

TESE  
463

“Sistematização da Preparação  
Técnica da Fabricação Mecânica  
em Série”

CLASS. 658.524(043.2)

CUT. L 8645

TOMBO 463

OSWALDO LOPES

"SISTEMATIZAÇÃO DA PREPARAÇÃO TÉCNICA DA  
FABRICAÇÃO MECÂNICA EM SÉRIE"

*Trabalho apresentado como Tese de  
Livre-Docência em Tecnologia Me  
cânica na Escola Federal de Enge  
nharia de Itajubá - Minas Gerais.*

1974

## INDICE

### CAPÍTULO I

A Fabricação em série..... 1

### CAPÍTULO II

O serviço de estudos na preparação técnica da  
fabricação..... 5 

### CAPÍTULO III

As leis do trabalho mecânico..... 10

### CAPÍTULO IV

Dispersão das cotas devido aos meios de execução 17  
- dispersão sistemática..... 18  
- dispersão acidental..... 19  
- consequências da dispersão das cotas..... 21

### CAPÍTULO V

Folgas, cotagem funcional e dimensionamento funcional

5.1.1. folgas de funcionamento..... 27  
5.1.2. folgas de fabricação..... 29  
5.2. Cotagem funcional..... 33  
5.3. Dimensionamento funcional..... 37  
5.3.1. dimensionamento funcional na base das condições  
limites..... 39  
5.3.2. dimensionamento funcional em bases estatísticas 64  
5.3.3. generalizações..... 70

### CAPÍTULO VI

Transferência de cotas..... 79

6.1.	Transferência de cotas nos casos de impossibilidade.....	81
6.2.	Transferência de várias cotas.....	86

CAPÍTULO VII

	Dimensionamento de fabricação.....	95
--	------------------------------------	----

## SÍMBOLOS USADOS

- $\bar{F}$  - folga, sendo que o índice  $f$  ou  $u$  indica de fun  
cionamento ou de usinagem, respectivamente.
- $F$  - limite superior da folga
- $f$  - limite inferior da folga
- $D(\bar{F})$  - dispersão da folga
- $T$  - tolerância
- $T_u$  - tolerância de usinagem
- $T_f$  - tolerância de fabricação

## INTRODUÇÃO

Uma empresa industrial é constituída de conjun-  
tos organizados, denominados Divisões ou Departamentos ou Ser-  
viços, Seções, Oficinas, Escritórios, etc., cujas atividades  
são distintas e especializadas mas concorrendo todos para um  
fim único, a venda a preços competitivos dos produtos fabrica-  
dos ou transformados pela empresa.

Para esse fim, certos conjuntos são particular-  
mente encarregados do planejamento, outros da execução e ou-  
tros do controle, a cada campo de atividade correspondendo uma  
engenharia dentro da produção conforme mostra o quadro a pági-  
na seguinte, sendo que na missão própria de cada serviço encon-  
tram-se sempre as mesmas categorias de atividades, preparar, e-  
xecutar e controlar.

A finalidade de nosso trabalho, preponderante -  
mente didático, é explicar de um modo sistemático, no quadro  
das fabricações mecânicas em série, as idéias e princípios que  
são fundamentais numa preparação feita com a preocupação de  
minimizar refugos, de obter melhores produtos, a mais baixo  
custo, no mais curto prazo, mediante esforço mínimo de todos  
que direta ou indiretamente participam da fabricação.

Uma preparação correta, não é outra coisa que  
buscar uma alta produtividade: produzir melhor, a menor custo.  
Isto não significa que a preparação seja o fundamento único da  
produtividade. Há outras condições, mas essas, para serem rea-

- CAMPOS DE ATIVIDADE DENTRO DA PRODUÇÃO

Problemas da produção	O que	Como	Quando e quanto	Com que	Onde
PLANEJAMENTO	a) Fixação de linha de produtos (2) (4)	a) Desenv. e Projeto dos processos (3)	a) Fixação da capacidade da indústria e programação de prazo longo(4)	a) Planejamento financeiro	a) Localização da indústria(4)
	b) Desenvolvimento, Projeto e especificação do Produto(2)	b) Roteiro de fabricação Estudo dos Métodos Fixação dos Tempos(1)	b) Programação de prazo curto. Agenda, carga de Máq., Preparação e liberação de ordens(1)	b) Planejamento de Pessoal c) Planejamento de Materiais (1) d) Planejamento de equipamentos	b) Projeto do edifício c) Layout do equipamento(1)
EXECUÇÃO	SUPERVISÃO DA PRODUÇÃO(1)				
CONTROLE	de qualidade(1)	de eficiência(1)	de prazos e quantidades(1)	de custos(1)	

(1) Engenharia da Produção, (2) Engenharia do Produto, (3) Engenharia do Processo, (4) Economia Industrial

lizáveis, exigem uma organização judiciosa e uma excelente preparação técnica da fabricação.

A fabricação mecânica em série é cada vez mais orientada para a automatização e a intermutabilidade e esta, só poderá ser alcançada se o engenheiro que participe da fabricação tiver um conhecimento seguro da cotagem, das técnicas e processamentos de fabricação, das possibilidades e dispersão de suas máquinas, de projetos de ferramentas e montagens, do em prego e utilização das tolerâncias, de controles de fabricação e de qualidade.

Para dar uma visão apenas parcial dos problemas que envolvem uma fabricação seriada, cuidamos dos princípios fundamentais e demos ênfase especial ao dimensionamento funcional que julgamos seja o alicerce sobre o qual repousa o sucesso ou insucesso de uma fabricação intermutável.

Nosso trabalho que acreditamos útil, poderá ser utilizado por todos que militam nos campos da engenharia da produção e por todos aqueles para os quais a intermutabilidade em seus problemas seja um dos requisitos.

Queremos aqui expressar nossos agradecimentos aos funcionários Argemiro dos Santos e Sebastião Augusto Pinto de Andrade que executaram os desenhos e à Srta. Claudete Coli Junqueira que datilografou o trabalho.

## CAPÍTULO I

### A FABRICAÇÃO EM SÉRIE

O que distingue uma fabricação em série de uma fabricação unitária é, exclusivamente, o processo de fabricação e não a quantidade, embora a quantidade seja a grandeza que determine quando se deva adotar uma ou outra.

A fabricação contínua e repetida de um dado objeto em quantidades senão ilimitadas, pelo menos em grandes quantidades (armas automáticas, máquinas de costura, aparelhos eletro-domésticos, peças de automóvel, etc.), deve ser feita em série, cuja organização repousa na pesquisa do preço de venda mínimo.

Para esse fim, a fabricação em série tende antes de tudo a reduzir ao mínimo a parte da mão de obra no custo da usinagem dos elementos que constituam o produto a fabricar, assim como na sua montagem. Na usinagem, pela utilização senão exclusiva, pelo menos preponderante, do trabalho mecânico; na montagem, pela intermutabilidade rigorosa dos elementos usinados.

A pesquisa do preço de venda mínimo conduz a medidas que permitam assegurar: a utilização máxima das insta

lações, das máquinas e do ferramental, a utilização máxima da mão-de obra, o controle de qualidade dos produtos, dos seus custos e dos prazos de entrega.

A preparação eficiente de uma fabricação em série, exige pois, o estudo cuidadoso e detalhado do conjunto a fabricar e de seus componentes, de acordo com uma metodologia que possa ser aplicada a todos os casos.

O lançamento de uma fabricação em série defeituosa, que só venha a ser notada durante sua execução, nem sempre poderá ser corrigida ou, se o for, será com grande retardo e grandes prejuízos, não só devido ao tempo perdido e às despesas necessárias a essas alterações - geralmente modificação do ferramental e dos instrumentos de controle - como também, por outras razões importantes, como por exemplo, devido à existência do estoque de matéria prima sob forma apropriada ao plano inicial.

### 1.1 - A intermutabilidade

Sendo dado um conjunto resultante R, formado pela montagem de duas peças componentes  $C_1$  e  $C_2$ , diz-se que as peças componentes são intermutáveis se a peça  $C_2$  no momento montada em R, puder ser substituída por uma peça  $C'_2$  qualquer, retirada de um lote de peças  $C_2$ , sem retoques, sem operações especiais e sem que o funcionamento do conjunto resultante se ja perturbado.

Reciprocamente poderemos nas mesmas condições

substituir a peça  $C_1$  por uma peça  $C_1^j$ , qualquer, retirada de um lote de peças  $C_1$ .

De um modo geral, associando duas a duas, de todos os modos possíveis, uma peça  $C_1^n$  e uma peça  $C_2^n$ , formaremos  $R^n$  conjunto, sem retoques e sem operações especiais, todos tendo o mesmo funcionamento correto que o do conjunto R. Assim, para um conjunto formado por duas peças  $C_1$  e  $C_2$ , a partir de um lote de 100 peças  $C_1$  e de 100 peças  $C_2$ , será possível montar 10.000 conjuntos  $C_1-C_2$  diferentes, todos funcionando corretamente dentro das condições especificadas para o conjunto R.

Ocorre o mesmo no caso de um produto composto de vários conjuntos parciais, os quais devem ser reunidos entre si, corretamente, de modo a constituir um produto de funcionamento correto, sem que haja necessidade de prévia escolha dos conjuntos parciais.

Sem entrar nos detalhes das medidas a tomar para assegurar a intermutabilidade, resulta do que vimos, que todos os exemplares de uma peça ou sub-conjunto componente de um conjunto devem apresentar na sua forma, suas dimensões, suas qualidades físicas e químicas, certas características de identidade, que serão mais tarde precisadas.

Estas características devem ser previamente definidas por uma preparação tanto mais importante quanto mais complexo for o produto a fabricar, assegurando sempre que a montagem é possível sem nenhum retoque e sem que haja escolha de peças.

Os controles, após a fabricação - controle de recebimento - e durante a fabricação - controle de fabricação

são então, de considerável importância e deverão ser feitos de modo a acarretarem o menor custo, havendo portanto, a necessidade de concepção de métodos e de instrumentos de verificação de grande rendimento, utilizáveis por uma mão de obra de baixo custo.

## CAPÍTULO II

### O SERVIÇO DE ESTUDOS NA PREPARAÇÃO TÉCNICA DA FABRICAÇÃO

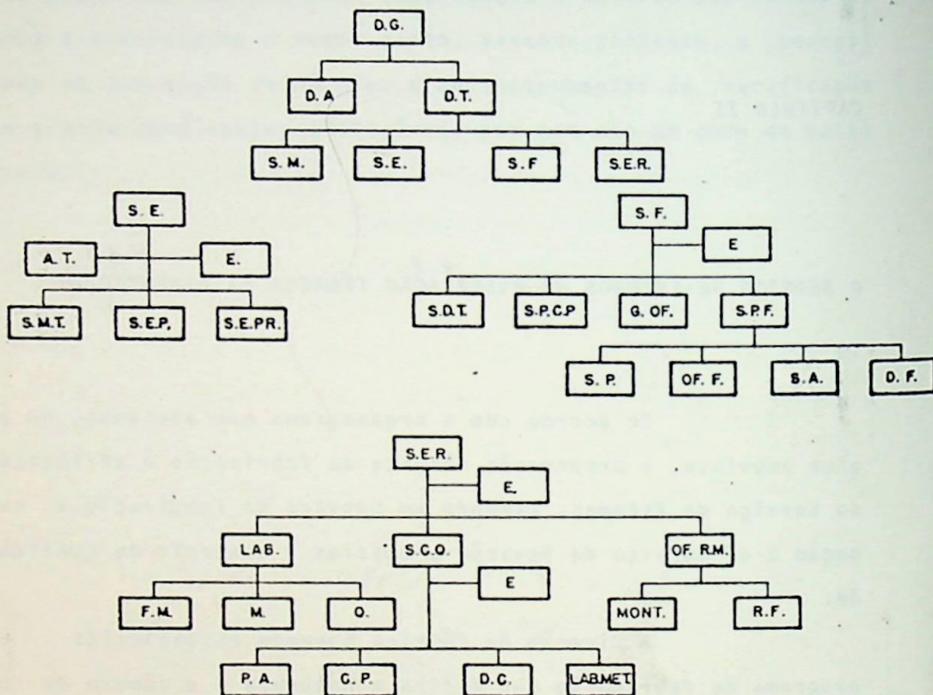
De acordo com o organograma que adotamos, na página seguinte, a preparação técnica da fabricação é atribuído do Serviço de Estudos, cabendo ao Serviço de Fabricação a execução e ao Serviço de Revisão e Ensaios a controle de qualidade.

A Direção da fábrica havendo estabelecido um programa de fabricação que defina a natureza e o número de objetos a fabricar, a duração ou as cadências de entrega, o preço de venda, etc., cabe ao Serviço de Estudo traduzir esse programa em ordens técnicas de execução, feitas através dos planos de fabricação destinados aos demais grupamentos da fábrica, cujas atividades sejam necessárias à realização do programa fixado.

O Serviço de Estudos inicialmente cria o produto a fabricar, sendo essa criação traduzida por:

- um protótipo
- as condições de funcionamento e de intermutabilidade
- os desenhos de definição

A partir dos desenhos de definição, estabelece:



D.G. - DIRETOR GERAL  
 D.A. - DIRETOR ADMINISTRATIVO  
 D.T. - DIRETOR TÉCNICO  
 S.M. - SEÇÃO DE MANUTENÇÃO  
 S.E. - SERVIÇO DE ESTUDOS  
 S.F. - SERVIÇO DE FABRICAÇÃO  
 S.E.R. - SERVIÇO DE ENSAIO E REVISÃO

A.T. - ARQUIVO TÉCNICO  
 E. - ESCRITÓRIO  
 S.M.T. - SEÇÃO DE MÉTODOS E TEMPOS  
 S.E.P. - SEÇÃO DE ENGENHARIA DO PRODUTO  
 S.E.P.R. - SEÇÃO DE ENGENHARIA DO PROCESSO

SDT. - SEÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DO TRABALHO  
 S.P.C.P. - SEÇÃO DE PLANEJAMENTO E CONTRÔLE DA PRODUÇÃO

G.O.F. - GRUPO DE OFICINAS  
 S.P.F. - SEÇÃO DE PREPARAÇÃO DO FERRAMENTAL  
 S.P. - SEÇÃO DE PREPARAÇÃO  
 OF.F. - OFICINA DE FERRAMENTAL  
 S.A. - SEÇÃO DE AFIAMENTO  
 D.F. - DEPÓSITO DE FERRAMENTAS

LAB. - LABORATÓRIOS  
 F.M. - FÍSICO MECÂNICO  
 M. - METALOGRAFICO  
 O. - QUÍMICO  
 S.C.O. - SEÇÃO DE CONTROLE DE QUALIDADE  
 P.A. - PREPARAÇÃO E ANÁLISE  
 C.P. - CONTROLE DE PROCESSOS  
 D.C. - DEPÓSITO DE CALIBRES  
 LAB.MET. - LABORATÓRIO METROLÓGICO  
 OF. R.M. - OFICINA DE REVISÃO E MONTAGEM  
 MONT. - MONTAGEM  
 R.F. - REVISÃO FINAL

- as matérias primas necessárias,
- os tratamentos térmicos indicados,
- os desenhos de fabricação,
- os processamentos ou layouts de fabricação,
- os projetos das montagens, das ferramentas e dos calibres necessários,
- a proteção superficial a ser feita, e, finalmente, redige o Plano de Fabricação.

O estabelecimento do processamento da fabricação de cada peça consiste essencialmente em definir as etapas sucessivas pelas quais deve passar a matéria prima para chegar a uma peça boa, idêntica ao desenho de fabricação, com os requisitos de resistência, tratamento térmico, tipo de acabamento, tipo de proteção superficial, especificados.

Do ponto de vista puramente geométrico, dizer que uma peça é boa, é expressar que todas as suas superfícies estão situadas nas zonas de tolerâncias respectivas, indicadas no desenho de definição e resultantes de um dimensionamento chamado funcional.

A matéria prima passa assim por uma série de etapas sucessivas de transformação até chegar à peça acabada e a cada etapa dá-se o nome de operação elementar, a cada operação elementar correspondendo um produto intermediário.

Teremos pois, do esboço à peça acabada, o mesmo número de produtos intermediários que o de operações elementares menos uma - a última.

Se considerarmos a operação de número  $n$ , as montagens desta operação devem receber de um e único modo, todos

os produtos intermediários vindos da operação elementar anterior, de número  $(n-1)$ , e transformá-los em produtos intermediários que deverão ser recebidos de uma e única maneira, nas montagens da operação elementar seguinte, de número  $(n+1)$ .

Cada produto intermediário deve, assim, ser perfeitamente definido e intermutável relativamente às montagens da operação elementar seguinte.

Os elementos da operação elementar, de ordem  $n$ , são pois:

- o produto intermediário da operação elementar anterior, de ordem  $(n-1)$ ,
- a máquina,
- a montagem ou dispositivo,
- a ferramenta,
- o calibre de verificação.

A determinação das cotas dos produtos intermediários bem como de suas tolerâncias, constitui o dimensionamento de fabricação, que é a base do plano de fabricação.

Como o custo final do produto depende em grande parte do projeto do mesmo, é necessário que as tolerâncias sejam precisas para garantir o funcionamento e a intermutabilidade e ao mesmo tempo, suficientemente amplas para permitir o menor custo de produção.

Algumas vezes, para conciliar esses interesses por vezes antagonicos, é necessário que as tolerâncias sejam estabelecidas estatisticamente, o que exige o conhecimento prévio do risco, e uma fabricação controlada estatisticamente.

Assim, é sem dúvida, o Serviço de Estudos o

responsável maior pelo sucesso ou insucesso do lançamento de uma fabricação, pelo baixo ou elevado custo da mesma, pelo custo da qualidade do projeto, cabendo ao Serviço de Fabricação a manutenção das cadências de entrega dos produtos e ao Serviço de Revisão e Ensaios controlar e garantir a conservação da qualidade estabelecida pelo Serviço de Estudos.

## CAPÍTULO III

### AS LEIS DO TRABALHO MECÂNICO

São reunidos com o nome de leis do trabalho mecânico, certos princípios que, violados, conduzirão a uma fabricação errônea, com sérios prejuízos para a empresa.

#### 3.1 - Primeira lei ou lei das cotas independentes

No caso de cotas dependentes - cotas para as quais seja possível estabelecer uma relação algébrica entre elas - é fundamental que uma seja considerada cota resultante, isto é, cota sem nenhuma especificação de tolerância e cujas dimensões serão resultantes das demais cotas e suas tolerâncias.

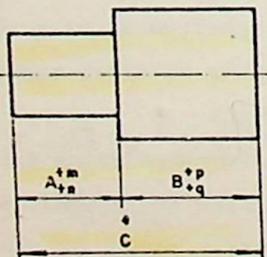


FIG. 3.1

Consideremos a peça da Fig. 3.1, cuja cotagem indica serem as cotas A e B as necessárias e suficientes, por razões de funcionamento do conjunto a que a peça pertença, ou ainda, por ra

zões de fabricação.

É evidente que o comprimento total da peça C, estará compreendido entre:

$$A + B + m + p \quad \text{e} \quad A + B + n + q$$

Como o valor nominal de C é A+B, pode-se ser tentado a colocar no desenho a cota.

$$C \begin{matrix} + (m+p) \\ + (n+q) \end{matrix}$$

como mostra a Fig. 3.2.

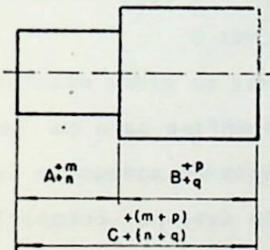


FIG. 3.2

A existência da tolerância de fabricação (m-n) da cota A e da tolerância (p-q) da cota B acarreta para o valor de C uma dispersão igual a (m+p)-(n+q) e não uma tolerância de fabricação igual a (m+p)-(n+q), e isto porque, a combinação dessa dispersão com a tolerância de uma das outras cotas, A ou B, não restitue a outra, B ou A, seus valores extremos B+p e B+q, ou A+m e A+n.

Com efeito, sendo  $B=C-A$ , teremos:

$$B_{\text{Max}} = C_{\text{Max}} - A_{\text{Min}} = (C+m+p) - (A+n) = (C-A) + (m+p-n) = B + (m+p-n)$$

$$B_{\text{Min}} = C_{\text{Min}} - A_{\text{Max}} = (C+n+q) - (A+m) = (C-A) + (n+q-m) = B + (n+q-m)$$

o que mostra que os valores limites da cota B serão diferentes dos especificados.

Do mesmo modo, sendo  $A=C-B$ , teremos:

$$A_{Max} = A+(m+p-q)$$

$$A_{Min} = A+(n+q-p)$$

Vimos assim, que nas expressões algébricas que relacionam cotas dependentes afetadas de tolerância, os valores nominais podem ser somados ou subtraídos, enquanto que as tolerâncias se somam sempre.

Portanto, a cota gem:

$$\begin{array}{ccc} +m & +p & +(m+p) \\ A & , B & , C \\ +n & +q & +(n+q) \end{array}$$

está errada e é além disso ambígua, pois define para um mesmo ponto final de cota gem dois pontos iniciais de cota gem.

Além disso, lançando-se no desenho, como na Fig. 3.2, as três cotas com suas tolerâncias, sem se estabelecer uma cota resultante, cometer-se-á um erro grosseiro com prejuízos monetários inclusive, durante a fabricação.

De fato, em princípio, todas as cotas que forem lançadas no desenho com suas tolerâncias, devem ser controladas, pois nenhuma delas poderá ser aceita com dimensões fora dos limites especificados. Assim, teremos necessidade de 3 calibres para controlar as 3 cotas.

Se usarmos as cotas B ou A dentro dos limites

especificados e em seguida as cotas A ou B também dentro dos limites especificados, partindo de onde houver terminado a cota B ou A, o calibre da cota C rejeitará uma grande quantidade de peças boas fabricadas.

Do mesmo modo, se usarmos A e C ou B e C, os calibres respectivamente de B e A rejeitarão uma grande quantidade de peças boas. Assim, o prejuízo monetário será constituído de duas parcelas: custo de um calibre dispensável e custo de peças boas, rejeitadas.

No trabalho mecânico, a peça é fixada numa montagem já fixada num órgão da máquina. A posição da peça na montagem é determinada por construção, e essa posição resulta da coincidência de dois sistemas de superfícies conjugadas, situados um na peça e o outro, na montagem.

O conjunto desses dois sistemas reunidos é denominado ponto de partida da usinagem.

A forma das arestas cortantes da ferramenta e seu movimento relativo sobre a peça determinam a superfície usinada.

Assim, a superfície usinada é definida por um conjunto de cotas, compreendendo:

- as que ligam o ponto de partida de usinagem à máquina,
- as que definem a forma e a trajetória da ferramenta,
- as que colocam essa trajetória em posição, em relação à montagem,
- as que definem a forma e as dimensões das arestas cortantes da ferramenta.

Entre essas cotas, umas, chamadas cotas ajusta-

das, são determinadas pelo projeto da ferramenta e as outras, chamadas cotas de regulação, são determinadas pelas dimensões máxima e mínima da cota indicada na operação elementar e pela tendência ao desgaste da ferramenta.

Um exemplo de cota ajustada é a de um furo cuja precisão será ajustada pelo alargador. Segundo a norma DIN 1420 teremos, como mostra a Fig. 3.3:

- Diâmetro máximo do alargador = diâmetro máximo de furo menos 15% da tolerância do furo.
- Diâmetro mínimo do alargador = diâmetro máximo do alargador menos 35% da tolerância do furo.

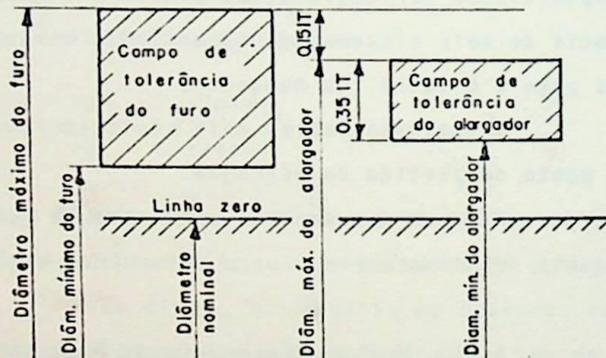


FIG. 3.3

Assim, um furo de diâmetro  $10^{+0,033}$  será ajustado com um alargador de diâmetro  $10^{+0,028}_{+0,016}$ , sendo pois a cota do furo uma cota ajustada.

### 3.2 - Segunda lei ou lei das cotas usinadas

Uma cota usinada é limitada pelo ponto de partida da usinagem e por uma ou mais arestas cortantes da ferramenta.

Na Fig. 3.4, a superfície ABCD é a envolvente do

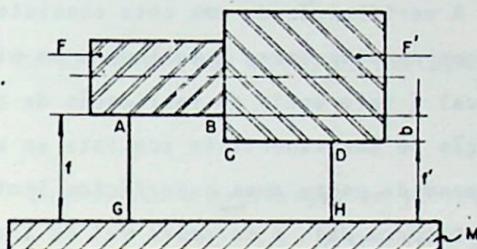


FIG. 3.4

trem de fresas FF'. As cotas usinadas são:  $f$ , limitada pelo apoio na montagem e pelas arestas cortantes da fresa F;  $f'$ , limitada pelo apoio na montagem e pelas arestas cortantes da fresa F';  $b$ , limitada pelas arestas cortantes da fresa F de um lado e pelas arestas cortantes da fresa F' do outro. A cota  $b$  é igual à diferença dos raios das duas fresas. Observemos de passagem que as três cotas não são independentes. A cota  $b$ , fixada pela construção do trem de fresas, é uma cota ajustada. Uma das duas outras, é uma cota que pode variar segundo se aproxima ou se afasta o trem de fresas. É uma cota de regulação. Regulada a cota  $f$  ou  $f'$ , a cota  $f'$  ou  $f$  resultará de  $b$  e  $f$  ou  $b$  e  $f'$ . Essa cota que resultará das outras será assim, uma cota chamada cota resultante.

A verificação de uma superfície usinada é feita utilizando um calibre, de medida fixa ou variável, fazendo coincidir o sistema de referência da peça e o sistema de referên

cia do calibre e comparando a superfície a verificar com a superfície a obter.

A superfície usinada sendo definida por cotas afetadas de tolerância, a verificação de uma superfície nada mais é que a verificação de cotas.

A verificação de uma cota consiste em assegurar que ela está compreendida entre a maximum e um minimum, cuja diferença é igual à tolerância de fabricação da cota e portanto, a verificação de uma superfície consiste em assegurar que ela está compreendida entre duas superfícies limites.

Decorre daí, a terceira lei do trabalho mecânico.

### 3.3 - Terceira lei ou lei das cotas verificadas

Uma cota verificada é limitada pelo ponto de partida de verificação e por uma e outra das duas marcas extremas do verificador.

### 3.4 - Quarta lei ou lei da coincidência dos pontos de partida

A identidade das cotas do desenho de fabricação com as cotas usinadas e verificadas, é assegurada pela coincidência dos pontos de partida da cotagem, da usinagem e da verificação.

## CAPÍTULO IV

### DISPERSÃO DAS COTAS DEVIDO AOS MEIOS DE EXECUÇÃO

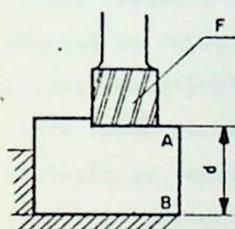


FIG. 4.1

Suponhamos a realização em série, da cota  $AB=d$ , Fig. 4.1. O trabalho poderá, por exemplo, ser executado em uma fresadora vertical. De acordo com as leis do trabalho mecânico, a cota usinada nessas condições é limitada pela superfície de apoio da peça e pela face inferior da fresa F.

Admitamos que os movimentos verticais da mesa e do cabeçote da fresadora sejam bloqueados.

Se executarmos uma certa quantidade de peças, a medida da cota AB feita sobre essas peças, mostrará que seu valor varia de uma peça para a outra. A cota usinada é afetada de uma dispersão.

Levando-se a um gráfico, Fig. 4.2, as cotas medidas em cada peça, constataremos que os pontos obtidos estarão compreendidos entre duas curvas limites e agrupados em torno de uma curva média. O intervalo compreendido entre as duas curvas que limitam a zona de dispersão é a imagem da dis

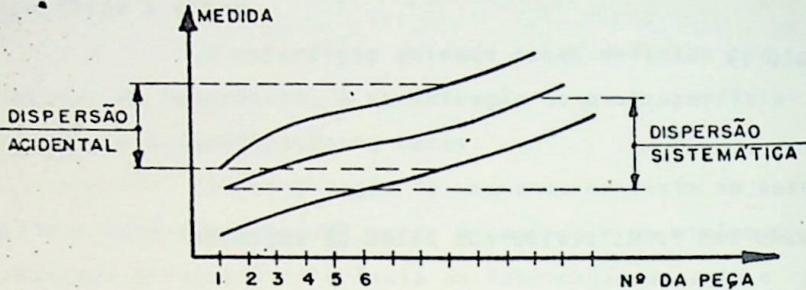


FIG. 4.2

persão acidental. A variação da ordenada da curva média é a imagem de uma dispersão sistemática.

#### 4.1 - Dispersão sistemática.

A dispersão sistemática tem por origem uma variação constante ou então obediente a uma lei bem determinada, dos elementos que constituem o ferramental da operação elementar. Em particular no exemplo da Fig. 4.1, o desgaste progressivo da face da fresa tende evidentemente a aumentar a dimensão da cota usinada à proporção que aumenta o número de peças.

O desgaste da superfície de apoio da peça é também uma causa da dispersão sistemática, se bem que negligenciável.

De uma maneira geral é o desgaste dos meios de execução a causa principal da dispersão sistemática.

#### 4.2 - Dispersão acidental

A dispersão acidental obedece sobretudo às leis do acaso. As causas principais são as seguintes:

(a) - As folgas da máquina

As folgas, indispensáveis ao bom funcionamento da máquina, ocasionam uma indeterminação na posição relativa da montagem e da aresta cortante da ferramenta.

Entretanto, as reações recíprocas da ferramenta e da peça, tendem a bloquear as cadeias cinemáticas da máquina compensando as folgas sempre no mesmo sentido, mas de uma quantidade suscetível de variar a cada instante devido as razões tais como: variação das características mecânicas da peça, variação da espessura do cavaco, devido às tolerâncias de fabricação do produto nas operações precedentes, variação na qualidade do corte da ferramenta ocasionada pelo seu desgaste.

Assim, essas variações serão tanto mais fracas quanto menores forem as folgas da máquina. A dispersão será, também, mais fraca e o trabalho mais preciso o que nos mostra que as folgas da máquina condicionam a precisão do trabalho.

(b) - A elasticidade dos órgãos da máquina

Ainda que fossem nulas as folgas da máquina, a ação mútua da peça e da ferramenta ocasionam deformações elásticas dos órgãos da máquina. Tudo que foi dito sobre as folgas é aplicável a este caso. Em particular, a robustez e a rigidez de uma máquina condicionam como as folgas, a precisão do trabalho. As máquinas de fabricação, robustas e de cadeia cinemática

tica simples, permitem geralmente, um trabalho mais preciso que as máquinas universais.

(c) - As vibrações

As folgas e as deformações elásticas dos órgãos da máquina variam não somente de uma peça a outra, mas ainda no curso do trabalho sobre uma determinada peça; essas variações e outras causas inerentes à construção da máquina, são fontes de vibrações. Daí resulta outra causa de dispersão das cotas, sem se considerar ainda o estado defeituoso da superfície.

(d) - Erros de colocação

Um erro de colocação da peça sobre a montagem, como por exemplo a presença de cavacos entre as superfícies de contacto da peça e da montagem, acarretará variação da superfície usinada. Por este motivo, para usinagem de superfícies com tolerâncias de fabricação apertadas, as montagens devem ser projetadas com dispositivos de "colocação no ponto".

Como as folgas e a elasticidade dos órgãos da máquina existem sempre, a dispersão accidental é principalmente função da intensidade dos esforços de corte, daí resultando que procura-se geralmente obter uma determinada superfície em várias fases de trabalho:

- uma ou mais operações de desbaste, cuja finalidade é cortar o maximum de material, ainda que conduzindo a uma superfície cuja faixa de dispersão seja muito extensa;
- uma operação de acabamento cujo fim é obter uma faixa de dispersão que coincida com a tolerância da superfície a usinar,

obtendo-se ainda um estado de superfície mais satisfatório.

#### 4.4 - Consequências da dispersão das cotas

A existência da dispersão das cotas devido aos meios de execução é um fenômeno inerente ao trabalho mecânico.

Cada cota que interesse à intermutabilidade de funcionamento ou de montagem, estando afetada de tolerância, acarretará para a fabricação mecânica o problema de encontrar modos operatórios capazes de assegurar a identidade das faixas de tolerância e de dispersão.

Uma faixa de dispersão que exceda os limites da faixa de tolerância é inadmissível, pois nem o funcionamento nem a montagem seriam sempre assegurados.

Uma faixa de dispersão muito inferior à faixa de tolerância é igualmente inadmissível, pois indica o emprego de meios cuja precisão estaria em desacordo com o resultado a obter, e por conseguinte, as peças assim fabricadas teriam um custo maior que o necessário e portanto, não atendendo a um dos objetivos fundamentais da fabricação seriada: o preço de custo minimum.

Quando as tolerâncias são estabelecidas, os limites resultantes representam o que se exige da usinagem a fim de atender às condições de funcionamento e de intermutabilidade; ao se realizar a fabricação sob controle, determina-se a média do processo e os limites de controle, os quais resultam do processo de fabricação empregado e refletem o que o

processo é capaz de realizar. É por conseguinte necessário com parar as especificações com o processo.

Dizemos que uma operação está sendo feita den tro das especificações quando  $6\sigma' \leq T_f(i)$ , sendo  $\sigma'$  o desvio padrão da distribuição da cota no processo e  $T_f(i)$  a tolerân cia de fabricação resultante do dimensionamento feito.

O valor de  $\sigma'$  podendo ser estimado por  $\sigma' = \frac{\bar{R}}{d_2}$ , então:

$$\frac{6 \cdot \bar{R}}{d_2} \leq T_f(i) \quad \text{que nos dará} \quad \bar{R} \leq \frac{d_2}{6} \cdot T_f(i)$$

Fazendo  $\frac{d_2}{6} = L$ , teremos:

$$\bar{R} \leq L \cdot T_f(i) \dots \quad (4.1)$$

onde  $\bar{R}$  é a média das amplitudes das  $k$  amostras e seu valor de terminado por:

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{k=1}^k R \dots \quad (4.2)$$

sendo  $R$  igual à diferença entre o maior e o menor valor obser- vado em cada amostra.

A equação (4.1) sendo satisfeita, indica que a variabilidade do processo devido a causas de variação ao aca so, é compatível com as variações da cota dentro dos lim ites especificados.

A equação (4.1) estando satisfeita, é necessá rio ainda,º que os limites de controle de  $\bar{X}$  (média das médias das amostras) estejam compreendidos entre os lim ites especifi cados, como mostra a Fig. 4.3, onde:

$$M = \left( \frac{3}{d_2} - A_2 \right)$$

sendo

$$A_2 = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}}$$

e n o tamanho da amostra.

As duas condições

da Fig. 4.3, serão então:

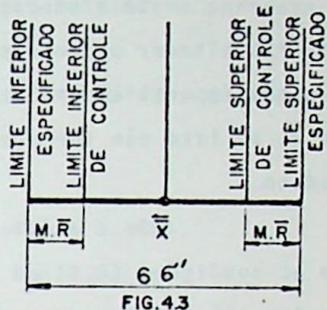


FIG.4.3

$$\text{L.S. Especificado} - \text{L.S. controle} \geq M.R. \dots \quad (4.3)$$

$$\text{L.I. Especificado} - \text{L.I. controle} \geq M.R. \dots \quad (4.4)$$

Os valores de n,  $d_2$ ,  $A_2$ , L, M estão dados na

Tab. 1.

Tab. 1	Valores de n, $d_2$ , $A_2$ , L, M para verificar se um processo cumpre com as especificações.			
n	$d_2$	$A_2$	L	M
2	1,128	1,880	1,188	1,779
3	1,693	1,023	0,282	0,749
4	2,059	0,729	0,343	0,734
5	2,326	0,577	0,387	0,713
6	2,534	0,483	0,422	0,701
7	2,704	0,419	0,450	0,690
8	2,847	0,373	0,476	0,681
9	2,970	0,337	0,495	0,673
10	3,078	0,380	0,513	0,667

O processo atende às especificações se as condições (4.1), (4.3) e (4.4) foram satisfeitas.

Se a condição (4.1) não for satisfeita, será necessário alterar o processo da fabricação de modo a diminuir  $\bar{R}$ , o que importa em utilizar meios de execução de menor dispersão e, se isto não for possível, modificar as especificações do produto.

Se a condição (4.1) for satisfeita e não o forem as condições (4.3) ou (4.4), será necessário reajustar a máquina, já que isto demonstra um desvio na média do processo.

A satisfação da condição (4.1) é da responsabilidade do Serviço de Estudos e as outras, do Serviço de Fabricação, cabendo a verificação ao Serviço de Revisão e Ensaios.

Um exemplo a seguir esclarece bem a responsabilidade do Serviço de Estudos na escolha dos meios de execução.

Para uma dada cota foi estabelecida a especificação  $0,140 \pm 0,003$  para a usinagem e designada uma certa máquina para executá-la. Muitas peças foram refugadas durante a fabricação usando calibre do tipo passa - não passa. Para determinar o que estava ocorrendo inicialmente o calibre foi abandonado e as cotas passaram a ser medidas. A cada hora foi retirada uma amostra de 5 peças, e de cada amostra foi determinada a média  $\bar{X}$  e a amplitude R. Após a retirada de 27 amostras, foram determinados:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\Sigma \bar{X}}{k} = \frac{\Sigma \bar{X}}{27} = 0,1406 \quad \text{e} \quad \bar{R} = \frac{\Sigma R}{k} = \frac{\Sigma R}{27} = 0,0086$$

Confrontando os limites da especificação com a

medida de cada uma das  $27.5 = 135$  peças, constatou-se que 42 peças não satisfaziam a especificação, resultando portanto em  $\frac{42}{132} \cdot 100 = 31\%$  de peças refugadas.

Calculados os limites dos gráficos de controle das médias e das amplitudes, obteve-se:

- das médias:

$$\text{Limite Superior de Controle} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 0,1456$$

$$\text{Limite Inferior de Controle} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 0,1356$$

- das amplitudes:

$$\text{Limite Superior de Controle} = D_4 \cdot \bar{R} = 2,114 \times \bar{R} = 0,0182$$

$$\text{Limite Inferior de Controle} = D_3 \cdot \bar{R} = 0 \times \bar{R} = 0$$

A média e a amplitude de cada amostra locada nos respectivos gráficos de controle, não acusaram pontos fora dos limites de controle, apesar das 42 peças refugadas. Assim, o processo estava sob controle estatístico e o gráfico das amplitudes não indicava nenhuma causa assinalável da variabilidade.

Passou-se em seguida à verificação da capacidade de do processo. Para o caso, sendo  $n=5$ , teremos:

$$d_2 = 2,326 ; L = 0,387 \quad \text{e} \quad M = 0,713 \quad \text{e portanto:}$$

$$L \cdot T_f(1) = 0,387 \cdot 0,006 = 0,002322 = 0,0023$$

$$M \cdot \bar{R} = 0,713 \cdot 0,0086 = 0,0061318 = 0,006$$

Confrontando esses resultados com as expressões (4.1), (4.3) e (4.4), vemos que a variabilidade do processo não era compatível com as variações da cota dentro dos limites

especificados.

Em consequência, o Serviço de Estudos não es  
colheu bem os meios de execução dado que a máquina indicada  
não era suficientemente precisa para atender à tolerância de  
fabricação da peça.



## CAPÍTULO V

### FOLGAS, COTAGEM FUNCIONAL E DIMENSIONAMENTO FUNCIONAL

#### 5.1 - Folgas

##### 5.1.1 - Folgas de funcionamento

O funcionamento de um conjunto constituído por duas ou mais peças, exige a existência de uma certa folga entre as superfícies terminais chamada folga de funcionamento,  $\mathcal{F}_f$ , definida por dois valores, um máximo,  $F_f$ , e um mínimo,  $f_f$ , os quais são obtidos por cálculo ou experimentalmente e representam pois, as condições limites de funcionamento. A diferença entre esses valores extremos é a dispersão de funcionamento do conjunto, ou seja,

$$D(\mathcal{F}_f) = F_f - f_f \dots\dots (5.1)$$

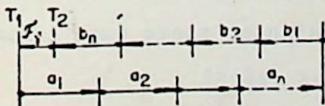


FIG. 5.1

Seja a Fig. 5.1 representativa de cadeia de cotas do projeto de um conjunto as quais relacionadas entre si devem

acarretar a folga de funcionamento fixada, e delimitada pelas superfícies terminais  $T_1$  e  $T_2$ .

Da Fig. 5.1 tiramos:

$$\mathcal{F}_f = (a_1 + a_2 + \dots + a_n) - (b_1 + b_2 + \dots + b_n) \dots \quad (5.2)$$

e a essa relação daremos o nome de relação da condição de funcionamento.

Aplicando em (5.2) as condições limites, teremos:

$$F_f = (a_1 + a_2 + \dots + a_n)_{\max} - (b_1 + b_2 + \dots + b_n)_{\min}$$

$$f_f = (a_1 + a_2 + \dots + a_n)_{\min} - (b_1 + b_2 + \dots + b_n)_{\max}$$

que nos dará:

$$\begin{aligned} F_f - f_f &= D(\mathcal{F}_f) = (a_{1_{\max}} - a_{1_{\min}}) + \dots + (a_{n_{\max}} - a_{n_{\min}}) + \dots + \\ &+ (b_{n_{\max}} - b_{n_{\min}}) = T(a_1) + T(a_2) + \dots + T(a_n) + T(b_1) + \dots + T(b_n) = \\ &= \Sigma T(i) \dots \end{aligned} \quad (5.3)$$

que nos indica ser a dispersão de funcionamento igual à soma das tolerâncias das cotas de projeto, calculada segundo a relação da condição de funcionamento do conjunto, sendo que nos conjuntos móveis,  $F_f > 0$  e  $f_f > 0$ .

### 5.1.2 - Folgas de fabricação

Conhecidos os valores limites da folga de funcionamento,  $F_f$  a folga limite superior ou folga acima da qual o conjunto não mais funciona nas condições desejáveis e passa a ser considerado gasto, e,  $f_f$  a folga limite inferior ou folga abaixo da qual o conjunto deixa de ser tão móvel quanto desejável, o problema para o engenheiro passa a ser a determinação dos valores que devam ter as folgas limites de usinagem, que representamos por  $F_u$  e  $f_u$  e cuja diferença

$$F_u - f_u = D(\overline{f_u}) \dots \quad (5.4)$$

é chamada dispersão de funcionamento devido à usinagem.

Devemos adotar para  $f_u$  um valor tal que, em nenhum caso haja possibilidade que um conjunto venha a ter folga inferior à folga limite inferior de funcionamento e portanto,  $f_u = f_f$ .

A folga máxima,  $F_u$ , deve ser inferior à folga máxima  $F_f$ , para que os conjuntos montados com a maior folga possível, no caso,  $F_u$ , ainda tenham possibilidade de se desgastar como consequência do trabalho a que serão sujeitos. Se um conjunto fosse montado com  $F_u = F_f$ , sua vida seria igual a zero e teríamos o absurdo de haver fabricado um conjunto novo, gasto.

Então, sob o ponto de vista da vida ou duração dos conjuntos, há vantagem em aumentar a diferença  $F_f - F_u$ , ou seja, fazer  $F_u$  tender para  $f_u$ , como mostra a Fig. 5.2.

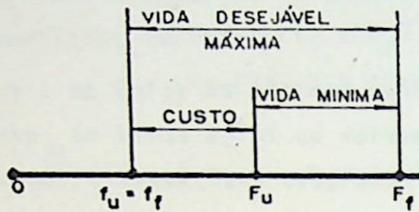


FIG5.2

A dispersão de funcionamento, devido à usinagem, é uma grandeza que pode ser usada então para caracterizar a vida ou a duração do conjunto.

Considerando a usinagem, podemos determinar a relação da condição de funcionamento devido à usinagem, que será semelhante à (5.2):

$$F_u = (x_{a_1} + x_{a_2} + \dots + x_{a_n}) - (x_{b_1} + x_{b_2} + \dots + x_{b_n}) = \sum x_{a_i} - \sum x_{b_i} \dots \quad (5.5)$$

onde  $x_{a_i}$  e  $x_{b_i}$  são as cotas para usinagem.

A diferença entre os valores limites admissíveis de qualquer cota da expressão (5.5) é chamada tolerância de usinagem e é sempre positiva.

$$T_u(x_{a_i}) = (x_{a_i})_{\max} - (x_{a_i})_{\min} \dots \quad (5.6)$$

As cotas de (5.5) sendo variáveis,  $F_u$  será variável e a expressão (5.5) pode ser escrita:

$$F_u = f(x_{a_1}, x_{a_2}, \dots, x_{a_n}, x_{b_1}, x_{b_2}, \dots, x_{b_n}) \dots \quad (5.7)$$

Na expressão acima as dimensões admitindo variações, o valor de  $F_u$  para esses valores não exatos das variáveis

independentes, terá uma variação dada por:

$$\Delta(\mathcal{F}_U) = f[x_{a_1} + \Delta x_{a_1}, \dots, x_{b_n} + \Delta x_{b_n}] - f(x_{a_1}, \dots, x_{b_n})$$

Como  $\Delta(\mathcal{F}_U) \approx d\mathcal{F}_U$ , temos que:

$$|d\mathcal{F}_U| = \left| \frac{\partial \mathcal{F}_U}{\partial x_{a_1}} \right| \Delta x_{a_1} + \left| \frac{\partial \mathcal{F}_U}{\partial x_{a_2}} \right| \Delta x_{a_2} + \dots + \left| \frac{\partial \mathcal{F}_U}{\partial x_{b_n}} \right| \Delta x_{b_n}$$

sendo  $\Delta(\mathcal{F}_U) = F_U - f_U$ ,  $\Delta x_{a_i} = T_U(x_{a_i})$ ,  $\Delta x_{b_i} = T_U(x_{b_i})$

então:

$$F_U - f_U = \left| \frac{\partial \mathcal{F}_U}{\partial x_{a_1}} \right| T_U(x_{a_1}) + \left| \frac{\partial \mathcal{F}_U}{\partial x_{a_2}} \right| T_U(x_{a_2}) + \dots + \left| \frac{\partial \mathcal{F}_U}{\partial x_{b_n}} \right| T_U(x_{b_n}) \quad (5.8)$$

A expressão (5.8) sendo aplicada a partir da expressão (5.5), as derivadas parciais têm valor unitário, de modo que a diferença entre as folgas máxima e mínima de usinagem, que já havíamos chamado dispersão de funcionamento devido à usinagem é igual à soma das tolerâncias de usinagem das cotas e calculada segundo a relação da condição de funcionamento devido à usinagem.

Se  $\mathcal{F}_U$  resulta de uma cadeia onde as cotas simplesmente se somam e subtraem, então:

$$D(\mathcal{F}_U) = F_U - f_U = \Sigma T_U(x_i) \dots \quad (5.9)$$

que é semelhante à expressão (5.3).

Da expressão (5.9) segue-se que quanto menor o valor de  $D(\sqrt{f_u})$ , tanto menores serão as tolerâncias de usinagem das peças do conjunto e tanto mais difícil a fabricação, e assim  $D(\sqrt{f_u})$  é uma grandeza que caracteriza também o grau de precisão da usinagem do conjunto e em consequência, custo, como mostra a Fig. 5.2, sendo a Fig. 5.3 uma representação típica da relação custo-tolerância.

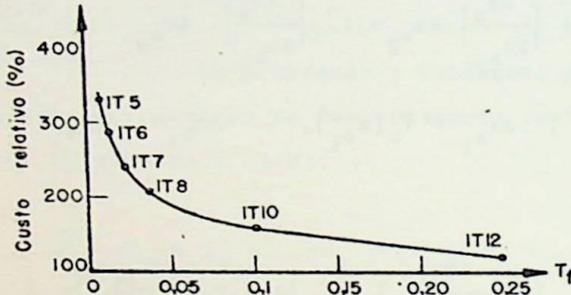


FIG. 5.3

ca da relação custo-tolerância.

Um justo compromisso entre o custo de usinagem e a vida do conjunto é um problema que deve ser cuidadosamente

estudado.

A Fig. 5.4, tirada do manual de serviço para motores marítimos Diesel-Sulzer de dois tempos, tipo RD76, nos mostra que no conjunto eixo-mancal temos:

$$F_f = 0,300 \quad ; \quad F_u = 0,106$$

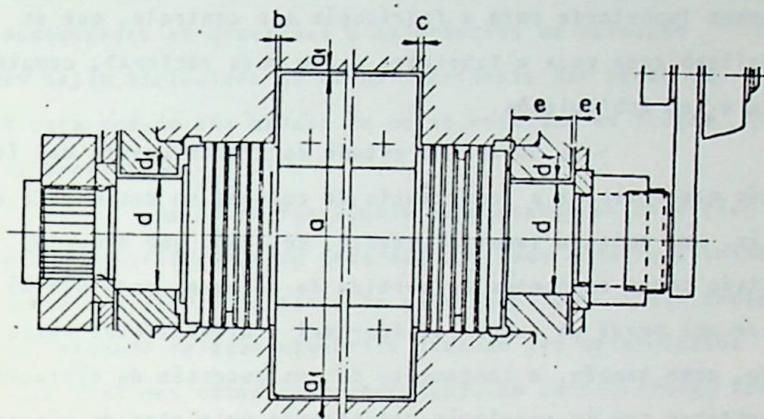
$$f_f = 0,036 \quad ; \quad f_u = 0,036$$

que nos permitem deduzir:

$$\beta_{\text{mancal}} = 120^{+0,035}$$

$$\text{Vida máxima do conjunto} = F_f - f_u = 0,264 \text{ mm}$$

$$\text{Vida mínima do conjunto} = F_f - F_u = 0,194 \text{ mm}$$



MEDIDA NOMINAL	FOLGA NORMAL	FOLGA MÁXIMA (DESGASTADO)	MEDIDA NOMINAL	FOLGA NORMAL	FOLGA MÁXIMA (DESGASTADO)
$a = 358^{+0,2}_{-0,1}$	$a_1 = 1,08$ $0,9$	1,5	$e = 68^{+0}_{-0,1}$	$e_1 = 0,3$ $0,1$	0,5
	$b = 3,9$ $3,4$		$f = 8^{+0,05}$	$f_1 + f_2 = 0,4$ $0,2$	1,0
	$c = 0,5$		$g = 193^{+0,2}$	$g = 1,123$ $0,9$	2,5
$d = 120^{-0,036}_{-0,071}$	$d_1 = 0,106$ $0,036$	0,3	$h = 55^{-0,03}_{-0,06}$	$h_1 = 0,050$ $0,030$	0,25

FIG.:5.4

## 5.2 - Cotação funcional

Os produtos a fabricar são definidos detalhadamente pelas indicações de todas as cotas sobre os desenhos, chamados de definição.

A partir dos dados do desenho de definição segue-se o estudo do processamento da fabricação ou seja, o estudo da sucessão das operações elementares de usinagem, quando surge então o dimensionamento de fabricação.

Se as considerações de utilização e facilidade de fabricação são importantes na concepção do produto, não é menos importante para a fabricação e o controle, que as cotas definam cada peça a fabricar, de um modo racional, completamente e sem ambigüidade.

É durante o estudo do processamento da fabricação que ressalta a importância da cotagem no desenho de definição. Uma cotagem super abundante, deixando por exemplo, imprecisão sobre os pontos de partida da cotagem, pode não só causar uma perda de tempo considerável e dificuldades nesse estudo, como também, o lançamento de uma sucessão de operações elementares que se revelarão desastrosas pelo elevado número de peças refugadas que serão produzidas.

Além disso, uma cotagem tendo tolerâncias apertadas torna a fabricação mais cara, pois o custo de uma operação elementar depende da grandeza da tolerância atribuída à cota a usar.

Disso resulta que as dimensões do desenho de definição devem ser judiciosamente escolhidas, e mais ainda, que elas satisfaçam às seguintes condições:

- definam a peça completamente, sem ambigüidade;
- indiquem as maiores tolerâncias de usinagem possíveis, compatíveis com o funcionamento e a intermutabilidade desejadas;
- deixem para o processamento da fabricação a possibilidade de explorar como entenda a cotagem, em função dos meios de execução que disponha.

A cotagem baseada no estudo analítico da função

de cada peça é chamada cotagem funcional. Esse estudo analítico é efetuado por ocasião do dimensionamento funcional quando são pesquisadas as dimensões e tolerâncias de usinagem que convém sejam atribuídas às cotas funcionais das peças do conjunto para que da sua cadeia de cotas resultem as folgas limites estabelecidas.

As cotas funcionais expressando as condições necessárias e suficientes de intermutabilidade e de funcionamento, devem aparecer no desenho de definição, como cotas independentes, nenhuma relação algébrica podendo ser estabelecida entre elas (lei das cotas independentes). Em consequência, todas as superfícies cuja forma e dimensões assegurem o funcionamento, serão ligadas diretamente a um sistema de referência único, seu ponto de partida.

As cotas funcionais constituem uma parte importante das condições de recebimento da peça, e assim, independente do controle de fabricação, sua verificação direta pelo controle de recebimento deve ser feita. A lei da coincidência dos pontos de partida exige que essas cotas e seus pontos de partida sejam facilmente acessíveis aos calibres de verificação.

As cotas funcionais serão obtidas ligando as superfícies de junção entre si e com as superfícies terminais.

As superfícies de junção são as superfícies de uma peça que se acham em contacto com as superfícies de outra, numa determinada posição, durante o funcionamento.

As superfícies terminais são as superfícies que fazem fronteira com a folga do conjunto.



$x_a$  será dada pela indicação do ângulo  $\alpha$ .

Do mesmo modo,  $x_b$  será a cota funcional da peça B.

As demais cotas necessárias para a definição das peças A e B devem ser estudadas tendo em vista o processamento da fabricação a ser adotado, devendo ser atribuída a cada cota a maior tolerância de usinagem possível para que resulte o menor custo de usinagem para a peça.

### 5.3 - Dimensionamento funcional

Todo conjunto mecânico forma uma cadeia de cotas, composta de um certo número de elos ligando entre si, de diferentes maneiras, superfícies de junção e superfícies terminais.

Se os elos da cadeia forem apenas as cotas funcionais, a cadeia será chamada cadeia mínima de cotas, que é a mais importante entre todas as cadeias possíveis no conjunto.

O dimensionamento funcional consiste em expressar as folgas, isto é, as condições extremas de funcionamento por meio de relações algébricas entre os elos da cadeia e, partindo dessas relações, determinar as dimensões e as tolerâncias das cotas de modo a garantir o funcionamento do conjunto e a intermutabilidade das peças.

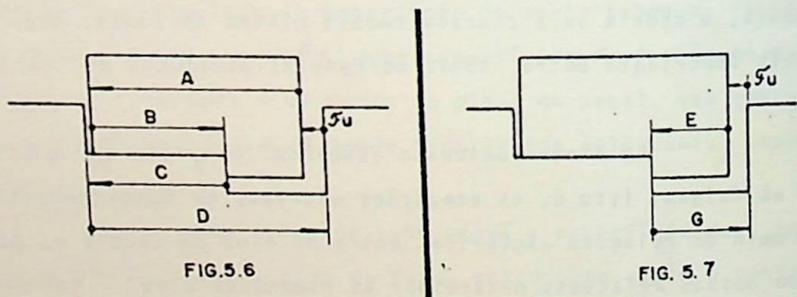
Determinadas as relações entre as folgas e os elos, obtêm-se um sistema de equações onde figuram como incog-

nitas as cotas e suas tolerâncias, e como dados, as condições de funcionamento.

Cada grandeza a determinar comportando um valor nominal e uma tolerância, o número de incógnitas é sempre maior que o de equações, e essa indeterminação matemática permite escolher as melhores soluções compatíveis com os meios de execução mais econômicos.

A dispersão de funcionamento devido à usinagem sendo igual à soma das tolerâncias de usinagem das cotas, a tolerância a atribuir a cada uma será evidentemente maior se reduzirmos ao mínimo necessário e suficiente o número de cotas componentes da cadeia, razão porque dissemos ser a cadeia mínima de cotas a mais importante entre todas as cadeias possíveis.

A Fig. 5.6 mostra uma cadeia possível da folga  $\mathcal{F}_U$  relacionada com quatro cotas e a Fig. 5.7 a cadeia mínima de cotas relacionando a mesma folga com apenas duas cotas. As cotas E e G são assim as cotas funcionais do conjunto.



Se o conjunto admitir várias folgas, cada uma deve ser objeto de uma cadeia, sendo que uma mesma cota só poderá ser relacionada uma única vez em cada cadeia.

A Fig. 5.8 mostra um conjunto com quatro folgas,

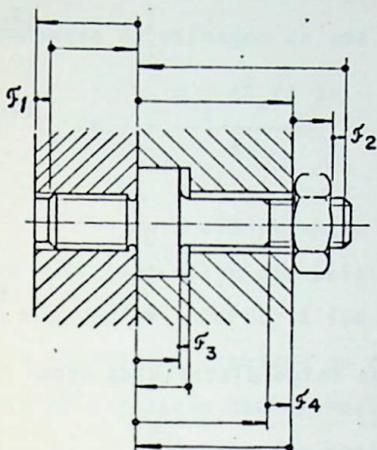


FIG. 5.8

quatro cadeias e as respectivas cotas funcionais as quais foram obtidas, ligando as superfícies terminais às superfícies de junção.

O dimensionamento funcional pode ser efetuado na base das condições limites ou em bases estatísticas.

### 5.3.1 - Dimensionamento funcional na base das condições limites

Uma vez estabelecida a folga de funcionamento devido à usinagem e determinadas as cotas funcionais de cada peça do conjunto, podemos determinar a cadeia de cotas cuja expressão será:

$$f_u = \sum x_{a_i} - \sum x_{b_i} \dots \quad (5.5)$$

onde  $x_{a_i}$  representa o módulo (cota nominal) dos vetores de mesmo sentido na cadeia e,  $x_{b_i}$  os de sentido oposto.

Das condições  $F_u$  e  $f_u$  aplicadas a  $f_u$  tiramos:

$$F_u = \Sigma(x_{a_i})_{\max} - \Sigma(x_{b_i})_{\min} \quad (5.10)$$

$$f_u = \Sigma(x_{a_i})_{\min} - \Sigma(x_{b_i})_{\max} \quad (5.11)$$

dos quais resulta como vimos

$$F_u - f_u = \Sigma T_u(x_i) \quad (5.9)$$

que nos indica ser a dispersão da folga distribuída como tolerância entre as cotas funcionais.

As tolerâncias de usinagem dessas cotas devem ser tais que satisfaçam não-só a expressão (5.9) como ainda, acarretem um custo mínimo de usinagem. Será necessário então ponderar para cada cota uma série de fatores tais como tamanho e forma, dificuldade de usinagem devido ao material da peça, dispersão dos meios de execução, o que exige naturalmente conhecimento e prática dos procedimentos e técnicas de fabricação.

Para uma dada cota  $x_{a_1}$  por exemplo, resultará um fator de ponderação  $R_{a_1}$  que será a soma dos fatores considerados acima:

$$R_{x_{a_1}} = \Sigma r_{x_{a_1}} \quad (5.12)$$

e para o conjunto das cotas da cadeia resultará:

$$R = \Sigma R_{x_i} \quad (5.13)$$

Das expressões (5.9) e (5.13) resulta ser a tolerância de usinagem de uma cota qualquer calculada

$$T_u(x_1) = \frac{R_{x_1} \Sigma T_u(x)}{R} \quad (5.14)$$

A distribuição da tolerância de usinagem de uma cota qualquer, calculada pela expressão (5.14), em afastamentos superior e inferior a fim de satisfazer as expressões (5.10) e (5.11) irá resultar de considerações relativas às facilidades de regulação das operações elementares.

De um modo geral, há interesse para toda a operação onde a quantidade de material a retirar dependa sobretudo da regulação, em expressar as dimensões em função do máximo de material, de modo que correspondam à peça menos gasta, a tolerância sendo considerada então como uma usura admissível. Assim, a tolerância será colocada como menos (afastamento inferior) para uma cota macho - cota medida por fora e como mais (afastamento superior) para uma cota fêmea - cota medida por dentro.

Se, ao contrário, o valor médio da dimensão resultar da qualidade da ferramenta e não for sujeita a regulação (cota ajustada), distribuiremos a tolerância de usinagem em afastamentos igualmente repartidos porque as probabilidades são as mesmas que se desviam num sentido ou noutro.

Quando as cotas da cadeia são valores médios, convém usar em lugar de (5.5) a expressão:

$$\bar{f}_u = \Sigma \bar{x}_{a_1} - \Sigma \bar{x}_{b_1} \quad (5.15)$$

sendo

$$\overline{f_u} = \frac{F_u + f_u}{2} \quad (5.16)$$

e

$$\overline{x} = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2} \quad (5.17)$$

Conjuntos que admitam mais de uma folga terão mais de uma cadeia, e caso se interliguem através cotas comuns, Fig. 5.9, estas devem ter suas tolerâncias determinadas

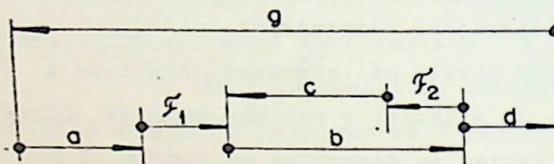


FIG. 5.9

com prioridade e calculadas segundo a condição de funcionamento da cadeia que tiver maior sensibilidade de

tolerância, ou seja, da cadeia que apresentar menor S, sendo

$$S = \frac{\sum T_u(x_i)}{R} \quad (5.18)$$

No caso da Fig. 5.9 as folgas serão expressas por:

$$f_2 = b - c$$

$$f_1 = g - (a + b + d)$$

sendo b a cota comum.

Para conjuntos que tenham uma cota de condição,

função de várias cotas e de uma ou mais folgas, será necessário estabelecer as condições de funcionamento devido às folgas e expressar a cota de condição em função das várias cotas e dos limites inferiores das folgas. Assim, para o conjunto cuja cadeia está representada na Fig. 5.10, onde B é a cota de con

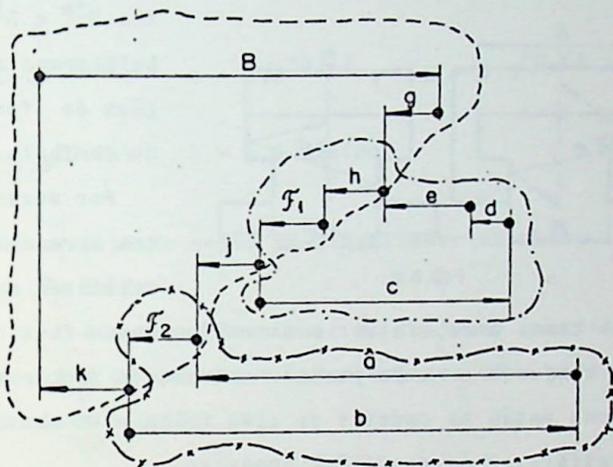


FIG. 5.10

dição exigida, as expressões que permitirão determinar as tolerâncias, serão:

$$\overline{f_1} = \overline{c} - (\overline{d} + \overline{e} + \overline{h})$$

$$\overline{f_2} = \overline{b} - \overline{a}$$

$$B_{\max} - B_{\min} = f_1 + f_2 + T_a + T_b + T_c + T_d + T_e + T_g + T_h + T_j + T_k$$

e tais que satisfaçam à cota de condição expressa por:

$$\bar{B} = \bar{g} + \bar{h} + \sqrt[4]{f_1} + \bar{J} + \sqrt[4]{f_2} + \bar{k}$$

Para conjuntos cujas peças admitam um desalinhamento em relação a um eixo de simetria, como por exemplo, as da Fig. 5.11, os desalinhamentos devem ser considerados como cotas  $0^{+e}$  e  $0^{+e'}$  ao estabelecermos as condições de funcionamento do conjunto.

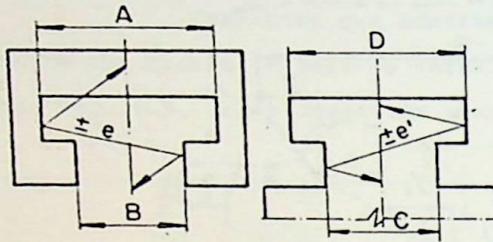


FIG. 5.11

Por vezes os conjuntos apresentam folgas estáticas e dinâmicas e nestes casos para efetuar o dimensionamento funcional, esboçamos o conjunto em cada posição extrema de funcionamento de terminando então as cadeias de cada folga e as equações que devem satisfazer às condições impostas.

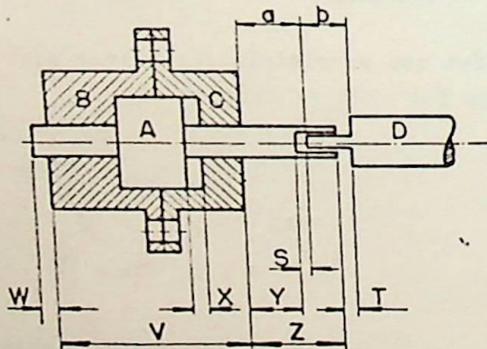


FIG. 5.12

Assim, no conjunto da Fig. 5.12 onde a peça A se aloja no subconjunto formado pelas peças B e C e tem movimento de rotação dado por D, a folga X é estática porque seu valor será sempre o mesmo, quer a peça A esteja à esquerda, quer à di

reita, e as folgas W, S e T são dinâmicas pois terão valores diferentes para diferentes posições da peça A.

Admitamos que para o conjunto montado tenham sido especificadas as folgas e dimensões:

$$X = 0,07^{+0,18}; \quad W = 0,00^{+0,50}; \quad S = 0,25^{+0,50};$$

$$T = 0,25^{+0,50}; \quad a = 3,2^{\pm 0,12}; \quad b = 9,5^{\pm 0,25};$$

$$V = 63,5^{\pm 0,25}; \quad Y = 1,6 \text{ m\u00ednimo}$$

o problema consistindo ent\u00e3o em dimensionar as pe\u00e7as e calcular a varia\u00e7\u00e3o de Z.

A cotaagem funcional do conjunto constituido pelas pe\u00e7as A, B e C, exige que sejam cotadas como mostram as Figs. 5.13, 5.14 e 5.15.

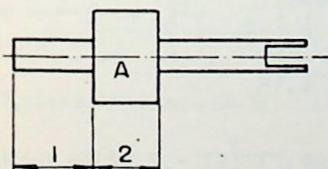


FIG. 5.13

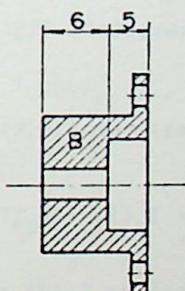


FIG. 5.14

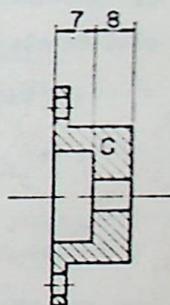


FIG. 5.15

Para a defini\u00e7\u00e3o da pe\u00e7a A poderemos utilizar uma das tr\u00eas cotagens mostradas na Fig. 5.16 em fun\u00e7\u00e3o do

cessamento de usinagem que escolhermos.

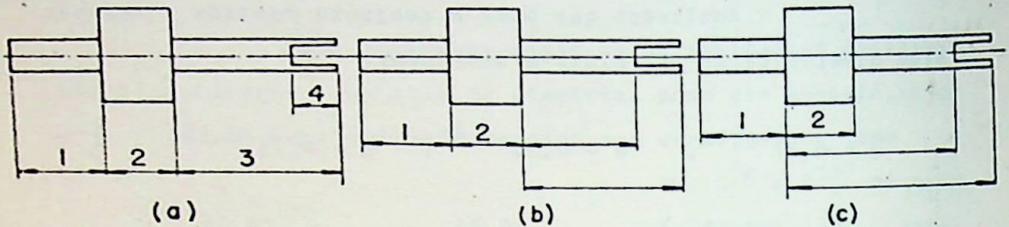


Fig. 5.16

Admitamos escolhida a cotaagem da Fig. 5.16 (a) e que as cotas 1, 2 e 3, resultantes do desenho do conjunto tenham valores aproximados:

$$\text{cota } 1 = 25,5 ; \text{ cota } 2 = 20,6 ; \text{ cota } 3 = 29,0$$

Esboçando o conjunto em cada posição extrema de funcionamento, teremos as cadeias de cada folga e as equações de condições impostas, Fig. 5.17.

1 - Folga X

Da equação (1) tiramos:

$$D(X) = T_u(2) + T_u(5) + T_u(7) = 0,18$$

que nos permite arbitrar  $T_u(2) = 0,07$ ;  $T_u(5) = T_u(7) = 0,055$

Aplicando as condições limites à equação (1) e arbitrando  $(5)_{\min} = 12,7$  teremos:

$$\text{Cota } 2 = 20,60^{-0,07}$$

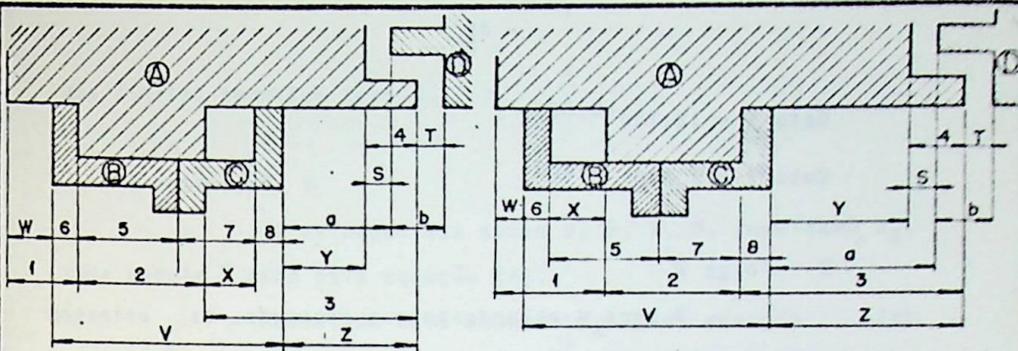
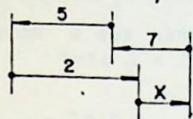
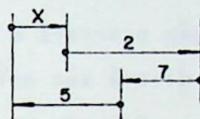


FIG. 5.17



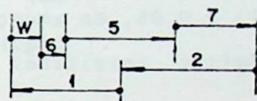
$$X = (5 + 7) - 2 \dots (1)$$



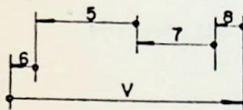
$$X = (5 + 7) - 2 \dots (1)$$



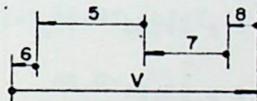
$$W_R = 1 - 6 \dots (2)$$



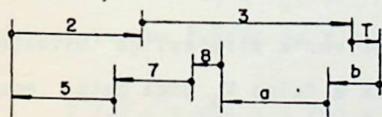
$$W_R = (1 + 2) - (5 + 6 + 7) \dots (3)$$



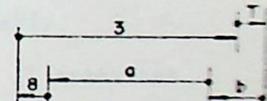
$$V_R = 5 + 6 + 7 + 8 \dots (4)$$



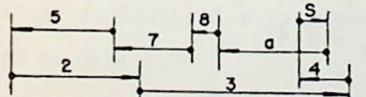
$$V_R = 5 + 6 + 7 + 8 \dots (4)$$



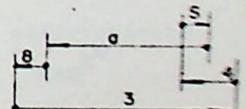
$$T_R = (5 + 7 + 8 + a + b) - (2 + 3) \dots (5)$$



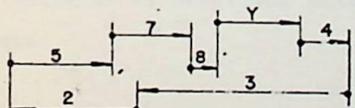
$$T_R = (8 + a + b) - 3 \dots (5)$$



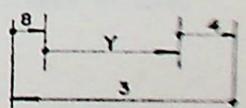
$$S_R = (4 + 5 + 7 + 8 + a) - (2 + 3) \dots (7)$$



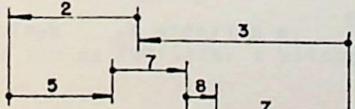
$$S_R = (4 + 8 + a) - 3 \dots (7)$$



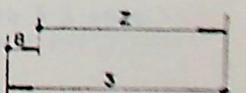
$$Y_R = (2 + 3) - (4 + 5 + 7 + 8) \dots (9)$$



$$Y_R = 3 - (4 + 8) \dots (9)$$



$$Z_R = (2 + 3) - (5 + 7 + 8) \dots (11)$$



$$Z_R = 3 - 8 \dots (11)$$

$$\text{Cota 5} = 12,700^{+0,055}$$

$$\text{Cota 7} = 7,970^{+0,055}$$

## 2 - Folga W

A peça A estando para a esquerda, da usinagem das cotas 1 e 6 resultará a folga  $W_R$  dada pela equação (2), e nessa situação ocorrerá o maior valor de W, sendo que o menor valor de  $W_R$  deverá ser maior que zero.

Fazendo  $W_{R_{\max}} = W_{\max} = 0,50$ ;  $W_{R_{\min}} = 0,25$  e admitindo  $T_u(1) = 0,05$ , da equação (2) depois de aplicadas as condições limites, resultará:

$$\text{Cota 1} = 25,50^{-0,05}$$

$$\text{Cota 6} = 25,20^{-0,20}$$

Quando a peça A estiver à direita, da usinagem das cotas 1, 2, 5, 6 e 7 resultará a folga  $W_R$  dada pela equação (3) e teremos:

$$W_{R_{\max}} = (1+2)_{\max} - (5+6+7)_{\min} = 0,43$$

$$W_{R_{\min}} = (1+2)_{\min} - (5+6+7)_{\max} = 0$$

Teremos portanto:

- peça A à esquerda:  $W_R = 0,25^{+0,25}$

- peça A à direita:  $W_R = 0,00^{+0,43}$  e portanto  $W_R$  dentro

dos limites impostos para W.

### 3 - Dimensão V

Da usinagem das cotas 6, 5, 7, 8, resultará  $V_R$ , cuja cadeia é dada pela equação (4).

Admitindo inicialmente  $V_R = V$ , da equação (4)

tiramos:

$$\text{Cota 8} = 17,77^{-0,19}$$

### 4 - Folga T

Da equação (5) temos:

$$D(T_R) = 0,50 = T_u(5) + T_u(7) + T_u(8) + T_u(a) + T_u(b) + T_u(2) + T_u(3)$$

Como  $T_u(5) = T_u(7) = 0,055$  e  $T_u(2) = 0,07$ , de terminadas em função de X e  $T_u(8) = 0,19$ , resultará:

$$T_u(a) + T_u(b) + T_u(3) = 0,13$$

o que dificultará a usinagem das cotas b e 3 e o posicionamento da cota a.

Como as cotas 5, 7 e 2 já foram determinadas em função de X, poderemos alterar a tolerância da cota 8, de modo que:

$$T_u(8) + T_u(a) + T_u(b) + T_u(B) = 0,32$$

a fim de facilitar a usinagem e o posicionamento, e adotaremos:

$$T_u(8) = 0,05 ; T_u(a) = 0,12 ; T_u(b) = 0,10 ; T_u(3) = 0,05$$

Teremos então:

$$\text{Cota } 8 = 17,77^{-0,05}$$

$$\text{Cota } a = 3,2^{+0,06}$$

$$\text{Cota } b = 9,5^{+0,05}$$

Como o menor valor de T ocorrerá com a peça A para a direita, façamos  $T_{R_{\min}} = T_{\min} = 0,25$  e da equação (6) tiramos, após aplicarmos as condições limites:

$$3_{\max} = 30,06 \text{ e portanto}$$

$$\text{Cota } 3 = 30,06^{-0,05}$$

Da equação (5) resultará:

$$T_{R_{\max}} = 0,82$$

$$T_{R_{\min}} = 0,32$$

e da equação (6):

$$T_{R_{\max}} = 0,57$$

$$T_{R_{\min}} = 0,25$$

Dos resultados achados para  $T_R$ , concluímos que a folga  $T = 0,25^{+0,50}$  deverá ser modificada para  $T = 0,25^{+0,57}$ .

5 - Cálculo de  $V_R$

Como a cota 8 foi modificada de  $17,77^{-0,19}$  para  $17,77^{-0,05}$  da equação (4), após as condições limites, resulta rã:

$$V_R = 63,5 \begin{matrix} +0,25 \\ -0,11 \end{matrix}$$

e portanto, dentro dos limites estabelecidos para V.

6 - Folga S

Da equação (7) teremos:

$$0,50 = 0,40 + T_U(4) \quad \text{logo} \quad T_U(4) = 0,10$$

Da equação (8) obteremos:

$$0,25 = (4)_{\min} - 9,20 \quad \text{logo} \quad (4)_{\min} = 9,45$$

e portanto: Cota 4 =  $9,45^{+0,10}$

Da equação (7) resultará:

$$S_{R_{\max}} = 0,82$$

$$S_{R_{\min}} = 0,32$$

e da equação (8):

$$S_{R_{\max}} = 0,57$$

$$S_{R_{\min}} = 0,25$$

e a folga  $S = 0,25^{+0,50}$  deverá ser modificada  $S = 0,25^{+0,57}$

#### 7 - Verificação de Y

Da equação (9) obtemos:

$$Y_{R_{\min}} = 2,53 \text{ satisfazendo a condição } Y = 1,6 \text{ min.}$$

#### 8 - Variação de Z

Das equações (11) e (12) obteremos:

$$Z = 12,165^{+0,175}$$

Para a verificação de conjuntos já dimensionados, a cotação das peças em contraste facilita a verificação dos valores extremos da folga. A cotação em que são indicadas as cotas de usinagem e as cotas de centragem, damos o nome de cotação em contraste, sendo que as cotas de usinagem que devam ser centradas entre si, chamaremos de cotas a centrar e, cotas de centragem, as cotas resultantes, expressas por um só valor limite, máximo ou mínimo, as quais indicam o desalinhamento admissível entre eixos, se houver. Assim, a cotação em contraste das peças da Fig. 5.11 será a indicada, na Fig. 5.18 onde A, B, C e D são cotas a centrar e E e F cotas de centragem.

As cotas de centragem sendo cotas resultantes, não podem ser usadas como cotas de usinagem, servindo apenas

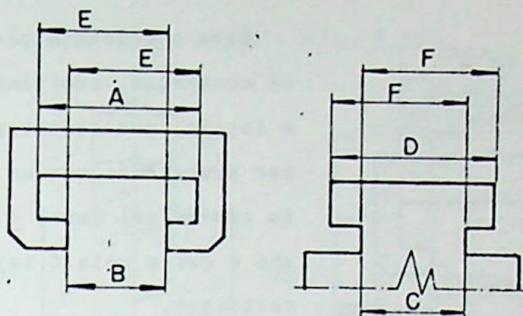


FIG. 5.18

como cotas de regulação na preparação da máquina que executará a operação elementar, mas, são utilizadas nos calibres de controle da peça, aumentadas ou diminuídas do valor da tolerância de execução do calibre conforme se tratar de um mínimo ou de um máximo, sendo que para um máximo, o controle será feito com os planos internos do calibre e, para um mínimo, com os planos externos. A Fig. 5.19 é o esboço do calibre para controlar o desalinhamento  $\pm$  e entre as cotas da peça da esquerda da Fig. 5.11.

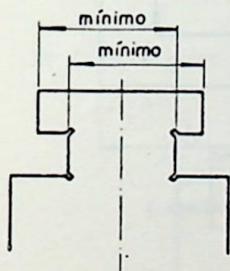


FIG. 5.19

lar o desalinhamento  $\pm$  e entre as cotas da peça da esquerda da Fig. 5.11.

Ao conjunto de duas ou mais cotas a centrar com duas ou mais cotas de centragem, chamamos grupo de cotas em centragem. Normalmente o grupo é constituído de duas cotas a centrar e duas de centragem

como mostra a Fig. 5.16, acontecendo às vezes ser uma mesma cota a centrar pertencente a dois grupos em centragem como a cota A da Fig. 5.20.

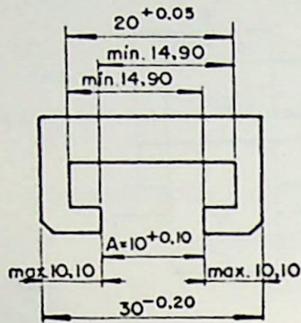
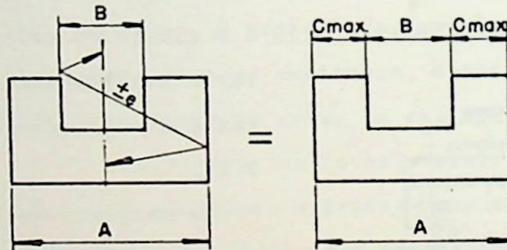


FIG. 5.20

Para a determinação das cotas de centragem, admitamos nos casos a seguir, que as cotas A e B devem ser executadas com um desalinhamento admissível entre  $\pm$  e entre os eixos e que a cota C seja a cota de centragem.

1º Caso - uma cota fêmea e uma cota macho - Fig. 5.21.



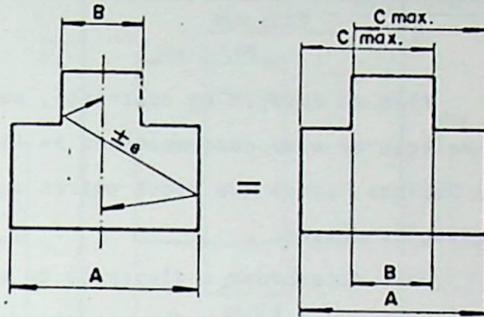
$$2e = 2C_{\max} - (A_{\max} - B_{\min})$$

FIG:5.21

Teremos:

$$C_{\max} = \frac{A_{\max} - B_{\min}}{2} + e \quad (5.19)$$

29 Caso - duas cotas macho - Fig. 5.22



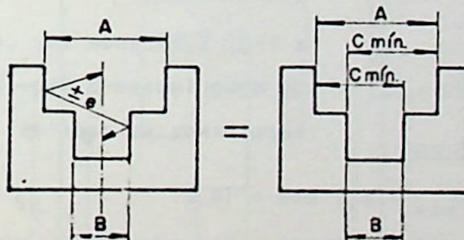
$$2e = 2C_{\max} - (A_{\max} + B_{\max})$$

FIG. 5.22

Teremos:

$$C_{\max} = \frac{A_{\max} + B_{\max}}{2} + e \quad (5.20)$$

30 Caso - duas cotas fêmea - Fig. 5.23



$$2e = (A_{\min} + B_{\min}) - 2C_{\min}$$

FIG. 5.23

Teremos:

$$C_{\min} = \frac{A_{\min} + B_{\min}}{2} - e \quad (5.21)$$

Além da cotação em contraste, podemos indicar a cotação em relação ao eixo como mostrado na Fig. 5.24 para os três casos básicos, sendo que todos outros que possam surgir serão derivações desses.

Para determinar a dispersão de cotas resultantes em peças cotadas em contraste devemos atender às regras enunciadas a seguir.

1ª regra - Percorrendo a cadeia de um grupo de cotas em centragem, as cotas de centragem devem ser computadas uma no cálculo do máximo e outra no cálculo do mínimo de qualquer cota resultante.

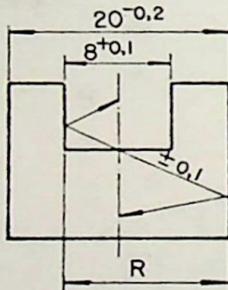


FIG. 5.25

Exemplo: Determinar  $D(R)$  na peça da Fig. 5.25. Sendo:

$$C_{\max} = \frac{A_{\max} - B_{\min}}{2} + e = \frac{20 - 8 + 0,1}{2} = 6,1$$

a Fig. 5.25 pode ser cotada em contraste como indica a Fig. 5.26 da qual de terminamos as cadeias:

$$R_{\max} = 8_{\max} + 6,1_{\max} = 14,2$$

$$R_{\min} = 20_{\min} - 6,1_{\max} = 13,7$$

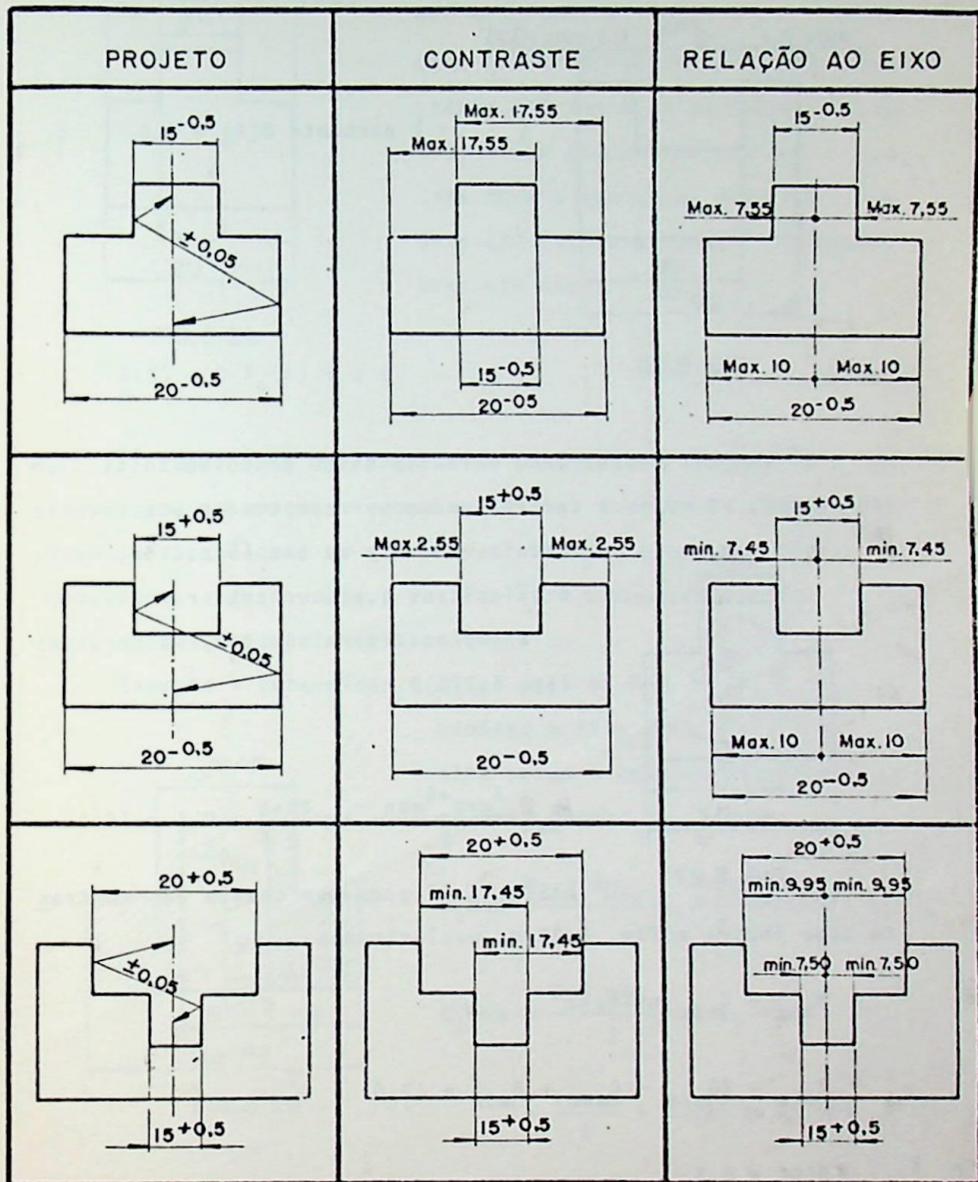


FIG. 5.24

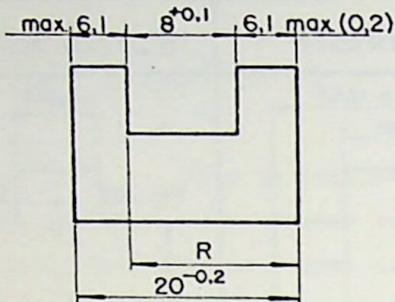


FIG. 5.26

e portanto  $D(R) = 0,5$ .

2ª regra - Percorrendo a cadeia de um grupo de cotas em centragem, as cotas a centrar podem ser computadas uma em cada cadeia ou ambas em uma sã cadeia, para o cálculo de qualquer cota resultante.

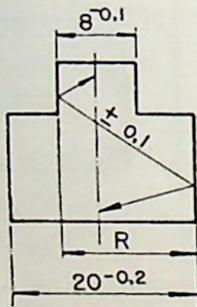


FIG. 5.27

Exemplo: Determinar  $D(R)$  na peça da Fig. 5.27.

Sendo

$$C_{\max} = \frac{A_{\max} + B_{\max}}{2} + e = \frac{20 + 8}{2} + 0,1 = 14,1$$

a Fig. 5.27 pode ser cotada em contrate como indica a Fig. 5.28 da qual tiramos:

$$R_{\max} = C_{\max} = 14,1$$

$$R_{\min} = 20_{\min} - C_{\max} + 8_{\min} = 13,6$$

$$D(R) = 0,5$$

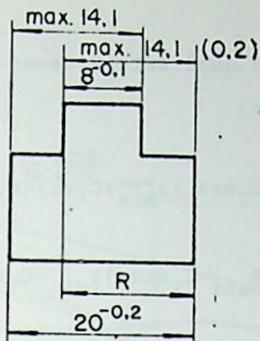


FIG. 5.28

$$D(R) = \sum T_u(i) + 2 e \quad (5.22)$$

3ª regra - Se uma peça tiver dois grupos de cotas em centragem com uma cota comum a centrar, no cálculo de uma cota resultante qualquer em que entrem ambos os grupos de cotas em centragem, a cota comum a centrar será computada uma vez em cada cadeia da cota resultante.

Exemplo - Determinar  $D(R)$  na peça da Fig. 5.29.

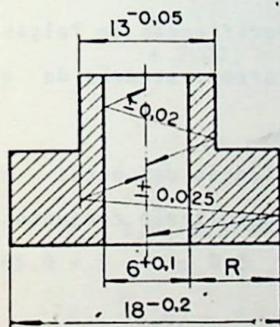


FIG. 5.2c

Na Fig. 5.29 a cota  $13^{-0,05}$  é a cota comum a centrar e teremos para cada grupo:

$$C_{1\max} = \frac{A_{\max} - B_{\min} + e_1}{2} = \frac{13 - 6 + 0,02}{2} = 3,52$$

$$C_{2\max} = \frac{D_{\max} + A_{\max}}{2} + e_1 =$$

$$= \frac{18 + 13}{2} + 0,025 = 15,525$$

e a Fig. 5.29 pode ser cotada em contraste como indica a Fig .

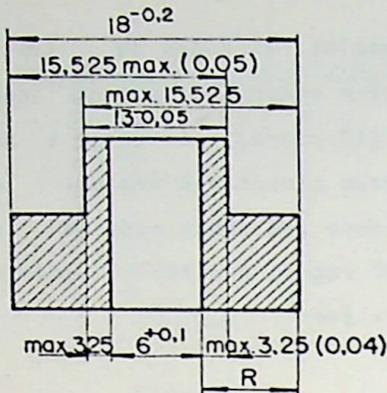


FIG. 5.30

e como verificação:

$$D(R) = \sum T_u(i) + 2(e + e_1) + T_u(\text{da cota comum}) \quad (5.23)$$

que nos indica ser a tolerância de usinagem da cota comum computada duas vezes no cálculo de  $D(R)$ .

Dissemos anteriormente que uma das vantagens da cota em contraste é facilitar a verificação de folgas em conjuntos já dimensionados, o que mostraremos através de dois exemplos.

1º Exemplo: - Verificar se da fabricação das peças cotadas de acordo com as Figs. 5.31 e 5.32 resultarão conjuntos intermutáveis que atendam às condições:  $f_u \geq 0$  e  $F_u \leq + 0,282$ .

5.30 da qual determinamos as cadeias:

$$R_{\max} = C_{2\max} - 13_{\min} + C_{1\max} = 6,095$$

$$R_{\min} = 18_{\min} - C_{2\max} + 13_{\min} - C_{1\max} - 6_{\max} = 5,605.$$

e portanto:  $D(R) = 0,49$

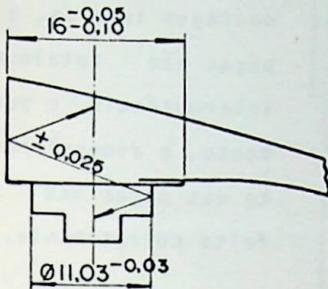


FIG. 5.31

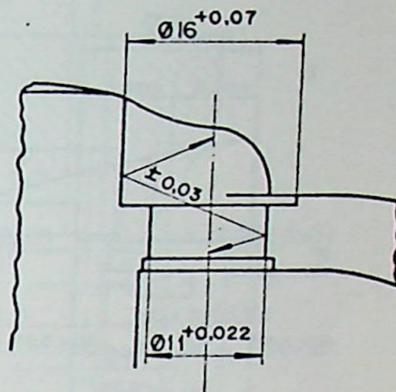


FIG. 5.32

Cotando as peças em relação ao eixo e montando o conjunto teremos a Fig. 5.33, sabendo antecipadamente, de acordo com a expressão (5.22) que:

$$D(\sqrt{f}_u) = \Sigma T_u(i) + 2(e+e') = 0,05 + 0,03 + 0,07 + 0,022 + 0,2(0,025 + 0,03) = 0,282$$

As cadeias da Fig. 5.33 permitem calcular:

$$f_u = 7,97 + 5,50 - 5,515 - 8 = -0,045$$

$$F_u = 16,07 - 7,97 - 5,50 + 11,022 - 11 + 5,515 + 8 - 15,9 = +0,237$$

Sendo  $F_u > 0$  e  $f_u < 0$ , os conjuntos serão de montagem incerta, e as peças não totalmente intermutáveis, e portanto, o dimensionamento das peças não foi feito corretamente.

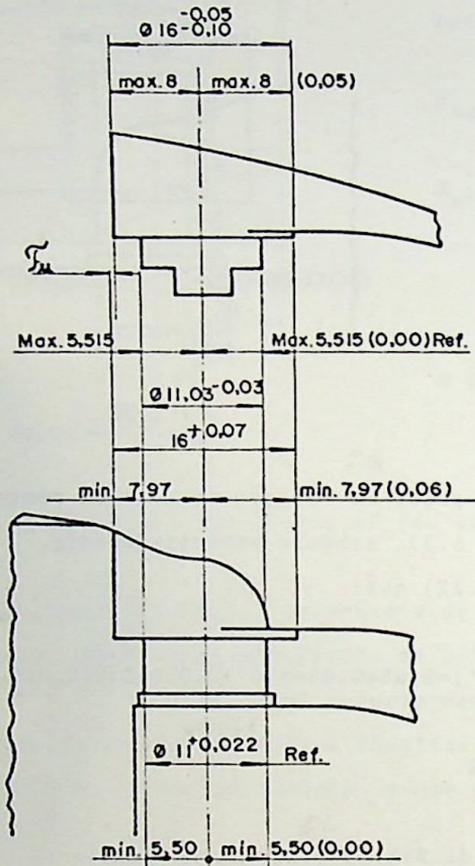


FIG. 5.33

2º Exemplo: - Verificar se os valores limites da  $f_u$  folga indicada no conjunto de peças da Fig. 5.34 atendem às especificações  $f_u \geq +0,268$  e  $F_u \leq + 1,160$ .

$$\begin{aligned} \text{Sabemos que } D(f_u) &= \sum T_u(i) + 2 \Sigma e = 0,15 + 0,10 + \\ &+ 0,046 + 0,018 + 0,018 + 0,05 + 0,10 + 0,05 + 0,20 + 0,04 + \\ &+ 0,03 + 0,02 + 0,04 + 0,03 = 0,892 \end{aligned}$$

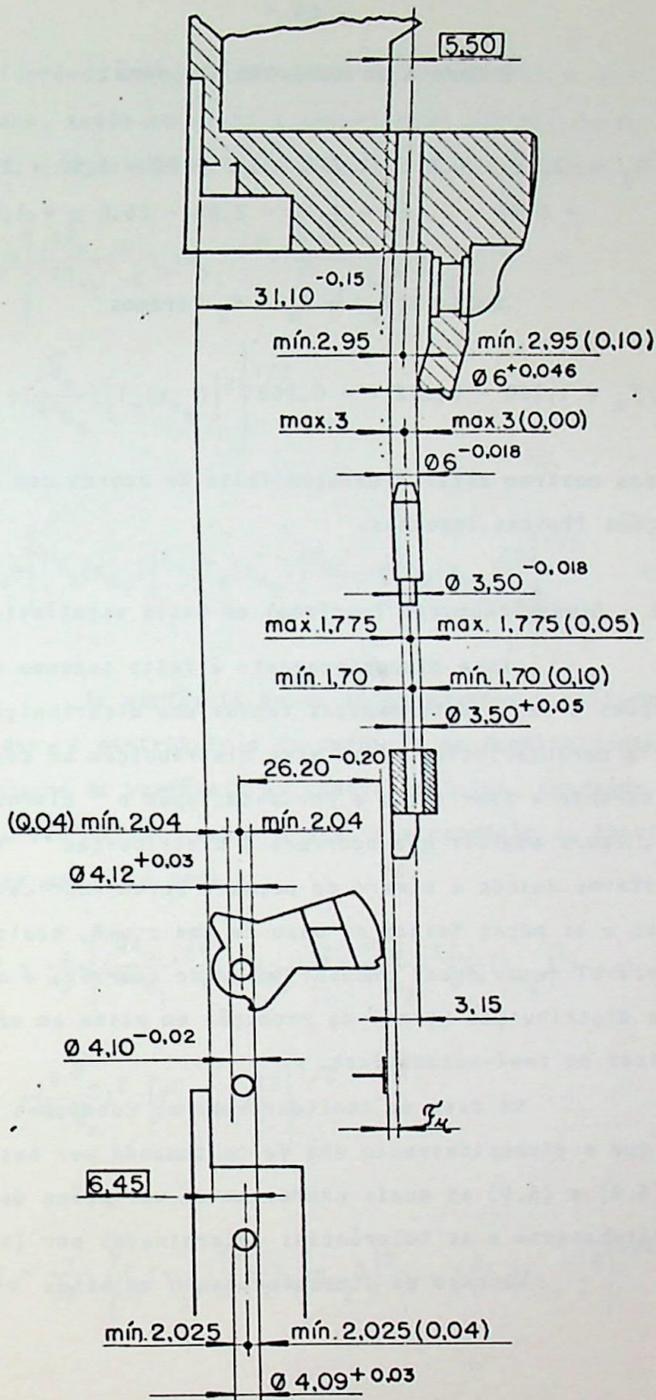


FIG. 5.34

A cadeia do conjunto nos dará:

$$F_u = -3,15 - 1,70 + 1,775 + 3 - 2,95 + 5,50 + 31,10 - \\ - 6,45 - 2,025 + 4,10 - 2,04 - 26,0 = + 1,160$$

Sendo  $D(\bar{f}_u) = F_u - f_u$  teremos:

$$f_u = 1,160 - 0,802 = + 0,268$$

que nos mostram estar a cotagem feita de acordo com as especificações limites impostas.

### 5.3.2 - Dimensionamento funcional em bases estatísticas

Esse dimensionamento é feito supondo que as dimensões a serem determinadas tenham uma distribuição de frequência característica. Como essa distribuição só será conhecida durante a fabricação e portanto, após o dimensionamento feito, vamos admitir que ocorrerá a distribuição retangular ou uniforme quando o número de peças a serem fabricadas for pequeno e as peças feitas na base de uma a uma, qualquer valor da variável tendo igual probabilidade de ocorrer, e que, ocorrerá a distribuição normal na produção em massa em máquinas automáticas ou semi-automáticas.

No caso de considerarmos as condições limites, vimos que o dimensionamento era feito tomando por base as equações (5.8) e (5.9) as quais expressam as variações da condição de funcionamento e as tolerâncias determinadas por (5.14).

No caso do dimensionamento em bases estatísti

cas, considerando as variáveis como independentes e normalmente distribuídas, tendo em vista a propriedade aditiva da distribuição normal, a condição de funcionamento será expressa por:

$$F_u - f_u = \left\{ \left( \frac{\partial \bar{F}_u}{\partial x_{a_1}} \right)^2 [T_u(x_{a_1})]^2 + \left( \frac{\partial \bar{F}_u}{\partial x_{a_2}} \right)^2 [T_u(x_{a_2})]^2 + \dots + \left( \frac{\partial \bar{F}_u}{\partial x_{b_n}} \right)^2 [T_u(x_{b_n})]^2 \right\}^{1/2} \quad (5.24)$$

e

$$F_u - f_u = \left\{ [T_u(x_{a_1})]^2 + [T_u(x_{a_2})]^2 + \dots + [T_u(x_{b_n})]^2 \right\}^{1/2} \quad (5.25)$$

As variáveis sendo independentes e uniformemente distribuídas, a distribuição da condição de funcionamento dependerá do número de variáveis na cadeia da folga, tendendo para a distribuição normal quando  $n \geq 4$ , e a condição de funcionamento pode ser expressa por:

$$F_u - f_u = \frac{z}{\sqrt{3}} \left\{ \left( \frac{\partial \bar{F}_u}{\partial x_{a_1}} \right)^2 [T_u(x_{a_1})]^2 + \left( \frac{\partial \bar{F}_u}{\partial x_{a_2}} \right)^2 [T_u(x_{a_2})]^2 + \dots + \left( \frac{\partial \bar{F}_u}{\partial x_{b_n}} \right)^2 [T_u(x_{b_n})]^2 \right\}^{1/2} \quad (5.26)$$

e

$$F_u - f_u = \frac{z}{\sqrt{3}} \left\{ [T_u(x_{a_1})]^2 + [T_u(x_{a_2})]^2 + \dots + [T_u(x_{b_n})]^2 \right\}^{1/2} \quad (5.27)$$

sendo o valor de  $z$  determinado pela tabela das áreas sob a curva da função de distribuição normal reduzida em função da probabilidade fixada para que a condição de funcionamento ocorra entre os limites  $f_u$  e  $F_u$ .

Estabelecidas as equações (5.25) ou (5.27) para a cadeia da folga em função do tipo de distribuição de frequência admitida, a tolerância de uma cota qualquer será calculada pela expressão:

$$T_u(x_i) = \left\{ \frac{R_{x_i} \Sigma [T_u(x)]^2}{R} \right\}^{1/2} \quad (5.28)$$

devendo satisfazer a condição da folga média da cadeia.

Exemplo: Seja a Fig. 5.35 a cadeia de um conjun

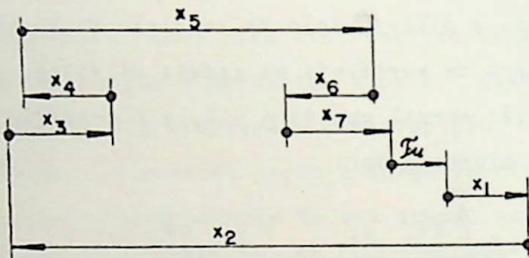


FIG. 5.35

to cuja folga pode assumir os valores extremos  $f_u = +0,130$  e  $F_u = +0,900$  sendo que as cotas  $x_1$ ,  $x_3$  e  $x_7$  são os elementos padronizados com dimensões:  $x_1 = 2^{+0,02}$ ;  $x_3 = x_7 = 13^{+0,03}$  e que  $x_{2_{\min}} = 72$ ;  $x_{4_{\min}} = x_{6_{\min}} = 9,5$ .

a) dimensionamento na base das condições limites

$$0,900 - 0,130 = 0,04 + T_u(x_2) + 0,06 + T_u(x_4) + T_u(x_5) + T_u(x_6) + 0,06$$

que darã:

$$T_u(x_2) + T_u(x_4) + T_u(x_5) + T_u(x_6) = 0,61$$

Da ponderação dos fatores de dificuldade de execução das cotas, admitamos resulte:

$$R_{x_1} = 6; R_{x_4} = R_{x_6} = 5,4; R_{x_5} = 4,5$$

e portanto  $R = \sum R_{x_i} = 21,3$ .

Aplicando sucessivamente (5.14) teremos:

$$T_u(x_2) = \frac{6 \times 0,61}{21,3} = 0,172; T_u(x_4) = T_u(x_6) = \frac{5,4 \times 0,61}{21,3} = 0,154;$$

$$T_u(x_5) = \frac{4,5 \times 0,61}{21,3} = 0,130$$

Aplicando as condições limites impostas à condição de funcionamento

$$L_u = x_2 + x_4 + x_6 - x_1 - x_3 - x_5 - x_7$$

resultará  $x_5 = 62,790^{-0,130}$  e teremos as cotas

$$x_1 = 2^{+0,02}; x_2 = 72,172^{-0,172}; x_3 = x_7 = 13^{+0,03}; x_4 = x_6 = 9,654^{-0,154}$$

resultando para os conjuntos  $\Sigma T_u = 0,77$ ;  $f_u = +0,130$ ;  $F_u = 0,900$  ;  
 $\bar{F}_u = 0,515$ .

b) dimensionamento estatístico, distribuição uniforme.

$$0,900 - 0,130 = \frac{z}{\sqrt{3}} \left\{ (0,04)^2 + [T_u(x_2)]^2 + (0,06)^2 + [T_u(x_4)]^2 + \right. \\ \left. + [T_u(x_5)]^2 + T_u(x_6)^2 + (0,06)^2 \right\}^{1/2}$$

Para uma probabilidade igual a 95,5% de que os conjuntos terão folga entre os limites especificados, teremos  $z=2$  e portanto

$$[T_u(x_2)]^2 + [T_u(x_4)]^2 + [T_u(x_5)]^2 + [T_u(x_6)]^2 = 0,4359$$

Aplicando sucessivamente (5.28) com os fatores de dificuldade já determinados, teremos:

$$T_u(x_2) = \left[ \frac{6 \times 0,4359}{21,3} \right]^{1/2} = 0,350; T_u(x_4) = T_u(x_6) = \left[ \frac{5,4 \times 0,4359}{21,3} \right]^{1/2} = 0,332$$

$$T_u(x_5) = \left[ \frac{4,5 \times 0,4359}{21,3} \right]^{1/2} = 0,332$$

Da condição média de funcionamento

$$\bar{v}_u + \bar{x}_1 + \bar{x}_3 + \bar{x}_5 + \bar{x}_7 - \bar{x}_2 + \bar{x}_4 - \bar{x}_6 = 0$$

tiramos:  $\bar{x}_5 = 62,99$  e teremos as cotas

$$x_1 = 2 \pm 0,02; \quad x_2 = 72,175 \pm 0,175; \quad x_3 = x_7 = 13 \pm 0,03;$$

$$x_5 = 62,992 \pm 0,166; \quad x_4 = x_6 = 9,666 \pm 0,166$$

resultando para os conjuntos:

$$\Sigma T_u = 1,506; \quad f_u = -0,238; \quad F_u = +1,268; \quad \bar{v}_u = 0,515$$

c) dimensionamento estatístico, distribuição normal

$$0,900 - 0,130 = \left\{ (0,04)^2 + [T_u(x_2)]^2 + (0,06)^2 + [T_u(x_4)]^2 + [T_u(x_5)]^2 + [T_u(x_6)]^2 + (0,06)^2 \right\}^{1/2}$$

e portanto

$$[T_u(x_2)]^2 + [T_u(x_4)]^2 + [T_u(x_5)]^2 + [T_u(x_6)]^2 = 0,5841$$

$$T_u(x_2) = \left[ \frac{6 \times 0,5841}{21,3} \right]^{1/2} = 0,406;$$

$$T_u(x_4) = T_u(x_6) = \left[ \frac{5,4 \times 0,5841}{21,3} \right]^{1/2} = 0,384$$

$$T_u(x_5) = \left[ \frac{5,4 \times 0,5841}{21,3} \right]^{1/2} = 0,352$$

Da condição média de funcionamento tiramos:

$$\bar{x}_5 = 63,072 \quad \text{e teremos:}$$

$$x_1 = 2 \pm 0,02; \quad x_2 = 72,203 \pm 0,203; \quad x_3 = x_7 = 13 \pm 0,03$$

$$x_4 = x_6 = 9,692 \pm 0,192; \quad x_5 = 63,072 \pm 0,176$$

resultando para os conjuntos:

$$\Sigma T_u = 1,686; \quad f_u = -0,328; \quad F_u = +1,358; \quad \bar{f}_u = 0,515$$

### 5.3.3 - Generalização

Vimos que a condição de funcionamento é expressa por:

$$f_u = f(x_{a_1}, x_{a_2}, \dots, x_{a_n}, x_{b_1}, x_{b_2}, \dots, x_{b_n})$$

sendo que algumas das dimensões podem ter valores e tolerâncias predeterminadas - o que geralmente ocorre quando são uti

lizadas peças padronizadas ou quando haja necessidade imposta por uma condição qualquer - e que outras não tem tolerâncias conhecidas e são determinadas de acordo com a condição de funcionamento.

Para distinguir as dimensões, usaremos o índice  $c$  nas que têm tolerâncias conhecidas ou prēdeterminadas e o índice  $nc$  nas que não têm tolerâncias conhecidas.

Para relacionar as tolerâncias conhecidas com as não conhecidas e com a condição de funcionamento, vamos admitir que o produto do quadrado de uma tolerância não conhecida e sua derivada parcial é uma constante, ou seja:

$$(D_1 T_1^2)_{nc} = (D_2 T_2^2)_{nc} = (D_3 T_3^2)_{nc} = \dots = (D_i T_i^2)_{nc} \quad (5.29)$$

onde

$$D_i = \left| \frac{\partial \mathcal{F}_u}{\partial x_i} \right| \quad (5.30)$$

Da expressão (5.29) temos que:

$$T_1 = \frac{T_i \sqrt{D_i}}{\sqrt{D_1}} ; T_2 = \frac{T_i \sqrt{D_i}}{\sqrt{D_2}} ; T_3 = \frac{T_i \sqrt{D_i}}{\sqrt{D_3}} ; T_i = \frac{T_i \sqrt{D_i}}{\sqrt{D_i}} \quad (5.31)$$

No caso do dimensionamento funcional com base

nas condições limites, a expressão (5.8) pode ser escrita sob a forma:

$$F_u - f_u = (\Sigma DT)_c + (\Sigma DT)_{nc}$$

ou

$$(\Sigma DT)_{nc} = (F_u - f_u) - (\Sigma DT)_c \quad (5.32)$$

sendo

$$(\Sigma DT)_{nc} = (D_1 T_1)_{nc} + (D_2 T_2)_{nc} + \dots + (D_i T_i)_{nc} \quad (5.33)$$

Substituindo (5.31) em (5.32) teremos:

$$\begin{aligned} (\Sigma DT)_{nc} &= \left( \frac{D_1 T_1 \sqrt{D_1}}{\sqrt{D_1}} + \frac{D_2 T_2 \sqrt{D_2}}{\sqrt{D_2}} + \dots + \frac{D_i T_i \sqrt{D_i}}{\sqrt{D_i}} \right)_{nc} = \\ &= T_i \sqrt{D_i} (\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2} + \dots + \sqrt{D_i}) = T_i (D_i)^{1/2} (\Sigma D^{1/2})_{nc} \end{aligned} \quad (5.34)$$

que substituindo em (5.32) nos dará:

$$T_i = \frac{(F_u - f_u) - (\Sigma DT)_c}{(D_i)^{1/2} (\Sigma D^{1/2})_{nc}} \quad (5.35)$$

No caso do dimensionamento em bases estatísticas com as variáveis normalmente distribuídas, a expressão (5.24) pode ser escrita na forma:

$$F_u - f_u = \left[ (\Sigma D^2 T^2)_c + (\Sigma D^2 T^2)_{nc} \right]^{1/2}$$

ou

$$(\Sigma D^2 T^2)_{nc} = (F_u - f_u)^2 - (\Sigma D^2 T^2)_c \quad (5.36)$$

sendo

$$(\Sigma D^2 T^2)_{nc} = D_1^2 T_1^2 + D_2^2 T_2^2 + \dots + D_i^2 T_i^2 \quad (5.37)$$

Substituindo (5.31) em (5.37) teremos:

$$\begin{aligned} (\Sigma D^2 T^2)_{nc} &= D_1^2 \cdot \frac{T_i^2 D_1}{D_1} + D_2^2 \cdot \frac{T_i^2 D_1}{D_2} + \dots + D_i^2 \frac{T_i^2 D_1}{D_i} = \\ &= T_i^2 D_1 (D_1 + D_2 + \dots + D_i)_{nc} = T_i^2 D_1 (\Sigma D)_{nc} \end{aligned} \quad (5.38)$$

Substituindo (5.38) em (5.36) teremos:

$$T_i^2 D_1 (\Sigma D)_{nc} = (F_u - f_u)^2 - (\Sigma D^2 T^2)_c$$

que nos darã:

$$T_i = \left[ \frac{(F_u - f_u)^2 - (\Sigma D^2 T^2)_c}{D_1 (\Sigma D)_{nc}} \right]^{1/2} \quad (5.39)$$

Ainda considerando o dimensionamento em bases es

tatísticas mas as variáveis uniformemente distribuídas, a expressão (5.26) poderá ser escrita na forma:

$$F_u - f_u = \frac{z}{\sqrt{3}} \left[ (\Sigma D^2 T^2)_c + (\Sigma D^2 T^2)_{nc} \right]^{1/2}$$

ou

$$(\Sigma D^2 T^2)_{nc} = \frac{3(F_u - f_u)^2}{z^2} - (\Sigma D^2 T^2)_c \quad (5.40)$$

Substituindo (5.38) em (5.40) teremos:

$$T_i = \left[ \frac{\frac{3(F_u - f_u)^2}{z^2} - (\Sigma D^2 T^2)_c}{D_i (\Sigma D)_{nc}} \right]^{1/2} \quad (5.41)$$

Exemplo: O cilindro mostrado na Fig. 5.36 deve

ter um volume interno de  $820 \pm 1,6$   $\text{cm}^3$  e são impostas as condições:  $x_1 = 200 \pm 0,12$ ;  $\bar{x}_3 = 15$ ;  $\bar{x}_4 = 10$ ; todas as cotas em mm. Dimensionar o cilindro para a fabricação.

Tendo em vista as cotas médias, a condição de volume médio imposta é expressa por:

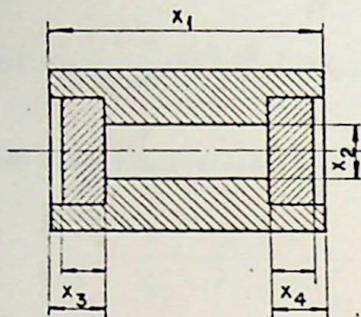


FIG. 5.36

$$\frac{4V}{\pi} = \frac{\pi}{4} (\bar{x}_1 - \bar{x}_3 - \bar{x}_4) \bar{x}_2^2$$

que nos dará:  $\bar{x}_2 = 7,724 \text{ cm} = 77,24 \text{ mm}$ .

Aplicando (5.30) teremos:

$$D_{x_1} = \left| \frac{\partial \bar{F}}{\partial \bar{x}_1} \right| = \frac{\pi}{4} \cdot \bar{x}_2^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 7,724^2 = 46,856988$$

$$D_{x_2} = \left| \frac{\partial \bar{F}}{\partial \bar{x}_2} \right| = \frac{\pi}{2} (\bar{x}_1 - \bar{x}_3 - \bar{x}_4) \bar{x}_2 = \frac{\pi}{2} \cdot 17,5 \cdot 7,724 = 212,32453$$

$$D_{x_3} = \left| \frac{\partial \bar{F}}{\partial \bar{x}_3} \right| = \frac{\pi}{4} \cdot \bar{x}_2^2 = 46,856988$$

$$D_{x_4} = \left| \frac{\partial \bar{F}}{\partial \bar{x}_4} \right| = \frac{\pi}{4} \cdot \bar{x}_2^2 = 46,856988$$

a) dimensionamento na base das condições limites.

Aplicando (5.35) teremos:

$$T(x_2) = \frac{3,2 - 0,5622838}{14,571359 \cdot 17,493955} = 0,104 \text{ cm} = 0,104 \text{ mm}$$

Sendo  $D_{x_3} = D_{x_4}$ , teremos:

$$T(x_4) = T(x_3) = \frac{3,2 - 0,5622838}{6,845216 \cdot 17,493955} = 0,022 \text{ cm} = 0,220 \text{ mm}$$

e teremos:  $x_1 = 200,12^{-0,24}$ ;  $x_2 = 77,240^{+0,052}$ ;  $x_3 = 14,89^{+0,22}$ ;

$$x_4 = 9,89^{+0,22}$$

b) dimensionamento admitindo a distribuição normal.

Da aplicação de (5.39) resultará:

$$T(x_2) = \left[ \frac{(3,2)^2 - 0,3161631}{212,32453 \cdot 306,03849} \right]^{1/2} = 0,0124 \text{ cm} = 0,124 \text{ mm}$$

$$T(x_3) = T(x_4) = \left[ \frac{(3,2)^2 - 0,3161631}{46,856988 \cdot 306,03849} \right]^{1/2} = 0,0263 \text{ cm} = 0,263 \text{ mm}$$

e teremos:  $x_1 = 200^{+0,12}$ ;  $x_2 = 77,240^{+0,062}$ ;  $x_3 = 15^{+0,131}$ ;  
 $x_4 = 10^{+0,131}$

c) dimensionamento admitindo a distribuição uniforme.

Para uma probabilidade de 95,5% teremos  $z=2$ , resultando da expressão (5.41):

$$T(x_2) = 0,0106 \text{ cm} = 0,106 \text{ mm}$$

$$T(x_3) = T(x_4) = 0,0232 \text{ cm} = 0,232 \text{ mm}$$

e teremos:  $x_1 = 200^{+0,12}$ ;  $x_2 = 77,24^{+0,053}$ ;  $x_3 = 15^{+0,116}$ ;  $x_4 = 10^{+0,116}$

Admitamos agora, que o mesmo volume interno de  $820^{+1,6} \text{ cm}^3$  deva ser obtido com a cotagem da Fig. 5.37, mas sendo impostas as condições:  $x_2 = 77,24^{+0,025}$ ;  $\bar{x}_3 = 15$ ;  $\bar{x}_4 = 10$ ,

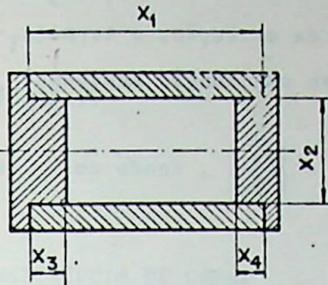


FIG. 5.37

todas as cotas em mm, e que que1  
ramos dimensionar na base das  
condições limites.

A condição de volume médio  
continuará sendo

$$\bar{V} = \frac{\pi}{4} (\bar{x}_1 - \bar{x}_3 - \bar{x}_4) \bar{x}_2^2 \text{ e obteremos:}$$

$$\bar{x}_1 = 200 \text{ mm; } \left| \frac{\partial \bar{V}}{\partial x_1} \right| = \left| \frac{\partial \bar{V}}{\partial x_3} \right| = \left| \frac{\partial \bar{V}}{\partial x_4} \right| = 46,856988; \left| \frac{\partial \bar{V}}{\partial x_2} \right| = 212,32453$$

35) Sendo  $D_{x_1} = D_{x_2} = D_{x_4}$ , resultará, aplicando (5.

$$T(x_1) = T(x_3) = T(x_4) = \frac{3,2 - 1,0616226}{6,845216 \cdot 11,856262} = 0,0264 \text{ cm} = 0,264 \text{ mm}$$

e teremos:

$$x_1 = 200,132^{-0,264}; x_2 = 77,24^{+0,025}; x_3 = 14,868^{+0,264};$$

$$x_4 = 9,868^{+0,264}$$

Se do ponto de vista matemático as tolerâncias encontradas para  $x_1$ ,  $x_3$  e  $x_4$  estão corretas, o mesmo não ocorre do ponto de vista de fabricação porque esta, devendo minimizar custos, deverá levar em conta dificuldades que ocorrerão na usinagem.

Para determinar as tolerâncias de  $x_1$ ,  $x_3$  e  $x_4$  levando em conta suas dificuldades de execução, o termo  $(x_1 - x_3 - x_4)$  será considerado como se fosse uma função separada, com sua própria variação.

Sendo  $\left| \frac{\partial \bar{F}}{\partial \bar{x}_1} \right| = \left| \frac{\partial \bar{F}}{\partial \bar{x}_3} \right| = \left| \frac{\partial \bar{F}}{\partial \bar{x}_4} \right|$ , tendo em vista (5.8) poderemos escrever:

$$F-f = \left| \frac{\partial \bar{F}}{\partial \bar{x}_1} \right| [T(x_1)+T(x_3)+T(x_4)] + \left| \frac{\partial \bar{F}}{\partial \bar{x}_2} \right| T(x_2)$$

da qual resultará:

$$T(x_1)+T(x_3)+T(x_4) = \left[ (F-f) - \left| \frac{\partial \bar{F}}{\partial \bar{x}_2} \right| T(x_2) \right] \cdot \frac{1}{\left| \frac{\partial \bar{F}}{\partial \bar{x}_1} \right|}$$

Substituindo valores, teremos:

$$\begin{aligned} T(x_1)+T(x_3)+T(x_4) &= (3,2-212,32453.0,005) \frac{1}{46,856988} = \\ &= 0,0456\text{cm} = 0,456\text{mm} \end{aligned}$$

Da ponderação dos fatores de dificuldades obtemos  $R_{x_1} = 143$ ;  $R_{x_3} = R_{x_4} = 4,4$  e portanto  $R=23,1$ .

Aplicando (5.14) teremos:

$$T(x_1) = \frac{14,3.0,456}{23,1} = 0,282; \quad T(x_3) = T(x_4) = \frac{4,4.0,456}{23,1} = 0,086$$

e finalmente:

$$x_1 = 200,141^{-0,282}; \quad x_2 = 77,240^{+0,025}; \quad x_3 = 14,957^{+0,086}; \quad x_4 = 9,957^{+0,086}$$

## CAPÍTULO VI

### TRANSFERÊNCIA DE COTAS

A transferência de cotas permite modificar a cotação do desenho de definição, quando necessário, de modo a facilitar o processamento da fabricação, tendo em vista os imperativos do preço de custo do produto a ser fabricado.

De um modo geral, seja a Fig. 6.1 a cotação de uma peça cuja cotação indicada, pode ocorrer, não convenha à fabricação, podendo convir entretanto a cotação da Fig. 6.2 ou da Fig. 6.3.

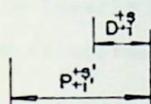


FIG. 6.1

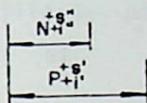


FIG. 6.2

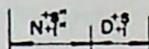


FIG. 6.3

Observando-se as figuras acima, notamos que em cada caso suprime-se uma cota e calcula-se outra. Essa operação é uma transferência de cotas.

O cálculo da nova cota, não devendo modificar as condições limites impostas pela cotação original, é necessário que a cota que se calcula tenha um valor tal que, diminuída

ou somada - conforme o caso - à cota que permanece, permita reencontrar os valores máximo e mínimo da cota que foi suprimida.

Na cotação da Fig. 6.2, por exemplo, a nova cota  $N_{+i}^{+s''}$  deve ser tal que subtraída da cota  $P_{+i}^{+s'}$ , que permanece, resulte uma dimensão entre os limites  $D+s$  e  $D+i$  da cota  $D$  que desapareceu.

Para isso, devemos verificar que:

$$D_{\max} = P_{\max} - N_{\min}$$

$$D_{\min} = P_{\min} - N_{\max}$$

ou

$$D+s = (P+s') - (N+i'')$$

$$D+i = (P+i') - (N+s'')$$

ou

$$N+s'' = (P+i') - (D+i)$$

$$N+i'' = (P+s') - (D+s)$$

que nos dará:

$$s'' - i'' = (s' - i') - (s - i) \text{ ou } T_U(N) = T_U(P) - T_U(D) \quad (6.1)$$

Como a tolerância de uma cota é sempre positi

va, essa expressão nos indica só ser possível obter a cotagem da Fig. 6.2, partindo da Fig. 6.1, se  $(s'-i')$  tolerância da cota D que desapareceu for superior a  $(s-i)$ , tolerância da cota P que permaneceu.

A expressão (6.1) nos mostra ainda, que a transferência de cotas conduz sempre a um aperto das tolerâncias, e isto quer dizer, a uma dificuldade maior na usinagem. Isto será de pouca importância e mesmo negligenciável quando as tolerâncias da cotagem inicial são grandes. O mesmo não ocorre com tolerâncias apertadas, de modo que a transferência de cotas não deve ser feita sem que haja verdadeiramente vantagens que compensem largamente o inconveniente que possa resultar do aperto das tolerâncias.

#### 6.1 - Transferência de cotas nos casos de impossibilidade

Quando a transferência de cotas for indispensável e levar a uma impossibilidade, podem ser tentadas uma das três soluções seguintes:

(a) - Primeira solução: Diminuir a tolerância da cota que deve permanecer, de modo que ela se torne inferior à tolerância da cota que deve desaparecer.

Seja a Fig. 6.1 a cotagem de definição de uma peça, na qual  $(s'-i') < (s-i)$ , e a Fig. 6.4, a cotagem que por algum motivo, desejamos seja a de fabricação.

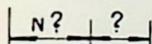


FIG. 6.4

Como  $(s'-i') < (s-i)$ , para que a transferência de cotas a partir da Fig. 6.1 seja possível, é necessário diminuir o valor de  $(s-i)$

de um valor  $\beta$  tal que  $[(s-i)-\beta] < (s'-i')$  e além disso, o valor de  $\beta$  deve ser tal que a tolerância da cota N, que devemos calcular,

$$T_u(N) = (s'-i') - [(s-i)-\beta]$$

e da cota D modificada

$$T_u(D) = (s-i) - \beta$$

sejam compatíveis com a dispersão das máquinas que usaremos na fabricação da peça.

Para determinar os novos afastamentos da cota D modificada, diminuimos o afastamento superior e aumentamos o afastamento inferior da cota  $D_{+i}^{+s}$ , de um valor

$$\frac{(s-i) - [(s-i)-\beta]}{2} = \frac{\beta}{2}$$

a fim de conservar a mesma cota média, pois é esta última que se deve observar durante a fabricação.

Teremos assim a cota  $D_{-i}^{+s}$  modificada para

$$\begin{array}{l} +s - \frac{\beta}{2} \\ D \\ +i + \frac{\beta}{2} \end{array}$$

O cálculo da cota N será efetuado partindo da relação:

$$P = N + D_{\text{modificada}}$$

Aplicando as condições limites nessa expressão e em seguida determinando os valores de N, teremos:

$$N_{\max} = (P-D) + (s'-s + \frac{\beta}{2})$$

$$N_{\min} = (P-D) + (i'-i - \frac{\beta}{2})$$

que nos darão:

$$N = (P-D) + s' - s + \frac{\beta}{2} + i' - i - \frac{\beta}{2}$$

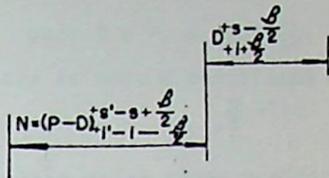


FIG. 6.5

A cotação será então a mostrada na Fig. 6.5.

(b) - Segunda solução: Aumentar a tolerância da cota que deve desaparecer, de modo que ela se torne superior à da cota que desejamos conservar.

Retornemos às mesmas Figs. 6.1 e 6.3, sendo  $(s'-i') < (s-i)$ . Aumentemos a tolerância da cota P de um valor  $\alpha$  a fim de que  $[(s'-i') + \alpha] > (s-i)$ . O valor de  $\alpha$  deve ser tal que a tolerância da cota N:

$$T_u(N) = [(s'-i') + \alpha] - (s-i)$$

seja compatível com os meios de execução.

Se aumentarmos de

$$\frac{(s' - i') - [(s' - i') + \alpha]}{2} = \frac{\alpha}{2}$$

o afastamento superior da cota  $P_{+i}^{+s'}$ , e diminuirmos do mesmo valor o seu afastamento inferior, a cota  $P$  modificada tornar-se-á:

$$P_{+i}^{+s'} + \frac{\alpha}{2}$$

$$P_{+i}^{+s'} - \frac{\alpha}{2}$$

mas tendo o mesmo valor médio que a cota  $P_{+i}^{+s'}$ .

O cálculo da nova cota  $N$ , a partir da relação

$$P_{\text{modificada}} = N + D$$

depois de aplicadas as condições limites, nos dará:

$$N = (P - D) + \frac{s' - s + \alpha}{2}$$

$$N = (P - D) + \frac{i' - i - \alpha}{2}$$

e a cotação será a mostrada na Fig. 6.6.

Essa modificação na cota  $P$  nem sempre pode ser aceitável, pois a dimensão de  $P$  que antes variava entre os limites  $P + s'$  e  $P + i'$  passará a variar entre os limites  $P + s' + \frac{\alpha}{2}$  e  $P + i' - \frac{\alpha}{2}$ . É evidente que as peças cujas dimensões apresentem valores iguais a  $P + i' - \frac{\alpha}{2}$  são boas, e serão rejeitadas aquelas cujas dimen-

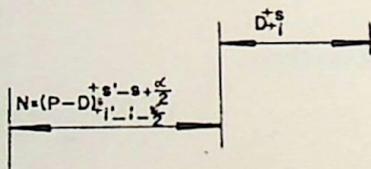


FIG. 6.6

sões estiverem na faixa  $P+s'$  e  $P+s' + \frac{\alpha}{2}$ .

(c) - Terceira solução: Diminuir a tolerância da cota que vamos conservar e aumentar a da cota que iremos suprimir, de modo que ela se torne superior à nova tolerância da cota que irá permanecer.

Conservemos o mesmo exemplo das Figs. 6.1 e 6.3. Respeitando as cotas médias para D e P, e adotando para B e  $\alpha$  valores tais que a tolerância da cota D modificada e da cota N a ser calculada:

$$T_u(N) = [(s'-i')+\beta] - [(s-i)-\alpha] = (s'-i')-(s-i)+(\alpha+\beta)$$

sejam compatíveis com os meios de execução, teremos:

$$D_{\text{modificada}} = D \begin{matrix} +s-\frac{\beta}{2} \\ +i+\frac{\beta}{2} \end{matrix} ; P_{\text{modificada}} = P \begin{matrix} +s'+\frac{\alpha}{2} \\ +i'-\frac{\alpha}{2} \end{matrix}$$

É evidente, que estabelecido o valor de  $\beta$ , o valor de  $\alpha$  deve ser o menor possível de tal modo que a  $T_u(N)$  tenha o menor valor compatível com os meios de execução.

O cálculo da cota N, a partir da relação:

$$P_{\text{modificada}} = N + D_{\text{modificada}}$$

depois de aplicadas as condições limites, nos dará:

$$N = (P-D) \begin{matrix} +s'-s+\frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{2} \\ +i'-i-\frac{\alpha}{2} - \frac{\beta}{2} \end{matrix}$$

Com a cotação da Fig. 6.7

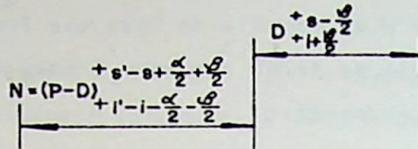


FIG. 6.7

### 6.2 - Transferência de várias cotas

A transferência de várias cotas pode ser efetuada, se a cada vez fizermos desaparecer apenas uma cota. Assim, por exemplo, a cotação da Fig. 6.8 poderá ser transformada inicialmente na cotação da Fig. 6.9, desde que

$$T_u(N) > [ T_u(R) + T_u(M) ]$$

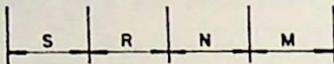


FIG. 6.8

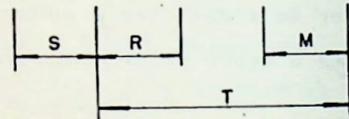


FIG. 6.9

Aplicando as condições limites à relação:

$$N = T - (R+M)$$

poderemos determinar  $T$  e sua tolerância.

Teremos:

$$T_u(T) = T_u(N) - [T_u(R) + T_u(M)]$$

Se  $T_u(T) > T_u(S)$ , a cotagem da Fig. 6.9 poderá ser transformada na cotagem da Fig. 6.10, sendo V determinado através da relação:

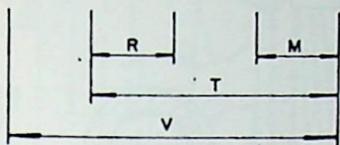


FIG. 6.10

$$S = V - T$$

e após a aplicação das condições limites, teremos:

$$T_u(V) = T_u(S) - T_u(T)$$

Assim, a cotagem da Fig. 6.8 transformou-se na cotagem da Fig. 6.10, tendo desaparecido as cotas S e N e sendo criadas as cotas T e V.

A Fig. 6.11, na página 88 é o desenho de definição do cano de uma arma, no qual estão indicadas apenas as linhas de cotas (com excessão da câmara), e indicadas completamente as cotas necessárias à transferência que iremos efetuar.

De acordo com essa cotagem, as cotas  $45,7^{+0,045}_{-0,107}$ ,  $37,4^{+0,090}_{-0,062}$ ;  $29,2^{+0,060}_{-0,091}$  e  $9,3^{+0,072}_{-0,054}$  que chamaremos respectivamente C, D, E e F, estão referidas a um mesmo ponto de partida de cotagem, o qual de acordo com a 4ª lei do trabalho mecânico deve ser também ponto de partida de usinagem e de verificação.

Por questões quaisquer, resolvemos adotar como desenho de fabricação o da Fig. 6.12, na página 89, em que as

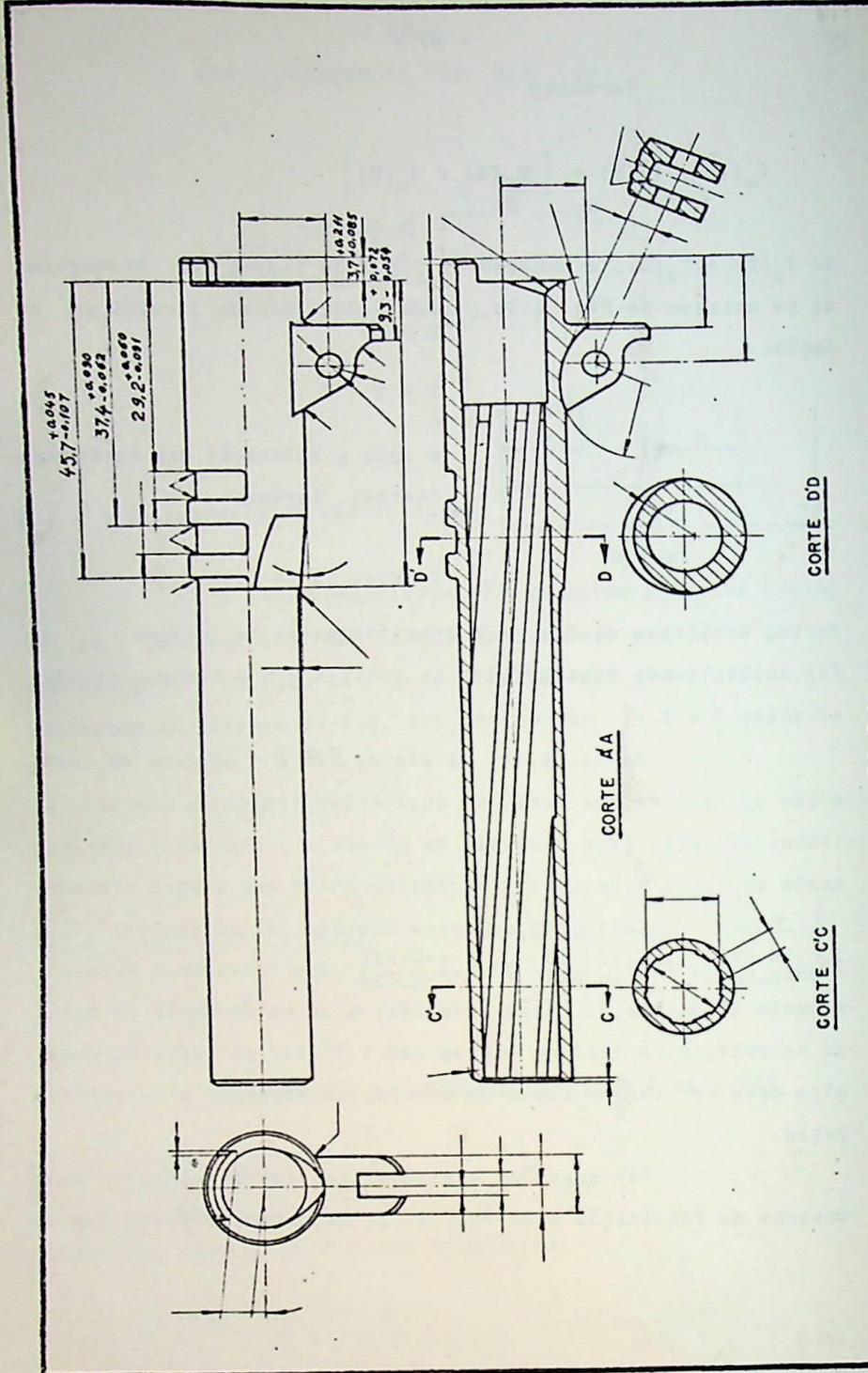


FIG. 6.11

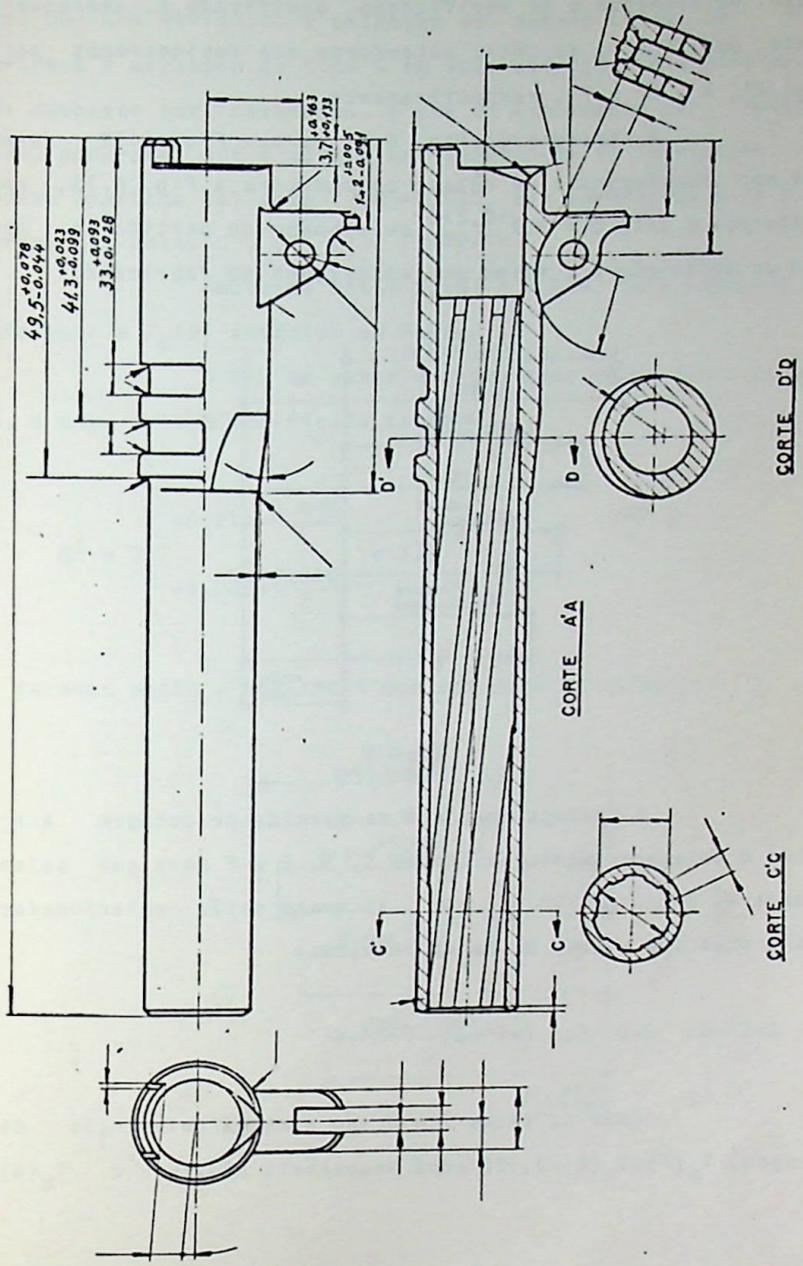


FIG. 6.12

cotas citadas anteriormente tiveram seu ponto de partida de cotagem, de usinagem e de verificação, modificado e, consequentemente, modificadas as cotas anteriores que designaremos agora por C', D', E' e F', respectivamente.

A passagem da Fig. 6.11 para a Fig. 6.12 será feita por transferência de cotas, como mostra a Fig. 6.13, em que aparece a cota G =  $3,7^{+0,211}_{+0,085}$  cujo ponto de partida no desenho de definição é o mesmo que no desenho de fabricação.

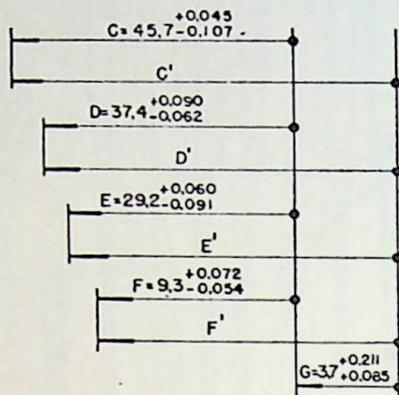


FIG. 6.13

A mudança do ponto de partida de cotagem acarretará o desaparecimento das cotas C, D, E e F para que sejam criadas as cotas C', D', E' e F', as quais estão relacionadas duas a duas com a cota G, pelas relações:

$$C=C'-G; \quad D=D'-G; \quad E=E'-G; \quad F=F'-G$$

Como as cotas F e G têm a mesma tolerância de usinagem,  $T_u(F)=T_u(G)=0,126$  será necessário diminuir a  $T_u(G)$

para que a transferência seja possível, mas de uma quantidade tal que não dificulte a usinagem das demais cotas. Se desdobramos a usinagem da Cota G em duas operações elementares, uma de desbaste por fresamento, e uma de acabamento por retificação, poderemos dar à cota G uma tolerância de fabricação bastante apertada tal como  $T_f(G)=0,030$ , com benefícios para a usinagem das cotas C', D', E' e F'.

Adotando então  $T_f(G) = 0,030$ , isto importou em diminuir a  $T_u(G)$  anterior em 0,096.

A fim de obter a mesma cota média que a da cota G, a nova cota G modificada será:

$$G^* = 3,7 + 0,211 - \frac{0,096}{2} + 0,163 = 3,7 + 0,085 + \frac{0,096}{2} + 0,133$$

e teremos então a Fig. 6.14 que nos dará as relações:

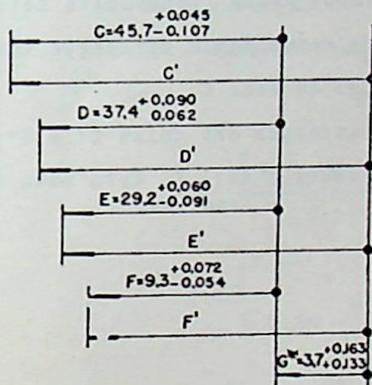


FIG. 6.14

$$C=C'-G^*; \quad D=D'-G^*; \quad E=E'-G^*; \quad F=F'-G^*$$

Aplicando nessas relações as condições limites, obteremos as cotas:

$$C' = 49,5 \begin{array}{l} +0,078 \\ -0,044 \end{array}; \quad D' = 41,3 \begin{array}{l} +0,023 \\ -0,099 \end{array};$$

$$E' = 33 \begin{array}{l} +0,093 \\ -0,028 \end{array}; \quad F' = 13,2 \begin{array}{l} +0,005 \\ -0,091 \end{array}$$

as quais estão colocadas na Fig. 6.12, que é o desenho de fabricação.

Se a transferência estiver correta, a usinagem das novas cotas  $G^*$ ,  $C'$ ,  $D'$ ,  $E'$ ,  $F'$  deverá reproduzir as cotas  $C$ ,  $D$ ,  $E$ ,  $F$ , pois sendo estas funcionais serão sem dúvida, verificadas quando do recebimento das peças fabricadas. Faremos apenas a verificação da cota  $C$ .

Da usinagem das cotas  $C'$  e  $G^*$  resultará uma cota que deverá ser igual à cota  $C$ . Esta cota  $C$  sendo resultante, teremos:

$$C = C' - G^*$$

A cota  $C$  será máxima quando  $C'$  for máxima e  $G^*$  mínima e  $C$  será mínima quando  $C'$  for mínima e  $G^*$  máxima. Tere

mos então:

$$C_{\max} = C'_{\max} - G^*_{\min} = 49,578 - 3,833 = 45,745$$

$$C_{\min} = C'_{\min} - G^*_{\max} = 49,456 - 3,863 = 45,593$$

que são exatamente os valores extremos da cota C no desenho de definição, Fig. 6.11.

Do que vimos podemos concluir que a cota que desaparece no desenho de definição passa a ser cota resultante no de fabricação, com uma dispersão igual à soma das tolerâncias das cotas que com ela formem uma relação algébrica qualquer.

É necessário não confundir cotas transferidas

com cotas resultantes. Assim, na

Fig. 6.15, as cotas C e D, resultantes da usinagem das cotas A e B, te

rão a variação calculada, tendo em vista o desalinhamento entre os e

xos:

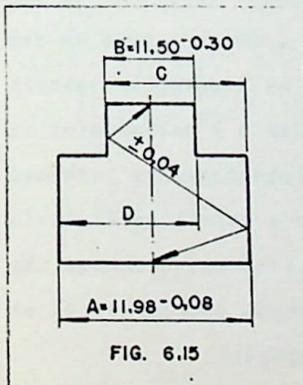


FIG. 6.15

$$C_{\max} = D_{\max} = \frac{A_{\max} + B_{\max}}{2} + e = \frac{11,98 + 11,50}{2} +$$

$$+ 0,04 = 11,78$$

$$\text{Como } D(C) = D(D) = \Sigma T_f = 0,30 + 0,08 + 0,08 = 0,46$$

então  $C_{\min} = D_{\min} = 11,32$

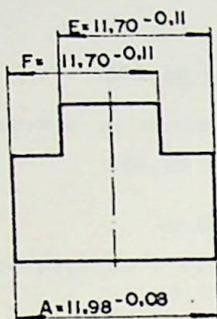


FIG. 6.16

enquanto que na cotagem da Fig. 6.16 as cotas  $E=F=11,70 - 0,11$  foram obtidas por transferência de cotas a partir da relação  $B = E - \frac{A-B}{2}$  dado que a cota B desaparece na nova cotagem. Note-se que o valor do desalinhamento não entra no cálculo de E.

## CAPÍTULO VII

### DIMENSIONAMENTO DE FABRICAÇÃO

Esse dimensionamento consiste na determinação das cotas de fabricação e suas tolerâncias nos produtos intermediários, a partir de um processamento estabelecido.

O dimensionamento é feito através da carta de tolerâncias, a qual constitui um meio de provisão para que as operações elementares, tal como tenham sido planejadas no processamento, satisfaçam às tolerâncias da peça, indicadas no desenho de definição. A carta mostra as dimensões, as tolerâncias e o material a ser removido em todo o processamento, apresentando-as de forma ordenada, clara e compreensível. Além disso, a carta facilita a verificação e a revisão quando necessária, além de servir como referência durante as discussões acerca de um processamento estabelecido.

Vejamos inicialmente algumas definições que serão necessárias ao entendimento do modo de elaborar a carta de tolerâncias.

#### 1 - Cotas de fabricação

São as que definem, para cada operação ele

mentar, a parte usinada a partir do ponto de partida de usinagem. Servem para regular o ferramental e para verificação da operação.

## 2 - Cotas de condição

São as cotas obtidas no dimensionamento funcional e que devem ser atendidas através as cotas de fabricação. As cotas de condição podem ser:

- (a) - as do desenho de definição;
- (b) - a espessura mínima;
- (c) - a cota método.

## 3 - Espessura mínima

É a menor espessura que a ferramenta deverá cortar.

## 4 - Cota método

Essa cota é fixada previamente:

- seja para impor certos limites à cota de fabricação, como por exemplo, uma garantia entre uma superfície usinada e uma superfície bruta;
- seja para condicionar certa cota de fabricação, como por exemplo, um raio mínimo na ferramenta.

No primeiro caso, a cota método é obtida com uma combinação de cotas de fabricação, no segundo, é direta.

## 5 - Cota Direta

É a cota de condição realizada com uma só cota de fabricação.

## 6 - Cadeia de cotas

É a cadeia fechada, formada pela cota de condição e as cotas de fabricação.

Uma cadeia de cotas poderá ser:

- cadeia de cálculo, caso tenhamos que calcular uma cota de fabricação conhecendo as outras e a cota de condição; é o caso de transferência de cotas.
- cadeia de verificação, quando conhecendo as cotas de fabricação, desejamos verificar a cota de condição.

Na Fig. 7.1,  $A=50^{+0,1}$  e  $B=20^{+0,25}$  são as cotas de condição e  $A=50^{+0,1}$  e C, as cotas de fabricação, sendo C a cota de fabricação a determinar.

Da Fig. 7.1, tiramos:

$$B = A - C$$

$$B_{\max} = A_{\max} - C_{\min}$$

$$B_{\min} = A_{\min} - C_{\max}$$

que nos darã:

$$C_{\max} = 30,15$$

$$C_{\min} = 29,85 \quad \therefore \quad C = 30^{+0,15}$$

sendo

$$T_u(B) = T_f(A) + T_f(L) \quad \therefore \quad T_f(C) = T_u(B) - T_f(A)$$

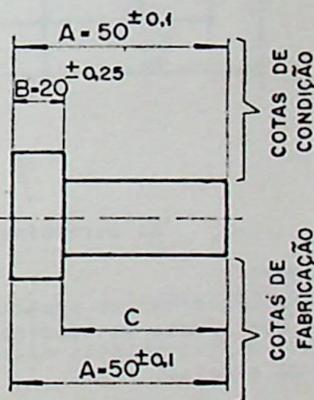


FIG. 7.1

Usando as cadeias de cotas poderemos obter os mesmos resultados como mostram as Figs. 7.2 e 7.3.

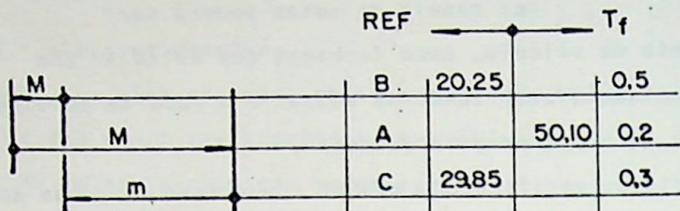


FIG. 7.2

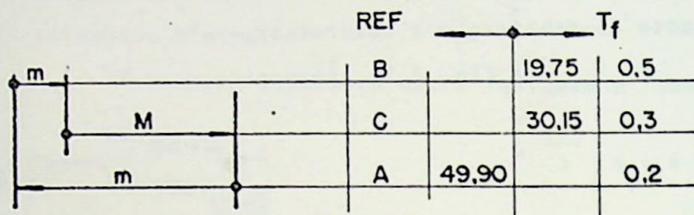


FIG. 7.3

Na determinação da cadeia de cotas devemos observar:

- (a) - que a cota de condição seja colocada na parte superior da cadeia.
- (b) - qual o sentido da cota de condição e das cotas de fabricação.

O sentido da cota de condição é arbitrado:

- para a direita, caso a cota de condição seja mínima (  $\overset{m}{\leftarrow}$  )
- para a esquerda, caso a cota de condição seja máxima (  $\overset{M}{\rightarrow}$  )

Em cada cadeia devemos percorrer o circuito na direção fixada pela cota de ~~fabricação~~ <sup>condição</sup>. Se a cota de condição e a cota de fabricação forem do mesmo tipo (ambas máximas ou mínimas), elas terão o mesmo sentido.

Numa cadeia, a soma das cotas com um mesmo sentido é igual à soma das cotas com sentido contrário.

(c) - que a cota de condição pode ser tomada indiferentemente no máximo ou no mínimo;

(d) - cada cota de condição deve ser objeto de uma cadeia;

(e) - não pode haver mais que uma condição por cadeia.

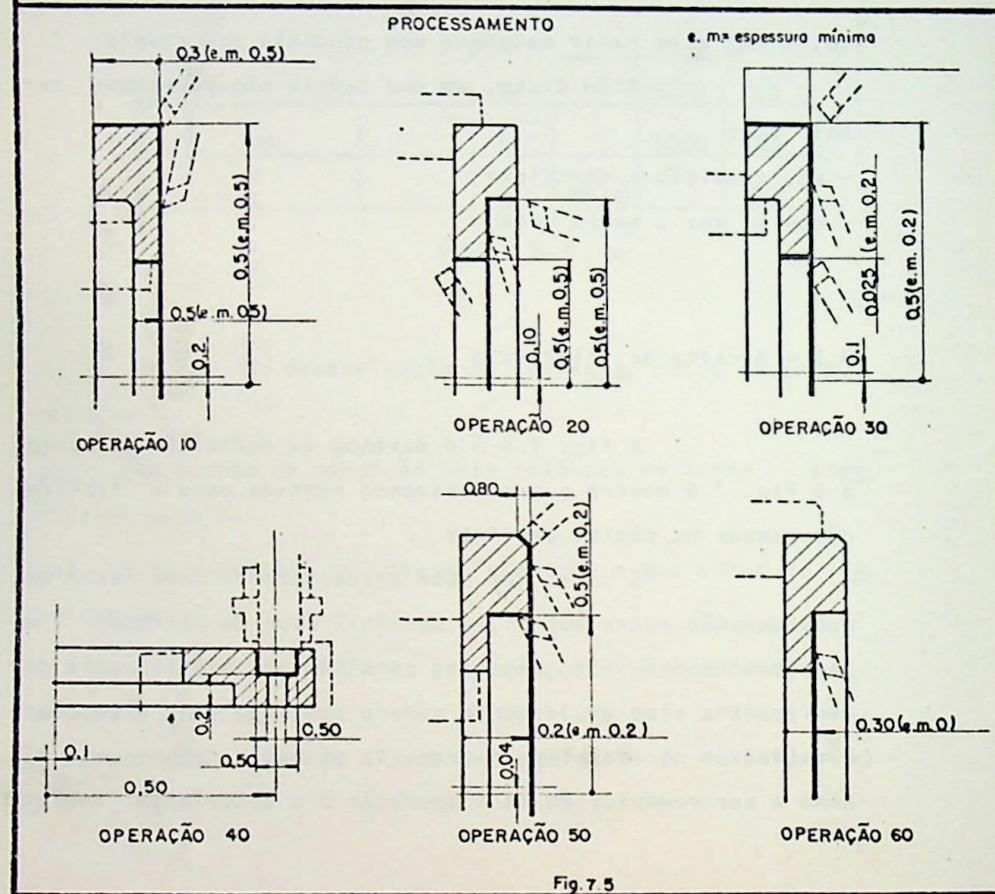
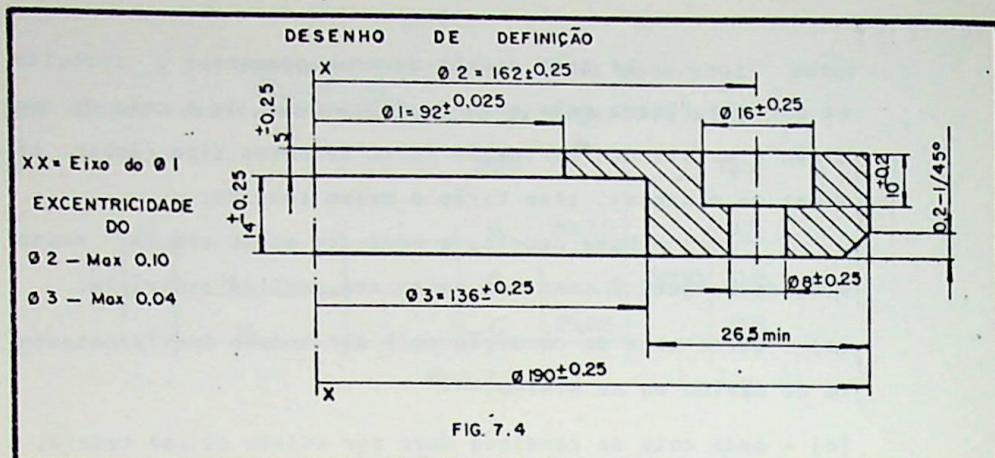
Além disso, em uma cadeia não poderemos ter mais que:

- uma condição a verificar;
- uma só vez a mesma cota.

#### 8.1.- A carta de tolerância

A Fig. 7.4 é o desenho de definição da peça e a Fig. 7.5 mostra o processamento adotado para a fabricação, ambas na página seguinte.

É claro que este processamento deve levar em consideração entre outras, a possibilidade de calibrar a peça sem removê-la da máquina, possibilitar a utilização de ferramentas simples, o menor número possível de operações elementares necessárias, o tempo de usinagem, espessura mínima a ser removida em cada operação e a tolerância indica



da para a obtenção de cada cota de condição.

Para a peça da Fig. 7.4 teremos que utilizar duas cartas, uma para determinação das cotas longitudinais e outra para as cotas diametraís de fabricação.

Na carta são indicadas:

(A) - As cotas de condição, colocadas num esboço da peça, sendo que:

- cada cota recebe um número de ordem, lançado na coluna referência (REF).

- os limites das cotas são lançados nas colunas M(máximo) e m(mínimo).

- as tolerâncias, lançadas na coluna,  $(T_f)$ .

(B) - As cotas método

Essas cotas, quando existentes, são dispostas abaixo das cotas de condição, cada uma recebendo um número de ordem em prosseguimento aos das cotas de condição.

(C) - A espessura mínima

Essa espessura mínima é acrescentada ao perímetro da peça, recebendo um número de ordem em prosseguimento aos das cotas método.

De um modo geral, para espessura mínima são tomados os valores:

0,30 a 1,00 para desbaste

0,10 a 0,30 para acabamento

0,02 a 0,05 para retificação

e, com mais precisão, tendo em vista o número de cotas de fabricação de acordo com a tabela a seguir:

Número de cotas de fabricação	2 a 3		Mais de 3
	Face	Raio	Face
desengrossamento	0,5	0,5	0,2
desbaste após desengrossamento	0,3	0,5	0,2
Semi-acabamento	0,2	0,3	0,1
Acabamento	0,1	0,2	0,05
1. <sup>a</sup> retificação	0,05	0,1	0
2. <sup>a</sup> retificação	0	0	0

(D) - As condições da peça bruta.

Essas condições são indicadas por linhas de cotas tendo por referência o ponto de partida da primeira operação elementar.

(E) - Cotas de fabricação

Essas cotas são colocadas abaixo das cotas da peça bruta, segundo a ordem indicada pelas operações elementares, o ponto indicando o ponto de partida, e a flexa, a superfície trabalhada.

Se duas ou mais dimensões são usinadas numa mesma operação elementar, elas devem ser registradas na carta na ordem em que são obtidas com relação ao tempo. O sentido destas cotas não tem nenhuma referência com o sentido das mesmas cotas nas cadeias de cotas.

Para as cotas de fabricação, devemos indicar:

- o número da operação, e a ordem da cota, na coluna REF.

- a tolerância concedida no processamento, na coluna  $T_f$ . O valor dessa tolerância poderá ser modificado durante as sucessivas verificações.

(F) - As cadeias de cotas.

As cadeias são estabelecidas na ordem fixada pelas condições (A), (B) e (C), o número de ordem da coluna REF, servindo para numerar a cadeia.

Estabelecidas todas as cadeias, deve-se proceder ao cálculo em duas etapas:

1.<sup>a</sup> - verificação da tolerância da cota de condição.

O método exposto anteriormente permite controlar imediatamente se o processamento satisfaz a tolerância da cota de condição. Caso não satisfaça, será necessário:

- modificar a tolerância fixada no processamento, ou
- modificar o processamento a fim de obter cadeias mais simples, ou
- modificar as cotas de condição.

2.<sup>a</sup> - Determinação da cota de fabricação

Após a verificação da tolerância, o cálculo da cota será imediato analisando a cadeia na qual ela é a única incôgnita.

Podem ser arredondadas as cotas de fabricação calculadas nas cadeias de condição espessura mínima. Por exemplo, uma espessura mínima de 0,2 e uma cota de fabricação calculada como 25,62 max, podem ser modificadas para 0,22 min e 25,6 max.

A carta de tolerâncias referente às dimensões longitudinais da peça da Fig. 7.4 a ser fabricada de acordo com o processamento indicado na Fig. 7.5, está calculada nas páginas 105 e 106, sendo:

- Cotas de condição: REF. de 1 a 4
- Cotas método: nenhuma
- Espessura mínima: REF. de 5 a 10
- Condições da peça bruta: REF.  $G_1$  e  $G_2$
- Cotas de fabricação: REF. de A-a k
- Cadeias de cotas: REF. 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9 e 10
- Cotas diretas: REF. 2 e 4

Para o cálculo das cotas diametrais deve-se levar em conta que:

- a) o cálculo é efetuado sobre o raio
- b) as cotas correspondentes aos raios são sempre cotas diretas.

Havendo excentricidades previstas no desenho de definição estas são utilizadas como cotas de fabricação na carta de tolerâncias das medidas diametrais, sendo representadas no processamento por seu valor máximo.

A carta de tolerâncias referente às dimensões diametrais, está calculada nas páginas 107 e 108, sendo sua disposição idêntica à mostrada na carta referente às dimensões longitudinais.

Para a carta das dimensões diametrais, temos:

- cotas de condição: REF. de 1 a 9
- cota método: nenhuma

CARTA DE TOLERANCIAS MEDIDAS LONGITUDINAIS		PRODUTO Nº 18 PEÇA Nº 18026	FOLHA 1/2		
	REF.	m	M	T <sub>f</sub>	CADEIA
	1	13,75	14,25	0,50	
	2	4,75	5,25	0,50	
	3	9,80	10,20	0,40	
	4	0,20	1,00	0,80	
	5	0,50			
	6	0,50			
	7	0,15			
	8	0,20			
	9	0			
	10	0,50			
	G 1	7,60			5
	G 2	13,85			6
	OP. 10				
	A	6,60	7,10	0,50	10
	B	19,65	19,95	0,30	7
	OP. 20				
	C	5,80	6,10	0,30	9
	OP. 30				
	D	19,30	19,50	0,20	8
	OP. 40				
	E	9,30	9,50	0,20	3
OP. 50					
F	18,90	19,10	0,20	1	
H	0,20	1,00	0,80	4	
OP. 60					
K	4,85	5,15	0,30	1 e 2	
	I	13,75		0,50	
	F	18,90		0,20	
	K		5,15	0,30	
	2	direto	K	0,30	
	3	9,80		0,40	
	E		9,50	0,20	
	D	19,30		0,20	

MEDIDAS LONGITUDINAIS		PRODUTO Nº 18 PEÇA Nº 18026		FOLHA 2/2		
		REF	m	M	T <sub>f</sub>	CADEIA
		4	Direta	H	0,80	
		5	0,50			
		A		7,10	0,50	
		G 1	7,60			
		6	0,50			
		G 2	13,85			
		A	6,60		0,50	
		B		19,95	0,30	
		7	0,15	0,65	0,50	
		D		19,50	0,20	
		B	19,65		0,30	0,50
		8	0,20	0,60	0,40	
		D	19,30		0,20	
		F		19,10	0,20	0,40
		9	0	1,10	1,10	
		C	5,80		0,30	
		B			0,30	
		D	19,30		0,20	
		K		5,15	0,30	1,10
		10	0,50	1,30	0,80	
		A	6,60		0,50	
		C		6,10	0,30	0,80

CARTA DE TOLERANCIAS MEDIDAS DIAMETRAIS		PRODUTO Nº 18 PEÇA Nº 18026		FOLHA 1/2	
L	W	m	M	T <sub>f</sub>	C
190 <sup>±0,25</sup>	X	1	94,875	95,125	0,25
162 <sup>±0,25</sup>		2	80,875	81,125	0,25
16 <sup>±0,25</sup>		3	15,75	16,25	0,50
8 <sup>±0,25</sup>		4	7,75	8,25	0,50
136 <sup>±0,25</sup>		5	67,875	68,125	0,25
26,5 <sup>min.</sup>		6	26,5		
92 <sup>+0,025</sup>		7	46	46,025	0,025
		8		0,0	
		9		0,04	
		10	0,5		
		11	0,2		
		12	0,5		
		13	0,2		
		14	0,2		
		15	0,5		
		B1		44,65	15
		B2		66,485	10
		B3	96,475		12
		OP. 10			
		A	-0,2	0,2	0,4
		B	95,525	95,775	0,25
		OP. 20			
		C	-0,1	0,1	0,2
		D	45,45	45,7	0,25
		E	67,285	67,535	0,25
		OP. 30			
		F	-0,1	0,1	0,2
		G	94,875	95,125	0,25
		H	46	46,025	0,025
		OP. 40			
		J	-0,1	0,1	0,2
		K	80,875	81,125	0,25
		OP. 50			
		L	-0,04	0,04	0,08
		M	67,875	68,125	0,25
		1	direta	G	
		2	direta	K	
		5	direta	M	
		6	26,710		0,58
		G	94,875		0,25
		L		0,04	0,08
		M		68,125	0,25

MEDIDAS DIAMETRAIS		PRODUTO PEÇA	Nº 18 Nº 18026	FOLHA 2/2	
LL	UF	m	M	T <sub>f</sub>	C
X		7	direta	H	
		8	direta	J	
		9	direta	L	
		10	0,5		
		E	67,285		0,25
		C	-0,1		0,2
		A	-0,2		0,4
		B2		66,485	
		11	0,2	0,98	0,78
		M	67,875		0,25
		L	-0,04		0,08
		F	-0,1		0,2
		E		67,535	0,25
					0,78
		12	0,5		
		B3	96,475		
		A		0,2	0,4
		B		95,775	0,25
		13	0,2	1,1	0,90
		B	95,525		0,25
		C		0,1	0,2
		F		0,1	0,2
		G		95,125	0,25
					0,90
		14	0,2	0,63	0,43
		H	46		0,025
		F	-0,1		0,2
		D		45,7	0,25
					0,43
		15	0,5		
		D	45,45		0,25
		C	-0,1		0,2
		A	-0,2		0,4
		B1		44,65	
X					

- espessura mínima: REF. de 10 a 15
- condição da peça bruta: REF. B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>
- cotas de fabricação: REF. de A a M
- cotas diretas: REF. 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8 e 9

Do cálculo das cartas de tolerâncias resulta o dimensionamento de fabricação de acordo com o processamento de fabricação utilizado, Fig. 7.6, na página 110 e o desenho de fabricação, indicado na Fig. 7.7, abaixo.

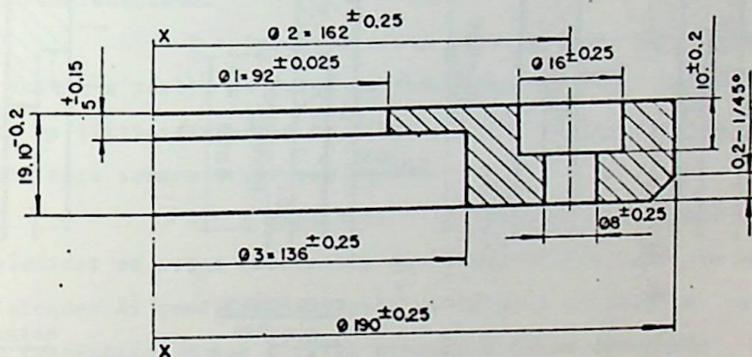


FIG. 7.7

# PROCESSAMENTO DE FABRICAÇÃO

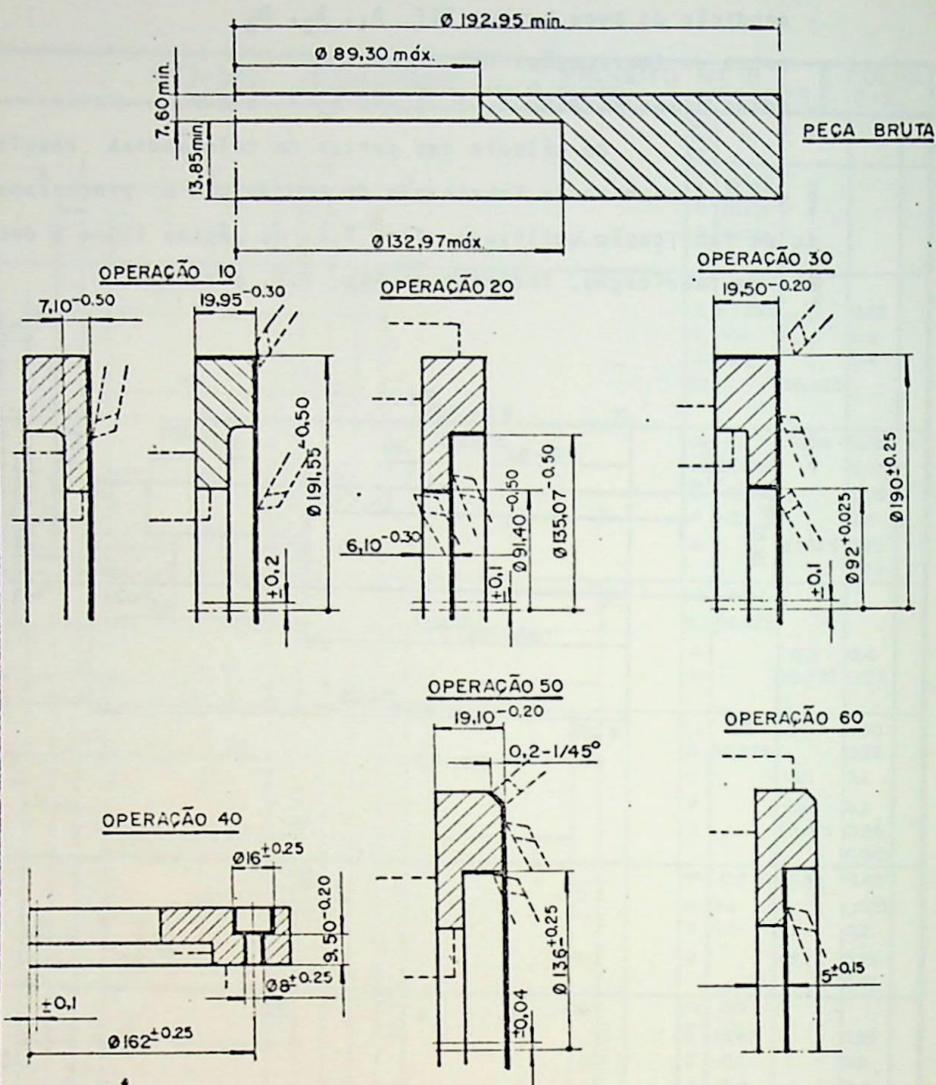


FIG. 7.6

## CONCLUSÕES

1 - Do projeto de um conjunto, tendo em vista suas condições de funcionamento, resultará uma folga chamada de funcionamento.

2 - Tendo em vista considerações de duração e custo, a partir da folga de funcionamento são estabelecidos os limites extremos da folga para usinagem, de modo que esta seja sempre menor que aquela.

3 - A partir da folga para usinagem, são estabelecidas as cotas funcionais das peças do conjunto, de modo a atender às condições extremas da folga e diminuir o custo da fabricação, o que é feito através o dimensionamento funcional quando então são determinadas as tolerâncias para usinagem das cotas funcionais e das demais cotas do desenho de definição. Apenas o dimensionamento funcional na base das condições limites garante a perfeita intermutabilidade das peças do conjunto.

4 - Como cada peça será obtida após uma série de operações elementares, executadas segundo um processo estabelecido, surge a necessidade de um novo dimensionamento, chamado de fabricação, onde as cotas obtidas e suas

tolerâncias, são chamadas cotas de fabricação e tolerâncias de fabricação ( $T_f$ ). Se o processamento permitir obter cotas e tolerâncias de fabricação idênticas às do desenho de definição, este será também desenho de fabricação, sendo que normalmente isso não ocorre.

Comparando a Fig. 7.4 na página 100 com a Fig. 7.7 na página 109, vemos que o desenho de definição indica as cotas para usinagem 5 e 14, com tolerâncias de usinagem iguais a 0,5 em ambas, ou seja,  $T_u(5) = 0,5$  e  $T_u(14) = 0,5$ .

Do dimensionamento de fabricação resultaram as cotas de fabricação 5 e 19,1 com tolerâncias de fabricação iguais a 0,3 e 0,2 respectivamente, ou seja,  $T_f(5) = 0,3$  e  $T_f(19,1) = 0,2$ . Assim, o dimensionamento de fabricação modificou a cota inicial, fazendo desaparecer a cota  $14 \pm 0,25$  e criando a cota  $19,1^{-0,2}$  sem nenhum prejuízo para o funcionamento do conjunto ao qual a peça pertença, pois estabelecendo as condições limites na expressão que relaciona as cotas de fabricação  $5^{+0,15}$  e  $19,1^{-0,2}$ , reproduziremos a cota 14 em seus valores máximo e mínimo.

## BIBLIOGRAFIA

1. BARROWS, M. D. - *Probability Methods for establishing tolerances*, *Product Engineering*, Nov. 1949.
2. BUCCOLA, CHARLES - *Determining dimensional relationships in Complex parts*, *Product Engineering*, Nov. 1949.
3. BOLZ, ROGER W - *Production processes, their influence on design* - Prenton Publishing Co.
4. Buckingham, Earle - *Dimensions and tolerances for mass production*, *Industrial Press Inc.*, 1954
5. Doyle, L - *Tool Engineering*, *Prentice Hall Inc.* 1950
6. Eary and Johnson - *Process Engineering*, *Prentice Hall Inc.*, 1963
7. Foster, Lowell W. - *A treatise on geometric and positional tolerancing*, *Honeywell Inc.*, 1965
8. Fortini, E.T. - *Dimensioning for interchangeable manufacture*, *Industrial Press Inc.*, 1967.
9. Gadzala, John L - *Dimensional control in precision manufacturing*, *Mc Graw Hill Co.*, 1964
10. Grant, E.L. - *Statistical Quality Control*, *McGraw Hill Co.* 1964
11. Hanka, W. - *Vectors simplify tolerance analysis*, *Product Engineering*, May, 1957.

