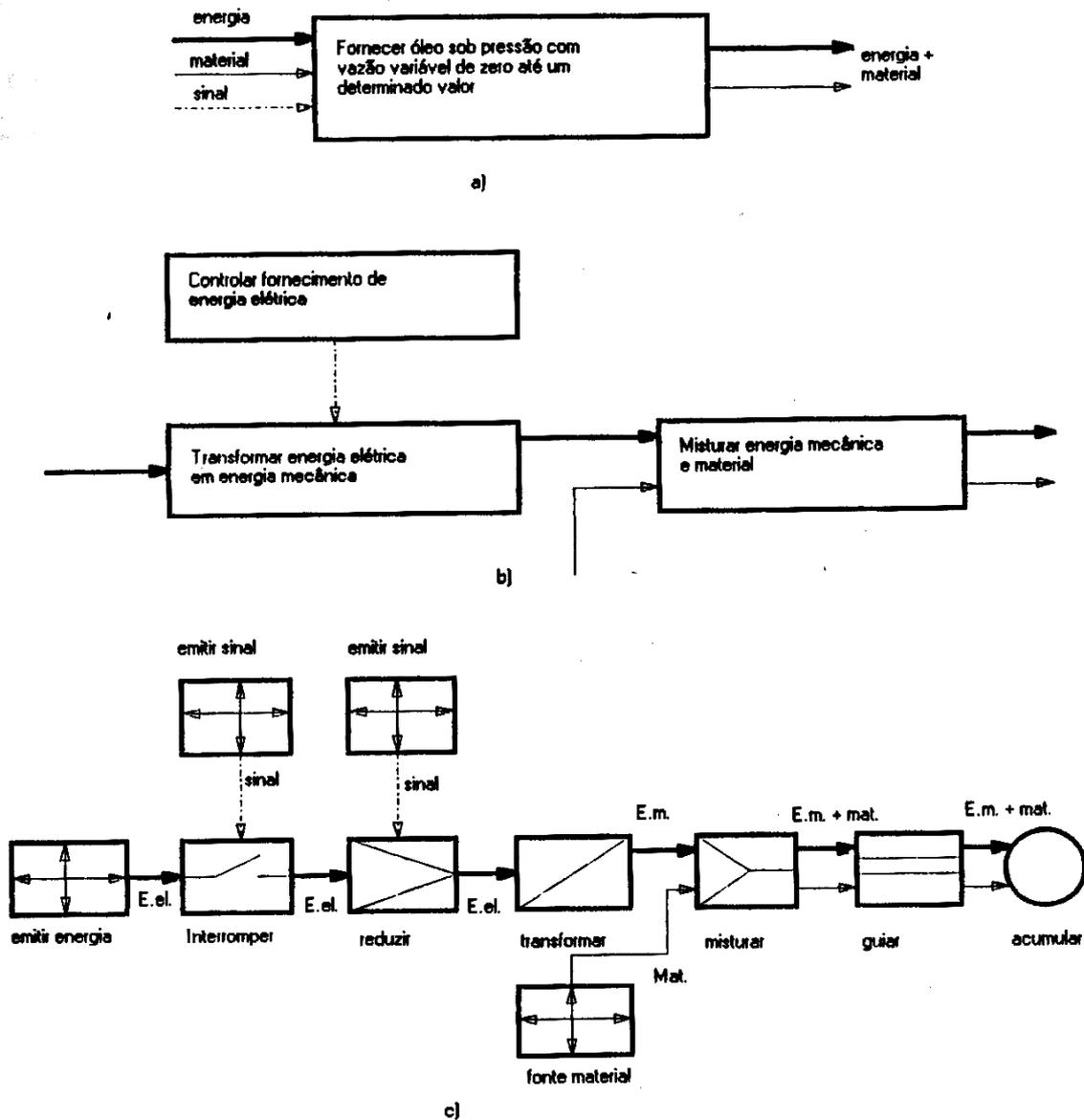


Fig. 5.8. Desenvolvimento da estrutura funcional de um sistema de bombeamento de óleo. a) Função global. b) Estrutura de funções parciais. c) Estrutura de funções elementares.

No segundo princípio de solução, resultou com as tampas com a boca para baixo, mas resolvendo desta forma fica mais fácil a função de testar posição, separar segundo uma posição e unir numa única posição. Agora que as tampas estão individualizadas, alimentadas seqüencialmente, desvirar é um problema fácil.

Passando agora ao exemplo da fig. 5.10 as alternativas, de estruturas funcionais descritas no item anterior, apresentam algumas diferenças que serão analisadas com o objetivo de escolher a melhor.

Na primeira, a forma de obter uma variação no fornecimento de óleo seria através de um variador ou redutor de freqüência ou tensão da energia elétrica que, então, permite uma variação da rotação do motor elétrico. Na segunda alternativa tem-se um motor elétrico mais simples, mas agora é necessário um redutor mecânico que permite uma variação contínua no eixo de saída que, geralmente, é do tipo de atrito ou hidráulico. O funcionamento das duas soluções é praticamente a mesma, dever-se-ia fazer uma análise mais detalhada de custos, durabilidade, rendimento, manutenção, para saber qual é a melhor. Como já descrito no item anterior, na terceira alternativa o motor ficaria sempre ligado, a interrupção do fornecimento poderia ser feito com uma embreagem e o mais igual a segunda alternativa.

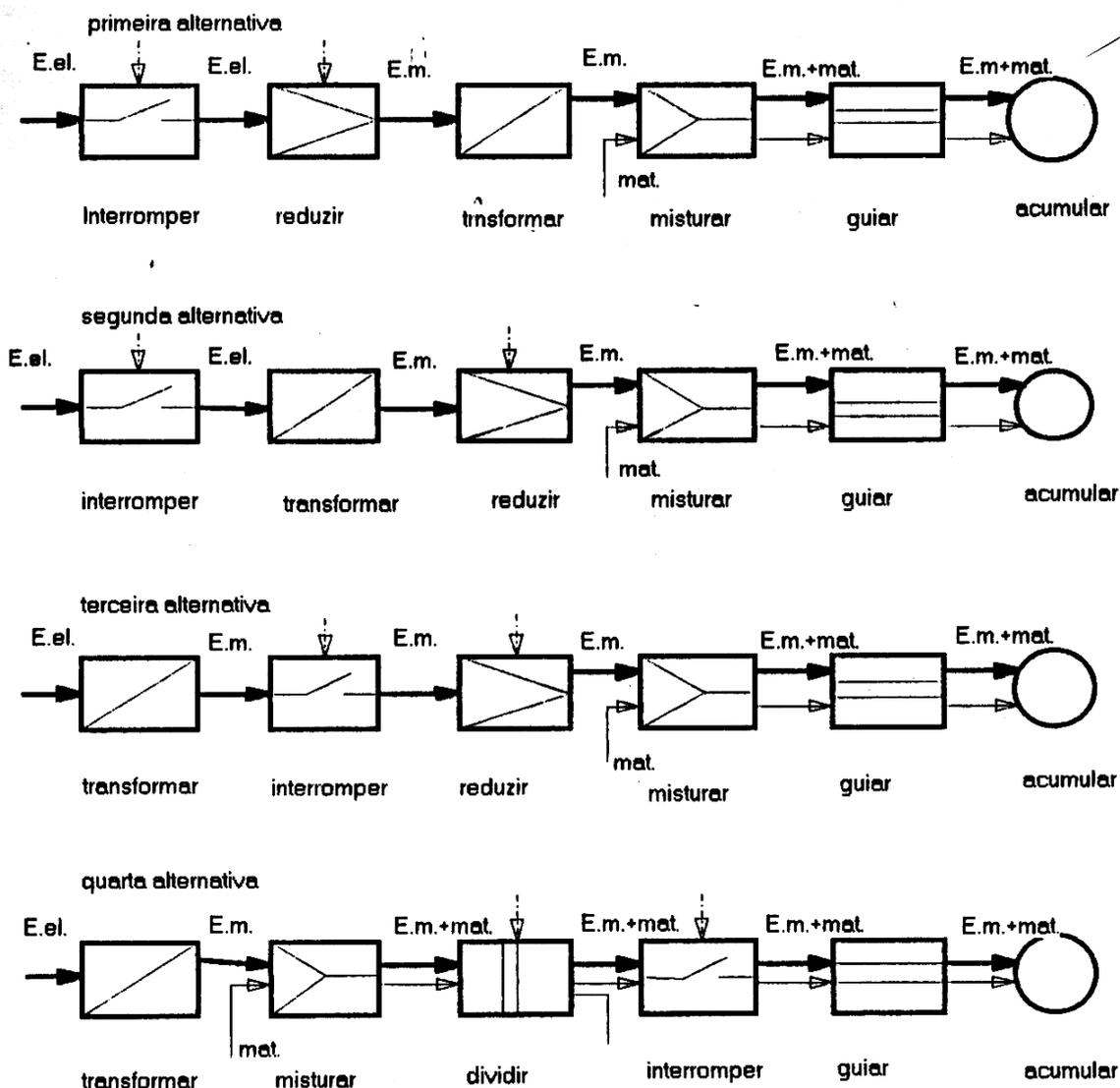


Fig. 5.9. Estruturas funcionais alternativas do sistema de bombeamento de óleo.

O custo de instalação deverá ser maior do que a anterior, sem contar o custo de operação, pois o motor deveria estar sempre ligado. Na quarta alternativa o custo de instalação inicial deve ser menor do que as anteriores, mas o custo de operação será maior porque o motor e a bomba estariam sempre ligados.

De acordo com o exposto conclui-se que as duas primeiras alternativas são as melhores, para decidir qual é a melhor será necessário um estudo mais detalhado, com os princípios de solução e as estruturas de princípios definidos, como será visto no próximo item deste capítulo. Assim, havendo dúvidas de qual estrutura funcional é a melhor, estas alternativas devem ser levadas adiante e, finalmente, adotar a metodologia de seleção como descrito no próximo capítulo.

5.6. DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA DE PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO.

Uma vez definida a estrutura funcional, o passo seguinte é a busca de princípios de solução alternativos para cada função da estrutura. Esta busca de princípios pode ser através de um levantamento da literatura técnica, de soluções adotadas em sistemas técnicos similares

existentes ou, como é uma tendência atual, através de catálogos ou bancos de dados de princípios de solução.

No item 5.4 foi proposta uma normalização de funções e uma respectiva representação gráfica da função. Então nestes catálogos ou bancos de dados, para cada função, poderão ser registrados os diferentes princípios de solução alternativos, com a respectiva descrição do princípio de funcionamento, representações esquemáticas e dados para o seu dimensionamento

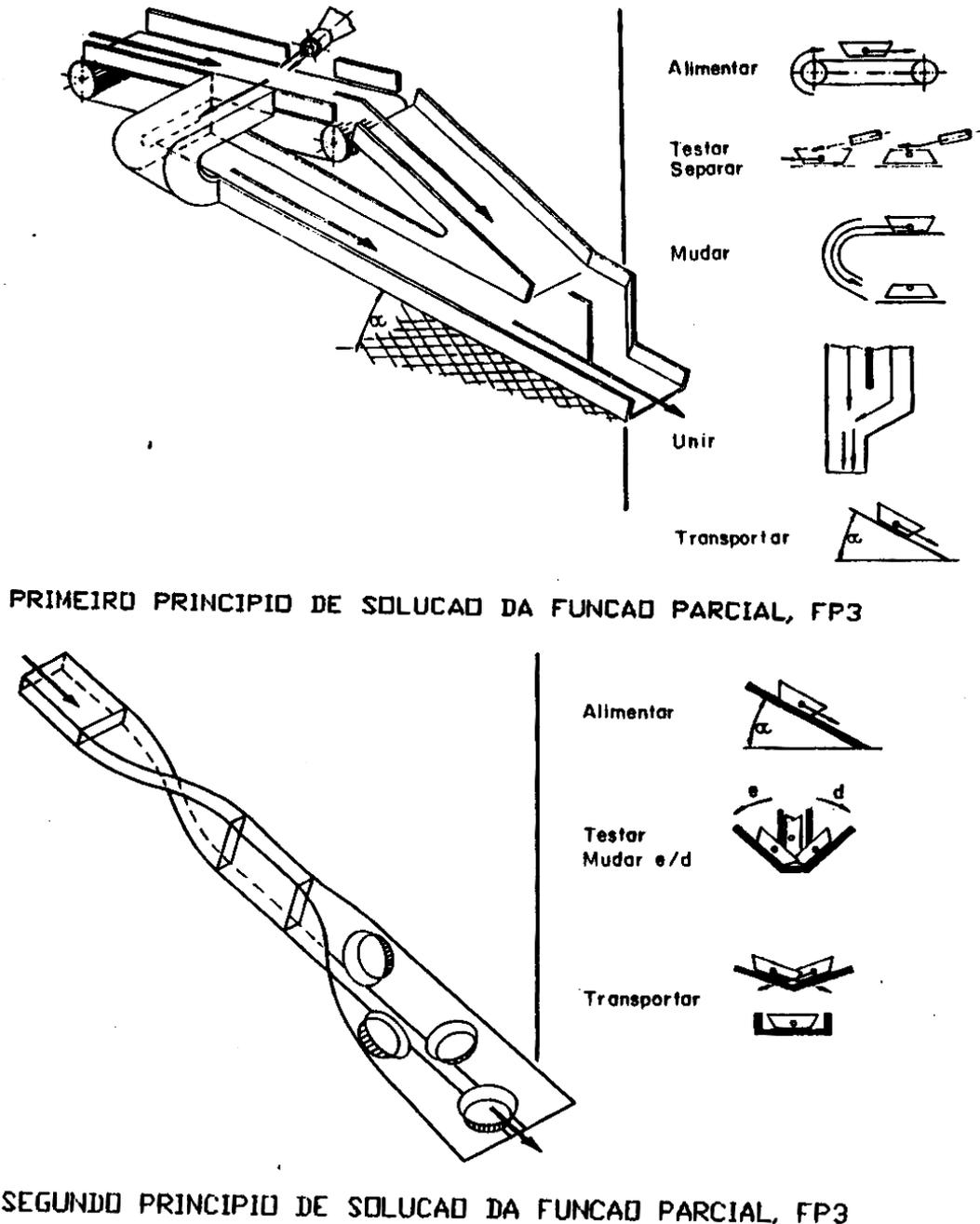


Fig. 5.10. Princípios de solução da função de orientar tampas.

e até, para o projeto detalhado. Propostas da forma de apresentação e organização destes bancos de dados, de princípios de solução, podem ser encontradas nas referências [5-1; 5-2; 5-4 e 5-11].

Encontrados os princípios de solução alternativos para cada função, o passo seguinte é arranjar os princípios de modo a facilitar a visão e a obtenção das estruturas de princípios de

solução, para a estrutura funcional global do problema em desenvolvimento. A forma recomendada, é colocar numa matriz, como já foi descrito no item 4.3.2.1, do método da matriz morfológica, onde na primeira coluna são listadas as funções e em cada linha, para cada função, os correspondentes princípios de solução encontrados ou gerados.

As demais etapas do desenvolvimento da concepção, pelo método da função síntese, podem ser elaboradas seguindo o mesmo procedimento descrito nos passos, 4^o ao 6^o, do método da matriz morfológica. Isto é, pela combinação dos princípios de solução das diferentes funções, obter estruturas alternativas de princípios ou concepções alternativas, selecionar a melhor solução como será descrito no capítulo 6 e, finalmente, a descrição da concepção escolhida.

5.7. INVERSO DO MÉTODO DA FUNÇÃO SÍNTESE.

Como foi descrito neste capítulo sempre se considerou um projeto por inovação ou seja, dada uma nova necessidade, dever-se-ia desenvolver um sistema partindo da função global e, progressivamente, estabelecer a estrutura funcional, buscar princípios de solução montando a matriz morfológica, definir as estruturas de princípios de solução, escolher a melhor solução para a concepção, até o projeto detalhado. Na grande maioria dos casos da prática, o que se tem é um produto que deve ser melhorado ou seja, é um problema de re-projeto de um sistema, quando se tem um sistema físico com desenhos de projeto detalhado. Para um re-projeto deste sistema, uma forma mais apropriada, é seguir o caminho inverso do método da função síntese, seguindo os passos descritos abaixo.

1^o Passo. Examinando o produto ou desenho técnico do mesmo, determinar as relações do sistema técnico com o meio ambiente: selecionar e analisar as interfaces, ou as entradas e saídas, como descritas no item 5.2 e mostradas na fig. 5.1 e, analisar e caracterizar o fluxo funcional entre as entradas e saídas.

2^o Passo. Determinação e descrição do princípio de funcionamento do sistema. Isto pode ser feito, primeiro, compondo os elementos funcionais, eliminando juntas ou uniões fixas e elementos de funções auxiliares, simplificando a configuração na forma adequada da função. Segundo, substituindo os elementos funcionais por símbolos adequados: os pontos de conexão por símbolos e ligar estes pontos de conexão através de linhas simples.

3^o Passo. Determinação e descrição da estrutura funcional: separar os grupos funcionais; representar o sistema por uma estrutura funcional e determinar as grandezas funcionais envolvidas e as relações de entradas e saídas de cada função da estrutura.

4^o Passo. Determinação e descrição da função global do sistema: função principal e secundárias.

5^o Passo. Uma vez estabelecida a estrutura funcional do sistema, segundo o terceiro passo, pode-se agora desenvolver estruturas funcionais variantes com o objetivo de encontrar uma estrutura melhor. Deste ponto em diante, pode-se seguir o procedimento normal do método da função síntese, objetivando uma variante melhorada do sistema anterior.

5.8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.

- 5-1. R. KOLLER. Konstruktionslehre für den Maschinebau. Springer Verlag. 1985.
- 5-2. G. PAHL und W. BEITZ. Konstruktionslehre. Springer Verlag. 1993.
- 5-3. V. HUBKA and W. E. EDER. Theory of Tehnical Systems. Springer Verlag. 1988.
- 5-4. K. ROTH. Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Springer Verlag. 1982.
- 5-5. W. G. RODENACKER. Methodisches Konstruieren. Springer Verlag. 1991.
- 5-6. M. S. HUNDAL. Research in Design Theory and Methodology in West Germany Design Theory and Methodology - DTM90, Ed. J. R. RINDERLE, Carnegie Mellon, Chicago, Illinois, Sept. 1990, pp. 235-238.

- 5-7. M. FIOD NETO. Desenvolvimento de Sistema Computacional para Auxiliar a Concepção de Produtos Industriais. Tese de Doutorado, CPGEM/UFSC, Florianópolis, 1993.
- 5-8. M. S. HUNDAL. A Systematic Method for Developing Function Structures. Mech. Mach. Theory, Vol. 25, nº 3, pp. 243-256.
- 5-9. D. G. ULLMAN. The Mechanical Design Process. McGraw-Hill, 1992.
- 5-10. F. L. AMORIM. Desenvolvimento de um Implemento para Abertura e Adubação de Sulcos no Plantio Direto. Dissertação de Mestrado. CPGEM/UFSC, Florianópolis, 1993.
- 5- 11. N. BACK. Metodologia de Projeto de Produtos Industriais. Editora Guanabarra Dois, 1983.