APOSTILA DE DESENHO MECÂNICO 1
III PARTE

CURSO: Expressão Gráfica – IV Semestre

PROFESSOR: Márcio Fontana Catapan

ALUNO: _____

CURITIBA / 2013

1. ESTADO DE SUPERFÍCIE

O desenho técnico, além de mostrar as formas e as dimensões das peças, precisa conter outras informações para representá-las fielmente. Uma dessas informações é a indicação dos estados das superfícies das peças.

- ***Acabamento:*** é o grau de rugosidade observado na superfície da peça. As superfícies apresentam-se sob diversos aspectos, a saber: em bruto, desbastadas, alisadas e polidas.
- ***Superfície em bruto*** é aquela que não é usinada, mas limpa com a eliminação de rebarbas e saliências.
- ***Superfície desbastada*** é aquela em que os sulcos deixados pela ferramenta são bastante visíveis, ou seja, a rugosidade é facilmente percebida.
- ***Superfície alisada*** é aquela em que os sulcos deixados pela ferramenta são pouco visíveis, sendo a rugosidade pouco percebida.
- ***Superfície polida*** é aquela em que os sulcos deixados pela ferramenta são imperceptíveis, sendo a rugosidade detectada somente por meio de aparelhos.

Os graus de acabamento das superfícies são representados pelos símbolos indicativos de rugosidade da superfície, normalizados pela norma ***NBR 8404*** da ***ABNT***, baseada na norma ***ISO 1302***. Os graus de acabamento são obtidos por diversos processos de trabalho e dependem das modalidades de operações e das características dos materiais adotados.

Rugosidade são erros microgeométricos existentes nas superfícies das peças, provenientes do processo de fabricação, tais como ranhuras, sulcos, estrias, escamas e crateras. As ranhuras e sulcos são provenientes de marcas da ferramenta durante o avanço ou posicionamento da peça no processo de usinagem. As estrias e escamas formam-se na usinagem durante a retirada do cavaco.

O controle da rugosidade torna-se importante quando aumenta a qualidade de fabricação (tolerância dimensional pequena) ao ponto de ocorrerem irregularidades na superfície da peça maiores do que a tolerância dimensional especificada (Figura 37).

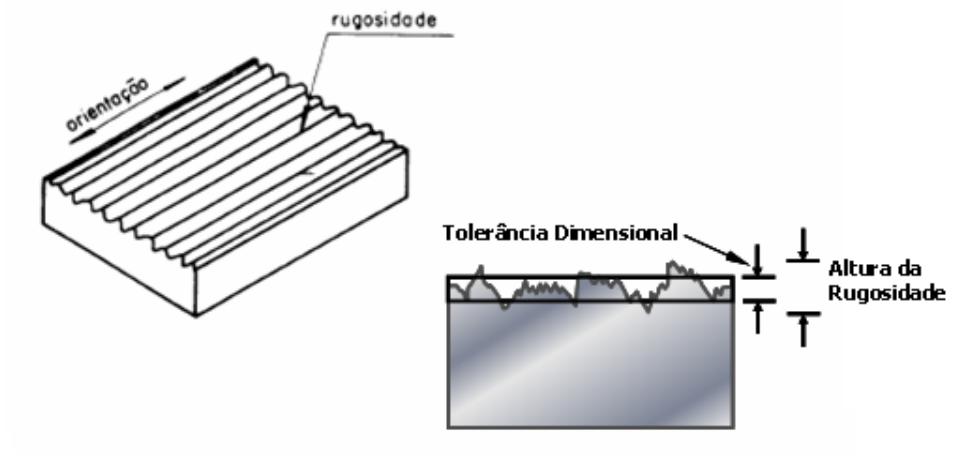


Figura 37 – A Rugosidade e a Tolerância Dimensional

Além disso, peças sujeitas a esforços intermitentes ou cíclicos, desgaste por atrito ou corrosão superficial, necessitam de maior controle sobre o estado da superfície. As peças destinadas à transmissão de calor, escoamento de fluídos, vedação ou deslizamento, desempenham melhor suas funções quando possuem acabamento adequado.

1.1. Parâmetros de Rugosidade

A medição de rugosidade pode ser feita através de microscópios ou rugosímetros. A Figura 38 apresenta um esquema de medição com rugosímetro.

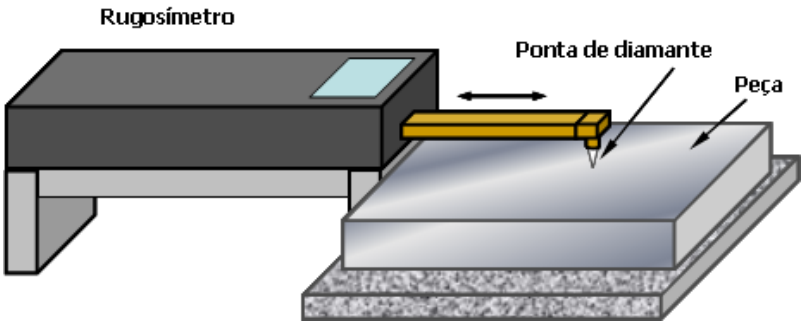


Figura 38 – Esquema de medição com rugosímetro portátil

A ponta de diamante, fixada na ponta do braço do rugosímetro, percorre uma trajetória linear de comprimento LA pré-definido, captando as irregularidades existentes na superfície da peça. O rugosímetro processa as informações enviadas pelo sensor de diamante, realiza cálculos da rugosidade, apresentando um valor numérico no mostrador e/ou imprime um gráfico do perfil de rugosidade da superfície avaliada (Figura 39).

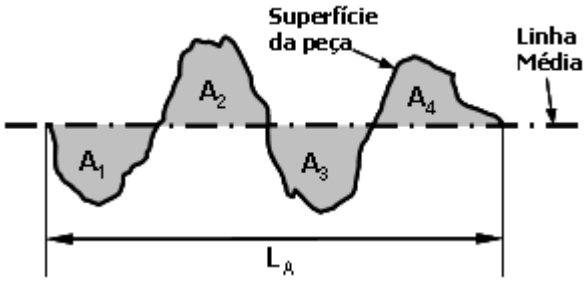


Figura 39 – Perfil de rugosidade na superfície da peça

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) adota o método da Rugosidade Média (Ra) descrito abaixo. Todos os parâmetros são definidos em função de uma linha média, paralela à superfície teórica da peça, posicionada de modo que a soma das áreas dos picos situados acima da linha média seja igual à soma das áreas situadas abaixo da linha média, para um comprimento de amostragem LA. No exemplo da Figura 39 teríamos que:

$$A_2 + A_4 = A_1 + A_3$$

Rugosidade Média (Ra) é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas do perfil efetivo da peça em relação à linha média para um comprimento de amostragem LA definido, e pode ser calculado pela expressão:

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^{N} A_i}{L_A} \quad [\mu m],$$

onde, Ai é a área do pico ou vale i (i = 1 até N), e LA é o comprimento da amostra.

Considere que no exemplo indicado na Figura 39, A1 = 12 μm2, A2 = 16 μm2, A3 = 15 μm2, e A4 = 11 μm2, para um comprimento de amostragem de 0,010 mm (LA = 10 μm). A rugosidade média é equivalente a:

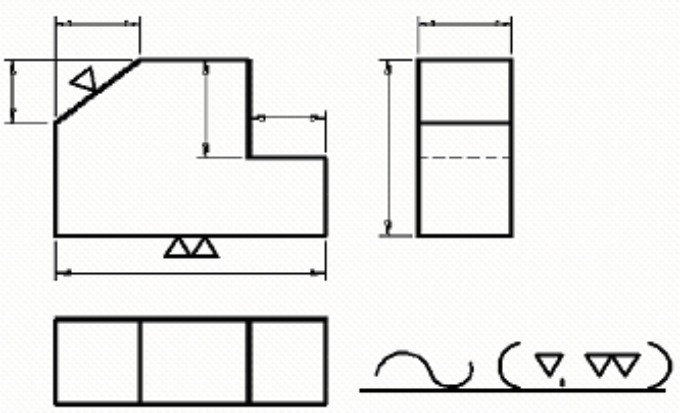
$$R_a = \frac{12 + 16 + 15 + 11}{10} = 5{,}4\ \mu m.$$

A rugosidade média Ra é o parâmetro mais usado no mundo, sendo aplicável na maioria dos processos de fabricação, e podendo ser medido por qualquer tipo de rugosímetro. Entretanto, este parâmetro fornece apenas o valor de uma irregularidade média no perfil da peça, não indicando a forma do perfil, nem fazendo distinção entre picos e vales, dificultando a identificação de irregularidades atípicas que podem afetar o desempenho da peça.

1.2. SINAIS ANTIGOS DE ACABAMENTOS

De acordo com a NBR - 6402, a especificação de acabamento nos desenhos por meio de sinais antigos é feita conforme a relação a seguir.

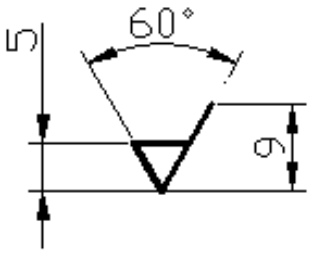
Superfície em bruto, forjada, laminada, estampada e de peças fundidas, porém com eliminação de rebarbas	
Superfície desbastada, os riscos da ferramenta são bastante visíveis. Profundidade dos sulcos 6,3 a 50 microns	
Superfície alisada, os riscos da ferramenta são pouco visíveis. Rugosidade 0,8 a 6,3 microns	
Superfície polida, os riscos da ferramenta não são visíveis. Rugosidade 0,1 a 0,8 microns	
Superfície lapidada. Rugosidade máxima 0,1 microns	
Para qualquer grau de acabamento, pode ser indicado o modo de obtê-lo.	Retif.
Superfície sujeita a tratamento especial indicada sobre a linha horizontal.	



1.3. INDICAÇÃO DE ACABAMENTO DE SUPERFÍCIE

Símbolo básico, isoladamente este símbolo não tem finalidade	Quando a remoção do material é exigida.	Quando a remoção do material não é permitida, ou para mostrar quando uma superfície foi obtida no estágio de fabricação independente do fato de esta tenha sido por remoção de material ou não.

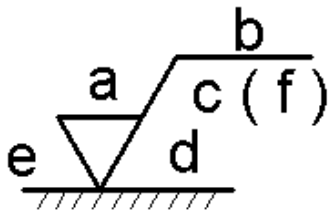
NOTA: o sinal de usinagem atualizado deve ser desenhado com linhas estreitas, a um ângulo de 60º e altura de 5 mm.



Símbolos com indicação da característica principal da rugosidade R_a

Símbolo *A remoção do material*			*Significado*
é facultativa	é exigida	não é permitida	
3,2 OU N8	3,2 OU N8	3,2 OU N8	Superfície com uma rugosidade de um valor máximo: R_a = 3,2µm
6,3 1,6 OU N8 N9	6,3 1,6 OU N9 N7	6,3 1,6 OU N9 N7	Superfície com uma rugosidade de um valor: máximo: R_a = 6,3µm mínimo: R_a = 1,6µm

a- Valor da rugosidade Ra, em microns, classe de rugosidade N1 até N12.
b- Método de fabricação, tratamento ou revestimento.
c- Comprimento de amostra em milímetros.
d- Direção das estrias.
e- Sobremetal para usinagem em mm.
f- Outros parâmetros de rugosidade (entre parênteses).



Símbolos com indicações complementares

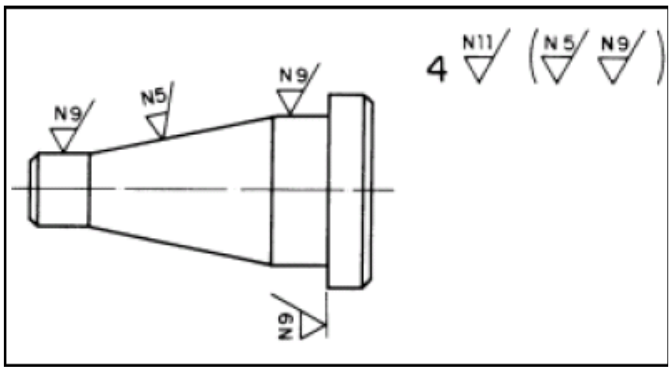
Estes símbolos podem ser combinados entre si ou com os símbolos apropriados.

Símbolo	Significado
fresado	Processo de fabricação: fresar
2,5	Comprimento de amostragem: 2,5 mm
⊥	Direção das estrias: perpendicular ao plano de projeção da vista.
2	Sobremetal para usinagem: 2mm
(R_t = 0,4)	Indicação (entre parênteses) de um outro parâmetro de rugosidade diferente de R_a, por exemplo R_t = 0,4µm.

1.4. Informações Complementares

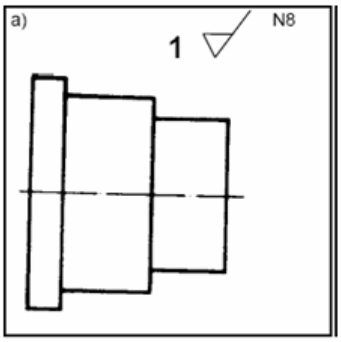
Os símbolos e inscrições devem estar orientados de maneira que possam ser lidos tanto com o desenho na posição normal, como pelo lado direito. Se necessário, o símbolo pode ser interligado por meio de uma linha de indicação.

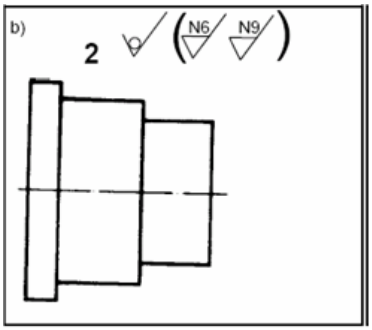
O símbolo deve ser indicado uma vez para cada superfície e, se possível, na vista que leva a cota ou representa a superfície. Considere o seguinte exemplo:



Neste exemplo temos que **4** é o número da peça;
N11 indica que a rugosidade máxima permitida no acabamento é de 25μm (0,025mm);
N9 representado dentro dos parênteses e nas superfícies que deverão ser usinadas, indica rugosidade máxima permitida de 6,3μm (0,0063mm);
N5 indica superfície usinada com rugosidade máxima permitida de 0,4μm (0,0004mm).

Exemplos de Aplicação:





Interpretação do exemplo a:

1 – é o número da peça

ao lado do número da peça, representa o acabamento geral, com retirada de material, válido para todas as superfícies. **N8** indica que a rugosidade máxima permitida no acabamento é de 3,2μm (0,0032mm).

Interpretação do exemplo b

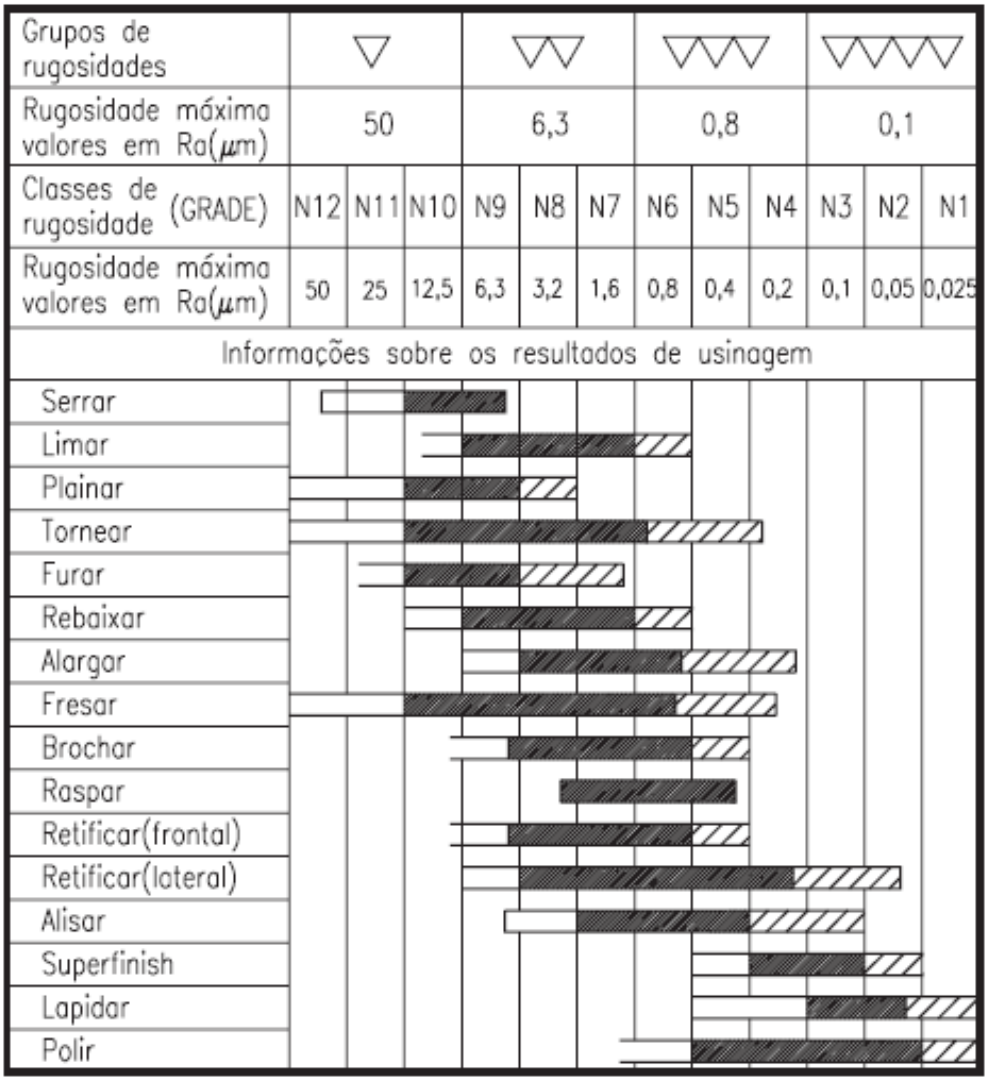
2 é o número da peça.

o acabamento geral não deve ser indicado nas superfícies. O símbolo significa que a peça deve manter-se sem a retirada de material.

corresponde a um desvio aritmético máximo de 0,8μm (0,0008mm) e deve ser indicado sobre superfície desejada.

corresponde a um desvio aritmético máximo de 6,3μm (0,0063mm), e deve ser indicada sobre a superfície desejada.

O quadro a seguir apresenta a **qualidade da superfície de acabamento**, baseada na norma ABNT/NBR 8004 e ISO 1302.



O quadro abaixo apresenta valores típicos de rugosidade recomendados para algumas aplicações:

R_a (μm)	APLICAÇÕES
0,01	Blocos padrão, réguas triangulares de alta precisão, guias de aparelhos de medida de alta precisão.
0,02	Aparelhos de precisão, superfícies medidas em micrômetros e calibradores de precisão.
0,03	Calibradores, elementos de válvulas de alta pressão hidráulica.
0,04	Agulhas de rolamentos, super-acabamento de camisa de bloco de motor.
0,05	Pistas de rolamentos, peças de aparelhos de controle de alta precisão.
0,06	Válvulas giratórias de alta pressão, camisas de blocos de motores.
0,08	Agulhas de rolamentos de grandes dimensões, colos de virabrequim.
0,1	Assentos cônicos de válvulas, eixos montados sobre mancais de bronze ou teflon a velocidades médias, superfícies de cames de baixa velocidade.
0,15	Rolamentos de dimensões médias, colos de rotores de turbinas e redutores.
0,2	Mancais de bronze, náilon, etc., cones de cubos sincronizadores de caixas de câmbio de automóveis.
0,3	Flancos de engrenagens, guias de mesas de máquinas-ferramentas.

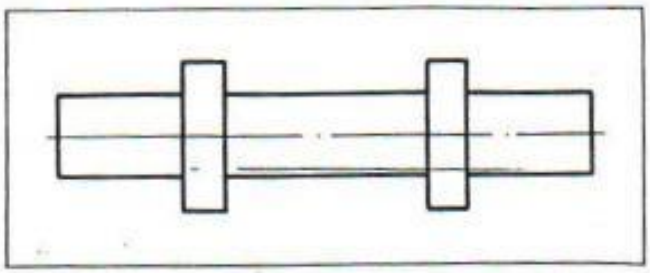
0,4	Pistas de assentamento de agulhas de cruzetas em cardas, superfície de guia de elementos de precisão.
0,6	Válvulas de esferas, tambores de freio.
1.5	Assentos de rolamentos em eixos com carga pequena, eixos e furos para engrenagens, face de união de caixas de engrenagens.
2	Superfícies usinadas em geral, eixos, chavetas de precisão, alojamentos de rolamentos.
3	Superfícies usinadas em geral, superfícies de referência e apoio.
4	Superfícies desbastadas por operações de usinagem.
5 a 15	Superfícies fundidas, superfícies estampadas.
> 15	Peças fundidas, forjadas e laminadas.

INDICAÇÃO DAS DIREÇÕES DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO (ESTRIAS)

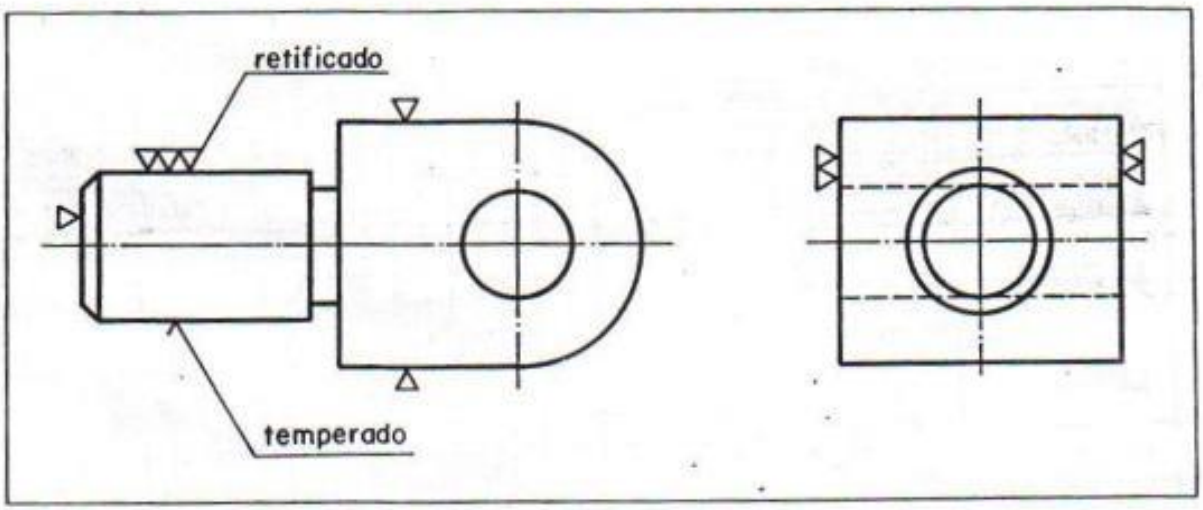
Símbolo	Interpretação
=	Paralela ao plano de projeção da vista sobre o qual o símbolo é aplicado.
⊥	Perpendicular ao plano de projeção da vista sobre o qual o símbolo é aplicado.
X	Cruzadas em duas direções oblíquas em relação ao plano de projeção da vista sobre o qual o símbolo é aplicado.
M	Muitas direções.
C	Aproximadamente central em relação ao ponto médio da superfície ao qual o símbolo é referido.
R	Aproximadamente radial em relação ao ponto médio da superfície ao qual o símbolo é referido.

EXERCÍCIOS

2 Represente no desenho técnico os sinais de acabamento indicados na perspectiva da peça.



3 Analise o desenho técnico e responda às perguntas que vêm a seguir.



a. Quais os acabamentos indicados ?

_____

b. Qual o modo de obter o acabamento polido ?

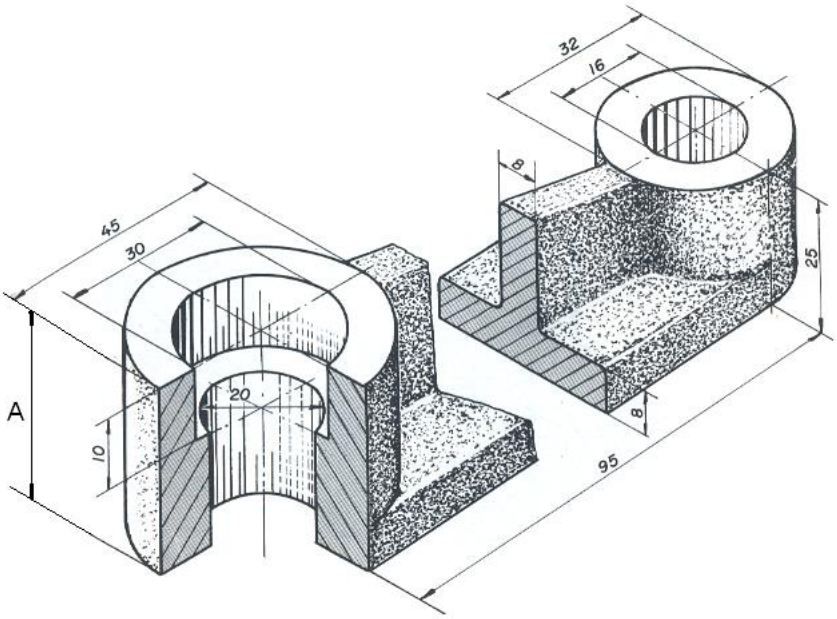
_____

c. Qual o tratamento indicado ?

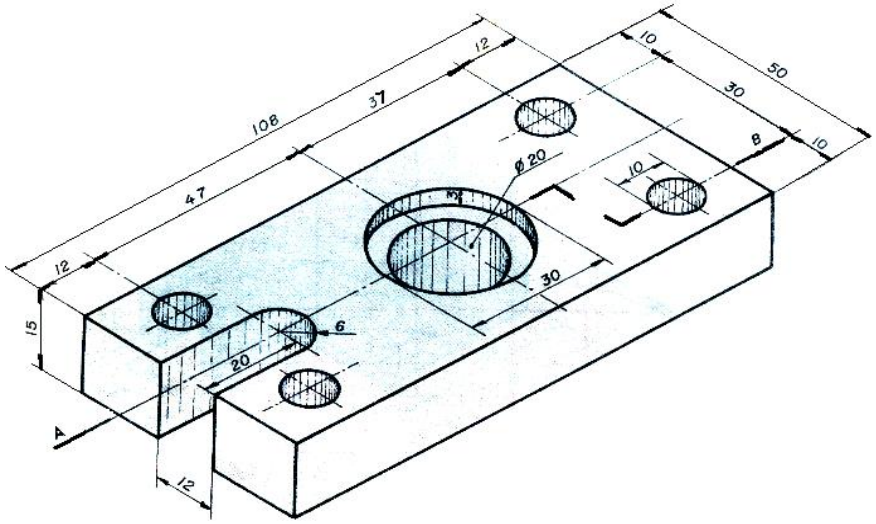
_____

Exercício CORTE SOBRE NERVURA

1- Desenhe em duas vistas o BRAÇO de Ferro Fundido. Aplique o corte longitudinal sobre a nervura.
Acab. Furos de 20 e 16 deve ser retificado, furo de 30 x 10 alisado, demais faces bruto de fundição. escala 1:1.

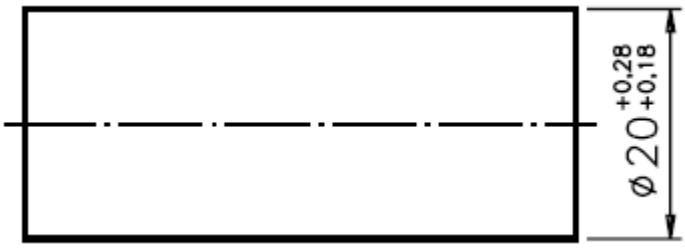


2- Desenhe em duas vistas o BLOCO POSICIONADOR, faça o corte em desvio A B.
Material Aço VC150, acab. base inferior alisada, as quatro faces laterais desbastadas com 12,5 µm, a face superior da peça e o furo de 20 mm retificada, demais faces desbastado com 50 µm. Escala 1:1



2. TOLERÂNCIA DIMENSIONAL

É muito difícil executar peças com as medidas rigorosamente exatas porque todo processo de fabricação está sujeito a imprecisões. Sempre acontecem variações ou desvios das cotas indicadas no desenho. Entretanto, é necessário que peças semelhantes, tomadas ao acaso, sejam intercambiáveis, isto é, possam ser substituídas entre si, sem que haja necessidade de reparos e ajustes. A prática tem demonstrado que as medidas das peças podem variar, dentro de certos limites, para mais ou para menos, sem que isto prejudique a qualidade. Esses desvios aceitáveis nas medidas das peças caracterizam o que chamamos de tolerância dimensional.



Neste exemplo, a dimensão nominal do diâmetro do pino é 20 mm. Os afastamentos são: + 0,28 mm (vinte e oito centésimos de milímetro) e + 0,18 mm (dezoito centésimos de milímetro). O sinal + (mais) indica que os afastamentos são positivos, isto é, que as variações da dimensão nominal são para valores maiores.

O **afastamento de maior valor** (0,28 mm, no exemplo) é **chamado de afastamento superior; o de menor valor** (0,18 mm) **é chamado de afastamento inferior**. Tanto um quanto outro indicam os limites máximo e mínimo da dimensão real da peça.

Somando o afastamento superior à dimensão nominal obtemos a dimensão máxima, isto é, a maior medida aceitável da cota depois de executada a peça. Então, no exemplo dado, a dimensão máxima do diâmetro corresponde a: 20 mm + 0,28 mm = 20,28 mm.

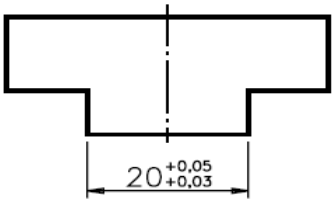
Somando o afastamento inferior à dimensão nominal obtemos a dimensão mínima, isto é, a menor medida que a cota pode ter depois de fabricada. No mesmo exemplo, a dimensão mínima é igual a 20 mm + 0,18 mm, ou seja, 20,18 mm.

Assim, os valores: 20,28 mm e 20,18 mm correspondem aos limites máximo e mínimo da dimensão do diâmetro da peça.

Depois de executado, o diâmetro da peça pode ter qualquer valor dentro desses dois limites. A dimensão encontrada, depois de executada a peça, é a dimensão efetiva ou real; ela deve estar dentro dos limites da dimensão máxima e da dimensão mínima.

Verificando o entendimento a seguir:

Analise a vista ortográfica cotada e faça o que é pedido.



a) Complete os espaços com os valores correspondentes:

- afastamento superior: ..... ;
- afastamento inferior: ..... ;
- dimensão máxima: ..... ;
- dimensão mínima: ..... .

b) Dentre as medidas abaixo, assinale com um X as cotas que podem ser dimensões efetivas deste ressalto:

20,5 ( ) 20,04 ( ) 20,06 ( ) 20,03 ( )

2.1. SISTEMA DE TOLERÂNCIA E AJUSTES ABNT/ISO

As tolerâncias não são escolhidas ao acaso. Em 1926, entidades internacionais organizaram um sistema normalizado que acabou sendo adotado no Brasil pela ABNT: o sistema de tolerâncias e ajustes ABNT/ISO (NBR 6158).

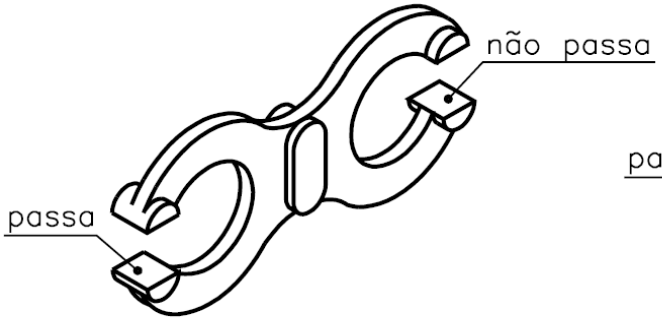
O sistema ISO consiste num conjunto de princípios, regras e tabelas que possibilita a escolha racional de tolerâncias e ajustes de modo a tornar mais econômica a produção de peças mecânicas intercambiáveis. Este sistema foi estudado, inicialmente, para a produção de peças mecânicas com até 500 mm de diâmetro; depois, foi ampliado para peças com até 3150 mm de diâmetro. Ele estabelece uma série de tolerâncias fundamentais que determinam a precisão da peça, ou seja, a qualidade de trabalho, uma exigência que varia de peça para peça, de uma máquina para outra.

A norma brasileira prevê 18 qualidades de trabalho. Essas qualidades são identificadas pelas letras: IT seguidas de numerais. A cada uma delas corresponde um valor de tolerância. Observe, no quadro abaixo, as qualidades de trabalho para eixos e furos:

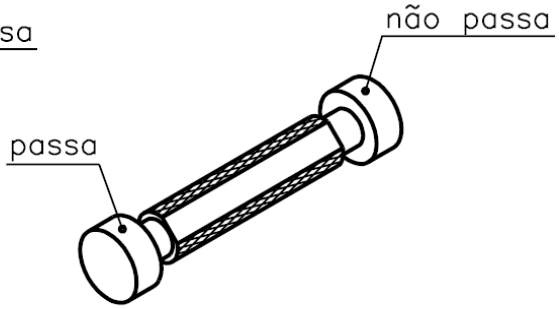
	Qualidade de Trabalho																	
	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
Eixos	mecânica extra-precisa					mecânica corrente								mecânica grosseira				
Furos																		

A letra I vem de ISO e a letra T vem de tolerância; os numerais: 01, 0, 1, 2,...16, referem-se às 18 qualidades de trabalho; a qualidade IT 01 corresponde ao menor valor de tolerância. As qualidades 01 a 3, no caso dos eixos, e 01 a 4, no caso dos furos, estão associadas à mecânica extra precisa. É o caso dos calibradores, que são instrumentos de alta precisão. Eles servem para

verificar se as medidas das peças produzidas estão dentro do campo de tolerância especificado. Veja:



Calibrador para eixos



Calibrador para furos

No extremo oposto, as qualidades 11 a 16 correspondem às maiores tolerâncias de fabricação. Essas qualidades são aceitáveis para peças isoladas, que não requerem grande precisão; daí o fato de estarem classificadas como mecânica grosseira.

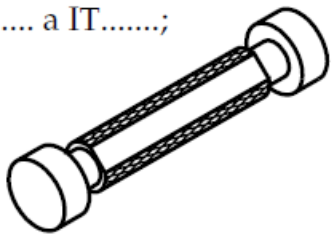
Peças que funcionam acopladas a outras têm, em geral, sua qualidade estabelecida entre IT 4 e IT 11, se forem eixos; já os furos têm sua qualidade entre IT 5 e IT 11. Essa faixa corresponde à mecânica corrente, ou mecânica de precisão. Verifique se ficou bem entendido, resolvendo o próximo exercício.

Verificando o entendimento:

Observe as ilustrações de peças e escreva, nas linhas correspondentes, as faixas de tolerância ISO aceitáveis para cada caso.

Calibrador para furo

a) de IT ..... a IT.....;

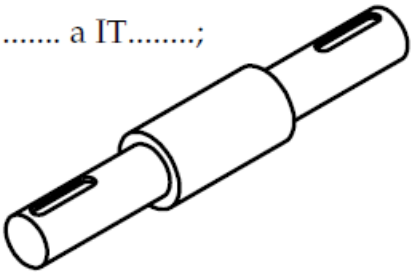


Mola cônica de compressão

b) de IT ..... a IT.....;

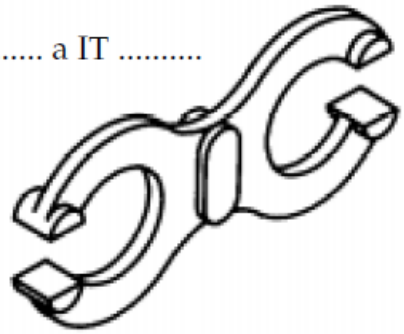
Eixo

c) de IT ..... a IT.....;



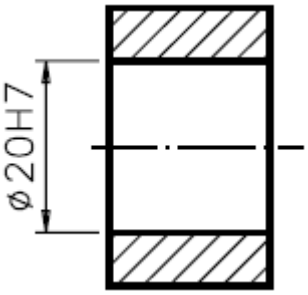
Calibrador para eixos

d) de IT ..... a IT .....



Veja agora as respostas corretas: a) mostra um calibrador para furos, que é um instrumento de alta precisão. Logo, a qualidade de trabalho do eixo do calibrador deve estar na faixa de IT 01 a IT3; b) temos uma mola cônica de compressão. Seu funcionamento não depende de ajustes precisos. A qualidade de trabalho pode variar entre IT 12 e IT 16; c) é um eixo, que funciona acoplado a furos. Neste caso, a qualidade de trabalho pode variar entre IT 4 e IT 11; d) um calibrador de eixos. A parte do calibrador que serve para verificar as medidas dos eixos tem a forma de furo. Portanto, a qualidade de trabalho deve estar entre IT 01 e IT 4.

Nos desenhos técnicos com indicação de tolerância, a qualidade de trabalho vem indicada apenas pelo numeral, sem o IT. Antes do numeral vem uma ou duas letras, que representam o campo de tolerância no sistema ISO. Veja um exemplo.



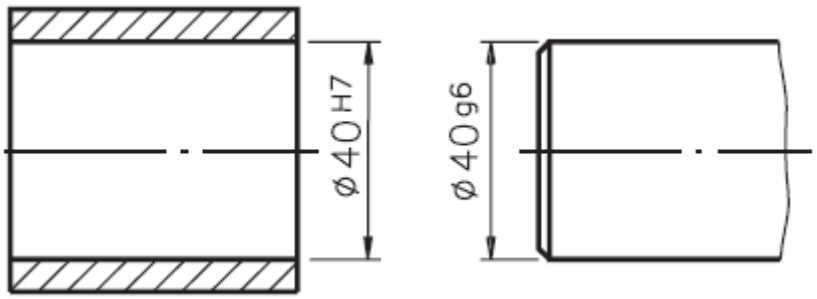
A dimensão nominal da cota é 20 mm. A tolerância é indicada por H7. O número 7, você já sabe, indica a qualidade de trabalho; ele está associado a uma qualidade de trabalho da mecânica corrente. A seguir, você vai aprender a interpretar o significado da letra que vem antes do numeral.

2.2. INTERPRETAÇÃO DE TOLERÂNCIAS NO SISTEMA ABNT/ISO

Quando a tolerância vem indicada no sistema ABNT/ISO, os valores dos afastamentos não são expressos diretamente. Por isso, é necessário consultar tabelas apropriadas para identificá-los.

Para acompanhar as explicações, você deve consultar as tabelas apresentadas no final desta aula. Partes dessas tabelas estão reproduzidas no decorrer da instrução, para que você possa compreender melhor o que estamos apresentando.

Observe o próximo desenho técnico, com indicação das tolerâncias:



O diâmetro interno do furo representado neste desenho é 40 H7. A dimensão nominal do diâmetro do furo é 40 mm. A tolerância vem representada por H7; a letra maiúscula H representa tolerância de furo padrão; o número 7 indica a qualidade de trabalho, que no caso corresponde a uma mecânica de precisão.

A tabela que corresponde a este ajuste tem o título de: Ajustes recomendados - sistema furo-base H7. Veja, a seguir, a reprodução do cabeçalho da tabela.

Dimensão nominal mm		Furo af. inf. af. sup.	EIXOS afastamento superior afastamento inferior								
acima de	até	H7	f7	g6	h6	j6	k6	m6	n6	p6	r6

A primeira coluna - Dimensão nominal - mm - apresenta os grupos de dimensões de 0 até 500 mm. No exemplo, o diâmetro do furo é 40 mm. Esta medida situa-se no grupo de dimensão nominal entre 30 e 40. Logo, os valores de afastamentos que nos interessam encontram-se na 9ª linha da tabela, reproduzida abaixo:

Dimensão nominal mm		Furo af. inf. af. sup.	EIXOS afastamento superior afastamento inferior								
acima de	até	H7	f7	g6	h6	j6	k6	m6	n6	p6	r6
30	40	0 +25	-25 -50	-9 -25	0 -16	+11 -5	+18 +2	+25 +9	+33 +17	+42 +26	+50 +34

Na segunda coluna - Furo - vem indicada a tolerância, variável para cada grupo de dimensões, do furo base: H7. Volte a examinar a 9ª linha da tabela, onde se encontra a dimensão de 40 mm; na direção da coluna do furo aparecem os afastamentos do furo: 0 (afastamento inferior) e + 25 (afastamento superior). Note que nas tabelas que trazem afastamentos de furos o afastamento inferior, em geral, vem indicado acima do afastamento superior. Isso se explica porque, na usinagem de um furo, parte-se sempre da dimensão mínima para chegar a uma dimensão efetiva, dentro dos limites de tolerância especificados.

Lembre-se de que, nesta tabela, as medidas estão expressas em mícrons. Uma vez que 1mm = 0,001 mm, então 25 mm = 0,025 mm. Portanto, a dimensão máxima do furo é: 40 mm + 0,025 mm = 40,025 mm, e a dimensão mínima é 40mm, porque o afastamento inferior é sempre 0 no sistema furo-base.

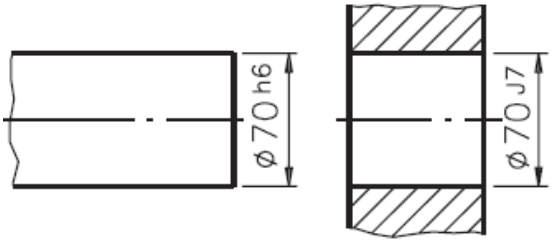
Agora, só falta identificar os valores dos afastamentos para o eixo g6. Observe novamente a 9ª linha da tabela anterior, na direção do eixo g6. Nesse ponto são indicados os afastamentos do eixo: -9/-25 O superior - 9mm, que é o mesmo que - 0,009 mm. O afastamento inferior é - 25 mm, que é igual a – 0,025 mm. Acompanhe o cálculo da dimensão máxima do eixo:

Dimensão nominal:		40,000
Afastamento superior:	-	0,009
Dimensão máxima:		39,991

E agora veja o cálculo da dimensão mínima do eixo:

Dimensão nominal:		40,000
Afastamento inferior:	-	0,025
Dimensão mínima		39,975

Finalmente, comparando os afastamentos do furo e do eixo concluímos que estas peças se ajustarão com folga, porque o afastamento superior do eixo é menor que o afastamento inferior do furo. No exemplo demonstrado, o eixo e o furo foram ajustados no sistema furo-base, que é o mais comum. Mas quando o ajuste é representado no sistema eixo-base, a interpretação da tabela é semelhante. É o que você vai ver, a seguir.



A dimensão nominal do eixo é igual à dimensão nominal do furo: 70 mm. A tolerância do furo é J7 e a tolerância do eixo é h6. O h indica que se trata de um ajuste no sistema eixo-base. Então, para identificar os afastamentos do eixo e do furo, você deverá consultar a tabela de Ajustes recomendados – sistema eixo-base h6. A tabela de ajustes recomendados no sistema eixo-base é semelhante à tabela do sistema furo-base. O que a diferencia são as variações das tolerâncias dos furos.

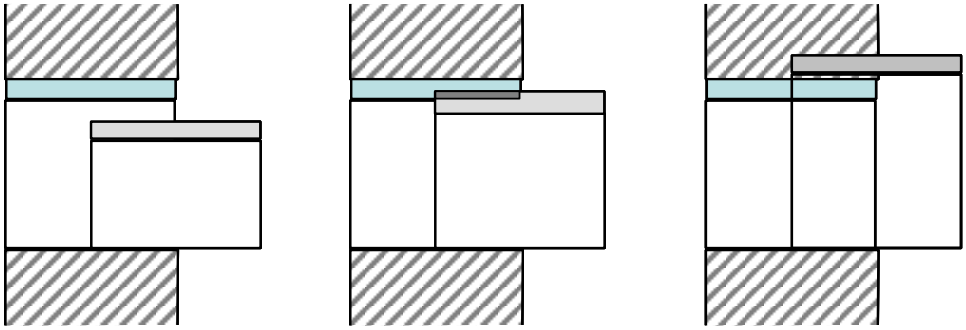
Primeiro, precisamos identificar em que grupo de dimensões se situa a dimensão nominal do eixo. No exemplo, a dimensão 70 encontra-se no grupo entre 65 e 80 (12ª linha). A seguir, basta localizar os valores dos afastamentos correspondentes ao eixo h6 e ao furo J7, nessa linha. Veja:

Dimensão nominal mm		Eixo af. sup / af. inf	F U R O S afastamento inferior / afastamento superior								
acima de	até	h6	F7	G7	H7	J7	K7	M7	N7	P7	R7
65	80	0 -19	+30 +49	+10 +40	0 +30	-12 +18	-21 +9	-30 0	-39 -9	-51 -21	-62 -32

A leitura da tabela indica que, quando a dimensão do eixo-base encontra- se no grupo de 65 a 80, o afastamento superior do eixo é 0mm e o inferior é - 19mm. Para o furo de tolerância J7, o afastamento superior é + 18 mm e o afastamento inferior é -12mm.

2.3. CLASSES DE AJUSTES (ACOPLAMENTO)

Ajuste é a condição ideal para a fixação ou funcionamento entre peças executadas dentro de um limite e são determinados de acordo com o seu campo de tolerância. O sistema de ajustes prevê três classes de ajuste: ajustes móveis ou deslizantes (com folga); ajustes incertos ou indeterminados; e ajustes fixos ou prensados (com interferência), conforme mostrado na figura 7.1.



MÓVEIS (com folga) **INCERTOS** **FIXOS (com interferência)**

Figura 7.1: Classes de ajuste para acoplamento de eixos e furos (sistema furo-base)
Fonte: Francesco Provenza, 1995

Estas três classes de acoplamento podem ser visualizadas na figura 7.2, para o sistema furo-base.

Quanto à facilidade de montagem, temos:

Livre amplo	Livre justo	Fixo leve
Livre folgado	Deslizante	Fixo normal
Livre normal	Aderente	Fixo duro
		Fixo prensado

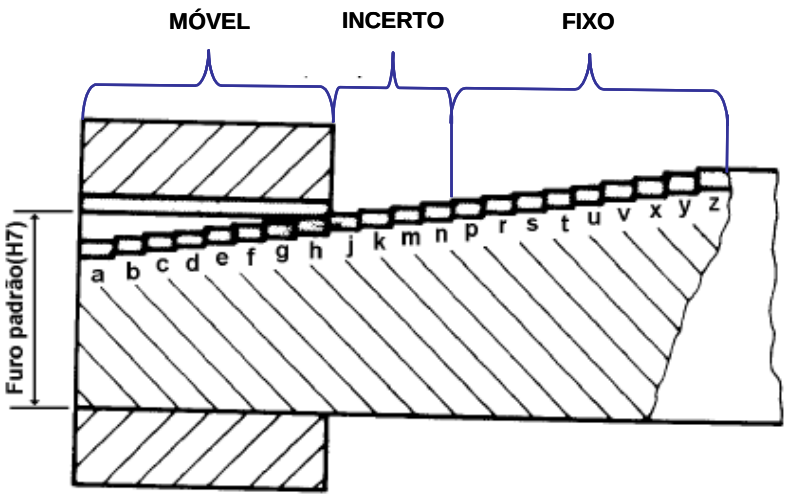


Figura 7.2: Visualização das classes de ajuste no sistema furo-base
Fonte: SENAI-ES, 1996

2.4. ESCOLHA DA TOLERÂNCIA

O sistema furo-base é, comumente usado, na construção de máquinas ferramenta, motores de combustão interna, compressores, construções automobilísticas, aeroviárias e ferroviárias e na indústria de ferramentas como, brocas, rosqueadoras, etc.

O sistema eixo-base é usado principalmente na construção de eixos de transmissão e seus órgãos, vários tipos de máquinas operatrizes, como máquinas agrícolas, para construção civil, têxteis e de elevação.

Ambos os sistemas são empregados nas construções mecânicas de precisão e máquinas elétricas.

A escolha do sistema de ajuste a ser adotado está ligada essencialmente à conveniência econômica de produção. Apesar de a retífica ou acabamento de um furo ser mais trabalhoso e custoso e a retífica do eixo requerer numerosas ferramentas para acabamento, dá-se preferência, em trabalhos de precisão, ao sistema furo-base, no qual a posição da tolerância H do furo é constante nos vários tipos de acoplamento para cada dimensão nominal e para cada qualidade de trabalho.

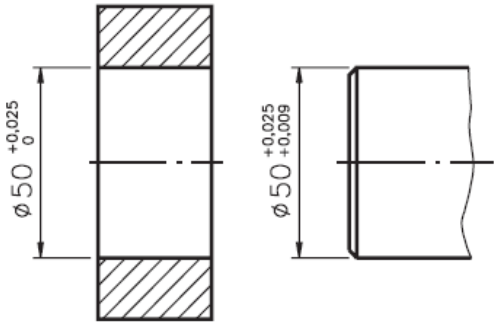
Por esta razão, o sistema de ajustes furo-base é correntemente usado no trabalho de órgãos de máquinas de precisão, por exemplo, para bombas de injeção, rolamentos de esferas ou de rolos, órgãos de máquinas ferramenta de precisão. A figura 7.3 apresenta alguns exemplos de aplicações comuns ao sistema de ajuste furo-base.

AJUSTES RECOMENDAÇÕES						
TIPO DE AJUSTE	EXEMPLO DE AJUSTE	EXTRA PRECISO	MECÂNICA PRECISA	MECÂNICA MÉDIA	MECÂNICA ORDINÁRIA	EXEMPLO DE APLICAÇÃO
LIVRE	Montagem à mão, com facilidade.	$H_6\ e_7$	$H_7\ e_7$ $H_7\ e_8$	$H_8\ e_9$	$H_{11}\ a_{11}$	Peças cujos funcionamentos necessitam de folga por força de dilatação, mau alinhamento, etc.
ROTATIVO	Montagem à mão podendo girar sem esforço.	$H_6\ f_6$	$H_7\ f_7$	$H_8\ f_8$	$H_{10}\ d_{10}$ $H_{11}\ d_{11}$	Peças que giram ou deslizam com boa lubrificação. Ex.: eixos, mancais, etc.
DESLIZANTE	Montagem à mão com leve pressão.	$H_6\ g_5$	$H_7\ g_6$	$H_8\ g_8$ $H_8\ h_8$	$H_{10}\ h_{10}$ $H_{11}\ h_{11}$	Peças que deslizam ou giram com grande precisão. Ex.: anéis de rolamentos, corrediças, etc.
DESLIZANTE JUSTO	Montagem à mão, porém, necessitando de algum esforço.	$H_6\ h_5$	$H_7\ h_6$			Encaixes fixos de precisão, órgãos lubrificados deslocáveis à mão. Ex.: punções, guias, etc.
ADERENTE FORÇADO LEVE	Montagem com auxílio de martelo.	$H_6\ j_5$	$H_7\ j_6$			Órgãos que necessitam de freqüentes desmontagens. Ex.: polias, engrenagens, rolamentos, etc.
FORÇADO DURO	Montagem com auxílio de martelo pesado.	$H_6\ m_5$	$H_7\ m_6$			Órgão possíveis de montagens e desmontagens sem deformação das peças.
À PRESSÃO COM ESFORÇO	prensa Montagem com auxílio de balancim ou por dilatação	$H_6\ p_5$	$H_7\ p_6$			Peças impossíveis de serem desmontadas sem deformação. Ex.: buchas à pressão, etc.

Figura 4.3: Principais aplicações do sistema de ajuste furo-base
Fonte: SENAI-ES, 1996

Exercício

Um lote de peças foi produzido a partir do desenho técnico abaixo. Observando os afastamentos, você percebe que as peças são acopladas por ajuste incerto.



A seguir estão indicadas as dimensões efetivas de algumas peças produzidas. Escreva, nos parênteses, ao lado de cada alternativa, a letra (**F**) quando o ajuste apresentar folga ou a letra (**I**) quando o ajuste apresentar interferência.

a) ( ) diâmetro do eixo: **50,012 mm**; diâmetro do furo: **50,015 mm.**

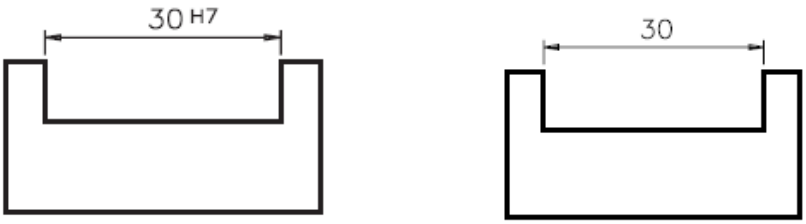
b) ( ) diâmetro do eixo: **50,016 mm**; diâmetro do furo: **50,008 mm.**

c) ( ) diâmetro do eixo: **50,018 mm**; diâmetro do furo: **50,022 mm.**

d) ( ) diâmetro do eixo: **50,011 mm**; diâmetro do furo: **50,006 mm.**

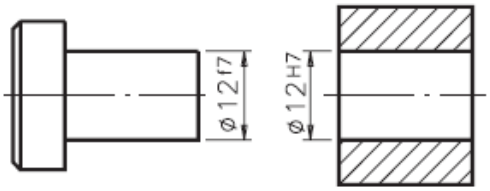
Exercício

No desenho técnico da esquerda, a tolerância vem indicada no sistema ABNT/ISO. Complete o desenho da direita, consultando a tabela e indicando os valores dos afastamentos correspondentes em milésimos de milímetros.



Exercício

Analise o desenho abaixo, consulte a tabela apropriada e assinale com um X o tipo de ajuste correspondente.



a) ( ) ajuste com folga;

b) ( ) ajuste com interferência;

c) ( ) ajuste incerto.

AJUSTES RECOMENDADOS - SISTEMA EIXO-BASE h6(*)

Tolerância em milésimos de milímetros (μm)

Dimensão nominal mm		Eixo af. sup. / af. inf.	FUROS afastamento inferior / afastamento superior								
acima de	até	h 6	F 6	G 7	H 7	J 7	K 7	M 7	N 7	P 7	R 7
0	1	0	+ 6	+ 2	0	- 6	- 10	-	-	- 16	- 20
1	3	- 6	- 12	+ 12	+ 10	+ 4	0			- 6	- 10
3	6	0	+ 10	+ 4	0	- 6	- 9	- 12	- 16	- 20	- 23
		- 8	+ 18	+ 16	+ 12	+ 6	+ 3	0	- 4	- 8	- 11
6	10	0	+ 13	+ 5	0	- 7	- 10	- 15	- 19	- 24	- 28
		- 9	+ 22	+ 20	+ 15	+ 8	+ 5	0	- 4	- 9	- 13
10	14	0	+ 16	+ 6	0	- 8	- 12	- 18	- 23	- 29	- 34
14	18	- 11	+ 27	+ 24	+ 18	+ 10	+ 6	0	- 5	- 11	- 16
18	24	0	+ 20	+ 7	0	- 9	- 15	- 21	- 28	- 35	- 41
24	30	- 13	+ 33	+ 28	+ 21	+ 12	+ 6	0	- 7	- 14	- 20
30	40	0	+ 25	+ 9	0	- 11	- 18	- 25	- 33	- 42	- 50
40	50	- 16	+ 41	+ 34	+ 25	+ 14	+ 7	0	- 8	- 17	- 25
50	65	0	+ 30	+ 10	0	- 12	- 21	- 30	- 39	- 51	- 60
											- 30
65	80	- 19	+ 49	+ 40	+ 30	+ 18	+ 9	0	- 9	- 21	- 62
											- 32
80	100	0	+ 36	+ 12	0	- 13	- 25	- 35	- 45	- 59	- 73
											- 38
100	120	- 22	+ 58	+ 47	+ 35	+ 22	+ 10	0	- 10	- 24	- 76
											- 41
120	140	0	+ 43	+ 14	0	- 14	- 28	- 40	- 52	- 68	- 88
											- 48
140	160										- 90
											- 50
160	180	- 25	+ 68	+ 54	+ 40	+ 26	+ 12	0	- 12	- 28	- 93
											- 53
180	200	0	+ 50	+ 15	0	- 16	- 33	- 46	- 60	- 79	106
											- 60
200	225										- 109
											- 63
225	250	- 29	+ 79	+ 61	+ 46	+ 30	+ 13	0	- 14	- 33	- 113
											- 67
250	280	0	+ 56	+ 17	0	- 16	- 36	- 52	- 66	- 88	- 126
											- 74
280	315	- 32	+ 88	+ 69	+ 52	+ 36	+ 16	0	- 14	- 36	- 130
											- 78
315	355	0	+ 62	+ 18	0	- 18	- 40	- 57	- 73	- 98	- 144
											- 87
355	400	- 36	+ 98	+ 75	+ 57	+ 39	+ 17	0	- 16	- 41	- 150
											- 93
400	450	0	+ 68	+ 20	0	- 20	- 45	- 63	- 80	- 108	- 166
											- 103
450	500	- 40	+ 108	+ 83	+ 63	+ 43	+ 18	0	- 17	- 45	- 172
											- 109

(*) Reprodução parcial de Tabela ABNT/ISO NBR 6158

AJUSTES RECOMENDADOS - SISTEMA FURO-BASE H7(*)

Tolerância em milésimos de milímetros (μm)

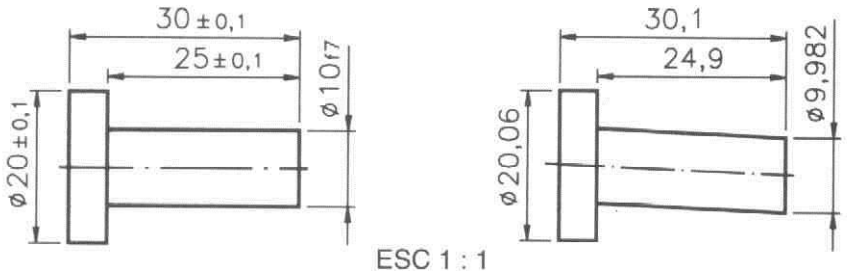
Dimensão nominal mm		Furo af. inf. / af. sup.	EIXOS afastamento superior / afastamento inferior								
acima de	até	H 7	f 7	g 6	h 6	j 6	k 6	m 6	n 6	p 6	r 6
0	1	0	− 6	− 2	0	+ 4	+ 6	−	+ 10	+ 12	+ 16
1	3	+ 10	− 16	− 8	− 6	− 2	0		+ 4	+ 6	+ 10
3	6	0	− 10	− 4	0	+ 6	+ 9	+ 12	+ 16	+ 20	+ 23
		+ 12	− 22	− 12	− 8	− 2	+ 1	+ 4	+ 8	+ 12	+ 15
6	10	0	− 13	− 5	0	+ 7	+ 10	+ 15	+ 19	+ 24	+ 28
		+ 15	− 28	− 14	− 9	− 2	+ 1	+ 6	+ 10	+ 15	+ 19
10	14	0	− 16	− 6	0	+ 8	+ 12	+ 18	+ 23	+ 29	+ 34
14	18	+ 18	− 34	− 17	− 11	− 3	+ 1	+ 7	+ 12	+ 18	+ 23
18	24	0	− 20	− 7	0	+ 9	+ 15	+ 21	+ 28	+ 35	+ 41
24	30	+ 21	− 41	− 20	− 13	− 4	+ 2	+ 8	+ 15	+ 22	+ 28
30	40	0	− 25	− 9	0	+ 11	+ 18	+ 25	+ 33	+ 42	+ 50
40	50	+ 25	− 50	− 25	− 16	− 5	+ 2	+ 9	+ 17	+ 26	+ 34
50	65	0	− 30	− 10	0	+ 12	+ 21	+ 30	+ 39	+ 51	+ 60 / + 41
65	80	+ 30	− 60	− 29	− 19	− 7	+ 2	+ 1	+ 20	+ 32	+ 62 / + 43
80	100	0	− 36	− 12	0	+ 13	+ 25	+ 35	+ 45	+ 59	+ 73 / + 51
100	120	+ 35	− 71	− 34	− 22	− 9	+ 3	+ 13	+ 23	+ 37	+ 76 / + 54
120	140	0	− 43	− 14	0	+ 14	+ 28	+ 40	+ 52	+ 68	+ 88 / + 63
140	160										+ 90 / + 65
160	180	+ 40	− 83	− 39	− 25	− 11	+ 3	+ 15	+ 27	+ 43	+ 93 / + 68
180	200	0	− 50	− 15	0	+ 16	+ 33	+ 46	+ 60	+ 79	+ 106 / + 77
200	225										+ 109 / + 80
225	250	+ 46	− 96	− 44	− 29	− 13	+ 4	+ 17	+ 31	+ 50	+ 113 / + 84
250	280	0	− 56	− 17	0	+ 16	+ 36	+ 52	+ 66	+ 88	+ 126 / + 94
280	315	+ 52	− 108	− 49	− 32	− 16	+ 4	+ 20	+ 34	+ 56	+ 130 / + 98
315	355	0	− 62	− 18	0	+ 18	+ 40	+ 57	+ 73	+ 98	+ 144 / + 108
355	400	+ 57	− 119	− 54	− 36	− 18	+ 4	+ 21	+ 37	+ 62	+ 150 / + 114
400	450	0	− 68	− 20	0	+ 20	+ 45	+ 63	+ 80	+ 108	+ 166 / + 126
450	500	+ 63	− 131	− 60	− 40	− 20	+ 5	+ 23	+ 40	+ 68	+ 172 / + 132

(*) Reprodução parcial de Tabela ABNT/ISO NBR 6158

3. TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA

A execução da peça dentro da tolerância dimensional não garante, por si só, um funcionamento adequado. Veja um exemplo.

A figura da esquerda mostra o desenho técnico de um pino, com indicação das tolerâncias dimensionais. A figura da direita mostra como ficou a peça depois de executada, com a indicação das dimensões efetivas.



Note que, embora as dimensões efetivas do pino estejam de acordo com a tolerância dimensional especificada no desenho técnico, a peça real não é exatamente igual à peça projetada. Pela ilustração você percebe que o pino está deformado.

Não é suficiente que as dimensões da peça estejam dentro das tolerâncias dimensionais previstas. E necessário que as peças estejam dentro das formas previstas para poderem ser montadas adequadamente e para que funcionem sem problemas. Do mesmo modo que é praticamente impossível obter uma peça real com as dimensões nominais exatas, também é muito difícil obter urna peça real com formas rigorosamente idênticas às da peça projetada. Assim, desvios de formas dentro de certos limites não chegam a prejudicar o bom funcionamento das peças.

Quando dois ou mais elementos de uma peça estão associados, outro fator deve ser considerado: a posição relativa desses elementos entre si.

As variações aceitáveis das formas e das posições dos elementos na execução da peça constituem as tolerâncias geométricas.

Interpretar desenhos técnicos com indicações de tolerâncias geométricas. Como se trata de um assunto muito complexo, será dada apenas uma visão geral, sem a pretensão de esgotar o tema. O aprofundamento virá com muito estudo e com a prática profissional.

3.1. TOLERÂNCIAS DE FORMA

As **tolerâncias de forma** limitam os afastamentos de um dado elemento em relação à sua forma geométrica teórica.

3.1.1. TOLERÂNCIA DE RETITUDE OU RETILINEIDADE

É a diferença admissível da reta, delimitada por um cilindro imaginário que tem como eixo de simetria a linha teórica e, como superfície, os limites de tolerância admissíveis para a linha teórica, conforme representado nas Figuras 1 e 2.

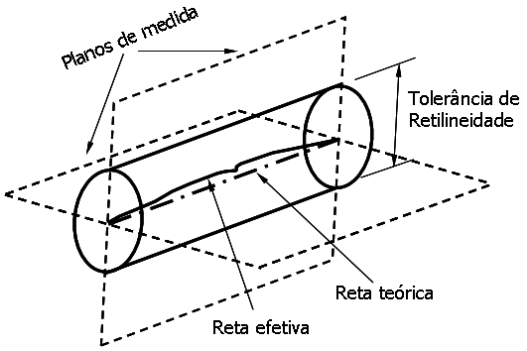


Figura 1 – Tolerância de retilineidade com formato cilíndrico

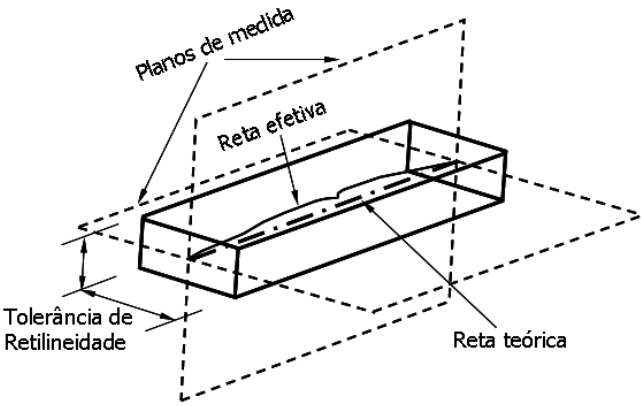


Figura 2 – Tolerância de retilineidade com formato de paralelepípedo

A tolerância de Retilineidade com formato cilíndrico pode ser aplicada para o controle de desvios geométricos em sólidos de revolução, tais como cilindros e eixos.

A tolerância de Retilineidade com formato de paralelepípedo pode ser aplicada para o controle de desvios geométricos em sólidos com seção transversal retangular, tais como guias e barramentos de máquinas operatrizes

A figura 3 apresenta um exemplo de indicação da tolerância de Retilineidade em desenhos técnicos.

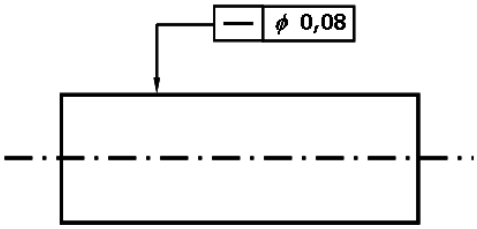


Figura 3– Indicação de Tolerância de Retilineidade em desenho técnico

O exemplo indica que o eixo da parte cilíndrica da peça deve estar dentro de um cilindro com diâmetro de 0,08 mm. A Figura 4 apresenta um esquema de medição da Retilineidade, com relógio comparador encostado em duas réguas apoiadas, juntamente com a peça, sob uma mesa de desempeno.

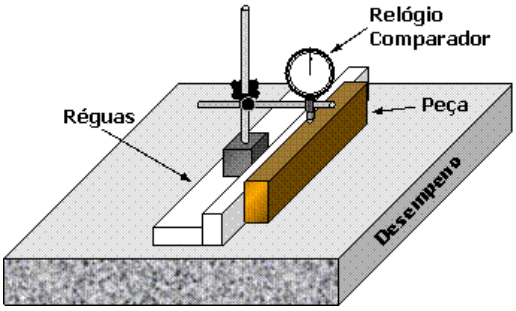


Figura 4 – Esquema de medição da Retilineidade

3.1.2. TOLERÂNCIA DE PLANEZA OU PLANICIDADE

Tolerância de planeza é a diferença admissível na variação da forma plana de uma peça, representada por dois planos paralelos que definem os limites superior e inferior de variação admissível, entre os quais deve se encontrar a superfície efetiva (medida).

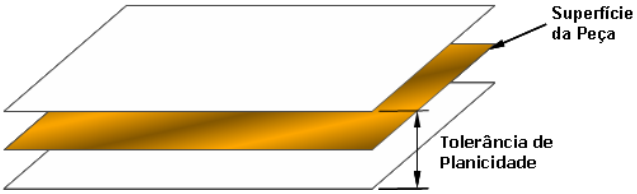


Figura 5 – Tolerância de Planeza ou Planicidade

A Figura 5 representa a tolerância de planicidade de acordo com a definição, e A Figura 6 apresenta um exemplo de indicação desta tolerância em desenhos técnicos.

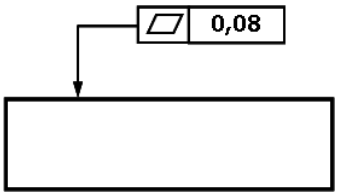


Figura 6– Indicação de Tolerância de Planicidade em desenho técnico

O exemplo da Figura 6 indica que a superfície da peça deve ficar entre dois planos paralelos distantes entre si de 0,08mm. A Figura 7 apresenta um esquema de medição do desvio de planicidade da superfície de uma peça usando relógio comparador sob uma mesa de desempeno.

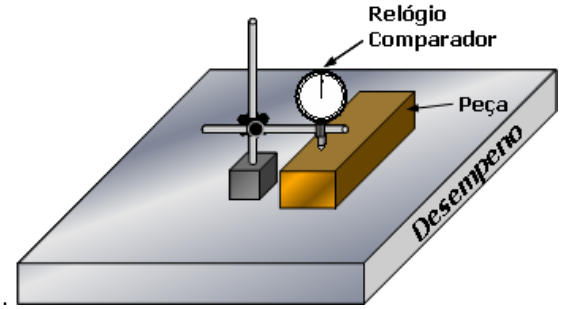


Figura 7 – Esquema de Medição de Planeza ou Planicidade

Os desvios de planeza são de grande interesse, especialmente na construção de máquinas operatrizes, em que o assento dos carros e das caixas de engrenagens sobre guias prismáticas ou paralelas têm grande influência na precisão exigida da máquina.

A concavidade e a convexidade, representadas na Figura 8, são os tipos mais comuns de desvios de planeza.

Concavidade **convexidade**

Figura 8 – Concavidade e Convexidade como Desvios de Planeza

As expressões "não côncavo" ou "não convexo" podem complementar as especificações de tolerância de planeza, quando for relevante.

3.1.3. TOLERÂNCIA DE CIRCULARIDADE

Desvios de circularidade (ou ovalização) podem ocorrer na seção circular de uma peça em forma de disco, cilindro ou cone. A tolerância de circularidade é representada por dois círculos concêntricos, que indicam os limites inferior e superior tolerados para o desvio de circularidade. A Figura 9 representa a tolerância de circularidade.

Espera-se que estes desvios de circularidade fiquem dentro da tolerância dimensional especificada para o diâmetro da peça cilíndrica. A tolerância de circularidade é, no máximo, igual à tolerância dimensional para eixos e furos com qualidade de trabalho até IT8, ou metade da tolerância dimensional para qualidades iguais ou maiores que IT9.

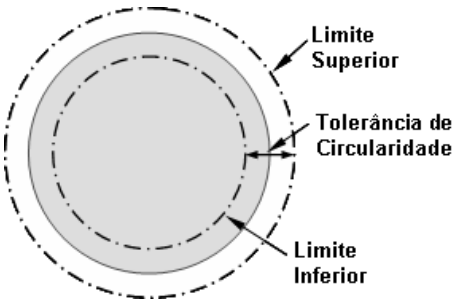


Figura 9 – Representação da Tolerância de Circularidade

Os desvios de circularidade costumam ser pequenos, e pouco importantes, mas as tolerâncias de circularidade devem ser especificadas quando a precisão desejada não puder ser garantida pelos processos normais de usinagem. A Figura 10 apresenta um exemplo de indicação da tolerância de circularidade em desenhos técnicos, equivalente a 0,04 mm.

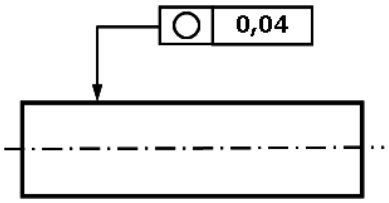
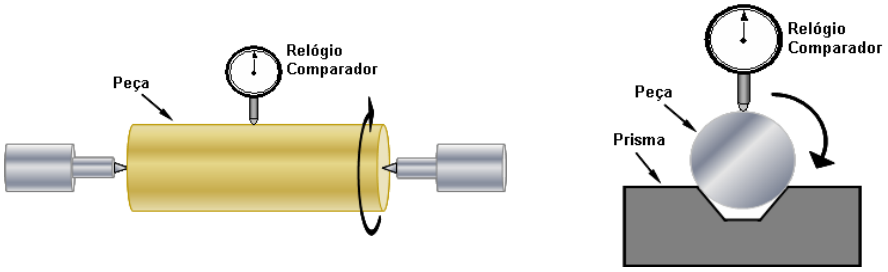


Figura 10– Indicação de Tolerância de Circularidade em desenho técnico

A medição do desvio de circularidade pode ser realizada com a utilização de relógio comparador e um equipamento onde a peça é posicionada entre centros (Figura 11a), ou com a peça posicionada em um prisma em **V** (Figura 11b).



(a) Medição entre centros **(b) Medição com prisma em V**

Figura 11 – Métodos para medição da circularidade

Pode-se, também, utilizar equipamentos automatizados, especialmente projetados para medir o desvio de circularidade, como o apresentado na Figura 12.

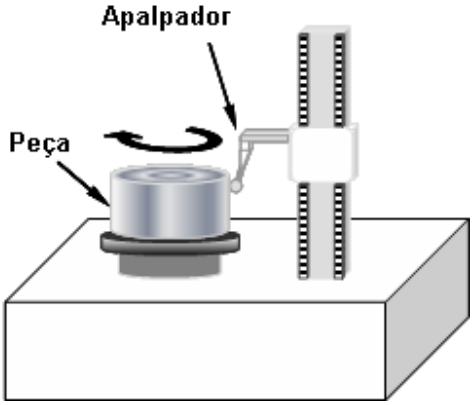


Figura 12 - Equipamento para medição da circularidade

Neste equipamento, a peça é posicionada sobre um prato giratório, e um apalpador faz o contato com a superfície da peça. Os valores são indicados num mostrador digital ou então impressos. É conveniente indicar na especificação de tolerância de circularidade o método recomendado para a medição do desvio.

3.1.4. TOLERÂNCIA DE CILINDRICIDADE

O desvio de cilindricidade é o desvio que pode ocorrer em toda a superfície de uma peça cilíndrica, incluindo a seção longitudinal e a seção transversal do cilindro. A tolerância de cilindricidade (Figura 13) é definida por dois cilindros concêntricos que circundam a superfície da peça, estabelecendo os limites inferior e superior desta tolerância.

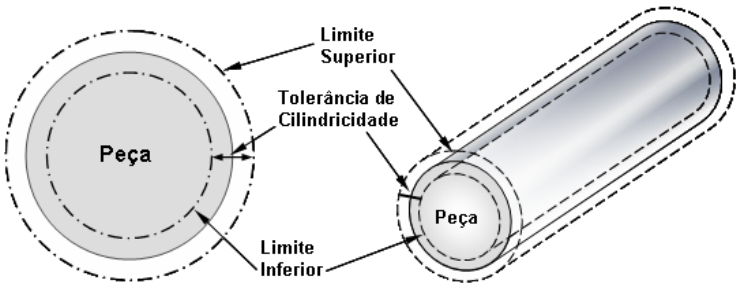


Figura 13 - Tolerância de cilindricidade

A Figura 14 apresenta um exemplo de indicação da tolerância de cilindricidade em desenhos técnicos, informando que a superfície da peça cilíndrica deve ficar entre dois cilindros coaxiais cujos raios diferem de 0,04 mm.

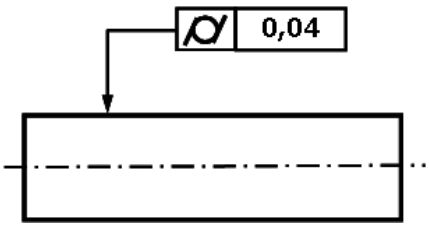


Figura 14– Indicação de Tolerância de Cilindricidade em desenho técnico

A medição do desvio de cilindricidade deve ser realizada em vários planos de medida ao longo de todo o comprimento da peça, e é igual à diferença entre o maior valor e o menor valor medido. O desvio máximo medido não deve ser maior do que a tolerância especificada.

O desvio de cilindricidade pode ser considerado como o desvio de circularidade medido em toda a extensão da peça. A medição do desvio de cilindricidade (Figura 15) pode ser realizada por um instrumento de medição especialmente desenvolvido para este propósito ou, na ausência deste, a medição pode ser realizada em duas etapas:

- Medição do desvio máximo ao longo da seção longitudinal da peça;
- Medição do desvio máximo na seção transversal da peça (circularidade).

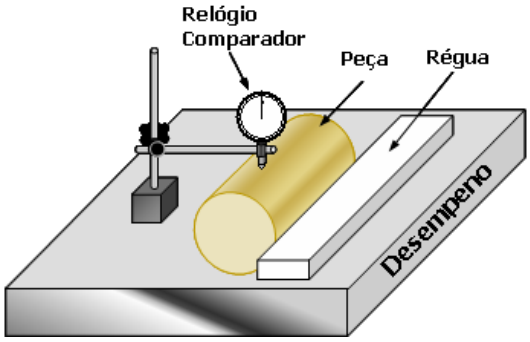


Figura 15 - Medição do desvio de cilindricidade

3.1.5. TOLERÂNCIA DE FORMA DE UMA LINHA QUALQUER

A tolerância para o desvio de forma de uma linha qualquer (Figura 16), é representada por um sólido de seção circular, com centro na linha de simetria teórica, cujo diâmetro é a tolerância especificada. A linha efetiva (medida) que representa o perfil da peça fabricada deve ficar dentro do sólido especificado pela tolerância.

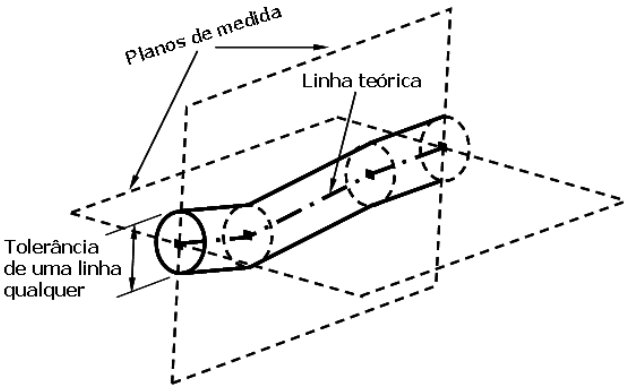


Figura 16 - Tolerância de forma de uma linha qualquer

A Figura 17 apresenta um exemplo de indicação da tolerância de forma de uma linha qualquer em desenhos técnicos, informando que o perfil da peça deve ficar entre duas envolventes que formam um sólido de seção circular com diâmetro igual a 0,06 mm.

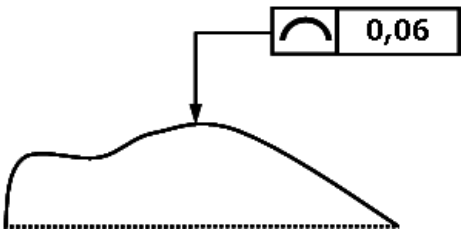


Figura 17– Indicação de tolerância de forma de uma linha qualquer em desenho técnico

3.1.6. TOLERÂNCIA DE FORMA DE UMA SUPERFÍCIE QUALQUER

A tolerância para o desvio de forma de uma superfície qualquer (Figura 18), é representada por duas superfícies teóricas, que envolvem a superfície projetada para a peça, cuja distância é limitada por uma esfera com diâmetro equivalente à tolerância especificada. O centro da esfera está localizado na superfície teórica.

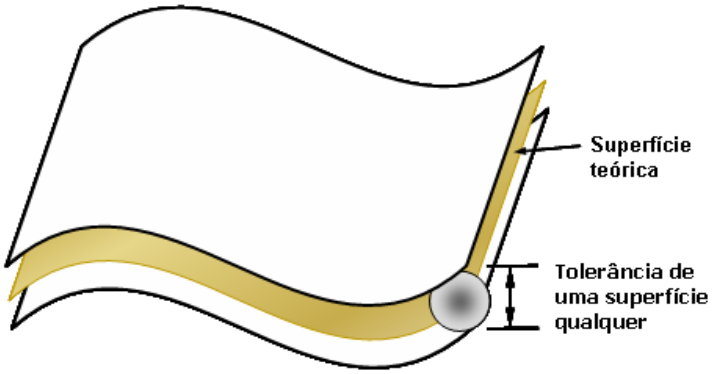


Figura 18 - Tolerância de forma de uma superfície qualquer

A Figura 19 apresenta um exemplo de indicação da tolerância de forma de uma superfície qualquer em desenhos técnicos, informando que a superfície da peça deve ficar entre duas superfícies envolventes cuja distância é limitada por uma esfera com diâmetro igual a 0,06 mm.

Os desvios de forma de uma superfície qualquer podem ser medidos em máquinas de medir por coordenadas ou tridimensionais.

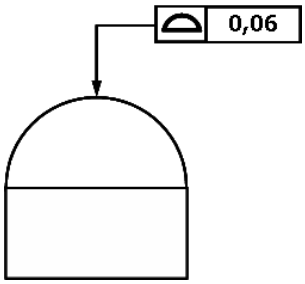


Figura 19 – Indicação de tolerância de forma de uma superfície qualquer em desenho técnico

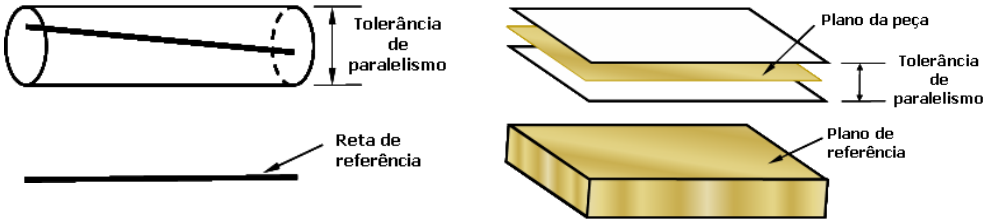
3.2. TOLERÂNCIAS DE POSIÇÃO

A tolerância geométrica de posição é o desvio de posição máximo admissível para uma peça fabricada em relação à posição teórica definida no projeto.

As tolerâncias de posição limitam os afastamentos da posição mútua de dois ou mais elementos por razões funcionais ou para assegurar uma interpretação inequívoca. Geralmente um deles é usado como referência para a indicação das tolerâncias. Se for necessário, pode ser tomada mais de uma referência.

3.2.1. TOLERÂNCIA DE PARALELISMO

Tolerância de paralelismo de uma linha reta (eixo) ou de um plano é o desvio de posição máximo admissível em relação à outra linha reta ou plano de referência (Figura 20).



(a) Paralelismo entre retas **(b) Paralelismo entre planos**

Figura 20 - Tolerância de Paralelismo

A tolerância de paralelismo entre duas linhas retas (Figura 20a) é delimitada pelo espaço contido em um cilindro paralelo ao eixo de referência, que envolve a linha efetiva (medida), tendo como eixo de simetria uma das retas teóricas.

A tolerância de paralelismo entre dois planos (Figura 20b) é o desvio máximo admissível para uma superfície plana de uma peça, representada pela distância entre dois planos teóricos, paralelos entre si, sendo um o plano de referência, entre os quais deve estar a superfície plana efetiva (medida) da peça.

A Figura 21 apresenta um exemplo de indicação da tolerância de paralelismo em desenhos técnicos, informando que a linha reta ou superfície plana da peça deve ficar entre duas retas paralelas (cilindro) ou dois planos paralelos, com distância de 0,06 mm entre si, e paralelos à reta ou plano de referência **A**.

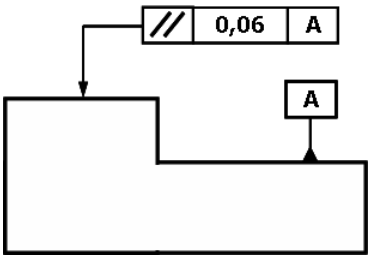


Figura 21 - Indicação de tolerância de paralelismo em desenho técnico

3.2.2. TOLERÂNCIA DE INCLINAÇÃO

Tolerância de inclinação de uma linha reta (eixo) ou de um plano é o desvio de posição máximo admissível para o ângulo teórico em relação a outra linha reta ou plano de referência. O campo de tolerância do desvio angular é delimitado por duas retas (Figura 22) ou dois planos paralelos entre si, com inclinação igual ao valor teórico especificado em projeto.

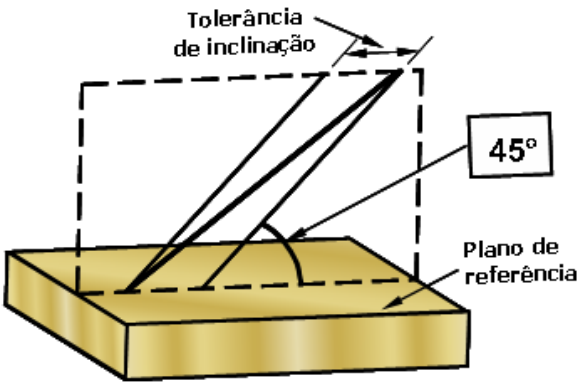


Figura 22 - Tolerância de Inclinação

A Figura 23 apresenta um exemplo de indicação da tolerância de inclinação em desenhos técnicos, informando que a linha reta ou superfície plana indicada na peça deve ficar entre duas retas paralelas, com distância de 0,06 mm entre si, e formando um ângulo plano de 45° com o plano de referência **A**.

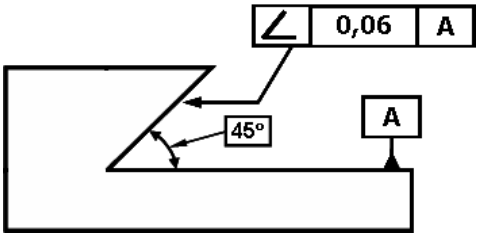
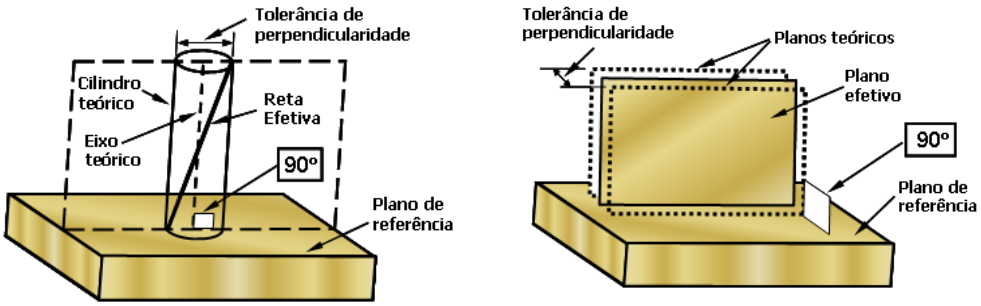


Figura 23 - Indicação de tolerância de inclinação em desenho técnico

3.2.3. TOLERÂNCIA DE PERPENDICULARIDADE

Tolerância de perpendicularidade de uma linha reta (eixo) ou de um plano é o desvio de posição máximo admissível para o ângulo teórico de 90° em relação a outra linha reta ou plano de referência (Figura 24). O desvio de perpendicularidade pode ser considerado um caso particular do desvio de inclinação.



(a) Linha reta com um plano **(b) Plano com plano**

Figura 24 - Tolerância de Perpendicularidade

O campo de tolerância do desvio de perpendicularidade entre uma reta e um plano (Figura 24a) é delimitado por um cilindro, dentro do qual deve estar a reta efetiva (medida), cujo eixo teórico faz um ângulo de 90° em relação a um plano de referência especificado.

O campo de tolerância do desvio de perpendicularidade entre dois planos (Figura 24b) é delimitado por dois planos teóricos, paralelos entre si, com inclinação de 90° em relação ao plano de referência especificado, entre os quais deve estar o plano efetivo (medido).

A Figura 25 apresenta um exemplo de indicação da tolerância de perpendicularidade em desenhos técnicos, informando que o plano efetivo (medido) da superfície indicada na peça, deve ficar entre dois planos teóricos paralelos com distância de 0,2 mm entre si, que formam um ângulo plano de 90° com o plano de referência A.

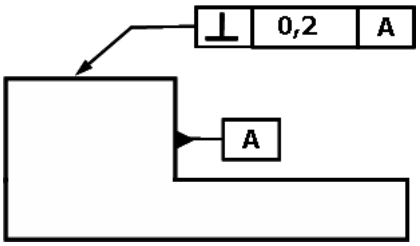


Figura 25 - Indicação de tolerância de perpendicularidade em desenho técnico

3.2.4. TOLERÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO DE UM PONTO

Tolerância de localização de um ponto é o desvio máximo admissível para a posição de um elemento em relação à sua posição teórica. O campo de tolerâncias é delimitado por um círculo ou esfera cujo centro corresponde à localização teórica do ponto, e a superfície corresponde aos limites admissíveis para a localização do ponto.

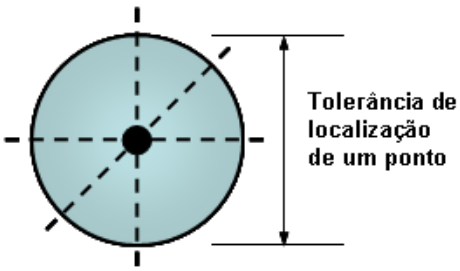


Figura 26 - Tolerância de localização de um ponto

A Figura 27 apresenta um exemplo de indicação da tolerância de localização de um ponto em desenhos técnicos, informando que o eixo de um furo deve estar incluído dentro de uma esfera de diâmetro 0,2 mm, cujo eixo teórico está na posição geometricamente exata indicada pelas cotas 60 mm e 80 mm.

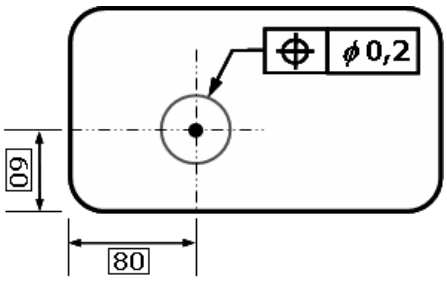


Figura 27 - Indicação de tolerância de localização em desenho técnico

3.2.5. TOLERÂNCIA DE SIMETRIA

A tolerância de simetria de um plano médio ou de uma linha média em relação a uma reta ou plano de referência, é o desvio máximo admissível para o plano médio efetivo (medido) de uma peça, representada pela distância entre dois planos teóricos, paralelos entre si, e simétricos em relação ao plano médio de referência.

A Figura 28 apresenta um exemplo de indicação da tolerância de simetria em desenhos técnicos, informando que o plano médio do canal deve estar entre dois planos paralelos com distância de 0,05 mm entre si, e simétricos ao plano de referência **A**.

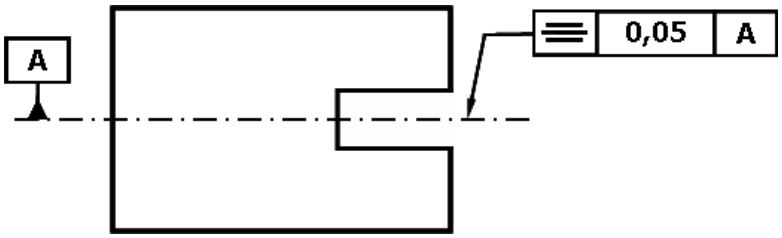


Figura 28 - Indicação de tolerância de simetria em desenho técnico

O desvio de simetria pode ser considerado como um caso particular do desvio de localização do ponto, em que os elementos considerados são arestas simétricas.

3.2.6. TOLERÂNCIA DE CONCENTRICIDADE

A tolerância de concentricidade é a variação admissível da posição do eixo de simetria de elementos teoricamente concêntricos. O campo de tolerância do desvio de concentricidade é delimitado por um círculo em cujo centro encontra-se a linha de simetria de um elemento de referência.

A linha de simetria do segundo elemento, teoricamente coincidente, deve estar no interior do círculo de referência.

3.2.6.1. TOLERÂNCIA DE COAXIALIDADE

A tolerância de coaxialidade é o desvio máximo admissível de concentricidade medido ao longo do eixo de simetria dos elementos considerados. O campo de tolerância é definido como um cilindro concêntrico a um dos elementos. O segundo elemento deve ter seu eixo de simetria, teoricamente coincidente com o primeiro, dentro do cilindro de tolerância.

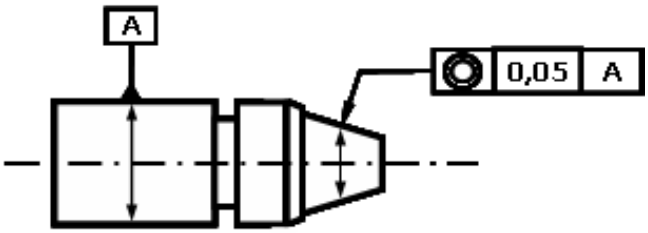


Figura 29 - Indicação de tolerância de coaxialidade em desenho técnico

A Figura 29 apresenta um exemplo de indicação da tolerância de coaxialidade em desenhos técnicos, informando que o eixo de simetria da parte indicada na peça deve estar incluído dentro de um cilindro com diâmetro de 0,05 mm, cujo eixo coincide com o eixo de referência **A**.

3.3. DESVIOS COMPOSTOS DE FORMA E POSIÇÃO

Algumas vezes não é possível separar os desvios de forma dos desvios de posição para fabricação das peças e medição posterior, formando os desvios compostos de forma e posição. Dentre os vários tipos de desvios compostos destacam-se os desvios de batida em superfícies de revolução.

A **tolerância de batida** é o desvio máximo admissível na posição do elemento considerado ao completar uma rotação, girando em torno de um eixo de referência sem se deslocar axialmente.

Os desvios de batida podem somar erros como a coaxialidade, excentricidade, perpendicularidade, circularidade, e planicidade.

A medição do desvio de batida é possível somente com o elemento realizando uma rotação completa.

Os desvios de batida podem ser subdivididos em desvios de batida radial e desvios de batida axial, de acordo com a posição do desvio em relação ao eixo de rotação.

3.3.1. TOLERÂNCIA DE BATIDA RADIAL

Tolerância de batida radial (Figura 30) é o desvio máximo admissível da posição de um elemento ao completar uma rotação, medida no sentido radial ao eixo de rotação. O campo de tolerância é definido em um plano perpendicular ao eixo de rotação, composto de dois círculos concêntricos, dentro dos quais deve encontrar-se o perfil da peça durante uma volta completa em torno de seu eixo de simetria.

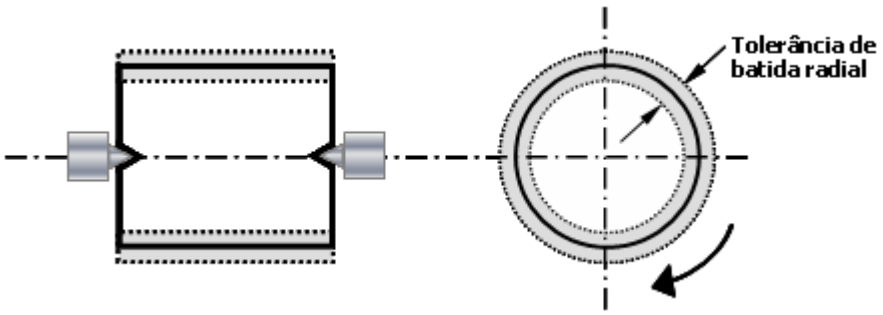
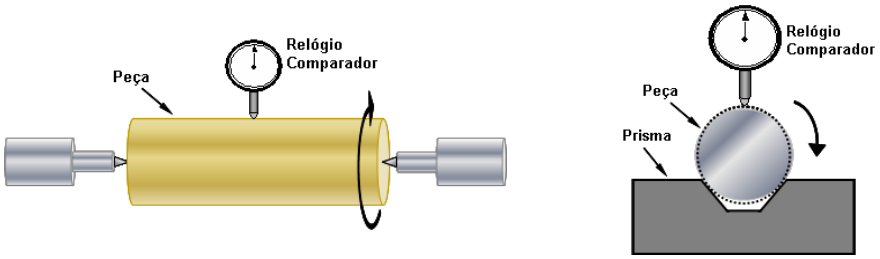


Figura 30 - Tolerância de batida radial em superfícies cilíndricas

A medição do desvio de batida radial é semelhante ao método de medição do desvio de circularidade, a qual pode ser realizada com a utilização de relógio comparador e um equipamento onde a peça é posicionada entre centros (Figura 31a), ou com a peça posicionada em um prisma em **V** (Figura 31b).



(a) Medição entre centros **(b) Medição com prisma em V**

Figura 31 – Métodos para medição do desvio de batida radial

A Figura 32 apresenta um exemplo de indicação da tolerância de batida radial em desenhos técnicos, informando que numa revolução completa da peça em torno do eixo de referência **A**, o balanço radial da superfície indicada não deve ser maior que a tolerância de 0,02 mm.

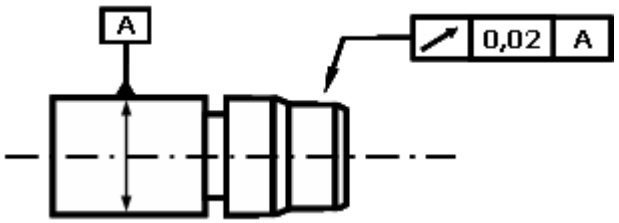


Figura 32 - Indicação de tolerância de batida radial em desenho técnico

Para superfícies cônicas, a tolerância de batida é a distância entre superfícies cônicas concêntricas, dentro das quais deverá encontrar-se a superfície efetiva (medida), quando a peça efetuar um giro completo sobre seu eixo de simetria.

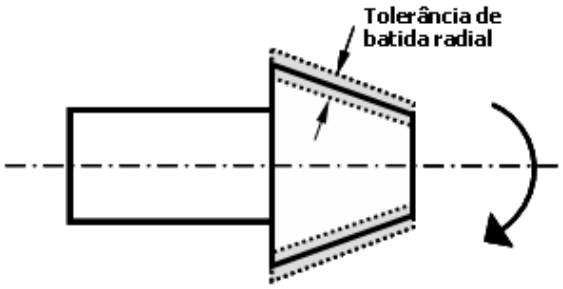


Figura 33 - Tolerância de batida radial em superfícies cônicas

3.3.2. TOLERÂNCIA DE BATIDA AXIAL

Tolerância de batida axial (Figura 34) é o desvio máximo admissível da posição de um elemento ao completar uma rotação, medida no sentido axial ao eixo de rotação.

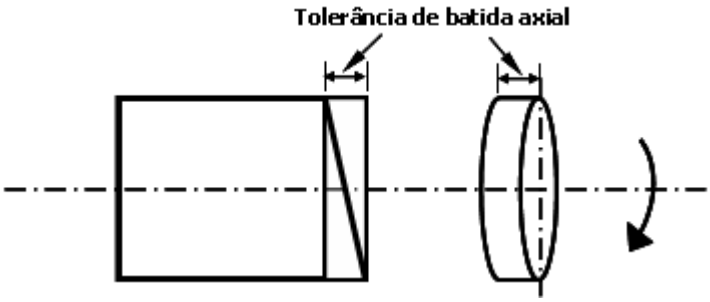


Figura 34 - Tolerância de batida axial

O campo de tolerância é definido como um cilindro concêntrico ao eixo de rotação, cuja altura (distância entre as bases) corresponde à tolerância de batida axial. A trajetória de um ponto qualquer durante uma rotação completa deve ficar dentro do cilindro.

A Figura 35 apresenta um exemplo de indicação da tolerância de batida axial em desenhos técnicos, informando que numa revolução completa da peça em torno do eixo de referência **A**, o balanço axial da superfície frontal não deve ser maior que a tolerância de 0,04 mm.

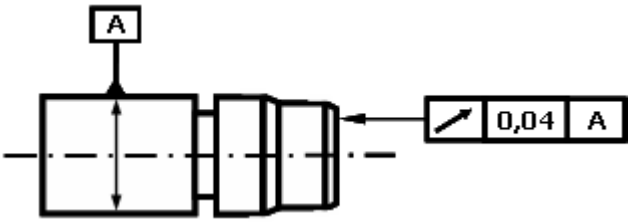


Figura 35 - Indicação de tolerância de batida axial em desenho técnico

A figura 36 apresenta um exemplo de medição do batimento axial usando relógio comparador.

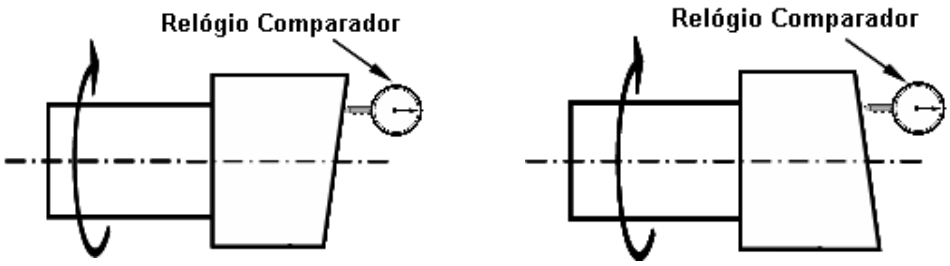
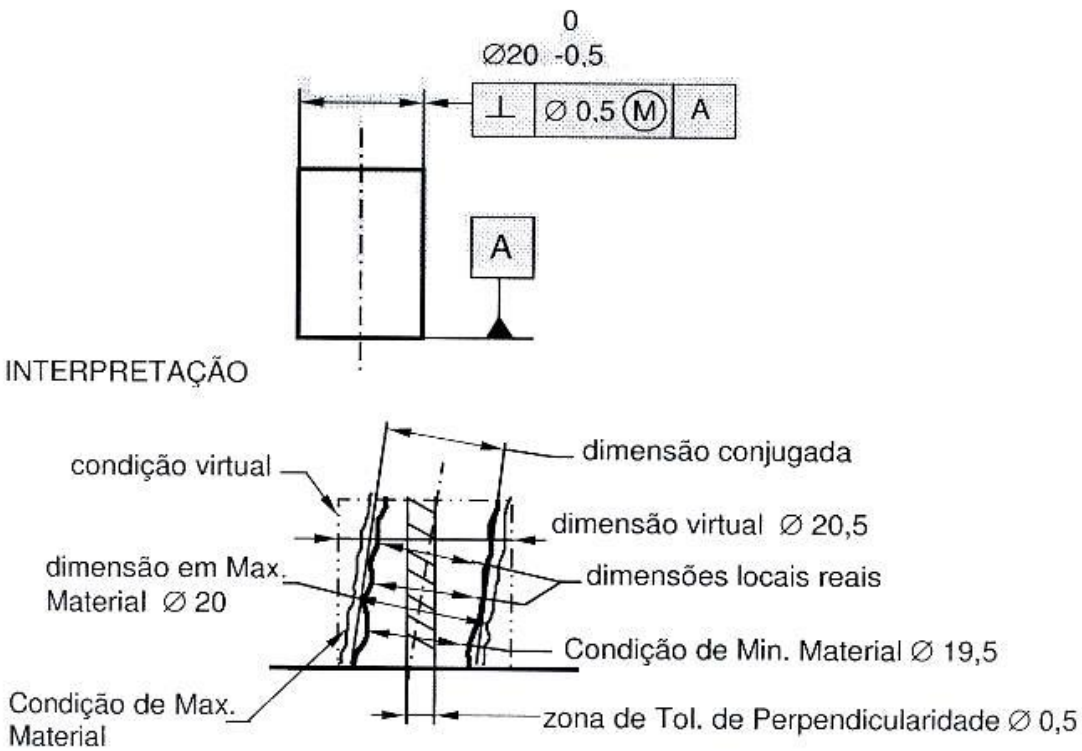
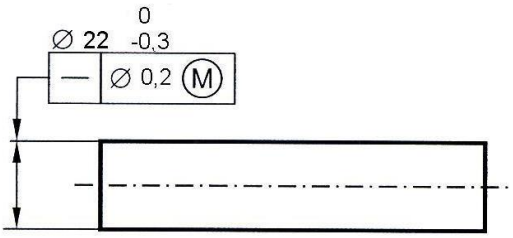


Figura 36 – Medição do desvio de batida axial

GD&T - GEOMETRIC DIMENSIONING & TOLERANCING

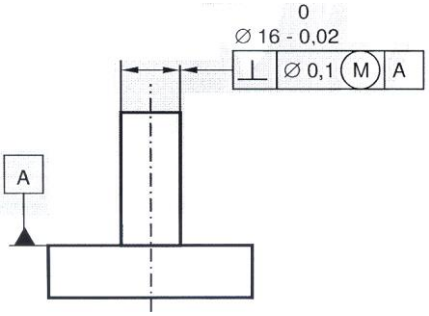


Analise o desenho abaixo e responda.



( ) Se eu tivesse que representar a peça acima em um desenho técnico, eu poderia deixar a representação da peça com apenas esta única vista.
(x) Cada dimensão real local da peça acima deve estar dentro das dimensões de _____ mínimo material e de _____ para o máxima material;
(x) Na condição de mínimo material, o desvio de retilinidade deverá ser de no máximo de _____;
(x) Na condição de máximo material, o desvio de retilinidade deverá ser de no máximo de _____;
( ) Ao medir com um paquímetro, o diâmetro da peça acima, eu encontro a dimensão de ø22,05. Eu posso considera-la como dentro do especificado em desenho.
( ) Ao dimensionar uma peça em que este eixo será montado, o diâmetro do furo seria de no mínimo ø22,20. Pois caso menor, poderia haver interferência.

Analise o desenho abaixo e responda.



(x) Qual é o desvio de perpendicularidade permitido, se o diâmetro do pino for ø15,99? _____
( ) Na condição de máximo material, o desvio de perpendicularidade deverá ser de no máximo de 0,1.

Exercício 1

Faça um círculo em torno dos símbolos que indicam tolerâncias de forma:

a) ⊥ **b)** ∅ **c)** ⌒ **d)** ▱

Exercício 2

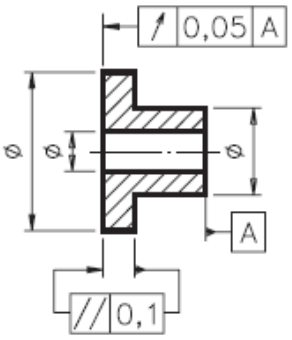
Faça um círculo em torno do símbolo que indica tolerância de concentricidade.

a) ≡ **b)** ◎ **c)** ⊕ **d)** ∠

Exercício 3

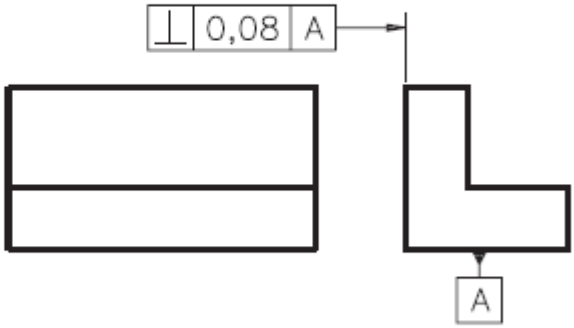
Analise o desenho e assinale com um X os tipos de tolerâncias indicados.

a) ( ) batimento;
b) ( ) paralelismo;
c) ( ) inclinação;
d) ( ) simetria.



Exercício 5

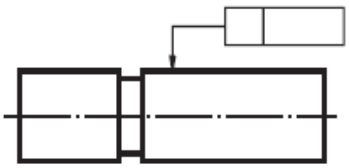
Analise o desenho técnico e responda:



a) qual o elemento tolerado? R.: .....
b) qual o elemento de referência? R.: .....

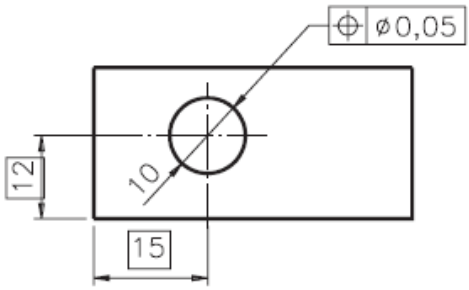
Exercício 6

No desenho técnico abaixo, preencha o quadro de tolerância sabendo que a tolerância aplicada é de cilindricidade e o valor da tolerância é de dois centésimos de milímetro.



Exercício 7

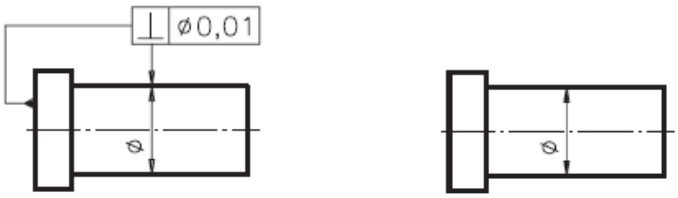
Analise o desenho técnico e complete as frases.



a) A tolerância aplicada neste desenho é de .....;.
b) O valor da tolerância é de .....;
c) Os elementos de referência são as cotas ..... e ..... .

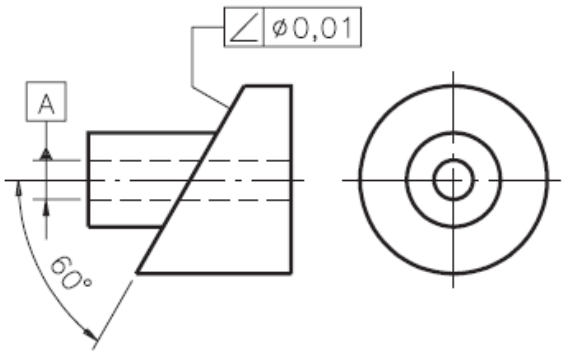
Exercício 8

No desenho técnico da esquerda, o elemento de referência está ligado diretamente ao elemento tolerado. Complete o desenho da direita, identificando o elemento de referência como A.



Exercício 9

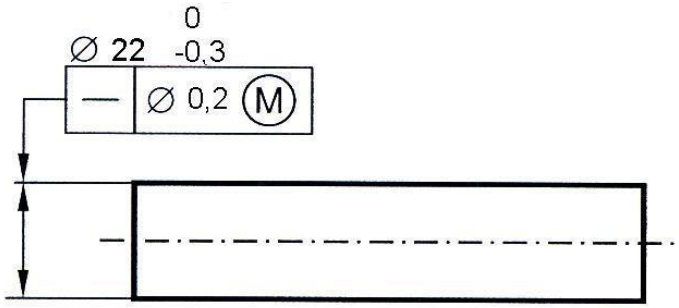
Analise o desenho técnico e complete as frases corretamente.



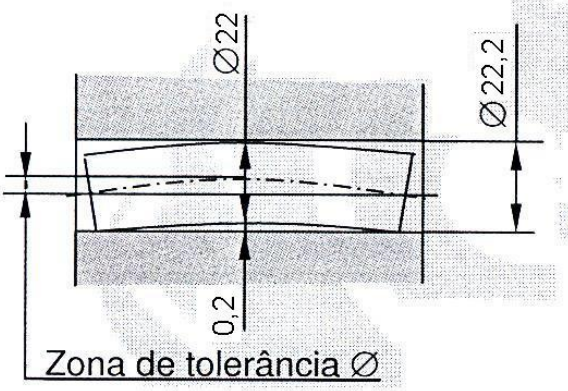
a) A tolerância indicada neste desenho é de ..... .
b) O elemento de referência é o ..... .

Responder as questões abaixo sobre GD&T

Indicação no desenho:



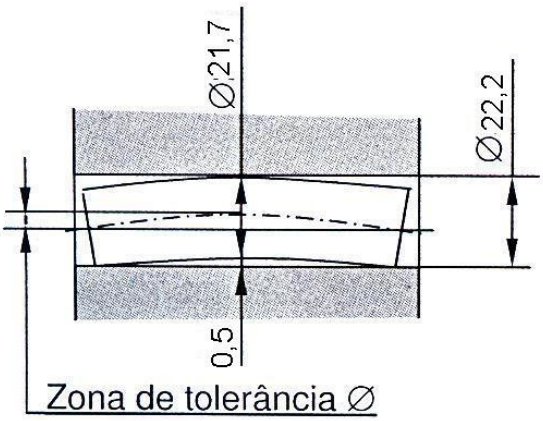
Requisito de função:



a) Cada dimensão real local do eixo deve estar dentro da dimensão especificada, ou seja, com ∅ _____ máximo e ∅ _____mínimo.

b) O desvio de retilinidade deverá ser no máx.____dentro da condição de máximo material ∅ _____e é permitido ser aumentado na mesma proporção que o eixo desvia da condição de máximo material (em direção à condição de mínimo material) .

Isto significa que:



c) Na dimensão de máximo material ∅ _____ , é permitido um desvio de retilinidade dentro de

d) Na condição de mínimo material, ∅_____ , é permitido um desvio de retilinidade de_____ .

TOLERÂNCIAS GEOMÉTRICAS (QUADRO SINÓTICO)		
TOLERÂNCIA DE FORMA PARA ELEMENTOS ISOLADOS		
	Denominação	**Símbolo**
de linhas	Retilineidade Circularidade Forma de linha qualquer	— ○ ⌒
de superfícies	Planeza Cilindricidade Forma de superfície qualquer	▱ ⌭ ⌓
TOLERÂNCIA PARA ELEMENTOS ASSOCIADOS		
	Denominação	**Símbolo**
de orientação	Paralelismo Perpendicularidade Inclinação	// ⊥ ∠
de posição	Localização Concentricidade ou coaxialidade Simetria	⌖ ◎ ⌯
TOLERÂNCIA DE BATIMENTO		
	Radial Axial	↗

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- AGOSTINHO, OSWALDO LUIZ; DOS SANTOS, ANTONIO CARLOS; LIRANI, JOÃO. **Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões**. 7.ed. São Paulo: Blücher. 2001.
- Oliveira, A. P., **Desenho Técnico**, Apostila do Instituto Técnico, 2007.
- PROVENZA**,** F. P. – **PROTEC – Desenhista de Máquinas**. São Paulo. Escola PROTEC, 4° Ed. 1991.
- PROVENZA**,** F. P. – **PROTEC** – **Projetista de Máquinas**. São Paulo. Escola PROTEC, 4° Ed. 1996.
- Santana, F. E., **Desenho Técnico**, Apostila da Faculdade de Tecnologia em São Carlos – FATESC, Rev 00, 2005
- SENAI-ES. Leitura e Interpretação de Desenho Técnico Mecânico. Vitória: Senai-ES, 1996.
- SOCIESC**, DES – Desenho Técnico**, Apostila da Escola Técnica Tupy, Rev 00, Joinville – SC. 2004