

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

ESTUDO SISTEMATIZADO DAS TÉCNICAS DO PPM  
- PROJETO PARA A MONTAGEM

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

DAVI LÚCIO DE MAGALHÃES OLIVEIRA

FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO DE 1990

ESTUDO SISTEMATIZADO DAS TÉCNICAS DO PPM  
- PROJETO PARA A MONTAGEM

DAVI LÚCIO DE MAGALHÃES OLIVEIRA

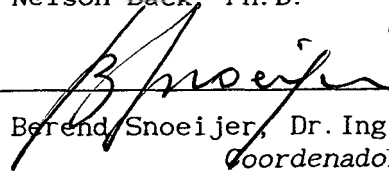
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO PROJETO,  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA.



Prof. Néelson Back, Ph.D.

*Orientador*



Prof. Berend Snoeijer, Dr. Ing.

*Coordenador do Curso*

BANCA EXAMINADORA:

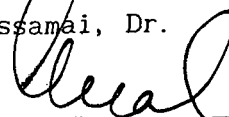


Prof. Néelson Back, PH.D.

*Presidente*



Prof. Osmar Possamai, Dr.



Prof. Longuinho da Costa M. Leal, M.Sc.

---

## RESUMO

---

Esta dissertação trata de técnicas de projeto relacionadas à otimização da montagem de um produto, conhecidas internacionalmente como Projeto Para a Montagem.

Em sua elaboração, adotou-se uma divisão sistematizada do produto em componentes, estrutura e métodos de união, atribuindo princípios de projeto a estes. O estudo foi feito partindo-se de uma metodologia geral de projeto, na qual foram salientados pontos potenciais para a aplicação destes princípios.

Também são considerados os sistemas de montagem e alguns métodos para a avaliação da montabilidade do produto.

---

## A B S T R A C T

---

This dissertation deals with design technics related to product assembly rationalization. Such technics are internationally known as Design For Assembly.

In the elaboration of this work, a systematic division of the product into components, structure and joining methods has been adopted. Appropriate design principles are assigned to each one of these features. From a general design approach some possibilities for the application of these principles are highlighted.

Also considered are assembly systems and some methods for product assemblability evaluation.



---

ESTUDO SISTEMATIZADO DAS TÉCNICAS  
DO PPM - PROJETO PARA A MONTAGEM

---

---

## SUMÁRIO

---

PREFÁCIO	vi
1. MONTAGEM	1
1.1 Por que montar?,	1
1.2 Operações de montagem,	3
1.2.1 Manipulação,	3
1.2.2 Composição,	3
1.2.3 Conferência,	4
1.3 Tipos de montagem,	8
1.4 O que é o Projeto Para a Montagem (PPM),	9
1.5 Porque aplicar as técnicas do PPM,	10
2. CONSIDERAÇÕES COM A MONTAGEM DURANTE O PROCESSO DE PROJETO	14
2.1 Introdução,	14
2.2 A questão dos atributos,	17
2.3 Antecedentes do projeto - os requisitos,	18
2.4 Desenvolvendo o produto,	19
2.4.1 Definição da estrutura,	24
2.4.2 Estrutura básica,	25
2.4.3 Estrutura quantificada,	28
2.4.4 Componentes - A idéia de superfície,	31
2.4.5 Componentes - O projeto,	34
2.4.6 Forma total,	37

### 3. ESTRUTURAÇÃO DO PRODUTO - PRINCÍPIOS DE PROJETO 39

- 3.1 Apresentação, 39
- 3.2 Princípios básicos, 40
  - 3.2.1 Projetar com clareza, 40
  - 3.2.2 Projetar simples, 41
  - 3.2.3 Projetar para a segurança, 42
- 3.3 Estrutura modular e normalização, 43
  - 3.3.1 Conceitos, 43
  - 3.3.2 Blocos estruturais, 44
  - 3.3.3 Módulos, 46
  - 3.3.4 Sistema modular, 47
  - 3.3.5 O papel da normalização, 50
- 3.4 Outros princípios de estruturação, 50

### 4. COMPONENTES - PRINCÍPIOS DE PROJETO 57

- 4.1 Introdução, 57
- 4.2 Considerações de orientação, 59
  - 4.2.1 Evitando orientar, 59
  - 4.2.2 Facilitando a orientação, 61
- 4.3 Considerações de transporte, 65
- 4.4 Considerações de inserção, 67

### 5. MÉTODOS DE UNIÃO 71

- 5.1 Introdução, 71
  - 5.1.1 Escolha do método de união, 72
- 5.2 Princípios gerais, 73
- 5.3 União por elementos separados, 75
  - 5.3.1 Parafusos, 76
  - 5.3.2 Rebites, 78
- 5.4 União sem elementos separados, 80
- 5.5 Elementos de união especiais, 83

## 6. SISTEMAS DE MONTAGEM 86

- 6.1 Características Gerais, 86
  - 6.1.1 Sistema de montagem em série, 89
  - 6.1.2 Sistema de montagem paralela, 90
- 6.2 Montagem manual e mecanizada, 91
- 6.3 Montagem automática - Fixa e flexível, 91
- 6.4 Equipamentos, 94
- 6.5 Robôs na montagem, 96
  - 6.5.1 Aspectos técnicos, 97
  - 6.5.2 Aplicações, 99
- 6.6 Os sistemas e o projeto ótimo de montagem, 100
  - 6.6.1 Objetivo 1: Produto de alta qualidade, 101
  - 6.6.2 Objetivo 2: Alta produtividade, 102
  - 6.6.3 Objetivo 3: Alta lucratividade, 103
  - 6.6.4 Objetivo 4: Bom ambiente de trabalho, 108

## 7. AVALIAÇÃO DA MONTABILIDADE 109

- 7.1 Introdução, 109
- 7.2 Planilha para análise da montagem manual, 111
  - 7.2.1 Analisando um produto, 117
  - 7.2.2 Analisando a planilha, 121
  - 7.2.3 Reprojetando a partir da planilha, 122
  - 7.2.4 Cálculo dos custos de montagem, 123
- 7.3 Planilha para a montagem automática, 124
  - 7.3.1 Analisando um produto, 139
  - 7.3.2 Analisando a planilha, 146
  - 7.3.3 Reprojetando a partir da planilha, 147
  - 7.3.4 Fazendo estimativas de custos, 149
  - 7.3.5 A codificação dos componentes, 153
- 7.4 Análise crítica das planilhas, 154

## 8. PERSPECTIVAS 157

8.1 A realidade brasileira, 157

8.2 As novas tendências, 158

8.3 Sistemas flexíveis de manufatura e montagem, 160

8.4 Robôs, 161

8.5 Inspeção automática e manipulação flexível, 162

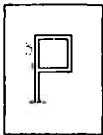
## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS 164

## REFERÊNCIAS 165

---

## P R E F Á C I O

---



PROJETO PARA A MONTAGEM (PPM) é um tema extremamente abrangente. As para a sua plena aplicação se estendem por diversas áreas como meios de produção, sistemas de montagem (que inclui considerações com mão de obra e máquinas), materiais, gerenciamento, etc, além, é claro, de considerações, indispensáveis, com o projeto do produto.

Para se tornar possível um trabalho num assunto desta natureza, algumas restrições se fizeram necessárias. De um modo geral, todos os aspectos envolvidos foram considerados, com ênfase no projeto do produto, que se tornou o tema principal.

O capítulo 1 trata de uma introdução ao assunto onde a montagem, como conceito e como função industrial, é apresentada. Uma breve passagem por sistemas de montagem, a nível introdutório, e apresentação do PPM encerram o capítulo.

No capítulo 2, são discutidas as considerações com a montagem durante o projeto de um produto, porque, em última análise, é onde surgem todos os problemas de montabilidade a serem solucionados. Porém, este capítulo por si só não é suficiente para considerar todos os aspectos importantes da montagem. Os capítulos 3, 4 e 5 contêm princípios também importantes que servirão de ferramentas para o trabalho do projetista. Estes princípios são aplicáveis nas etapas salientadas durante a apresentação da metodologia de projeto, no capítulo 2. Isto quer dizer o seguinte: se o projetista se encontra trabalhando nos componentes, deverá se referir ao capítulo 4; na necessidade de otimizar a estrutura, deverá consultar o capítulo 3; elementos de união, capítulo 5.

O capítulo 6, Sistemas de Montagem, desenvolvendo a introdução ao assunto do capítulo 1, também é complementar à metodologia, já que um trabalho ótimo de PPM inclui decisões acerca do sistema de montagem a ser empregado. Como se verá, cada sistema tem as suas exigências e considerações, além de apresentar resultados característicos em função de sua concepção. Este é um subtema complexo e abrangente e o que é apresentado é uma noção da importância dos sistemas de montagem no planejamento do produto.

Estes seis capítulos é que constituem a ênfase deste trabalho. Adicionalmente tem-se os capítulos 7 e 8 que têm função de enriquecimento, ao se discutir a avaliação da montabilidade e perspectivas futuras, respectivamente.

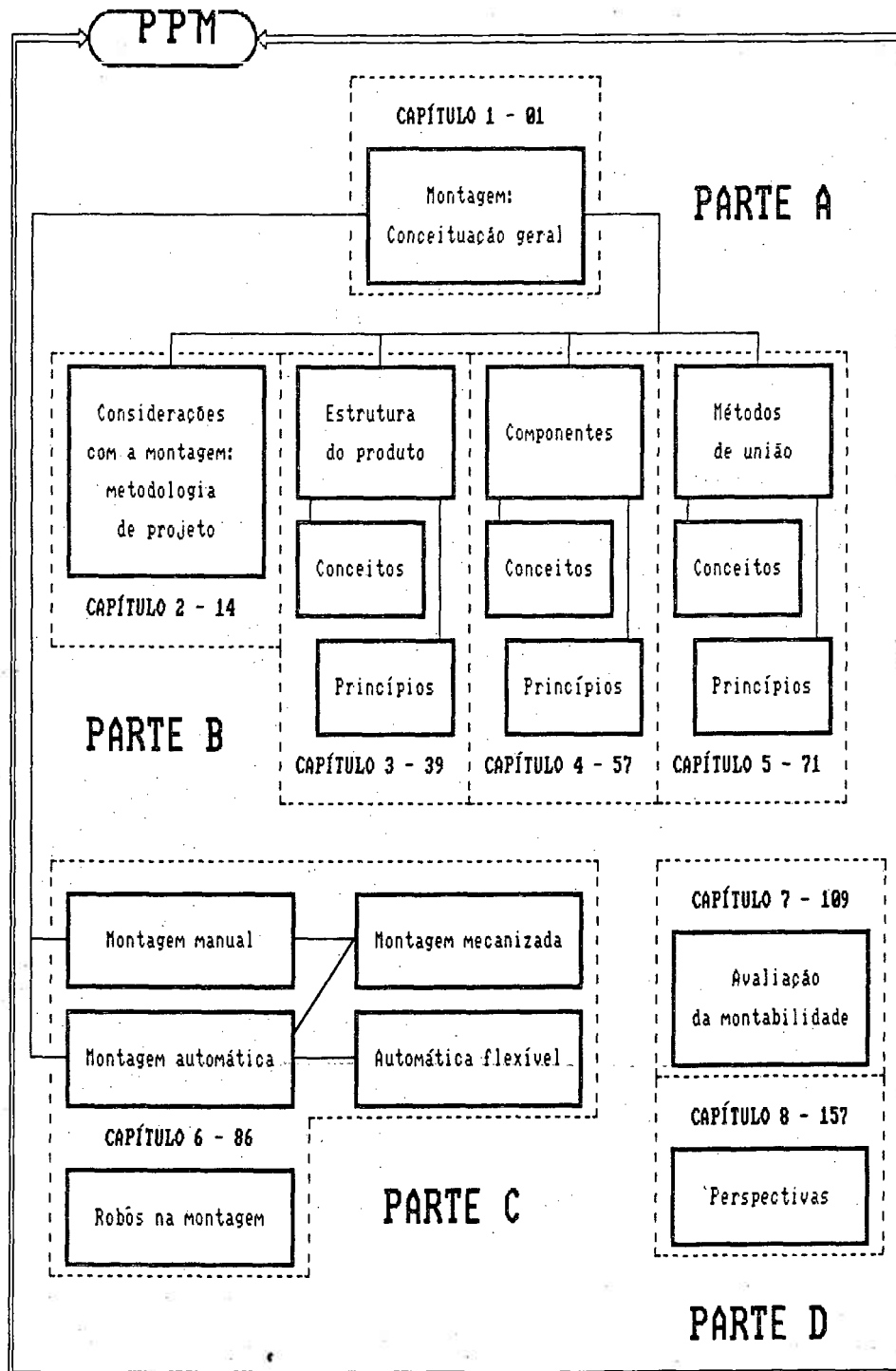
Como guia de leitura, para que o leitor se oriente quanto ao conteúdo e localização deste, sem perder de vista a noção de conjunto, é apresentado, a seguir, um guia de referência rápida onde os capítulos são agrupados em quatro grupos distintos:

**Parte A** - Introdução

**Parte B** - Metodologia e princípios

**Parte C** - Sistemas de montagem

**Parte D** - Complementação



Conteúdo do trabalho - Guia de referência rápida



O ASPECTO FÍSICO DO TRABALHO

Na elaboração, redação e impressão desta dissertação, cuidado especial foi tomado com a disposição do texto ao longo dos capítulos. Foram adotadas algumas convenções. As páginas que contêm apenas figuras estão demarcadas com uma faixa dupla em sua margem inferior. Isto facilita a identificação destas, quando da leitura do texto, evitando a tendência a se continuar a ler, na página seguinte, o texto que vinha sendo acompanhado, caso o leitor se depare com uma página de ilustrações. Neste caso, pode-se facilmente identificar que o restante do texto não se encontra ali, saltando tal página. Além disto, pela continuidade desta faixa, pode-se saber a extensão de determinada figura, caso ocupe mais de uma página. É o caso das planilhas do capítulo 7.

Outra convenção utilizada foi a inserção de quadros, com conceitos e comentários, ao longo do texto, em substituição a rodapés. Normalmente a informação contida nestes quadros são relacionadas ao tema em questão, mas não necessariamente uma continuação do pensamento que está sendo desenvolvido. Podem ser vistos como enriquecimento ao assunto.

De um modo geral, procurou-se adotar um aspecto de livro, seguindo o estilo das edições mais modernas de algumas editoras internacionais. As razões para isto são várias e cabe destacar que certamente a leitura de um texto, principalmente quando é longo como o que se segue, torna-se mais agradável e estimulante se o aspecto visual do mesmo é bem cuidado. Não há razão alguma para que as dissertações da área técnica sejam publicadas como uma simples sucessão de títulos, subtítulos, frases e equações, sem a menor preocupação com o efeito que isto causa no leitor. É uma questão até de ergonomia. Afinal o texto não é uma interface entre o autor e o leitor? Pois então cabe a este comunicar, bem e com eficiência.

## MONTAGEM

## 1.1) POR QUE MONTAR?



necessidade de montar um produto talvez não seja perfeitamente compreensível à primeira vista. Aos olhos do leigo simplesmente "parece" que deve ser assim já que "todo produto passa por uma etapa de montagem" e que "se montar não fosse tão natural, os produtos industriais seriam produzidos em uma só peça".

Até certo ponto, esta é uma afirmação verdadeira. O objetivo de um produto ou máquina é executar determinadas funções. A montagem seria desnecessária apenas nos produtos muito simples que, embora constituídos de apenas um único componente, sejam capazes de desempenhar integralmente a sua função. Considerando-se um produto completo, tem-se como exemplos borrachas escolares, réguas simples, clipes para papel. Caso se considere como produto determinados componentes que entrarão na composição de outros produtos mais sofisticados, tem-se arruelas, parafusos, certos rebites, alguns tipos de molas, etc.

Portanto, eliminar a montagem só é possível em produtos muito simples e, no caso de aparelhos mais sofisticados, deve-se aceitar a necessidade desta.

Como ilustrado na figura 1.1, a montagem é necessária quando se requer [1]:

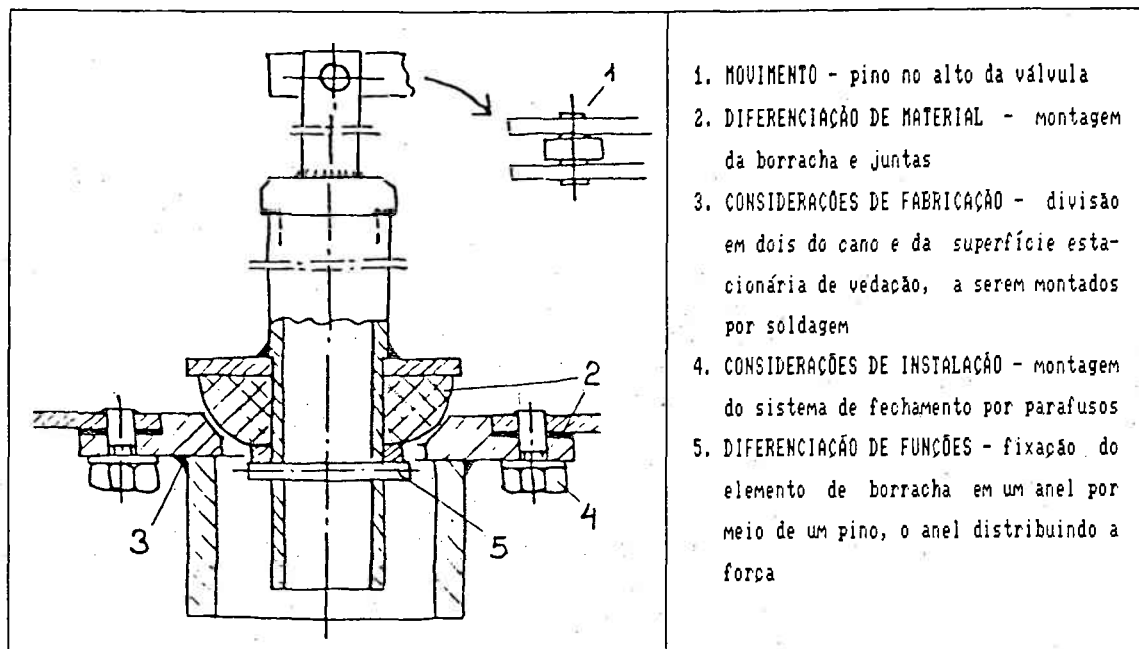


Fig. 1.1 Por que montar? [1]. Algumas situações onde a montagem é necessária.

1. GRAUS DE LIBERDADE (movimento) - vários elementos devem usufruir de mobilidade com o intuito de desempenharem a função;
2. DIFERENCIAÇÃO DE MATERIAL - a realização da função depende de características de determinado material;
3. CONSIDERAÇÕES DE FABRICAÇÃO - algumas partes são mais facilmente produzidas com a subdivisão das mesmas;
4. CONSIDERAÇÕES DE INSTALAÇÃO (reposição) - quando o produto é parte integrante de um sistema maior, fixo, além das etapas normais de montagem para a sua produção, irá requerer montagem aparte, posterior, para ser instalado no local de uso. Partes que serão substituídas após certo tempo de trabalho (manutenção) se enquadram neste caso;
5. DIFERENCIAÇÃO DE FUNÇÕES - uma função pode ser executada por um simples agente ou uma combinação de vários na forma de mais elementos;
6. CONDIÇÕES FUNCIONAIS PARTICULARES - no sentido de aperfeiçoar requisitos como facilidade de acesso, inspeção, limpeza, etc. Isto pode necessitar uma divisão em elementos;
7. CONSIDERAÇÕES DE PROJETO - requisitos estéticos podem provocar a divisão da forma a qual, conseqüentemente, irá requerer montagem e

8. CONSIDERAÇÕES DE TRANSPORTE - um produto pode ser desmembrado em partes para facilitar ou mesmo possibilitar seu transporte. É o caso de grandes equipamentos e sistemas que, após fabricados, deverão ser montados para que possam funcionar. Produtos frágeis, para maior proteção no transporte, também podem ser embalados semidesmontados.

## 1.2) OPERAÇÕES DE MONTAGEM

A montagem é a principal etapa na finalização do processo de produção. É um processo complexo durante o qual o produto gradualmente ganha forma pela união de componentes e submontagens.

O processo de montagem pode ser dividido em funções básicas constituintes [1]: manipulação, composição e conferência (fig. 1.2). Estas funções básicas podem ser subdivididas em uma série de operações entre as quais se encontram armazenamento, transporte e posicionamento. Estas, por sua vez, também podem ser subdivididas, como ilustram as figuras 1.3 e 1.4.

### 1.2.1) MANIPULAÇÃO

Constitui-se dos processos de seleção e preparação dos componentes para a COMPOSIÇÃO ou CONFERÊNCIA e transporte para sistemas subsequentes (produção, montagem ou embalagem).

### 1.2.2) COMPOSIÇÃO

O objetivo é criar uma conexão, relativamente permanente, entre os componentes. O processo de composição abrange os métodos de união que podem ser executados, conforme a classificação abaixo, por meio de [1]:

FORMA - suportes de apoio, embutimento, encaixes, enchimento;

FORÇA - com o auxílio de atrito ou campo de força (inércia, magnetismo) e

MATERIAL - colas, soldas, etc.

## 1.2.3) CONFERÊNCIA

São processos pelos quais a presença e a posição dos componentes são conferidas em adição à qualidade do produto final. Subprocessos podem incluir MANIPULAÇÃO em adição às operações especiais de conferência (medição, comparação e rejeição). Se operações adicionais de MANIPULAÇÃO e COMPOSIÇÃO são requeridas após a CONFERÊNCIA, pode-se falar de AJUSTAGEM.

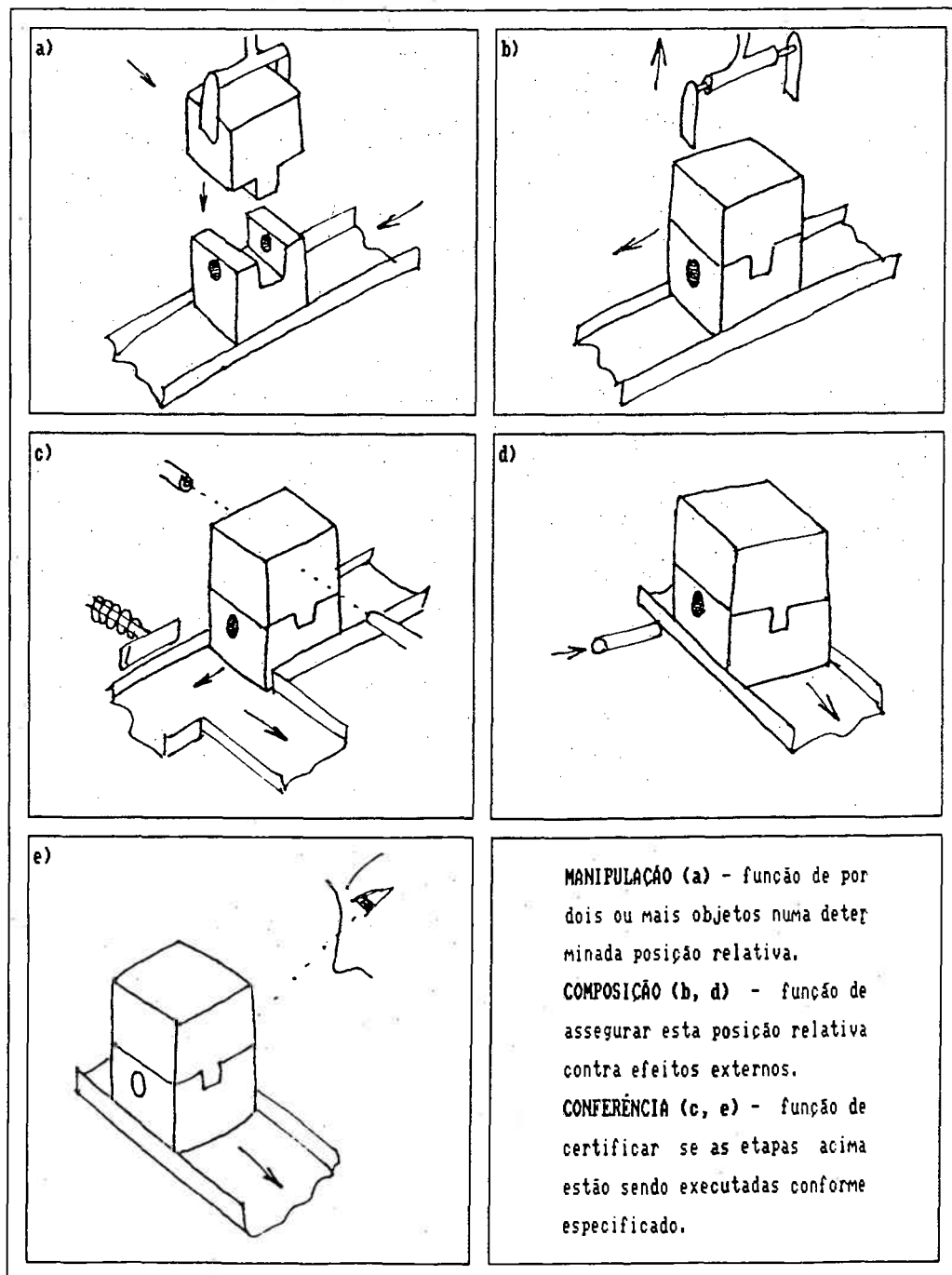


Fig. 1.2 Interrelação entre as funções básicas da montagem.

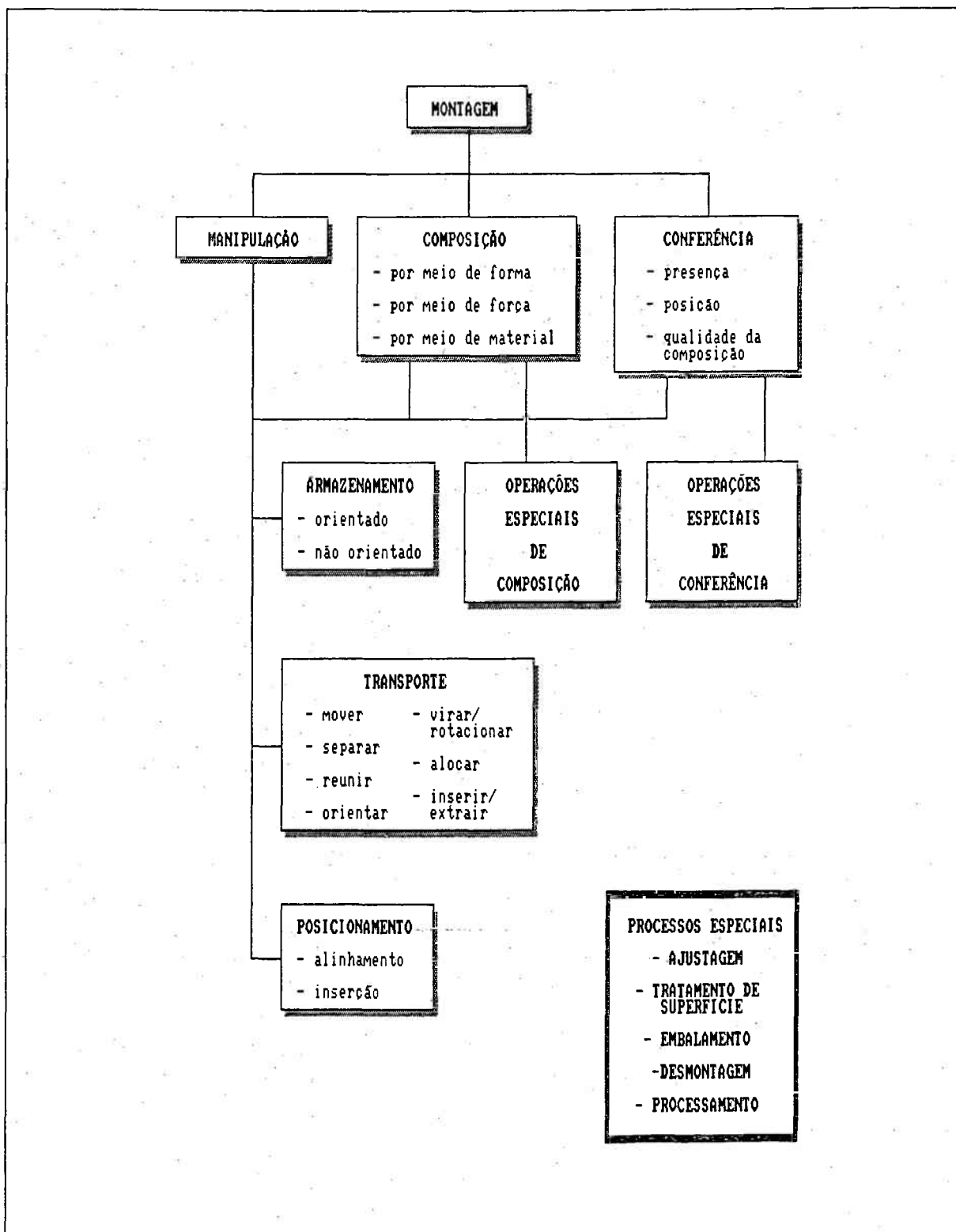


Fig. 1.3 Operações de montagem [1].

## MANIPULAÇÃO

### ARMAZENAMENTO

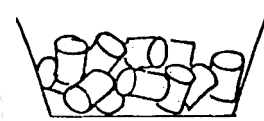
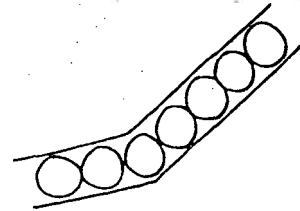
Processo função do tempo pelo qual componentes são armazenados antes ou após a manipulação, composição e conferência.

#### ORIENTADO

Armazenamento em função do tempo de componentes orientados.

#### NÃO ORIENTADO

Armazenamento em função do tempo de componentes ainda não orientados.



### POSICIONAMENTO

Processo com o objetivo de orientar um componente em relação ao outro.

#### ALINHAMENTO

Posicionamento de um componente em uma ou mais direções axiais em relação ao componente de base.

#### INSERÇÃO

Reposicionamento do componente em relação ao componente de base, resultando na posição final.

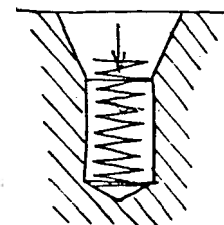
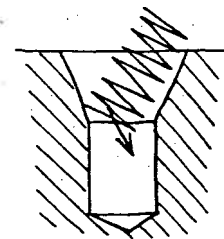


Fig. 1.4 Operação de manipulação: detalhamento [1].

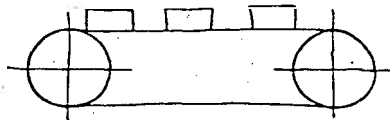
**TRANSPORTE**

Processo com o objetivo de mover e orientar os componentes de acordo com as exigências dos processos de composição e conferência.

**M O V E R**

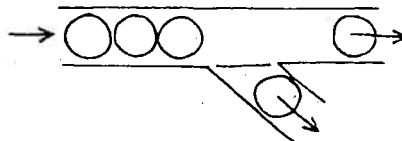
Reposicionamento constante ou indexado dentro do sistema de montagem.

Se esta operação é executada por um operador ou robô, haverá três fases: reconhecer, pegar e mover.



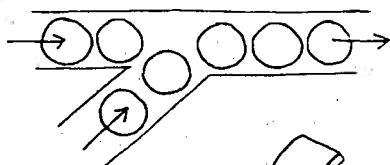
**S E P A R A R**

Divisão de um fluxo simples de componentes em dois ou mais fluxos.



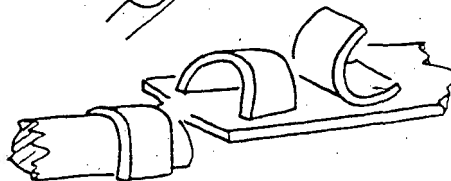
**R E U N I R**

Reunião de dois ou mais fluxos de componentes.



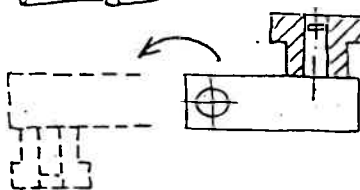
**O R I E N T A R**

Orientação do fluxo de componentes em relação ao sistema.



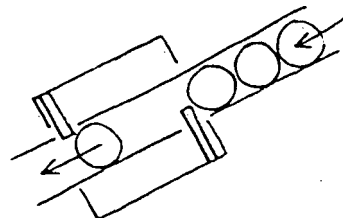
**V I R A R / R O T A C I O N A R**

Orientação dos componentes dentro de um fluxo em relação ao sistema.



**A L O C A R**

Liberação de determinado número de componentes de um fluxo, para o sistema.



**I N S E R I R / E X T R A I R**

Posicionamento do componente em uma ferramenta, remoção do componente.

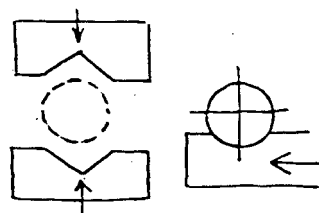


Fig. 1.4 Continuação.



### 1.3) TIPOS DE MONTAGEM

A expressão "tipos de montagem" refere-se, num sentido mais preciso, ao grau e tipo de mecanização do sistema de montagem empregado.

SISTEMA DE MONTAGEM: é uma estrutura integrada de máquinas e operadores que efetua a construção de subsistemas ou produtos acabados com determinadas características, empregando componentes ou, se necessário, material amorfo (colas e outros). Esta integração é obtida usando-se um processo onde as operações necessárias são integradas considerando-se material, energia e transformação [1].

Os sistemas de montagem mais largamente empregados são os seguintes [1]:

**MONTAGEM MANUAL** - A montagem é executada por um montador que dispõe de equipamentos auxiliares simples e principalmente passivos, tais como mesas, fixadores, caixas para componentes, esteiras de transporte e ferramentas manuais.

**MONTAGEM AUTOMÁTICA** - Um sistema de máquinas que segue um programa lógico definido previamente. O sistema toma decisões baseado no programa. A sequência das tarefas acontece como resultado das condições do sistema e das entradas e realizam a ação necessária.

Um sistema intermediário entre os anteriores seria:

**MONTAGEM MECANIZADA** - Um sistema de montagem híbrido, onde algumas operações são realizadas manualmente e outras através de dispositivos mecânicos. Se as máquinas envolvidas são automáticas (programáveis), pode-se falar em sistema semi-automático, onde as operações manuais são adaptadas ao programa das máquinas.

Há ainda um conceito de sistema que vem sendo largamente pesquisado hoje em dia e demonstra ser a tendência atual:

MONTAGEM FLEXÍVEL - É um sistema que permite variações de determinadas características do produto. Flexibilidade não é um conceito preciso; geralmente significa "a habilidade de mudar ou transformar", tanto passivamente como ativamente. A flexibilidade de um sistema é uma característica estrutural. De acordo com os parâmetros considerados, a flexibilidade pode ser em relação a seis elementos [1]:

- flexibilidade com relação ao planejamento significa a facilidade de uso dos elementos do sistema ao se projetar um sistema de montagem;
- flexibilidade com relação ao funcionamento significa o grau de sofisticação, instalação isenta de problemas e uso dos elementos do sistema dentro da concepção desejada;
- baixa suscetibilidade significa robustez contra falhas dimensionais ocasionais e componentes errados alimentados no sistema de montagem;
- versatilidade significa a habilidade do sistema de aceitar variantes diferentes, planejadas em operações de montagem sem requerer maiores adaptações;
- flexibilidade em relação à adaptabilidade significa a capacidade do sistema de ser adaptado para novas operações, imprevistas, sofrendo mudanças mínimas e
- flexibilidade em relação à reutilização significa a habilidade do sistema em ser subdividido, reconstruído e parcialmente reutilizado para novas operações de montagem.

A flexibilidade é uma característica útil do sistema, a qual deve ser decidida de acordo com a estratégia da produção, operações, necessidade de flexibilidade e investimentos aceitáveis.

#### 1.4) O QUE É O PROJETO PARA A MONTAGEM (PPM)?

Segundo POLI, GRAVES e GROPETTI [2], a montagem é responsável por 25 a 50% do custo de manufatura da maioria dos bens de consumo e além disto, tipicamente consome cerca de 40 a 60% do tempo total de fabricação [1]. Portanto, um programa efetivo de redução de custos deveria começar com o reprojeto de partes e produtos para que sejam facilmente montados. Por

isso, ao longo de anos passados, muita atenção foi dedicada em se desenvolver métodos que ajudem a reduzir os custos gerais de montagem. Tais métodos são conhecidos como PPM - Projeto Para a Montagem.

Os dois principais fatores afetando o custo da montagem de um produto são [2]:

- o número de partes e
- a facilidade com que as partes podem ser manipuladas (transportadas, orientadas e preposicionadas) e montadas (inseridas, fixadas e instaladas).

No exterior, os procedimentos do PPM são agora amplamente seguidos pela indústria e estão promovendo vantagens que não são apenas reduções nos custos de montagem. Na verdade, projetos simplificados resultantes do uso das técnicas do PPM muitas vezes levam à uma redução no custo das partes, significativamente maior que no custo de montagem. O projeto de dispositivos para a montagem também se torna mais simples [28]. Outras vantagens, mais difíceis de quantificar, incluem reduções em inventários e manutenção de registros, além de aperfeiçoamentos no fluxo de materiais e da produção.

A análise do PPM é a chave para se fazer produtos que são fáceis de se fabricar e deveria ser aplicada mesmo quando os custos de montagem em si são relativamente pequenos.

### 1.5) PORQUE APLICAR AS TÉCNICAS DO PPM

Cada vez mais tem-se constatado que o custo de manufatura de um novo produto é essencialmente fixado nas primeiras fases do projeto. Uma vez que o projeto do produto seja estabelecido, será muito tarde para se fazer os tipos de mudanças radicais que poderiam resultar em reduções expressivas dos custos de manufatura. Infelizmente, estimativas confiáveis de custo, as quais poderiam afetar as decisões de projeto, raramente são disponíveis até que o detalhamento dos componentes tenha sido efetuado e os planos de processamento preparados [3].

Esta é uma razão pela qual os métodos do PPM têm sido usados para se efetuar reduções nos custos de manufatura. O PPM exige que os projetistas vejam o projeto do produto como um todo e procurem um projeto que contribua para uma montagem eficiente.

As considerações para uma otimização do produto são extremamente abrangentes e incluem:

- cuidados quanto ao projeto de componentes;
- considerações quanto à estruturação do produto;
- avaliação de sistemas de montagem a serem utilizados;
- avaliação da capacidade de produção atual, recursos técnicos e meios de produção disponíveis ou possíveis de serem adquiridos pela empresa ou fornecidos por terceiros, sob a forma de prestação de serviço;
- necessidade de total integração entre os diversos setores da fábrica envolvidos no desenvolvimento e produção do produto, desde a mais preliminar das etapas de projeto e
- necessidade de grande disciplina e conhecimento, por parte do projetista, em relação à aplicação da metodologia e técnicas do PPM.

Como já foi dito, os custos de montagem são proporcionais ao número de partes do produto. O PPM implica em reduzir o número de partes separadas a um mínimo e fazer as restantes o mais fácil possível de serem montadas. As vantagens disto em termos da redução do custo total de manufatura e melhoria da confiabilidade são bastante concretas.

Entretanto, na manufatura de componentes, o PPM leva os projetistas a uma direção oposta aos princípios tradicionais de manufatura. As linhas mestras da manufaturabilidade (facilidade do componente ser produzido) foram desenvolvidas na premissa de que é sempre melhor projetar componentes tais que os mais simples métodos de processamento individual sejam usados. Regras como "projete componentes em chapas metálicas com duas bordas paralelas", "mantenha linhas de flexão em um único plano", guiam o usuário a projetar partes simples que têm baixos custos individuais de ferramentas e processamento. Entretanto, levadas em conjunto ao nível do produto, estas partes geralmente representam um projeto deselegante que tem altos custos de montagem e baixa confiabilidade (figura 1.5-a).

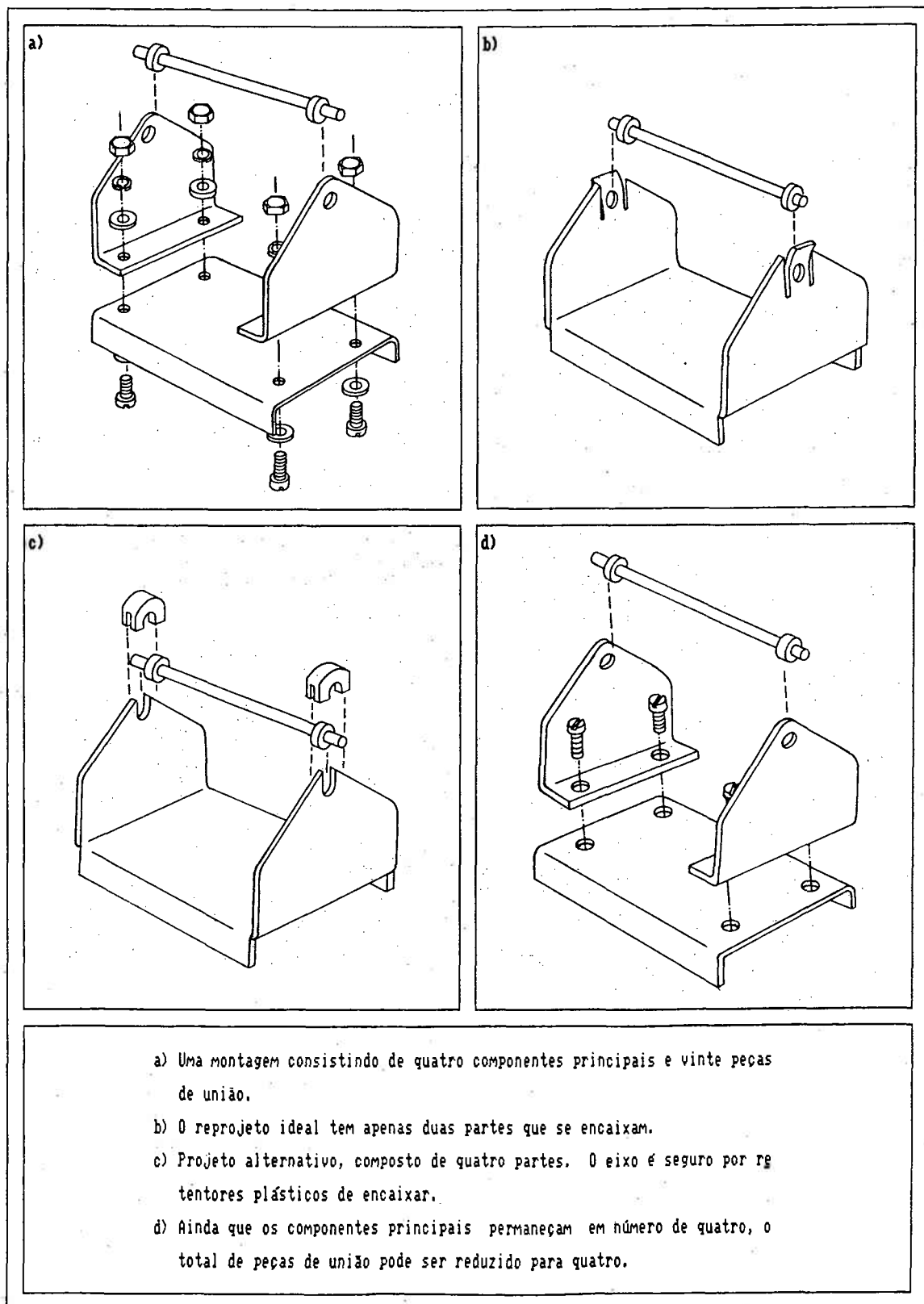


Fig. 1.5 Projetos alternativos de montagem [4].

O PPM, na verdade, é uma parte da metodologia do Projeto Para a Manufatura (PPMf) que tira o máximo proveito de processos e materiais. No PPMf, materiais e processos de manufatura são cuidadosamente selecionados nas primeiras fases do projeto.

Normalmente, os métodos do PPM resultam em partes individuais complexas que contêm o maior número possível das características necessárias (figuras 1.5-b e 1.5-c). Outra opção de projeto é apresentada na figura 1.5-d.

Deste modo, o projeto resultante tem mínima quantidade de partes, baixo custo total de manufatura, baixo custo de montagem e maior confiabilidade.

## CONSIDERAÇÕES COM A MONTAGEM DURANTE O PROCESSO DE PROJETO

### 2.1) INTRODUÇÃO

**D**urante o projeto de um produto, vários aspectos são considerados: manutenção, confiabilidade, manufatura, custo, etc. Para facilitar a ponderação destes aspectos no desenvolvimento do produto, diversas técnicas de análise têm sido propostas, normalmente enfatizando um determinado aspecto em particular. Por exemplo: Projeto Para a Manutenibilidade, Projeto Para a Confiabilidade.

Também existem tentativas de sistematização do processo geral de projeto propostas por alguns autores, baseados no fato de que tais métodos sistematizados ajudam a organizar o fluxo de idéias do projetista e agilizam o processo. Nota-se que algumas etapas em comum existem entre estas sistematizações:

- fase 1 - Apresentação, análise do problema e levantamento de requisitos (especificações)
- fase 2 - Concepção do produto (idealização)
- fase 3 - Desenvolvimento da concepção (projeto detalhado)
- fase 4 - Finalização do projeto

Uma sistematização interessante, proposta por Pahl e Beitz [5, 20], onde se distingue claramente estas fases, é apresentada na figura 2.1.

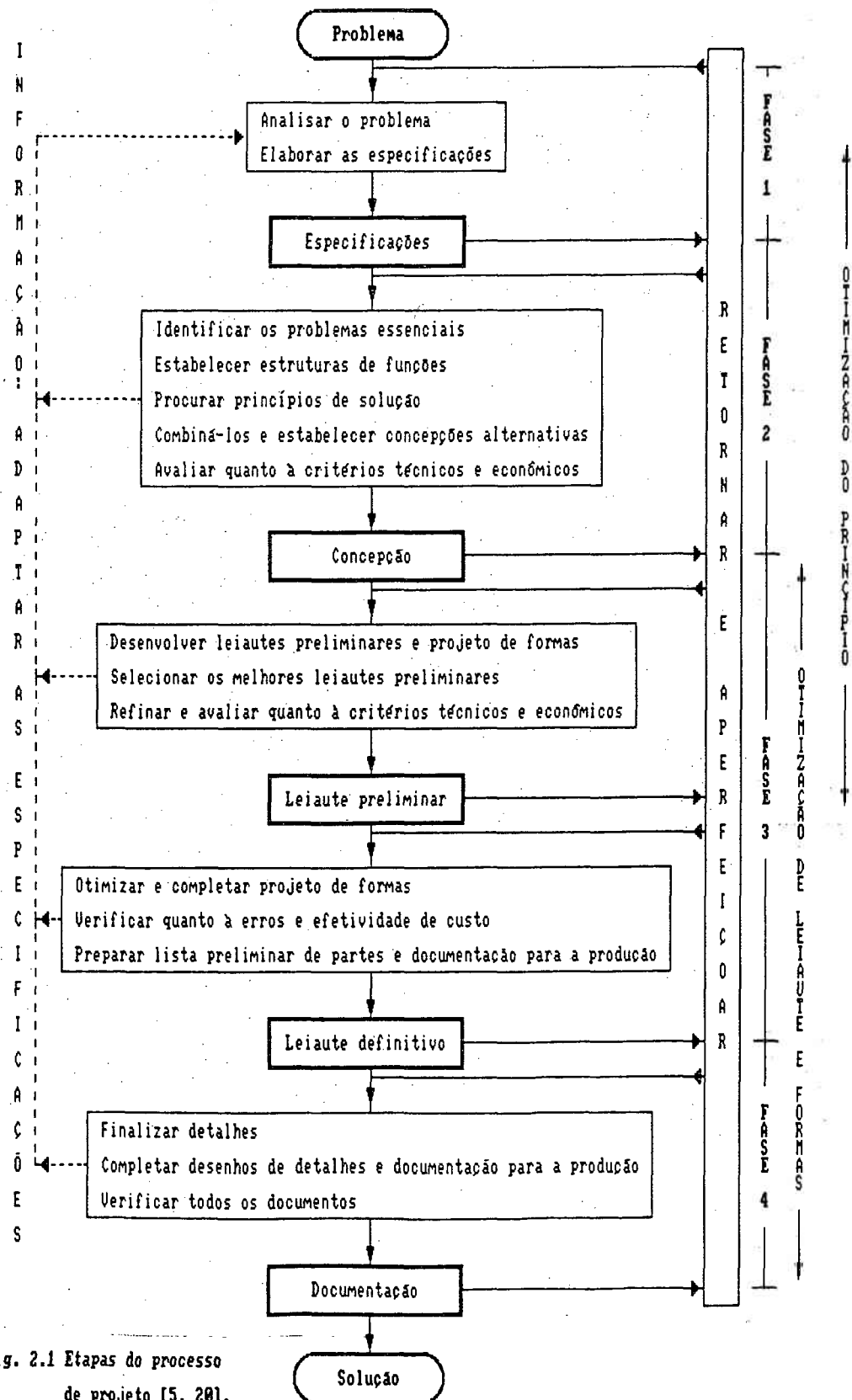


Fig. 2.1 Etapas do processo de projeto [5, 20].



Entretanto, cabe notar que em muitas destas metodologias não se inclui o aspecto da montabilidade, algumas vezes tratado superficialmente quando se discute Projeto Para a Manufatura.

Como foi salientado no capítulo anterior, qualquer produto mais complexo terá que ser submetido à processos de montagem. Quanto antes esses processos forem considerados, melhor será o resultado final. Com este objetivo, neste capítulo será desenvolvida uma metodologia que, adicionalmente aos procedimentos normais da atividade de projeto, apresente uma ênfase quanto aos procedimentos que podem ser adotados para, no mínimo, melhorar a montabilidade do produto. Como o que se pretende não é recriar metodologias já existentes e sim dar novo enfoque ao tema, é tomada como base a sistematização de Pahl e Beitz, já referida. Observe-se que nesta é dado maior destaque à estruturação do método de projeto. Deve-se ressaltar, porém, que esta não é uma estrutura rígida já que cada caso de projeto tem as suas necessidades individuais que implicarão em alterações, maiores ou menores, na seqüência apresentada na figura 2.1.

Ainda como referência será usada a "Síntese do Produto", figura 2.2, apresentada por Tjalve [6] onde se destaca, predominantemente, o desmembramento analítico de um produto em funções, estrutura, componentes, etc, que serão tratados, neste trabalho, como atributos finais do produto.

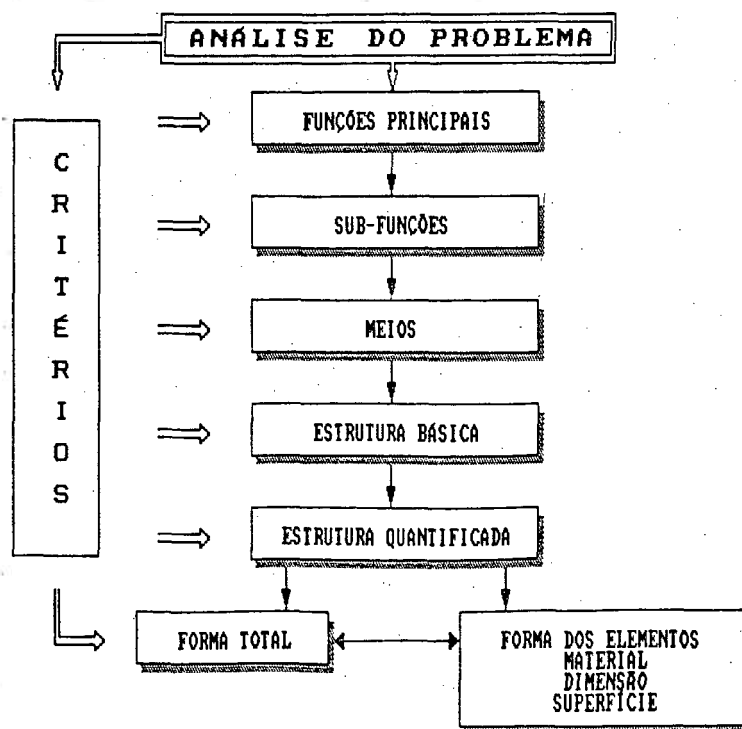


Fig. 2.2 Síntese do produto [6].

## 2.2) A QUESTÃO DOS ATRIBUTOS

As características (atributos) que um produto apresenta após ser fabricado são várias e podem ser analisadas considerando-se diversos aspectos. Embora os atributos só se encontrem definidos após o término da atividade de projeto, neste trabalho eles serão tratados antes do desenvolvimento da metodologia pois a estruturação proposta para esta os terá como base.

Do ponto de vista de projeto orientado para a montagem, cinco características se mostram úteis para o desenvolvimento da metodologia e aplicação dos princípios do PPM (referir-se à figura 2.2). Estas características podem ser chamadas de básicas pois em conjunto definem completamente o produto.

Tais são [6]:

Do produto como um todo: - estrutura.

De cada componente:

- forma;
- material;
- dimensão e
- superfície.

Antes de se apresentarem como definitivas, durante o processo de projeto estas cinco características sofrem constantes alterações e adaptações. É importante enfatizar que estas são as variáveis que o projetista pode manipular. Um produto é criado através de decisões sucessivas nestas variáveis. Desta maneira, todas as outras características serão derivadas destas cinco básicas.

A exploração das características dos componentes durante o projeto revela-se de grande valia para melhor adequar o produto aos objetivos do PPM. Esta abordagem será tratada, em maiores detalhes, no item 2.4.5. A estrutura, que no seu desenvolvimento é obtida por duas etapas, estruturas básica e quantificada, é apresentada e discutida nos itens 2.4.2 e 2.4.3, respectivamente.

### 2.3) ANTECEDENTES DO PROJETO: OS REQUISITOS

Etapa inicial do projeto, o levantamento de requisitos, é de extrema importância. É nesta primeira fase que o projetista, ou a equipe de projeto, tornam-se cientes do que é esperado do produto que vai ser desenvolvido. As fontes de requisitos são várias (para maiores detalhes, consultar a referência [7]):

#### EXTERNAS À EMPRESA:

- especificações dos consumidores;
- normas técnicas e
- realimentação (*feedback*) do produto.

#### INTERNAS À EMPRESA:

- departamentos de marketing e vendas;
- pesquisa e desenvolvimento e
- engenharia.

É interessante estabelecer aqui uma diferenciação. Os requisitos podem ser de duas espécies [5]:

**NECESSÁRIOS** (ou essenciais) - são aqueles cuja ausência no produto final comprometerá a realização das funções principais para as quais o produto foi criado.

**DESEJÁVEIS** (ou complementares) - são aqueles que, se ausentes, não impedem o bom funcionamento do produto, embora sua presença seja apreciável. Por exemplo, boa aparência de um gabinete de televisão. Às vezes tais requisitos são apenas apelos de marketing, principalmente quando isto servirá para tornar o produto mais competitivo ou mais de acordo com as expectativas dos consumidores. Por exemplo, um telefone eletrônico com "x" memórias a mais que o concorrente.

Os requisitos são a base do produto. A necessidade ou não de montagem será, em grande parte, função direta da satisfação dos requisitos apontados anteriormente ao desenvolvimento do produto (durante a primeira fase de projeto). Como exemplos de requisitos que ao serem atendidos apresentarão algum tipo de montagem, tem-se aqueles apresentados no item 1.1, excetuando

do-se o subitem "CONSIDERAÇÕES DE FABRICAÇÃO" que se refere, mais especificamente, às restrições que podem ser impostas pela fabricação. Estas serão levadas em consideração quando do desenvolvimento da concepção escolhida, uma etapa posterior ao levantamento de requisitos, não funcionando, portanto, como tal.

## 2.4) DESENVOLVENDO O PRODUTO

O primeiro passo a ser dado após estabelecidos os requisitos de projeto (especificações) é identificar a função total a que o produto se destina. Num critério mais rigoroso, função total é aquela que originou a criação do produto, por exemplo, um conjunto de som "3x1". Note-se que, embora sejam três aparelhos distintos agrupados em um único, só existe uma função total - reproduzir música.

A partir desta função de primeiro nível (tendo-se em mente níveis hierárquicos de complexidade) passa-se à identificação das de 2º nível, ou subfunções de 2º nível, que são para este exemplo - receber energia, produzir sinal, amplificar sinal, emitir sinal (ver figura 2.3).

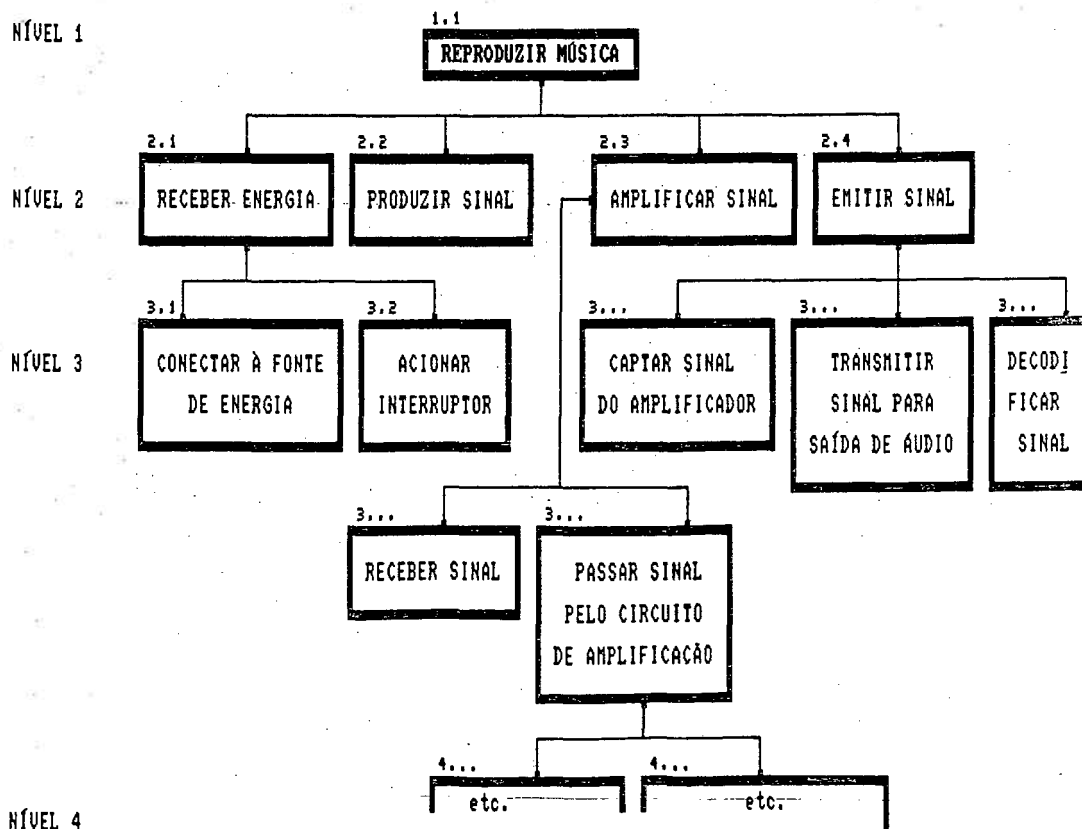


Fig. 2.3 Possível árvore de funções para um aparelho de som.

Por aqui se percebe que as subfunções de 2º nível são as necessárias para que ocorra a função de 1º nível. As de 3º nível serão necessárias para a realização das de 2º nível e assim por diante.

O processo de desmembramento de funções se detém quando se atinge o nível de funções elementares, que não mais podem ser decompostas. Para maior inteligibilidade e controle, esta etapa deve ser registrada de algum modo, à medida em que se desenvolve. Existem técnicas adequadas para isso e a mais simples e prática é a construção de uma árvore de funções, ilustrada na figura 2.3, correspondente ao exemplo citado.

O processo consiste simplesmente na disposição das funções e subfunções em seus respectivos níveis de hierarquia, a ordem de complexidade de crescendo de cima para baixo (função total, subfunções e funções elementares), tal qual um fluxograma. Deve-se cuidar para que as funções de determinado nível estejam corretamente associadas à(s) sua(s) antecessora(s) e função (ões) subsequente(s), caso haja(m).

Outra técnica possível é a análise funcional, vide referência [8].

Neste trabalho é usada a primeira, por sua natural simplicidade e facilidade de compreensão.

Algumas recomendações úteis na elaboração da árvore de funções são as seguintes:

- a identificação da função total deve ser precisa e sucinta, não deixando dúvidas quanto ao objetivo do projeto;
- um recurso que ajuda a evitar enganos é escrever o porquê do produto e características principais que se esperam. Por exemplo, "desenvolver um equipamento de som compacto, estereofônico, que possua potência mínima de 50 watts e mínimo de 2 vias de saída de áudio para cada canal". Por meio desta declaração, facilmente se percebe que a função total do equipamento será reproduzir música;
- as subfunções, ou funções parciais, devem igualmente ser sucintas e descritas da maneira mais genérica possível, permitindo várias soluções de projeto. Se no exemplo fosse escrito "acionar toca discos" ao invés de "produzir sinal", fatalmente o projeto, para ser coerente com as subfunções, estaria restrito a apenas uma solução quanto ao gerador de áudio, ou seja, a hipótese do aparelho possuir um receptor de rádio e um gravador estaria descartada. Em algumas situações, pode ser que o projetista tenha informações seguras e confiá

- veis a respeito do produto a ser desenvolvido que permitam uma antecipação de meios de solução. Nestes casos, uma subfunção pode ser escrita na árvore de funções de maneira restritiva, isto é, indicando a solução técnica que será adotada para satisfazê-la, excluindo qualquer outra opção;
- a descrição das funções deve ter sempre um verbo e um substantivo que permitam a inteligibilidade das mesmas;
  - atentar para a identificação numérica dos blocos por níveis (1<sup>o</sup> dígito) e funções (2<sup>o</sup> dígito), em ordem crescente da esquerda para a direita);
  - para subfunções de mesmo nível é aconselhável seguir uma certa sequência quanto à prioridade de execução. No exemplo da figura 2.3 seguiu-se o sentido esquerda-direita, isto é, a subfunção da extrema direita só poderá ser executada após as que a antecedem à esquerda. A primeira à esquerda inicia o processo. Isto não é obrigatório mas torna a árvore de funções bem mais compreensível e de acordo com o produto real e
  - no caso de um produto que, além de uma função principal, também tenha funções secundárias, o procedimento anterior igualmente se aplica. A diferença é que, uma por vez, cada uma das funções secundárias é tratada como se fosse a função total, sendo identificada como função de nível 1. Para cada função secundária é construída um árvore de funções. Naturalmente, em determinado nível de decomposição, as árvores das funções secundárias passarão a compartilhar de pontos comuns, que é onde ocorrem as conexões entre elas.

A árvore de funções, sozinha, não é suficiente para descrever o produto. Falta ainda concretizar o produto, torná-lo "fisicamente viável" e não apenas idealizado como até agora.

A primeira etapa é desenvolver uma árvore de meios correspondentes. Meios serão as soluções técnicas possíveis através das quais serão realizadas as funções identificadas. Para cada função corresponderá um meio, ou algumas opções de meios, num primeiro instante. A priori, não se deve descartar nenhuma hipótese de solução.

As figuras 2.4 e 2.5 ilustram como poderiam ser os primeiros níveis de uma árvore de funções de uma chaleira automática e os meios correspondentes, respectivamente.

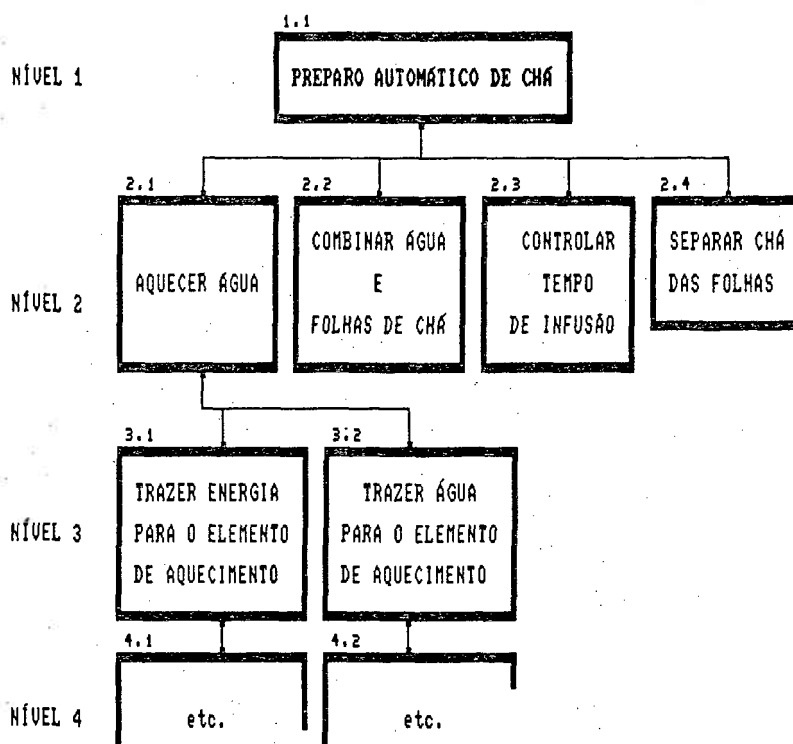


Fig. 2.4 Árvore de funções para uma chaleira automática [6].

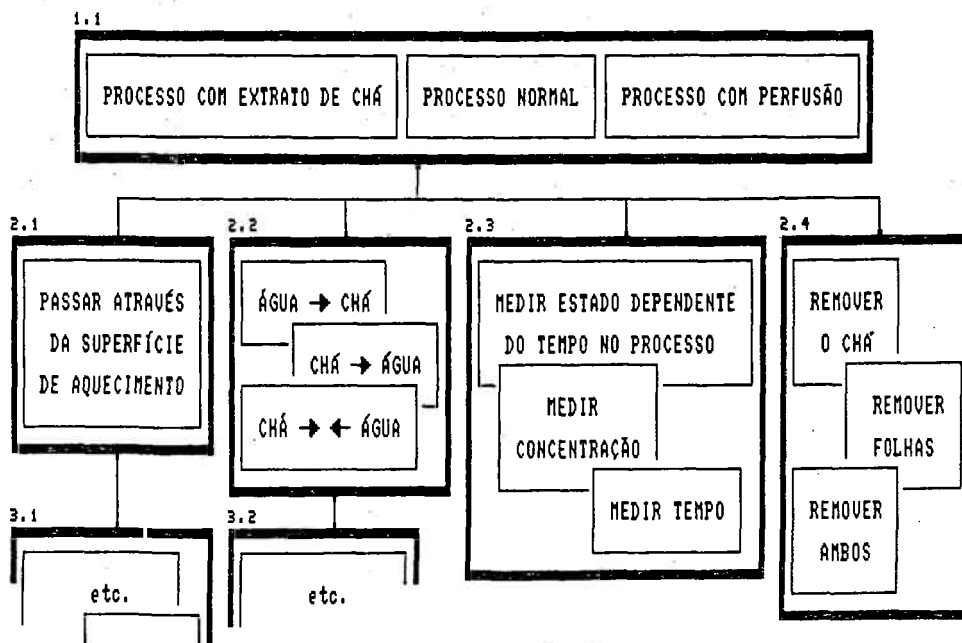


Fig. 2.5 Árvore de meios correspondentes à figura 2.4 [6].

Note-se que, intencionalmente, foi mantido um aspecto físico semelhante entre as árvores de funções e meios. Isto ajuda no processo de identificação nas eventuais consultas durante o projeto.

Pronta a árvore de funções, uma análise da mesma, mantendo em mente a preocupação com a montagem, revela-se bastante útil. Algumas informações importantes e observações que podem ser obtidas são:

- a função total (1<sup>o</sup> nível), em conjunto com o meio correspondente, define claramente o que será o produto acabado, ou seja, o sistema total resultante da montagem final. Deve-se cuidar para que o produto corresponda precisamente à idéia que se tem em mente;
- subfunções de 2<sup>o</sup> nível normalmente definem subsistemas completos, o que, através da ótica da montagem, corresponderiam a "módulos" principais do produto. Módulo seria então uma composição (montagem), muito ou pouco complexa, que do ponto de vista funcional executa tarefa independente e distinta dentro de um mesmo nível hierárquico da árvore de funções. Esta percepção é importante, como se verá mais adiante, na construção da estrutura básica do produto. O termo "módulo" usado aqui não significa, necessariamente, o conceito de modularidade, embora este, se possível de ser aplicado, se mostra como um recurso útil na estruturação do produto, principalmente na criação de variantes (ver capítulo 3) e
- entre as diversas subfunções fatalmente haverá conexões, necessárias para a integração do produto. Isto permite falar de elementos de união, que devem ser criteriosamente escolhidos (ver capítulo 5).

Uma alternativa à construção da árvore de meios é a elaboração de uma tabela. A figura 2.6 ilustra uma tabela de meios para o exemplo da chaleira. A escolha entre tais ferramentas dependerá do projetista e da sua maior facilidade de trabalho com uma ou outra.



NU.FM	MEIOS CORRESPONDENTES
1.1	Processo com extrato de chá, processo normal, processo com perfusão
2.1	Passar água através da superfície de aquecimento
2.2	Água ► chá, chá ► água, chá ► ◄ água
2.3	Medir estado dependente do tempo no processo, medir concentração, medir tempo
2.4	Remover o chá, remover folhas, remover ambos
3.1	...
3.2	...

Fig. 2.6 Tabela de meios correspondentes a figura 2.4.

A esta altura, o produto tem todas as suas funções definidas e meios reais para a realização das mesmas, mas falta ainda a segunda etapa do processo de concretização: tornar o produto "material", isto é, dar-lhe corpo e formas definidas.

#### 2.4.1) DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA

Neste contexto, a estrutura deve ser entendida como a forma escolhida para se conectar os demais elementos do produto, o modo como estes se relacionam entre si e o respectivo arranjo físico. Não deve ser confundida, portanto, com uma estrutura interna que sirva de suporte ao produto, embora a presença desta pode vir a ser especificada (capítulo 3).

Numa analogia com um organismo animal, a estrutura de sustentação seria formada pelos músculos e ossos. As relações entre estes e os demais órgãos e disposição destes ao longo do corpo representariam a estrutura que é referida neste capítulo.

#### 2.4.2) ESTRUTURA BÁSICA

Na concepção da estrutura básica, o que se estuda é a conexão função/meios: pelo fluxo lógico da árvore de funções a estrutura é construída. O procedimento é mais claramente compreendido através do desenvolvimento de um exemplo, no caso o aparelho de som. Será assumida a hipótese de que, após discussões a respeito, considerações de mercado, etc., decidiu-se que o produto será do tipo "3x1", equipado com caixas acústicas. Ainda não está decidido o número de caixas. Sabe-se, entretanto, que serão em número par pois o aparelho deve ser de concepção estereofônica. A fonte de energia será externa; com isto se elimina a possibilidade do equipamento possuir um gerador de energia (ou fonte) interno, de qualquer espécie.

Tendo-se em mente a árvore da figura 2.3, das quatro principais subfunções pode-se elaborar os "módulos" que serão manipulados:

- receber energia - conexão à fonte de energia, conversão de tensão AC/DC;
- produzir sinal - neste caso, serão três geradores de áudio distintos: toca-disco, gravador e rádio, que darão origem a três submontagens distintas;
- amplificar sinal - unidade amplificadora e
- emitir sinal - através de caixas acústicas.

Uma técnica simples e interessante consiste em representar estes módulos por desenhos geométricos simplificados e estabelecer, por meio de grafismos, a forma de conexão entre eles. A figura 2.7 ilustra este procedimento: partindo-se dos módulos básicos, pode-se estudar vários arranjos estruturais. Para este exemplo, dispõe-se dos seguintes módulos:

R = rádio     G = gravador     A = amplificador  
 TD = toca-disco     Cx = caixa acústica número "x"

O elemento  CV é um conversor de tensão (adaptador), alternada (AC) para contínua (DC), pois neste caso os componentes eletrônicos não podem trabalhar em AC. Este adaptador pode ser interno ao aparelho ou externo. Nesta simples escolha, tem-se duas soluções distintas em termos de concepção da estrutura básica, mesmo que todo o restante seja idêntico.

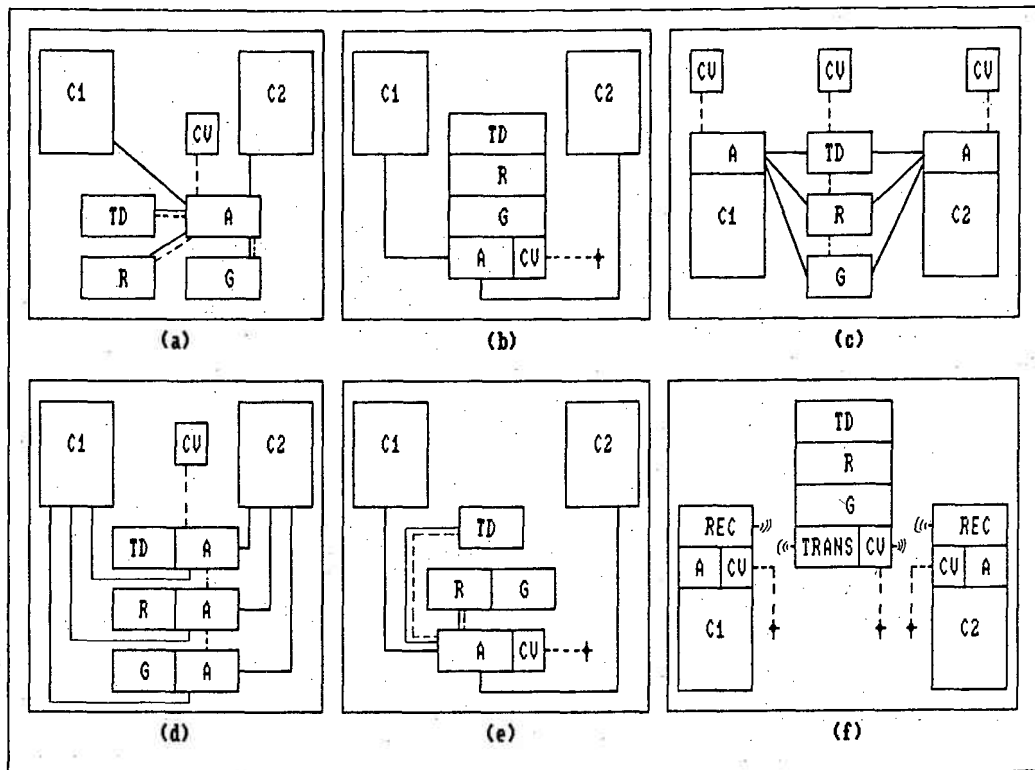


Fig. 2.7 Algumas estruturas básicas para um aparelho de som.

A escolha das conexões externas é fundamental e deve ser seguida uma padronização, particular do projetista, entre as formas estruturais construídas. Aqui foram usados dois tipos de ligação:

- = traço contínuo - transmissão de sinal de áudio
- = tracejado - transmissão de energia de alimentação

Um terceiro tipo, pouco convencional, presume a transmissão por meio não sólido (através de ondas de rádio, por exemplo) do sinal gerado para as caixas acústicas. Neste caso, será necessário o acréscimo de mais dois elementos estruturais.

Tais são:

- TRANS = transmissor dos sinais (codificador)
- REC = receptor dos sinais (decodificador)

Quando se pensa em solução compacta, isto é, embutimento entre módulos, nenhuma conexão entre eles precisa ser representada. Isto deve-se ao tipo de

construção escolhida que permite ligação interna. Tais casos foram representados por:

R	G
---	---

 = rádio + gravador - módulo único  

A	CV
---	----

 = adaptador AC/DC interno ao amplificador  
 ... = etc.

Apenas duas caixas acústicas foram representadas pois, novamente, são suficientes para esclarecer a estrutura escolhida (aparelho estereofônico). A adoção de um par extra é algo a ser pensado depois.

A simbologia usada pode ser a mais variada, sempre de acordo com a necessidade de cada caso. Não há limites para o número de símbolos empregados simultaneamente.

O aspecto deselegante e estranho dos arranjos deve ser ignorado pois o que importa é quais módulos e como estes se ligam entre si. Critérios estéticos não influenciam, por enquanto, já que apenas conceitos básicos estão sendo manipulados, sem definição de forma. Nesta etapa não é tomada nenhuma decisão com respeito a "quantidades" tais como dimensões e arranjos relativos.

Muitas estruturas básicas propostas aqui são obviamente inviáveis por serem pouco práticas e confusas. São propositalmente apresentadas com o intuito de reforçar que, a priori, não se deve descartar nenhuma idéia. Em alguns casos pode ser que de uma solução estranha e inviável surjam boas idéias que possam ser pronta e satisfatoriamente empregadas.

A escolha da estrutura básica definitiva será feita em duas etapas. Inicialmente o que se considera é a viabilidade técnica e econômica; do grupo total de estruturas, algumas são selecionadas. Na segunda etapa, a ponderação de maior número de critérios se faz necessária. Devem ser considerados:

- tendências de época - para não se cometer o erro de se produzir algo excessivamente deslocado do contexto de época, isto é, um produto de fasado ou muito além do usual, desnecessariamente;

- consonância com os objetivos do projeto - por exemplo, o caso do aparelho de som. Conforme se encontra no item 2.4, a solução deve ser compacta. Escolher um sistema modulado, como o da figura 2.7-a, seria incoerente;
- aceitação dos consumidores - a estrutura escolhida vai de encontro às expectativas do mercado consumidor? É deficiente? É satisfatória? Apresenta todos os requisitos necessários?
- política da empresa quanto a seus produtos - por exemplo, se estes devem se distinguir dos concorrentes por apresentarem estruturas básicas pouco convencionais. Isto conduz ao conceito de diferenciação intencional de produtos, que também pode ser obtida através do processo de quantificação da estrutura básica e
- gosto pessoal do projetista - é um critério que deve ser de uso relativamente restrito, para evitar direcionar o produto de maneira subjetiva. Entretanto o projetista deve estar em harmonia com os itens acima.

#### 2.4.3) ESTRUTURA QUANTIFICADA

A próxima etapa a ser executada é a "quantificação" da estrutura básica, isto é, será feita uma otimização quanto à estrutura escolhida, definindo-se dimensões aproximadas, proporções e arranjos relativos dos módulos. Alguns parâmetros mais importantes dos componentes podem vir a ser especificados, já numa primeira etapa [6].

Retomando o caso do aparelho de som, a figura 2.8 apresenta desenvolvimentos de estruturas quantificadas para o modelo de estrutura básica escolhido, figura 2.7-b. Como se observa, alguns aspectos adicionais são também discutidos, como por exemplo, os prós e os contras de cada concepção. De certa maneira, a forma total já começa a ser definida. Os elementos principais, compartimento da fita cassete, prato e braço do toca-disco, teclas do gravador e demais controles, painéis, etc, são apenas esboçados. Alguns croquis, com maior nível de detalhamento, também podem ser elaborados mas sem grande preocupação com cálculos complexos e escolha minuciosa de materiais.

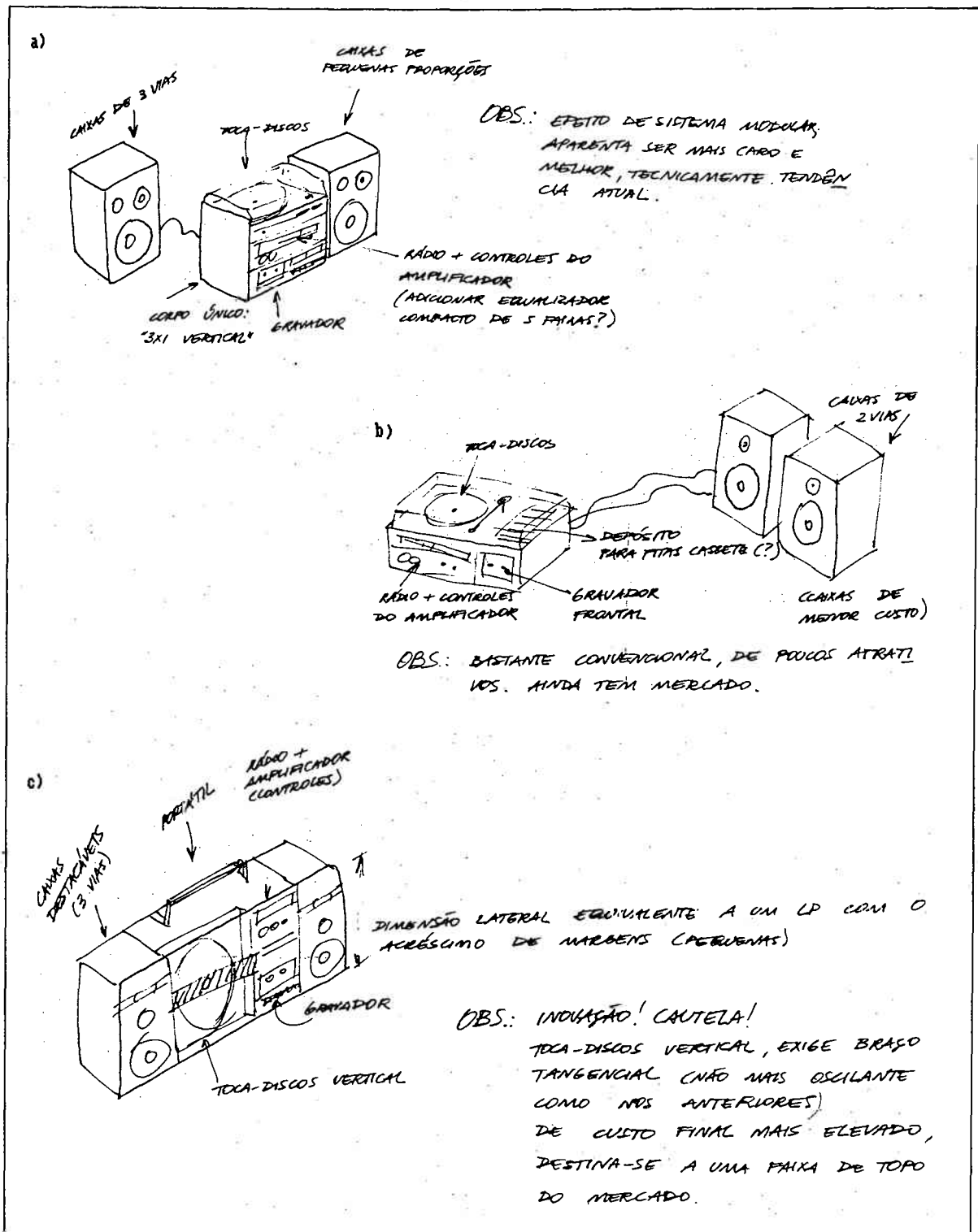


Fig. 2.8 Algumas estruturas quantificadas correspondentes à figura 2.7-b.

A nível de montagem não se tem, ainda, uma antecipação muito clara dos problemas a serem solucionados embora alguns detalhes já possam ser observados e, até certo ponto, planejados.

Por exemplo:

- tampas móveis, como do compartimento da fita cassete e toca-disco, necessitarão ser montadas ao corpo do aparelho por meio de algum tipo de dobradiça;
- a alternativa A permite o estudo de uma estrutura em pilha (ver capítulo 3) já que os integrantes do sistema são posicionados um sobre o outro;
- por ser portátil, a alternativa C pode ser desenvolvida em algum tipo de plástico leve e resistente. Material plástico é muito útil no planejamento de partes, como a carcaça do produto, que permitem integração de muitas funções de sustentação e união em peça única (ver capítulo 3);
- ainda na estrutura C, as caixas acústicas requerem um sistema de encaixe que possibilite o transporte do aparelho sem problemas ao mesmo tempo que permita fácil destacamento quando o usuário assim desejar;
- e assim por diante.

O grau de conhecimento do projetista no assunto e sua experiência prévia em casos semelhantes, é que possibilitarão uma análise mais detalhada ou não, já que neste estágio do projeto não há muita definição de pormenores. Além disto, mecanismos e componentes internos não podem, por enquanto, ser observados e estudados.

Na realidade, o que se observa é que o processo de quantificação da estrutura básica não se detém aqui; este será ainda refinado nas próximas etapas do processo de projeto. A partir da definição do tipo de estrutura quantificada, o que se percebe é que automaticamente o projeto passa para a fase de detalhamento (desenvolvimento da concepção), que, até certo ponto, também corresponde a um processo de quantificação, pois, ao se definir um componente, definem-se peso, material, dimensão, etc.

Todo produto traz embutido em si uma estrutura básica e uma estrutura quantificada que o caracterizam. Para melhor esclarecimento serão apresentados dois exemplos.

RELÓGIO DE PULSO - Até algum tempo atrás só se conheciam relógios analógicos, de ponteiros, que necessitavam de complexo mecanismo acionado à "corda" (mola em espiral) para funcionar. Este era um conceito de estrutura básica disponível até então. Com o advento da eletrônica e miniaturização dos componentes, tornou-se possível construir relógios digitais com visor de cristal líquido, acionados à bateria. Este já é um novo conceito de estrutura básica totalmente diferente do anterior. Os primeiros fabricantes a lançarem mão deste recurso, com certeza estavam inovando ao apresentarem ao mercado um produto realmente novo, que automaticamente era diferenciado do convencional.

AUTOMÓVEIS - Os automóveis apresentam um exemplo bem claro de diferenciação pela quantificação. Considere-se os carros esportivos de última geração em contrapartida ao carro de passeio comum, "bem comportado". Aqui tem-se duas estruturas básicas idênticas (supondo mesmo combustível). A diferença de alguns equipamentos e especificações não serve para definir a estrutura global e sim para complementá-la. O tratamento da estrutura quantificada é que distingue, visualmente, e portanto ajuda a diferenciar um veículo de outro. O mesmo se verifica entre carros de uma mesma família, onde a diferenciação se refere apenas ao modelo ser três volumes, "hatchback", perua ou caminhonete.

#### 2.4.4) COMPONENTES - A IDÉIA DE SUPERFÍCIE

Assim como o produto executa uma ou mais funções, também o faz cada componente que o constitui. Estas funções, a nível de componente, são funções ditas elementares, isto é, são funções que não podem ser decompostas em subfunções. Um componente pode transferir forças, suportar, unir, guiar, etc, e é através de algumas de suas superfícies, e não de todas, que estas funções são realizadas. Estas superfícies que têm função ativa durante o uso do produto são chamadas de SUPERFÍCIES FUNCIONAIS. As demais superfícies são chamadas SUPERFÍCIES LIVRES [6]. Por exemplo, a fenda na cabeça de um parafuso, a área de impacto na cabeça de um martelo, a superfície superior de um assento de cadeira e os flancos dos dentes de uma engrenagem são consideradas superfícies funcionais. O papel das superfícies livres é unir as superfícies funcionais de um componente, isto é, mantê-las coesas entre si de modo a criar uma unidade, garantindo o cumprimento da função prevista.



As superfícies funcionais ainda podem ser classificadas em dois tipos [6]:

- SUPERFÍCIES FUNCIONAIS EXTERNAS - são aquelas que têm função ativa em relação ao meio circundante ao produto, isto é, entram em contato com agentes externos e
- SUPERFÍCIES FUNCIONAIS INTERNAS - são aquelas que têm função ativa em relação a outros elementos do próprio produto. Por tocarem ou se rem posicionadas próximas a outros componentes, são também chamadas SUPERFÍCIES DE CONEXÃO.

Na figura 2.9 são mostrados exemplos onde se identificam algumas superfícies funcionais.

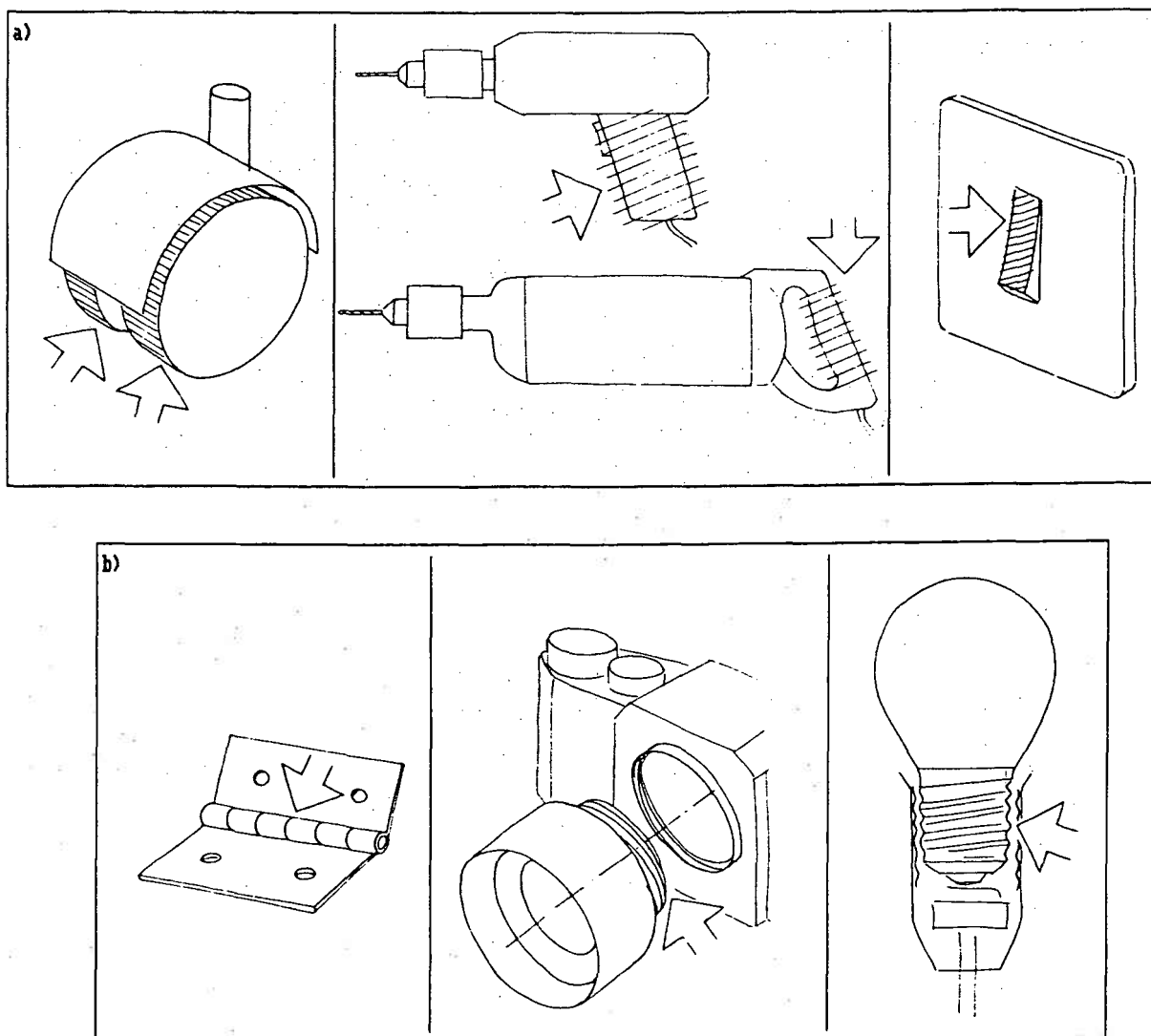


Fig. 2.9 Superfícies funcionais externas (a) e internas (b) [6].

De grande importância para o PPM é o conceito de SUPERFÍCIES DE MONTAGEM.

SUPERFÍCIES DE MONTAGEM - são aquelas superfícies que são usadas na etapa de MANIPULAÇÃO (item 1.2.1), durante o processo de montagem, por exemplo para ordenar, transportar, posicionar, como superfície guia, etc, mas que não têm função do ponto de vista do produto, quando a montagem estiver terminada [1].

Tanto as superfícies funcionais, internas ou externas, quanto as superfícies livres, podem ser aproveitadas como superfícies de montagem. A figura 2.10 ilustra as várias superfícies de um componente e como poderia ser o aproveitamento destas no processo de montagem. Neste exemplo, todas as superfícies funcionais são internas, o que equivale a dizer que as superfícies de conexão são todas as superfícies funcionais.

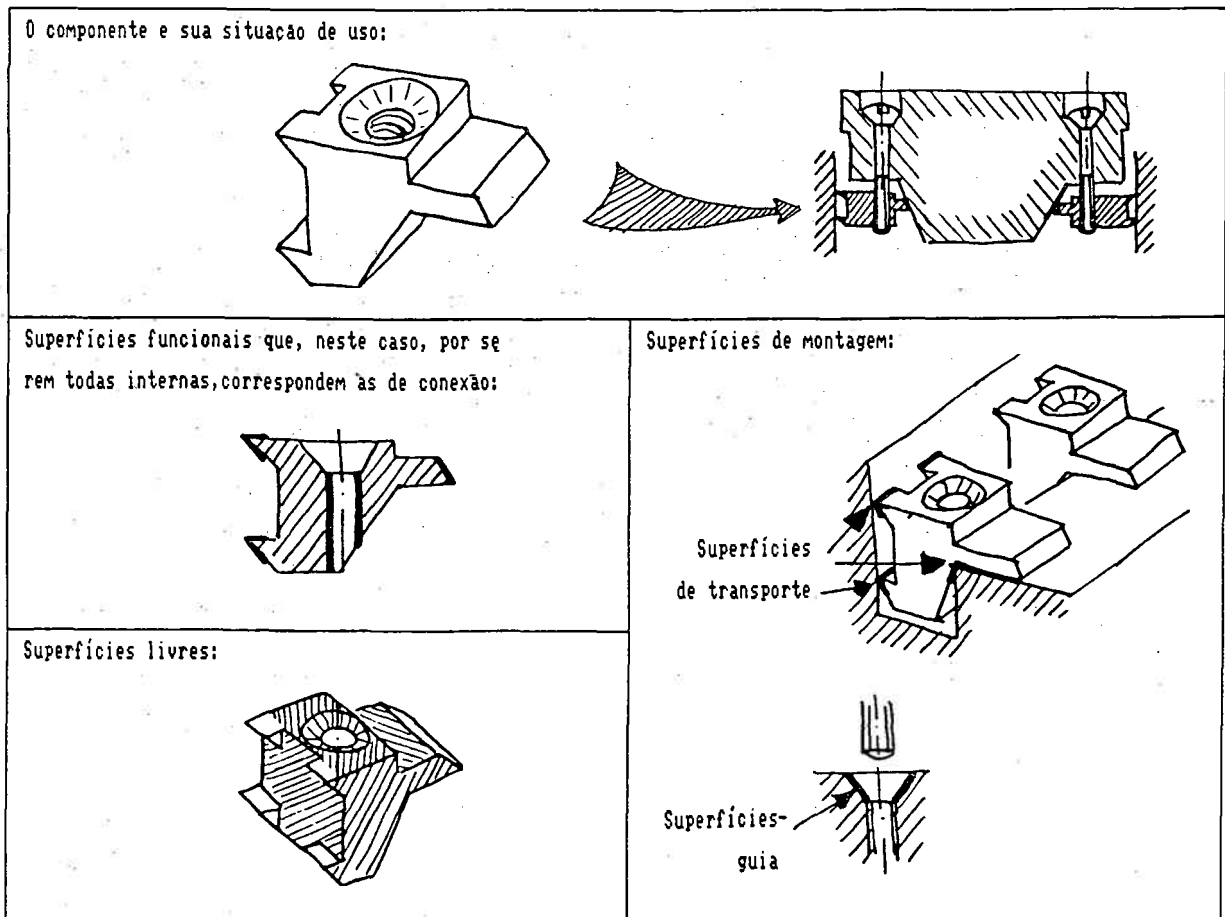


Fig. 2.10 Superfícies de um componente e seu uso no processo de montagem [1].

Considerando-se o processo de projeto orientado para a montagem, o cuidado no desenvolvimento destas superfícies, ao se projetar os componentes, é de evidente importância. Uma breve verificação dos princípios apresentados no capítulo 4 é suficiente para reforçar tal afirmação. Como será exposto em maiores detalhes, grande parte dos princípios que ali se encontram refere-se a uma modificação da forma dos componentes para adequá-los aos métodos do PPM. A forma de um objeto, como facilmente se observa, só existe se definida por superfícies sólidas. Alterar a forma significa alterar as superfícies que a definem. Entretanto, esta alteração de superfícies deve ser criteriosa, sem perder de vista a função do componente ao mesmo tempo em que se considera o aspecto da facilidade de montagem e manipulação.

#### 2.4.5) COMPONENTES - O PROJETO

Ao se partir para o projeto de um componente, supõe-se que sejam conhecidas as funções a ele destinadas. Obviamente estas funções envolverão, de alguma maneira, uma relação mútua entre componentes vizinhos. Como foi dito no item anterior, esta relação está a cargo das superfícies funcionais. Segundo TJALVE [6], um bom ponto de partida para o projeto dos componentes são as várias considerações quanto à forma das superfícies funcionais. Os critérios que importam, nesta etapa, são essencialmente determinados pela função a ser cumprida, resistência mecânica e meios de fabricação.

Determinadas as superfícies funcionais, o restante do componente pode ser construído a partir da definição das superfícies livres que interligarão as funcionais. Um componente, apresentando sempre as mesmas superfícies funcionais, pode, com a aplicação desta técnica, apresentar as mais diferentes concepções de forma, conforme ilustra a figura 2.11.

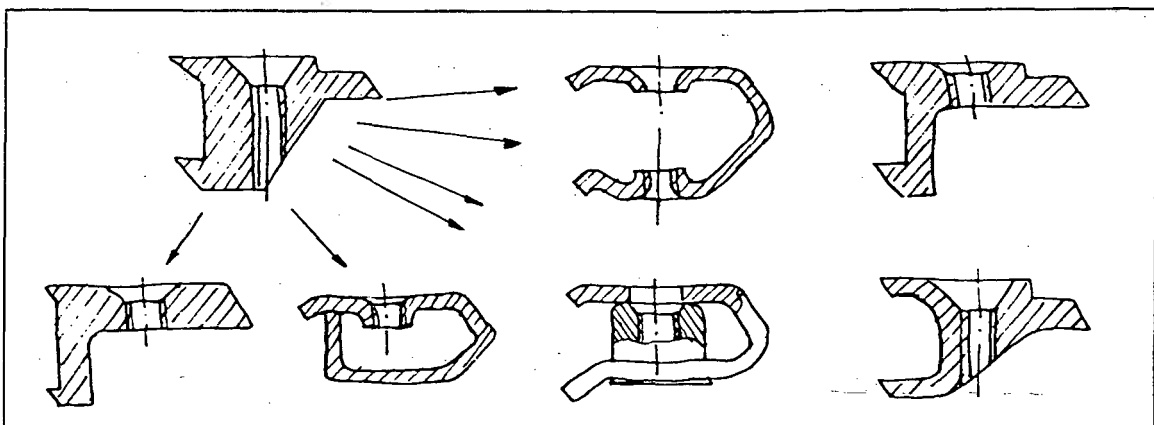


Fig. 2.11 Projetos alternativos para o componente da figura 2.10 [1].

O que se observa nestas concepções é que o tamanho das superfícies funcionais pode ser alterado em favor da adequação à montagem e ao método de fabricação (ver também figura 2.12). Tendo em mente os princípios aplicáveis do capítulo 4, as melhores formas de componentes podem, então, ser selecionadas.

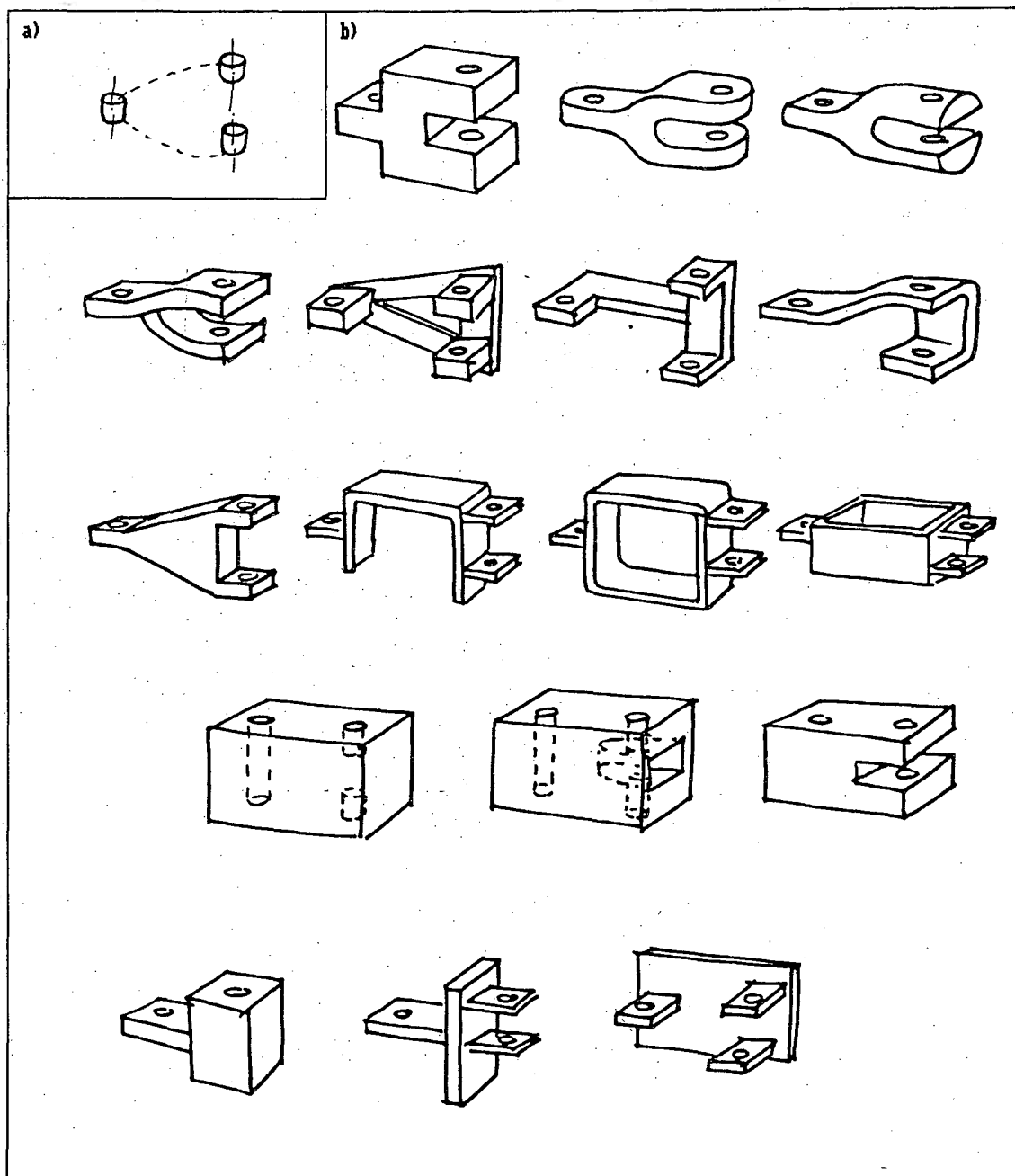


Fig. 2.12 Diferentes projetos para um mesmo componente [6].

- a) Superfícies funcionais que devem ser mantidas.
- b) Componentes apresentando várias concepções que requerem diferentes métodos de fabricação.

O reposicionamento das superfícies funcionais pode, às vezes, ser admitido, especialmente quando o contato do componente em projeto com os demais não precisa obedecer a uma relação muito rígida de posição. A figura 2.13 evidencia como um produto simples, no caso um abridor de garrafas, pode assumir formas admiravelmente diferentes, aparentemente sem nenhuma conexão entre si, pelo simples rearranjo das superfícies funcionais. Neste caso, as superfícies livres são automaticamente alteradas. O mesmo se aplica aos mais variados componentes.

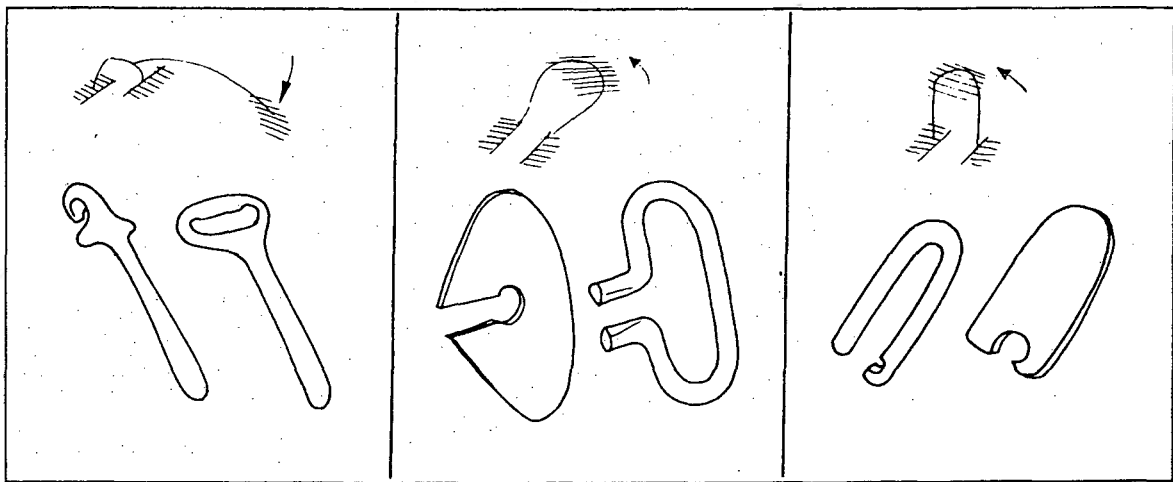


Fig. 2.13 Algumas concepções para um abridor de garrafas [6].

Resumindo: normalmente, superfícies funcionais não podem ser alteradas em favor da montagem mas superfícies livres podem [1]. Observando-se a figura 2.13, ve-se que as superfícies funcionais que entram em contato com a tampa da garrafa não foram alteradas pois a tampa é um elemento fixo quanto à concepção e posição de uso. A terceira superfície, que entra em contato com a mão humana, pode ser remanejada, em função do braço humano ser adaptável às mais variadas posições.

Uma técnica proveitosa, ao se ponderar a montabilidade durante o projeto dos componentes, é demarcar, por meio de cores, quais áreas correspondem às superfícies funcionais, livres e de montagem. Um determinado componente pode se tornar adequado à montagem por meio de [1]:

- aproveitamento das superfícies funcionais e superfícies livres como superfícies de montagem;

- remoção de material/mudança da forma das superfícies livres e
- adição de material/mudança da forma de superfícies livres.

#### 2.4.6) FORMA TOTAL

Os procedimentos que podem ser aplicados no projeto da forma total são extremamente semelhantes aos aplicáveis no projeto dos componentes. Portanto, muito do que foi dito nos itens 2.4.4 e 2.4.5 pode ser transposto para o projeto da forma total.

A forma total de um produto é determinada alternadamente com a forma dos elementos [6]. As exigências do projeto total dependem do produto em questão. Se critérios estéticos são importantes (por exemplo em carros, barcos, câmeras fotográficas, etc), o projeto dos componentes tem que ser adaptado ao projeto total. Se critérios técnicos e econômicos são os que importam mais (por exemplo carburadores, caixas de engrenagem, etc), o projeto dos elementos tem prioridade sobre o projeto total, quanto à forma.

Fator determinante na definição da forma total é a escolha da estrutura do produto que, por sua vez, sofre influência direta da forma dos componentes. Os capítulos seguintes serão desenvolvidos considerando-se estrutura e componentes separadamente por uma questão de melhor sistematização. Componentes e estrutura estão intimamente ligados.

## ESTRUTURAÇÃO DO PRODUTO: PRINCÍPIOS DE PROJETO

### 3.1) APRESENTAÇÃO

Os capítulos 3, 4 e 5 estão estruturados de forma bastante semelhante; o conteúdo destes constitui-se de princípios de projeto aplicáveis no desenvolvimento de novos produtos ou reprojeto dos já existentes. O objetivo principal de tais princípios, é racionalizar a montagem, facilitando-a.

A aplicabilidade de tais princípios é variável, isto é, nem todos os princípios aqui descritos serão úteis na otimização de um determinado projeto, embora possam ser em outros. O critério para avaliação da eficácia de sua utilização fica a cargo do projetista que confrontará os possíveis benefícios com as possíveis desvantagens resultantes.

Também deve ser observado que nem todos os princípios podem ser aplicados simultaneamente. Isto fica claro quando se constata que na estruturação do produto dois princípios que podem ser aplicados são frontalmente antagônicos entre si: INTEGRAR x DIFERENCIAR. Para os componentes caso semelhante se verifica, por exemplo: TORNAR SIMÉTRICO x AUMENTAR ASSIMETRIA. Num mesmo componente, estes resultados não podem ser obtidos ao mesmo tempo.

A elaboração destes três capítulos está fundamentada na referência

[1] onde o autor apresenta os princípios de projeto que aqui serão discutidos. A semelhança de apresentação é intencional pois a elaboração adotada em [1] se mostra bastante expressiva e eficaz.

### 3.2) PRINCÍPIOS BÁSICOS

Três princípios básicos se aplicam na estruturação de um produto: PROJETAR COM CLAREZA, PROJETAR SIMPLES e PROJETAR PARA A SEGURANÇA [1, 20]. Conforme a referência [20], se aplicam em todos os aspectos envolvidos durante o desenvolvimento da concepção de um produto. Neste capítulo, no entanto, só serão considerados os aspectos diretamente relacionados à montagem. Por consequência natural, estes princípios também se estendem aos componentes e métodos de união.

#### 3.2.1) PROJETAR COM CLAREZA

A clareza, isto é, clareza de função ou ausência de ambiguidade de um projeto, facilita a previsão confiável do desempenho do produto final e, em muitos casos, poupa tempo e análises dispendiosas [20].

Um projeto desenvolvido com clareza é aquele que [1]:

- possibilita que os processos de fabricação e montagem sejam claramente executados;
- resulta em um produto que não é sobredeterminado e
- não permite que a execução de eventuais ajustes trabalhe contra os demais.

Na figura 3.1 tem-se um projeto de eixo e polia que não segue o princípio de clareza. O conjunto foi dimensionado para que a carga de trabalho fosse integralmente transmitida por meio de ajuste prensado. O acréscimo de uma chaveta de segurança em nada beneficiará o desempenho já que, uma redução de área em A, gera concentração de tensões em B e tensões em C difíceis de analisar. Isto diminui a resistência de modo drástico e imprevisível. A eliminação da chaveta não só simplifica a montagem, com redução de operações e um componente, como também favorece a vida útil do produto.





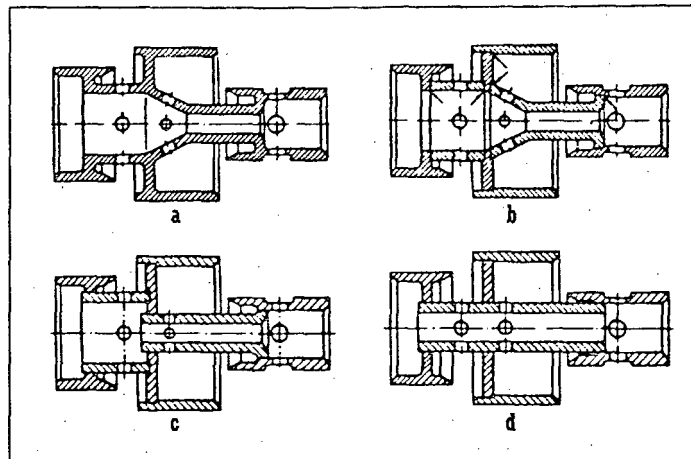


Fig. 3.2 Projetar simples [20]. Simplificação de uma válvula de aproximadamente 100 mm de comprimento:

- a) Peça fundida de execução cara e difícil.
- b) Melhoria no projeto pelo fracionamento em partes simples, montadas por brazagem.
- c) Simplificação da parte tubular central.
- d) Possibilidade adicional de simplificação.

### 3.2.3) PROJETAR PARA A SEGURANÇA

A segurança impõe uma solução compatível para os problemas de resistência, confiabilidade, prevenção de acidentes e proteção do meio. Com relação ao processo de montagem, medidas de segurança a serem adotadas são [20]:

- as cargas às quais o produto será submetido durante a montagem e transporte devem ser consideradas já durante a fase de desenvolvimento da concepção (fase 3, figura 2.1);
- soldas realizadas durante a montagem devem ser testadas e, onde necessário, tratadas termicamente;
- todos os processos principais de montagem devem sempre que possível ser concluídos com testes de funcionamento;
- bases firmes e pontos de apoio devem ser providenciados e marcados com clareza;
- partes mais pesadas que 100 kg devem trazer o peso marcado em local facilmente visível. Pontos de elevação apropriados devem ser incorporados sempre que desmontagens frequentes forem necessárias e
- pontos de manipulação adequados devem ser preparados para o transporte e marcados com clareza.

### 3.3) ESTRUTURA MODULAR E NORMALIZAÇÃO

#### 3.3.1) CONCEITOS

Na referência [1], três dos princípios apresentados são de grande peso na estruturação do produto e, na prática, estão estreitamente relacionados. Em função disto, torna-se difícil abordar um deles sem se envolver com os demais. Tais princípios são [1]:

- PROJETAR O PRODUTO COM BLOCOS ESTRUTURAIS;
- PROJETAR O PRODUTO COMO UM SISTEMA DE BLOCOS ESTRUTURAIS e
- PROJETAR O PRODUTO USANDO NORMAS ADEQUADAS.

Um resultado concreto e frequentemente obtido pela aplicação simultânea destes é o desenvolvimento de uma estrutura modular para o produto, ou produtos, e variantes. Sendo assim, estes três tópicos poderiam ser apresentados sob um princípio único e bastante genérico: PROJETAR UMA ESTRUTURA MODULAR. Para que o tema seja discutido, será necessário, primeiramente, uma definição de conceitos básicos.

ELEMENTOS ESTRUTURAIS - são elementos fundamentais na construção de um produto, podendo ser unidades simples ou compostas. Quando compostos, os elementos estruturais passam a se constituir de submontagens, podendo ser também identificados como "blocos estruturais".

BLOCOS ESTRUTURAIS - são partes estruturadas de um produto, maiores e independentes, que constituem unidades funcionais por si só, mantendo relações simples com o resto do produto [1].

SISTEMA DE BLOCOS ESTRUTURAIS (OU SISTEMA MODULAR) - significa um sistema de produtos que são estruturados de tal maneira que todos podem ser construídos a partir de um determinado número de elementos estruturais (módulos) [1].

MÓDULOS - a designação "módulo" será aplicada quando os elementos estruturais forem projetados de tal maneira que possam ser aproveitados na construção de produtos diversos. A estrutura de um módulo pode ter caráter funcional ou de fabricação [20]. Módulos funcionais se prestam para a implementação de funções técnicas independentes ou em combinação com outras. Módulos de fabricação são projetados independentemente de sua função e são baseados apenas em considerações de fabricação. O primeiro tipo pode ser associado ao conceito anterior de blocos estruturais, se constituído como submontagem. Tal módulo, adicionalmente, é dito maior. Módulos menores serão aqueles formados por um único componente [20].

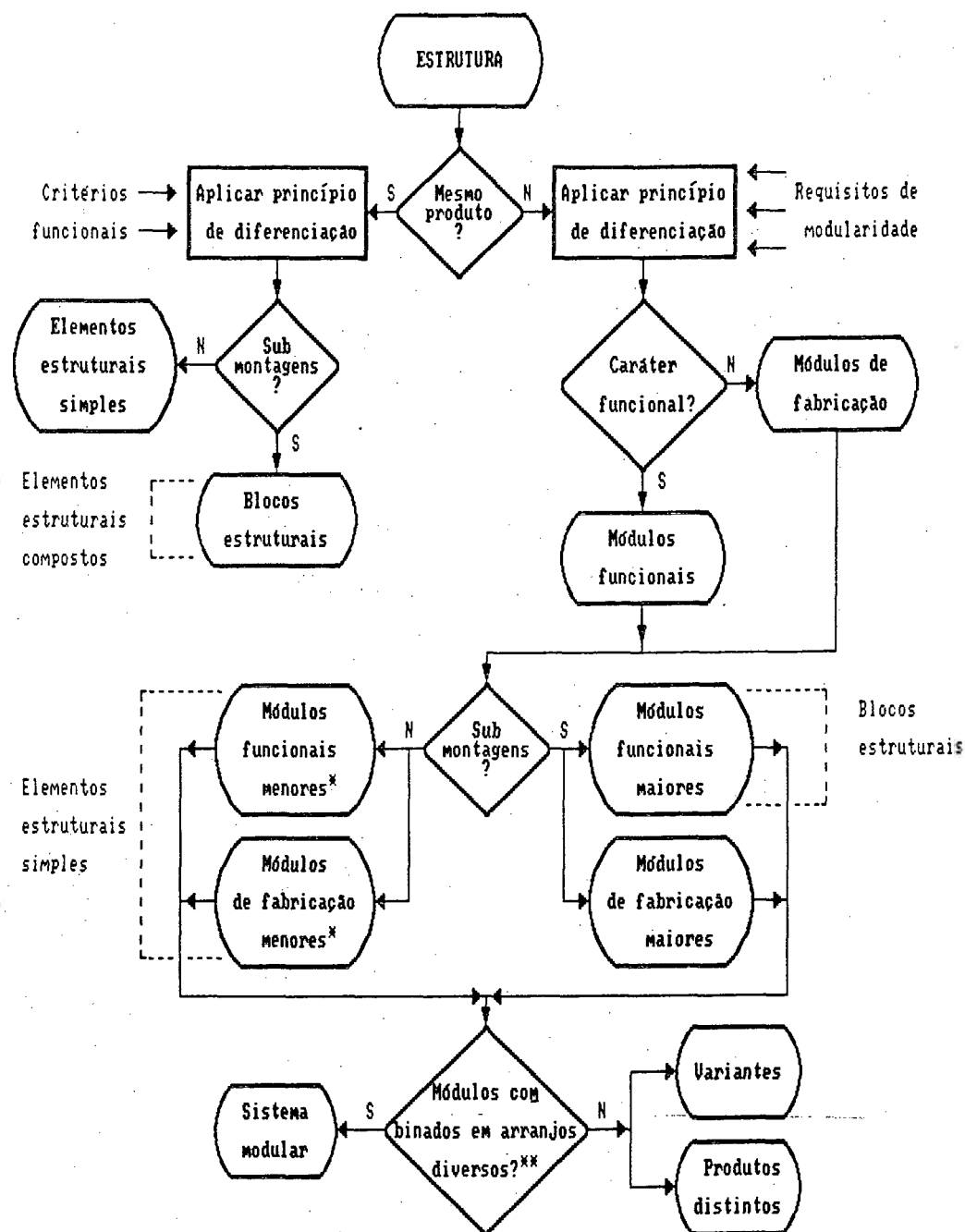
A relação entre estes conceitos pode ser melhor compreendida com o auxílio da figura 3.3.

### 3.3.2) BLOCOS ESTRUTURAIS

Obviamente, todo produto é constituído de elementos estruturais simples. Entretanto, elaborar blocos estruturais para a realização da montagem é opcional ao projetista. Se uma montagem final pode ser construída a partir de determinado número de submontagens (blocos estruturais), os custos de montagem podem frequentemente ter uma redução substancial. Blocos estruturais normalmente permitem acesso mais fácil para instalação e ajuste das partes do que uma montagem única, maior. A montagem final é grandemente simplificada se envolver apenas a instalação e coesão de blocos estruturais [17]. Adicionalmente, um produto assim construído permitirá [1, 17]:

- realizar montagens paralelas;
- obter planejamento flexível para a montagem;
- obter vantagens como testar antes da inserção ou eventualmente substituir unidades maiores do produto;
- tornar mais simples a manutenção do produto e
- em muitos casos, um determinado bloco estrutural poder ser usado em certo número de montagens finais (item 3.3.3).

Um telefone projetado com blocos estruturais é mostrado na figura 3.4.



\* Num critério mais rigoroso, módulos menores funcionais e de fabricação se confundem. Considerando-se componentes simples, não faz diferença se o elemento é um módulo por causa de função ou produção.

\*\* Na verdade, esta decisão tem que ser tomada antes da concepção dos módulos. Este é um diagrama conceitual apenas. Não é intenção estabelecer a sequência apropriada de decisões. A própria relação entre conceitos está simplificada, para melhor compreensão.

Fig. 3.3 Relação conceitual (simplificada) relativa à diferenciação de um produto.

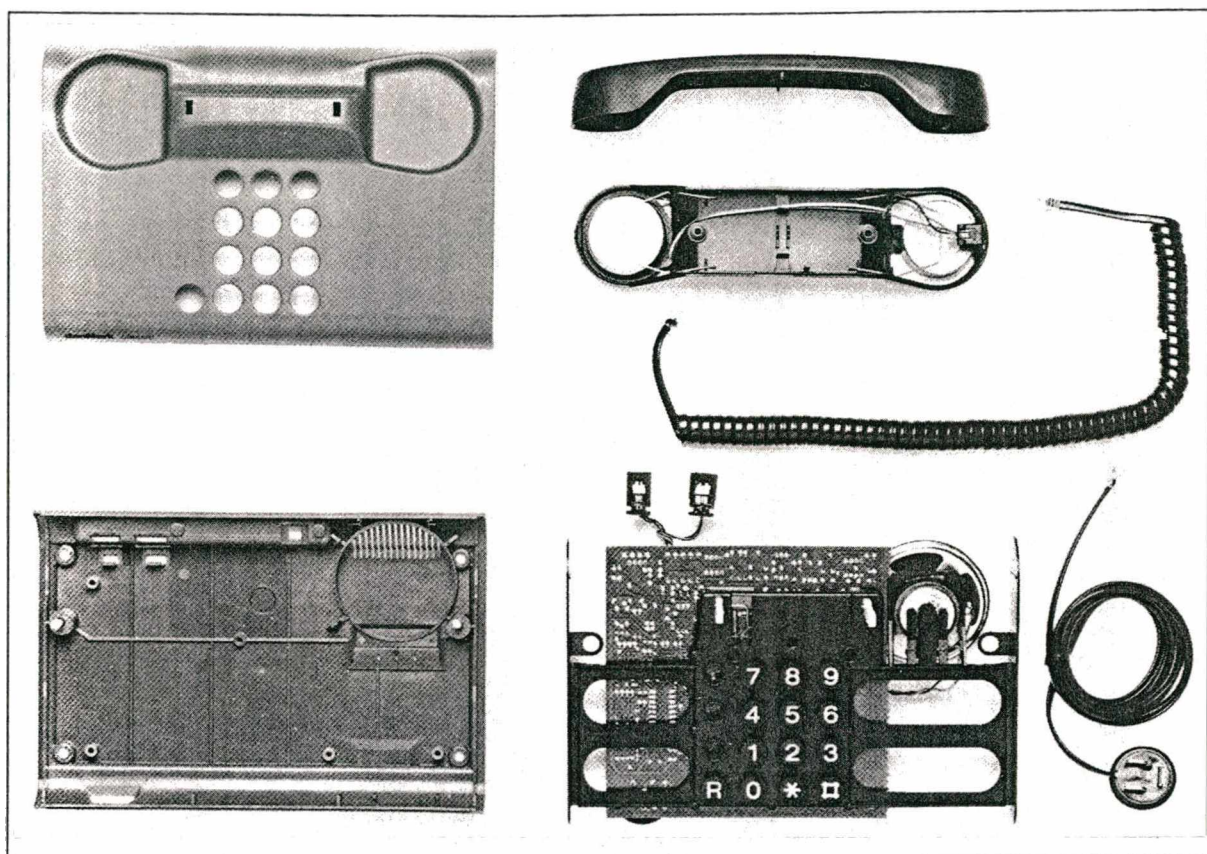


Fig. 3.4 Telefone construído a partir de elementos estruturais de natureza funcional e de sustentação [1]. Dos sete elementos estruturais, quatro submontagens podem ser ditas blocos estruturais: conjuntos dos cabos, metade inferior do fone e conjunto do circuito impresso e teclado). Os demais são elementos estruturais simples: metade superior do fone e as duas partes da carcaça.

### 3.3.3) MÓDULOS

Se determinada submontagem será usada em mais de um produto, então ela se tornará um MÓDULO, isto é, parte integrante da estrutura de produtos distintos ou de variantes. Para que isto ocorra, tais partes devem ser projetadas de maneira tal que seja assegurada total compatibilidade entre estas e os demais componentes, em diferentes circunstâncias [22]. Entretanto, a compatibilidade funcional só será conseguida se as condições das interfaces entre as partes forem rigorosamente controladas, de forma a garantir a compatibilidade também entre as interfaces. As condições fora destas podem variar [16, 22]. Este requisito se assemelha muito ao que foi exposto para o projeto dos componentes, item 2.4.5. As interfaces corresponderiam às superfícies funcionais e as demais condições às superfícies livres.

Os benefícios obtidos na montagem com o emprego de módulos são os

mesmos citados no ítem anterior.

#### 3.3.4) SISTEMA MODULAR (OU DE BLOCOS ESTRUTURAIS)

Quando todas as partes a serem unidas são concebidas como módulos, tem-se um sistema modular (fig. 3.5). Adicionalmente aos requisitos de compatibilidade e controle de interfaces, um sistema modular necessitará de um sistema lógico de dimensões, principalmente se as partes serão combinadas em arranjos diversos [22]. No projeto de tal sistema, um módulo básico deve ser tomado como a menor dimensão de referência e os demais, maiores, construídos como múltiplos deste, conforme esquematizado na figura 3.6.

Ao se projetar as montagens, uma grade tridimensional imaginária pode ser adotada para a alocação de espaço para as várias subunidades e componentes. Pode-se imaginar o espaço ocupado pela montagem como dividido em cubos e cada parte ocupando um determinado número destes cubos. Para alguns tipos de montagem, tal grade cúbica não é necessária ou se mostra pouco prática. Neste caso, o espaço pode ser dividido de maneira diferente, inclusive heterogênea [22].

As vantagens obtidas com um sistema modular são várias. As mais expressivas são [1, 16, 20, 22]:

- o tamanho das séries dos subsistemas é aumentado;
- torna-se possível fabricar, montar e testar paralelamente;
- a montagem do produto torna-se mais simples, menos complicada;
- combinações de módulos com não-módulos são possíveis;
- a subdivisão mais apropriada das montagens assegura condições de montagem favoráveis;
- a variedade necessária de partes sendo reduzida, os custos de fabricação são reduzidos e a confiabilidade e qualidade são melhoradas e
- a fabricação sendo mais eficiente, a precisão dos componentes pode ser melhorada e, como consequência, o tempo de montagem é reduzido.

Quanto ao número possível de combinações, um sistema modular pode ser concebido como aberto, se as possibilidades de arranjo são inúmeras (fig. 3.7) e fechado se tais possibilidades são finitas, com número previsível de variantes (fig. 3.8).

Com um conjunto de elementos estruturais, variantes do produto podem ser criadas.

Por exemplo, a partir dos elementos:

 - blocos estruturais,

 - blocos estruturais de maior dimensão e

 - componentes especiais

as variantes podem ser criadas de várias maneiras:

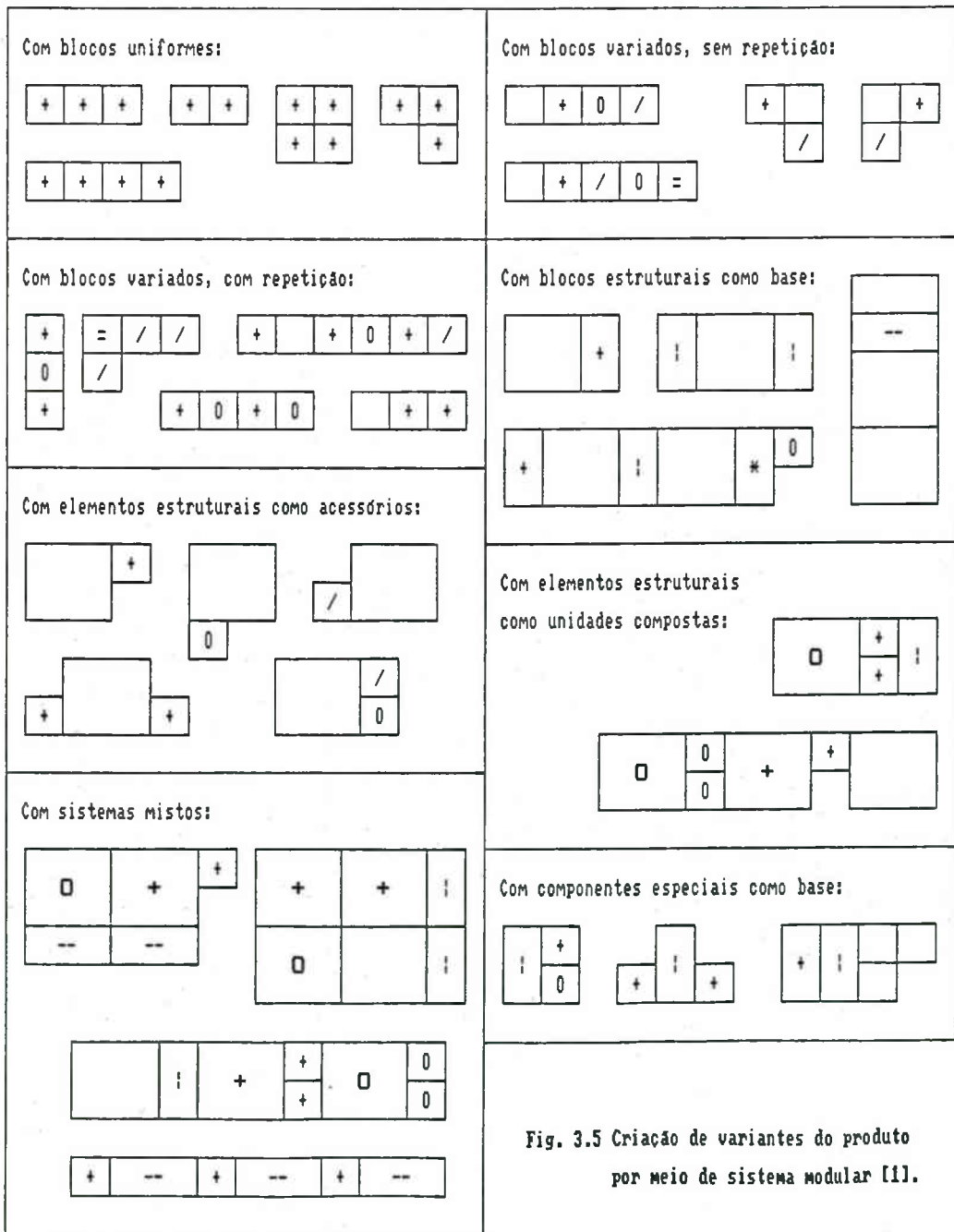


Fig. 3.5 Criação de variantes do produto por meio de sistema modular [1].



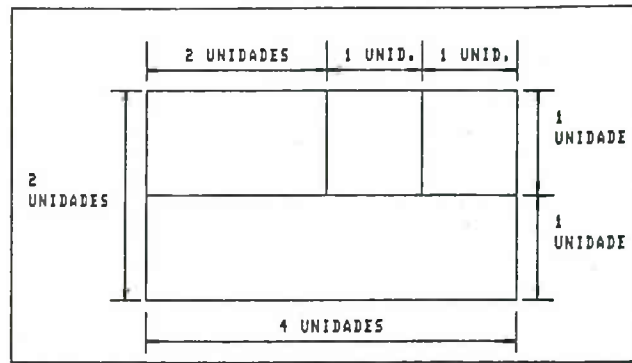


Fig.3.6 A divisão modular de um espaço permite a combinação de partes em vários arranjos [16].

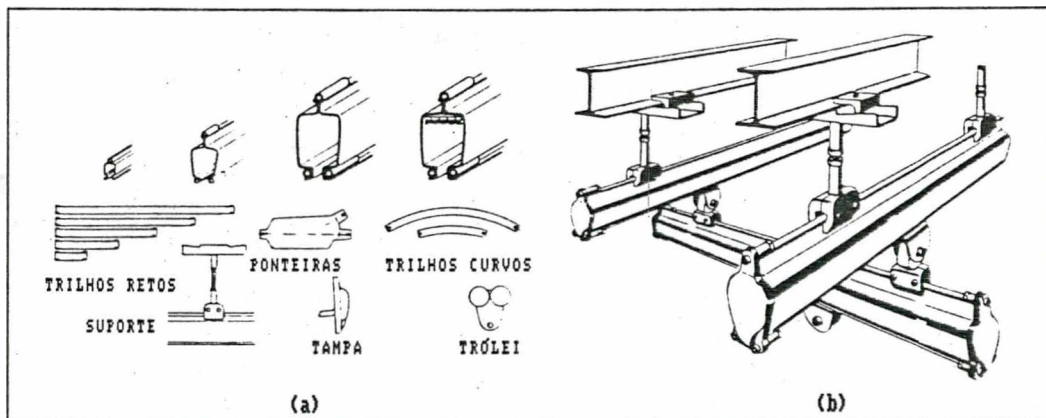


Fig. 3.7 Sistema modular aberto [20]. Sistema de trilhos de transporte: a) módulos; b) combinação dos módulos.

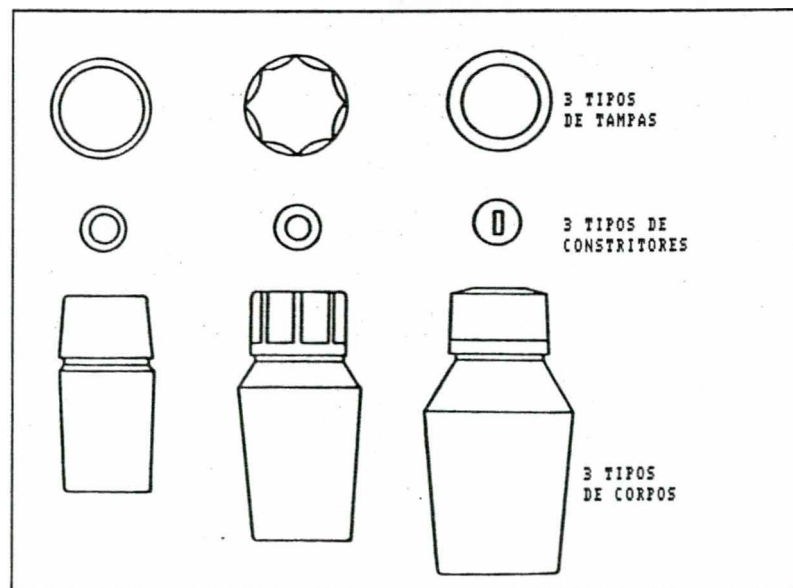


Fig. 3.8 Sistema modular fechado [16]. Usando-se três tipos de tampas, três constritores e três corpos, podem ser formados 27 arranjos distintos.

### 3.3.5) O PAPEL DA NORMALIZAÇÃO

É fundamental projetar o produto utilizando-se normas adequadas. Isto assegura qualidade e confiabilidade ao produto final [16, 22] que, naturalmente, se manifestarão também na realização das montagens.

É sabido que são diversos os níveis de padronização [16, 22]. Na elaboração de sistemas modulares o que se realiza, na verdade, é uma normalização em vários aspectos, a nível de empresa. Esta normalização visa justamente garantir a intercambialidade, uma de suas maiores virtudes, mesmo que possivelmente restrita a uma série de produtos. Acompanhando a intercambialidade vem a redução de variedade, conseguida pela consequente eliminação das redundâncias.

Aparte os sistemas modulares, o uso de partes padronizadas na concepção de um produto pode ir do simples uso de parafusos normalizados até ao uso de unidades de controle, motores, combinações de lentes e outros elementos também normalizados, sempre com vantagens [1].

Os padrões internos da empresa podem, portanto, aumentar o uso das unidades que mais frequentemente aparecem. Deste modo aumenta-se drasticamente o tamanho das séries de componentes e, similarmente, reduz-se os custos de montagem por meio do aproveitamento de submontagens já conhecidas (módulos) e, eventualmente, equipamentos de montagem [1].

Naturalmente, a normalização tem suas restrições, o que pode ser verificado em [16, 20, 22].

### 3.4) OUTROS PRINCÍPIOS DE ESTRUTURAÇÃO

Outros princípios aplicáveis na estruturação do produto são os seguintes [1]:

**INTEGRAR:** Na estrutura do produto, o princípio de evitar montagens (item 5.2) se traduz por INTEGRAR. O produto, incluindo subsistemas e submontagens, deve ser desenvolvido o mais integrado possível, sem prejudicar o manejo e funcionalidade do mesmo. Concepção integrada se refere à combinação de várias partes em um único componente. Exemplos típicos são cons

trução fundida ao invés de soldada, fig. 3.9; extrusão ao invés de seções conectadas, fig. 5.2-a; soldagem ao invés de juntas parafusadas, etc [20].

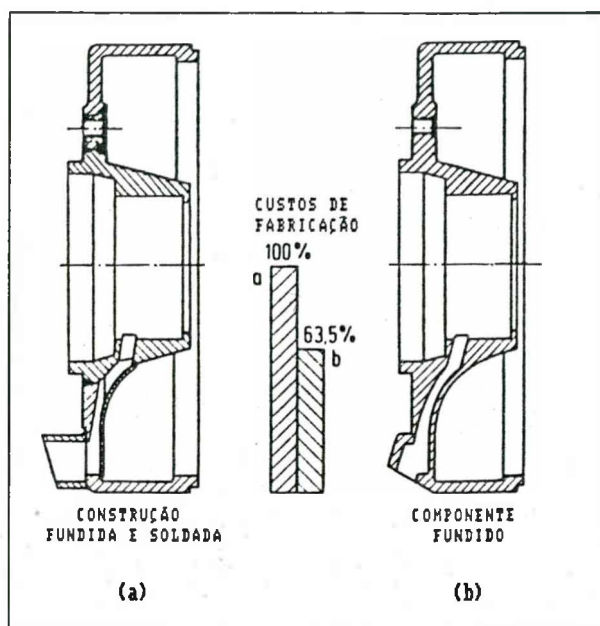


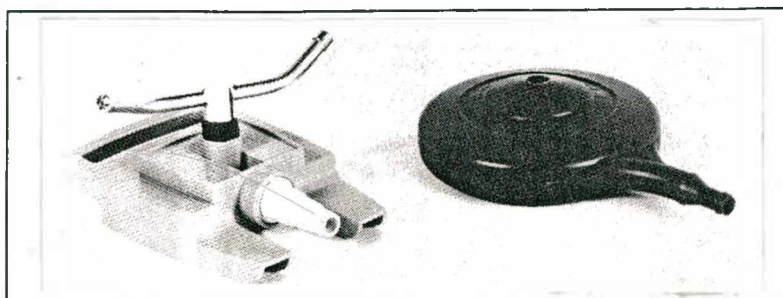
Fig. 3.9 Estrutura integrada [1, 20]. Tampa para motor elétrico que inicialmente era de construção composta (a) e o projeto correspondente, de concepção integrada (b). Embora a segunda versão seja mais complexa, representa uma redução de custos de 36,5%.

O objetivo principal da integração é obter [1]:

- poucos componentes e submontagens;
- conjuntos maiores e, conseqüentemente, mais facilmente manipuláveis e
- plena exploração da capacidade dos processos de fabricação.

Quando bem desenvolvida, a técnica de integração pode compactar a estrutura, com ganho em espaço e, provavelmente, peso. A figura 3.10 mostra um exemplo onde se percebe o efeito de integração na estrutura do produto. Neste caso, a compactação foi conseguida.

Fig. 3.10 Esguicho de água em duas concepções diferentes [1]. A função é a mesma porém a diferença de construção e conseqüente diferença no número de componentes é grande.



**DIFERENCIAR:** A diferenciação se refere à subdivisão em partes e componentes menores. À primeira impressão, este pode parecer um princípio contraditório aos objetivos do PPM pois implica em aumento do número de peças manipuladas e operações de montagem. Contudo, em certos casos, a diferenciação se torna necessária, principalmente quando se deseja [1]:

- adaptação diferenciada às exigências funcionais;
- adaptação ótima aos processos disponíveis pelo equipamento fabril da empresa (máquinas ferramentas padrão);
- possibilidade de aplicação de peças compradas e peças padronizadas;
- objetos (componentes, peças, partes) mais leves e
- aumento no tamanho da produção anual.

A diferenciação pode ser quanto a materiais ou quanto à subdivisão em partes componentes (mesmo material). Naturalmente, a aplicação deste princípio, como os demais, só se justifica se algum requisito de projeto importante é satisfeito.

É interessante observar que, embora o custo de fabricação e montagem de determinado conjunto pareça ser sempre maior com a divisão em mais partes, em alguns casos o custo total pode ser reduzido. É o que mostra a figura 3.11, onde são apresentados dois projetos para um conjunto árvore-pinhão.

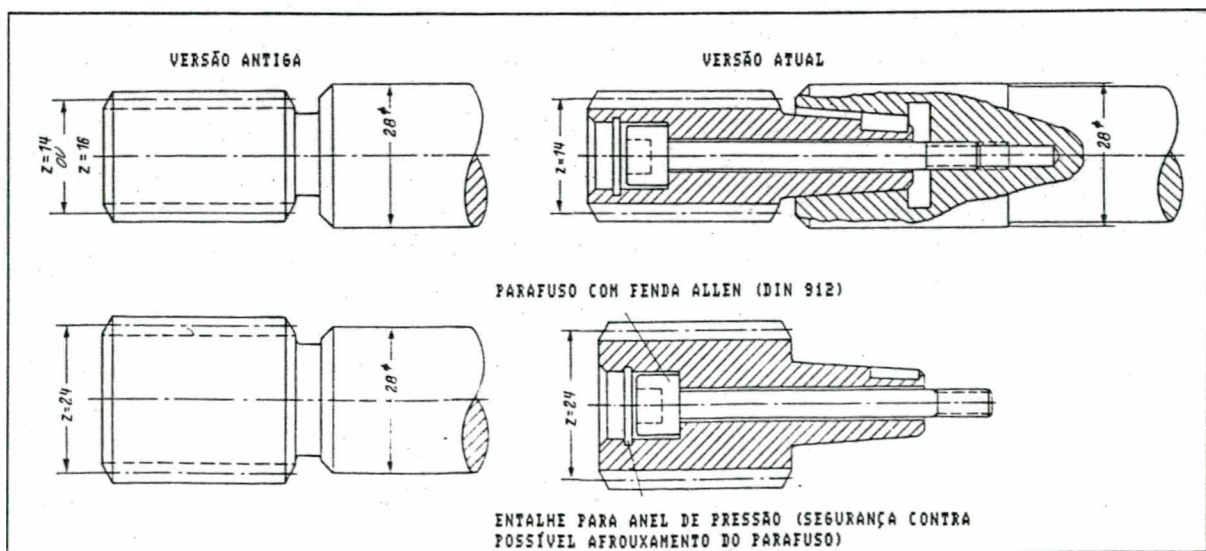


Fig. 3.11 Construção diferenciada [25]. Um conjunto árvore-pinhão pode ser fabricado como peça única ou como partes separadas. Esta última versão mostra-se mais econômica.

A versão antiga necessitava a fabricação de eixos motrizes com pinhão aco plado de 14, 16 e 24 dentes. As versões de 14 e 16 dentes eram acomodadas em um único tamanho, enquanto que para 24 dentes era necessário usinar um eixo com pinhão de maior diâmetro. Para efeito de vida útil do pinhão, es te deveria ser confeccionado em material de melhor qualidade, mais caro, o que obrigava o uso deste mesmo material na fabricação do eixo, já que ambos eram usinados em uma só peça. O novo projeto prevê a divisão em partes, os pinhões sendo montados no eixo, que passou a ser fabricado em outro mate rial menos caro. Mesmo com o aumento do número de partes e operações de montagem, o projeto resultante é de custo final mais baixo que o anterior.

EMPREGAR CONSTRUÇÃO COMPOSTA: Construção composta significa uma com posição de partes feitas de vários materiais, as quais são unidas de modo a formar uma estrutura permanente [1]. Aspecto importante é o não emprego de elementos de união ou outro material que preencha esta função (soldas, colas, etc). A junção entre as peças é feita diretamente durante o proces so de fabricação, normalmente processos de injeção, seja de plástico ou metal fundido. Na verdade, outras formas de construção composta existem, como, por exemplo, quando se soldam partes feitas de materiais diferentes ou se emprega vários métodos de união, distintos, simultaneamente [20]. Entretanto, para os fins do PPM, a técnica aqui apresentada é a mais sugestiva.

Exemplos de construção composta são apresentados na figura 3.12, on de se vê claramente que a montagem é eliminada.

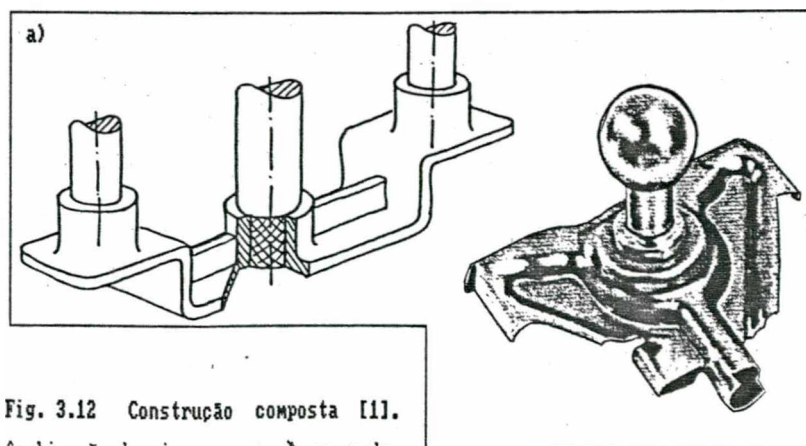


Fig. 3.12 Construção composta [1].  
Combinação de zinco e aço. À esquerda,  
união de três eixos de aço, à direita,  
fundição de uma alavanca em uma placa. Ambas foram produzidas em máquina espe  
cial de fundição por injeção.



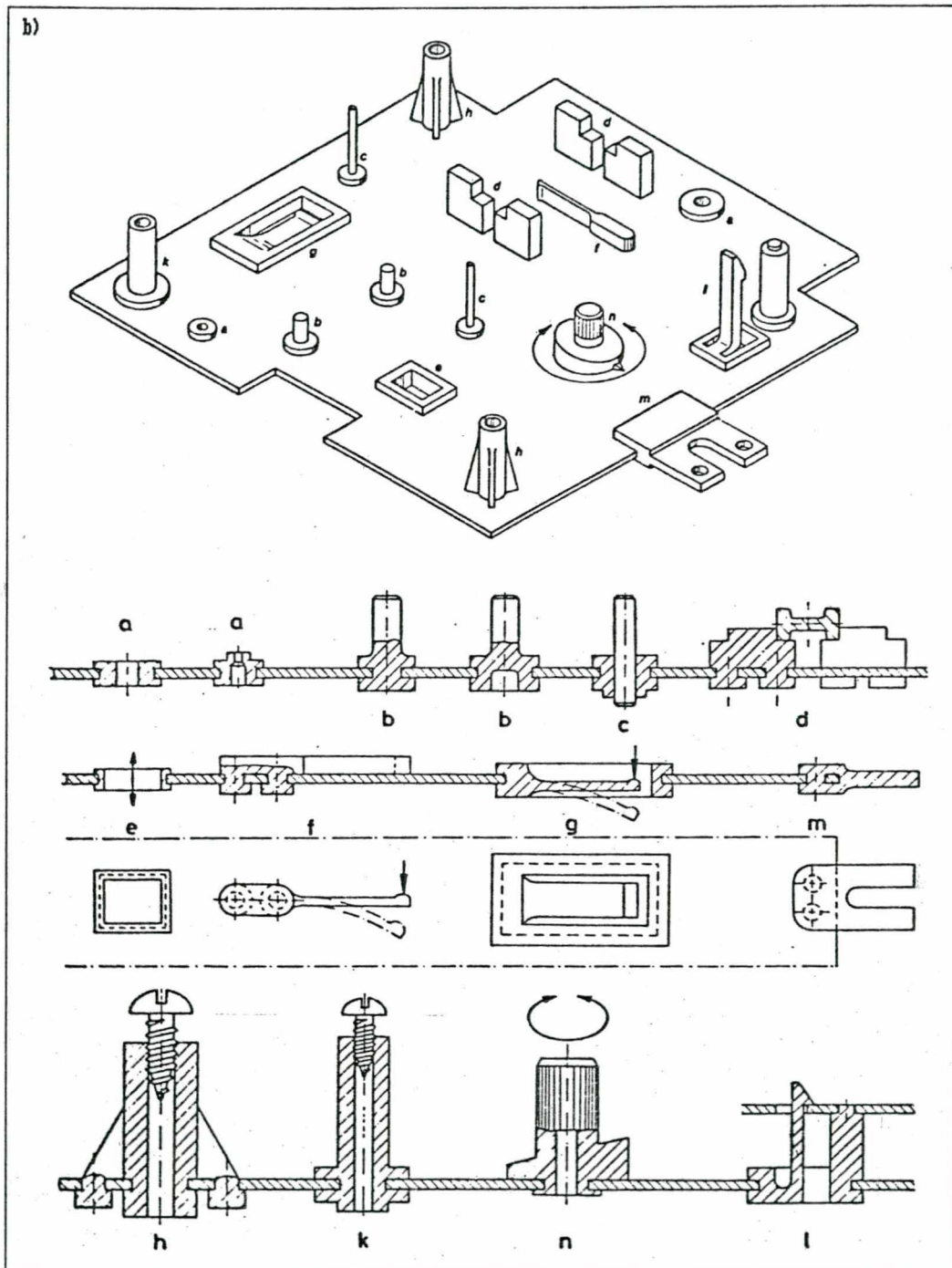


Fig. 3.12 (Continuação). Todos os detalhes montados foram injetados diretamente na chapa metálica que havia sido inserida no molde. Por meio desta técnica pode-se obter considerável redução no tempo de montagem e, por causa do alto grau de precisão do processo, redução no tempo de ajustagem.

Por meio desta técnica se obtém [1]:

- exploração ótima de vários materiais;
- estrutura complexa empregando-se processos básicos (simples) e
- composição bem definida, determinada pelo processo de fabricação, sem necessidade de montagem.

**EMPREGAR UM CHASSIS TOTAL:** O chassis total (único) corresponde à uma estrutura interna do produto, no segundo sentido apresentado no item 2.4.1. Servirá de suporte para as operações de montagem, incluindo transporte, conferência, testes [1]. Ou seja, receberá todas as partes funcionais do produto e servirá de elemento de integração entre estas. Se o chassis é fabricado com alta precisão, benefício adicional obtido é a não necessidade de ajustes das montagens que serão efetuadas sobre ele [1].

**PROJETAR BONS COMPONENTES DE BASE:** Componente de base significa um componente maior que permita, comodamente, o transporte de si mesmo, de estação para estação, sem necessidade de outros apoios ou fixações, servindo de base para a execução de montagens sobre si. Tanto podem ser peças menores que acomodem outras poucas mais (fig. 3.13-a) quanto chassis maiores e mais complexos (princípio anterior), que receberão muitos componentes e até mesmo outras submontagens (fig. 3.13-b).

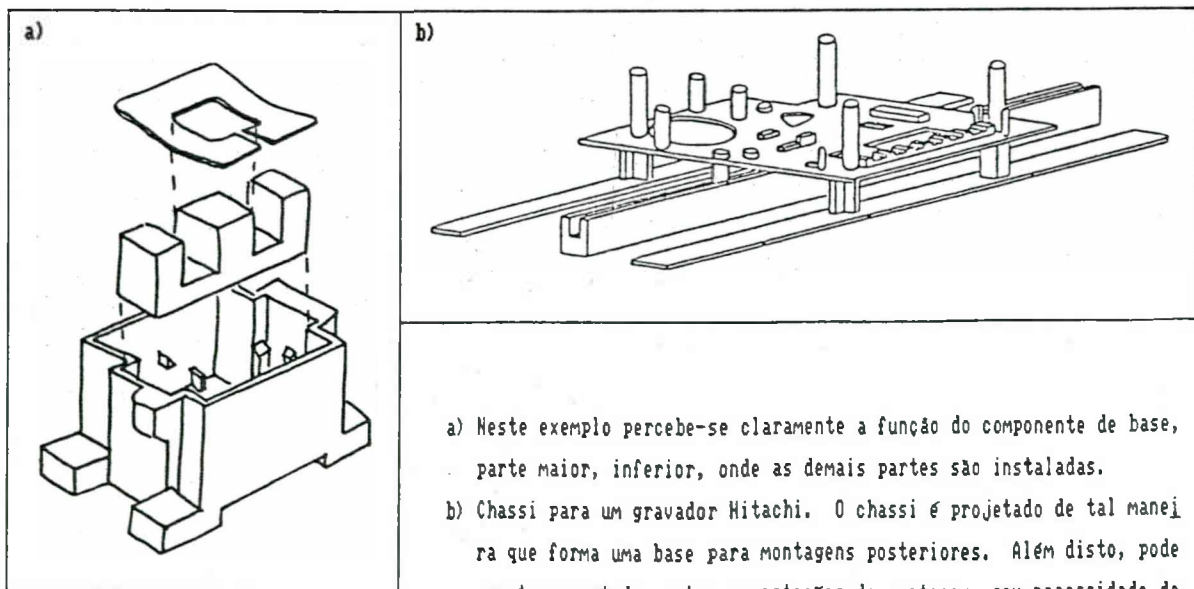


Fig. 3.13 Componentes de base [1].

Enquanto característica estrutural, um componente de base bem projetado deve proporcionar [1]:

- base adequada para transporte, fixações e efeitos de força no processo de composição e
- não necessidade de fixações para montagem dos elementos.

Este princípio de estruturação, por tratar do desenvolvimento de um componente específico, será também abordado no capítulo 4, onde recomendações de projeto serão acrescentadas ao tópico.

PROJETAR UMA ESTRUTURA EM PILHA: A expressão "estrutura em pilha" é literal, ou seja, trata-se de uma estrutura onde a maioria dos componentes são organizados de forma a serem montados em camadas ("empilhados"), sendo fixados, numa etapa final, pela própria força interna de coesão entre os elementos [1]. Exemplo clássico são os plugues elétricos, figura 3.14. Uma estrutura em pilha proporciona montagens simples [1], além de permitir que esta seja efetuada como um número mínimo de dispositivos de fixação [28].

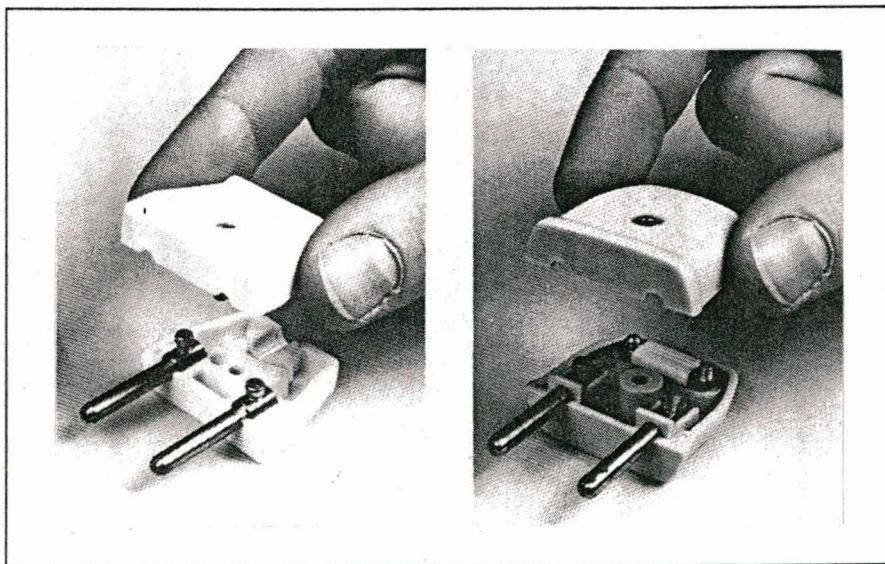


Fig. 3.14 Construção em pilha [1]. Exemplo clássico e simples que ilustra tal princípio. As duas partes do plugue contêm, quando unidas, todos os componentes da montagem. Comparando-se as duas versões, percebe-se que o plugue da direita não foi concebido como estrutura em pilha.



## COMPONENTES: PRINCÍPIOS DE PROJETO

### 4.1) INTRODUÇÃO

É sabido, através das discussões apresentadas nos capítulos anteriores, que os componentes do produto se revelam um campo extremamente fértil para a aplicação dos métodos do PPM. Sendo assim, neste capítulo serão apresentados vários princípios de projeto aplicáveis no desenvolvimento de peças ou mesmo reprojeto de produtos.

Tem-se que, para melhorar as operações de montagem, algumas recomendações devem ser seguidas [16], isto é, deve-se facilitar:

- o armazenamento ordenado de partes a montar;
- o manejo das peças (identificação, captação, movimento);
- o posicionamento (orientação, alinhamento) e
- a união das peças.

Como se verifica, todas estas recomendações se referem aos componentes. De uma maneira mais sistematizada, e mais compatível com a nomenclatura do capítulo 1, os princípios de projeto de componentes, quando aplicados, irão refletir, principalmente, nas operações de ORIENTAÇÃO, TRANSPORTE, INSCRIÇÃO E UNIÃO.

À exceção desta última, tema do próximo capítulo, às demais serão relacionadas recomendações de projeto acompanhadas de ilustrações e exemplos.

Com o objetivo de evitar operações de montagem, um princípio inicial se aplica: INTEGRAR UM COMPONENTE A OUTRO [1]. Porém, a integração aqui não mais implica em compactação, como no projeto da estrutura, e sim em agregação de componentes semelhantes, obtida já durante a fabricação. Mais adequadamente se aplica a grupos de pequenas peças, arranjadas em posição relativa próxima, que serão utilizados num mesmo produto. Após a montagem do conjunto de peças, no produto ou submontagem, a união entre estas é eliminada, como se observa nos exemplos da figura 4.1.

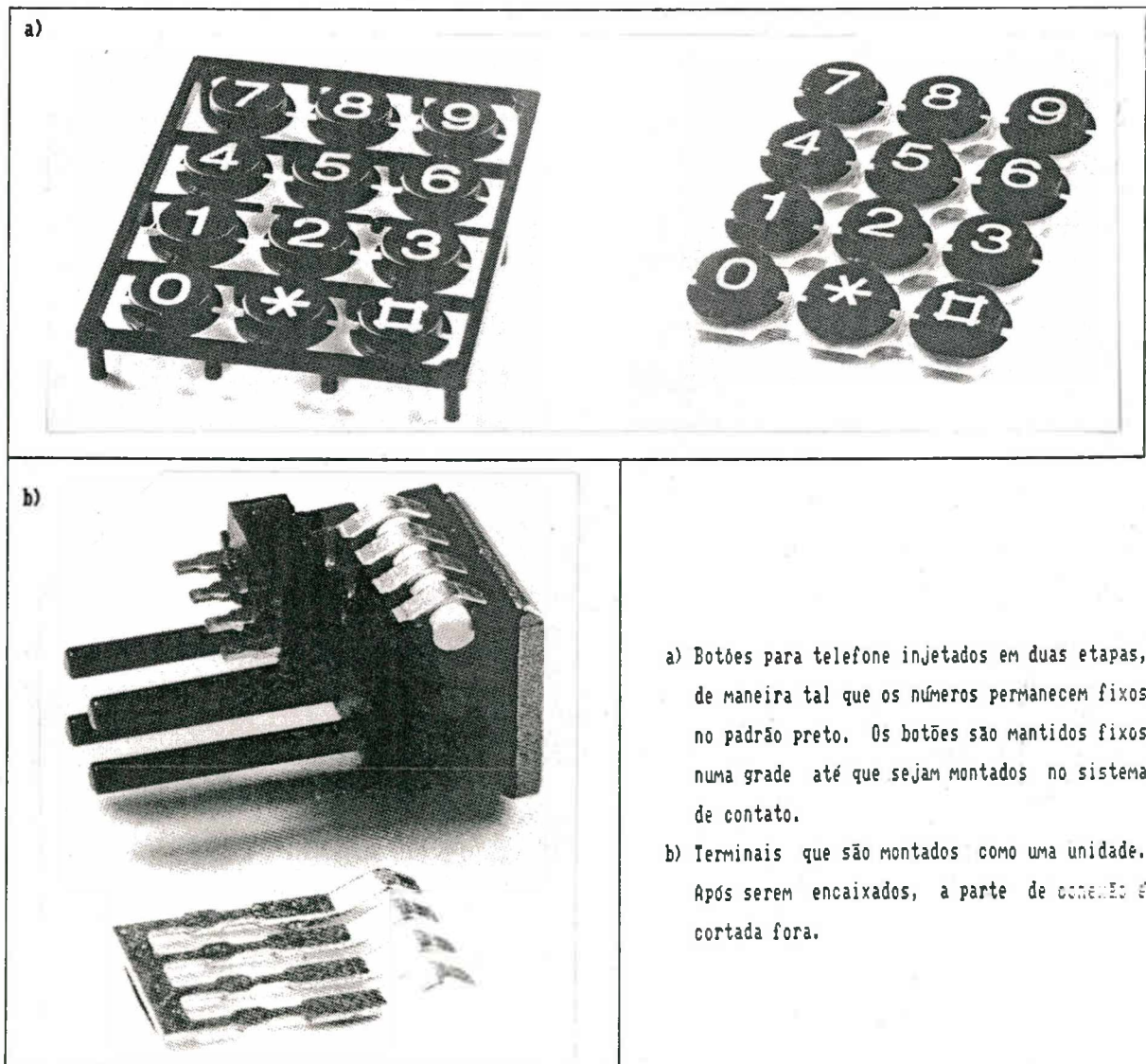


Fig. 4.1 Agregação de pequenos componentes [1].

A agregação proporciona os seguintes benefícios [1]:

- evita manipulações que de outra forma seriam difíceis (manipular cada peça individualmente);
- evita posicionamentos ou inserções críticas e
- reduz o número total de operações de montagem.

Relacionado à eliminação direta da montagem de componentes, está o princípio que trata do emprego de métodos de fabricação integrantes. Este é tratado mais adiante, no capítulo 5.

O posicionamento preciso de peças ou superfícies funcionais em relação umas às outras pode ser obtido através de: manufatura e montagem de componentes com tolerâncias precisas, ajustagem local e pelo uso de fixadores e gabaritos [1]. Se possível, deve-se EVITAR EXIGÊNCIAS DE TOLERÂNCIAS PARA OS COMPONENTES [1], pois, desta maneira, os custos de fabricação são reduzidos. Devem-se usar tolerâncias as mais amplas possíveis, condizente com a função do produto, para facilitar a montagem, a não ser que o objetivo seja segurar as partes juntas [17].

Deve-se também EVITAR EXIGÊNCIAS QUANTO A ACABAMENTO SUPERFICIAL [1], pois além dos custos de fabricação serem reduzidos, a manipulação durante a montagem pode ignorar a possível vulnerabilidade das superfícies das peças.

## 4.2) CONSIDERAÇÕES DE ORIENTAÇÃO

A tarefa de orientar as peças pode ser eliminada do processo de montagem, como se verá no item 4.2.1. Não sendo possível suprimi-la, o máximo esforço deve ser feito para torná-la mais fácil.

### 4.2.1) EVITANDO ORIENTAR

Um primeiro princípio é: USAR MAGAZINES [1]. Magazine significa um meio mecânico ou estrutura que mantém, parcialmente ou completamente, os compo

nentes numa direção constante. Neste caso, a orientação apenas não é realizada como operação do processo de montagem pois, para as peças serem posicionadas num magazine, algum meio, manual ou mecânico, deve ser empregado para orientá-las. Outra alternativa é deslocar a função de orientação das peças no magazine para o meio de fabricação (ver ítem 6.2).

Ainda relacionado com o processo de fabricação, aplica-se um segundo princípio: USAR COMPONENTES EM FORMA DE FITA [1]. A forma de fita deve ser entendida como uma cadeia de componentes que mantêm entre si algum elo de união. Este elo pode ser natural do processo de fabricação (fig. 4.2) ou acrescentado após a produção individual de cada componente (fig. 4.3). Um importante aspecto que se observa é o compartilhamento de uma orientação comum entre as partes ligadas. Também se incluem neste caso componentes simples estampados que permaneçam juntos antes da montagem, submontagens e quaisquer outros componentes que, com a ajuda de material de suporte, permaneçam conectados.

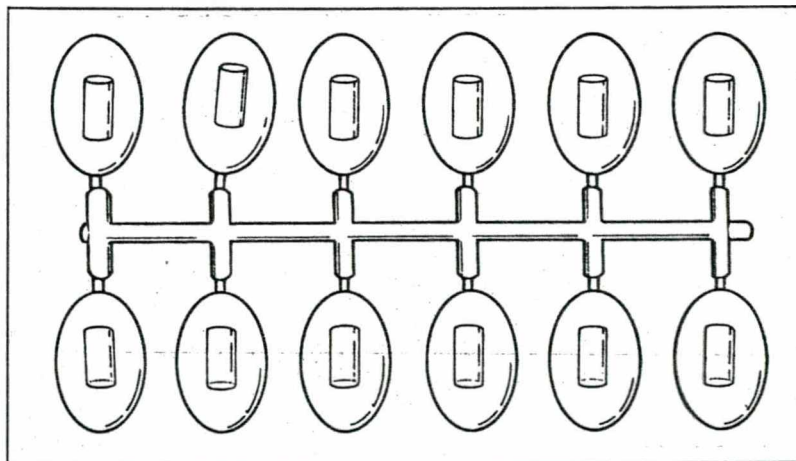


Fig. 4.2 Componentes em forma de fita [11]. Partes moldadas por injeção de plástico.

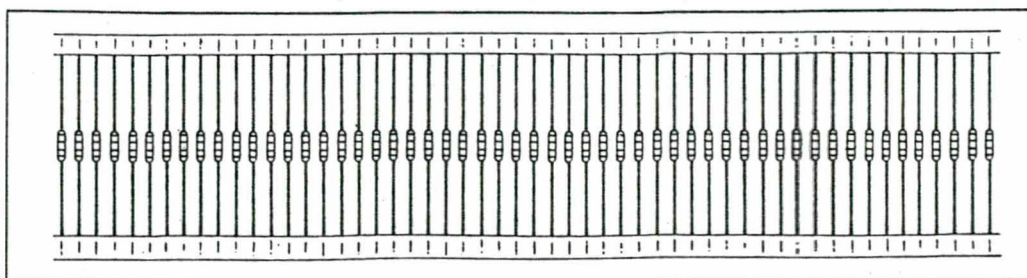


Fig. 4.3 Componentes em forma de fita [11]. Fita contínua de resistores.



4.2.2) FACILITANDO A ORIENTAÇÃO

A orientação em equipamentos automáticos envolve movimentação e captação de peças que, se não adequadamente projetadas, emaranharão umas com as outras quando armazenadas juntas. Portanto, o princípio correspondente é: EVITAR EMARANHAMENTO [1]. Frequentemente, os componentes têm tanto orifícios quanto projeções (aletas, abas, orelhas). Para os componentes, as funções destas características são irrelevantes uma para a outra e as projeções não são pensadas para entrar nos orifícios. A relação entre o tamanho dos furos e das projeções em tais partes é importante para prevenir emaranhamento, causado pelas projeções se encaixando nos furos, quando uma peça entrar em contato com as semelhantes [11]. Outro caso típico acontece com molas. Estes exemplos, e outros, são mostrados na figura 4.4.

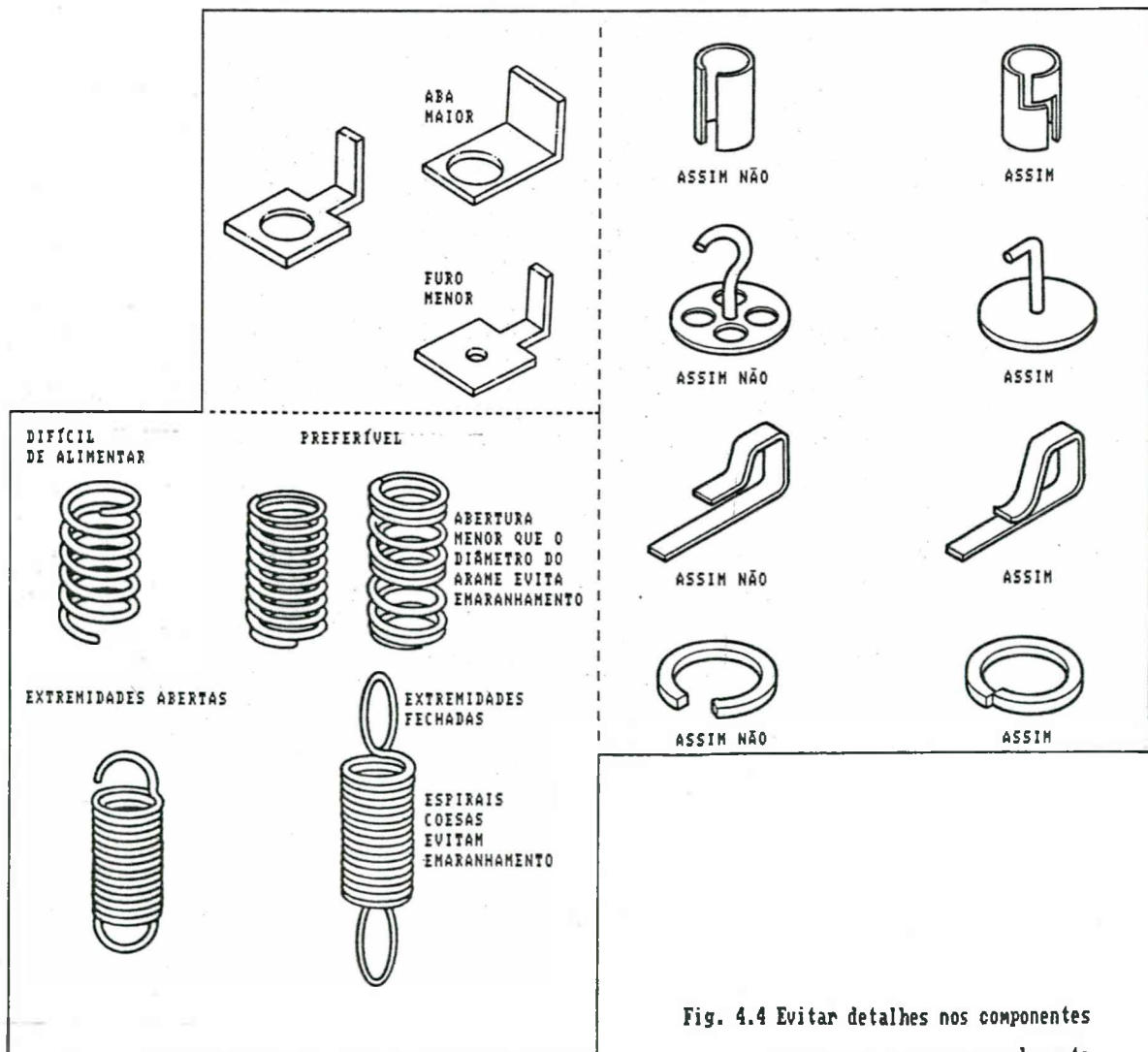


Fig. 4.4 Evitar detalhes nos componentes que possam causar emaranhamento durante a alimentação [11, 17].

PROJETAR SUPERFÍCIES ESPECIAIS DE ORIENTAÇÃO [1] é especialmente importante quando a peça não apresenta características suficientes que permitam que o sentido de orientação previsto para a mesma seja facilmente identificável. A inclusão de alguma diferença física possibilitará a realização do processo de orientação de maneira inequívoca (figura 4.5).

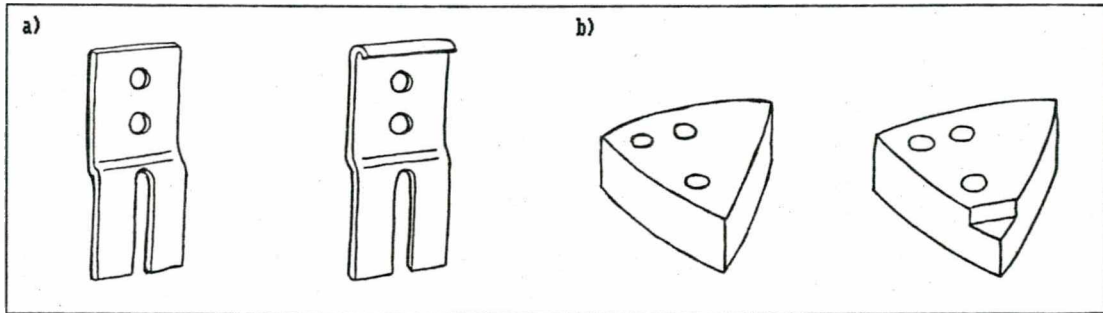


Fig. 4.5 Superfícies especiais de orientação [1]. a) Peça difícil de orientar, portanto uma saliência que permite orientação e transporte num trilho foi adicionada. b) Componente que é orientado após feitos os furos. Um detalhe não funcional é acrescentado para que a orientação apropriada seja efetuada por um alimentador automático.

Equipamentos mecanizados e automáticos são extremamente sensíveis a componentes defeituosos alimentados inadvertidamente (ver também capítulo 6). Um cuidado a ser tomado é EVITAR COMPONENTES INADEQUADOS [1]. Inadequados serão componentes e partes que apresentem defeitos de fabricação, distorções ou dimensões fora de tolerância [1]. É conveniente estabelecer rigoroso controle quanto a tais problemas, principalmente se algumas dimensões da peça (superfícies de montagem) serão usadas para localizá-la durante o processo de alimentação e montagem automáticas. Deve-se cuidar para que tais dimensões críticas sejam mantidas em valores compatíveis. Partes flexíveis como molas e outras feitas de arame, fitas metálicas estreitas ou borracha também são consideradas componentes inadequados ao processo de montagem automática e o ideal é que sejam excluídos do mesmo [17].

Aspecto curioso no projeto de peças destinadas à montagem automática diz respeito à simetria. Alguns componentes se adequam melhor ao processo se tornados simétricos em torno de quantos eixos for possível enquanto que em outros, os atributos de não simetria (peso, comprimento, largura, etc) devem ser acentuados de modo a auxiliar o mecanismo de orientação de

partes [17].

Portanto, um primeiro princípio se refere a TORNAR OS COMPONENTES SIMÉTRICOS [1]. Este se aplica, mais adequadamente, a componentes que apresentem formas retangulares pois, nestes, apenas poucos sentidos de orientação são viáveis e, frequentemente, o projetista pode tornar todas estas orientações praticáveis [11]. A figura 4.6 apresenta alguns exemplos onde as duas extremidades de cada peça foram tornadas simétricas para facilitar a orientação.

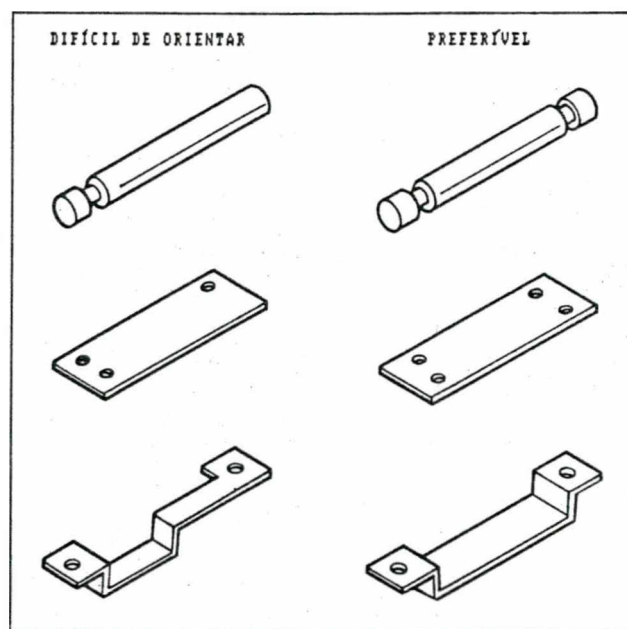


Fig. 4.6 Exemplos nos quais a simetria facilita a orientação [11].

O outro princípio relacionado à simetria é ACENTUAR A ASSIMETRIA [1], principalmente quando os componentes são quase simétricos, o que torna a orientação difícil tanto para uma máquina quanto para um operador. Nestes casos a assimetria deve ser claramente definida (figura 4.7-a). Objetos circulares ou em forma de disco, figura 4.7-b, são particularmente adequados à adição de características não simétricas porque, sem detalhes de localização, podem assumir um número infinito de orientações rotacionais [11].

Na assimetria há possibilidades para orientar os componentes com mecanismos passivos baseados em, por exemplo, tendências a virar ou rotacionar ou posição do centro de gravidade (figura 4.7-c) [1].

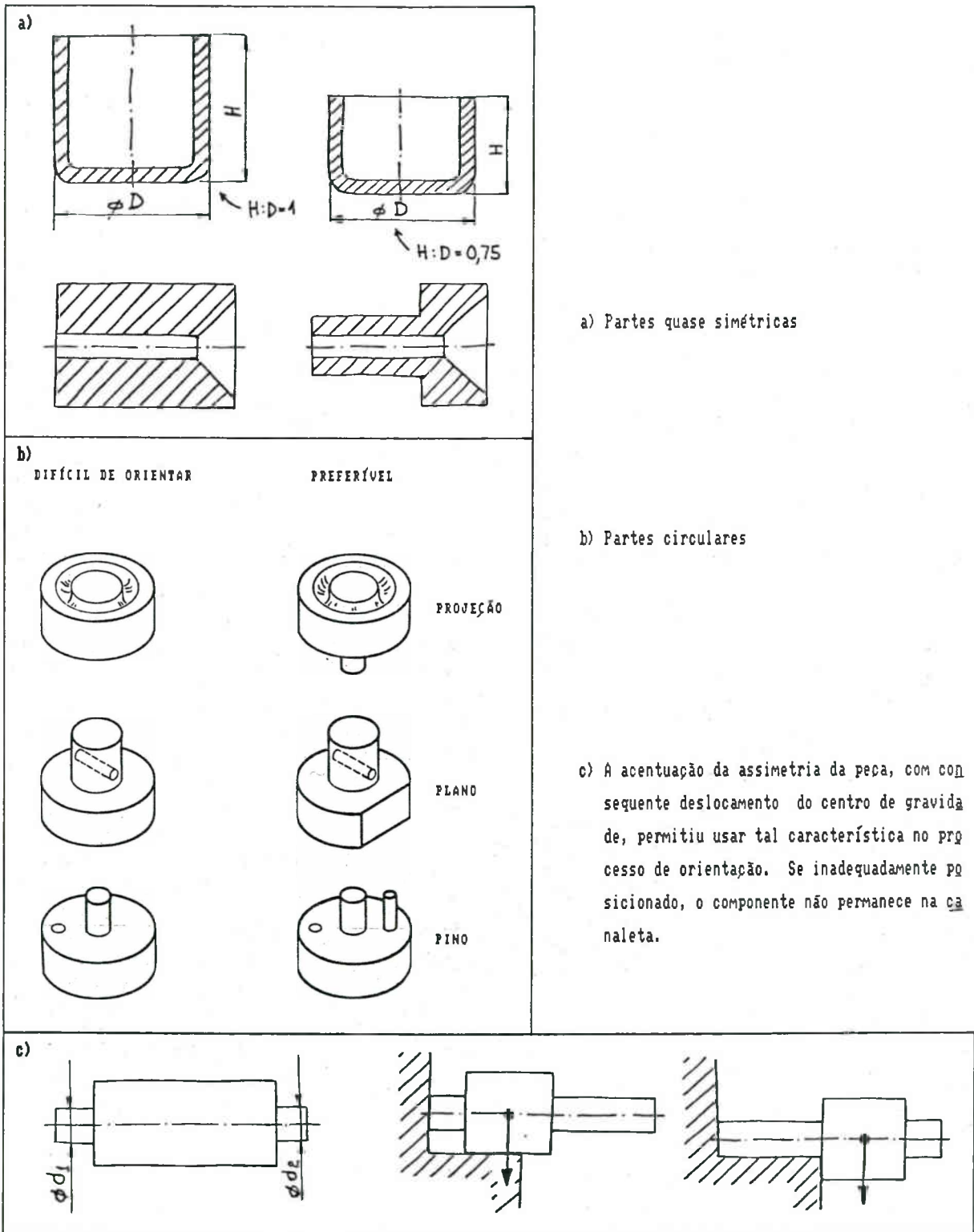


Fig. 4.7 Exemplos nos quais a assimetria acentuada facilita a orientação [1, 11].



Observa-se, porém, que o acréscimo de características extras nas peças, tanto para torná-las simétricas ou não, provavelmente representará a necessidade de operações extras de processamento, gerando um possível aumento no custo dos componentes. Este aumento de custo, contudo, é plenamente justificado pela correspondente redução nos custos de montagem [10].

#### 4.3) CONSIDERAÇÕES DE TRANSPORTE

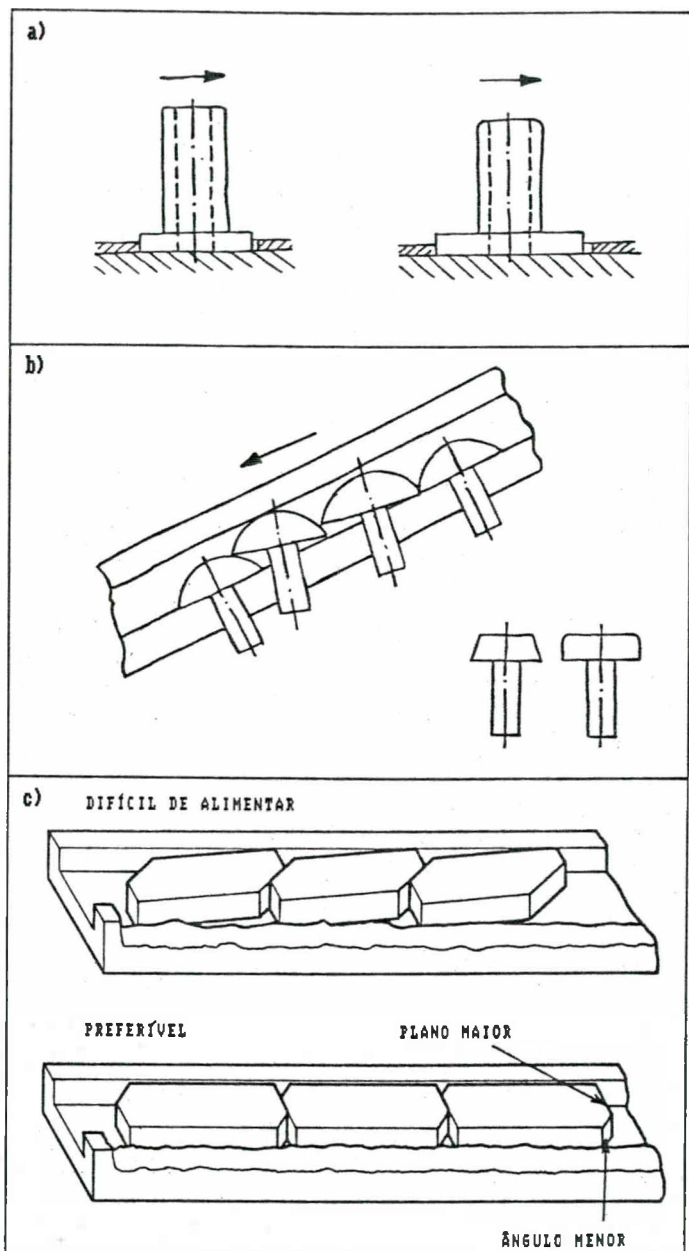
O transporte pode ser realizado por equipamento passivo (trilhos, canaléatas, condutos, planos inclinados) ou por sistemas dotados de mobilidade (p. ex., unidades *pick and place*) [1].

As considerações de projeto dependerão muito da peça em questão e do meio de transporte a ser utilizado, não sendo possível estabelecer princípios precisos para todos os casos. Porém, um princípio fundamental o projetista deve ter em mente: TORNAR APROPRIADO O TRANSPORTE DOS COMPONENTES [1], ou seja, facilitá-lo. Isto pode parecer óbvio mas certos detalhes de projeto que dificultam o transporte nem sempre são facilmente perceptíveis.

Problemas típicos são:

- tombamento de peças (figura 4.8-a);
- peças que se amontoam, não permitindo o escoamento normal (figura 4.8-b);
- travamento do fluxo de peças quando estas assumem uma posição oblíqua em relação ao sentido do movimento (figura 4.8-c), em função das extremidades não serem ortogonais a este e
- sobreposição de umas sobre as outras ("acavalamento", figura 4.8-d).

A construção de submontagens que apresentem partes flexíveis ou frouxas deve ser evitada pois durante a manipulação e conseqüente transporte das mesmas, estas podem ser danificadas ou se emaranhar. Quando tais submontagens são inevitáveis, devem ser preparados dispositivos de fixação para a montagem e suportes para a manipulação e transporte [17].



a) O aumento da base evita que o componente tombe facilmente.

b) Interrupção do fluxo de peças. O reprojeto das cabeças facilita o transporte.

c) Componentes que assumem posição oblíqua. Tornar as extremidades planas, ortogonais à direção do movimento, evita o problema.

d) Acavalamento de componentes. Peças muito finas ou que tenham beiradas em cunha, tenderão a se sobrepor durante o transporte.

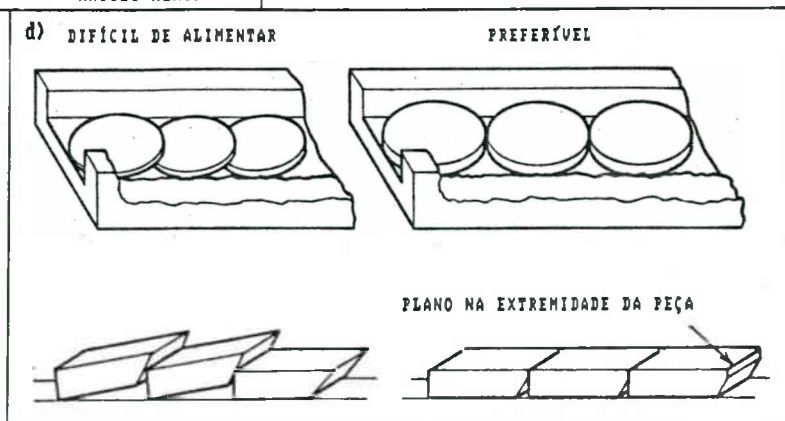


Fig. 4.8 Problemas comuns no transporte de componentes [1, 11].

Também relacionado a facilitar o transporte está o princípio PROJETAR UM COMPONENTE DE BASE [1], já apresentado no capítulo 3.

No desenvolvimento deste elemento, o projetista deve se empenhar para que [1]:

- o componente de base tenha muitas superfícies de conexão comuns a outros componentes (superfícies funcionais internas, item 2.4.4);
- o maior número possível de uniões possa ser efetuado diretamente, isto é, sem a necessidade do cumprimento de algumas sequências e condições de montagem;
- superfícies adequadas de conexão e de apoio estejam disponíveis;
- os movimentos necessários para a execução das montagens sejam apenas horizontais ou apenas verticais (ver item 4.4) e
- não seja necessário virar o componente de base durante o curso de transporte previsto.

As ilustrações apresentadas no capítulo 3, figura 3.5, relacionadas ao componente de base, permanecem válidas como exemplo.

#### 4.4) CONSIDERAÇÕES DE INSERÇÃO

A inserção de peças pode ser facilitada observando-se alguns princípios de projeto. Estes são discutidos a seguir [1].

OPTAR POR PADRÕES SIMPLES DE MOVIMENTO. O movimento referido é quanto à trajetória que deverá ser descrita por um componente para que seja montado em seu respectivo lugar. Tal trajetória deverá ser simples, linear e não composta, isto é, o movimento deve ser tal que não possa ser decomposto em várias direções axiais. É ainda melhor se todos os componentes puderem ser inseridos ao longo de uma mesma direção axial. Na montagem rotacionada isto permite o emprego de um robô com menos graus de liberdade, uma configuração certamente menos onerosa [10]. A figura 4.9 ilustra como movimentos compostos (curvilíneos) podem ser transformados em simples (retilíneos), através de cuidadoso reprojeto das partes.

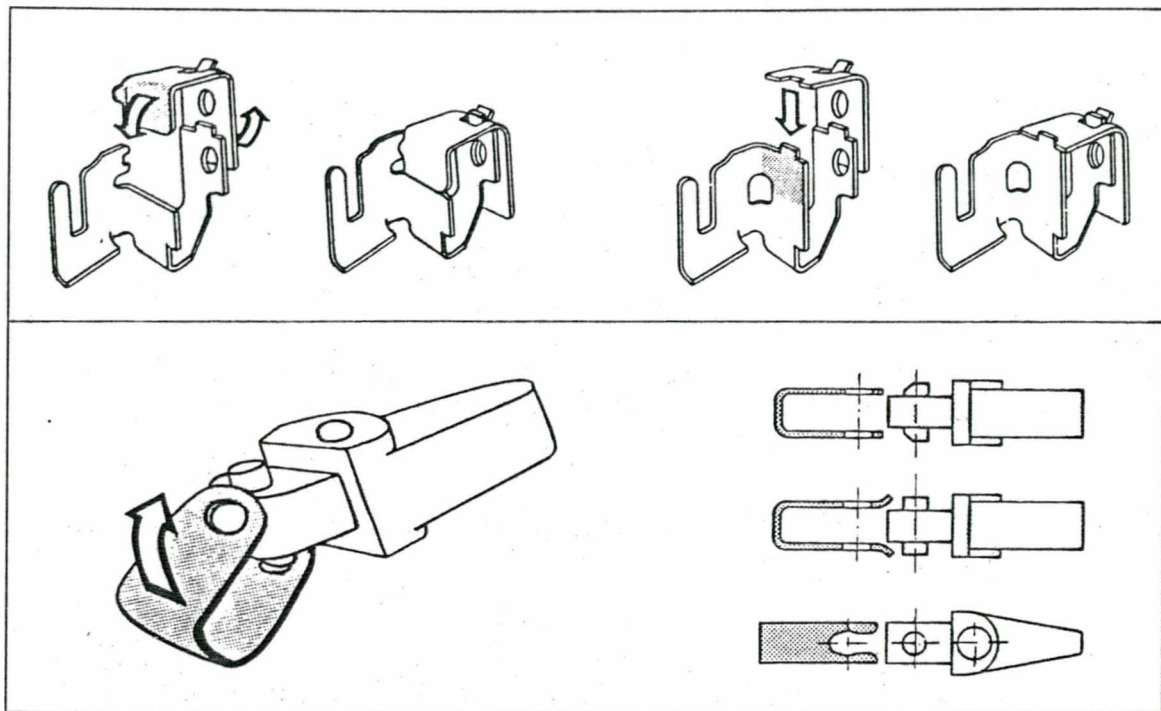


Fig. 4.9 Aperfeiçoando a trajetória de inserção [1].

Também deve ser cuidado para que a submontagem não necessite de reorientação, ao longo do processo de montagem, para que as demais partes sejam inseridas. Caso isto ocorra, tempo de manipulação é gasto desnecessariamente, sem que haja adição real de valor ao produto [10].

**TORNAR A INSERÇÃO PRECISA.** A precisão de uma inserção, neste contexto, é medida pela ausência de situações de ambiguidade, quando da realização da mesma. Tais situações são normalmente criadas quando vários componentes ou vários detalhes de um componente devem ser posicionados simultaneamente [1], como ilustra a figura 4.10. O reprojeto das peças permite a eliminação de movimentos indefinidos da montagem. Em placas e similares, orifícios para o encaixe de componentes devem ser alargados (figura 4.10-b) de forma a acomodar variações na localização dos pinos em relação aos furos [17]. Quando o projeto da peça permitir, fendas com aberturas em uma das extremidades são preferíveis a orifícios ou fendas fechadas, pois permitem que eixos e outras peças de encaixe possam ser montadas lateralmente, sem necessidade de alinhamento axial (figura 4.10-c). Com isto, o tempo de montagem é reduzido [17].

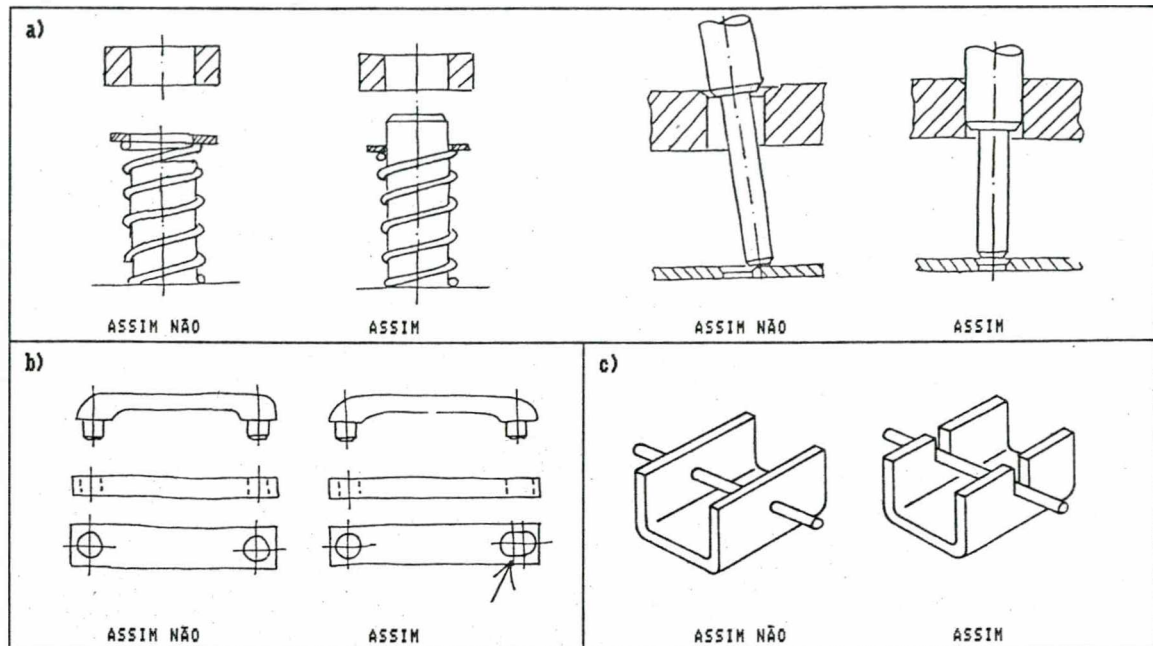


Fig. 4.10 Tornando a inserção precisa [1, 17].

Quando não for possível eliminar situações ambíguas, o componente deve ser reprojetoado, dotando-o de superfícies-guia, como é mostrado a seguir.

**ADAPTAR SUPERFÍCIES-GUIA NO COMPONENTE.** As superfícies-guia são aquelas cuja função é orientar o posicionamento correto das partes a serem montadas. Tais superfícies, embora normalmente apareçam nos componentes, podem também ser construídas nos suportes e dispositivos de montagem [1].

Sempre que possível, aberturas de orifícios e fendas devem ser chanfradas e, nas partes a serem inseridas em outras, devem ser criados detalhes como chanfros, afunilamentos, etc, que facilitem a tarefa de inserção (figura 4.11-a). Isto por causa da dificuldade de se obter um perfeito alinhamento, necessário quando as tolerâncias são estreitas. Robôs e equipamentos automáticos são sensíveis a este problema e o sucesso de uma aplicação robotizada depende, e muito, da diminuição da necessidade de realinhamento automático em tais casos [11].

A figura 4.11-b mostra outros exemplos onde superfícies-guia foram desenvolvidas para melhorar a montabilidade das partes, através de uma inserção mais fácil.



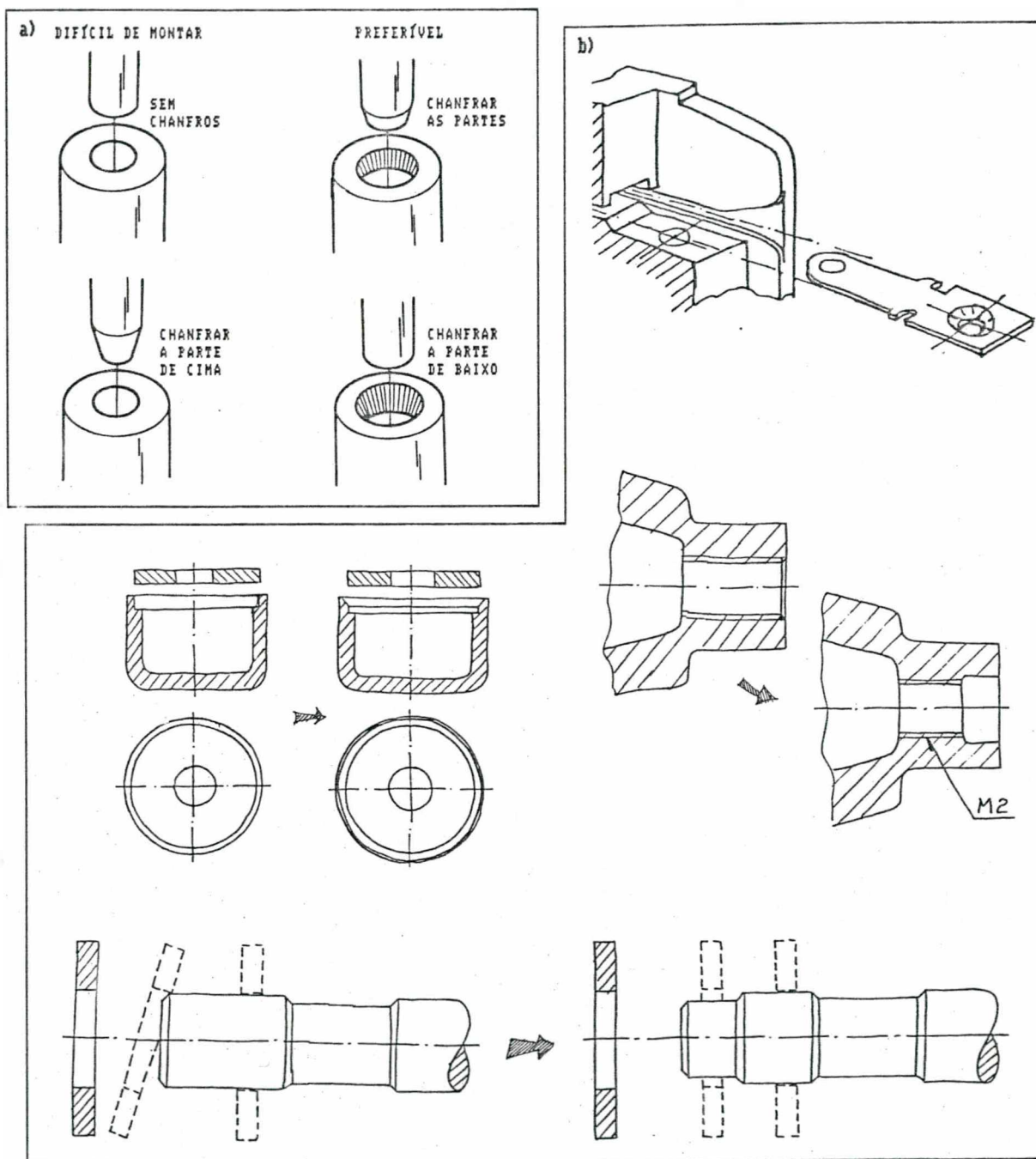
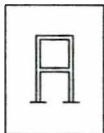


Fig. 4.11 Projeto para a inserção usando superfícies guia [1, 11].

## MÉTODOS DE UNIÃO

## 5.1) INTRODUÇÃO



união de peças separadas pode ser realizada por meio de três agentes distintos, como visto no item 1.2.2. Neste capítulo, uma outra classificação é proposta. Da referência [17], tem-se a montagem classificada em cinco categorias, conforme o processo utilizado:

- soldagem por arco e similares;
- soldagem por resistência;
- montagem por brazagem e semelhantes;
- por adesivos e
- montagens mecânicas (rebites, parafusos e encaixes, dentre outros).

Do ponto de vista dos elementos de união usados nos processos acima, três grupos podem ser constituídos:

- montagem por meio de elementos de união separados (parafusos, rebites, etc.);
- sem elementos separados mas com o uso de material de união, que pode ser material das próprias partes (solda ultra-sônica, por resistência) ou material de adição (adesivos, solda por arco voltáico) e

- sem elementos separados e sem material de união (encaixes, principalmente).

Este capítulo se concentrará nos métodos de montagem mecânica, sendo consideradas apenas uniões com e sem elementos separados. Conseqüentemente, a abordagem de materiais de união não é incluída. Na referência [17] podem ser encontradas considerações pertinentes de projeto.

#### 5.1.1) ESCOLHA DO MÉTODO DE UNIÃO

O método de união a ser adotado para uma determinada junção depende de análise durante o projeto do produto. Algumas perguntas podem ser formuladas para cada junção; as respostas obtidas nortearão a escolha [18]:

- A junção é necessária (materiais diferentes, etc.)?
- A junção será reaberta (normalmente requisitos de manutenção)?
- A junção deve exercer carga de compressão (junta de vedação ou resistente à vibração)?
- A junção requer movimento (dobradiças, junta esférica, etc.)?

Se a junção não será reaberta futuramente, então adesivos ou outra técnica de união permanente pode ser mais adequada. Mas, ao contrário, se a junção possivelmente será reaberta, parafusos e similares ou dispositivos de encaixar são necessários. O mesmo é válido para junções requerendo carga de compressão e movimento [18].

Baseado na necessidade de flexibilidade e funcionalidade, tem-se a seguinte hierarquia de junções; a ordem apresentada é de flexibilidade decrescente [18]:

- encaixes;
- parafusos e similares;
- colchetes;
- rebites;
- películas adesivas;
- adesivos e soldas.



## 5.2) PRINCÍPIOS GERAIS

O princípio básico e fundamental é: EVITAR MONTAGENS [1]. A consequência mais direta de tal princípio é a total eliminação dos custos de montagem. É interessante observar que em certos produtos isto foi aplicado de tal maneira que o produto, inicialmente formado pela união de partes separadas, é atualmente fabricado em peça única. É o caso, por exemplo, dos cabides de roupa, que começaram a ser feitos com quatro ou cinco peças de arame e madeira. Atualmente, por meio de moldagem em plástico, estes podem ser fabricados em apenas uma peça [17]. Porém, na grande maioria dos produtos, o que se consegue é apenas um resultado parcial, isto é, eliminação de algumas montagens e simplificação de outras, o que não deixa de ser um bom resultado.

EVITAR MONTAGENS é um princípio talvez evidente, porém frequentemente exige treinamento mental adequado para que possa ser aplicado [1].

Algumas questões são úteis na avaliação de partes, visando eliminar a montagem. Tais são [1, 2, 4]:

- A parte pode ser feita de material semelhante ao das demais já montadas?
- Partes combinadas permanecem estacionárias uma em relação à outra quando o produto está em operação?
- A flexibilidade de uso pode ser obtida pelas características elásticas dos materiais não metálicos?
- A parte precisa ser separada das outras já montadas com o intuito de facilitar a montagem ou desmontagem de outras partes separadas (para manutenção ou reparo, por exemplo)?

A figura 5.1 ilustra algumas destas questões.

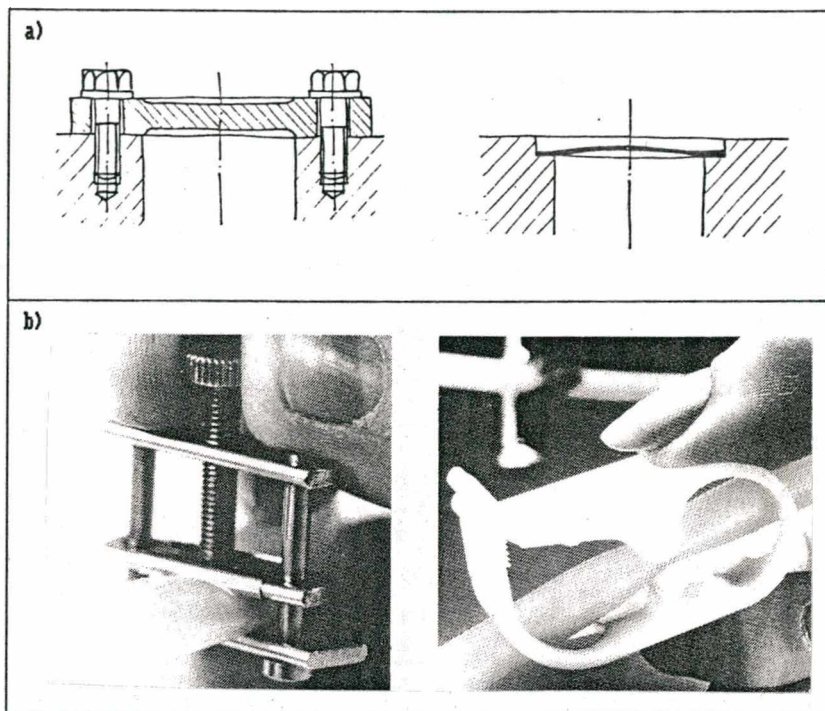


Fig. 5.1 Alguns critérios para a eliminação da montagem [1].

a) As partes devem ser desmontadas? Uma tampa e parafusos podem ser substituídos por um disco plástico, que é pressionado no lugar.

b) A flexibilidade de uso pode ser obtida pela elasticidade? Grampos para tubos de vários diâmetros, de metal (seis componentes) e de plástico (um componente). A montagem é eliminada aproveitando-se a elasticidade de componentes não metálicos. Ver também a figura 5.2-b.

A necessidade de montagem também pode ser reduzida ao se USAR MÉTODOS DE FABRICAÇÃO INTEGRANTES [1]. São assim considerados os processos de fabricação onde podem ser criadas formas que substituem componentes ou fazem com que estes sejam produzidos já montados na posição desejada. A este último caso está relacionado o princípio EMPREGAR CONSTRUÇÃO COMPOSTA, do item 3.4.

A figura 5.2 apresenta duas peças fabricadas dentro do princípio de fabricação integrante. A primeira é um perfil extrudado em alumínio, onde alguns componentes são incorporados ao perfil circular maior e a segunda um pregador de roupa obtido por injeção de plástico. Neste último, por se tratar de um produto simples, foi possível substituir todas as peças separadas por uma única, maior e mais complexa, que só requer uma operação de encaixe para resultar o produto acabado.

Em geral, todos os processos de fabricação por moldes nos quais é introduzido material fundido, metálico ou não, são considerados métodos de fabricação integrantes. Tais métodos são ideais para a confecção de partes complexas que apresentem incorporados muitas características e detalhes.

Também os elementos de união podem ser incorporados em partes maiores. Com isto, a manipulação de pequenas peças pode ser evitada [1]. Deve-se, portanto, EVITAR ELEMENTOS DE UNIÃO SEPARADOS [1]. Este recurso é

de importância significativa, em especial na montagem automática. O item 5.4 é dedicado ao assunto.

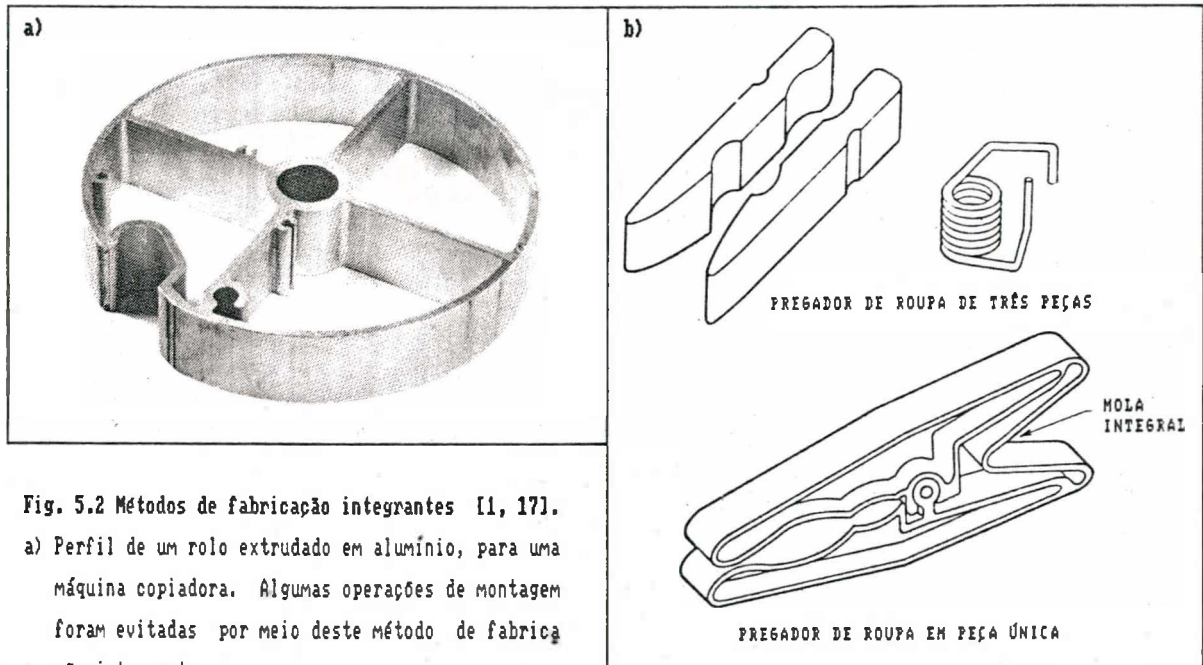


Fig. 5.2 Métodos de fabricação integrantes [1, 17].

- a) Perfil de um rolo extrudado em alumínio, para uma máquina copiadora. Algumas operações de montagem foram evitadas por meio deste método de fabricação integrante.
- b) Pregador de roupas de peça única, moldado por injeção. Duas seções, unidas por uma mola integrada, são montadas no pivô central, após a moldagem.

### 5.3) UNIÃO POR ELEMENTOS SEPARADOS

Duas grandes categorias de elementos de união se incluem neste tipo de montagem: parafusos e rebites. Não é objetivo deste trabalho discorrer minuciosamente sobre as técnicas de projeto das juntas a serem unidas. As referências [17] e [19] apresentam detalhes sobre tipos, espaçamentos, espessuras de juntas e outras considerações importantes. A serem considerados a seguir, estão alguns procedimentos úteis para aperfeiçoar a montagem usando tais elementos e técnicas de substituição, já que, de preferência, estes devem ser evitados.

### 5.3.1) PARAFUSOS

Parafusos podem ser do tipo simples, que é parafusado em furos roscados ou do tipo que necessita de porca para ser instalado, além dos pinos roscados sem cabeça.

O uso de tais elementos, embora amplamente difundido [17], só se justifica se o objetivo é permitir uma desmontagem posterior [10].

Se o uso de parafusos é inevitável, o processo de montagem, especialmente a automática, é particularmente beneficiado com a padronização de tipo e tamanho. Às vezes, pode parecer uma violação aos princípios da engenharia e senso de economia usar um parafuso maior, mais resistente e mais caro que o necessário em determinada aplicação. Porém, se tal parafuso é necessário em qualquer outro ponto da montagem, é válido que o mesmo seja especificado para toda a montagem, de modo que se obtenha uniformidade, o que proporcionará benefícios para a automatização [11].

Sempre que possível, o número de parafusos deve ser reduzido. Um exemplo de reprojeto com este objetivo é mostrado na figura 5.3. Isto é normalmente conseguido incorporando-se rebordos, ganchos ou entalhes nas partes [17].

Havendo necessidade de se empregar arruelas, deve-se empregar conjuntos pré-montados de parafusos e arruelas, como meio de se reduzir o trabalho de montagem, já que apenas uma parte precisará ser manipulada [17], figura 5.4.

A eliminação dos parafusos deve ser sempre considerada. O uso de linguetas dobradas ou regiões bordeladas de componentes maiores, figura 5.5, é um meio de se manter partes unidas. Outra alternativa é apresentada na figura 5.6, onde um parafuso e uma porca convencional são substituídos por um pino que se encaixa em uma porca elástica, que é mais indicada para aplicações onde os requisitos de torque não são severos. Este tipo de porca, além de ser mais barato, é mais fácil de montar [17]. Uma versão ainda mais aperfeiçoada incorpora o pino na parte a ser montada (figura 5.6).

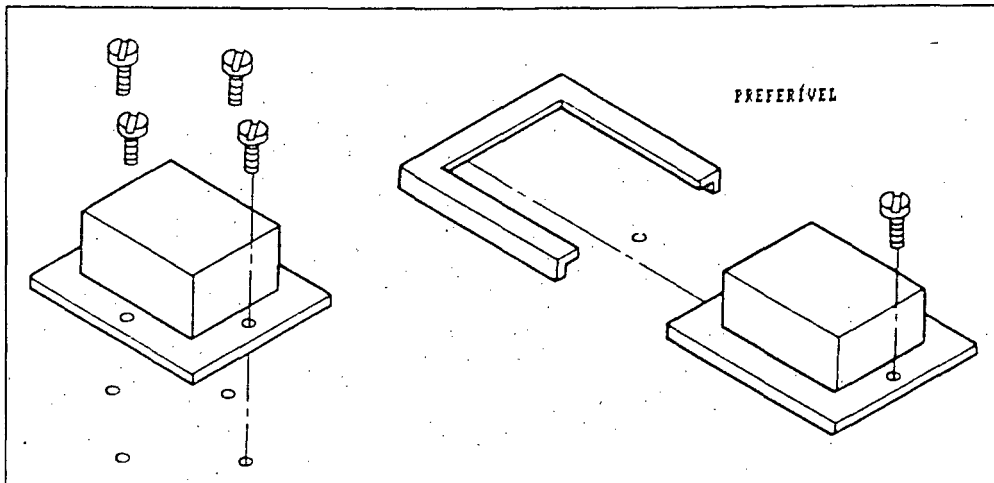


Fig. 5.3 Minimização do número de parafusos [11].

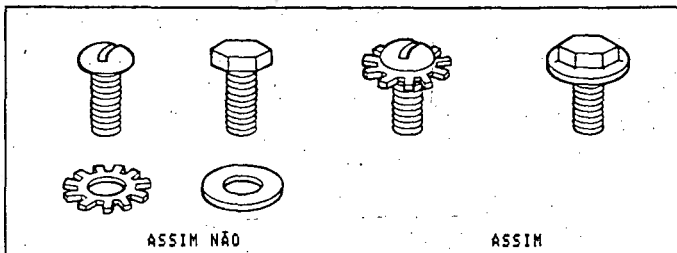


Fig. 5.4 O tempo de montagem pode ser reduzido com o emprego de conjuntos parafuso-arruela [17].

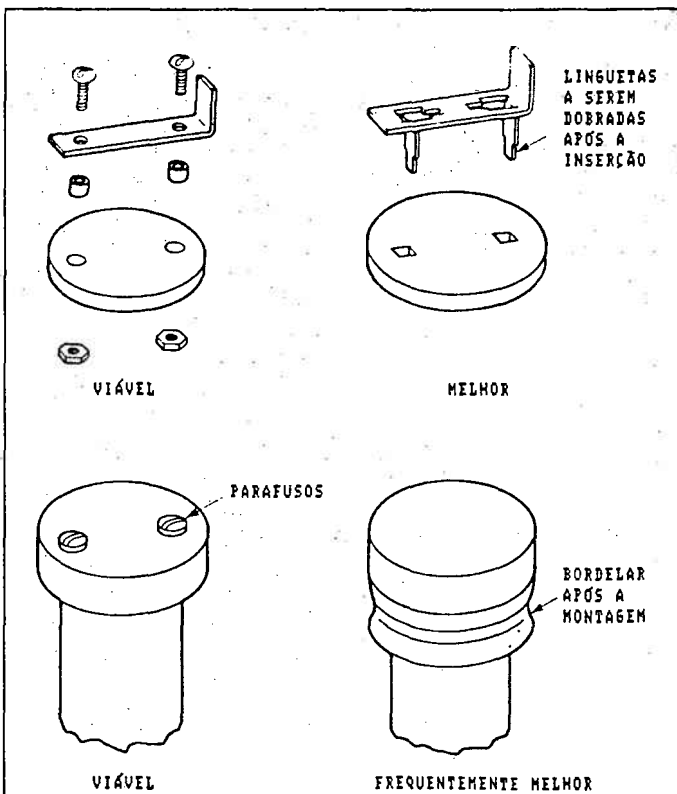


Fig. 5.5 Substituição de parafusos [17].



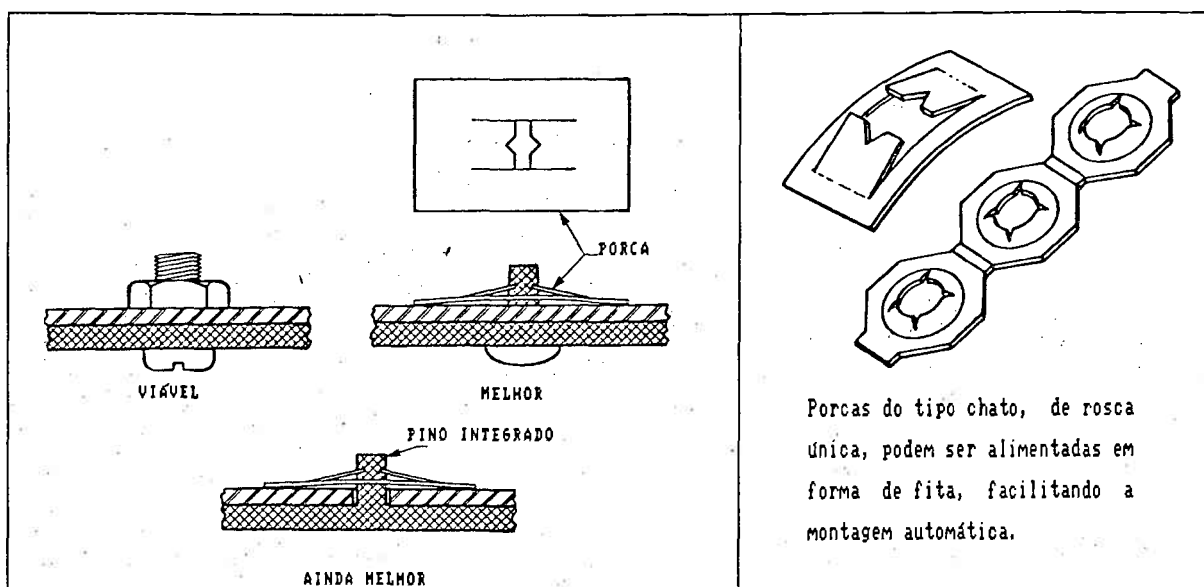


Fig. 5.6 Alternativas para o emprego de parafusos [17, 19].

### 5.3.2) REBITES

Assim como os parafusos, os rebites devem ser padronizados, usando-se o menor número possível de tamanhos e estilos, para permitir economia de quantidade e reduzir a variedade de ferramentas de instalação necessárias [17].

Rebites tubulares e ilhoses devem ser usados, ao invés de rebites sólidos, sempre que fornecerem força de união suficiente. Estes tipos requerem forças de aplicação bem menores e podem ser alimentados, inseridos e rebitados automaticamente em equipamento mais barato [17].

Os rebites tubulares e semitubulares podem ter a cabeça em estilos variados, cada qual projetada para funções específicas. Certos tipos de cabeça podem desempenhar funções outras que apenas união, eliminando a necessidade de componentes secundários como espaçadores, pequenos eixos, contatos elétricos e outros (figura 5.7). Projetos de cabeças especiais podem simplificar a montagem, facilitar a automatização e cortar custos, pela integração de partes e instalação rápida [14]. Reprojeto, como o da figura 5.8, cuja montagem é mais eficiente, podem ser conseguidos com rebites.

Para montagens permanentes, rebites podem substituir parafusos por serem mais baratos e de instalação mais rápida. Possuem ainda vantagens como resistência à vibração e aparência final mais limpa, dentre outras [21].

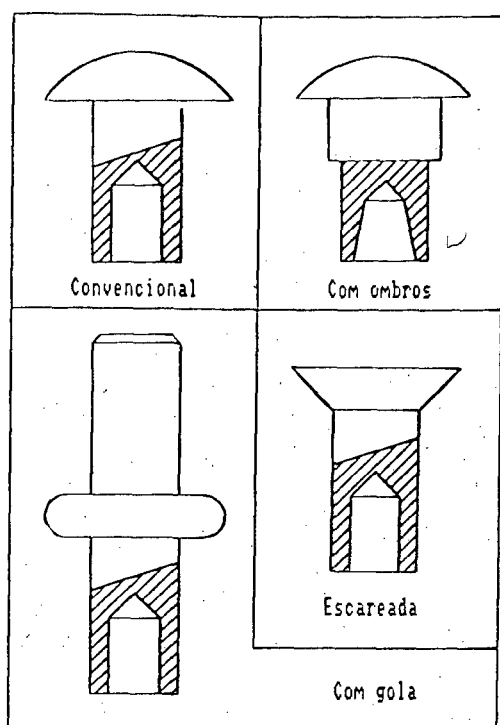


Fig. 5.7 Diferentes cabeças para rebites [14].

Convencional (oval) - Um dos estilos mais populares, usado onde apenas a união é necessária.

Com ombros - Proporciona uma superfície de apoio para uma montagem deslizante ou rotativa.

Com gola - Funciona como pino, ponto de parada, espaçador ou contato elétrico.

Escareada - Usada onde uma superfície lisa e homogênea é requerida.

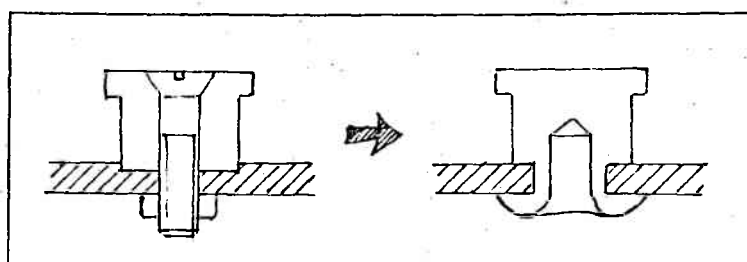


Fig. 5.8 Reprojeto com o emprego de rebites.

Apesar das qualidades apreciáveis, os rebites ainda podem ser eliminados em algumas aplicações. Por exemplo, às vezes é mais viável ter uma montagem semelhante à dos rebites, integrando-se detalhes às partes como os da figura 5.9. Os rebites, como elementos separados, são eliminados [17].

Outro exemplo é mostrado na figura 5.10. Ao invés do pino rebitado, ou soldado, uma lingueta incorporada à peça é de montagem mais efetiva.

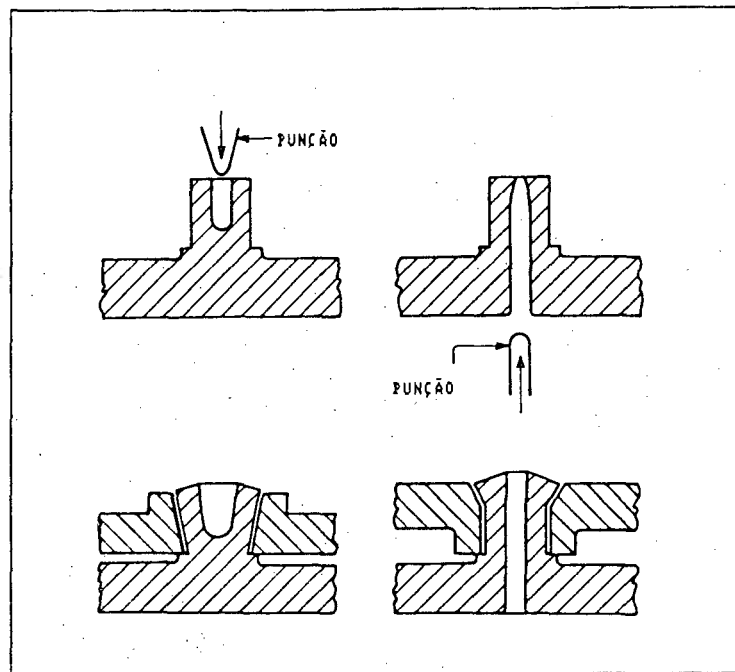


Fig. 5.9 Ajustes por deformação [17].

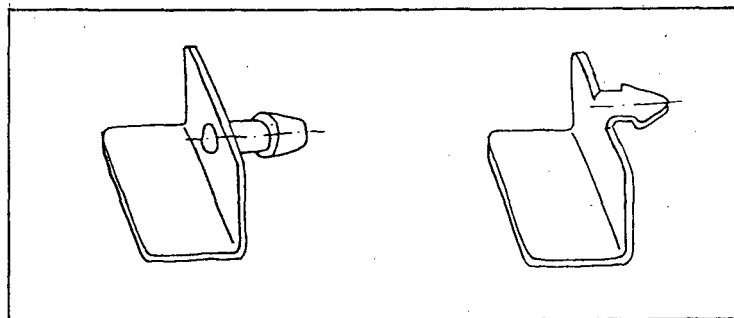


Fig. 5.18 Eliminação de rebites [1]. Um pino rebitado, ou possivelmente soldado, pode ser substituído por uma lingueta incorporada ao componente.

#### 5.4) UNIÃO SEM ELEMENTOS SEPARADOS

A incorporação de elementos de união nas peças maiores frequentemente resulta em junções do tipo AJUSTES POR ENCAIXE. Estas envolvem a união de duas partes na qual os elementos de encaixe de ambas as partes estão sujeitos a uma interferência temporária que ocorre apenas durante o processo de



união. Ao serem pressionadas juntas, uma (ou ambas) das partes deforma-se elasticamente para acomodar a interferência quando, então, é capturada pelo elemento correspondente na outra parte (figura 5.11). Normalmente, as partes são projetadas de maneira tal que um leve ajuste por interferência continua a existir, mesmo após estas terem sido encaixadas [10].

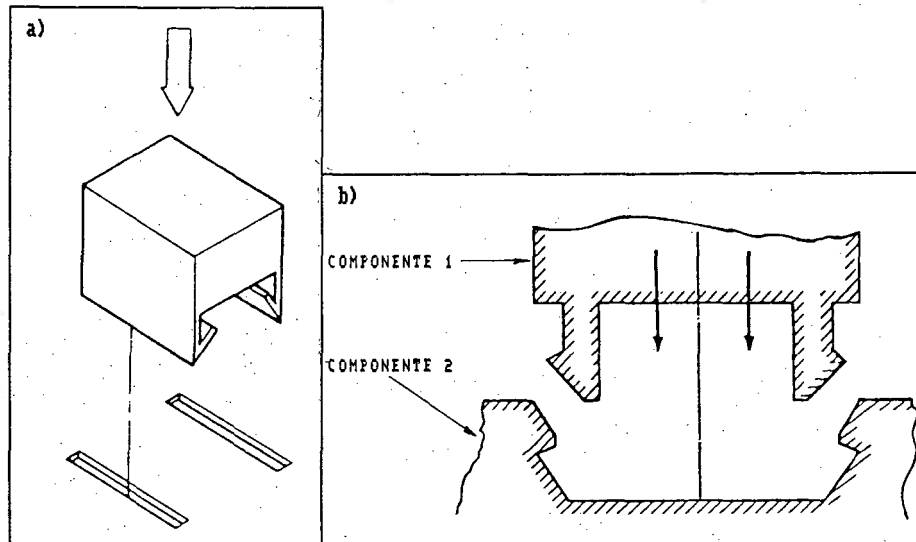


Fig. 5.11 Ajustes por encaixe [10, 11].

- a) Tipo gancho-fenda e
- b) tipo gancho-gancho.

Ajuste por encaixe é um método barato para se juntar componentes de modo seguro e permanente. A desvantagem é que partes (metálicas) ou muito rígidas necessitam de controle dimensional preciso para os elementos serem encaixados [17].

Aplicações típicas de ajustes por encaixe são mostradas na figura 5.12. Tampas e coberturas são particularmente adequadas a este método.

O uso mais econômico dos ajustes por encaixe ocorre quando se faz uso da força elástica ou resiliência natural de uma das partes, ao invés de usinagem ou fabricação precisa, para fornecimento da força de coesão [17].

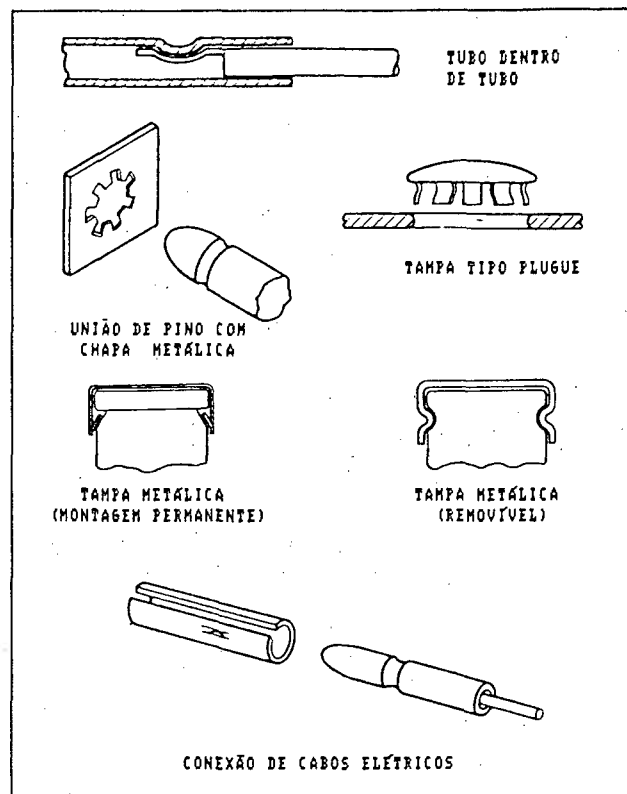


Fig. 5.12 Tampas e coberturas são aplicações adequadas para o método de ajustes por encaixe [17].

Outro método de união sem elementos separados é o processo de AJUSTES POR DEFORMAÇÃO. Nestes, após o encaixe das partes, elementos de uma delas, especialmente projetados, são deformados de modo a impedir que a outra parte de desprenda (figura 5.9). Os exemplos da figura 5.5 também podem ser vistos como ajustes por deformação. A diferença entre este método e o anterior, ajustes por encaixe, é que neste a deformação imposta às partes é permanente (plástica).

Uma terceira opção é o método de AJUSTES POR PRESSÃO. Este processo envolve a inserção de uma parte, normalmente dotada de pinos, em outra que contenha os orifícios para receber os pinos. As partes a serem conjugadas possuem uma interferência, isto é, os pinos são ligeiramente maiores que os furos nos quais serão inseridos. Embora ajustes por pressão constituam uma montagem bastante forte, uma força substancial é necessária para efetuar a inserção [10].

O método de ajustes por pressão também pode ser efetuado por elementos de união separados. Neste caso, ambas as partes a serem unidas conte

rão furos para que pinos elásticos sejam encaixados. Tal montagem pode ser otimizada optando-se por pinos vazados ao invés de pinos sólidos. Os tipos mais indicados são os pinos em espiral, figura 5.13-a, e os pinos com fendas longitudinais, figura 5.13-b. Além destes pinos serem mais baratos, também há economia de operações de usinagem pois a dimensão precisa dos furos pode ser relaxada em função da compensação proporcionada pela elasticidade dos pinos [17, 19].

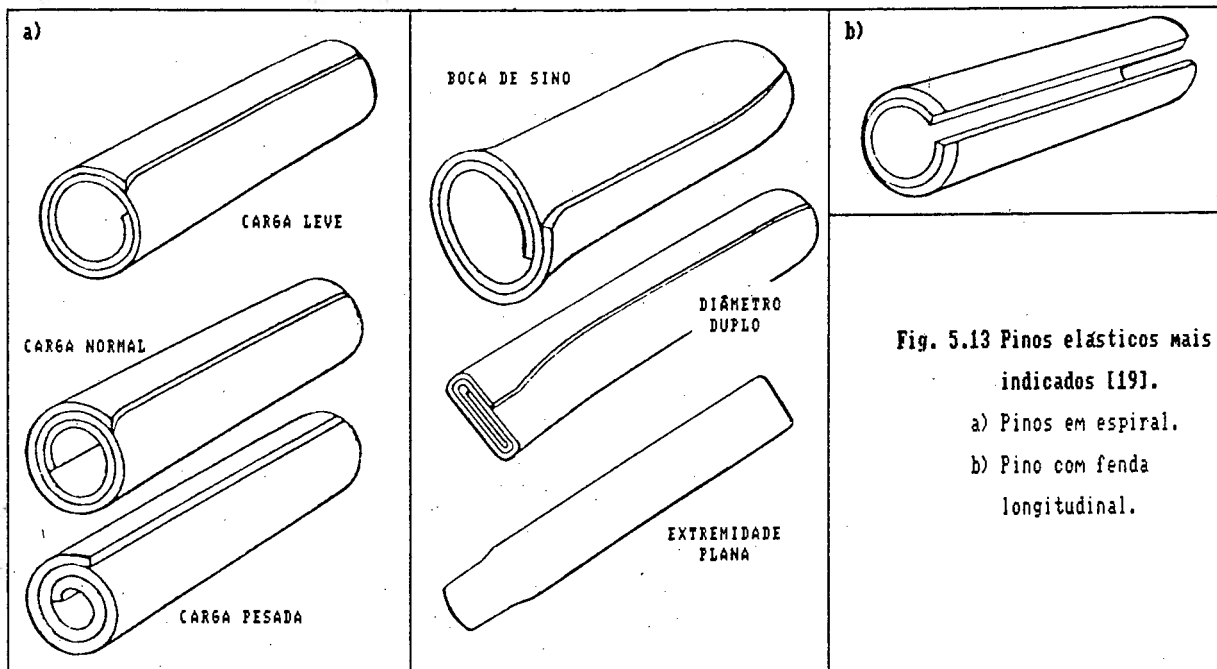


Fig. 5.13 Pinos elásticos mais indicados [19].

- a) Pinos em espiral.
- b) Pino com fenda longitudinal.

## 5.5) ELEMENTOS DE UNIÃO ESPECIAIS

Estes podem ser de diversos tipos, materiais e complexidade [19, 26]. São considerados especiais por não serem tão comuns como parafusos, pinos e rebites e por serem, na maioria das vezes, confeccionados sob encomenda. Seu uso só se justifica se o volume consumido pela fabricação for grande o suficiente. Como pode ser verificado nas referências acima citadas, um bom número destes elementos especiais possui muitos componentes, requerendo várias operações de montagem. Considerando-se os objetivos do PPM, neste trabalho serão considerados apenas os cliques elásticos.

A aplicação mais simples, e que requer a forma mais simples de clipe, é a união de duas partes como mostrado na figura 5.14. A substituição do conjunto porca-parafuso torna a montagem mais rápida e econômica.

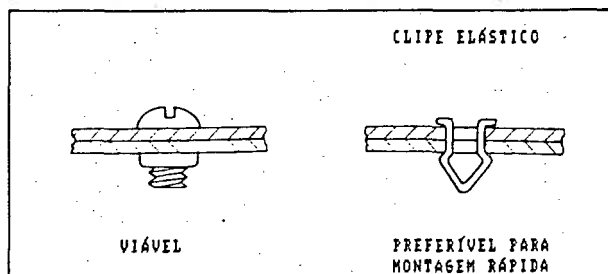
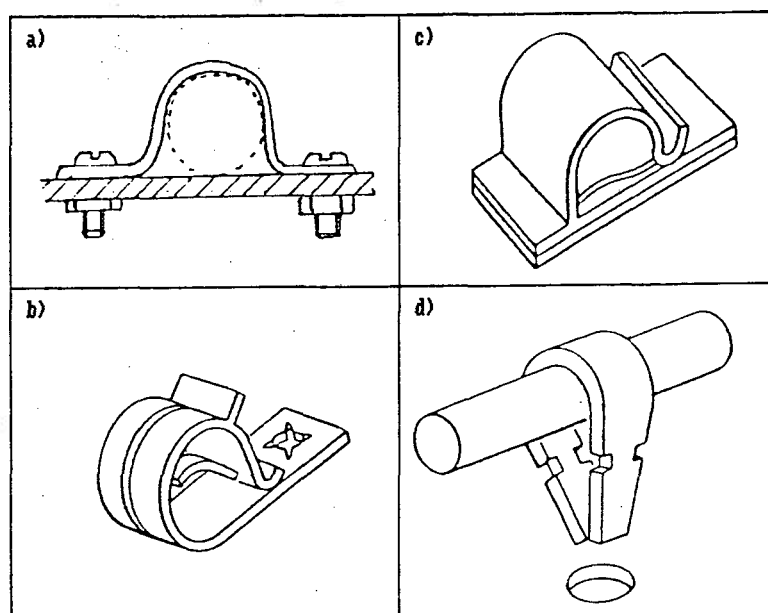


Fig. 5.14 Aplicação típica de cliques elásticos [17].

Em painéis, a instalação de cabos e fios pode ser agilizada optando-se por cliques. A figura 5.15 ilustra o processo convencional e algumas alternativas possíveis, mais eficientes.

Fig. 5.15 Instalação de fios e cabos [19].

- a) Método convencional.
- b) Retentor de plástico. O pino de união é preso pelas saliências do furo, eliminando a porca.
- c) Uma camada adesiva é acrescentada à superfície inferior do clipe. Operação de furação do painel e pino são eliminados.
- d) Grampo de plástico, de encaixar.



Outros cliques são mostrados na figura 5.16.

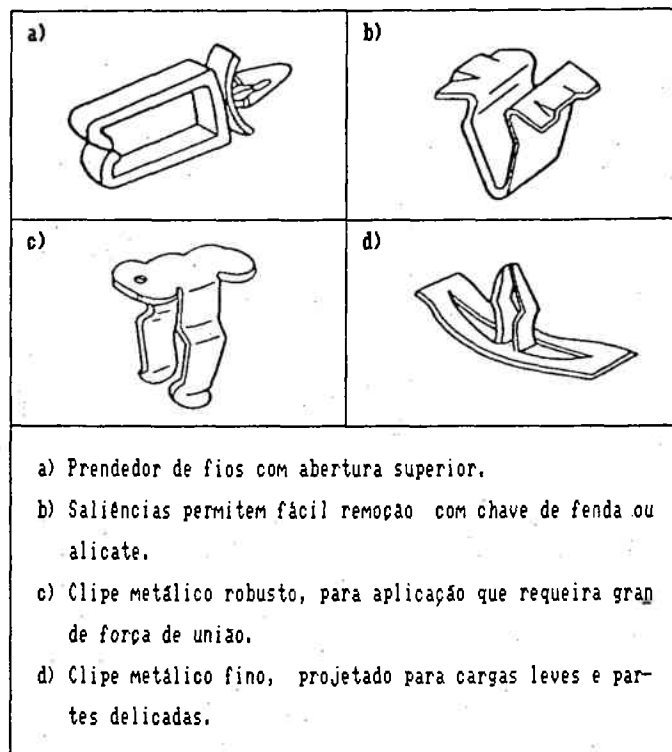


Fig. 5.16 Alguns tipos possíveis de cliques [19].

## SISTEMAS DE MONTAGEM

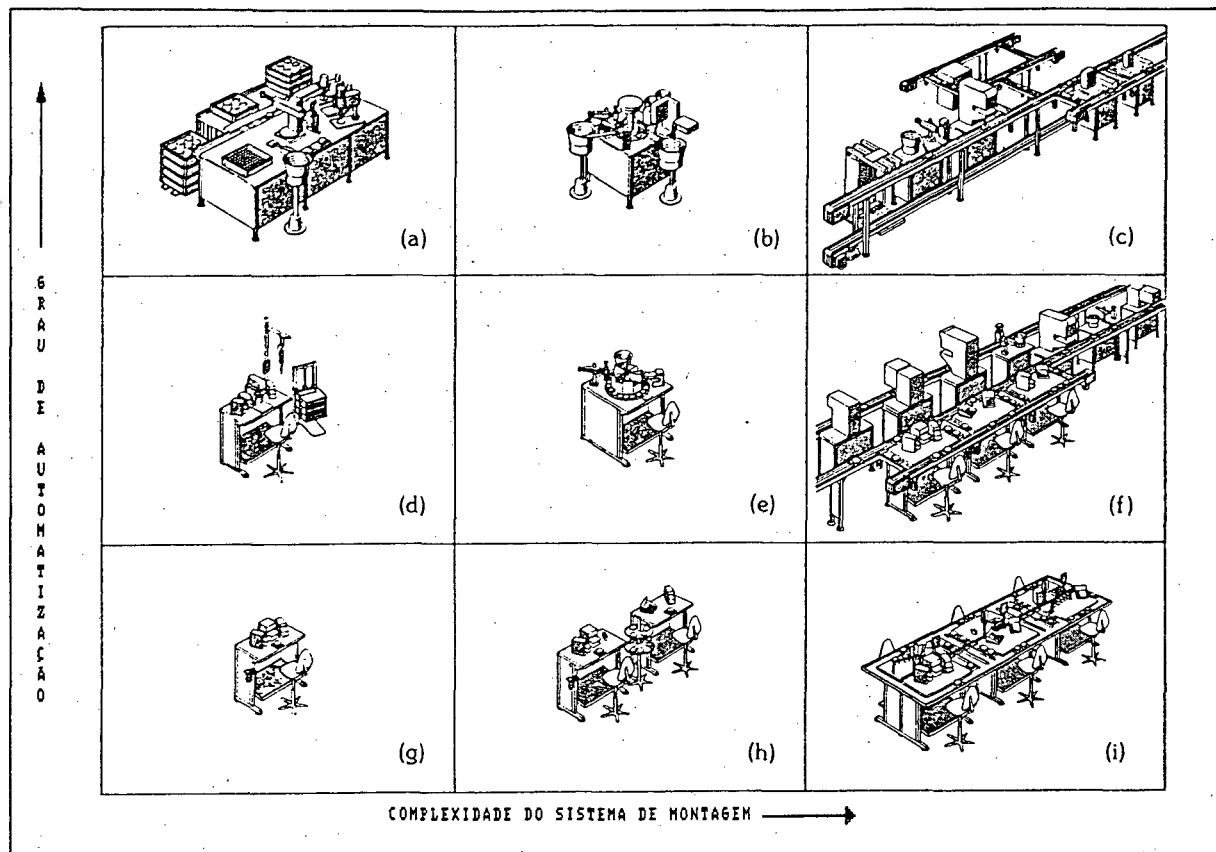
## 6.1) CARACTERÍSTICAS GERAIS



questão da otimização e racionalização da montagem não pode ser vista apenas a nível de produto, embora este seja o principal enfoque deste trabalho. Uma correta adequação produto-sistema de montagem é de muita importância e merece atenção.

Uma importante questão que se coloca no planejamento da montagem do produto é: qual a mais adequada, a montagem manual ou automática?

Para responder a esta pergunta é necessário um pouco de cautela pois o problema não se restringe apenas a automatizar ou não. Entre um sistema de montagem totalmente manual e um completamente automatizado, existem inúmeras configurações intermediárias que podem se mostrar mais adequadas, como ilustra a figura 6.1. Além disto, certas características do produto e do próprio processo de montagem são decisivas nesta escolha. Outro fator de decisão são os objetivos específicos da empresa, pois um projeto ótimo de montagem tem objetivos bem mais amplos que simplesmente ganhos econômicos no processo de montagem. Tais objetivos, de acordo com ANDREASEN [1] são: produto de qualidade alta e constante, alta produtividade, alta lucratividade, além de bom ambiente de trabalho. O sistema de montagem tem importância decisiva no alcance destes objetivos, como se verá mais adiante no item 6.6.



- (a) Unidade de montagem construída em torno de uma unidade de manipulação programável. Totalmente automática.
- (b) Unidade com várias operações, máquina especial (automatização fixa) com flexibilidade limitada. Totalmente automática.
- (c) Linha de montagem flexível com unidades de montagem construídas a partir de equipamentos padrão. Totalmente automática.
- (d) Área de trabalho mecanizada para poucas operações de montagem.
- (e) Equipamento de montagem semi-automático com operações manuais e mecanizadas.
- (f) Linha de montagem com estações manuais e mecanizadas, semi-automática, muitas operações.
- (g) Mesa de montagem manual.
- (h) Combinação de várias mesas de montagem manual.
- (i) Várias estações de montagem manuais combinadas em linha, muitas operações.

Fig. 6.1 Grau de automatização e complexidade dos sistemas de montagem [1].

Segundo DIETER [9], a decisão entre a montagem manual ou automática depende de fatores como o número de partes por montagem, o número de montagens requeridas, o projeto e complexidade dos componentes e os custos relativos de mão de obra e capital.

Quanto ao tamanho e distribuição da produção tem-se a seguinte classificação [1]:

MONTAGEM ÚNICA OU LIMITADA - 1 a 5 exemplares por ano.

Por ex.: moldes para a fabricação, protótipos;

MONTAGEM SERIADA - montagem não contínua de mais de cinco exemplares por ano.

P. ex.: ferramentas especiais, motores elétricos de grande porte, máquinas ferramentas e

MONTAGEM CONTÍNUA - montagem de um produto e suas eventuais variantes ao longo do ano.

Por ex.: aspiradores de pó, carros, fogões.

Tanto a complexidade do produto (sua composição/número de partes) quanto sua complicação (grau de dificuldade) desempenham um papel na escolha do sistema de montagem. Deixando aparte a distinção entre complicação e complexidade, os produtos podem ser divididos em [1]:

PRODUTOS NÃO COMPLEXOS - planejamento, produção e montagem simples.

P. ex.: ferramentas simples, elementos simples de máquinas;

PRODUTOS MEDIANAMENTE COMPLEXOS - planejamento, produção e montagem razoavelmente difíceis.

Por exemplo: bombas, furadeiras elétricas, aparelhos domésticos e

PRODUTOS COMPLEXOS - planejamento, produção e montagem difíceis.

Por ex.: máquinas de comando numérico, aparelhos de TV, carros.

Quanto à configuração, os sistemas podem ser [1, 10]:



### 6.1.1) SISTEMA DE MONTAGEM EM SÉRIE

Nesta configuração as estações de trabalho individuais são organizadas de tal maneira que se sucedem uma após a outra, resultando em uma linha de montagem.

Exemplo típico são as linhas de montagem de automóveis, onde muitas operações são manuais.

Esta forma de montagem baseia-se na especialização da mão de obra: cada trabalhador se torna um especialista na execução de um número limitado de tarefas [10]. Entretanto, verifica-se que o trabalho tende a ser monótono, estando o operador preso ao local de trabalho e a métodos que são difíceis de variar. Outro inconveniente é que se uma estação deixa de funcionar, todo o sistema pára. A adição de estoques intermediários (*buffers*) entre estações melhora as condições de trabalho e produtividade: os operadores já não ficam tão presos ao ritmo das máquinas e a confiabilidade do sistema aumenta pois uma falha temporária em um ponto não mais implica na falha total do sistema [1].

Outra possibilidade é o emprego de máquinas de indexação rotativa [1,11,31], normalmente automáticas, que possuem uma superfície circular onde o produto é posicionado. Com o avanço intermitente da máquina, o produto é transferido por todas as estações individuais de montagem, distribuídas externa e uniformemente ao redor da superfície indexadora, até completar o ciclo previsto. Tais máquinas são mais adequadas para a montagem de partes pequenas e submontagens com pequeno número de componentes.

Os sistemas em série são os mais comumente usados e apresentam como boa característica um fornecimento de material mais simplificado que nos sistemas em paralelo.

Esta configuração de montagem pode ser mais eficientemente explorada se as operações do sistema são balanceadas de tal maneira que cada uma leve o mesmo tempo que as demais. Sistemas manuais podem ser difíceis de balancear pois a performance de cada operador, além de ser uma característica individual, pode variar durante o decorrer do turno de trabalho [1]. A adição de *buffers* neste caso também contribui para o aumento da produtividade, o mesmo sendo válido para sistemas automáticos que tenham alto grau de variação entre os tempos das estações individuais [11].

ESTAÇÃO INDIVIDUAL DE TRABALHO (MONTAGEM) - É cada uma das estações que constituem um sistema de montagem. Quando o produto a ser montado é relativamente simples, pode-se adotar esta configuração isoladamente, sem constituir um sistema mais complexo. Neste caso, todas as partes necessárias para completar a montagem desejada são apresentadas ao operador ou robô, caso se trate de uma célula robotizada. Todas as operações de combinação de partes e união são executadas numa única estação. Na montagem manual esta configuração é geralmente usada para produtos com baixo volume de produção. Na montagem robotizada uma estação única é usada para pequeno e médio volumes nos quais há um número limitado de operações de montagem e partes a serem manipuladas, isto é, o produto é de baixa a média complexidade [10].

#### 6.1.2) SISTEMA DE MONTAGEM PARALELA

O que caracteriza tal sistema é a existência de múltiplas estações executando a mesma operação de montagem, simultaneamente.

As duas principais justificativas para o uso de tal configuração, claramente mais onerosa que a anterior pois implica em duplicação de equipamento, são [10]:

- o tempo de ciclo de determinada estação é muito longo para manter a continuidade do fluxo pela linha de montagem. O uso de múltiplas estações efetuando a mesma operação neste ponto de estrangulamento aumentará a produção.

O balanceamento de um sistema em paralelo baseia-se exatamente no ajustamento do número de estações múltiplas para que o volume de produção requerido seja satisfeito;

- a confiabilidade de determinada estação é considerada crítica e uma paralização da linha, por requisitos de produção, não pode ser tolerada. No mínimo duplicando-se a estação, o risco de falha do sistema pode ser atenuado.

## 6.2) MONTAGEM MANUAL E MECANIZADA

A montagem manual foi por muito tempo o método naturalmente empregado no processo de manufatura. A demanda não era tão grande, a concorrência relativamente pequena e os produtos, se complexos, eram essencialmente de origem mecânica, cuja montagem era executada com relativa facilidade por um operador. Naturalmente, o processo manual envolvia algumas ferramentas simples e dispositivos elementares de auxílio que, por suas características, desempenhavam papel predominantemente passivo.

Entretanto, uma série de fatores e circunstâncias pressionou a indústria em geral para tentar abandonar o sistema totalmente manual. Novas soluções técnicas foram surgindo, criando a necessidade de maior precisão e de certas habilidades de desempenho que o homem não possui. Isto levou à mecanização de tarefas.

Pressões salariais, aumento de demanda e procedimentos sofisticados tiveram como consequência a automatização do processo (item 6.3).

No entanto, ainda hoje a montagem manual é empregada por possuir certas vantagens (ver item 6.6.2) que um sistema automático, considerando-se o nível de desenvolvimento atual, não pode oferecer.

Com relação ao projeto do produto, se tem como princípio de referência que "produtos projetados para a montagem automática são facilmente montados manualmente" [1]. Tal afirmação, embora verdadeira, exclui certas operações que exigem considerações extras de força e precisão.

Os princípios de projeto apresentados nos capítulos anteriores, embora destinados primeiramente à montagem automática e robotizada, se aplicam perfeitamente ao projeto de produtos a serem montados manualmente ou por sistemas mecanizados, semi-automáticos ou não.

## 6.3) MONTAGEM AUTOMÁTICA - FIXA E FLEXÍVEL

Quando um produto é fabricado em grandes quantidades, normalmente a automação é uma maneira atraente de reduzir custos e melhorar a produtividade

de. O que se verifica também é que para isto o produto deve ser reprojeta do de modo a melhor se adequar ao processo automático. Quando o reprojeto é feito de maneira eficiente, frequentemente o produto é simplificado a tal ponto que a montagem manual não é mais custosa que a automática [4]. A figura 6.2 apresenta o gráfico de custos comparativos de montagem do produ to mostrado na figura 1.5, correspondentes às quatro diferentes versões de projeto. Como se verifica, para o reprojeto ideal (2 peças), aplicando as técnicas do PPM, o custo de montagem automática e robotizada não é mais tão atrativo e a opção para a montagem manual é mais compensadora, em fun ção do baixo investimento necessário.

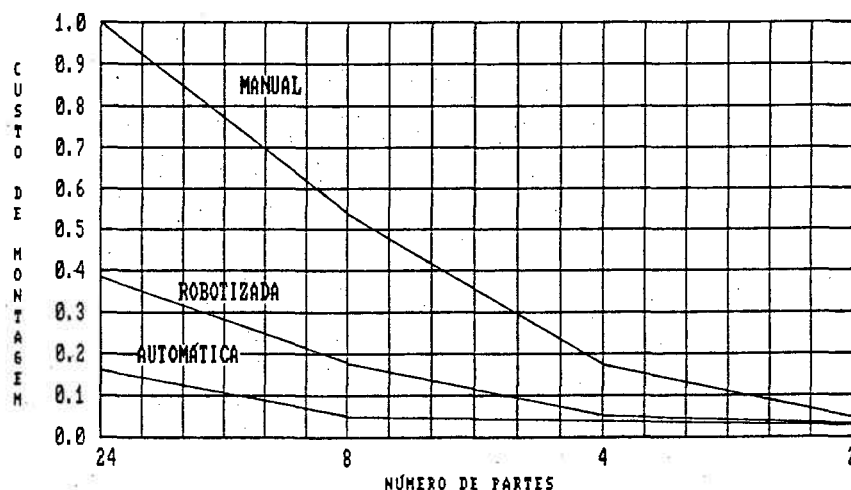


Fig. 6.2 Efeitos do projeto do produto no custo da montagem (ver também figura 1.5) [4].

A montagem automática será melhor, mais fácil e adequadamente planejada em situações onde o produto pode ser totalmente desenvolvido em função da mes ma e não simplesmente reprojeto para se adequar a ela. É o caso da monta gem automática de placas de circuito impresso, elementos vitais dos produ tos eletrônicos mais recentes. O sucesso se deve também, em grande parte, ao fato de ser um tipo de indústria recente para a qual a automatização não significa amplo deslocamento de toda uma infraestrutura de fabricação já existente [12].

O modelo clássico de automatização, equipamento fixo, frequentemente desenvolvido exclusivamente para um único produto, ainda hoje é usado [11]. Este tipo de automatização tem alta velocidade de produção, mas pos sui o inconveniente de que qualquer alteração no produto ou no processo de

montagem, não tem como ser absorvida pelo sistema, em função de sua rigidez. Adicionalmente, quando o produto sair de fabricação, todo o equipamento de montagem automática fixa se tornará obsoleto, devido ao seu alto grau de especialização. Com isto, vultosos investimentos são perdidos, com equipamentos e máquinas tornando-se imprestáveis, sem condições de reaproveitamento [10, 11].

A montagem automática flexível se mostra bem mais versátil. A reprogramabilidade dos sistemas flexíveis é que lhes confere uma vantagem fundamental sobre a automatização fixa. Grandes volumes não são mais necessários para justificar a automatização da montagem [11].

Tal configuração permite montar lotes de produtos diferentes ou modelos diferentes intercalados, em fluxo contínuo. O poder de processamento do controle central é que tornará esta versatilidade possível [10]. O expoente máximo dos sistemas flexíveis são os robôs que, de todas as máquinas e equipamentos, são os que apresentam melhores características de desteridade e adaptabilidade.

A figura 6.3 apresenta um gráfico onde são apresentadas as faixas mais adequadas para a utilização dos sistemas de montagem automático e flexível, em função do volume produzido e da complexidade do produto.

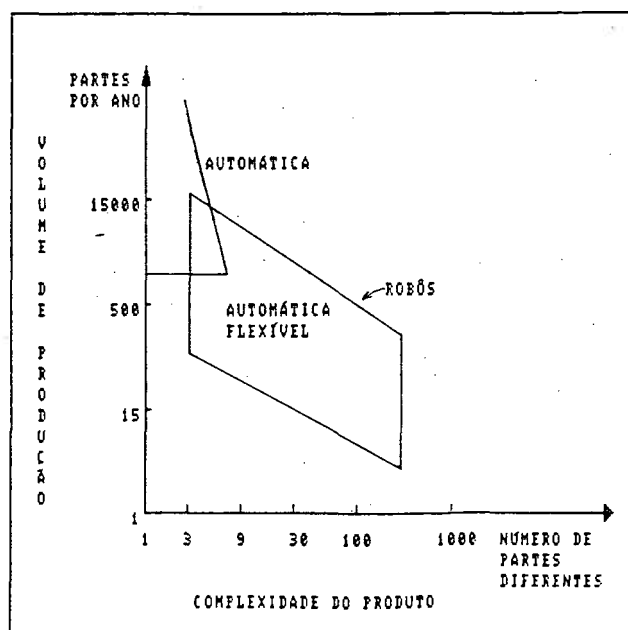


Fig. 6.3 Relação entre alguns tipos de montagem em função do volume de produção e variação do produto [10].

Como se verifica, a montagem automática fixa é adequada quando o volume de produção é grande, de maneira tal que justifique a construção de equipamentos e máquinas especiais para a montagem de determinado produto, de maneira que o processamento do mesmo seja executado de modo eficiente e em alta taxa de produção [10]. A montagem flexível, que possui algumas características da automática fixa, é mais adequada em volumes médios de produção [9]. Este tipo de automatização é o que mais recentemente se tornou disponível e o uso de robôs, de aplicação ainda mais recente, é peça chave na construção deste sistema [11].

#### 6.4) EQUIPAMENTOS

Neste contexto se entende por equipamento todo e qualquer aparato envolvido num sistema de montagem, desde ferramentas manuais simples até robôs sofisticados com vários graus de liberdade. Tais equipamentos podem ser divididos em três grupos principais [1]:

##### EQUIPAMENTO DE MONTAGEM:

- área de trabalho manual com mesa e compartimentos para partes e componentes. Ferramentas manuais e equipamento de medição;
- máquinas de montagem semi-automáticas e
- máquinas de montagem totalmente automáticas.

##### EQUIPAMENTO DE TRANSPORTE:

- para transporte de partes e componentes entre áreas de montagem e dos estoques para estas áreas, ou seja, esteiras transportadoras, condutores, etc.

##### ESTOQUES INTERMEDIÁRIOS (BUFFERS):

- unidades de transporte onde os componentes podem estar em posição de espera (magazines, correias ou esteiras) ou simplesmente armazenados passivamente, isto é, em posição aleatória (caixas e similares).

Todo e qualquer componente, para ser montado de maneira eficiente, deve ser transportado, selecionado, adequadamente orientado e finalmente posicionado. Na montagem manual o próprio indivíduo pode se encarregar destas tarefas. Ao se partir para a automatização esta necessidade permanece inalterada, porém a taxa de fornecimento de partes deverá ser consideravelmente aumentada em função da própria rapidez de produção, que passa a ser bem maior.

De especial interesse para este trabalho são os equipamentos relacionados com a operação de manipulação que, como visto no item 1.2, envolve, entre outras, orientação e transporte de partes e componentes. Estes equipamentos, chamados ativos, podem ser de vários tipos e imprimirão movimento aos componentes por meio de gravidade, força centrífuga, tombamento, ar sob pressão ou vibração [11]. Os do tipo vibratório são os mais versáteis e mais comumente usados para alimentação de pequenos componentes [10, 11, 27]. São dispositivos extremamente engenhosos que usam de vibração para movimentar os componentes. Uma série de obstáculos, criteriosamente construídos ao longo da trilha de saída, preenchem duas funções: seleção e orientação.

A seleção, às vezes chamada de orientação passiva, envolve pegar partes que não estejam adequadamente orientadas e rejeitá-las, encaminhando-as de volta ao interior do equipamento, permitindo assim que somente componentes corretamente orientados passem pelo ponto de saída. Orientação envolve pegar partes que não estejam adequadamente orientadas e reorientá-las fisicamente, como desejado [10]. A reorientação das partes se baseia em engenhoso aproveitamento de suas características geométricas, como ilustra a figura 6.4.

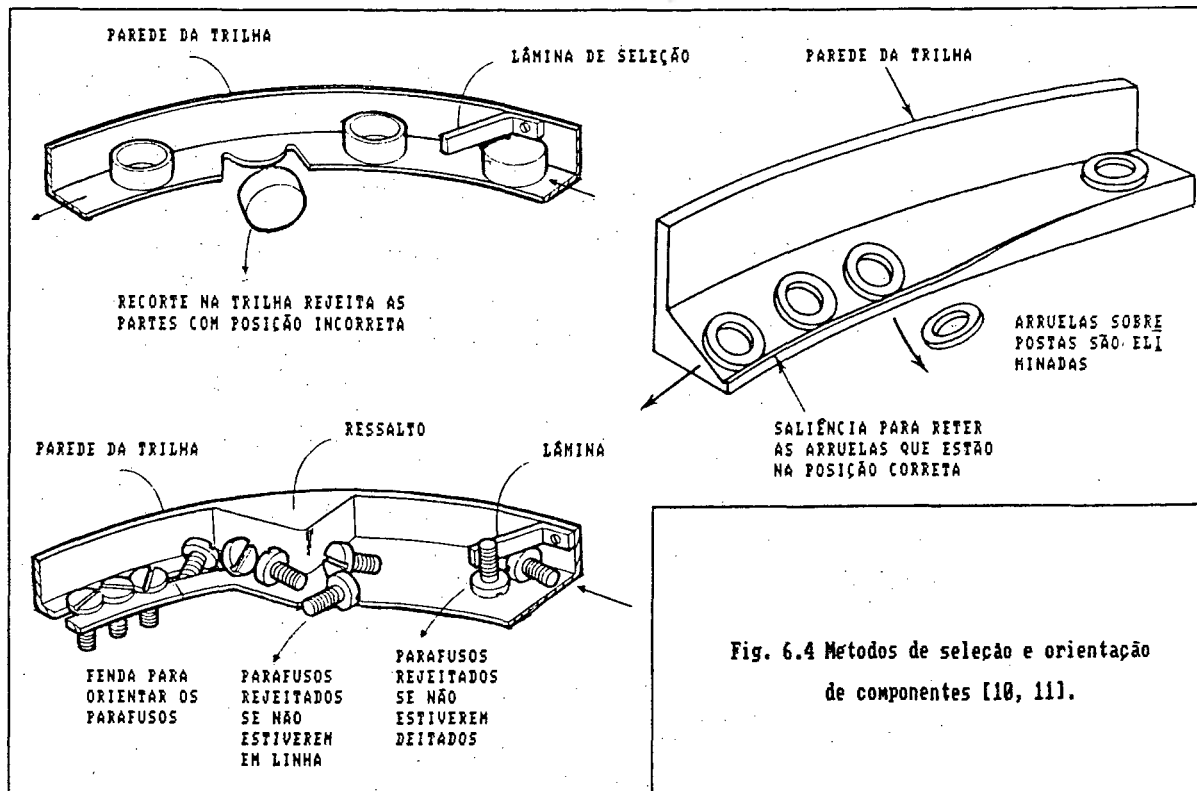
Naturalmente, a eficiência de tais equipamentos está diretamente relacionada com o projeto adequado dos itens a serem manipulados. Conforme exposto no capítulo 4, vários princípios se aplicam para facilitar o transporte e orientação das peças, que devem ser realizados do modo mais simples possível. Tornar o componente adequado à manipulação automática irá facilitar a construção destes dispositivos.

Além dos equipamentos ativos, existem outras formas de fornecer as partes à estação de montagem como magazines e paletes.

Magazines [10] podem ser usados quando se deseja que os componentes sejam entregues nas estações de trabalho já orientados. Embora isto não

elimine o problema da orientação, apenas o transfira para fora da estação de montagem, torna possível integrar ao processo de fabricação a tarefa de orientar os componentes. Isto pode ser melhor compreendido ao se pensar, p. ex., na operação de estampagem. As peças assim produzidas, possuindo uma orientação natural do processo, comum a todas, podem ser empilhadas umas sobre as outras dentro de algum tipo de receptáculo. Este seria um "magazine".

Quando se empregam robôs, um terceiro tipo de fornecimento de partes pode ser usado: bandejas e paletes [10]. A vantagem destes sobre os anteriores é que não precisam ser projetados com exclusividade em função do formato das peças. São, portanto, mais universais. Robôs são tratados no item seguinte.



## 6.5) ROBÔS NA MONTAGEM

Robôs, apesar de também serem considerados equipamento que pode ser usado na montagem e de pertencerem, em uma classificação mais adequada às suas características, aos sistemas flexíveis, serão tratados aparte em função da complexidade do tema. Os aspectos de robótica abordados aqui são super



ficiais. Maiores informações podem ser obtidas em [10] e [11].

A aplicação de robôs na montagem de um produto é considerada, atualmente, o maior e mais sofisticado desafio que a robótica deve enfrentar, em termos de aplicação industrial. Muitas necessidades do processo e outras tantas características desejáveis para estas máquinas estão ainda por ser solucionadas. A montagem requer do robô precisão, repetibilidade, variedade de movimento, equipamentos sofisticados de garras e algumas vezes mecanismos de garras compostos nos quais estas desempenham papel ativo e importante em algumas das operações de montagem, além de simplesmente segurar as partes envolvidas [11].

Para os robôs serem utilizados em larga escala, será necessário eliminar grande parte das operações de montagem efetuadas manualmente, que correspondem a mais de 90% de todas as operações de submontagens eletromecânicas e mecânicas. Atualmente, o uso de robôs nas tarefas de montagem para as quais eles são melhor adequados responde por apenas 5% de tais operações [13].

A base de decisão quanto a empregar robôs na montagem é, normalmente, reduzir custos com mão de obra. Isto implica na exigência de que operações robotizadas de montagem sejam mais rápidas e eficientes para poderem competir com operadores humanos. Outro critério para justificar o uso de robôs é a maior precisão e repetibilidade [11].

#### 6.5.1) ASPECTOS TÉCNICOS

Existem quatro tipos básicos de configurações [10, 11]: polar, cilíndrica, cartesiana e articulada. Uma versão especial da configuração articulada é o robô do tipo SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*) cujas juntas que correspondem ao ombro e cotovelo se rotacionam em torno de eixos verticais. Esta configuração, ideal para muitas operações de montagem, apresenta substancial rigidez para o robô na direção vertical e adequada flexibilidade no plano horizontal [10].

A capacidade de acomodação é um atributo bastante desejável em um robô que se destine às operações de montagem. A acomodação aqui referida é aquela intencionalmente acrescentada ao pulso do robô de modo a torná-lo mais flexível quanto a pequenos problemas de posicionamento e orientação que podem surgir. A figura 6.5 ilustra erros típicos de posicionamento em

uma operação de encaixe, onde os componentes apresentam tolerância estreita. Uma estrutura muito rígida do pulso e garra do robô não seria capaz de superar facilmente tal situação. A solução comumente empregada é a adoção de um RCC, *Remote Center Compliance*, esquematizado na figura 6.6.

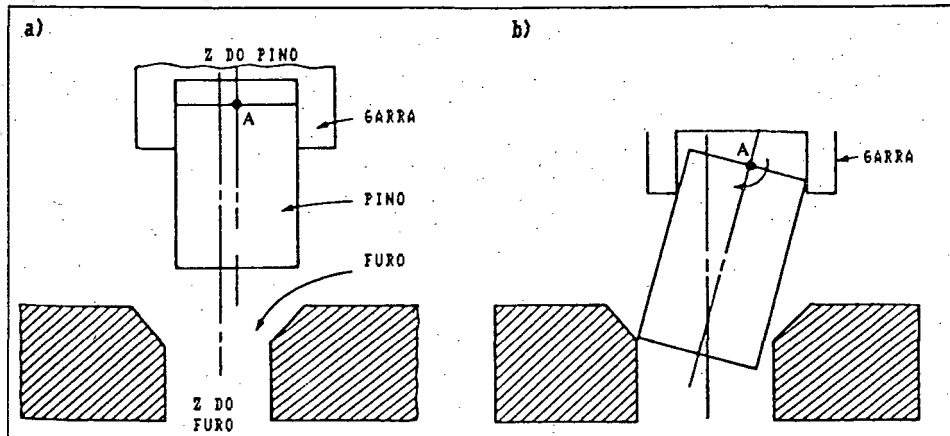


Fig. 6.5 Possíveis erros na inserção [10]. a) Pequeno erro de posicionamento das partes; b) pequeno erro angular.

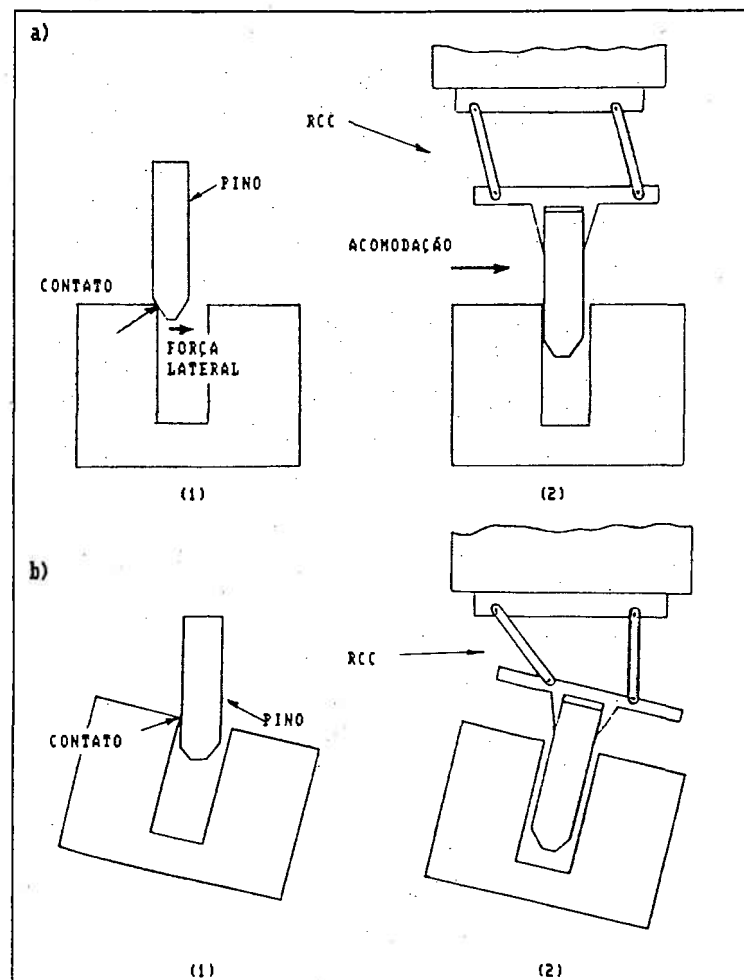


Fig. 6.6 Ações corretivas para os problemas da figura 6.5 [10]. a) Ação do RCC para deslocamentos laterais e b) para deslocamentos angulares.

Tal dispositivo é montado entre o pulso e a garra do robô e permite acomodação dos erros de posicionamento, adicionando, assim, características desejáveis de flexibilidade. Se obtém, desta maneira, uma compensação para os possíveis desvios do encaixe.

Também importante é a escolha da garra de manipulação, uma tarefa não muito simples que envolverá várias considerações sobre as partes a serem manipuladas, condições ambientais, o robô e os tipos de garra disponíveis [15]. A montagem automática exige o uso dos mais complexos tipos de garras, que podem apresentar movimento em múltiplos eixos e aparato complementar de ferramentas acopladas [11].

Três tipos principais de garras podem ser usados [10, 15]: tipo manípulo (mecânica), magnética ou a vácuo. Cada tipo apresenta características próprias que irão resultar em diferentes exigências do componente a ser manipulado. Por exemplo, garras mecânicas necessitam de, no mínimo, duas superfícies que possam ser usadas na captação da peça. Garras a vácuo e magnéticas só necessitarão uma que, entretanto, deve preencher alguns requisitos extras como serem uniformes, secas e isentas de contaminações [15]. Outras características geométricas, o peso da peça, material, acabamento superficial e temperatura também devem ser levados em consideração se existe intenção de empregar robôs na montagem [15].

A referência [15] apresenta amplo detalhamento do assunto e serve como ferramenta na avaliação dos componentes que serão captados e manipulados por garras robóticas.

#### 6.5.2) APLICAÇÕES

Com relação ao processo de montagem, as tarefas comumente destinadas aos robôs são transporte de material, soldagem, pintura spray, inspeção (confecção), além das operações de montagem propriamente ditas [10].

Os métodos de união mais adequados ao emprego de robôs são [10]:

- PARAFUSOS - um robô pode executar uma operação de aparafusamento de duas maneiras. Pode conduzir o parafuso através do avanço e rotação simultânea de seu pulso ou pode manipular um efetuator especial na forma de uma aparafusadora de potência;
- AJUSTES PRENSADOS - na maioria das operações desta natureza, o robô

não é capaz de fornecer a força necessária para pressionar as partes. Portanto, esta aplicação é normalmente planejada de maneira tal que o robô simplesmente alimenta as partes numa prensa, sendo esta realmente quem realiza a operação em si;

- AJUSTES POR ENCAIXE - pelas suas características, esta é a solução ideal para métodos de montagem automática que incluam a robotizada;
- SOLDAS E SEMELHANTES - todos os métodos de soldagem e similares, brazagem, e soldas ultra-sônicas, podem ser implementados por meio de robôs;
- ADESIVOS - para o robô, a trajetória de aplicação do adesivo, por pontos ou contínua, se assemelha à operação de soldagem. Na maioria dos casos, o aplicador do adesivo é instalado no pulso do robô enquanto nas outras o robô manipula a peça e a conduz ao aplicador e
- BORDELAMENTO - para executar tais operações, o robô necessita de ferramenta especial ou equipamento de pressão instalado em seu pulso. Embora rebites se encaixem nesta classificação, a experiência tem demonstrado que sistemas de montagem automática fixa são mais econômicos para as operações de rebitagem [14].

Os robôs também podem ser usados como meros manipuladores, efetuando operações simples, ditas "pick and place", nas quais a peça é captada em determinada localização e transferida para outra. Este procedimento pode envolver, ou não, orientação das partes manipuladas [10].

## 6.6) OS SISTEMAS E O PROJETO ÓTIMO DE MONTAGEM

Como dito no item 6.1, um projeto ótimo de montagem tem implicações bem amplas. Vários critérios e procedimentos devem ser observados quando se tem como objetivo um projeto ótimo de montagem que pretenda atingir os seguintes objetivos:

- produto de alta qualidade;
- alta produtividade;
- alta lucratividade e
- bom ambiente de trabalho.

O desenvolvimento deste ítem está baseado na referência [1], por isso só serão citadas referências que não corresponderem àquela obra. A mesma estrutura será mantida, à diferença de alguns acréscimos e um maior detalhamento.

#### 6.6.1) OBJETIVO 1: PRODUTO DE ALTA QUALIDADE

Um produto, com relação à montagem, tem qualidade alta e constante quando:

- a montagem é confiável;
- os componentes são de qualidade uniforme e
- o sistema de montagem é confiável.

O que se verifica é que a montagem mecanizada, para ser eficazmente implantada, requer um aumento na qualidade de componentes, aparato de fixação e instrumentos auxiliares. Isto se traduz na redução das tolerâncias especificadas para a montagem manual. A montagem automática e a robotizada requerem uma restrição ainda mais considerável quanto aos requisitos de tolerância (figura 6.7).

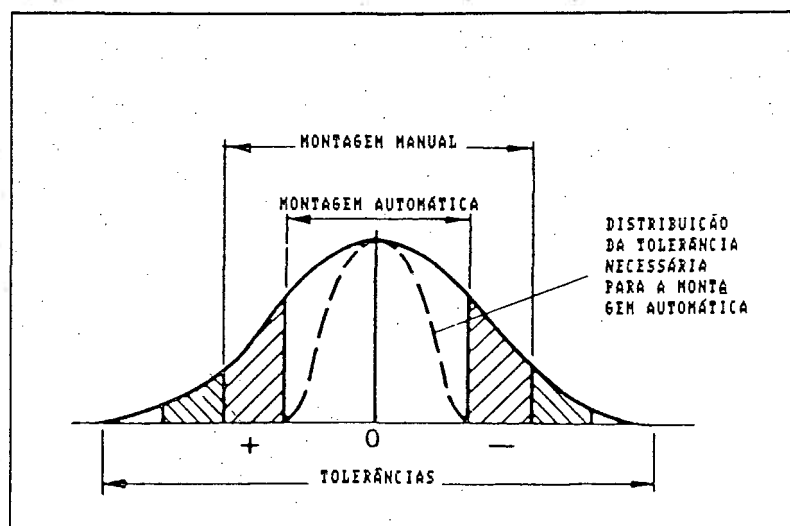


Fig. 6.7 Tolerâncias para alguns tipos de sistemas de montagem [1].

Outra exigência da automatização é um controle de qualidade mais rigoroso em relação a componentes e subsistemas, de modo a garantir a uniformidade necessária ao processo automático. A justificativa para tais requisitos é

as máquinas não terem a sensibilidade, flexibilidade e desteridade do operador humano. Um componente defeituoso ou fora dos limites de tolerância que seja alimentado inadvertidamente no sistema pode, no mínimo, originar uma montagem defeituosa e, numa situação mais grave, causar uma pane no sistema.

Máquinas dotadas de capacidade de sensibilidade e, até certo ponto, alguma desteridade, como robôs equipados com sensores, pode amenizar o problema, ou seja, um sistema que seja flexível quanto a este aspecto.

#### 6.6.2) OBJETIVO 2: ALTA PRODUTIVIDADE

Alta produtividade se traduz por:

- poucas perturbações e paradas, e de curta duração;
- alto grau de exploração do sistema;
- tempo de montagem curto;
- ampla capacidade e
- mão de obra confiável.

Quando se automatiza a montagem, parcialmente (montagem mecanizada) ou não (automática), podem-se obter alguns resultados concretos desde que o projeto do produto e sistema seja criterioso e haja perfeita harmonia entre um e outro no que se refere a compatibilidade estrutural e de componentes (produto) em relação aos métodos e técnicas de montagem (sistema). Resulta dos palpáveis, que caracterizarão uma alta produtividade, são:

- montagens uniformes;
- poucas montagens erradas;
- alta qualidade uniforme (item 6.6.1) e
- sistema de grande confiabilidade.

Um sistema totalmente automático apresenta alguns resultados extras, principalmente no que se refere ao pessoal: poucos operadores que não mais estarão condicionados a um trabalho exaustivo pela repetição. Isto aumenta a confiabilidade do sistema.

Um sistema automático flexível, além de todos os resultados apresen

tados anteriormente, proporcionará flexibilidade:

- em relação à variação acidental de componentes;
- em relação à variação planejada de componentes e
- em relação à variação planejada do próprio produto (variantes).

Quando se desenvolve uma linha de produtos semelhantes em princípios de funcionamento, certos componentes e submontagens podem ser idênticos para todos. Projetando-se as demais partes de modo a se adaptarem a estas partes comuns irá permitir o uso de um sistema flexível.

Alta produtividade não se obtém somente com a automatização, quando se deseja os resultados anteriormente apresentados. A montagem manual ainda é a solução para muitos tipos de montagem e certamente representa a melhor opção, quanto à produtividade, quando se espera do sistema:

- grande flexibilidade com respeito a:
  - produtos de vários tipos;
  - variantes do produto;
  - variantes de componentes;
  - componentes defeituosos e
  - problemas de montagem imprevistos;
- necessidade de baixo investimento em equipamentos.

Ou seja, a montagem manual é melhor quando alta capacidade de adaptação é necessária, seja por causa de frequente mudança de tarefas ou devido à sua complexidade.

### 6.6.3) OBJETIVO 3: ALTA LUCRATIVIDADE

A lucratividade, neste contexto, se refere aos ganhos obtidos em relação ao investimento feito na montagem de determinado produto. São fatores determinantes:

- baixo custo de aquisição;
- alto volume de produção;
- grandes séries num mesmo equipamento e
- alta produtividade (item 6.6.2).

É claro que a maneira mais eficiente de eliminar custos de montagem é eliminar a necessidade da própria montagem. Também é claro que, pelas razões apresentadas no capítulo 1, nem sempre isto é possível. Entretanto, diminuir a necessidade da montagem é possível, como foi tratado com maiores detalhes no capítulo 5, Métodos de União.

Com relação às variantes, dois princípios apresentados em [1] visam a alta lucratividade. O primeiro se refere a evitar criar variantes pois, sem a necessidade destas, maiores quantidades podem ser montadas num mesmo equipamento. O segundo princípio pressupõe a não possibilidade de eliminar variantes. A solução é torná-las o mais uniforme possível quanto à montagem, obtendo-se:

- aumento do volume de produção no sistema de montagem e
- diminuição do número de instruções, componentes, etc, no sistema de montagem.

A uniformidade das variantes em relação à montagem pode ser melhor compreendida pelo exemplo da figura 6.8.

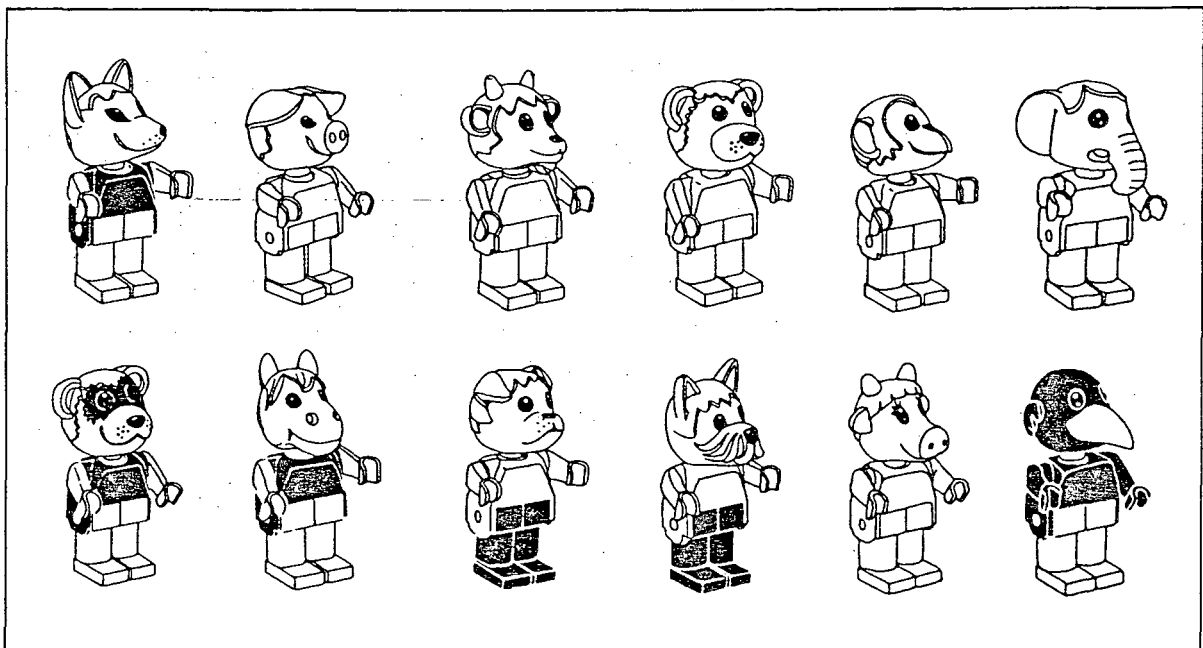


Fig. 6.8 Variantes uniformes quanto a montagem [1]. Família de animais de brinquedo montados num mesmo equipamento. As partes do corpo são uniformes mas variam quanto às cores. As cabeças são posicionadas manualmente na estrutura de montagem enquanto o restante da montagem é totalmente automático.



VARIANTES: com relação ao projeto do produto, o planejamento de variantes influirá sensivelmente no tipo de sistema empregado. O termo variantes não se refere apenas às variantes do produto como um todo, mas também a subsistemas, blocos estruturais e componentes. O número de variantes é importante no dimensionamento do equipamento de montagem. Este pode ser estruturado de três maneiras distintas, em função do tipo de variante, como ilustra a figura 6.9. O tipo de equipamento usado dependerá dos requisitos de flexibilidade. Muito frequentemente, as operações finais de montagem que definem a criação de variantes são executadas manualmente em função da capacidade de inspeção e flexibilidade do operador humano [1].

Os possíveis equipamentos de montagem podem ser do tipo padrão ou especiais, em função de características particulares do produto ou componentes em questão.

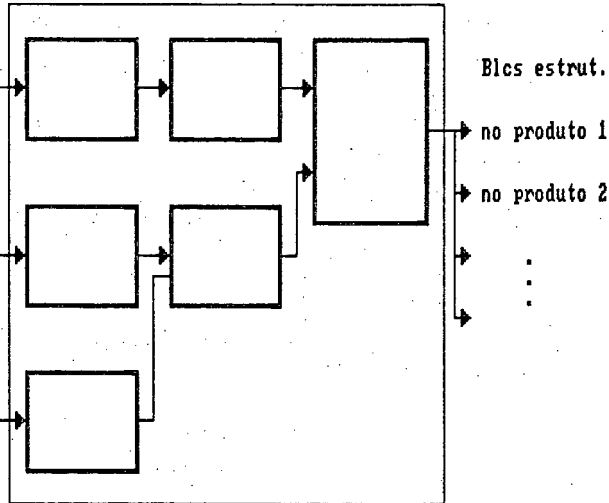
Optar-se-á por equipamento padrão com o objetivo de:

- explorar equipamentos comercialmente disponíveis, produzidos em massa, a um custo relativamente baixo;
- explorar princípios e equipamentos já experimentados e
- explorar equipamentos que podem ser adaptados a outras tarefas.

A opção por equipamento especial deve ser feita com o objetivo de:

- tirar proveito de processos ou operações de montagem que não podem ser realizadas manualmente ou com equipamento mecânico comum;
- obter alta integração (por exemplo, entre os processos de fabricação e os de montagem) e
- obter harmonia ótima entre máquina e volume da produção.

a) MONTAGEM COMUM COM RELAÇÃO A BLOCOS ESTRUTURAIS:



Blocos estruturais que são usados em vários produtos podem, se uniformes, ser montados em equipamento comum.

b) MONTAGEM COMUM DO PRODUTO ANTES DA CRIAÇÃO DE VARIANTES: Se as variantes são projetadas de tal maneira que as características de diferenciação apareçam o mais tarde possível na sequência de montagem, então a maioria do equipamento pode ser de uso comum.

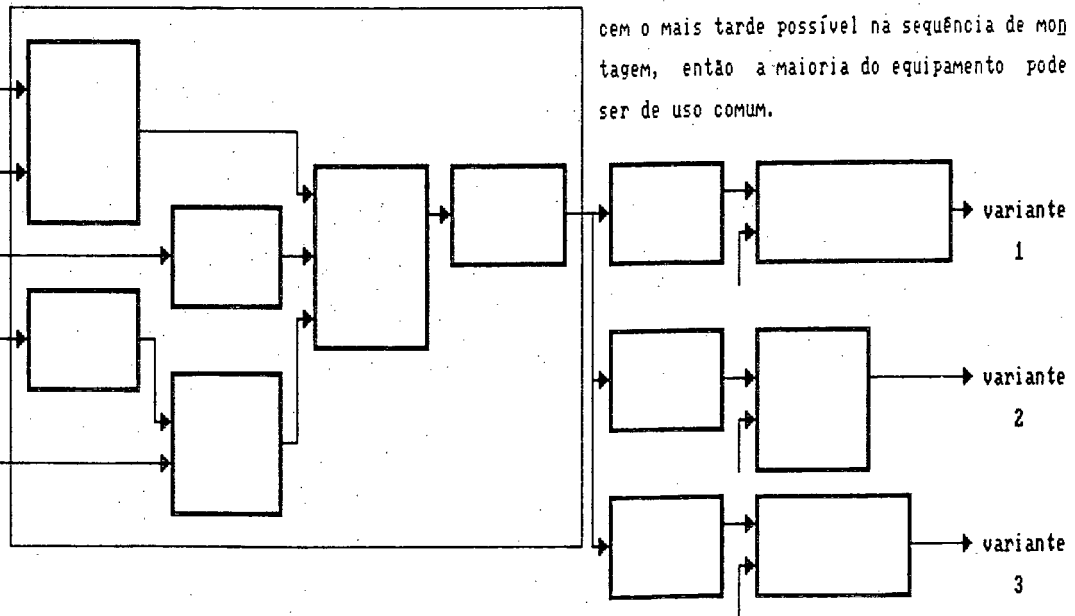
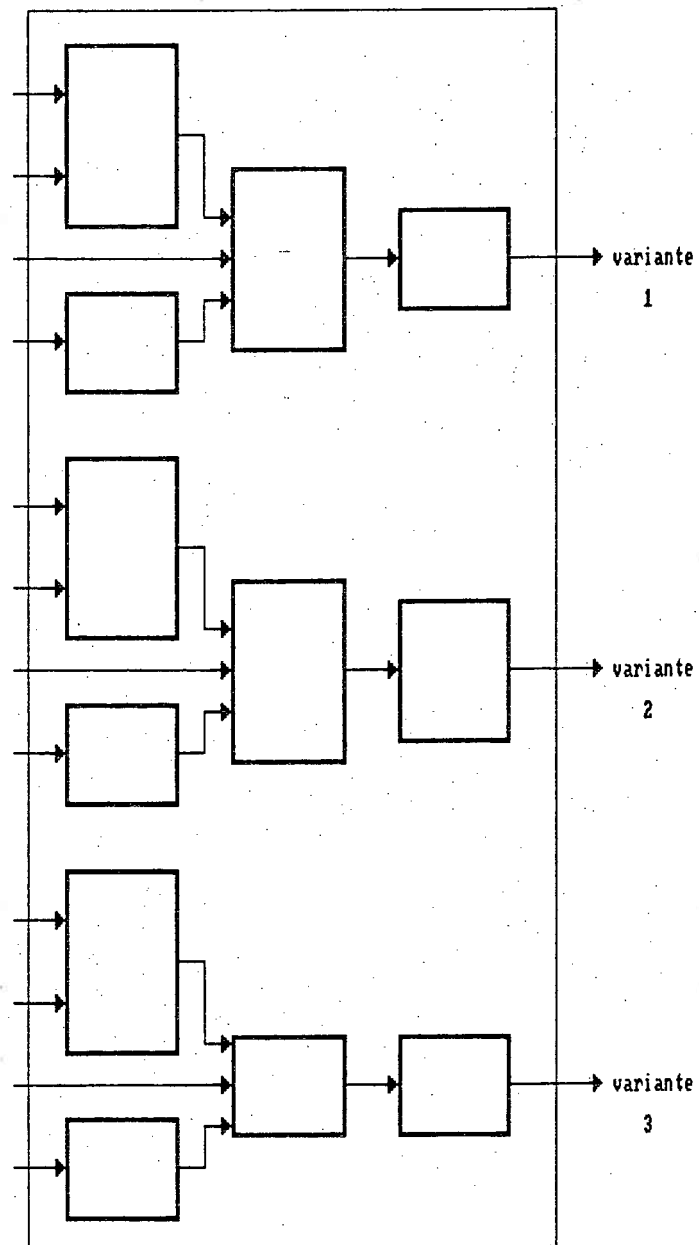


Fig. 6.9 Estruturação do equipamento de montagem em relação ao tipo de variante [1].

## c) MONTAGEM COMUM DO PRODUTO EM EQUIPAMENTO FLEXÍVEL:



Quando se deseja montar muitas variantes no mesmo equipamento, maiores exigências serão feitas quanto à flexibilidade do equipamento empregado.

Fig. 6.9 Continuação.

#### 6.6.4) OBJETIVO 4: BOM AMBIENTE DE TRABALHO

A automatização pode ajudar a melhorar as condições de trabalho na área de montagem, ao abster o operador de tarefas perigosas, desconfortáveis ou cansativas. Além disto, o equipamento de montagem pode promover redução do ruído ambiental, proporcionar maior conforto ao operador e aumentar a motivação pelo trabalho.

Exemplos apresentados em [1] incluem pintura automática por robô (evita contato do pessoal com os vapores de tinta), uso de robôs nos processos de soldagem, equipamento de manipulação de cargas não muito favoráveis (muito quente, pesada, etc).

Ao se planejar a montagem é conveniente pensar no sistema a ser empregado de modo a criar alternativas para processos que oferecem risco ou desconforto ao operador.

## AVALIAÇÃO DA MONTABILIDADE

## 7.1) INTRODUÇÃO

Para que as técnicas do PPM sejam aplicadas com eficiência na prática, é desejável que o projetista disponha de recursos para avaliar não só o efeito desta aplicação em determinada montagem, como também prever os resultados finais que o projeto total acarretará. Com base nas respostas obtidas ele poderá decidir com maior segurança se refaz, aperfeiçoa ou conserva o projeto em consideração. Também a comparação entre projetos concorrentes se torna mais fácil.

No exterior, algumas ferramentas têm sido desenvolvidas com este objetivo. São manuais, *softwares* e planilhas cuja facilidade de uso é variável mas que possuem, em geral, alvos comuns [1, 2, 23]:

- indicar partes e características do produto que tendem a aumentar o custo de manufatura e
- avaliar a facilidade ou dificuldade com que os componentes podem ser manipulados e montados.

Os principais métodos para a avaliação da montabilidade publicamente divulgados são [1, 2, 23]:

- MÉTODO DE BOOTHROYD & DEWHURST (*DESIGN FOR ASSEMBLY HANDBOOK*, Boothroyd Dewhurst Inc., Wakefield, Rhode Island, EUA).  
Dedicado à montagem manual, automática e robotizada;
- MÉTODO LUCAS (*LUCAS DFA METHODOLOGY*, Lucas Engineering and Systems Ltd., Solihull, Birmingham, Inglaterra).  
Principalmente automática e robotizada, mas também válido para montagem manual;
- MÉTODO POLI & GRAVES (*ASSEMBLY ANALYSIS AND LINE BALANCING SPREADSHEET*, Corrado Poli & Robert Graves, University of Massachusetts, Amherst, EUA, e Roberto Groppetti, Politecnico di Milano, Milão, Itália).  
Exclusivamente montagem manual (item 7.2) e
- MÉTODO POLI & FENOGLIO (*AUTOMATIC ASSEMBLY SPREADSHEET*, Corrado Poli, University of Massachusetts, Amherst, EUA, e F. Fenoglio, Illinois Tools Works, Fastex Italia, Turim, Itália).  
Montagem automática dedicada (item 7.3).

Existem dois sistemas, desenvolvidos para uso exclusivo, que são [1, 2]:

- MÉTODO HITACHI (*HITACHI ASSEMBLABILITY EVALUATION METHOD (AEM)*) e
- MÉTODO DA GENERAL ELECTRIC (*GENERAL ELECTRIC'S DFA SYSTEM*).


Neste trabalho, a título de exemplo, serão apresentados dois métodos: o de POLI & GRAVES, para a montagem manual, e o de POLI & FENOGLIO, para a montagem automática. Estes foram escolhidos por trazerem embutida uma ampla visão dos aspectos que normalmente se apresentam na montagem de um produto (ver item 7.4).


Informações sobre o método Boothroyd & Dewhurst e o método Lucas podem ser obtidas na referência [1].

## 7.2) PLANILHA PARA ANÁLISE DA MONTAGEM MANUAL

Esta planilha foi desenvolvida com o objetivo de avaliar um produto com relação aos obstáculos da montagem mais frequentemente mencionados:

- o produto não foi projetado para facilitar a montagem e
- a maioria das partes não pode ser manipulada com facilidade.

A planilha, figura 7.1, é codificada em cores e, quando completa, pode ser examinada para se verificar se existem problemas potenciais com o projeto. As colunas vermelhas (marcadas por ) indicam características dos componentes que aumentam o custo da montagem e as brancas indicam as características desejáveis (menos onerosas).

Dois tons de vermelho são usados. O vermelho claro (apenas na coluna 25, marcada por ) , usado para partes não rotacionais, indica características que, combinadas com outras, tornam a manipulação automática difícil. O vermelho escuro indica característica ou situação que sozinha aumenta os custos de montagem.

Além do código de cores, a planilha dispõe de dados de tempo que são usados para avaliar quantitativamente um projeto e compará-lo a outros. Os valores numéricos contidos em cada coluna são somados para estimar o tempo, em segundos, necessário para montar o componente. O gráfico que acompanha a planilha é então usado para se ter uma estimativa dos custos de montagem manual.

Para o preenchimento da planilha, o produto deve ser montado ou desmontado, uma parte de cada vez, e as questões propostas respondidas para cada componente. No entanto, a experiência tem demonstrado que a análise do produto é melhor manejada usando-se o modo de desmontagem.

O exemplo a seguir mostra a aplicação da planilha na análise da montagem ilustrada na figura 7.2. O procedimento foi adaptado da referência [2]. As colunas da planilha serão representadas em negrito por colchetes e o número correspondente. Por exemplo, coluna 1 = [1] e assim por diante. Os valores numéricos impressos na planilha são estimativas dos tempos mínimos requeridos para efetuar a operação indicada pela coluna.

1) EXTREMIDADE FRONTAL  
Nome da montagem

Nome da montagem	1	2	3					4	
			MONTAG						
			— Requer união? —						
			— S —			— N —			
CT	MO	PE	O	Os	Al	S	Pe		
o	a	r	u	pe	u	e	o		
m	r	n	t	ra	o	g	l		
p	i	e	r	o	a	u	i		
o	p	s	o	r	l	r	m		
f	n	i	s	a	r	a	i		
n	a	s	ã	ç	z	r	s		
e	u	ã	o	ç	a	?	n		
n	a	o	e	a	a	?	e		
t	r			s	ç		a		
e				s	ã		d		
				?	o		a		
---	o				?		?		
PT	u								
Componente/tarefa (1)	(1)		(2)				S	N	
2/3/4/5 PARAFUSOS DA TAMPA A/B/C/D	2p	9	1.5	5 <sup>v</sup>	2	0	3.5	✓	
6 TAMPA	2p	9	1.5		2	0	3.5	✓	
7 SUPORTE SUPERIOR	2p	9	1.5		2	0 <sup>v</sup>	3.5	✓	
8 ENGRAXAR	2 <sub>T</sub>	9	1.5		2	0	3.5	✓	
9 CURSOR (SUBMONTAGEM)	2p	9	1.5		2	0	3.5	✓	
10 ENGRAXAR	2 <sub>T</sub>	9	1.5		2	0	3.5	✓	
11 SUPORTE SUPERIOR	2 <sub>p</sub>	9	1.5		2	0 <sup>v</sup>	3.5	✓	
12/13/14/15 PARAFUSOS DA PROTEÇÃO A/B/C/D	2p	9	1.5	5 <sup>v</sup>	2	0 <sup>v</sup>	3.5	✓	
16 ENGRENAGEM (SUBMONTAGEM)	2 <sub>p</sub>	9	1.5		2	0	3.5	✓	
17 REDORIENTAR	2 <sub>T</sub>	9	1.5		2	0	3.5	✓	
18 PROTEÇÃO	2 <sub>p</sub>	9	1.5		2	0 <sup>v</sup>	3.5	✓	
19 BUCHA (SUBMONTAGEM)	2 <sub>p</sub>	9	1.5	5 <sup>v</sup>	2	0	3.5	✓	
20 CARCAÇA	2 <sub>p</sub>	9	1.5		2	0 <sup>v</sup>	3.5	✓	

Fig. 7.1 Planilha para análise do projeto quanto à montagem manual [2].




5		6		7		8		9		10		11			12		13	
E M												Dimensões do envelope (A > B > C)			A (L)	C (D)		
Inserção																		
Facilmente										(Auto)								
										linha reta								
O b s e r v a d a ?		A t i n g i d a ?		A l i n h a d a ?		I n s e r i d a ?		D p e c a i m x o ?										
S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	A	B	C		(3)		
L	D																	
0	2	0	2	0	1.5	0	1	✓	✓			30	8		0.5	0.5	3	
0	2	0	2	0	1.5	0	1	✓	✓			185	81	35	0.5	0.5	3	
0	2	0	2	0	1.5	0	1	✓	✓			68	12	7	0.5	0.5	3	
0	2	0	2	0	1.5	0	1								0.5	0.5	3	
0	2	0	2	0	1.5	0	1	✓	✓			155	25	25	0.5	0.5	3	
0	2	0	2	0	1.5	0	1								0.5	0.5	3	
0	2	0	2	0	1.5	0	1	✓	✓			68	12	7	0.5	0.5	3	
0	2	0	2	0	1.5	0	1	✓	✓			6	8		0.5	0.5	3	
0	2	0	2	0	1.5	0	1	✓	✓			40	65		0.5	0.5	3	
0	2	0	2	0	1.5	0	1								0.5	0.5	3	
																		
0	2	0	2	0	1.5	0	1	✓	✓			60	50	35	0.5	0.5	3	
0	2	0	2	0	1.5	0	1	✓	✓			15	30		0.5	0.5	3	
0	2	0	2	0	1.5	0	1	✓	✓			210	90	85	0.5	0.5	3	

Fig. 7.1 Continuação.







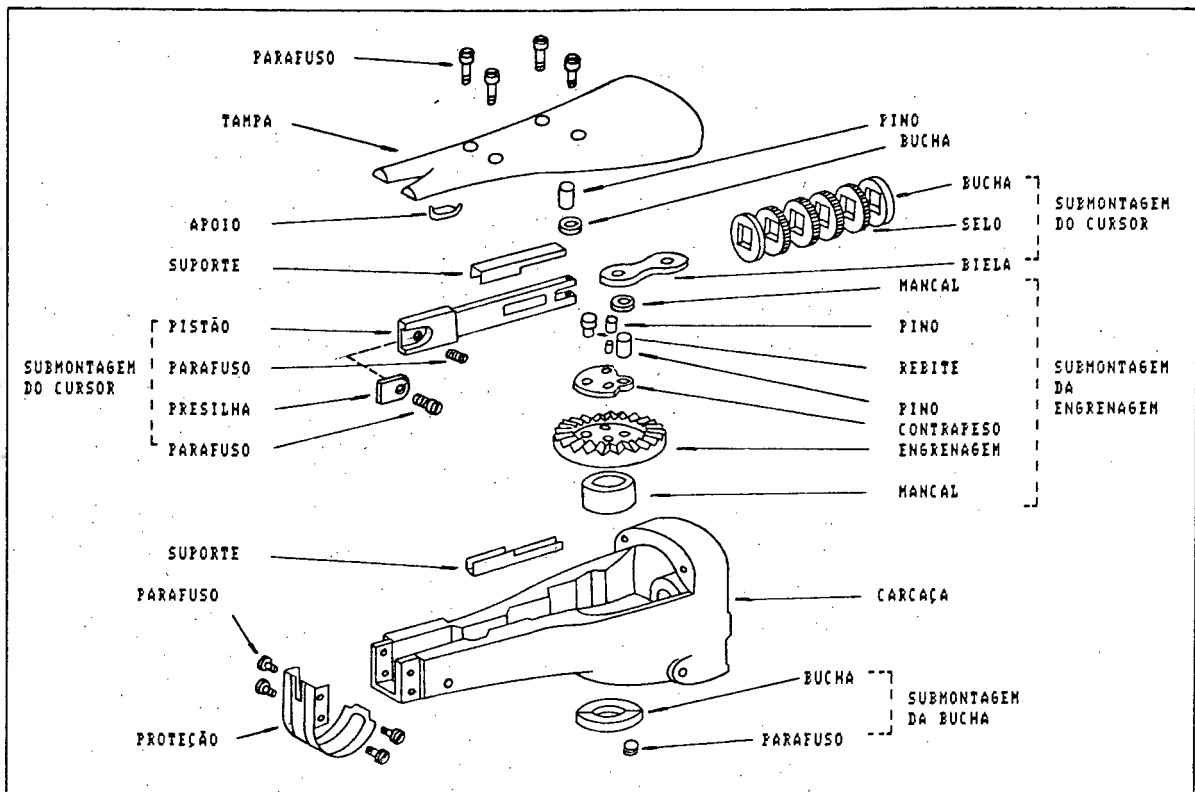


Fig. 7.2 Montagem de uma serra elétrica [2].

7.2.1) ANALISANDO UM PRODUTO

O passo inicial é imaginar a primeira parte (a montagem completa) posicionada num dispositivo de fixação. Entra-se com o nome da montagem, neste caso *Extremidade Frontal*, como indicado na planilha-exemplo. A seguir remove-se a próxima parte da sequência de desmontagem, os quatro parafusos da tampa. Como estes são idênticos e podem ser removidos consecutivamente, são registrados em apenas uma linha como partes 2 a 5 e identificados como parafusos A a D. As questões da planilha são então analisadas e respondidas.

COLUNAS 1 A 10 - ASPECTOS GERAIS DE MONTAGEM E INSERÇÃO

[1] ESPECIFICAÇÃO SE É COMPONENTE OU TAREFA - Os parafusos são considerados como "partes" em comparação a "tarefas" (inspeção, teste, etc.),

portanto um "P" é assinalado nesta coluna. Se em determinado ponto do processo de desmontagem uma tarefa é executada, ver tarefas 8 e 10 na planilha, um "T" é marcado na coluna 1 e uma estimativa do tempo total para efetuar a tarefa é escrita diretamente na coluna 27.

[2] MANIPULAÇÃO OU ORIENTAÇÃO PRÉVIA - Por serem os parafusos as primeiras partes removidas logo após a instalação da extremidade frontal no dispositivo de fixação, não houve necessidade de manipular ou orientar nenhuma peça para retirá-los. Portanto nada é assinalado na coluna 2. Esta coluna é vermelha porque uma manipulação ou reorientação seria adicional à tarefa de montagem em si e seria perda de tempo e dinheiro.

[3] NECESSIDADE DE UNIÃO - Os parafusos obviamente requerem união para se manterem no local adequado e a opção *Outros* é preenchida com a penalidade de tempo correspondente, 5. Este valor é obtido consultando-se a nota (2), que indica o método de união empregado. Do ponto de vista da montagem, ajustes por pressão ou encaixe são os métodos de união menos custosos; por isso a coluna correspondente é branca ao passo que a coluna *Outros* é vermelha. Em algumas situações, como soldagem e os demais meios de união assinalados com \* na nota (2), as partes são previamente posicionadas (possivelmente em dispositivos apropriados) e a união é executada como parte de uma operação em separado. Neste caso o item *Operações separadas?* também seria marcado.

Se, como no caso da tampa (peça 6), uma vez removidos os quatro parafusos, a parte não permanece presa, deve ser indicado se a parte possui *Auto-localização*, uma característica desejável, ou se o operador deve segurá-la no lugar, antes que a próxima parte seja adicionada, uma característica onerosa e indesejável.

[4] POSSIBILIDADE DE ELIMINAÇÃO - Como dito anteriormente, os custos de montagem são proporcionais ao número de partes do produto. Se este número pode ser reduzido, os custos também se reduzem. Por este motivo, de todas as questões da planilha, a mais importante é a desta coluna, *Pode ser eliminada?* Isto é, a parte pode ser completamente eliminada ou ser combinada com outras? Ou, neste exemplo, alguns dos parafusos podem ser eliminados? Nesta etapa os critérios do item 5.2 são usados. Se as respostas obtidas forem SIM, SIM, SIM e NÃO, respectivamente, uma marca é feita sob o "S" (sim) da coluna 4. O vermelho é usado para chamar atenção para a possibilidade de combinação de partes e redução de custos. Por exemplo, se parafuso, porca e arruela separados são usa

dos para unir duas partes, o projeto pode, numa hipótese, ser alterado para um ajuste por encaixe ou pressão, eliminando três partes. Ou se o parafuso deve ser mantido, um conjunto parafuso-arruela pode ser usado ao invés de partes separadas. Quanto ao caso em consideração, será su posto que pelo menos um parafuso possa ser eliminado e o "S" marcado.

Nesta etapa os parafusos são novamente montados e as questões das colunas 5 a 10 respondidas.

[5] a [8] FACILIDADES NA INSERÇÃO - Neste exemplo, os orifícios rebaixados da cobertura e o pouco comprimento dos parafusos torna restrita a vi são e obstrui o acesso; portanto o "N" (não) das colunas 5 e 6 é marca do. Os parafusos não têm características (extremidades chanfradas, por exemplo) que facilitem o alinhamento, portanto o "N" da coluna 7 é mar cado. Finalmente, não há resistência à inserção dos parafusos e o "S" da coluna 8 é marcado.

[9] e [10] POSSÍVEL INSERÇÃO AUTOMÁTICA - A inserção em linha reta, de ci ma, só é importante para a montagem automática. As questões das colu nas 9 e 10 são incluídas para chamar atenção, no mínimo qualitativa, para um problema em potencial se a automatização for considerada. Neste exemplo, os parafusos são inseridos em linha reta, de cima.

Até aqui a maioria das colunas se relacionou à inserção. Grande parte das seguintes (11 a 26) tratará da manipulação.

---

COLUNAS 11 A 26 - MANIPULAÇÃO

---

[11] DIMENSÕES DO COMPONENTE - O envelope dos parafusos é anotado na colu na 11, sob os itens L e D, comprimento e diâmetro. Os itens A, B e C se destinam às partes retangulares.

[12] e [13] VERIFICAÇÃO DA MAIOR E MENOR DIMENSÃO - As dimensões dos para fusos são então comparadas com as indicadas nestas colunas. Neste caso nenhuma das duas será assinalada pois as condições indicadas não foram

satisfeitas. Isto quer dizer que o tamanho da parte ou sua espessura é tal que é facilmente captada e manipulada. O preenchimento da coluna 13 pede a observação da nota (3).

**[14] a [21] SITUAÇÕES E CARACTERÍSTICAS QUE DIFICULTAM A MANIPULAÇÃO DOS COMPONENTES** - As colunas 14 a 20 indicam razões adicionais pelas quais os parafusos ou outros componentes seriam difíceis de captar e manipular com uma única mão e sem ferramenta de captação. No caso dos parafusos, nenhuma destas é assinalada.

Deve ser notado que, em geral, componentes que são difíceis de captar e manipular manualmente, são também difíceis de ser alimentados por um alimentador vibratório. Adicionalmente, partes abrasivas causam excessivo desgaste do alimentador e partes muito leves são difíceis de ser alimentadas. Portanto, para o caso de se considerar alimentação automática, a coluna 21 foi incluída.

As colunas restantes são usadas para se determinar quão simétrica é a peça e o conseqüente efeito na manipulação.

**[22] a [24] ANÁLISE DE COMPONENTES ROTACIONAIS. VERIFICAÇÃO DA SIMETRIA, COLUNAS 22 E 23, E DO EIXO DE INSERÇÃO, COLUNA 24.** Os quatro parafusos são partes rotacionais, assim estas colunas serão usadas. Como a haste do parafuso deve ser inserida primeiro, há uma posição única de inserção no sentido longitudinal, ou seja, a peça não possui simetria entre extremidades com relação ao diâmetro  $D$  e o " $N$ " da coluna 22 é assinalado. O centro de massa do parafuso está na haste, portanto uma marca é feita na seção apropriada da coluna 22. Se o centro de massa fosse na cabeça, a marca seria feita na coluna adjacente. Supondo que a fenda da cabeça não precisa ser orientada, os parafusos são simétricos em relação ao eixo de rotação. Devido a isso, uma marca é feita na coluna 23.

Algumas seções das colunas 22 e 23 são vermelhas enquanto outras são brancas. O branco indica as partes que podem ser orientadas automaticamente num alimentador vibratório. Vermelho indica partes, como a peça 19, que não podem ser orientadas automaticamente e devem ser manipuladas apenas manualmente. Além disto, o código de cores adotado indica como as partes rotacionais devem ser projetadas para a manipulação automática. Acerca dos números sobre as ilustrações destas colunas, con



sultar o item 7.3.5.

Na coluna 24 deve ser indicado se o eixo de inserção do componente é no sentido de sua dimensão L (componente longitudinal ao eixo de inserção) ou se no sentido do diâmetro D (componente transversal ao eixo de inserção). Para os parafusos, o eixo de inserção é L.

[25] e [26] ANÁLISE DE COMPONENTES RETANGULARES. VERIFICAÇÃO DA SIMETRIA, COLUNA 25, E DO EIXO DE INSERÇÃO, COLUNA 26 - Como os parafusos não são partes retangulares, esta seção não é considerada. Na coluna 26 seria indicado o eixo de inserção, isto é, X, Y ou Z.

---

COLUNA 27 - TOTALIZAÇÃO

---

[27] CÁLCULO DOS TEMPOS CORRESPONDENTES - O somatório dos tempos parciais é anotado nesta coluna. Como são quatro parafusos, o valor obtido se encontra multiplicado por quatro:

$$(2 + 5 + 2 + 2 + 1,5 + 1) \times 4 = 13,5 \times 4 = 54 \text{ s}$$

Após completada esta coluna, os parafusos são postos de lado e a próxima parte, a tampa, desmontada. Todo o procedimento anterior é então repetido, o mesmo sendo válido para os demais componentes. As submontagens indicadas também deverão ser analisadas em planilhas individuais, à semelhança do desenvolvimento anteriormente apresentado.

#### 7.2.2) ANALISANDO A PLANILHA

A planilha completa indica problemas potenciais. Algumas das conclusões que podem ser obtidas são as seguintes:

- a maioria das partes é difícil de se alinhar, ver coluna 7;
- a proteção emaranha, ver coluna 16 do componente 18;
- a submontagem do cursor é flexível e requer duas mãos para ser montada, ver colunas 15 e 20 do componente 9;
- é necessária uma operação de reorientação, tarefa 17;

- como atualmente projetada, a submontagem da bucha, parte 19, tem que ser manipulada manualmente.

7.2.3) REPROJETANDO A PARTIR DA PLANILHA

Algumas das situações indesejáveis indicadas pela planilha podem ser aperfeiçoadas. Por exemplo, alguns detalhes acrescentados à tampa podem torná-la auto-locável e fácil de alinhar, economizando 5 s no tempo de montagem. Os orifícios da tampa podem ser alargados e alongados e parafusos de fácil alinhamento podem ser usados. Isto melhora o acesso e facilita o alinhamento. Como quatro parafusos são usados, um tempo de 22 s pode ser poupado.

Adicionar chanfros na proteção torna o alinhamento mais fácil e dois dos quatro parafusos podem ser eliminados, resultando numa economia total de 24,5 s.

Finalmente, a composição bucha-parafuso (parte 19) pode ser substituída por um plugue de encaixe prensado, reduzindo o tempo de montagem em 3,5 s.

A redução do tempo de montagem encontra-se detalhada na tabela 7.1.

Tabela 7.1 Cálculo da redução do tempo de montagem.

CÁLCULO DA REDUÇÃO DE TEMPO OBTIDA PELO REPROJETO DAS PARTES	
COMPONENTE / TEMPO PARCIAL	CÁLCULO DA REDUÇÃO PARCIAL*
Tampa (5 s)	[3]:3,5 + [7]:1,5 = 5 s
Parafusos da tampa (22 s)	[5]:2 + [6]:2 + [7]:1,5 = 5,5 s P/ 4 parafusos = 5,5 x 4 = 22 s
Chanfros na proteção (1,5 s)	[7]:1,5 = 1,5 s
Parafusos da proteção (23 s)	[1]:2 + [3]:5 + [6]:2 + [7]:1,5 + [22]:1 = 11,5 s P/ 2 parafusos = 11,5 x 2 = 23 s
Reprojeto da bucha (3,5 s)	[3B]:5 - [3A]:1,5 = 3,5 s
<b>TEMPO TOTAL = 5 + 22 + 1,5 + 23 + 3,5 = 55 s</b>	

\* Simbologia adotada:

[nº da coluna]:tempo correspondente

### 7.2.4) CÁLCULO DOS CUSTOS DE MONTAGEM

Para o cálculo dos custos de montagem manual, dispõe-se das seguintes equações:

$$C_{pr} = (W + M) \times t_{ma} \tag{1}$$

sendo

- $C_{pr}$  = custo médio de montagem do produto;
- $W$  = custo do operador por unidade de tempo;
- $M$  = custo de operação do equipamento de montagem por unidade de tempo e
- $t_{ma}$  = tempo total de manipulação e montagem por produto,

onde

$$M = \frac{W}{S \times Q} \times CE \tag{2}$$

e

- $S$  = número de turnos;
- $Q$  = montante a ser gasto em equipamentos e
- $CE$  = custo da bancada de montagem.

A análise deste exemplo será baseada nos seguintes valores hipotéticos:

- operadores da linha de montagem trabalhando 70% do tempo total de trabalho disponível => eficiência fabril de 70%;
- despesas anuais com cada operador  $W = \$ 20.000$ ;
- custo de uma bancada  $CE = \$ 10.000$ ;
- número de turnos  $S = 1$  e
- total que se tenciona investir em ferramentas  $Q = 3 \times W$ .

Inicialmente é necessário encontrar o valor de  $W$  expresso em  $\text{¢/s}$ . Este é obtido do gráfico que acompanha a planilha, usando-se o primeiro sistema de eixos coordenados,  $W$  (k\$/ano) x  $W$  (¢/s). Para o salário anual específico

cado e eficiência fabril de 70%, resulta  $W = 0,4 \text{ ¢/s}$ . Tendo-se como referência o segundo sistema de eixos,  $CE \text{ (k\$)} \times CE \text{ (¢/s)}$ , obtém-se  $CE = 0,2 \text{ ¢/s}$ . Estes valores são então substituídos na equação (2):

$$M = \frac{0,4}{1 \times 3 \times 0,4} \times 0,2 = \frac{0,2}{3} \text{ ¢/s}$$

Com os valores de  $W$  e  $M$ , pela equação (1) calcula-se o custo de montagem por produto:

$$\begin{aligned} C_{pr} &= (W+M) \times t_{ma} \\ &= [0,4 + 0,2 \times (1/3)] \times 196 \\ &= 91,47 \text{ centavos} \end{aligned}$$


Efetuando-se o reprojeto sugerido, o custo individual seria:


$$\begin{aligned} C_{pr} &= (W+M) \times t_{ma} \\ &= [0,4 + 0,2 \times (1/3)] \times [196 - (5+22+24,5+3,5)] \\ &= 65,8 \text{ centavos} \end{aligned}$$

Isto representa uma economia de 25,67 centavos por produto, ou seja, 28,06% a menos.

### 7.3) PLANILHA PARA A MONTAGEM AUTOMÁTICA [23]

Esta planilha, figura 7.3, foi desenvolvida para se analisar um projeto do ponto de vista da montagem automática em equipamento dedicado (não flexível). Tal qual a anterior, também se vale de código de cores na indicação de determinadas características e situações:

- colunas vermelhas (1, 9 a 11, 13 a 17, marcadas por ) indicam características dos componentes que aumentam o custo de montagem automática;

- colunas azuis (5, 6, 22 a 34, 38, 39, marcadas por ) indicam partes que devem ser manipuladas manualmente e
- colunas brancas (as demais) indicam características desejáveis e menos onerosas.

A planilha está fundamentada em duas bases de dados: uma para estimar os custos da montagem automática e a outra para estimar os custos de manipulação manual para as partes que por serem inadequadas ao processo, não podem ser manipuladas automaticamente.

A primeira base de dados é expressa em termos de custos de ferramental relativos a um equipamento *pick-and-place* padrão e custos de um alimentador vibratório relativo a um equipamento padrão. A base de dados para a manipulação manual é expressa em termos de tempo.

Gráficos e equações que acompanham a planilha permitem estimar custos de montagem do produto empregando-se um sistema automático dedicado.

Tal qual a planilha anterior, o produto é desmontado para se responder às questões propostas. Como o processo automático de alimentação implica em exigências diferentes do processo manual, tabelas e gráficos que levam em consideração as características geométricas de componentes rotacionais e não rotacionais, simetria e probabilidade da parte estar em determinada posição de repouso, devem ser também preenchidos e consultados (figuras 7.4 e 7.5). Os dados aí obtidos são transportados para a planilha onde serão computados juntamente com os demais.

O exemplo a seguir foi adaptado da referência [23] e foi desenvolvido com base na montagem ilustrada na figura 7.6.

0	1	2	3	4	5	6	7		
<p>1) <u>DIÁFRAGMA</u></p> <p>Nome da montagem</p> <p>1</p> <p>Produção anual Volume/turno Vs (milhões)</p> <p>5</p> <p><math>t_{pr} = 5/V_s</math> (s) (Tempo de ciclo para eficiência fabril de 70%)</p>			<p>TAREFA</p>						
N ú m e t r a r e s d e f e i c i ê n c i a p a r t e s	P o d e s e r	e l i m i n a r d a r ?	M o d o l i n h a r e s o u	O u t r a	N o ú p e r a o d o r e s	C e x e c u t i v o d e m ã o	C e x e c u t i v o d e a u t o m		
								$\frac{C}{rt}$	$\frac{T}{t_{pr}}$
2	✓		1.5						
3	✓		1.5						
4	✓		1.5						
5	✓		1.5						
6	✓		1.5						
			1.5						
			1.5						
			1.5						

SUPOORTE (MANUAL)	1	✓		1.5			
NOVA PLACA	1		✓	1.5			
NOVO SUPOORTE	1		✓	1.5			

Fig. 7.3 Planilha para análise do projeto quanto à montagem automática [23].

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
MONTAGEM										C d u o s t f o e r r e a m a e n i t v a o l [8] x [9] x	Dimensões do envelope (mm)		
Requer união?					Inserção não						A	B	C
S					N						L	D	
P E r n e c s a s i ã x o e	D P n e l f a o s i r t ã x o e	P A d e r e f á r e s i t f i u v e a c ç a o	R e b i t e	A l t c o a l i z a ç a o	S e g u r a r	A f l a n c i e h l r a m d e o n t e	I f f e i e r l l a m d e o n t e	L i n h a e r e t a	D e c i m a p/ b a i x o				
1	1.5	1✓	1.5	1	1.5	1.5	1.5	2	1.2	1.5	12	5	
1	1.5	1	1.5	1	1.5	1.5	1.5	2	1.2	2.25	40	10	8
1	1.5	1	1.5	1	1.5	1.5	1.5	2	1.2	2.25	1	60	
1	1.5	1	1.5	1✓	1.5	1.5	1.5	2	1.2	1.0	2	12	
1	1.5	1	1.5	1✓	1.5	1.5	1.5	2	1.2	1.0	3	10	
1	1.5	1	1.5	1	1.5	1.5	1.5	2	1.2				
1	1.5	1	1.5	1	1.5	1.5	1.5	2	1.2				
1	1.5	1	1.5	1	1.5	1.5	1.5	2	1.2				

1	1.5	1	1.5	1	1.5	1.5	1.5	2	1.2	2.25	40	10	8
1	1.5	1	1.5	1✓	1.5	1.5	1.5	2	1.2	1.0	1	60	
1	1.5	1	1.5	1✓	1.5	1.5	1.5	2	1.2	1.0	40	12.5	10

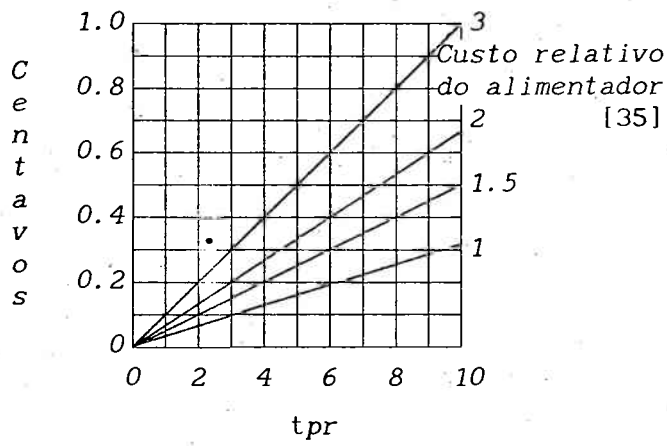
Fig. 7.3 Continuação.



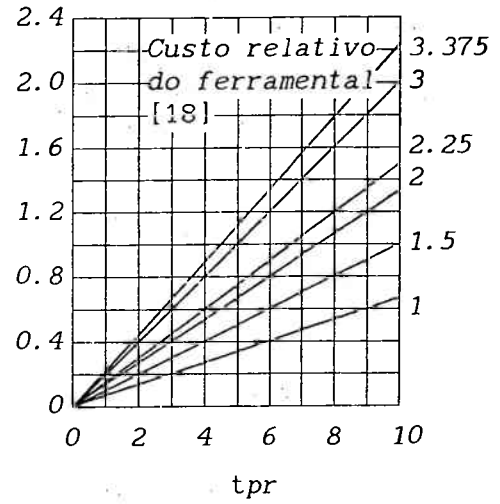




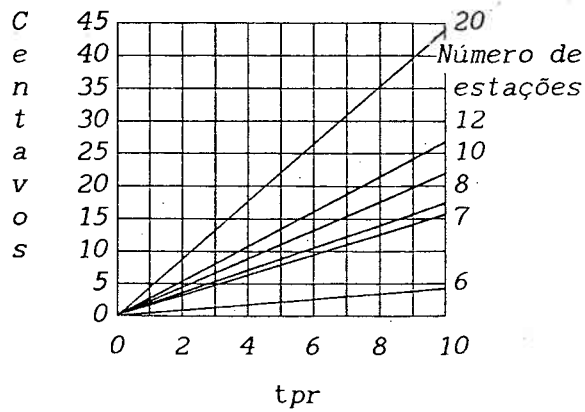
(6)  $W/SQ=1/3$ ;  
alimentador padrão=\$5.000



(7)  $W/SQ=1/3$ ;  
ferramenta padrão=\$10.000



(8)  $W/SQ=1/3$



(9)  $W/SQ=1/3$ ;  
custo do operador=\$20.000

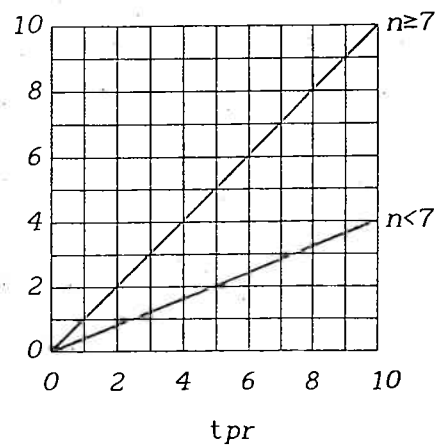


Fig. 7.3 Continuação.

TABELA 1

PARTES ROT




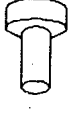




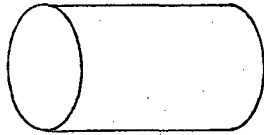



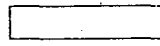
Simétrica em relação a D?							
S				N			
$\frac{L}{D} < 0.8$	$\frac{L}{D} \geq 0.8$	$\frac{L}{D} < 0.8$	$\frac{L}{D} \geq 0.8$	$\frac{L}{D} < 1.5$	$\frac{L}{D} \geq 1.5$	$\frac{L}{D} < 1.5$	$\frac{L}{D} \geq 1.5$
0 0	1 0 2	0 1	1 1 2	0 2 1	2 2	0 3 1 4	2 3 4
							
Crf=1		Crf=1		Crf=		Crf=	
u 1	u 1	u 1	u 1	u .8	u 0	u 1	u 0
t 1	t 1	t 0	t 1	t 0	t 0	t 0	t 0
v 0	v 0	v 0	v 0	v 0	v 0	v 0	v 0
z 0	z 1	z 1	z 1	z 0	z 1	z 0	z .8
Componente				Pu	Pt	Pv	Pz
							
PARAFUSOS				0	0,02	0,39	0,59
ARRUELAS				0,48	0,48	0,02	0,02
PORCAS				0,45	0,45	0,05	0,05
NOVA PLACA				0,5	0,5	0	0

Fig. 7.4 Tabela relativa às partes rotacionais [23].

TACIONAIS













		Simétrica em relação					
		S			N		
$\frac{\bar{L}}{D} < 1.5$	$\frac{\bar{L}}{D} \geq 1.5$	$\frac{\bar{L}}{D} \leq 1$	$\frac{\bar{L}}{D} > 1$	$\frac{\bar{L}}{D} \leq 1$	$\frac{\bar{L}}{D} > 1$	$\frac{\bar{L}}{D} \leq 1$	$\frac{\bar{L}}{D} > 1$
0 1	5 2 5	0 1	0 1	2 4 5	2 4 5	3	3
							
Crf=		Crf=1		Crf=1	Crf=15	Crf=1	Crf=2
u 1	u 0	E 1	E 1	E 0.7	E 1	E 0.7	E 0.7
t 0	t 0						
v 0	v 0						
z 0	z 1						
$\bar{L} = \frac{(Pt + Pu + Pv)D + (Pz)L}{u(Pu) + t(Pt) + v(Pv)}$		b1	b2	b3			
$9,13$		0	0,02	0			
$11,8$		0,48	0,48	0			
$10$		0,45	0,45	0			
$60$		0,5	0,5	0			

Fig. 7.4 Continuação.

o a L?

N \_\_\_\_\_

$\frac{L}{D} \leq 1$	$\frac{L}{D} > 1$	$\frac{L}{D} \leq 1$	$\frac{L}{D} > 1$
6	6	7	7
			
Crf=1	Crf=2	Crf=1	Crf=2
E 0.4	E 0.7	E 0.5	E 1
b4	$t = \frac{\bar{L}}{\sum_{i=1}^6 25(b_i)E}$		
z(Pz)			
0,59	0,6		
0	0,5		
0	0,44		
0	3,43		

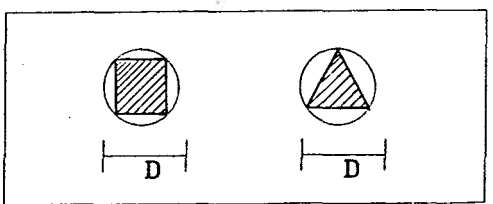
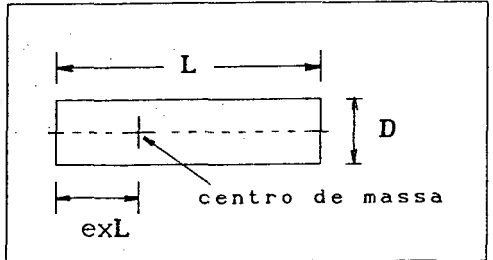
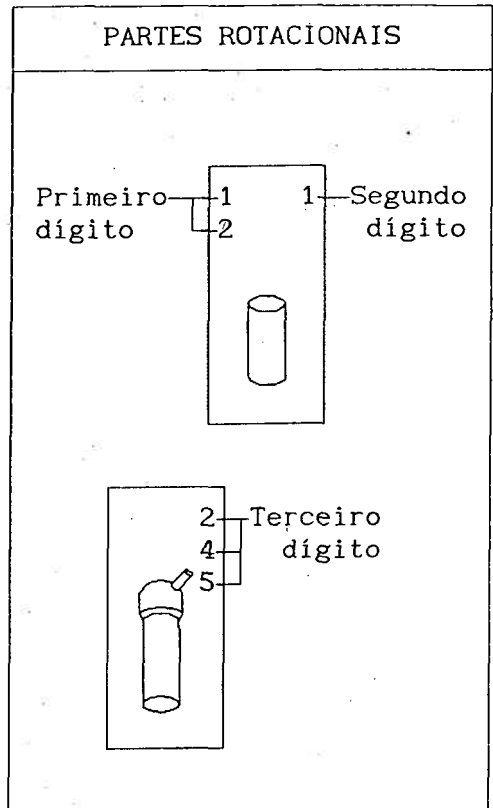


Fig. 7.4 Continuação.

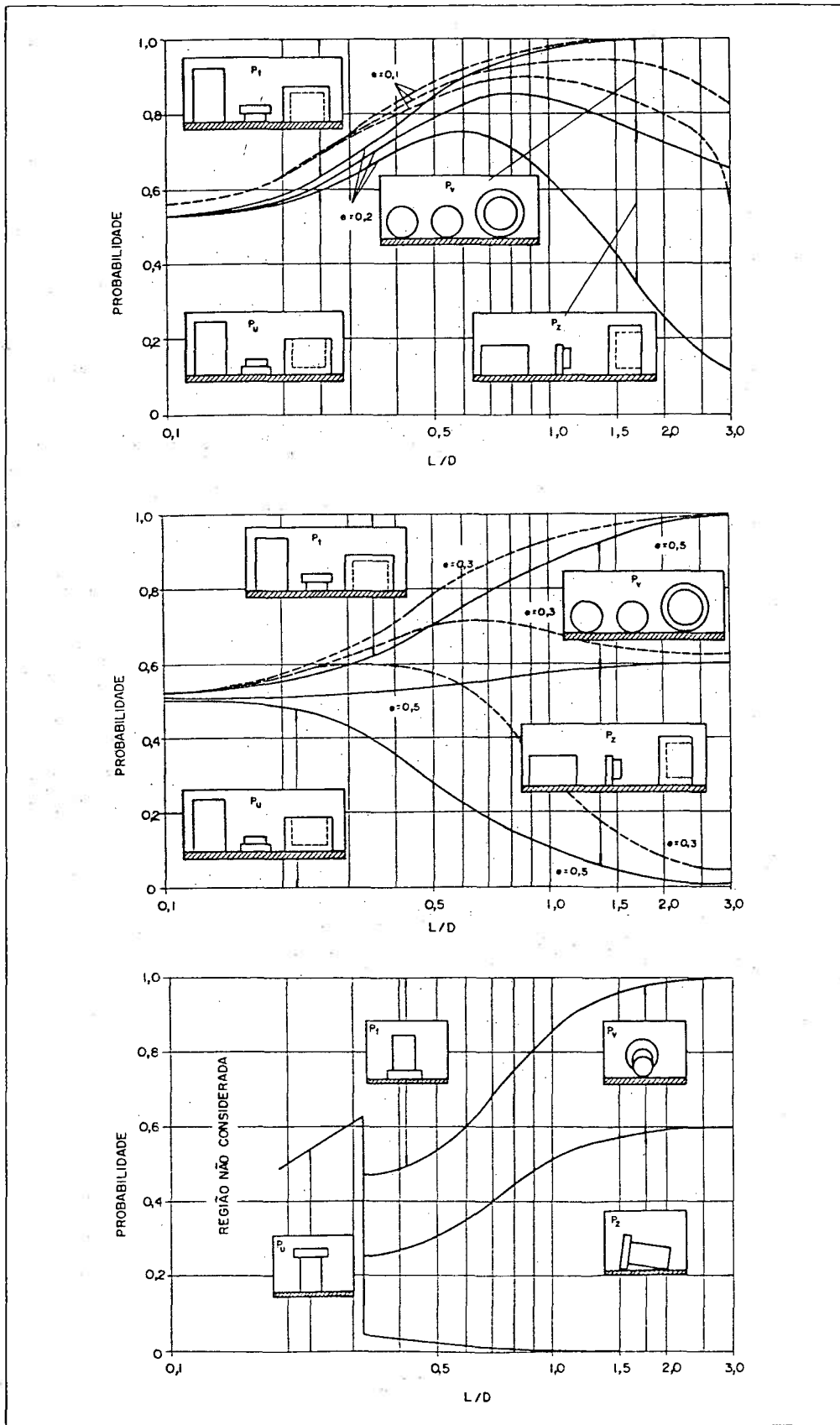


Fig. 7.4 Continuação. Gráficos que consideram a probabilidade de um componente estar em repouso em cada uma das quatro posições possíveis.

TABELA 2

PARTES RET

		Simetria longitudinal em relação aos três eixos								
Segundo dígito	0	Paralelo a			Paralelo a					
		A	B	C	A	B	C			
Terceiro dígito	D s d									
	i i e	Degraus ou chanfros			Furos ou recessos					
	f g									
	e n d	Fendas								
	r i i									
	e f m									
	n i e									
	ç c n									
	a a s									
	s t ò									
e		Paralelo a			Paralelo a					
0	s	1	4	2	5	3	6	7	7	7
		$Crf=1$	$Crf=1$	$Crf=1.5$	$Crf=1.5$	$Crf=1.5$	$Crf=1.5$	$Crf=1.5$	$Crf=1.5$	$Crf=1.5$
	r	1	1	0	1	0	0	0	0	1
	s	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	t	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	u	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	v	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	z	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Componente			Pr	Ps	Pt			
		<i>SUPORTE</i>			<i>0,62</i>	<i>0,05</i>	<i>0,30</i>			
		<i>NOVO SUPORTE</i>			<i>0,6</i>	<i>0,07</i>	<i>0,28</i>			

Fig. 7.5 Tabela relativa às partes retangulares (não rotacionais) [23].

TANGULARES

Simetria longitudinal em relação a um só eixo								
1	2	3						
Paralelo a			Paralelo a			Paralelo a		
A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	3	1	4	2	5	0	6	6
Crf=1	Crf=1	Crf=1.5	Crf=1	Crf=1	Crf=1.5	Crf=2	Crf=2	Crf=2
r .5	r 0	r .5	r .5	r .5	0	r 1	r 0	r .5
s 0	s .5	s 0	s .5	s .5	1	s 0	s 0	s 0
t 0	t 0	t 0	t 0	t 0	t 0	t 0	t .5	t 0
u 0	u 0	u 0	u 0	u 0	u 0	u 0	u 0	u 0
v 0	v 0	v 0	v 0	v 1	v 0	v .5	v 0	v 0
z 0	z 0	z 0	z 0	z 0	z 0	z 0	z 0	z 0
Pu	Pv	Pz	$\bar{L} = (Pr + Pt)A$ $+ (Ps + Pv)B$ $+ (Pu + Pz)C$			b1	b2	b3
C	B	C				r(Pr)	s(Ps)	t(Pt)
0,03	0	0	37,6			0	0,05	0
0,05	0	0	36,575			0,6	0	0

Fig. 7.5 Continuação.



Não simetria					
4 5					
Paralelo a			Paralelo a		
A	B	C	A	B	C
0	3	1	4	2	5
6	6	6	6	6	6
$Crf=1$	$Crf=1$	$Crf=1.5$	$Crf=2$	$Crf=2$	$Crf=2$
$r .25$	$r 0$	$r .25$	$r 0$	$r 0$	$r .25$
$s 0$	$s .25$	$s 0$	$s 0$	$s 0$	$s 0$
$t 0$	$t 0$	$t 0$	$t 0$	$t .25$	$t 0$
$u 0$	$u 0$	$u 0$	$u 0$	$u 0$	$u 0$
$v 0$	$v 0$	$v 0$	$v .25$	$v 0$	$v 0$
$z 0$	$z 0$	$z 0$	$z 0$	$z 0$	$z 0$
$b_4$	$b_5$	$b_6$	$t = \frac{\bar{L}}{\sum_{i=1}^6 25(b_i)}$		
$u(Pu)$	$v(Pv)$	$z(Pz)$			
0	0	0	30		
0	0	0	244		

Fig. 7.5 Continuação.

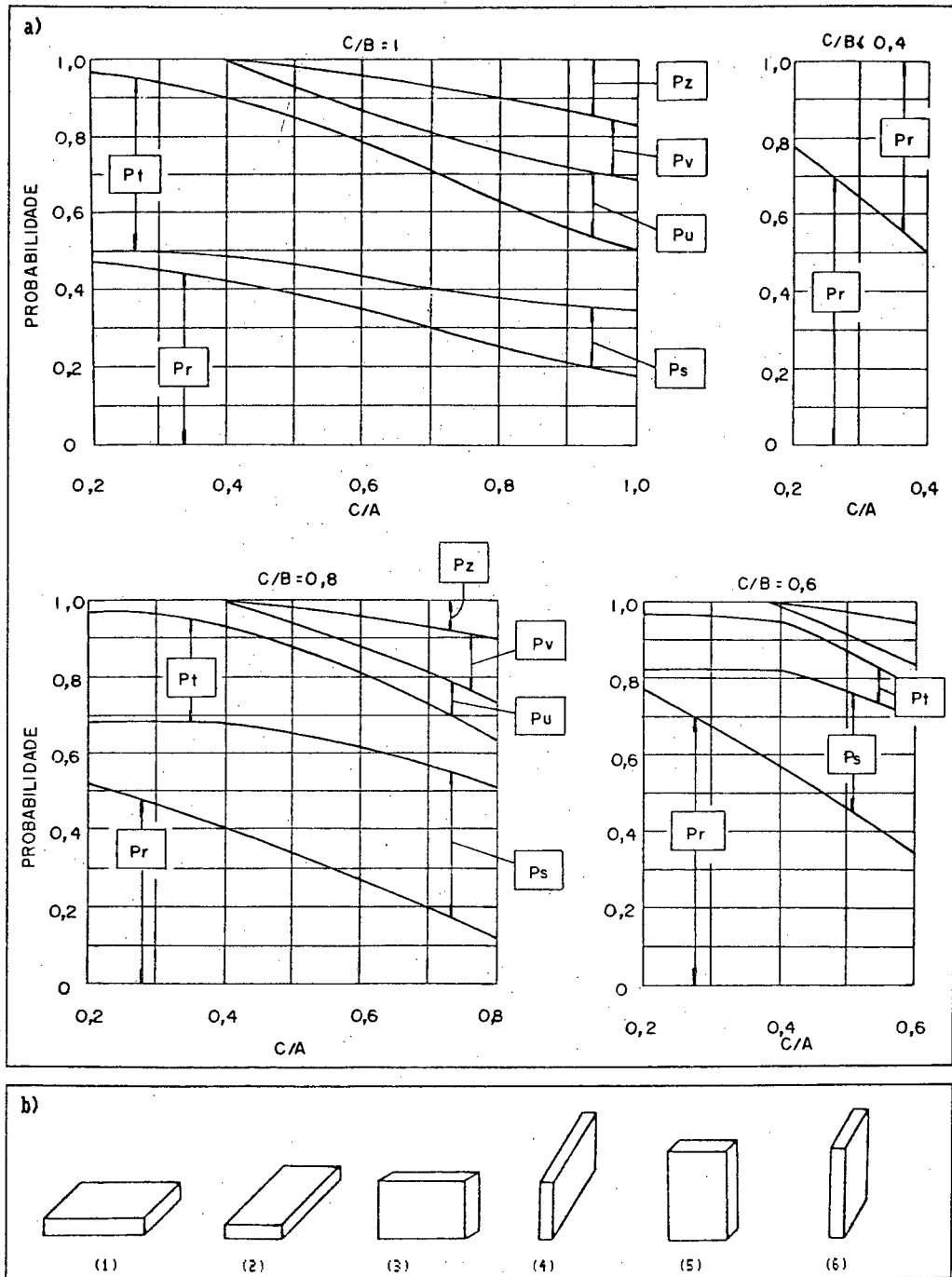


Fig.7.5 Continuação. Análise da adequação do componente ao processo de alimentação automática [11, 23].

- a) Gráficos que consideram a probabilidade de um componente retangular estar em repouso em uma das seis posições ilustradas em (b). Como se observa, o número possível de posições varia com a proporção entre as dimensões da peça.
- b) Seis orientações possíveis para um componente retangular.

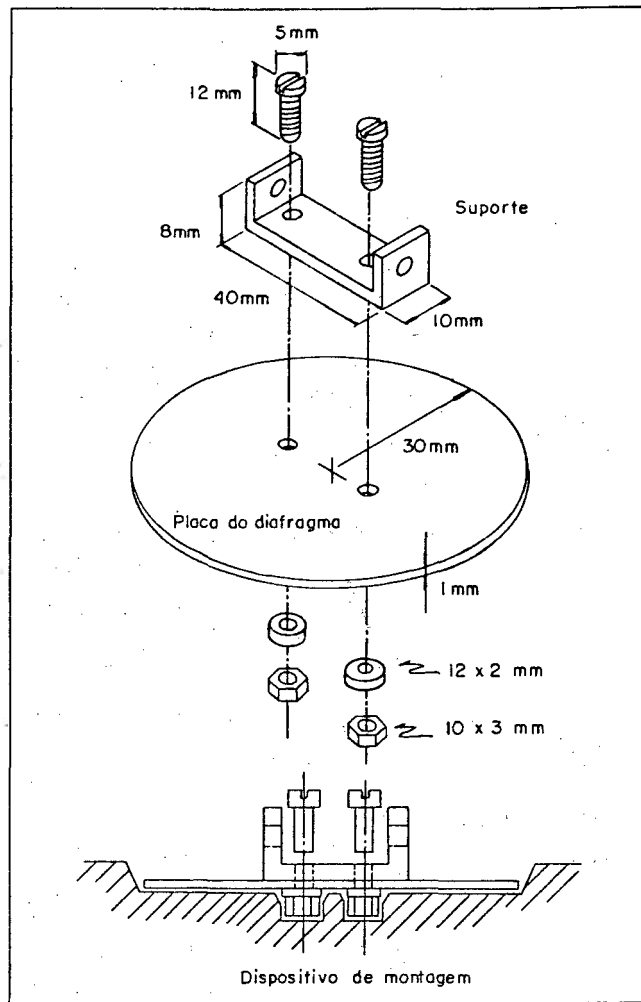


Fig. 7.6 Montagem de um diafragma [23].

### 7.3.1) ANALISANDO UM PRODUTO

A montagem a ser analisada é inicialmente instalada num dispositivo de fixação e seu nome, volume anual de fabricação por turno e tempo de ciclo anotados nos espaços adequados. Neste exemplo é suposta uma produção anual de um milhão de unidades.

As primeiras partes a serem desmontadas são os dois parafusos. Por serem idênticos e poderem ser removidos consecutivamente, presume-se que possam ser montados numa mesma estação. Sendo assim, são registrados em apenas uma linha como componente 2 e identificados como *Parafusos*. A se

---

COLONAS 0 A 2 - QUESTÕES PRELIMINARES

---

- [0] ESPECIFICAÇÃO DO NÚMERO DE COMPONENTES OU TAREFAS - Como existem dois parafusos idênticos, o número 2 é anotado nesta coluna.
- [1] e [2] POSSIBILIDADE DE ELIMINAÇÃO - Como o meio mais eficaz de se reduzir custos de montagem é reduzir o número de partes a serem montadas, a primeira questão proposta pela planilha é *Pode ser eliminada?* Após análise dos critérios propostos no item 5.2, conclui-se que os parafusos permanecem estacionários em relação às demais partes e podem ser feitos do mesmo material que as porcas e arruelas. Supondo-se que o diafragma não precisa ser desmontado para reparo ou manutenção, a coluna 1 é então assinalada. O vermelho desta coluna chama a atenção para a possibilidade de redução de custos.

---

COLONAS 3 A 7 - OPERAÇÕES EXTRAS REQUERIDAS

---

- [3] MANIPULAÇÃO OU ORIENTAÇÃO PRÉVIA - Após a instalação do diafragma no dispositivo de fixação, nenhum componente teve que ser manipulado ou orientado anteriormente à remoção dos parafusos. Portanto, a coluna 3 não é assinalada.
- [4] a [7] OUTRAS OPERAÇÕES (P. ex., teste e inspeção) - Possíveis tarefas adicionais são registradas nestas colunas, que indicarão ainda se estas operações podem ser automatizadas ou têm que ser efetuadas manualmente. O tempo  $T$  necessário para a execução destas deve ser considerado.

---

COLONAS 8 A 17 - ASPECTOS GERAIS DE MONTAGEM E INSERÇÃO

---

- [8] a [13] NECESSIDADE DE UNIÃO - Como os parafusos são elementos de união, a coluna 10 é assinalada. As colunas 9 a 11 são vermelhas para in

dicar que os métodos de união correspondentes são mais caros que o indicado na coluna 8, ajustes por pressão ou encaixe. Caso a parte em análise não necessite união para se manter no local, como o suporte, deve ser indicado se esta é auto-locável (coluna 12) ou se deve ser segurada no local para ser montada (coluna 13). Por este último procedimento acrescer no custo do equipamento de montagem, a coluna 13 é vermelha.

Nesta etapa, os parafusos são novamente montados e as questões das colunas 14 a 17 respondidas.

[14] a [17] DIFICULDADES NA INSERÇÃO - Os parafusos não apresentam características que facilitem o alinhamento, como extremidades em cunha ou ovaladas, e por isso a coluna 14 é assinalada. Como não há resistência à inserção e esta é realizada em linha reta de cima para baixo, as colunas 15 a 17 permanecem em branco.

---

COLUNA 18 - TOTALIZAÇÃO PARCIAL

---

[18] CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CUSTO RELATIVO ( $C_{rw}$ ) - Nesta coluna são computados os valores obtidos nas colunas de 8 a 17. Os coeficientes de custo relativo destas colunas são multiplicados e o resultado é anotado. Para este caso, apenas as colunas 10 e 14 são consideradas:

$$C_{rw} = [10] \times [14] = 1 \times 1,5 = 1,5$$

O valor 1,5 corresponde ao custo relativo do ferramental necessário para inserção automática dos parafusos, isto é, o custo relativo do equipamento *pick and place* requerido face a um equipamento padrão.

---

COLUNAS 19 a 21 - DIMENSÕES DO COMPONENTE

---

[19] MAIOR DIMENSÃO DE UM COMPONENTE NÃO ROTACIONAL OU COMPRIMENTO DE UM COMPONENTE ROTACIONAL - O comprimento dos parafusos, 12 mm, é anotado

nesta coluna.

[20] DIMENSÃO INTERMEDIÁRIA DE PARTES NÃO ROTACIONAIS OU DIÂMETRO DAS ROTACIONAIS - O diâmetro, 5 mm, é anotado nesta coluna.

[21] MENOR DIMENSÃO DE UM COMPONENTE NÃO ROTACIONAL - Esta coluna não é usada.

---

COLUNAS 22 a 27 - ASPECTOS DA MANIPULAÇÃO

---

No preenchimento destas colunas, inicialmente consulta-se a nota (1) no final da planilha. Caso o componente se enquadre em uma das situações apontadas serão usadas as colunas 22 a 34, correspondentes à opção "S" (sim), caso contrário, serão consideradas as colunas 35 a 37, correspondentes à opção "N" (não).

Neste exemplo, os parafusos são fáceis de alimentar pois não são flexíveis, delicados, adesivos, leves, grandes, muito pequenos ou abrasivos, e não tendem a se emaranhar ou entrelaçar. Também são fáceis de orientar, como se verá mais adiante sob a coluna [35]. Por tudo isso, a opção "N" (colunas 35 a 37) será usada.

[22] a [28] SITUAÇÕES E CARACTERÍSTICAS QUE DIFICULTAM A MANIPULAÇÃO DOS COMPONENTES - Estas colunas são auto explicativas. a coluna 26 pede a consulta às notas (2) e (3) para a obtenção do índice adequado.

[29] a [33] VERIFICAÇÃO DA NÃO SIMETRIA DO COMPONENTE - Para partes rotacionais usam-se as colunas 29 e 30 e para as não rotacionais as colunas 31 a 33.

[34] TOTALIZAÇÃO DO TEMPO DE MANIPULAÇÃO MANUAL - Ao somatório dos valores das colunas 22 a 33 adiciona-se o valor 1 e anota-se o resultado nesta coluna.

[35] CUSTO RELATIVO DO ALIMENTADOR ( $C_{prf}$ ) - Para se obter este coeficiente deve ser consultada a tabela 1 ou 2, conforme indica a nota (4). Estas tabelas são usadas para determinar se o componente é facilmente orientável ou não. Por serem os parafusos partes rotacionais, a tabela 1 será usada. Esta contém 20 ilustrações, as dez primeiras relacionadas à

simetria em relação a D e as demais associadas à simetria em L. Sobre cada uma destas encontram-se números de codificação, a serem tratados no item 7.3.5.

Os parafusos são partes que possuem uma cabeça, cuja posição no momento da montagem é importante (não são simétricas em relação a D), têm seu centro de massa na haste e possuem razão  $L/D$  maior que 0,8 ( $12/5 = 2,4$ ). Comparando-os com as ilustrações da tabela 1, conclui-se que os parafusos são relativamente fáceis de orientar, uma vez que sua forma corresponde à uma das apresentadas, no caso a quarta ilustração.

O coeficiente de custo relativo  $Crfd$  é 1. Supondo-se que a fenda do parafuso não precisa ser orientada, estes também serão simétricos em relação a L e o coeficiente de custo  $Crfl$  é também 1. O resultado da multiplicação destes dois valores é anotado nesta coluna:

$$Cprf = Crfd \times Crfl = 1 \times 1 = 1$$

Se um componente não se assemelha a nenhuma das figuras ilustrando simetria ou assimetria em D e L, então este é considerado como sendo de difícil orientação em um alimentador vibratório, devendo ser armazenado manualmente em magazines. Para avaliar o custo de manipulação manual devem ser usadas as colunas 22 a 34.

[36] TEMPO DE CICLO DE ALIMENTAÇÃO ( $t$ )- Para cálculo deste tempo, novamente será consultada a tabela 1, figura 7.4, onde devem ser determinadas as probabilidades do componente estar em repouso em cada uma das quatro posições possíveis indicadas na tabela, previamente à alimentação automática. Os gráficos que acompanham a tabela serão usados para se determinar as probabilidades  $pu$ ,  $pt$ ,  $pv$  e  $pz$ . Devido à forma dos parafusos, o terceiro gráfico será usado. Tendo-se  $L/D = 2,4$ , e lembrando que o somatório das probabilidades  $pu$ ,  $pt$ ,  $pv$  e  $pz$  deve ser igual a 1, encontra-se:

$$pu = 0;$$

$$pz = 0,59;$$

$$pv = 0,98 - pz = 0,98 - 0,59 = 0,39 \text{ e}$$

$$pt = 1 - pv - pz = 1 - 0,39 - 0,59 = 0,02.$$

Estes valores e o nome da parte correspondente são anotados na tabela 1, nos espaços adequados. O comprimento médio  $\bar{L}$  e os valores  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  e  $b_4$ , são calculados de acordo com as equações apresentadas. Os coeficientes  $E$ ,  $u$ ,  $t$ ,  $v$  e  $z$  são relacionados à forma e simetria do componente e têm função de ponderar as probabilidades de repouso do mesmo. Os cálculos são os seguintes:

$$\begin{aligned}\bar{L} &= (pt+pu+pv)D + (pz)L = \\ &= (0,002+0+0,39)5 + (0,59)12 = \\ &= 0,41 \times 5 + 7,08 = 9,13\end{aligned}$$

$$b_1 = u(pu) = 1 \times 0 = 0;$$

$$b_2 = t(pt) = 1 \times 0,02 = 0,02;$$

$$b_3 = v(pv) = 0 \times 0,39 = 0 \text{ e}$$

$$b_4 = z(pz) = 1 \times 0,59 = 0,59.$$

$$t = \frac{\bar{L}}{4 \sum_{i=1}^{25} (b_i)E} = \frac{9,13}{(25 \times 0 + 25 \times 0,02 + 25 \times 0 + 25 \times 0,59) \times 1}$$

$$t = \frac{9,13}{15,25} \cong 0,6$$

O valor obtido, 0,6 s, é então anotado na coluna 36.

[37] NÚMERO DE ALIMENTADORES NECESSÁRIOS PARA SATISFAZER O TEMPO DE CICLO DESEJADO - Empregando-se a equação indicada na coluna, calcula-se:

$$[0] \times \frac{t}{t_{pr}} = 2 \times \frac{0,6}{5} = 0,24$$

Naturalmente, o número de alimentadores é 1.

---

COLONAS 38 a 42 - CÁLCULO DOS CUSTOS DE MONTAGEM

---

[38] e [39] TEMPO E CUSTO PARA MANIPULAÇÃO MANUAL - Como os componentes em



análise, os parafusos, podem ser manipulados automaticamente, estas colunas são ignoradas. O tempo da coluna 38 seria calculado somando-se 1 ao valor contido na coluna 34 e multiplicando-se o total pelo valor da coluna 0. O custo da coluna 39 é obtido pelo gráfico 5 no final da planilha. W, S e Q têm o mesmo significado que na planilha anterior.

[40] CUSTO DE MANIPULAÇÃO AUTOMÁTICA - Tal custo é encontrado multiplicando-se o valor contido na coluna 37 pelo obtido no gráfico 6:

$$C_{ma} = 1 \times 0,17 = 0,17$$

[41] CUSTO DE INSERÇÃO AUTOMÁTICA - É encontrado multiplicando-se o valor contido na coluna 0 pelo obtido no gráfico 7:

$$C_{ia} = 2 \times 0,5 = 1$$

[42] TOTALIZAÇÃO - Esta é obtida somando-se à coluna 41 o valor da coluna 39 ou 40, conforme a manipulação seja manual ou automática. Para este caso, tem-se:

$$C_t = [41] + [40] = 1 + 0,17 = 1,17$$

Após terminada esta etapa, os parafusos são postos de lado e a próxima parte, o suporte, desmontada. O preenchimento das primeiras 21 colunas segue o procedimento usado para os parafusos. Entretanto, para as seções restantes, haverá alguma modificação pois o suporte é uma parte retangular e a tabela 2 deverá ser usada para determinar se o componente é fácil de orientar.

O suporte é uma peça não rotacional, sulcada paralelamente à dimensão intermediária B. Tais características correspondem à segunda ilustração na quinta coluna da tabela 2; portanto tal componente pode ser alimentado e orientado automaticamente. O custo relativo do alimentador,  $C_{rf} = 1$ , é anotado na coluna 35. Como  $C/B = 0,8$  e  $C/A = 0,2$ , será usado o terceiro gráfico de probabilidades e o tempo de ciclo da coluna 36 é  $t = 30$  s. Os cálculos na coluna 37 indicam que 6 alimentadores são necessários para satisfazer a taxa de alimentação desejada. O número elevado de alimentadores deve-se à baixa eficiência na alimentação e orientação do suporte por meio de um alimentador vibratório.

As colunas restantes são preenchidas como antes.

O suporte é então abandonado e a placa removida. Novamente, as primeiras 21 colunas são preenchidas de modo semelhante. Entretanto, a placa não é uma parte completamente simétrica em L e não corresponde a nenhuma das ilustrações na tabela 1 situadas sob o item *Não simétrica com relação a L*. Isto indica que o componente é difícil de orientar e que deve ser manipulado manualmente. Portanto, as colunas 22 a 34 devem ser completadas como indicado. A seguir são preenchidas as colunas 38 a 42, observando-se que neste caso, para se calcular o custo de manipulação manual, coluna 39, o tempo para carregar o magazine, coluna 38, será usado em substituição ao valor  $t_{pr} = 5$  anteriormente estabelecido.

Uma por vez, as demais partes serão removidas. Ao se responder às questões da planilha, foi suposto que o dispositivo de fixação foi projetado de tal maneira que os componentes restantes, arruelas e porcas, sejam facilmente inseridos.

### 7.3.2) ANALISANDO A PLANILHA

Um exame da planilha completa revela que:

- do ponto de vista da montagem, aparentemente todas as partes podem ser eliminadas enquanto unidades separadas, conforme indica a coluna 1. O diafragma poderia ser fabricado por injeção ou por outra técnica de modelagem;
- a placa, parte 4, não pode ser manipulada automaticamente como atualmente projetada, conforme se concluiu no preenchimento das colunas 22 a 37;
- embora o suporte possa ser manipulado automaticamente, necessita de vários alimentadores, ver coluna 37, e
- todas as partes são de difícil alinhamento, ver coluna 14, exceto arruelas e porcas, que não o são apenas por causa do projeto do dispositivo de fixação.

7.3.3) REPROJETANDO A PARTIR DA PLANILHA

O projeto do diafragma pode ser aperfeiçoado a partir das informações da planilha. Por exemplo, se fosse adotado o projeto integral, isto é, todas as partes do diafragma sendo fabricadas como peça única, todos os custos de montagem seriam eliminados. Se o custo de montagem por produto é 10,61 ¢, para o volume requerido, um milhão de partes, a economia seria de \$106.100 por ano.

Mesmo que a placa do diafragma e o suporte precisem ser fabricados em materiais diferentes, porcas, parafusos e arruelas podem ser substituídos por encaixes ou rebites integrados (ajustes por deformação, ver figura 5.9). Neste caso, a economia seria:

- custo do equipamento básico (8) \$ = 2,2
- custo do operador (9) \$ = 2,0
- custo de manipulação e inserção = 6,11 - 1,17 (parafusos) - 0,87 (arruelas) - 0,87 (porcas) = 3,2
- custo total de montagem = 7,4 ¢, ou seja, 2,91 ¢ a menos por produto.

Outras possibilidades de otimização da montagem são:

SUPORTE - Como originalmente projetado, este precisa de vários alimentadores para alcançar a taxa de alimentação desejada. Um exame na tabela 2 revela que o tempo de alimentação é dependente do somatório dos valores  $b_i$ , que são muito pequenos para o suporte em análise. A causa disto é que as orientações com alta probabilidade de ocorrência,  $pr$  e  $pt$ , são multiplicadas por valores zero de  $r$  e  $t$ . Em termos práticos, isto quer dizer que o projeto, para ter montagem automática, precisa ser reavaliado e a possibilidade de manipulação manual e respectivo custo devem ser verificados.

De fato, a montagem manual do suporte se revela mais barata, conforme indicado nas linhas extras acrescentadas à planilha. Os custos por produto, em centavos, seriam:

- automática = 1,85;
- manual = 1,35;

- economia = 0,5 ¢ por produto ou \$5.000 por ano.

Mantendo-se a decisão de automatizar o processo, o suporte deve então ser reprojeto seguindo-se as orientações *implícitas* na tabela 2 (ver comentário a respeito no item 7.5). Para diminuir o ciclo de tempo de alimentação, é necessário que a parte seja modificada de maneira tal que as orientações com alta probabilidade de ocorrência não sejam multiplicadas simultaneamente por valores nulos de  $r$  e  $t$ . Isto ocorrerá alterando-se a dimensão C, de 8 para 12,5 mm, de modo a tornar o sulco da peça paralelo à menor dimensão. O acréscimo de uma depressão na placa do diafragma tornaria o suporte auto-localável (figura 7.7).

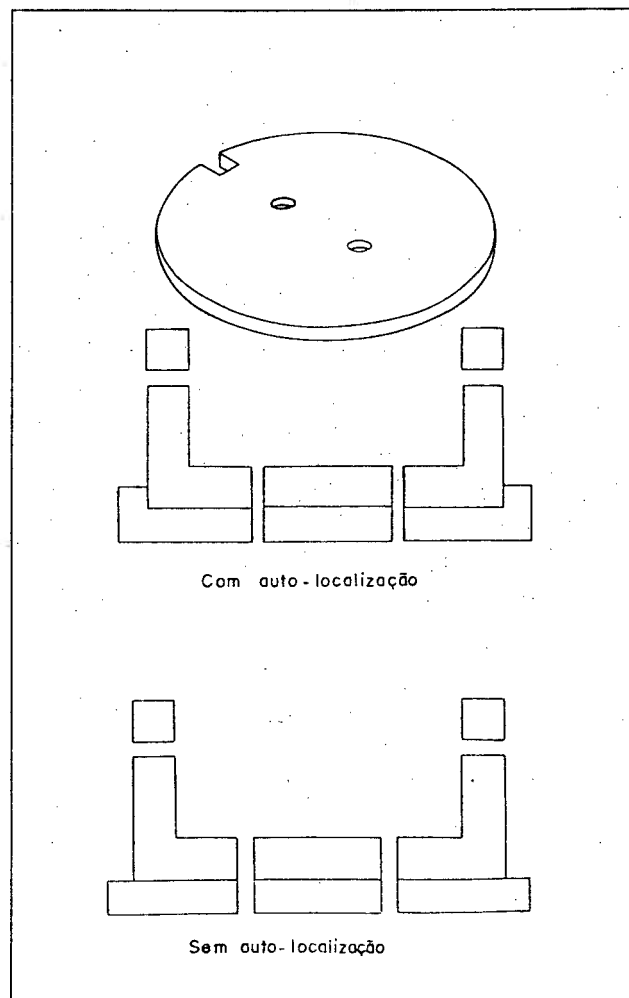


Fig. 7.7 Reprojeto para o diafragma da figura 7.6 [23].

O resultado de tais mudanças pode ser conferido na planilha. Os custos por produto, em centavos, seriam:

- versão antiga = 1,85;
- versão nova = 0,58;
- economia = 1,27¢ por produto, o que representa 68,65% do custo anterior e equivale a \$12.700 anuais.

A principal razão para o barateamento da montagem é a redução drástica do número de alimentadores necessários, coluna 37, que desceu de 6 para 1, já que o tempo de ciclo caiu de 30 para 2,44 s, conforme a coluna 36.

PLACA - Também esta pode ser reprojetada, de modo a se adequar à montagem automática. Como visto anteriormente, a placa é simétrica em D e não simétrica em L. Entretanto, tal assimetria não corresponde à nenhuma ilustração da tabela 1, o que a exclui preferencialmente do processo automático. A adição de um chanfro ou projeção, colunas 13 e 15 da tabela 1, respectivamente, favorece a manipulação automática pois facilita a orientação. Adicionalmente, um reprojeto do dispositivo de fixação tornaria a placa auto-locável. O reprojeto desta, mostrado na figura 7.7, permitiria a seguinte economia por produto, em centavos, conforme pode ser verificado na planilha:

- versão antiga = 1,35;
- versão nova = 0,50;
- economia = 0,85¢ por produto, que corresponde a 63% do custo anterior e equivale a \$8.500 anuais.

#### 7.3.4) FAZENDO ESTIMATIVAS DE CUSTOS:

Na verdade, os gráficos que acompanham a planilha só têm validade se determinadas condições são satisfeitas. Caso algumas destas não o seja, os cálculos devem ser processados manualmente. No exemplo desenvolvido anteriormente, assumiu-se que todas as variáveis envolvidas correspondiam aos valores necessários para a traçagem das curvas que já vêm prontas com a planilha. Estes valores serão apresentados a seguir, juntamente com as equações utilizadas para o cálculo manual.

A) CUSTO MÉDIO DE MONTAGEM DO PRODUTO ( $C_{pr}$ ):

$$C_{pr} = (W+M)t_{pr} \quad (3)$$

sendo

$$M = \frac{W}{N \times S \times Q} \times C_e \quad (4)$$

onde

$W$  = custo do operador por unidade de tempo;

$M$  = custo de operação do equipamento de montagem por unidade de tempo;

$t_{pr}$  = tempo de ciclo necessário para se alcançar o volume anual desejado;

$C_e$  = custo total do equipamento de montagem, incluindo todos os alimentadores, unidades *pick and place*, paletes e linha transfer;

$N$  = número de segundos de trabalho por ano;

$S$  = número de turnos e

$Q$  = montante a ser gasto em equipamento, por estação de montagem.

B) CUSTO DE ALIMENTAÇÃO E ORIENTAÇÃO DO COMPONENTE ( $C_{prf}$ ), RELATIVO À UMA UNIDADE VIBRATÓRIA DE ALIMENTAÇÃO:

$$C_{prf} = M \times t_{pr} \quad (5)$$

Substituindo (4) em (5):

$$C_{prf} = \frac{W}{N \times S \times Q} \times C_e \times t_{pr} \quad (6)$$

Se

$$C_e = N_f \times C_f \quad (7)$$

$$C_f = C_{rf} \times C_{fs} \quad (8)$$

sendo

- $C_f$  = custo do alimentador requerido;
- $N_f$  = número de alimentadores necessários para satisfazer a taxa de alimentação necessária;
- $C_{rf}$  = coeficiente de relação entre o custo do alimentador requerido e o de um alimentador padrão e
- $C_{fs}$  = custo de um alimentador padrão,

substituindo (7) e (8) em (6), obtém-se:

$$C_{prf} = \frac{W}{N \times S \times Q} \times N_f \times C_{rf} \times C_{fs} \times t_{pr} \quad (9)$$

A equação (9) resulta o gráfico 6 quando são satisfeitas as seguintes condições:

- Eficiência fabril = 70%, ou seja, para cada turno de trabalho apenas 70% do tempo total disponível anualmente, 40 horas/semana e 50 semanas/ano (EUA), é utilizado. O tempo em segundos resulta  $N = 5 \times 10^6$  s;
- $\frac{W}{S \times Q} = 1/3$ ;
- $N_f = 1$  e
- $C_{fs} = \$5.000$ .

C) CUSTO DE INSERÇÃO DO COMPONENTE ( $C_{pri}$ ) RELATIVO A UMA UNIDADE PICK AND PLACE:

$$C_{pri} = \frac{W}{N \times S \times Q} \times C_w \times t_{pr} \quad (10)$$

onde

$$C_w = C_{rw} \times C_{ws} \quad (11)$$

sendo

$C_w$  = custo do equipamento requerido;

$C_{rw}$  = coeficiente de relação entre o custo do equipamento requerido e o de um equipamento padrão e

$C_{ws}$  = custo de um equipamento padrão.

Substituindo-se (11) em (10) resulta:

$$C_{pri} = \frac{W}{N \times S \times Q} \times C_{rw} \times C_{ws} \times t_{pr} \quad (12)$$

A equação (12) corresponde ao gráfico 7 quando o custo de um equipamento padrão é \$10.000.

D) CUSTO BÁSICO DO EQUIPAMENTO DE TRANSPORTE AUTOMÁTICO ( $C_{bm}$ ):

Para o cálculo deste custo, deve ser estimado o número necessário de estações de montagem. Duas situações são previstas:

- Menos de sete estações - Neste caso, o uso de um sistema transfer do tado de indexação é suposto.

$$C_{bm} = \frac{W}{N \times S \times Q} \times n \times (C_t + C_c) t_{pr} \quad (13)$$

sendo

$n$  = número de estações;

$C_t$  = custo do equipamento de transporte por estação e

$C_c$  = custo dos dispositivos para transporte (paletes).

- Sete ou mais estações - O sistema transfer adotado supostamente será do tipo livre, isto é, transporte independente entre estações, e com cinco estoques intermediários entre estas.

$$C_{bm} = \frac{W}{N \times S \times Q} \times 6n \times (C_b + C_c/2) t_{pr} \quad (14)$$

sendo



$C_b$  = custo do equipamento de transporte por espaço a ser percorrido pela montagem.

As equações (13) e (14) resultam o gráfico 8, quando  $C_t = \$10.000$ ,  $C_b = \$5.000$ ,  $C_c = \$1000$  e as demais suposições feitas anteriormente são mantidas.

#### E) CUSTO DO OPERADOR (W):

É suposto que, para menos de sete estações, é necessário apenas um operador, ao custo anual de \$20.000. Para uma configuração com sete ou mais estações,  $W$  é um valor composto pelo custo de um operador e um supervisor, num total de \$50.000 anuais. Tais suposições resultam o gráfico 9. De modo semelhante, o custo para se carregar um magazine manualmente pode ser encontrado. Supondo-se que um operador em separado, a um custo anual de \$10.000, é empregado para carregar o magazine, o valor  $W$  pode ser encontrado pelo gráfico 5.

#### 7.3.5) A CODIFICAÇÃO DOS COMPONENTES

A codificação adotada por esta planilha e pela anterior está baseada no Manual de Técnicas de Orientação e Alimentação de Pequenos Componentes (*Handbook of Feeding and Orienting Techniques for Small Parts*), desenvolvido na Universidade de Massachusetts (EUA). O objetivo deste manual é fornecer o meio de orientação e alimentação mais adequado para determinado componente. O banco de dados de alimentação e orientação é acessado por um sistema de codificação de componentes de três dígitos, que classifica o componente de acordo com a sua facilidade ou dificuldade em ser orientado e alimentado. Partes diferentes que possuem o mesmo código, têm o mesmo grau de dificuldade ou facilidade.

Para a montagem automática, os números sobre as ilustrações da tabela 1 da planilha, figura 7.4, indicam os códigos possíveis para componentes rotacionais. No caso dos parafusos, conforme as ilustrações associadas à sua forma, o primeiro dígito é 1 ou 2, o segundo é 1 e o terceiro 0 ou 1. Segundo a referência [23], pelo manual, devido a  $L/D$  ser maior que 1,5,

o primeiro dígito é 2. O terceiro dependerá do componente ser alimentado no sentido transversal ou longitudinal. Portanto, os dois códigos possíveis são 210 e 211.

Para as partes retangulares são usados os números sobre as ilustrações da tabela 2, figura 7.5. Por exemplo, para um componente não rotacional com simetria longitudinal em relação a um só eixo, o segundo dígito é 1, 2 ou 3. Este valor dependerá do eixo de simetria ser paralelo à maior dimensão A, à menor dimensão C ou à intermediária B. E se, por exemplo, este mesmo componente tem um sulco paralelo à dimensão C, o terceiro dígito é 2 ou 5. Novamente, o valor deste será decidido pelo manual. Segundo a mesma referência, o primeiro dígito será 6, 7 ou 8, dependendo dos valores  $A/B$  e  $B/C$ .

Para a planilha do item 7.2, os números sobre as ilustrações das colunas 22 e 23 representam o segundo e terceiro dígitos do código de orientação e alimentação. O número final servirá de referência para a seleção do ferramental necessário para orientar o componente e acessar dados de projeto para tais ferramentas.

#### 7.4) ANÁLISE CRÍTICA DAS PLANILHAS

É bastante válida a proposta dos autores das planilhas dos itens 7.2 e 7.3, principalmente em função da abrangência de problemas considerados. Apesar de os resultados quantitativos obtidos serem aproximados, as análises propostas não perdem o seu valor, uma vez que o mais importante é a ponderação dos aspectos de montagem do produto, que servirá de base para uma otimização ou reprojeto. Os valores de tempo considerados na elaboração das planilhas, extraídos de um trabalho da Universidade de Massachusetts contemplado com o National Science Foundation Grant APR-77-10197, são estimativas dos tempos mínimos necessários para a execução das tarefas indicadas. Na prática, estes valores serão diferentes conforme o componente, operador e equipamento. Porém, considerando-se que a base de referência para a análise do projeto, possíveis modificações e projetos concorrentes será a mesma, a comparação entre os resultados finais é válida.

Uma análise minuciosa das planilhas revela que, em síntese, é questionada ao projetista exatamente a aplicação dos princípios de projeto que foram compilados nos capítulos 3, 4 e 5 deste trabalho. A correspondência

entre estes e as planilhas é muito grande, o que ratifica a validade de ambos.

Deve ser observado que a assimilação das planilhas, incluindo o significado físico de cada coluna, caso esta seja assinalada ou não, e os princípios de projeto embutidos nas ilustrações das partes rotacionais e não rotacionais, com toda certeza dependerá da familiaridade do projetista com os métodos e técnicas do PPM. Por exemplo, a questão da simetria tratada no item 4.2.2. As planilhas indicam apenas se o componente é ou não simétrico em relação a determinado eixo. As consequências disto serão computadas apenas como aumento ou não no tempo de manipulação. A percepção das possibilidades de reprojetado, de forma a diminuir este tempo, dependerá do conhecimento dos princípios de projeto adequados. Uma análise crítica como a que foi feita nos reprojetos do item 7.3.3 só será possível com tal conhecimento.

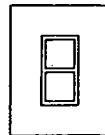
Um conhecimento dos equipamentos de montagem também é necessário, principalmente porque a planilha do item 7.3 foi desenvolvida na premissa de que o sistema empregado será automático dedicado, cada estação dispondo de uma unidade vibratória de alimentação, uma unidade *pick-and-place* de inserção, além de uma linha transfer entre as estações. Aliás, uma restrição ao uso universal desta planilha é exatamente esta: a configuração do sistema de montagem deve ser correspondente ao pressuposto pelos autores.

A planilha para a montagem manual já não apresenta este problema, sendo de uso mais amplo.

Naturalmente, o único fator considerado pelas planilhas é a montagem. O custo de material e fabricação devem ser incluídos para uma avaliação mais completa.

Ambas as planilhas dispõem de um código numérico para identificação do ferramental necessário. Entretanto, embora os autores afirmem que o código obtido, apesar de aproximado, simplifique a consulta ao Manual de Técnicas de Orientação e Alimentação de Pequenos Componentes e a determinação do código real [2, 23], apresentar neste item uma análise mais completa neste sentido não é possível devido ao desconhecimento do conteúdo do referido manual. Seria interessante, como continuação do desenvolvimento iniciado por esta dissertação, que o tema fosse abordado por um outro trabalho cujo autor poderia, inclusive, tentar obter o manual junto à Universidade de Massachusetts, de forma a estudar os métodos lá desenvolvidos.

Como última observação, vale lembrar que avaliar a montabilidade de um produto, da maneira proposta pelas planilhas, só é possível se este já existe em sua forma final. Ou seja, se o produto já está sendo fabricado e deve ser aperfeiçoado ou se, no mínimo, já se dispõe de um protótipo.



## PERSPECTIVAS

## 8.1) A REALIDADE BRASILEIRA

**S**ob o título "perspectivas", muito do que se discutirá se refere à indústria do exterior, a dos países ditos do "primeiro mundo" (industrializados e ricos). Verifica-se também que em algumas áreas, o futuro previsto por alguns autores é relativamente próximo, considerando-se o estágio atual de desenvolvimento da tecnologia de montagem naqueles países.

Conceitos como *spreadsheets* (planilhas de avaliação da montabilidade), CIM (*Computer Integrated Manufacturing*), FMS (*Flexible Manufacturing Systems*), são uma realidade concreta naqueles países e para o Brasil, no entanto, podem ser considerados parte de um futuro ainda por vir. A montagem automática, principalmente empregando robôs e outros equipamentos automáticos flexíveis, também pertence ao futuro, embora já seja utilizada em casos especiais, como a soldagem de carrocerias na indústria automobilística.

Sendo assim, o "futuro" aqui discutido é universal e relativo, ou seja, um futuro que, embora pertença com mais certeza aos países já industrializados, pode ser também entendido como brasileiro, guardando-se as devidas proporções de tempo para sua realização. E é relativo pois, dependendo do país que se toma como referência, este mesmo futuro tanto

pode ser muito próximo como bastante longínquo, difícil mesmo de ser atingido.

## 8.2) AS NOVAS TENDÊNCIAS

Dentro do que se espera do futuro, em termos de evolução no campo da montagem, podem ser reconhecidas duas tendências distintas:

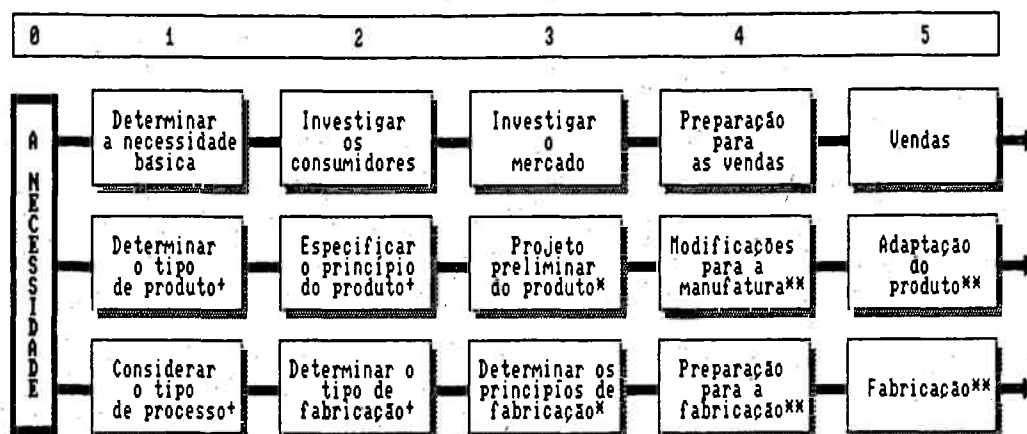
- aperfeiçoamento de métodos e procedimentos e
- sofisticação de equipamentos e máquinas.

O que se observa é a conjugação destes, imposta por conceitos como o sistema flexível de manufatura (*Flexible Manufacturing System - FMS*) - de onde deriva o sistema flexível de montagem (*Flexible Assembly System - FAS*) - tecnologia de grupo (*Group Technology - GT*), mais voltada à fabricação, e manufatura integrada por computador (*Computer Integrated Manufacturing - CIM*) [11].

Na verdade, o CIM engloba os já conhecidos sistemas CAD/ CAM e as novas propostas de FMS e FAS. O novo conceito enfatiza a solução por sistemas totais e reconhece a inter-relação entre projeto e fabricação, controle de produção, controle de qualidade e outras funções administrativas da manufatura [11].

Uma forte tendência, já aplicada na prática, é a engenharia simultânea (*Simultaneous Engineering* ou *Integrated Product Development, IPD*) [32], que favorecerá especialmente a criação de projetos mais simples quanto à montagem que, sendo a última etapa do processo de projeto/construção do produto, sempre suportou erros cometidos nas fases anteriores e, costumeiramente, as deficiências de projeto sempre foram acomodadas pelo pessoal da fabricação. A situação será com certeza modificada com este novo conceito de projeto, cuja essência é ilustrada na figura 8.1.

Específicos para a montagem, novos sistemas especialistas, com bancos de dados poderosos e eficientes, serão aplicados na análise da montabilidade de um projeto e como auxílio à criação de novos produtos. A conjugação destes sistemas com sistemas CAD é uma possibilidade.



<p><b>FASES NO DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE UM PRODUTO:</b></p> <p>0 - Fase de levantamento da necessidade;</p> <p>1 - Fase de investigação da necessidade;</p> <p>2 - Fase do(s) princípio(s) do produto;</p> <p>3 - Fase de projeto do produto;</p> <p>4 - Fase de preparação para a fabricação e</p> <p>5 - Fase de execução.</p>	<p><b>ÁREAS DE INTEGRAÇÃO NAS QUAIS HÁ POSSIBILIDADES DE RACIONALIZAÇÃO. ESTA PODE SER FEITA :</b></p> <p>+ - A nível de projeto, variedade e tipo do produto, escolha do processo.</p> <p>* - A nível de processos de montagem e estrutura do produto.</p> <p>** - A nível de componentes e equipamento de montagem.</p>
--	---

Fig. 8.1. Modelo para o desenvolvimento integrado de um produto [1]. O fluxo superior corresponde ao marketing, o intermediário ao projeto e o inferior à fabricação.

Os equipamentos que mais tendem a se aperfeiçoar são os robôs e outras máquinas flexíveis, permitindo a construção de sistemas flexíveis eficientes e de baixo custo.

Com relação ao produto, o projeto de uniões por meio dos elementos tradicionais como parafusos e rebites será gradualmente abandonado. Em seu lugar, os métodos de união sem elementos separados terão crescente emprego. Os métodos do PPM atrairão cada vez mais interesse e a determinação do produto, método de montagem e equipamento ocorrerá como um processo integrado (IPD). Muitas das atuais operações de montagem difíceis de automatizar serão eliminadas por meio da escolha de outros processos de fabricação [1].

### 8.3) SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA E MONTAGEM (FMS E FAS)

Grande parte dos aperfeiçoamentos futuros no campo dos sistemas de montagem terão sua origem no próprio mercado consumidor, que tem mudado seus hábitos e exigências. Por exemplo, nos Estados Unidos dos anos 40 e 50, o sistema de fabricação ideal era a automatização fixa. Isto porque, naquela época, "quase todo mundo queria a mesma coisa: um Ford ou um Chevrolet novo, lâmpadas padrão e um rádio ou TV RCA" [11]. Isto favorecia uma demanda estável e de grande volume para produtos idênticos, o que justificava investir em equipamento fixo.

Atualmente, entretanto, o mercado tem exigido produtos cada vez mais diferenciados. As pessoas preferem escolher entre vários produtos e decidir o que comprar do que adquirir determinado bem por não possuir outra opção. E mais: o consumidor não quer que o que ele compra se pareça com o que todos os outros compram. E quanto mais ele paga, mais diferenciado espera que o produto seja [24]. Tal tendência à diversificação é cada vez maior, resultando em lotes menores de fabricação, com maior variedade de produtos sendo produzida [1].

Por causa disto, o amplo desenvolvimento de sistemas flexíveis de manufatura (FMS) pode ser previsto. O objetivo é tornar viável a automação da fabricação de pequenos lotes, o que inclui, naturalmente, a montagem também automática destes lotes. Tais sistemas tiram proveito da flexibilidade de robôs, máquinas de controle numérico, controladores lógicos e microprocessadores para a formação de um sistema flexível total [11]. Um sistema de manufatura flexível pode ser definido como um grupo de máquinas automáticas, normalmente controladas numericamente, que são interconectadas por meio de um sistema de manipulação de materiais e armazenamento, e que opera como um sistema integrado controlado por computador [10].

Como consequência natural, também os sistemas flexíveis de montagem serão aperfeiçoados. As perspectivas são [1]:

- com a redução do tamanho dos lotes, as possibilidades de racionalização também serão reduzidas. Para contornar esta restrição, o princípio de sistemas de blocos estruturais, que será usado na construção de módulos tanto para o produto como para o equipamento de montagem, e a padronização de componentes e submontagens serão postos em prática em conjunto com os princípios da tecnologia de grupo;



- robôs e outros equipamentos de montagem flexíveis e programáveis se rão mais e mais usados, ainda que sua aplicação se limite às tarefas que não envolvam operações de orientação e
- prevê-se que a questão do posicionamento e orientação de partes em aplicações robotizadas e automáticas, mesmo que não flexíveis, possa ser resolvida estabelecendo-se a orientação já no início do processamento do componente e evitando-se que a mesma seja perdida durante operações subsequentes de fabricação e montagem [10]. Para tal, a integração da fabricação e montagem do componente serão acentuadas.

O bastante difundido sistema de montagem em série sofrerá crescentes críticas por tornar o trabalho monótono, dominado pelo tempo e não oferecer oportunidades para expressão e desenvolvimento pessoal do operador (não esquecendo que nos países industrializados crescem cada vez mais as exigências quanto ao bem estar social da população, direito ainda desconhecido no Brasil). Em função disto, novas formas de organização física do sistema de montagem deverão ganhar terreno. Um número expressivo de operações de montagem será executado em grupos independentes de manufatura (estações). A linha de montagem do futuro conterà menos estações e maiores estoques intermediários entre estas, de modo a obterem-se melhores condições de trabalho, maior flexibilidade e menor sensibilidade à ausência de partes e perturbações [1].

#### 8.4) ROBÔS

Alguns dos aspectos técnicos que deverão ser desenvolvidos, de modo a permitir o aumento do número de robôs nos processos de montagem, incluem [10]:

- aperfeiçoamento da tecnologia sensorial, especialmente visão;
- maior acuidade e repetibilidade;
- maiores velocidades;
- mudanças nos conceitos de projeto e métodos de união dos produtos, para permitir montagens mais simples pelos robôs;
- garras mais versáteis, talvez a garra universal e

- métodos de programação *off-line*, isto é, programas complexos sendo desenvolvidos a partir de dados de projeto e com o auxílio de sistemas avançados de CAD/CAM. Tais programas seriam carregados diretamente na estação de montagem.

As tarefas de montagem que irão empregar robôs em maior grau são a manipulação de ferramentas (soldagem e pintura) e manipulação de componentes que já estejam orientados.

Robôs serão usados na montagem de pequenos e médios lotes e, no campo da fabricação em larga escala, serão usados para montar produtos maiores e mais complexos como refrigeradores, aparelhos de ar condicionado, televisão e outros. Entretanto, na fabricação em massa de produtos relativamente simples como flashes, canetas e outros produtos mecânicos com menos de dez componentes, é provável que o sistema automático fixo permaneça como melhor opção. Mesmo considerando-se os prováveis robôs de baixo custo do futuro, o fator econômico acabará favorecendo o uso de tais sistemas [10].

## 8.5) INSPEÇÃO AUTOMÁTICA E MANIPULAÇÃO FLEXÍVEL

A preocupação com a flexibilidade também se estenderá aos alimentadores e equipamentos semelhantes de manipulação já que, atualmente, tais máquinas são dedicadas, isto é, desenvolvidas especialmente para determinada aplicação. Pesquisas neste sentido já estão sendo feitas [1,27]. Como exemplo tem-se os alimentadores vibratórios, normalmente constituídos de duas partes principais [10]: uma bandeja, com a trilha de transporte e obstáculos, e uma base vibratória. Este sistema é desenvolvido em função de características específicas do componente a ser alimentado. Por consequência, parâmetros como ângulo de vibração e amplitude são fixos e característicos de cada configuração [27]. Desenvolvendo-se uma base vibratória que permita variar o ângulo de vibração e amplitude, para adaptá-los a cada caso, permitirá que esta seja compatível com uma ampla faixa de bandejas, dotando-a de flexibilidade. Isto já se encontra feito [27] e indica a direção que provavelmente será tomada no desenvolvimento de novos equipamentos,

isto é, fazê-los mais e mais flexíveis.

Uma tendência, ainda não cristalizada, é a adoção do laser como parte integrante dos equipamentos de alimentação e manipulação [1,10]. Por permitir que virtualmente qualquer componente que possua uma posição de repouso estável seja orientado, tal técnica influi diretamente nos métodos do PPM: mesmo que as partes possuam assimetrias discretas e características muito pequenas para serem detectadas por equipamentos mecânicos mais elaborados, nada escapará à capacidade de "verificação" do laser, ou seja, o rigor com o projeto dos componentes poderia ser relaxado. Entretanto, isto não é aconselhável, mesmo representando economia de trabalho para o projetista. Naturalmente, tais equipamentos ópticos são bastante mais caros que os mecânicos convencionais e é preferível investir em aperfeiçoamentos no produto, para adequá-lo a equipamentos simples, do que adquirir máquinas caras, especiais e sofisticadas para adequá-las ao produto.

Como se sabe, a automatização é uma realidade e, embora esta reduza erros e imperfeições na manufatura, não requer a capacidade sensorial e de julgamento do homem. Para compensar esta deficiência, sensores e sistemas de monitorização serão cada vez mais aperfeiçoados. A inspeção automática é uma tendência tanto para processos de fabricação como para a montagem [1,10, 29]. Esta pode ser realizada opticamente, o que inclui o laser, por raios-x, termicamente e por som [29]. Pioneiramente, algumas empresas já iniciaram a adoção de tais sistemas de inspeção [29] e um sistema de montagem totalmente monitorizado por equipamento automático é discutido na referência [30].

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aspecto mais importante de um trabalho como este é a abertura de fronteiras para futuros trabalhos, de natureza teórica ou prática, que explorem, com maior riqueza de detalhes, cada um dos aspectos apresentados. Praticamente, cada um dos capítulos pode ser desdobrado em uma nova dissertação.

Trabalhos práticos podem ser feitos usando-se, por exemplo as técnicas aqui apresentadas para avaliar um produto já existente. Outra possibilidade é estudar um reprojeto para determinado produto, visando otimizá-lo quanto à montagem.

O tema PROJETO PARA A MONTAGEM é praticamente inédito no Brasil. É claro que muito do que foi apresentado já é, natural e muitas vezes intuitivamente, aplicado pela indústria em geral. O que não se tem, por enquanto, é a compilação sistematizada dos procedimentos e técnicas, reunida sob um só tema. Esta dissertação tem como objetivo, exatamente, a introdução do assunto no meio científico e industrial. O autor espera que esta meta tenha sido alcançada.

---

## REFERÊNCIAS

---

1. ANDREASEN, M. M.; KÄHLER, S.; LUND, T. **Design for Assembly**. 2<sup>nd</sup> ed. IFS Publications/Springer-Verlag. 1988.
2. POLI, C.; GRAVES, R.; GROPPETTI, R. Rating Products for Ease of Assembly. **Machine Design**, Cleveland, 58 (19):79-84, August 21, 1986.
3. DEWHURST, P. Cutting Assembly Costs With Molded Parts. **Machine Design**, Cleveland, 60 (17):68-72, July 21, 1988.
4. BOOTHROYD, G. Making It Simple: Design for Assembly. **Mechanical Engineering**, New York, 110 (2):28-31, February, 1988.
5. WALLACE, K. M.; HALES, C. Some Applications of a Systematic Design Approach in Britain. **Konstruktion**, Berlin, 7 (39):275-279, 1987.
6. TJALVE, E. **A Short Course in Industrial Design**. 1<sup>st</sup> ed. London. Newnes-Butterworths. 1979.
7. BURGESS, J. A. **Design Assurance for Engineers and Managers**. 2<sup>nd</sup> ed. Marcel Dekker, Inc. 1984.
8. BURGESS, J. A. Organizing Design Problems. **Machine Design**, Cleveland, 41 (27):120-127, November 27, 1969.
9. DIETER, G. E. **Engineering Design: A Material and Processing Approach**. 1<sup>st</sup> ed. New York, Mc Graw-Hill Book Company. 1983.
10. GROOVER, M. P.; WEISS, M.; NAGEL, R. N.; ODREY, N.G. **Industrial Robotics: Technology, Programming and Applications**. 2<sup>nd</sup> ed. New York, Mc Graw-Hill Book Company. 1987.

11. ASFAHL, C. R. **Robots and Manufacturing Automation.** 1<sup>st</sup> ed. New York, John Wiley & Sons. 1985.
12. ARONSON, R. B. **Automated Assembly: Key to Industrial Survival.** *Machine Design*, Cleveland, 59 (17):72-76, July 23, 1987.
13. REDFORD, A. H. **The Next Stage in the Use of Robots for Assembly.** *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Oxford, 28 (3):273-279, July 1988.
14. BENNETT, P. A. **Rivets Adapt Well to Automatic Assembly.** *Machine Design*, Cleveland, 59 (13):101-104, June 11, 1987.
15. PHAM, D. T.; YEO, S. H. **A Knowledge-based System for Robot Grip per Selection: Criteria for Choosing Grippers and Surfaces for Gripping.** *International Journal of Machine Tools and Manufacturing*, Oxford, 28 (4):301-313, October, 1988.
16. BACK, N. **Metodologia de Projeto de Produtos Industriais.** 1<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro, Guanabara Dois. 1983.
17. BRALLA, J. G. **Handbook of Product Design for Manufacturing.** 1<sup>st</sup> ed. New York, Mc Graw-Hill Book Company. 1986.
18. SCHWARTZ, W. H. **Threaded Fasteners Live.** *Assembly Engineering*, Carol Stream (USA), 32 (11):29-31, November 1989.
19. MACHINE DESIGN. **Materials, Manufacturing and Assembly Reference Volume,** Cleveland, 61 (23):417-542, November 1989.
20. PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering Design: A Systematic Approach.** 2<sup>nd</sup> ed. London, The Design Council. 1988.
21. BRAYCHAK, J. E. **Blind Rivet Review.** *Assembly Engineering*, Carol Stream (USA), 33 (3):29-31, March 1990.
22. CAIN, W. D. **Engineering Product Design.** 1<sup>st</sup> ed. London Business Books Limited. 1969.
23. POLI, C.; FENOGLIO, F. **Designing Parts for Automatic Assembly.** *Machine Design*, Cleveland, 59 (29):140-145, December 10, 1987.
24. THORNTON, H. P. **Why You Need the Industrial Designer.** *Machine Design*, Cleveland, 59 (13):109-113, June 11, 1987.
25. VDI 3237 B1 1: **Fertigungsgerechte Werkstückgestaltung im Hinblick auf automatisches Zubringen, Fertigen und Montieren.** VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1967.

26. GREENWOOD, D. C. **Product Engineering Design Manual**. 2<sup>nd</sup> ed. Malabar (USA), Robert E. Krieger Publishing Company. 1982.
27. SHAW, J.; ISAACS, A. Good Vibration: Improving Feeding Efficiency. **Assembly Engineering**, Carol Stream (USA), 33 (3):32-34, March 1990.
28. SCHWARTZ, W. H. Fixturing: Assembly's Foundation. **Assembly Engineering**, Carol Stream (USA), 33 (1):34-35, January 1990.
29. RIELEY, R. V. Succeeding With Automation Inspection. **Assembly Engineering**, Carol Stream (USA), 33 (3):64, March 1990.
30. MATLAK, T. Station to Station: Programmable Control of Assembly. **Mechanical Engineering**, New York, 108 (4):34-40, April 1986.
31. WATTERS, C. V. Assembly in the Round. **Assembly Engineering**, Carol Stream (USA), 33 (5):21-23, May 1990.
32. EVANS, B. Simultaneous Engineering. **Mechanical Engineering**, New York, 110 (2):38-39, February 1988.