

PMR 2201

Laboratório de Projetos

TOLERÂNCIAS



Intercambialidade

- Possibilidade de se tomar uma peça qualquer, provinda de um lote de peças semelhantes, e poder utilizá-la na montagem de um conjunto mecânico, sem necessidade de qualquer trabalho de ajustagem ou usinagem secundária, para que o mecanismo funcione de acordo com o projeto.

Porém...

- A peça real diverge da projetada (ideal) em suas dimensões e em sua forma geométrica.
- De acordo com a técnica de fabricação, a superfície apresenta diferentes rugosidades, que são chamadas de erros microgeométricos.
- Os desvios de forma geométrica geral (retilineidade, cilindricidade, planicidade) são denominados erros macrogeométricos.

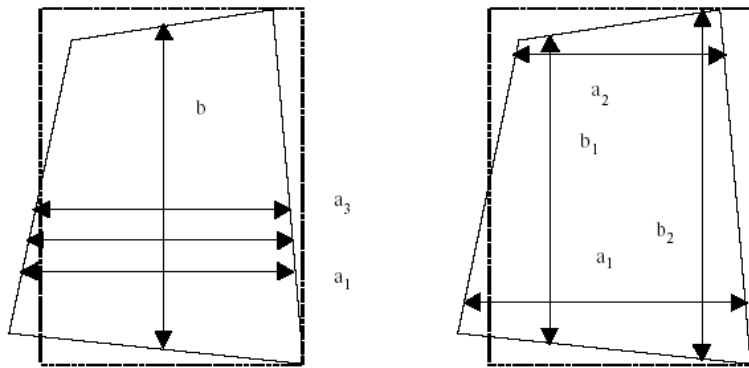


Fig. 8.21 – Erros macrogeométricos em peças

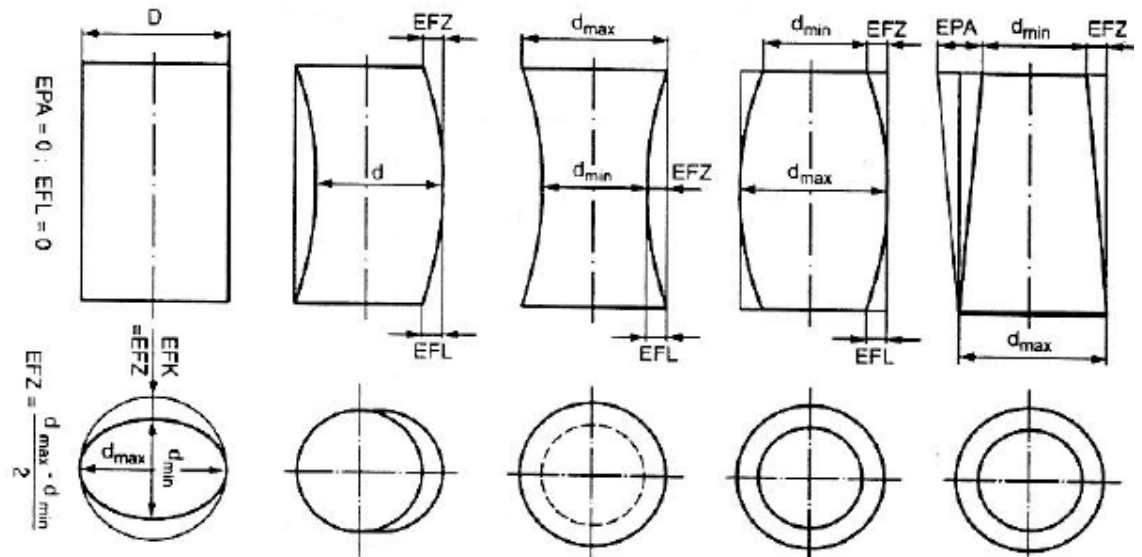


Fig. 8.22 – Erros macrogeométricos em peças cilíndricas

Para limitar os erros de fabricação, têm-se:

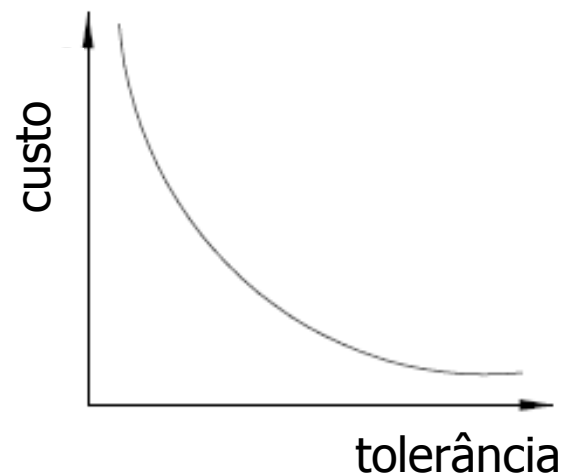
Tolerâncias dimensionais são os limites dentro dos quais as dimensões da peça podem variar sem que isso prejudique o seu funcionamento e intercambiabilidade.

- A tolerância dimensional permite apenas limitar os erros dimensionais.

Tolerâncias geométricas são os limites dentro dos quais a posição e a forma geométrica podem variar sem que haja comprometimento do funcionamento e intercambiabilidade das peças.

- A tolerância geométrica permite limitar erros de orientação, de posição, de forma dos elementos, entre outros.

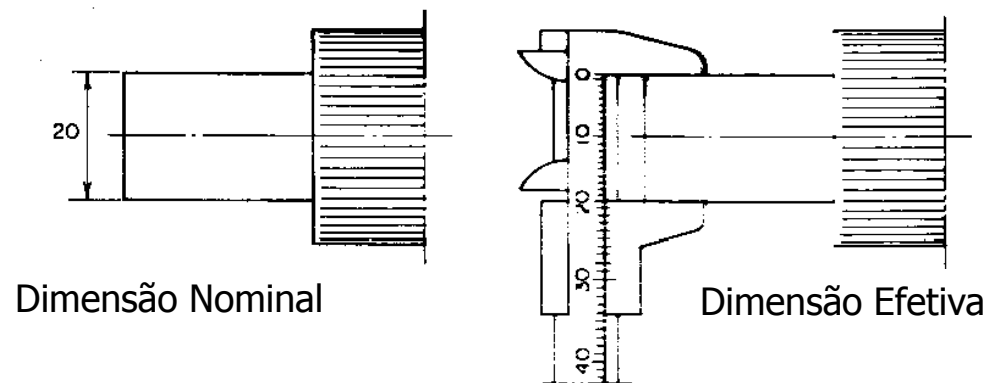
- Quanto maior é a precisão exigida, maior é o custo.
- As tolerâncias especificadas podem condicionar o processo de fabricação a usar e vice-versa.
- Na prática, dimensões exatas não são possíveis nem necessárias.
- A correta e adequada especificação das tolerâncias é essencial para se garantir a correta montagem de componentes.



Terminologia de Tolerâncias

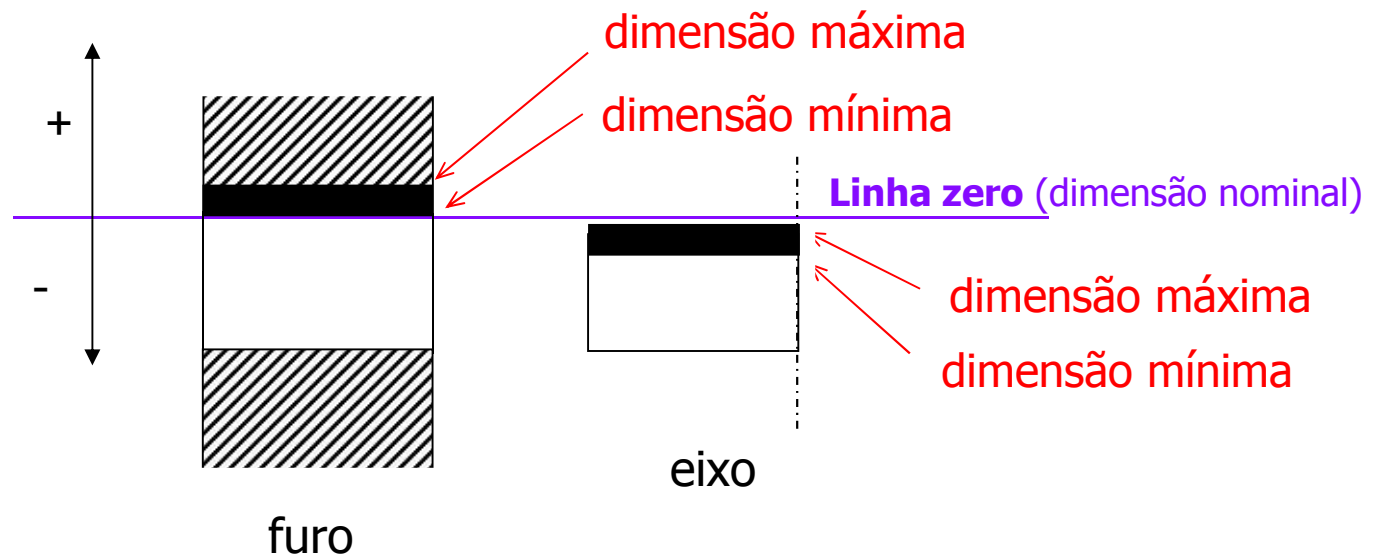
Dimensão nominal: dimensão indicada no desenho.

Dimensão efetiva (real): dimensão que se obtém medindo a peça.



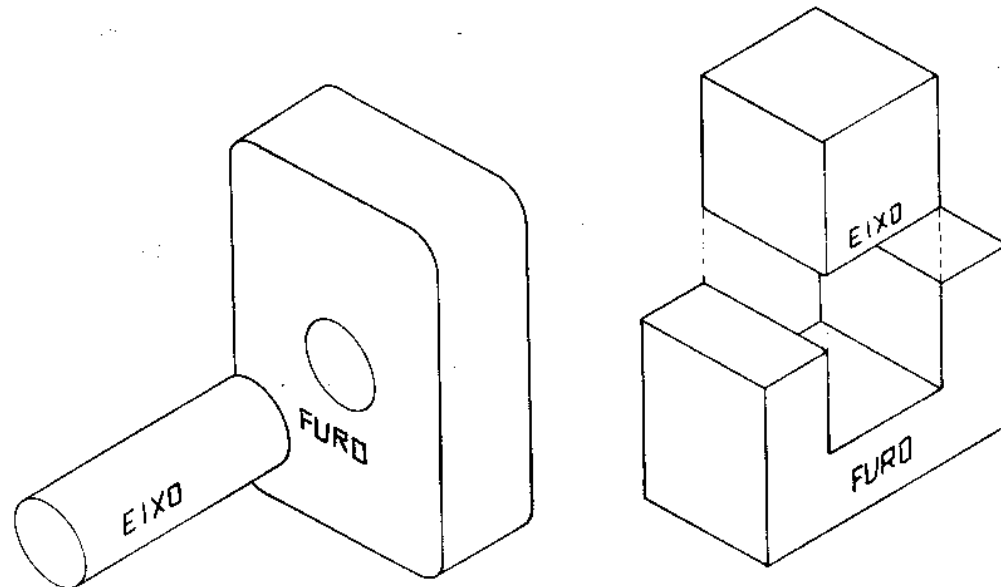
- Dimensões limites: valores máximo (dimensão máxima) e mínimo (dimensão mínima) admitidos para a dimensão efetiva.
- Tolerância ou campo de tolerância: variação entre a dimensão máxima e a dimensão mínima.

- **Afastamentos**: diferença entre as dimensões limite e nominal:
 - afastamento inferior: diferença entre dimensão mínima e nominal.
 - afastamento superior: diferença entre dimensão máxima e nominal.
- **Linha zero**: linha que fixa a dimensão nominal e serve de origem aos afastamentos.

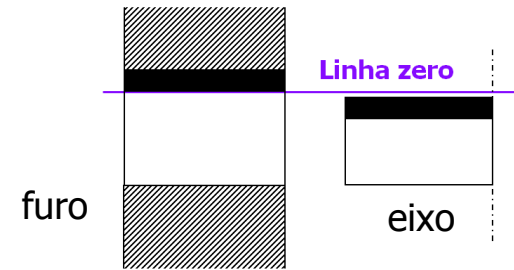


Eixo e Furo

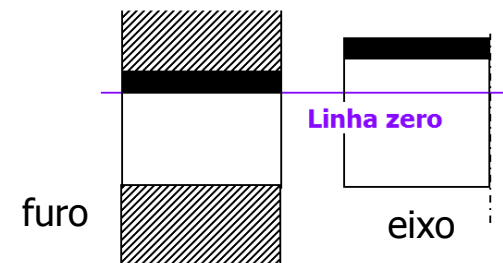
- **EIXO**: todo elemento cuja superfície externa destina-se a encaixar-se na superfície interna de outro elemento.
- **FURO**: todo espaço delimitado por uma superfície interna de uma peça e destinado a alojar o eixo.



Folga e interferência

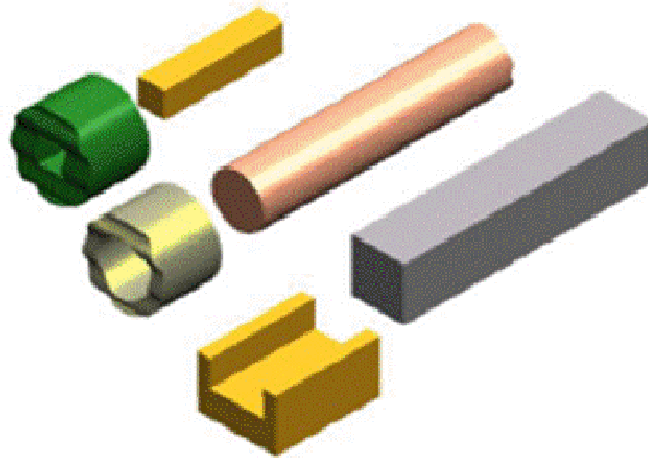


- **Folga ou jogo**: diferença entre as dimensões do furo e do eixo, quando o eixo é menor que o furo.
 - Folga máxima: diferença entre as dimensões máxima do furo e mínima do eixo.
 - Folga mínima: diferença entre as dimensões mínima do furo e máxima do eixo.
- **Interferência**: diferença entre as dimensões do eixo e do furo, quando o eixo é maior que o furo.
 - Interferência máxima: diferença entre as dimensões máxima do eixo e mínima do furo.
 - Interferência mínima: diferença entre as dimensões mínima do eixo e máxima do furo.



Ajuste ou acoplamento

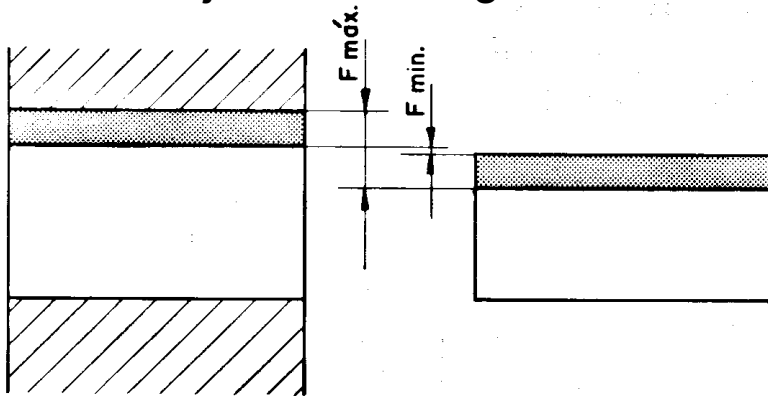
- Comportamento de um eixo em um furo, ambos da mesma dimensão nominal, caracterizado pela folga ou interferência apresentada.



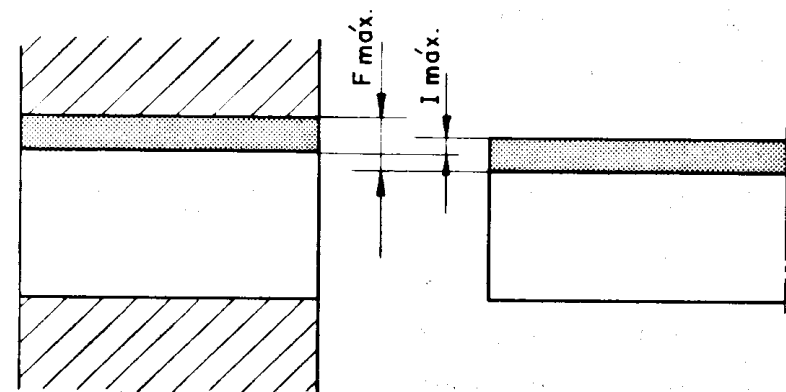
Classes de ajustes

- São previstas três classes de ajustes ou acoplamentos:

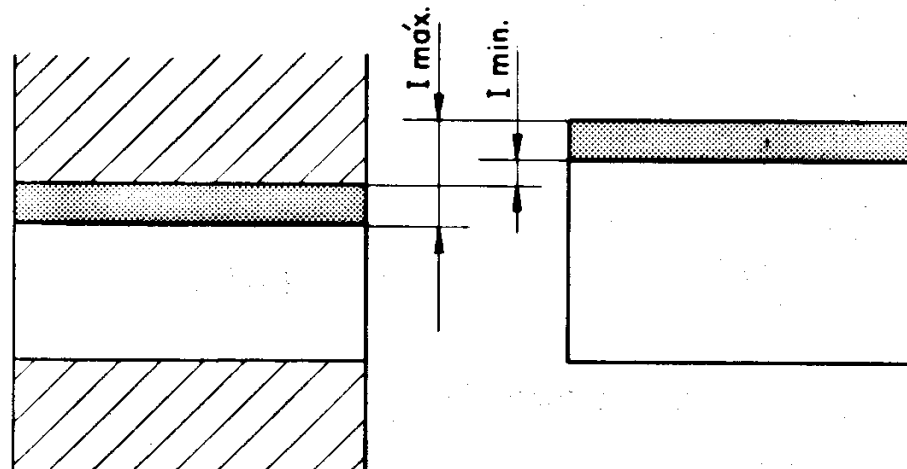
Ajuste com folga



Ajuste indeterminado



Ajuste com interferência



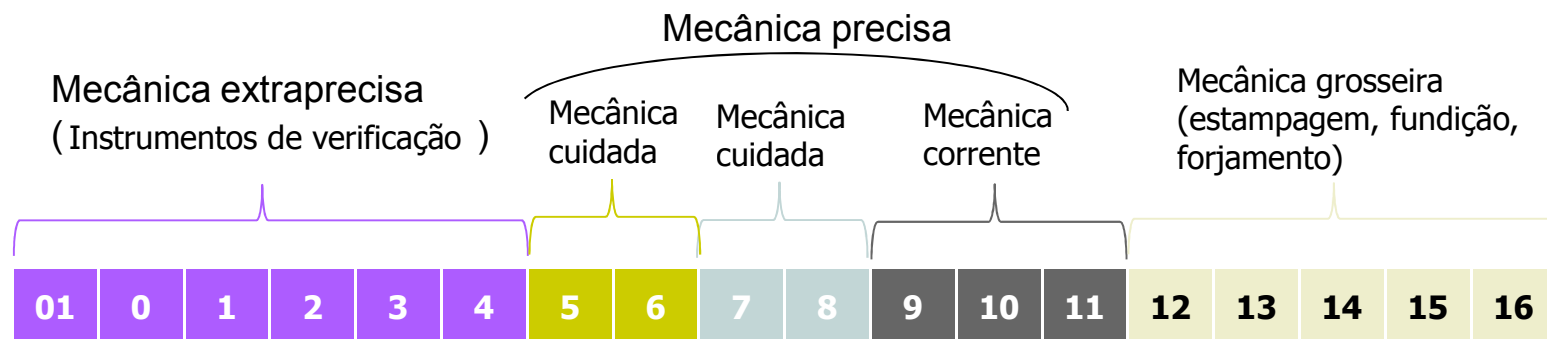
Sistema ISO

O valor da tolerância depende de três fatores:

- 1) Cota nominal.
- 2) Qualidade de trabalho.
- 3) Posição do campo de tolerância em relação à linha de zero (importante nas montagens).

Qualidade de trabalho

- Para cada grupo de dimensões (medidas nominais), têm-se 18 qualidades de trabalho, denominadas como *tolerâncias fundamentais*.



A cada uma das qualidades de trabalho corresponde um valor de tolerância.

Campo de tolerância

Grupos de dimensões	Qualidade IT (μm)																	
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
≥ 1	0.3	0.5	0.8	1.2	2.0	3	4	6	10	14	25	40	60					
$> 1 \leq 3$	0.3	0.5	0.8	1.2	2.0	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
$> 3 \leq 6$	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
$> 6 \leq 10$	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
$> 10 \leq 18$	0.5	0.8	1.2	2.0	3.0	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
$> 18 \leq 30$	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
$> 30 \leq 50$	0.6	1.0	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
$> 50 \leq 80$	0.8	1.2	2.0	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
$> 80 \leq 120$	1.0	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
$> 120 \leq 180$	1.2	2.0	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
$> 180 \leq 250$	2.0	3.0	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2700
$> 250 \leq 315$	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
$> 315 \leq 400$	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
$> 400 \leq 500$	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

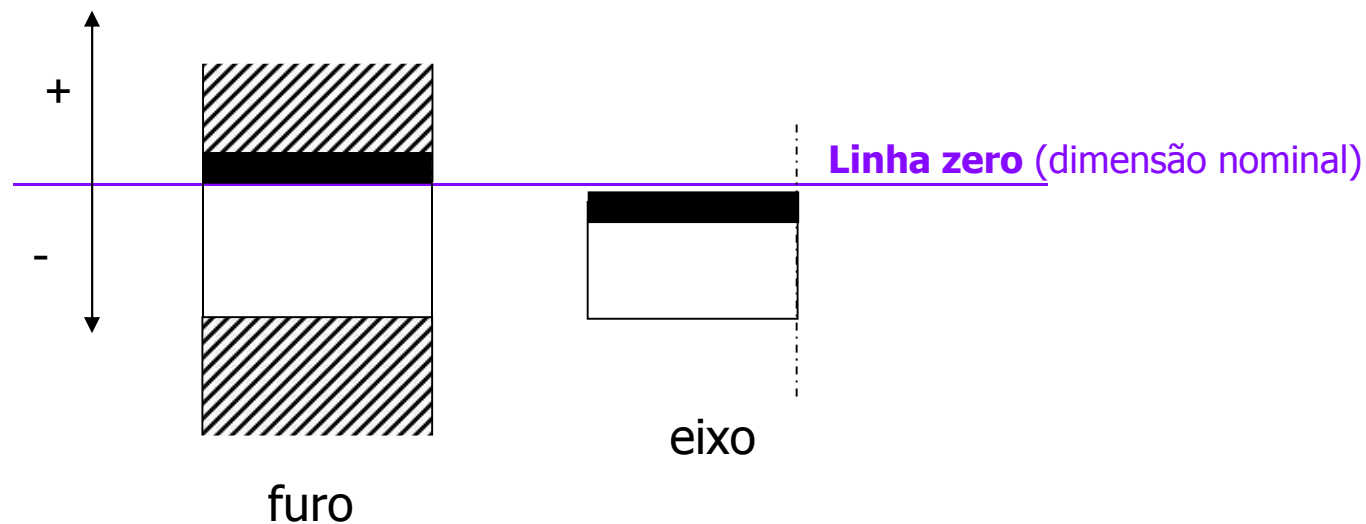
Grupos de dimensões

e

Qualidade de trabalho IT (*International Tolerance*)

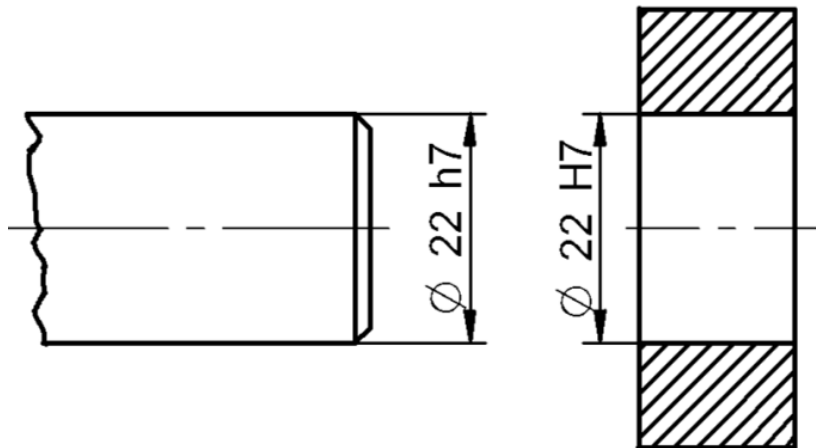
Ajuste

- A qualidade de trabalho, juntamente com a dimensão nominal, determina o valor do campo de tolerância, **mas não define a posição deste campo em relação à linha zero. Isso depende do *ajuste requerido*.**



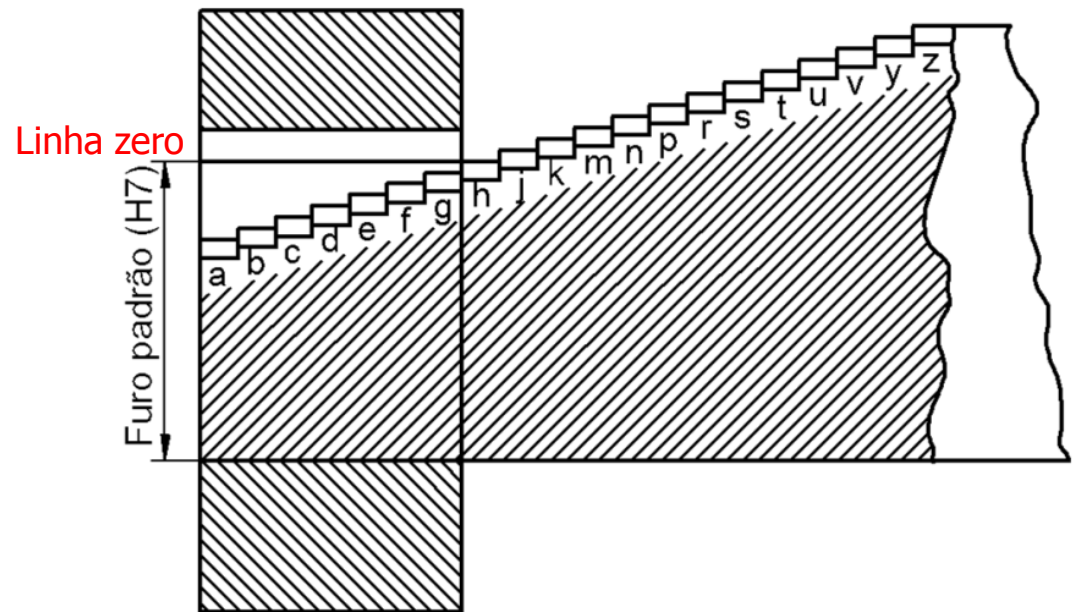
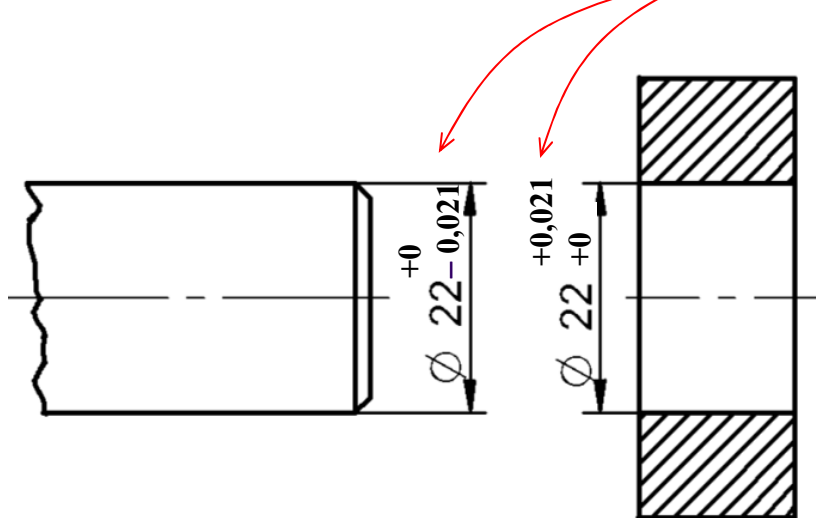
Ajuste Delizante Justo

Campo de tolerância

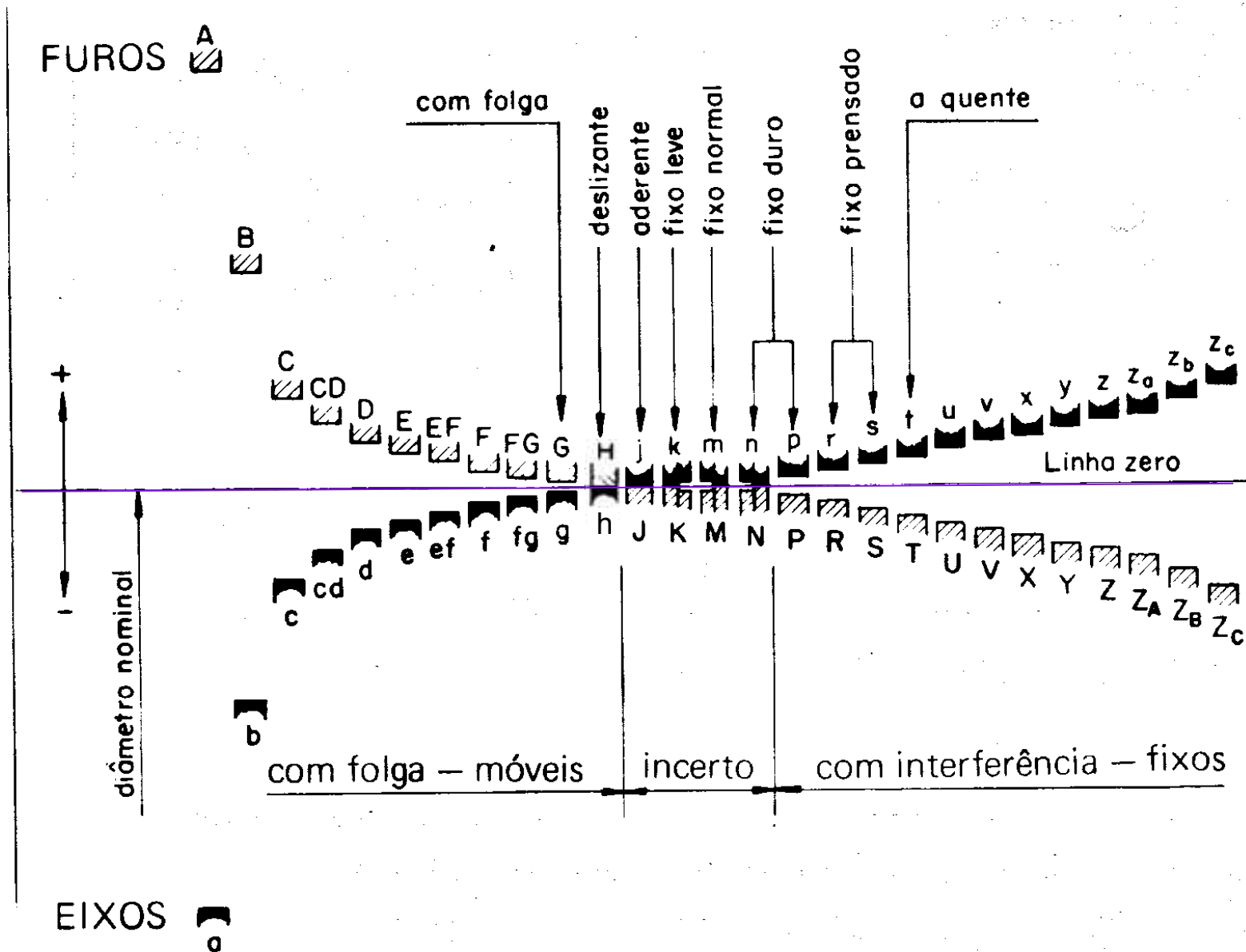


Grupos de dimensões	Qualidade									
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8
≥ 1	0.3	0.5	0.8	1.2	2.0	3	4	6	10	14
$> 1 \leq 3$	0.3	0.5	0.8	1.2	2.0	3	4	6	10	14
$> 3 \leq 6$	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	5	8	12	18
$> 6 \leq 10$	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	9	15	22
$> 10 \leq 18$	0.5	0.8	1.2	2.0	3.0	5	8	11	18	27
$> 18 \leq 30$	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33

Posição do campo de tolerância

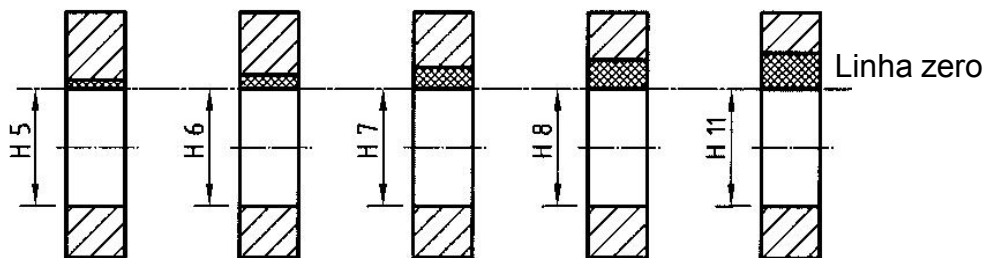


Posição do campo de tolerância



Sistemas de ajuste

- **Furo-base** furo com afastamento inferior nulo

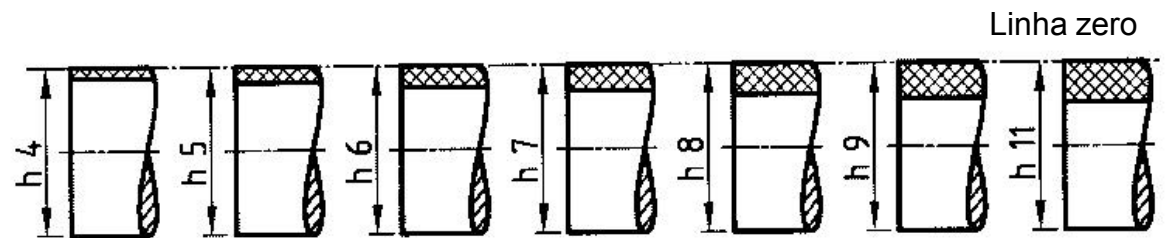


Furos serão usinados com dimensões maiores ou menores que os eixos, dependendo dos ajustes necessários.



- **Eixo-base** eixo com afastamento superior nulo

Eixos serão usinados com dimensões maiores ou menores que os furos, dependendo dos ajustes necessários.

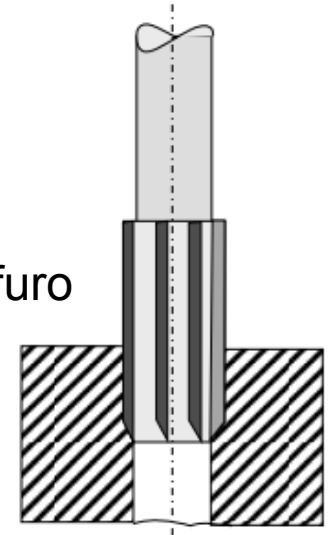


Normalmente, é mais fácil para fabricação, variar medidas de eixos que de furos, portanto, em princípio, deve-se preferir o sistema furo-base.

Alargadores



Alargar furo



São ferramentas de corte usadas em acabamento de furos que fornecem medidas exatas, permitindo ajustes de eixos, pinos, buchas.

Processos de Alargamento

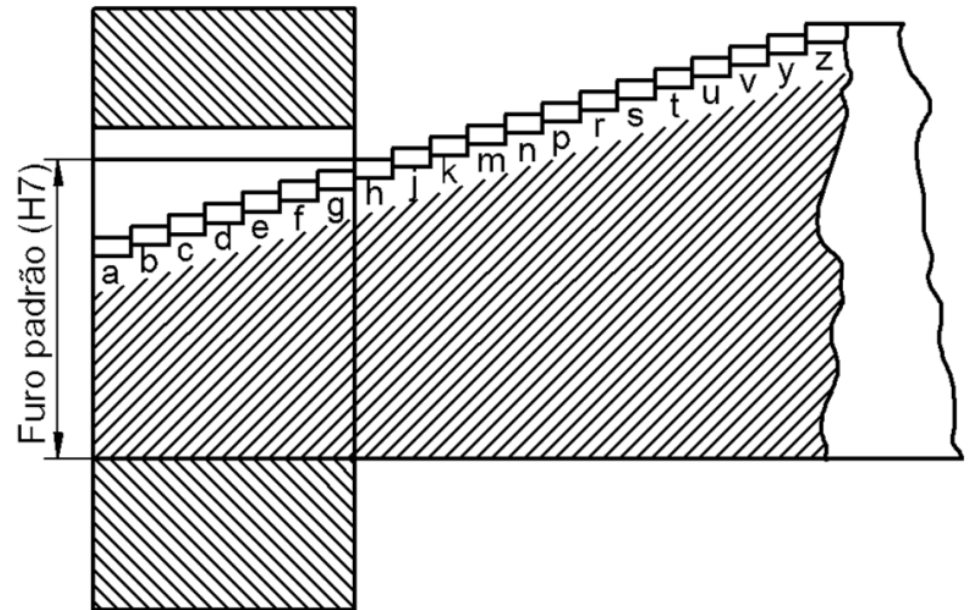


Escolha do sistema de ajustes depende de

- Exigências de execução da peça
- Consumo de material
- Custo de fabricação e compra de ferramentas e calibradores
- Montagem e colocação em serviço
- Máquinas e ferramentas disponíveis (custo)

Tipos de ajustes com folga

- Guias precisas, acoplamento sem jogo perceptível
furo-base H eixo h, g
eixo-base h furo H, G
- Perda mínima por atrito e máxima capacidade de carga
furo-base H eixo f, e, d
eixo-base h furo F, E, D
- Grandes jogos
furo-base H eixo c, b, a
eixo-base h furo C, B, A



Ajustes indeterminados

- Possuem afastamentos muito próximos à linha zero e são, portanto, sempre de grande precisão (qualidade até ~ 8).

Furo base H eixo j,k,m,n

k,j : tendência ao jogo




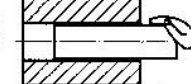



m,n : tendência a interferência

- São utilizados quando é necessária grande precisão de giro, mas pequena folga ou interferência é permitida.

Ajustes com interferência

- Quanto maior a diferença entre os diâmetros, mais forte deverá ser o esforço para o ajuste entre as duas peças.
Temos:
 - por prensagem de uma peça em outra.
 - por esquentamento da peça exterior.
 - por esfriamento da peça interior.
 - por aplicação simultânea dos dois casos anteriores.
- Aperto mínimo: transmissão de momentos e esforço longitudinal.
- Aperto máximo: tensões admissíveis dos materiais em acoplamento.

Ajustes recomendados

Tipo de ajuste	Exemplo de ajuste	Extra preciso	Mecânica precisa	Mecânica média	Mecânica ordinária	Exemplo de aplicação
Livre	 Montagem à mão, com facilidade	H6e7	H7e7 H7e8	H8e9	H11a11	Peças que necessitam de folga por força de dilatação, mau alinhamento.
Rotativo	 Montagem à mão, pode girar sem esforço	H6f6	H7f7	H8f8	H10d10 H11d11	Peças que giram ou deslizam com boa lubrificação. Eixos, mancais.
Deslizante	 Montagem à mão com leve pressão	H6g5	H7g6	H8g8	H10h10 H11h11	Peças que deslizam ou giram com grande precisão. Anéis de rolamento.
Deslizante justo	 Montagem à mão, necessita algum esforço	H6h5	H7h6	H8h8		Encaixes fixos de precisão, partes lubrificadas deslocáveis à mão. Punções, guias.
Aderente forçado leve	 Montagem com auxílio de martelo	H6j5	H7j6	-	-	Peças que necessitam de frequente desmontagem. Polias, engrenagens, rolamentos.
Forçado duro	 Montagem com auxílio de martelo pesado	H6m5	H7m6	-	-	Conjunto possível de desmontagem sem deterioração das peças.
À pressão com esforço	 Com auxílio de balancim	H6p6	H7p6	-	-	Peças impossíveis de serem desmontadas sem deterioração. Buchas à pressão.

Tolerâncias gerais (medidas métricas)

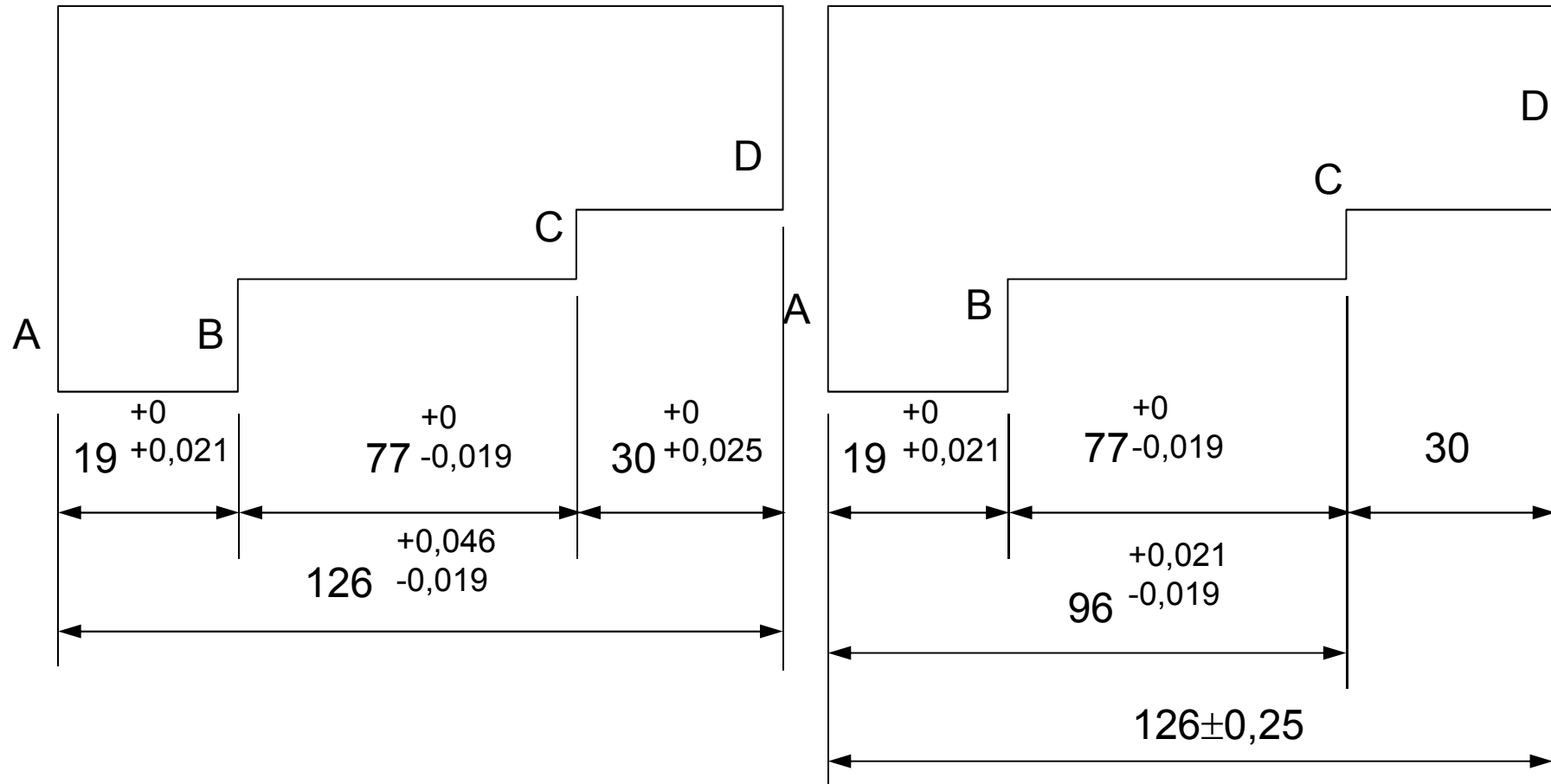
- ANSI:

Basic dimensions, mm	VARIATIONS IN MILLIMETERS						
	0.5 to 3	Over 3 to 6	Over 6 to 30	Over 30 to 120	Over 120 to 315	Over 315 to 1000	Over 1000 to 2000
Permissible variations:							
Fine series	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5
Medium series	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2
Coarse series	...	±0.2	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3

- ISO:

Precisão	até 6 mm	acima de 6 até 30 mm	acima de 30 até 120 mm	acima de 120 até 315 mm	acima de 315 até 1000 mm	acima de 1000 até 2000 mm	acima de 2000 até 4000 mm
fina	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2,0
grosseira	± 0,5	± 1,0	± 1,5	± 2,0	± 3,0	± 4,0	± 6,0

Tolerâncias acumulativas

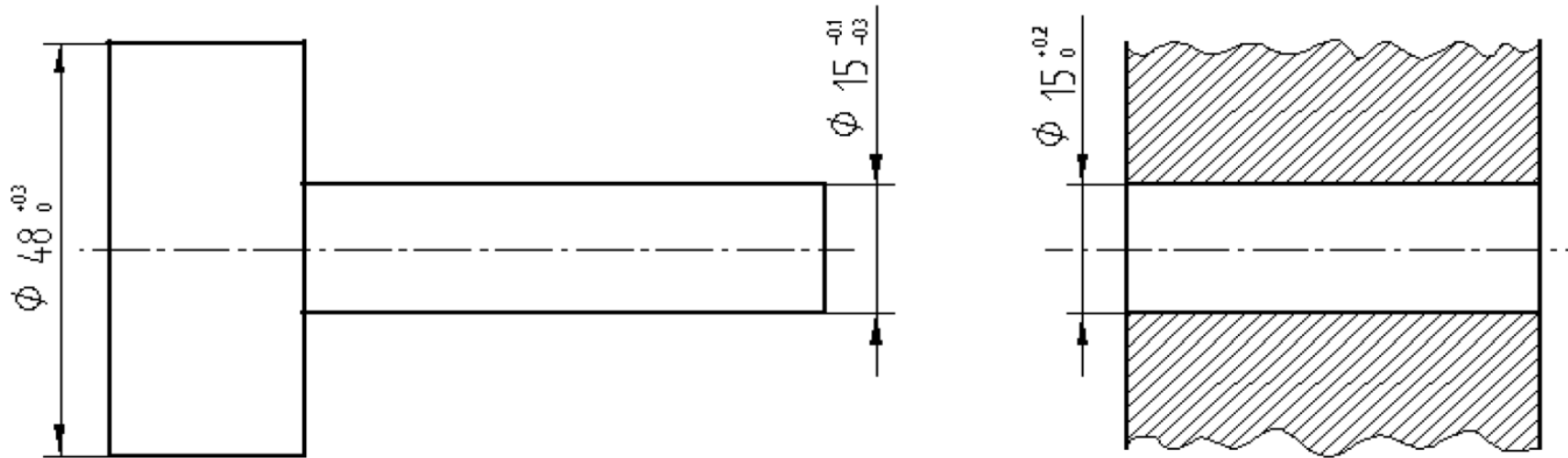


Vocês acham que a usinagem da peça dentro das **tolerâncias dimensionais** garante a montagem e a funcionalidade da mesma?

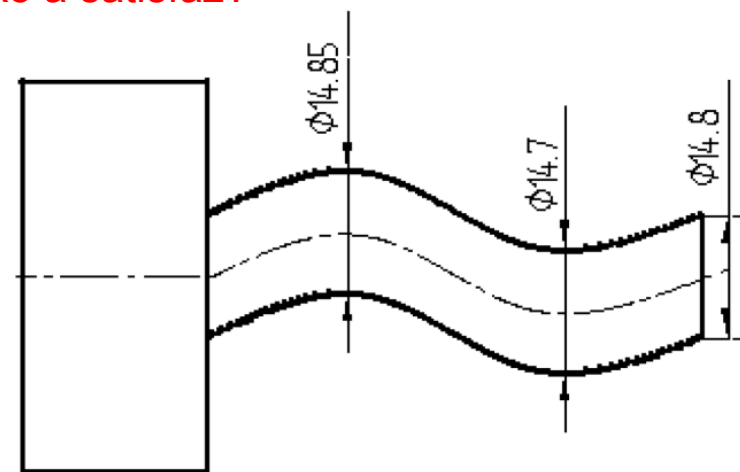
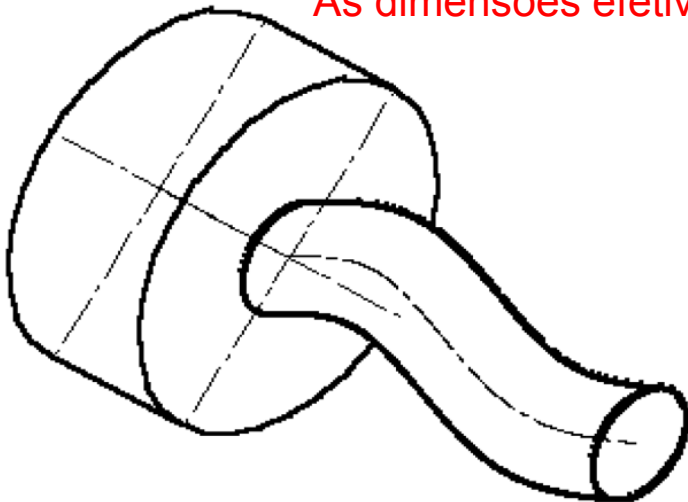
- E quanto a geometria da peça? Eixos são fabricados perfeitamente circulares? Superfícies são fabricadas perfeitamente paralelas ou ortogonais?
- E quanto a rugosidade?

A execução da peça dentro das tolerâncias dimensionais não garante, por si só, um funcionamento adequado.

Dada as tolerâncias dimensionais do eixo-furo

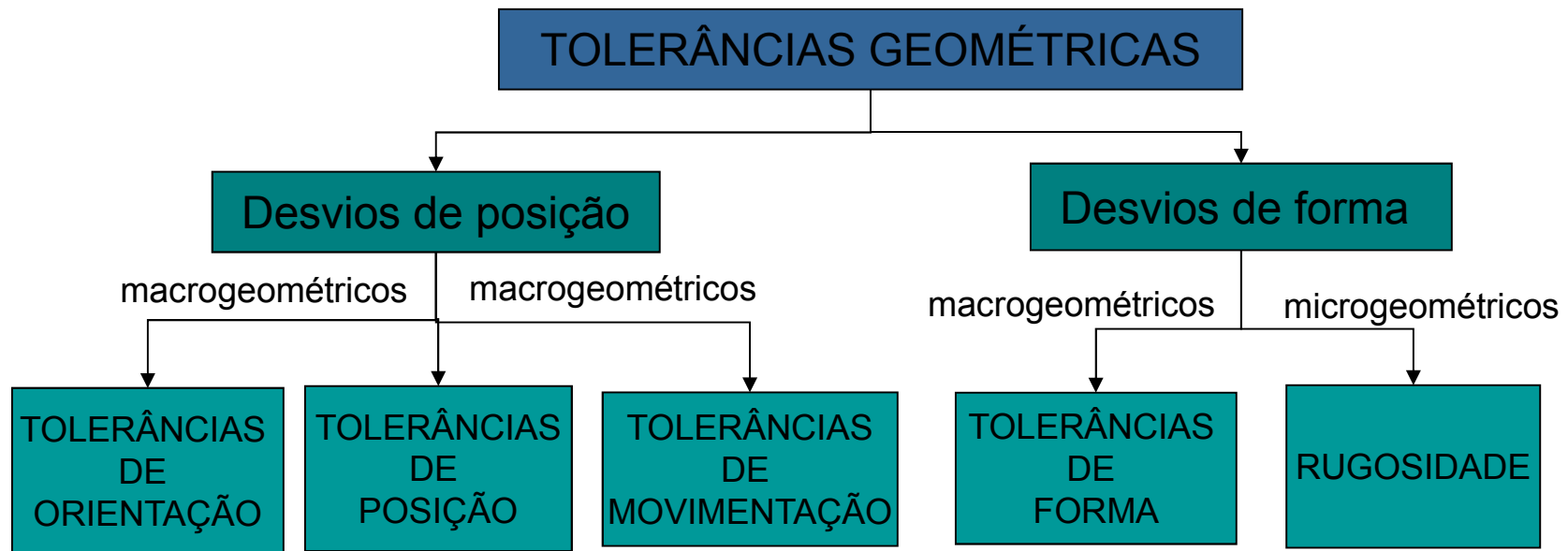


As dimensões efetivas abaixo a satisfaz?



É possível colocar o eixo no furo?


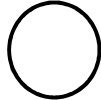


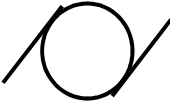

Tolerâncias geométricas



Desvios geométricos

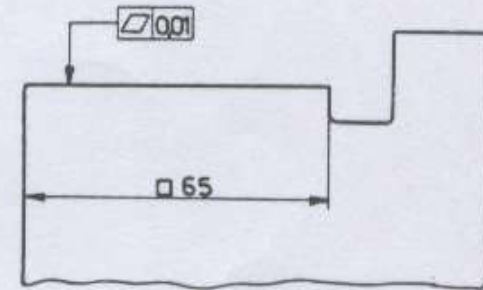
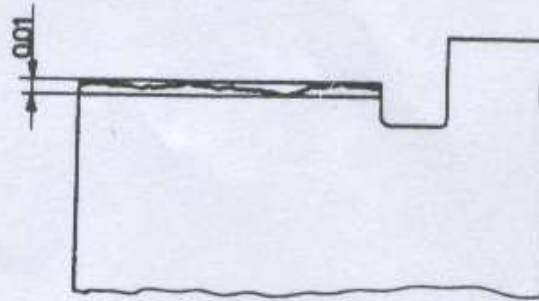
- Os desvios geométricos permissíveis para a peça são previamente indicados, aplicando-se tolerâncias geométricas;
- Tais desvios podem ser:
 - Macrogeométricos - *desvios macroscópicos* como retilineidade, planicidade, dimensões nominais;
 - Microgeométricos - desvios superficiais microscópicos como rugosidade.

Símbolos de tolerância de forma

De linhas	Denominação	Retilidade	Circularidade	Forma qualquer
	Símbolo			
De superfícies	Denominação	Planicidade	Cilindricidade	Superfície qualquer
	Símbolo			

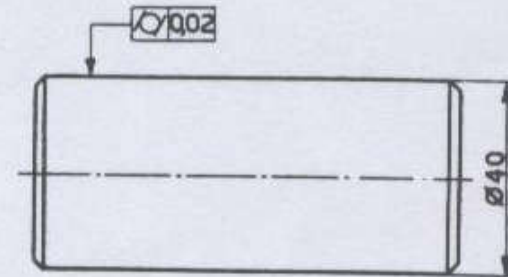
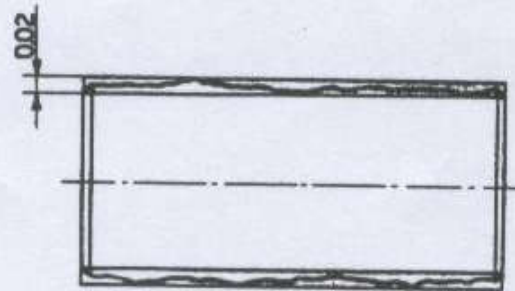
Planicidade:

a superfície real deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes no máximo, por exemplo, 0,01 mm entre si.



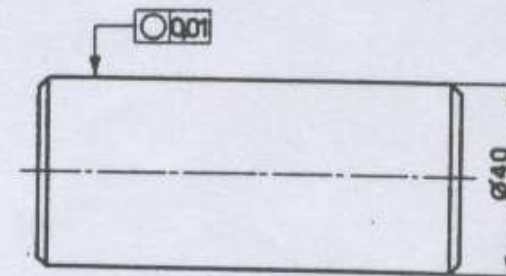
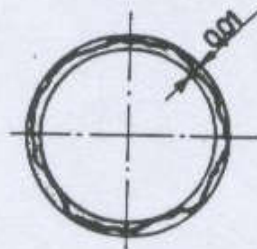
CILINDRICIDADE:

a superfície do cilindro real deve estar compreendida entre dois cilindros cujos raios diferem, por exemplo, de 0,02 mm.



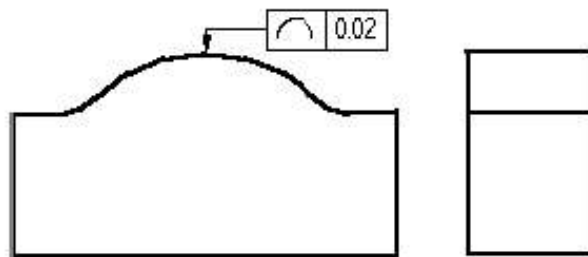
CIRCULARIDADE:

toda secção reta deve ter o contorno situado no interior de uma coroa circular de largura, por exemplo, 0,01 mm.



FORMA QUALQUER DE LINHA:

Indicação nos Desenhos

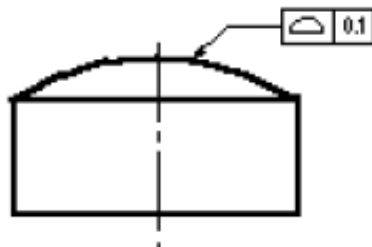


Interpretação

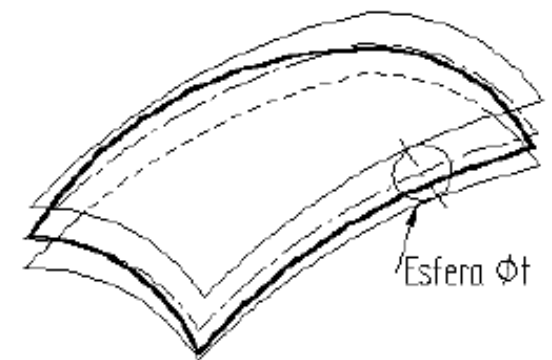
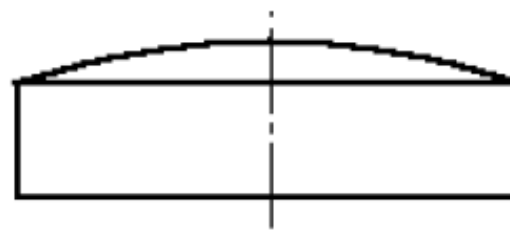


FORMA QUALQUER DE SUPERFÍCIE:

Indicação nos Desenhos

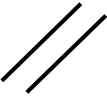
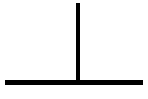
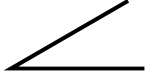


Interpretação

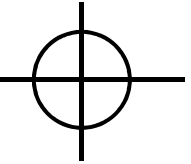
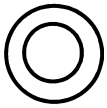



Símbolos

- Tolerâncias de orientação

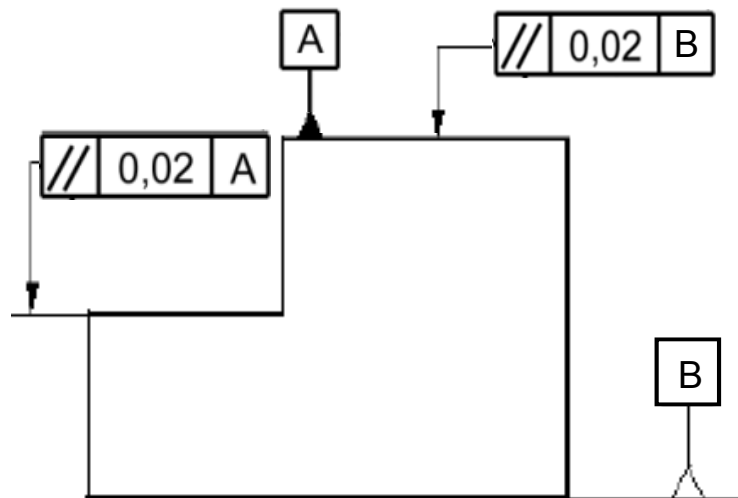
Denominação	Paralelismo	Ortogonalidade	Inclinação
Símbolo			

- Tolerâncias de posição

Denominação	Localização	Concentricidade e coaxialidade	Simetria
Símbolo			

Tolerâncias de orientação são definidas para um elemento, relativamente a outro elemento (**referencial**)

Identificação do referencial através de uma letra

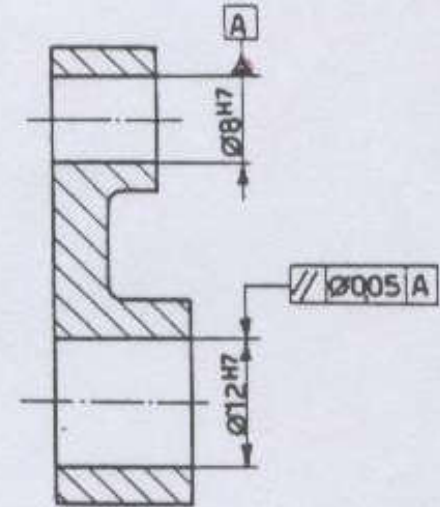
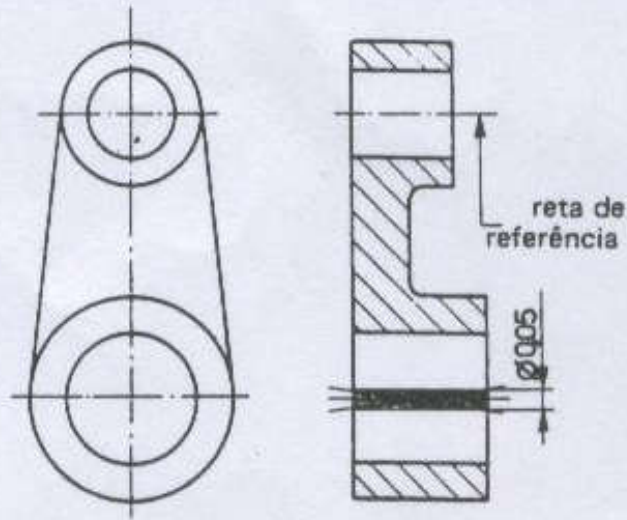


O Triângulo, que identifica o elemento do referencial, pode ser negrito ou não .

A letra, que identifica o referencial, é maiúscula e deve estar no interior de um retângulo.

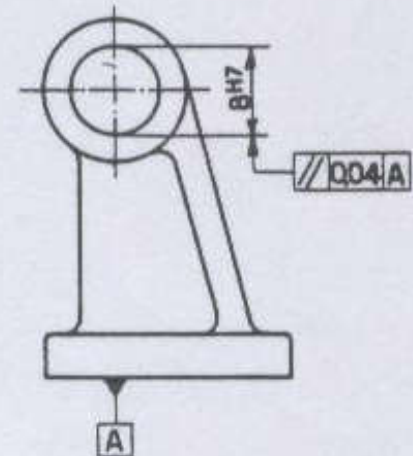
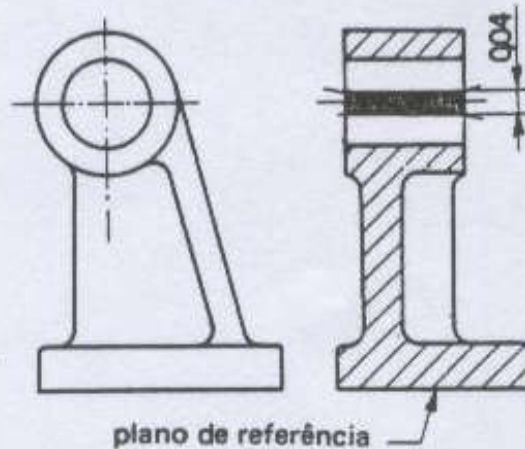
PARALELISMO:

o eixo do furo inferior deve estar compreendido em uma zona cilíndrica tendo diâmetro, por exemplo, de 0,05 mm paralela ao eixo superior A (que constitui a reta de referência).



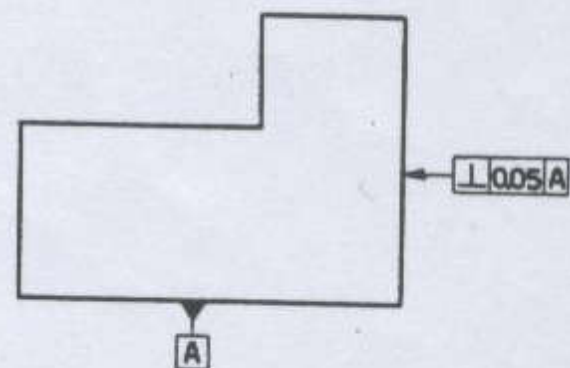
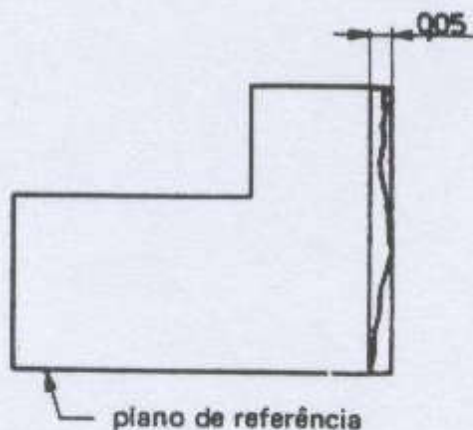
PARALELISMO:

o eixo do furo deve estar compreendido entre dois planos distantes, por exemplo, 0,04 mm e paralelos ao plano de referência A.



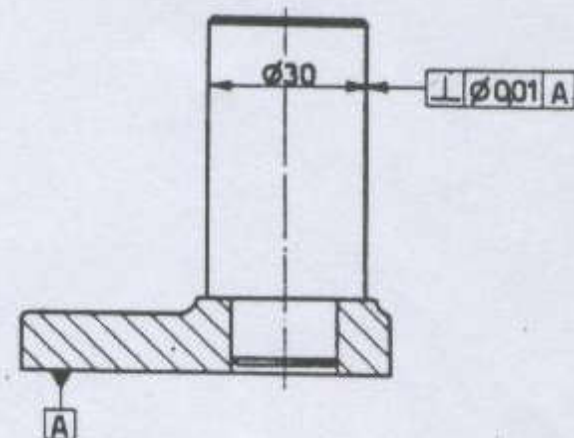
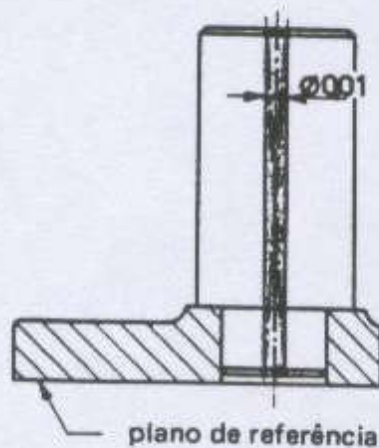
ORTOGONALIDADE:

a superfície vertical deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes entre si, por exemplo, de 0,05 mm e perpendiculares à superfície horizontal de referência A.



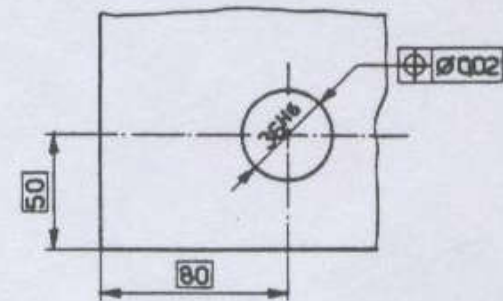
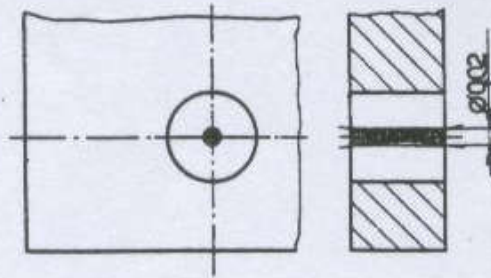
ORTOGONALIDADE:

o eixo do cilindro em cujo diâmetro é indicada a tolerância de orientação deve estar compreendido em uma zona cilíndrica de diâmetro, por exemplo, 0,01 mm perpendicular à superfície de referência A.



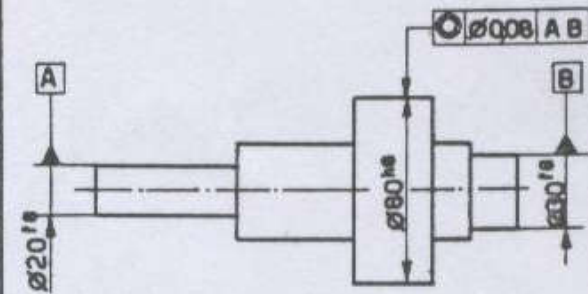
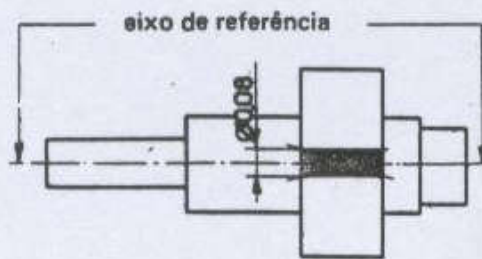
LOCALIZAÇÃO DE UM EIXO:

o eixo do furo deve estar compreendido em uma zona cilíndrica tendo diâmetro por exemplo 0,02 mm, cujo eixo coincide com a posição teórica individualizada pelas cotas enquadradas.



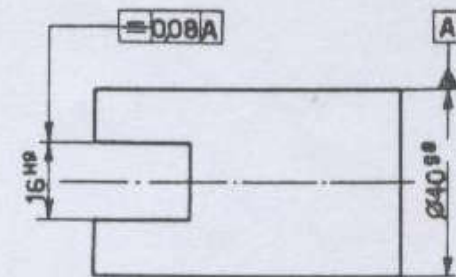
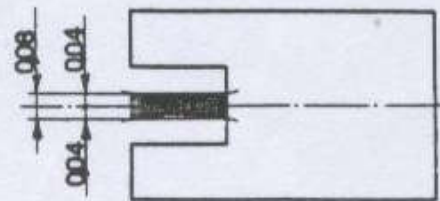
COAXIALIDADE:

o eixo do cilindro cujo diâmetro leva a indicação da tolerância deve estar compreendido em uma zona cilíndrica tendo diâmetro de, por exemplo, 0,08 mm e coaxial ao eixo de referência AB.



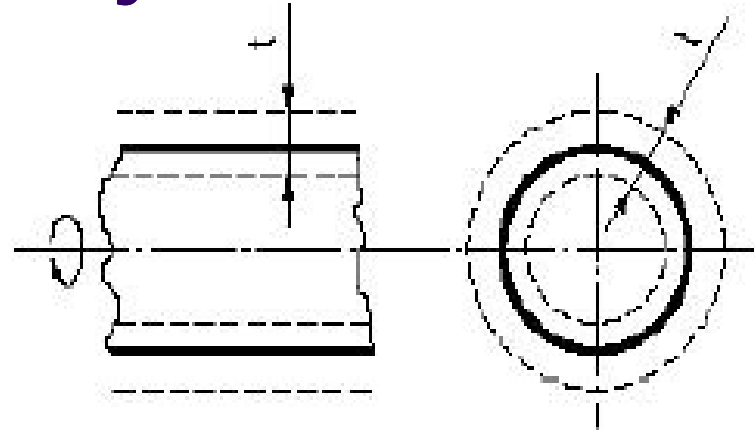
SIMETRIA:

o plano de simetria da canaleta deve estar compreendido entre dois planos paralelos distantes de, por exemplo, 0,08 mm e dispostos simetricamente em relação ao plano médio do elemento de referência A.

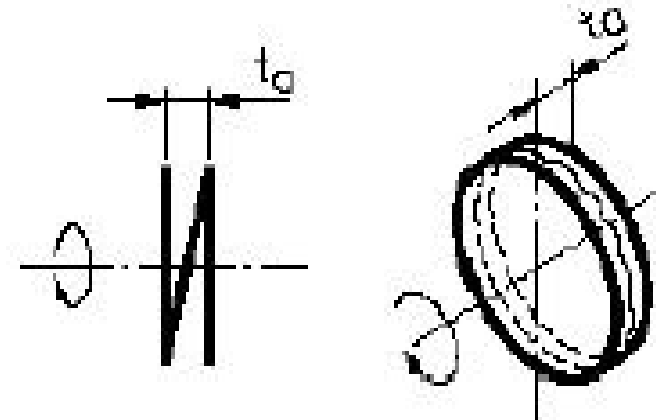


Tolerância de movimentação

- Tolerância de batimento radial: é definida como um campo de distância t entre dois círculos concêntricos, medidos em um plano perpendicular ao eixo considerado.



- Tolerância de batimento axial: é definida como o campo de tolerância determinado por duas superfícies, paralelas entre si e perpendiculares ao eixo de rotação da peça, dentro do qual deverá estar a superfície real quando a peça efetuar uma volta, sempre referida a seu eixo de rotação.



Rugosidade

É a medida das irregularidades existentes nas superfícies das peças. Essas irregularidades podem ser avaliadas com aparelhos eletrônicos, como o rugosímetro. A medida é dada em μm ($1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm}$).

A rugosidade influi na:

- qualidade de deslizamento;
- resistência ao desgaste;
- transferência de calor;
- qualidade de superfícies de padrões e componentes ópticos;
- possibilidade de ajuste do acoplamento forçado;
- resistência oferecida pela superfície ao escoamento de fluidos e lubrificantes;
- qualidade de aderência que a estrutura oferece às camadas protetoras;
- resistência à corrosão e à fadiga;
- vedação;
- aparência.

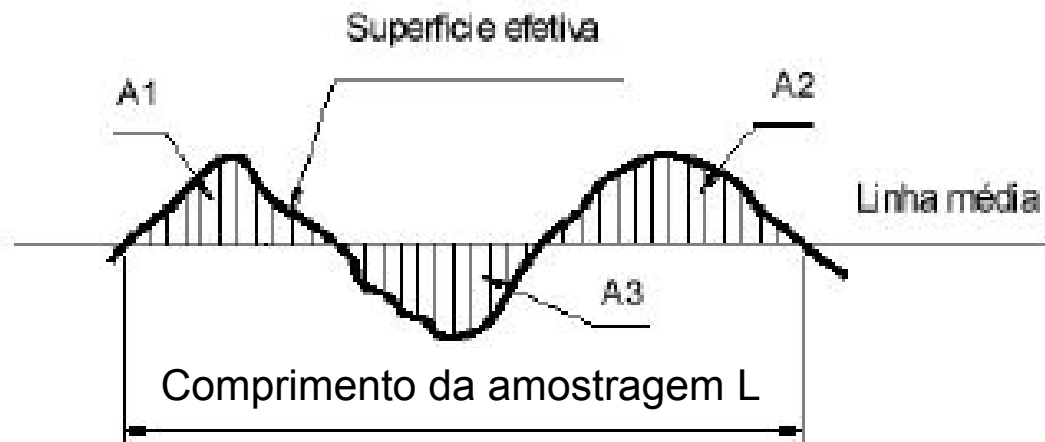
Rugosidade

O parâmetro de rugosidade mais usado baseia-se nas medidas de profundidade da rugosidade.

R_a = média aritmética dos valores absolutos das ordenadas do perfil efetivo em relação à linha média num comprimento de amostragem L .

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx$$

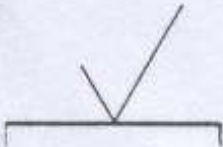
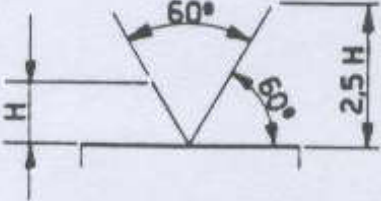
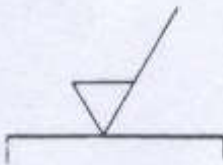
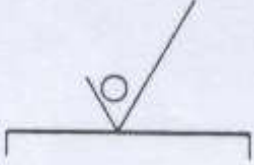
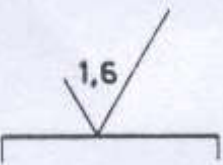
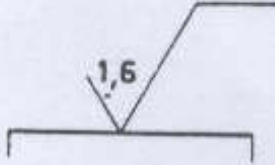
$$R_a = \frac{A}{L} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{L}$$



onde A é soma das áreas acima e abaixo da linha média e

L é o comprimento analisado para a determinação de A .

Rugosidade (símbolos)

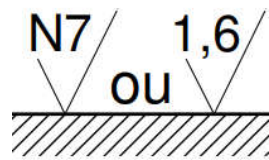
 <p>Sinal gráfico convencional para a indicação da rugosidade das superfícies.</p>	 <p>Dimensionamento aproximado do sinal gráfico.</p>
<p>Quando se deve indicar no desenho um processo de trabalho que requer extração ou não de aparas, completa-se o sinal gráfico do seguinte modo:</p>	
 <p>Sinal gráfico a ser empregado para uma superfície a ser obtida com extração de aparas.</p> <p>Superfície usinada.</p>	 <p>Sinal gráfico a ser empregado para uma superfície a ser obtida sem extração de aparas.</p> <p>Remoção de material não é permitida.</p>
 <p>A rugosidade R_a (μm) deve ser escrita no interior no sinal gráfico.</p> <p>Superfície com rugosidade máxima $R_a = 1,6 \mu m$.</p>	 <p>Se for necessário fornecer indicações complementares prolonga-se o traço maior do sinal gráfico com um traço horizontal.</p> <p>Indica processo de fabricação, tratamento ou revestimento superficial.</p>

Rugosidade (direção do sulcos - símbolos)

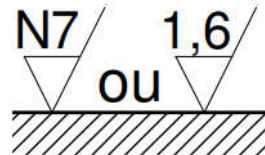
Símbolo	Orientação do sulco	Esboço demonstrativo	Indicação no desenho	Símbolo	Orientação do sulco	Esboço demonstrativo	Indicação no desenho
=	Os sulcos devem ser orientados paralelamente ao traço da superfície à qual se refere o sinal no desenho.			M	Os sulcos devem ser orientados segundo mais direções quaisquer.		
⊥	Os sulcos devem ser orientados em direção normal ao traço da superfície à qual se refere o sinal no desenho.			C	Os sulcos devem ser orientados segundo direções aproximadamente concêntrica ao centro da superfície ao qual o desenho se refere.		
X	Os sulcos devem ser orientados segundo duas direções cruzadas.			R	Os sulcos devem ser orientados segundo direções aproximadamente radiais em relação ao centro da superfície à qual o desenho se refere.		

Símbolos com indicação da rugosidade

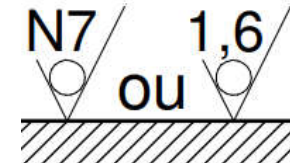
Remoção do material (Superfície com rugosidade máxima $R_a = 1,6 \mu\text{m}$):



Facultativa

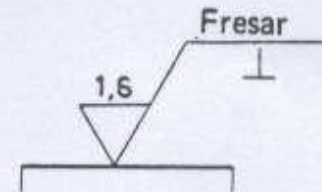
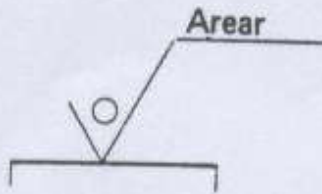


Obrigatória

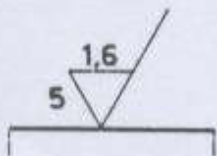


Não permitida

Para outras indicações complementares se completa o sinal gráfico com as respectivas indicações:



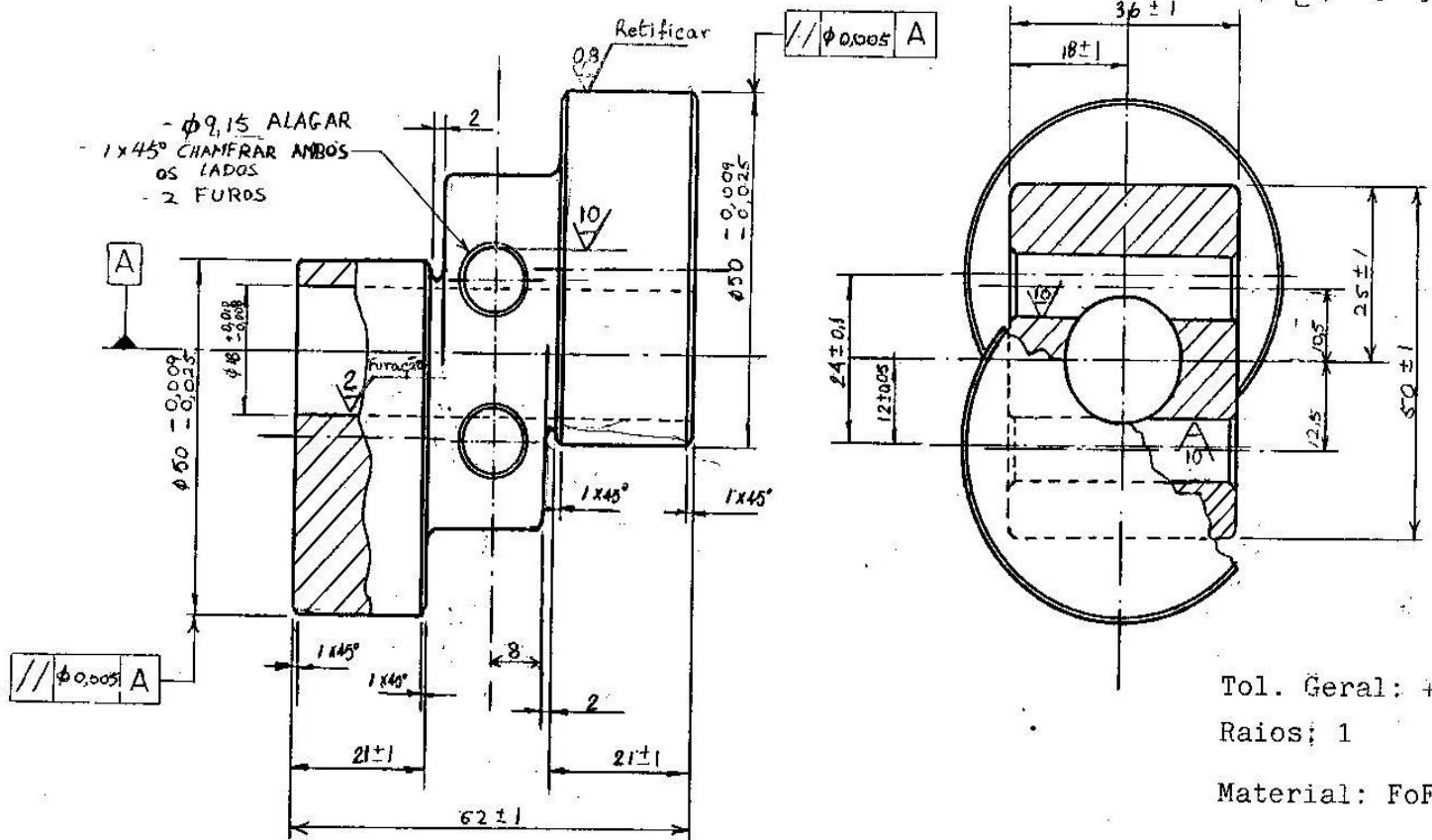
A rugosidade indicada deve ser entendida como obtida de trabalho executado, isto é, após a última operação à qual foi exposta a superfície, e isto, salvo indicação contrária.



Se se quiser prescrever o sobremetal, isto é indicado à esquerda do símbolo e deve ser expresso em milímetros.

8

20° [10° 2/0,8]



Tol. Geral: +/- 0,5
Raios: 1
Material: FoFo

Figura 10

Bibliografia

- French, T. E.; Vierk, C. J.; Foster, R. J. *Engineerig drawing and graphic technology*, 13^a ed, Mc Graw Hill.
- Novaski, O. *Introdução à engenharia de fabricação*, edit Edgar Blucher Ltda (1994).
- Agostinho, O. L.; Rodrigues, A. C. S.; Lirani, J. *Tolerâncias, ajustes, desvio e análise de dimensões*, edit Edgar Blucher Ltda (1977).
- **Provenza, F. *Tolerancias - ISO***, edit F. Provenza (1991).