



Prof. Dr. Eduardo Vila Gonçalves Filho
Prof. Dr. Luiz C. R. Carpinetti

Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

TOLERÂNCIAS GEOMÉTRICAS

Desvios de Forma, Orientação e Posição



Seção de Publicações da EESC-USP
1996

ÍNDICE

1. Introdução	1
1.1. Considerações Iniciais	1
1.2. Tolerâncias Geométricas	2
1.3. Simbologia e Indicação em Desenho	3
2. Retilidade	10
2.1. Conceitos e Definições	10
2.2. Controle de um Elemento de Superfície	11
2.3. Controle de um Eixo	12
2.4. Procedimentos de Inspeção	14
3. Planicidade	16
3.1. Conceitos e Definições	16
3.2. Interpretação da Tolerância	17
3.3. Medição do Erro de Planicidade	18
4. Circularidade	19
4.1. Conceitos e Definições	19
4.2. Interpretação da Tolerância de Circularidade	20
4.3. Procedimentos de Inspeção	23
5. Cilindricidade	24
5.1. Conceitos e Definições	24
5.2. Interpretação da Tolerância de Cilindricidade	24
5.3. Procedimentos de Inspeção	27
6. Forma de um Perfil ou de uma Superfície Genérica	28
6.1. Forma de um Perfil - Conceitos e Definições	28
6.2. Forma de Uma Superfície Genérica - Conceitos e Definições	30
7. Exercícios de Avaliação	35

8. Paralelismo.....	37
8.1. Conceitos e Definições.....	37
8.2. Tolerância de Paralelismo de uma Superfície com relação a um Plano de Referência.....	38
8.2.1. Procedimentos de Inspeção.....	39
8.3. Tolerância de Paralelismo de um Eixo com relação a um Plano de Referência.....	41
8.3.1. Procedimentos de Inspeção.....	42
8.4. Tolerância de Paralelismo de uma Reta com relação a uma Reta de Referência.....	43
8.4.1. Definições.....	43
8.4.2. Procedimentos de Inspeção.....	45
8.5. Tolerância de Paralelismo de uma Superfície com Relação a uma Reta de Referência.....	46
8.5.1. Definições.....	46
8.5.2. Procedimentos de Inspeção.....	47
9. Perpendicularidade.....	48
9.1. Conceitos e Definições.....	48
9.2. Aplicação e Interpretação da Tolerância de Perpendicularidade.....	48
9.3. Tolerância de Perpendicularidade de uma Superfície ou Plano Mediano com relação a um Plano de Referência.....	49
9.4. Tolerância de Perpendicularidade de um Eixo com relação a um Plano de Referência.....	51
9.5. Tolerância de Perpendicularidade de um Plano com relação a um Eixo de Referência.....	53
9.6. Tolerância de Perpendicularidade de uma Reta com um Eixo de Referência.....	53
9.7. Procedimentos de Inspeção.....	55
10. Inclinação (Angularidade).....	57
10.1. Conceitos e Definições.....	57
10.2. Tolerância de Inclinação de uma Superfície em relação a um Plano de Referência.....	58

10.3. Tolerância de Inclinação de uma Superfície em relação a uma Reta de Referência.....	58
10.4. Tolerância de Inclinação de uma Reta em relação a um Plano de Referência.....	59
10.5. Tolerância de Inclinação de uma Reta com relação a uma Reta de Referência.....	60
10.2. Procedimentos de Inspeção.....	61
11. Concentricidade	64
11.1. Conceitos e Definições	64
11.2. Aplicação da Tolerância de Concentricidade	65
11.3. Interpretação da Tolerância de Concentricidade	65
11.4. Medida do Erro de Concentricidade	65
12. Batimento.....	70
12.1. Introdução	70
12.2. Batimento Radial e Axial - Conceitos e Definições	71
12.3. Exemplos de aplicação	72
12.4. Procedimentos de Inspeção.....	76
13. Localização	79
13.1. Conceitos e definições.....	79
13.2. Tolerância de Localização do Ponto.....	79
13.3. Tolerância de Localização da Reta em um Plano.....	79
13.4. Tolerância de Localização de uma Linha ou Eixo no Espaço.....	80
13.5. Tolerância de Localização de uma Superfície	81
13.6. Procedimentos de Inspeção.....	82
14. Simetria.....	84
14.1. Conceitos e Definições	84
14.2. Tolerância de Simetria de uma Linha ou Eixo	84
14.3. Tolerância de Simetria de um Plano Médio	84
15. Exercícios de Avaliação	87
Bibliografia	90

1. Introdução

1.1. Considerações Iniciais

A qualidade de funcionamento de componentes de fabricação metal-mecânica depende em grande medida da conformidade de algumas dimensões e características geométricas da peça fabricada com as especificações de projeto, críticas para o ajuste perfeito da peça com o seu conjunto.

Por exemplo, o nível de ruído, desgaste e vida útil de um sistema de transmissão por engrenagens depende da qualidade dos ajustes dimensionais e geométricos entre os diferentes pares acoplados. Idealmente, as dimensões e geometria das peças fabricadas deveriam ser tais que garantissem ajustes perfeitos.

Entretanto, como se sabe, todo resultado de um processo de fabricação é sujeito a uma certa dispersão em torno de um valor alvo, devido, à variabilidade inerente a cada processo. Portanto, não só torna-se quase impossível a fabricação de peças com um dimensão e geometria nominalmente especificadas, como também a variabilidade excessiva de diferentes processos de fabricação pode inviabilizar a montagem de peças pares, seja pela excessiva folga ou pela impossibilidade acoplamento.

Tolerâncias são limites às variações dimensionais e geométricas das peças fabricadas. As tolerâncias são especificadas na fase de projeto do produto e tem por objetivo:

- garantir a intercambiabilidade de componentes de um conjunto: ou seja, independente das condições, local ou período de fabricação, uma vez respeitado as tolerâncias de projeto, peças pares terão sua montagem garantida.
- garantir um certo grau de qualidade de funcionamento do produto através do controle das folgas dimensionais, forma, posição e orientação geométricas das peças acopladas

A especificação de tolerâncias é portanto uma forma de comunicar a precisão requerida pelo projeto. Deve-se observar entretanto que a simples especificação de tolerâncias não garante, por si só, que o processo de fabricação será capaz de atender àquela exigência. Isto implica que a capacidade do processo de fabricação deve ser adequada para o nível de precisão sendo requerida, e além disso, meios adequados de inspeção sejam usados. Consequentemente, as áreas de projeto e fabricação devem trabalhar em conjunto para garantir que:

- a necessidade de especificação de tolerâncias seja confrontada com as dificuldades apontadas pela área de fabricação para o atendimento das tolerâncias. Ou seja, como o custo de fabricação tende a ser mais alto à medida que as especificações de tolerâncias se tornam mais complexas, a especificação de tolerâncias deve ser feita com o máximo de critério;

- a capacidade dos processos de fabricação seja adequada às necessidades de precisão dimensional e geométrica indicadas em desenho pela especificação de tolerâncias;
- meios e procedimentos adequados de monitoramento e inspeção sejam usados para garantir a qualidade do processo de fabricação e do produto final.

1.2. Tolerâncias Geométricas

Tolerâncias geométricas são limites (zonas) de formato correspondente à geometria ideal, dentro das quais a superfície (ou perfil) deve estar contida. Deve-se fazer clara distinção entre tolerância geométrica e erro geométrico. Erro geométrico corresponde ao máximo desvio da superfície real medido em relação à geometria ideal (nominal). As tolerâncias geométricas são definidas na fase de projeto do produto. Os erros geométricos são o resultado da medição e inspeção das peças fabricadas. O erro deve ser sempre menor ou igual ao valor tolerado.

As tolerâncias geométricas são classificadas em forma, orientação, posição e desvios compostos.

Uma tolerância de forma define uma zona de tolerância dentro da qual a forma da característica pode variar.

Uma tolerância de posição ou orientação define uma zona de tolerância dentro da qual a posição da característica é permitida variar em relação a uma característica de referência.

Uma característica de referência é aquela característica em relação à qual uma tolerância de posição, orientação ou batimento é especificada e determinada.

A Figura 1.1 apresenta esquematicamente os diferentes tipos de tolerâncias.

Dependendo da tolerância especificada e do modo em que ela é especificada, a zona de tolerância pode ser:

1. um círculo
2. uma corôa circular
3. o espaço entre duas retas ou linhas paralelas
4. uma esfera
5. o espaço entre duas superfícies ou dois planos paralelos
6. um cilindro
7. o espaço entre dois cilindros concêntricos
8. um paralelepípedo

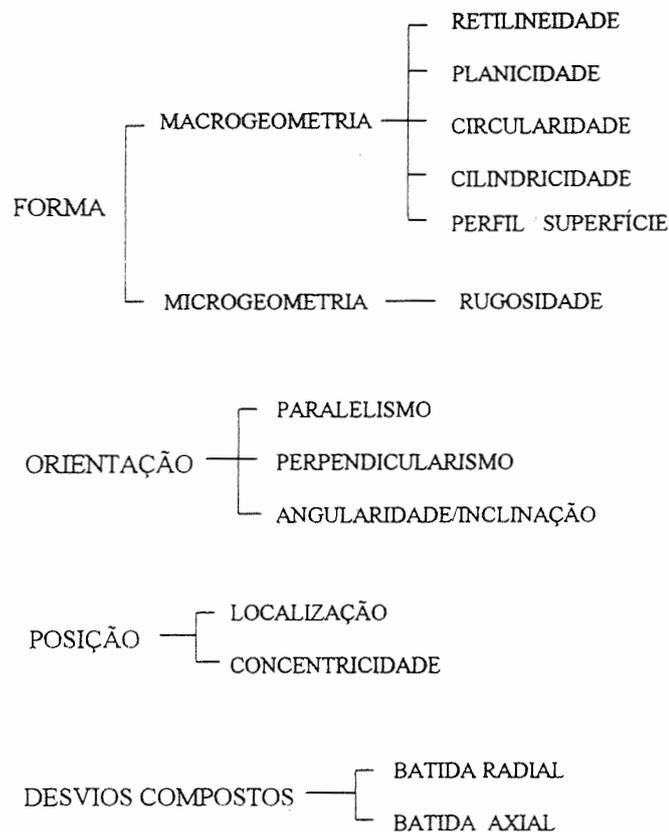


Figura 1.1: Classes e tipos de tolerâncias geométricas.

1.3. Simbologia e Indicação em Desenho

A norma brasileira que trata sobre tolerâncias geométricas é a NBR, que por sua vez é baseada na norma internacional ISO. A Figura 1.2 apresenta a simbologia usada para cada uma das tolerâncias geométricas.

As indicações necessárias são inscritas em um quadro retangular, dividido em dois ou eventualmente em três casas (Figura 1.3). Nessas casas são inscritos, da esquerda para a direita, na seguinte ordem:

- O símbolo da característica afetada pela tolerância.
- O valor da tolerância (valor total) nas unidades usadas para as cotas lineares. Esse valor é precedido do sinal \varnothing se o campo de tolerância for circular ou cilíndrico ou da indicação “esfera \varnothing ” se o campo de tolerância for esférico.
- A ou as letras que permitem identificar o elemento ou elementos de referência.

CARACTERÍSTICAS AFETADAS PELAS TOLERÂNCIAS GEOMÉTRICAS		SÍMBOLO
FORMA POR ELEMENTO ISOLADO	RETILINEIDADE	—
	PLANICIDADE	
	CIRCULARIDADE	
	CILINDRICIDADE	
	FORMA DE UMA LINHA QUALQUER	
	FORMA DE UMA SUPERFÍCIE	
ORIENTAÇÃO POR ELEMENTO ASSOCIADO	PARALELISMO	//
	PERPENDICULARIDADE	
	INCLINAÇÃO	
POSIÇÃO POR ELEMENTO ASSOCIADO	POSIÇÃO	
	CONCENTRICIDADE	
	SIMETRIA	
BATIMENTO		

Figura 1.2: Símbolos normatizados das tolerâncias geométricas.



Figura 1.3: Quadro básico e com indicação de elemento de referência.

O quadro de tolerância é ligado ao elemento afetado por tolerância, por uma linha terminada por uma flecha que se assenta sobre:

- O contorno do elemento ou o seu prolongamento (não sobre uma linha de cota), se a tolerância for aplicada à linha ou à superfície desse elemento (Figura 1.4a).
- A linha de chamada na posição correspondente a da cota, desde que a tolerância se aplique ao eixo ou ao plano mediano da parte cotada (Figuras 1.4b e 1.4d) ou

sobre o eixo, desde que a tolerância seja aplicada ao eixo ou ao plano mediano de todos os elementos que admitem esse eixo ou esse plano mediano (Figuras 1.4c, 1.5a e 1.5b).

Se o campo de tolerância não for circular, cilíndrico ou esférico, sua largura se encontra segundo a direção da flecha que termina sobre a linha que liga o quadro de tolerância ao elemento por ela afetado.

O elemento ou os elementos de referência são indicados por uma linha que termina por um triângulo cheio cuja base se apoia sobre:

- O contorno do elemento ou sobre o prolongamento do contorno (não sobre uma linha de cota) se o elemento de referência é sua própria superfície ou o seu prolongamento (Figura 1.6a).
- O prolongamento do eixo ou sobre o prolongamento da linha de cota desde que o elemento de referência seja o eixo ou o plano mediano da parte cotada (Figuras 1.6b, 1.6c e 1.6d) ou sobre o eixo ou o plano mediano de todos os elementos comuns a esse eixo ou ao plano mediano (Figuras 1.7a e 1.7b).

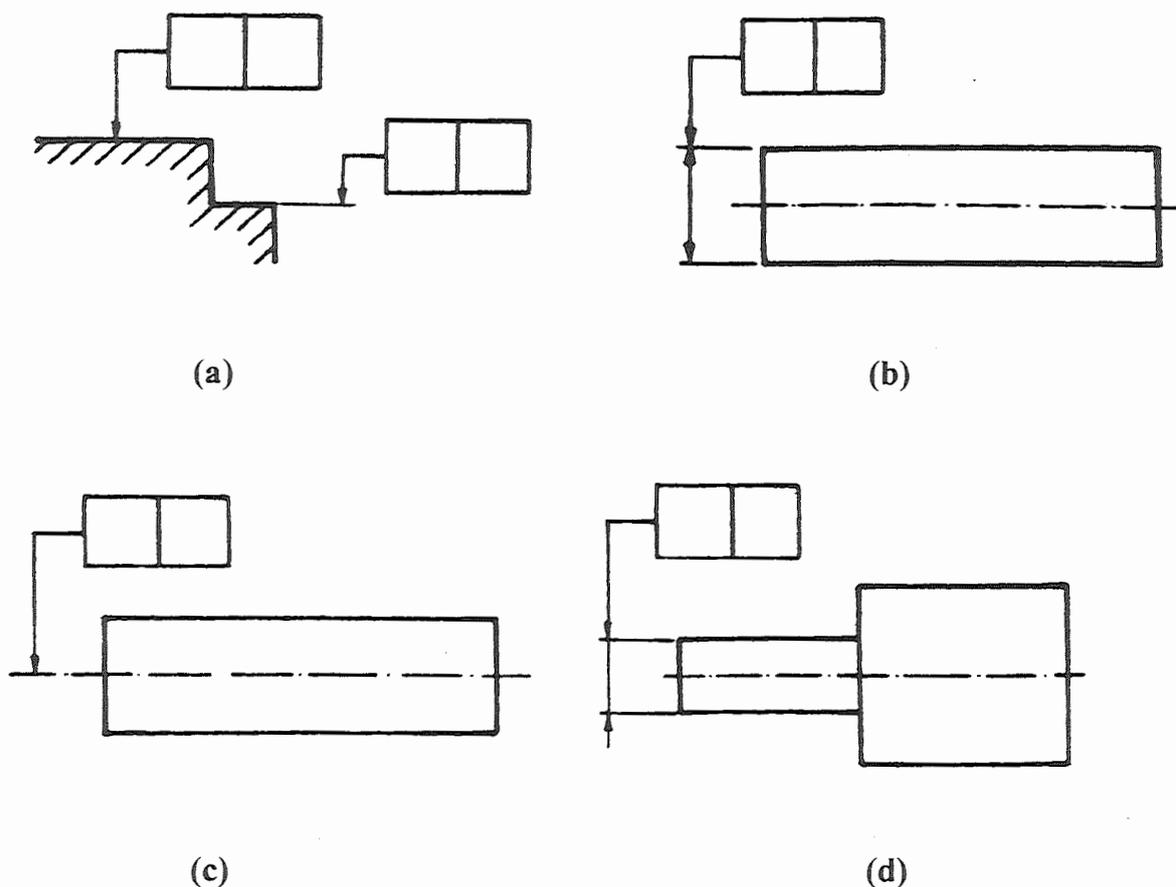


Figura 1.4: Linha de chamada da caixa de tolerância.

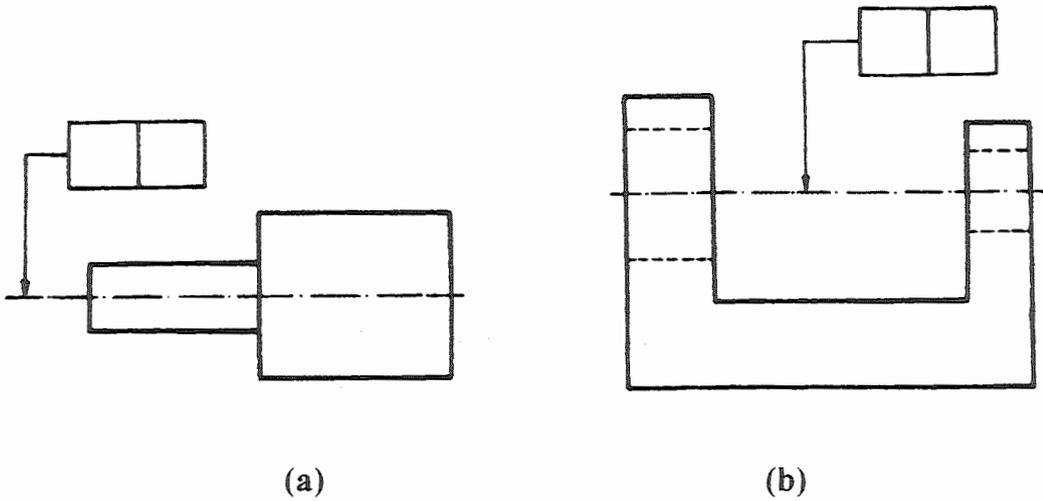


Figura 1.5: Linha de chamada da caixa de tolerância sobre o eixo de simetria.

Se não houver lugar para duas flechas, uma delas será substituída pelo triângulo cheio (Figura 1.8).

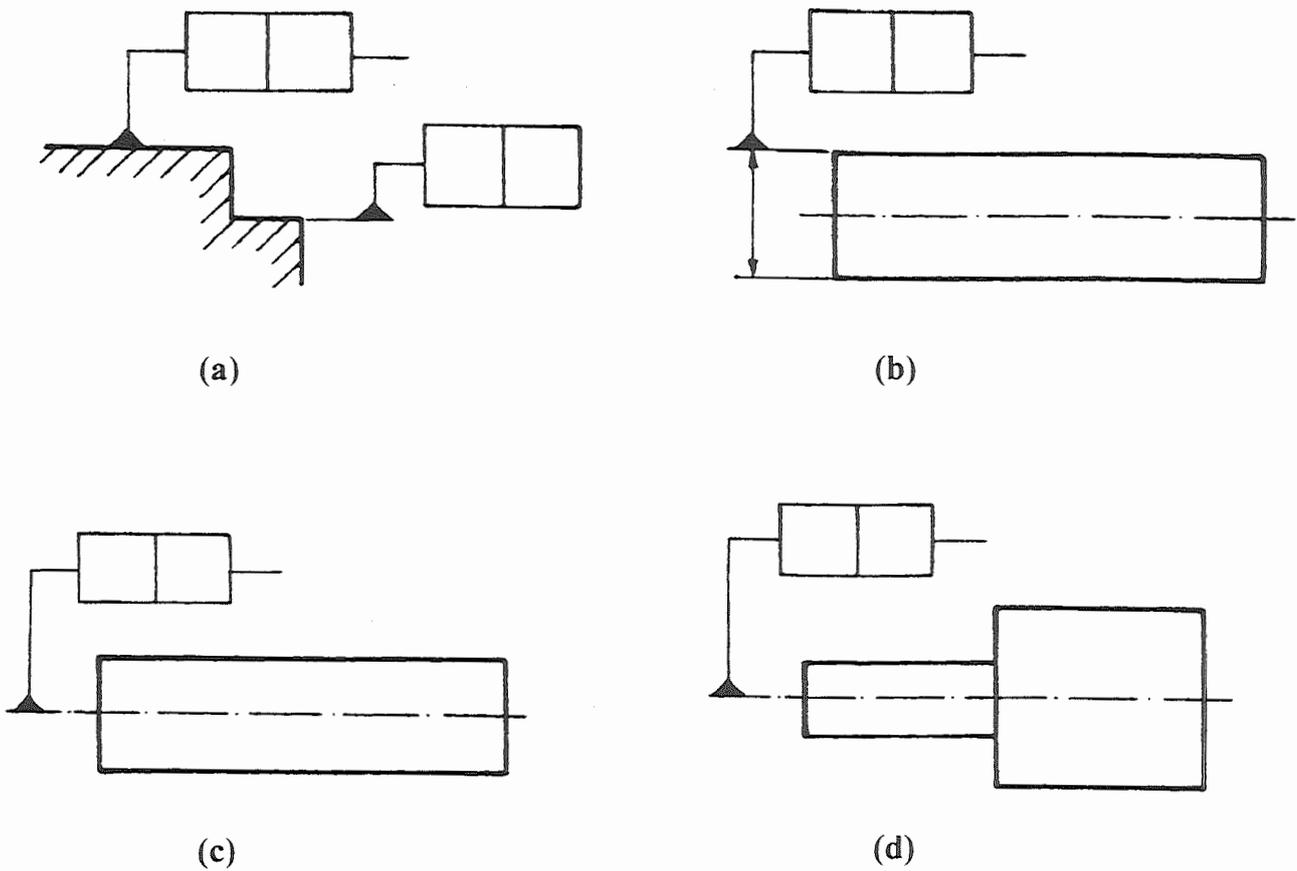


Figura 1.6: Linha de chamada sobre o elemento de referência.

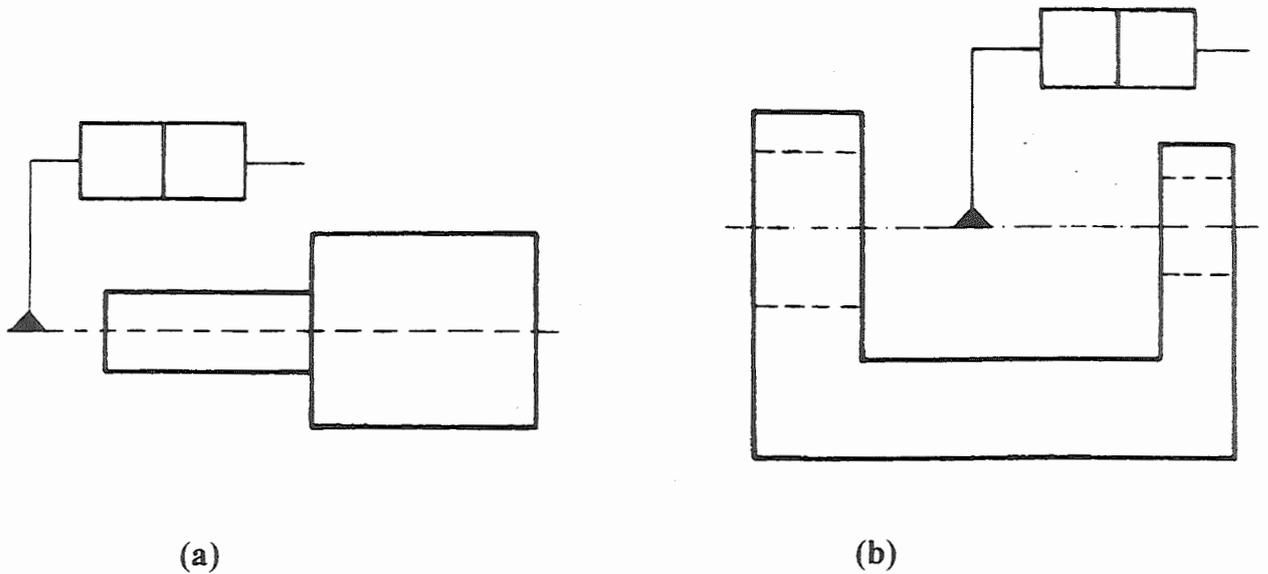


Figura 1.7: Linha de chamada sobre o eixo de referência.

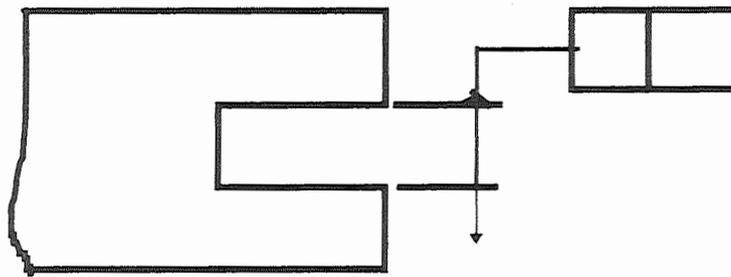


Figura 1.8: Linha de chamada de referência sobre a linha de cota.

Se o quadro de tolerância não pode ser ligado ao elemento de referência de um modo claro e simples, deve-se usar uma letra maiúscula (diferente para cada elemento de referência), conforme mostra as Figuras 1.9a e 1.9b. Essa letra maiúscula é escrita em um quadro que é por sua vez ligado ao elemento de referência, conforme é indicado nas Figuras 1.9a e 1.9b.

Se dois elementos associados são idênticos ou, se por qualquer razão, se justifica a escolha de um deles como elemento de referência, deve-se indicar a tolerância conforme mostra a Figura 1.10

Se a tolerância for aplicada a um comprimento especificado, localizado não importa onde, o valor desse comprimento deve ser indicado, em seguida ao valor da tolerância e dela separado por um traço oblíquo. No caso de uma superfície, a mesma indicação é utilizada. Isto significa que a tolerância se aplica a todas as linhas de prolongamento especificado, em todas as posições e em todas as direções (Figura 1.11).

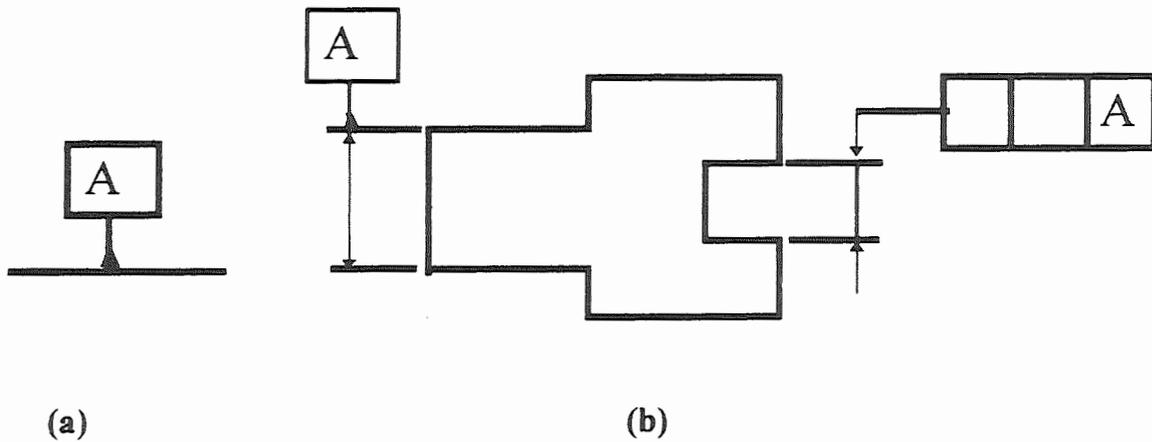


Figura 1.9: Indicação de elemento de referência

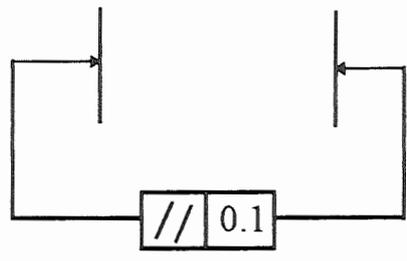


Figura 1.10: Indicação direta de elemento de referência

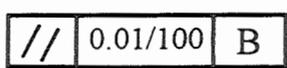


Figura 1.11: Tolerância aplicada a um comprimento especificado

Se a tolerância de um elemento completo, uma outra tolerância, de mesma natureza porém mais precisa e restrita, for especificada, para um comprimento limitado, deve-se inscrever essa tolerância abaixo da primeira (Figura 1.12).

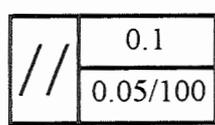


Figura 1.12: Tolerância aplicada a um comprimento especificado e ao comprimento total.

Se a tolerância deve ser aplicada a uma parte restrita do elemento, deve-se cotar essa parte como indicado na Figura 1.13 (conforme prescrição em desenho técnico).

A indicação do Princípio de “Máximo de Material” é dada pelo símbolo M, colocado em seguida:

- do valor da tolerância (ver Figura 1.14a), quando aplicado ao elemento afetado pela tolerância;
- do valor de referência (ver Figura 1.14b), quando aplicado ao elemento de referência;
- de um e de outro (ver Figura 1.14c), quando aplicado aos dois simultaneamente.

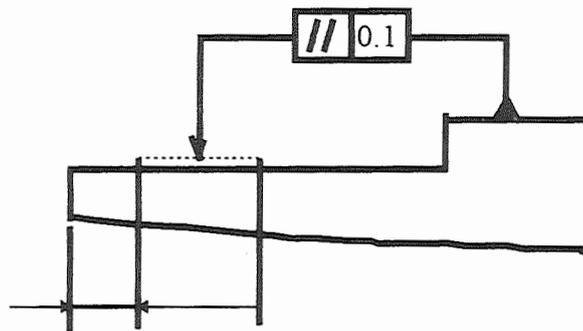
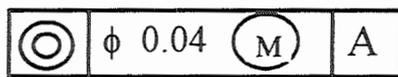
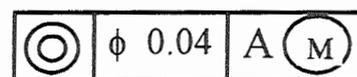


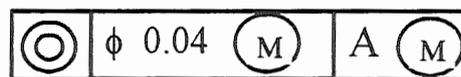
Figura 1.13: Indicação esquemática de tolerância restrita.



(a)



(b)



(c)

Figura 1.14: Indicação da condição de máximo material.

Se for prescrita uma tolerância de posição ou de uma forma qualquer, para um dado elemento, as cotas que definem a posição ou a forma, não devem ser afetadas por tolerâncias. Se forem prescritas tolerâncias de inclinação para um elemento para um elemento, as cotas que definem o ou os ângulos, não deverão ser afetadas por tolerâncias. Essas cotas nominais serão enquadradas de forma seguinte: $\boxed{30}$; $\boxed{45^\circ}$

2. Retilidade

$$\left(\frac{\text{MAX}_{\text{TOTAL}} - \text{MIN}_{\text{TOTAL}}}{\text{TOTAL}} \right) = \text{tol}$$

2.1. Conceitos e Definições

Símbolo 

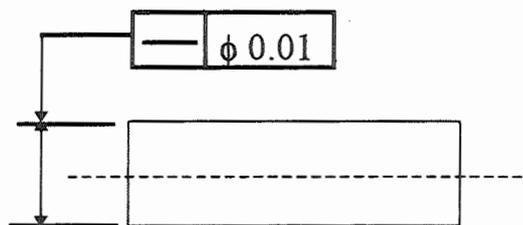
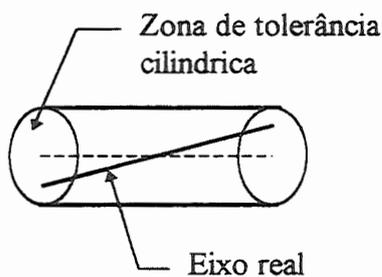
Definição

Retilidade é uma condição onde um elemento de uma superfície ou um eixo é uma linha reta.

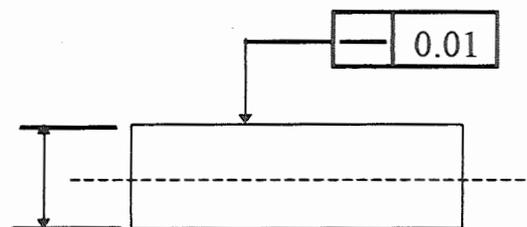
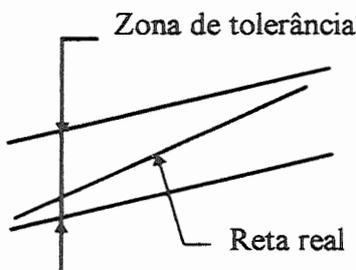
Tolerância de Retilidade

Uma tolerância de retilidade especifica uma zona de tolerância dentro da qual o elemento de superfície ou eixo considerado deve estar contido. Esta zona de tolerância é definida por:

- um cilindro de diâmetro igual ao valor da tolerância especificada quando este valor vier precedido pelo símbolo ϕ (Figura 2.1a);
- duas retas paralelas, separadas por uma distância igual ao valor da tolerância especificada, quando se considera a tolerância de retilidade somente no plano de projeção do desenho no qual está especificada a tolerância (Figura 2.1b).



(a)



(b)

Figura 2.1 - Campo de tolerância de retilidade.

Aplicação

Uma tolerância de retilidade deve ser especificada em uma vista do desenho da peça onde os elementos que devem ser controlados estejam representados por uma linha reta, como mostrado nas Figuras 2.1 e 2.2

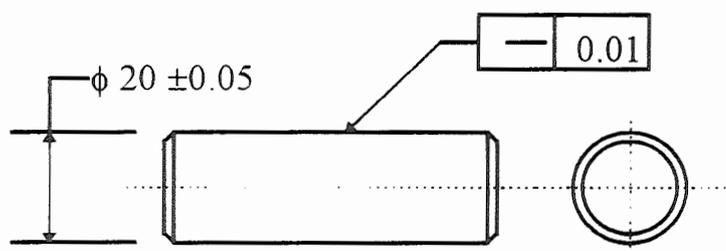
2.2. Controle de um Elemento de Superfície

Quando se quer controlar uma superfície, o quadro de controle deve ser conectado à superfície através de uma seta (Figura 2.2).

No caso de característica cilíndrica, toda a superfície deve ser verificada. Primeiramente, todos os elementos circulares devem estar dentro dos limites impostos pela tolerância dimensional. Depois todos os elementos longitudinais devem estar dentro dos limites da zona de tolerância de retilidade e esta, por sua vez, deve estar contida dentro da zona de tolerância dimensional.

Notas:

- Observe que a tolerância de retilidade deve ser menor que a tolerância dimensional.
- Os elementos de superfície devem ser inspecionados ao longo da reta que define a superfície, na vista do desenho onde o quadro de controle foi aplicado. Em outra direção pode-se ter uma variação de retilidade maior que a especificada, porém esta variação deve estar contida dentro da tolerância dimensional.



Significado

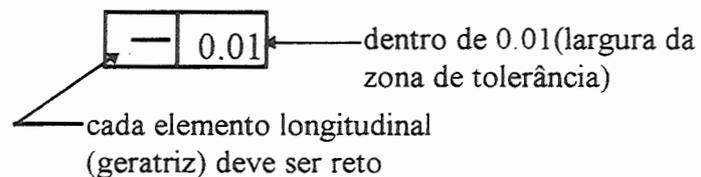


Figura 2.2 - Controle das geratrizes do cilindro

Pode-se ainda ter especificações de retilineidade em duas direções diferentes, como mostrado abaixo na Figura 2.3..

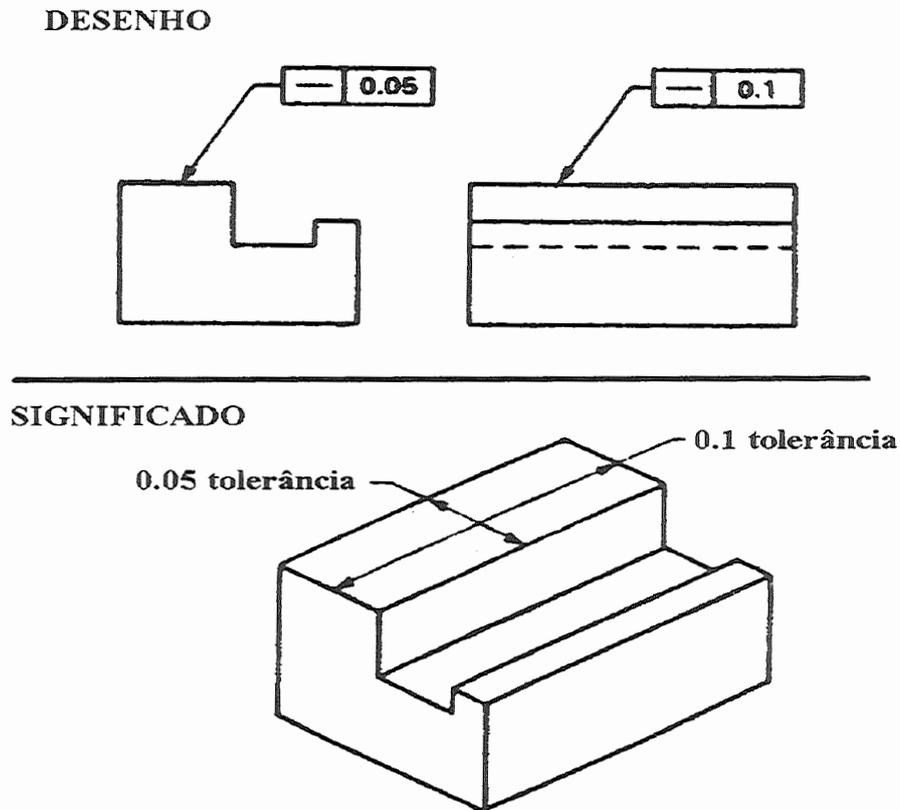


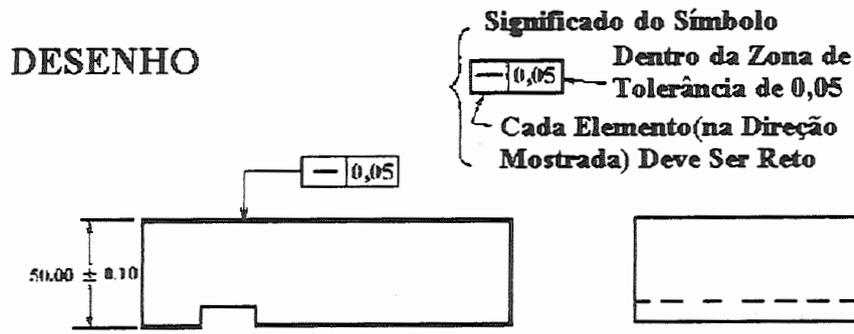
Figura 2.3 - Tolerância de retilineidade em duas direções

Cada elemento longitudinal da superfície deve estar entre duas linhas paralelas afastadas 0.05 entre si pela vista esquerda do desenho e 0.1 pela vista frontal.

O exemplo abaixo(Figura 2.4) esclarece a aplicação da tolerância de retilineidade para elementos de uma superfície plana.

2.3. Controle de um Eixo

Para controlar um eixo o quadro de controle deve ser ligado à linha de cota que define o diâmetro, como mostrado na Figura 2.5. O símbolo ϕ deve preceder o valor da tolerância de retilineidade.



SIGNIFICADO

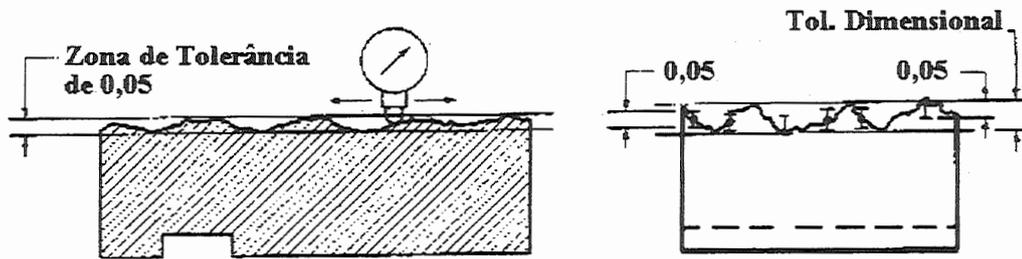


Figura 2.4 - Interpretação da tolerância de retilineidade para sup. plana

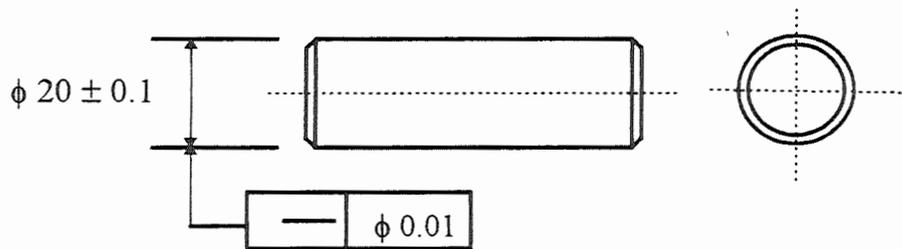
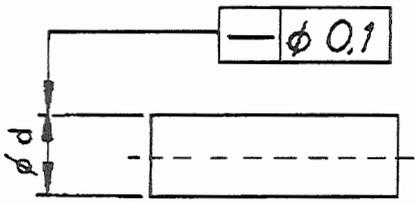
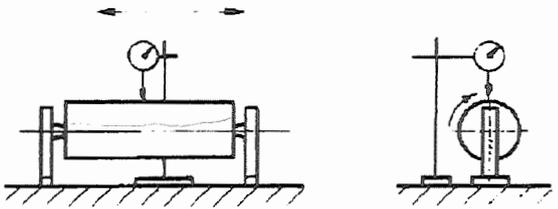
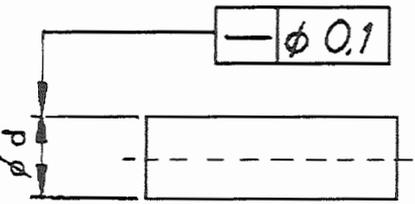
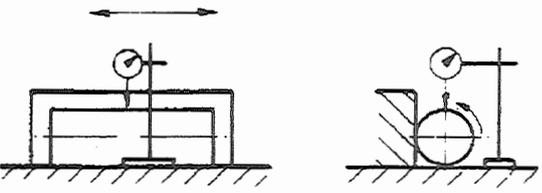
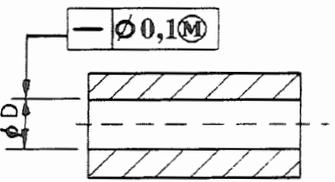
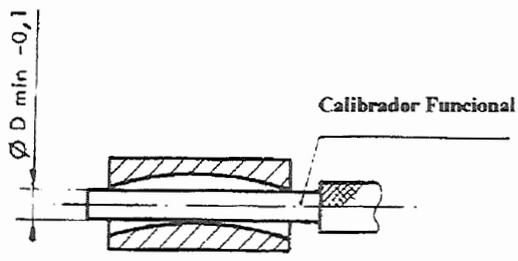
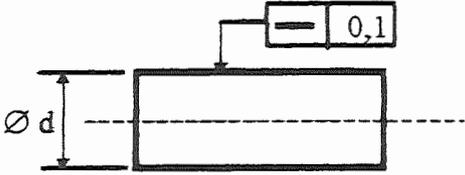
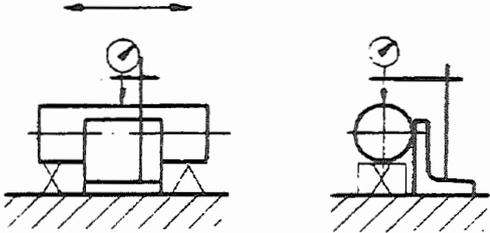
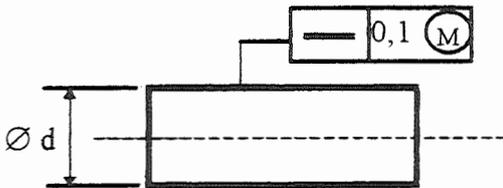
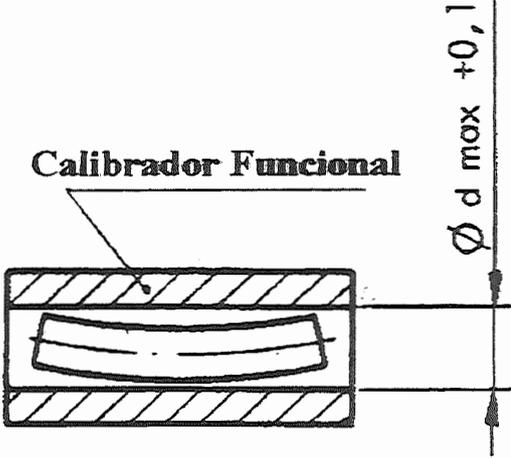


Figura 2.5 - Controle de retilineidade do eixo de um cilindro

2.4. Procedimentos de Inspeção

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
<p style="text-align: center;">Retilidade da linha de centro de uma superfície cilíndrica</p>  <p>O eixo da superfície cilíndrica deve estar situado dentro de um cilindro de 0.1 mm de diâmetro</p>	 <p>Instrumento de Medição: Relógio Comparador</p> <ul style="list-style-type: none"> ⦿ A peça é fixada entre centros. • A retilidade de um número adequado de geratrizes é medida em determinados pontos de medição. • Medidas de diâmetro são realizadas nos mesmos pontos de medição anteriormente escolhidos. • Com as diferenças entre as leituras dos raios e das geratrizes, a linha de centro real pode ser determinada.
 <p>O eixo da superfície cilíndrica deve estar situado dentro de um cilindro de 0.1 mm de diâmetro.</p>	 <p>Instrumento de Medição: Relógio Comparador</p> <ul style="list-style-type: none"> • A peça é apoiada em dois batentes a 90° • A superfície cilíndrica é medida em uma seção radial durante uma revolução. • O procedimento é repetida em um número adequado de seções ao longo da superfície. ⦿ O maior valor entre as diferenças das leituras max. e min. do relógio é considerado como o erro de retilidade.
 <p>O eixo do furo deve estar situado dentro de um cilindro de 0,1 de diâmetro mais o desvio permitido pelo princípio de máximo material</p>	 <p>Calibrador Funcional</p> <p>A medição é feita com um calibrador funcional. O desvio máximo permitido é a diferença entre o diâmetro máximo do furo e o diâmetro do calibrador.</p>

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
Retilidade da geratriz de uma superfície cilíndrica	
 <p>Cada geratriz da superfície cilíndrica deve estar situada dentro de uma zona de tolerância de largura igual a 0.1 mm.</p>	 <p>Instrumento de Medição: Relógio Comparador <i>ou prima magnética</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • A peça é apoiada em dois suportes, um ajustável e outro fixo, e encostada em um batente. • Dois pontos da geratriz, com a maior distância possível entre eles, são alinhados com o plano de medida (mesa). • A geratriz é medida em um número adequado de pontos de medição. • Este procedimento é repetido para um número adequado de geratrizes. • As leituras do relógio são consideradas como desvios de retilidade, sendo o maior valor o erro de retilidade.
 <p>O eixo da superfície cilíndrica deve estar situado dentro de um cilindro, de 0.1 mm de diâmetro, mais o desvio permitido pelo conceito de máximo material.</p>	 <p>A medição é feita com um calibrador funcional. O desvio máximo permitido é a diferença entre o diâmetro do calibrador e o diâmetro mínimo da superfície cilíndrica.</p>

3. Planicidade

$$\left| \begin{matrix} \text{MÁX} \\ \text{TOTAL} \end{matrix} - \begin{matrix} \text{MÍN} \\ \text{TOTAL} \end{matrix} \right| = \text{tol}$$

3.1. Conceitos e Definições

Símbolo



Definição

Planicidade é a condição de uma superfície onde todos os seus elementos estão em um plano.

Tolerância de Planicidade

Uma tolerância de planicidade especifica uma zona de uma determinada largura, definida por dois planos paralelos, dentro da qual toda a superfície deve estar contida.

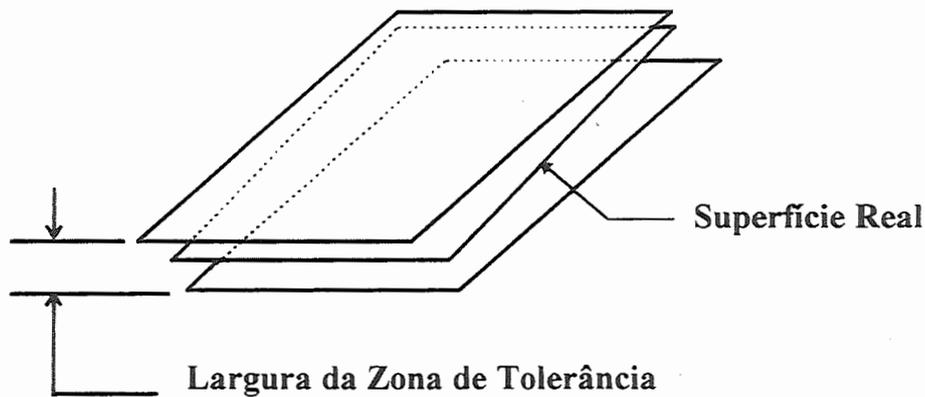


Figura 3.1 - Zona de tolerância de planicidade.

Aplicação

Uma tolerância de planicidade é especificada em uma vista do desenho da peça onde os elementos da superfície a ser controlada são representados por uma linha. O quadro de controle pode ser conectado a uma linha de extensão da superfície controlada ou pode ser conectado à superfície através de uma flecha direcionada à superfície controlada, como mostrado na Figura 3.2.

3372 4843

3.2. Interpretação da Tolerância

A Figura 3.2 esclarece como interpretar uma especificação de tolerância de planicidade. O quadro de controle pode ser lido como “Esta superfície deve ser plana dentro de 0.25mm”.

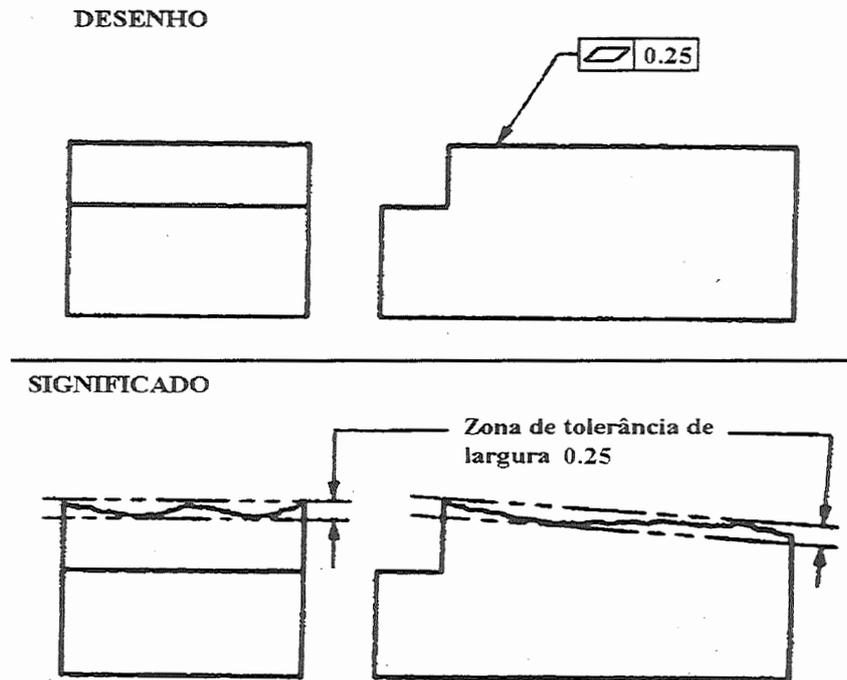


Figura 3.2 - Colocação e interpretação da tolerância de planicidade.

Note que o valor da largura da zona de tolerância, igual a 0.25mm, define a variação total permitida. Para ser aceita, toda a superfície deve estar compreendida entre dois planos paralelos, afastados um do outro de 0.25mm.

Notas:

1. Uma tolerância de planicidade é essencialmente uma relação de uma característica (feature) com a forma ideal dela mesma. Sendo assim, não é necessário nem apropriado a especificação de uma referência.
2. Quando a superfície considerada é associada a uma dimensão com tolerância, a tolerância de planicidade deve ser menor que a tolerância dimensional, isto é, a zona de tolerância de planicidade deve estar contida dentro dos limites de tolerância dimensional.
3. Quando necessário, o termo “superfície não deve ser côncava (ou convexa)” pode ser adicionado abaixo do quadro de controle.

3.3. Medição do Erro de Planicidade

A superfície real pode ser verificada com um relógio comparador ou com uma máquina de medir a 3 coordenadas. A superfície deve ser nivelada através de três pontos e, em seguida, deve-se zerar o relógio em um ponto da superfície e depois deslocar o relógio sobre a superfície verificando-se a menor e a maior leitura do indicador. Isto nos dá o erro de planicidade que deve ser menor que a tolerância especificada para que a peça seja aceita como boa.

relho
olho

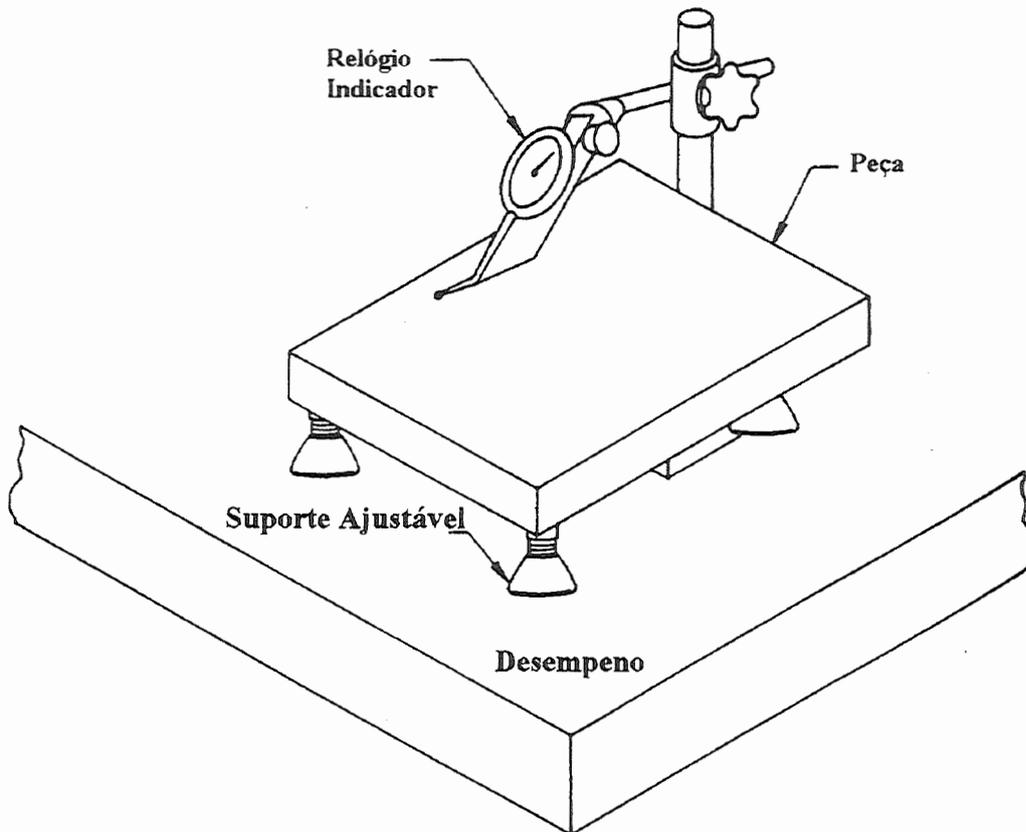


Figura 3.3 - Técnica de verificação do erro de planicidade.

4. Circularidade

$$\left. \begin{array}{l} \text{MAX DIF} \\ \text{EM DIF} \\ \text{SEÇÕES} \end{array} \right| = \text{Erro}$$

4.1. Conceitos e Definições

Símbolo



Definição

Circularidade é a condição de uma superfície cilíndrica onde:

1. No caso de um cilindro ou cone, todos os pontos da superfície, interceptados por qualquer plano perpendicular a um eixo comum, são equidistantes de seu eixo;
2. No caso de uma esfera, todos os pontos da superfície, interceptados por qualquer plano passando através de um centro comum, são equidistantes de seu eixo.

Tolerância de Circularidade

A tolerância de circularidade especifica uma zona de tolerância circular, limitada por dois círculos concêntricos, dentro da qual todos os pontos da superfície devem estar contidos. Esta zona de tolerância anular se aplica independentemente a qualquer seção transversal da superfície controlada. O valor da tolerância de circularidade corresponde à largura da zona anular, ou seja, à diferença de raios dos dois círculos concêntricos (Figura 4.1).

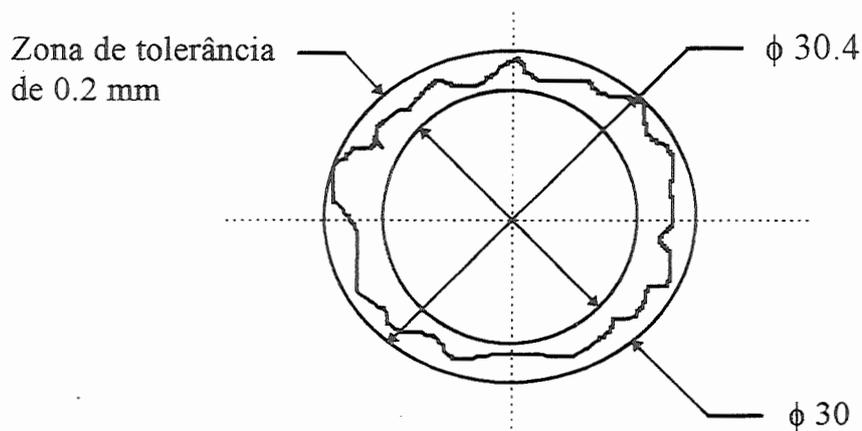


Figura 4.1 - Representação da tolerância de circularidade.

Aplicação da Tolerância de Circularidade

A tolerância de circularidade pode ser especificada para qualquer superfície de revolução ou superfície com seção transversal circular tais como cilindros, cones ou esferas. Ela também pode ser especificada para características internas que tenham seção transversal circular.

A Figura 4.2 abaixo mostra como aplicar corretamente a tolerância de circularidade. O quadro de controle deve ser conectado à superfície através de uma seta na vista do desenho da peça onde a superfície é representada por uma linha reta.

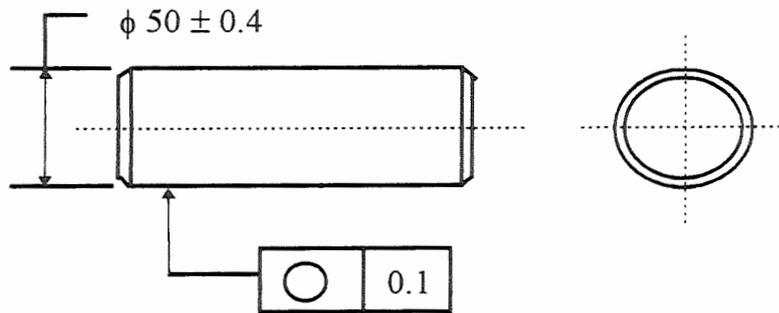


Figura 4.2 - Especificação da tolerância de circularidade

4.2. Interpretação da Tolerância de Circularidade.

A tolerância de circularidade é o espaço entre dois círculos concêntricos. A largura da faixa corresponde ao valor da tolerância. Isto significa que a tolerância de circularidade é uma tolerância radial. O círculo maior deve fazer contato com a superfície real da característica externa controlada. Depois o círculo menor deve ser concêntrico com o maior e separado deste pelo valor da tolerância. Os dois círculos devem estar dentro do campo de tolerância dimensional. Na Figura 4.3, foi assumido que a peça usinada apresentava um diâmetro externo igual a 50.2 mm. Com isso, o diâmetro do círculo maior da tolerância deve ser de 50.2 mm e o diâmetro do círculo menor de 50.0 mm.

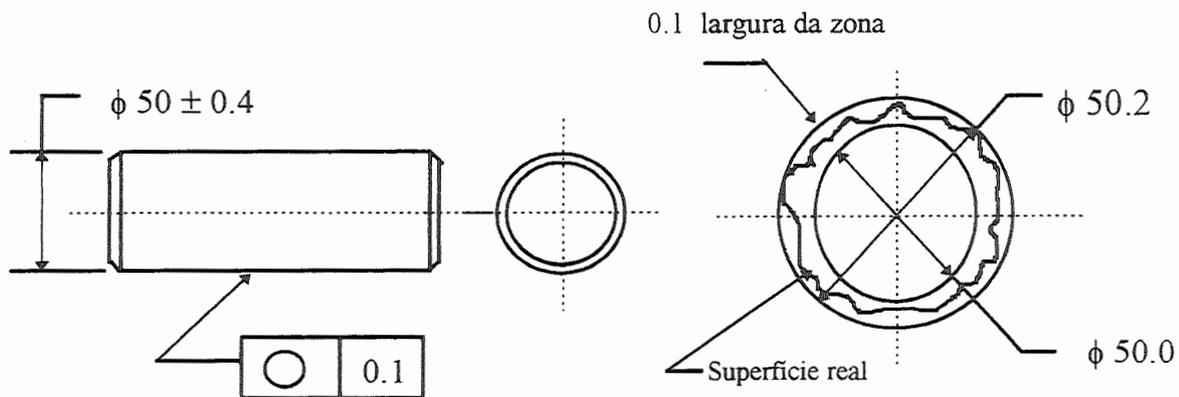


Figura 4.3 - Interpretação da tolerância de circularidade.

Notas:

1. Os limites dimensionais, definidos pela tolerância dimensional, exercem um controle da forma circular e, muitas vezes, isto é suficiente. Entretanto, quando é

necessário refinar o controle da forma circular, uma tolerância de circularidade adicional deve ser usada.

2. A tolerância de circularidade é independente da tolerância dimensional. Isto significa que a peça pode ter diferentes dimensões (respeitando a tolerância dimensional) porém a zona de tolerância permanece constante. A única relação entre a tolerância dimensional e a tolerância de circularidade é que a última deve estar sempre dentro dos limites impostos pela primeira.
3. A tolerância de circularidade controla o desvio da forma circular perfeita de um elemento circular de uma peça e por isso não requer e, nem é apropriado, a especificação de um elemento de referência.
4. A tolerância de circularidade não tem um centro específico de referência. Isto significa que a medição da tolerância de circularidade, ao longo da superfície de um cilindro, não requer que os centros dos círculos concêntricos da tolerância de circularidade, de cada seção transversal, estejam sobre uma reta comum.

A seguir são dados três exemplos de especificação da tolerância de circularidade para cilindro, cone e esfera.

Exemplo 1 - Circularidade de um cilindro

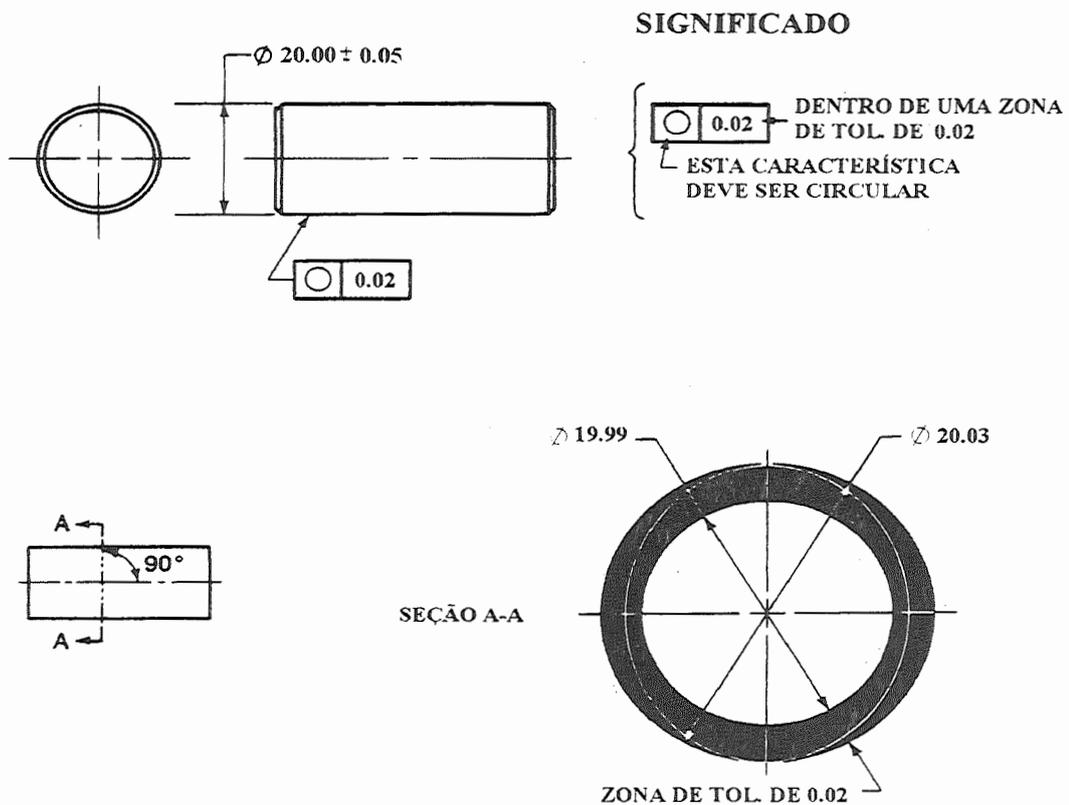


Figura 4.4 - Interpretação da tolerância de circularidade de um cilindro.

Exemplo 2 - Circularidade de um cone

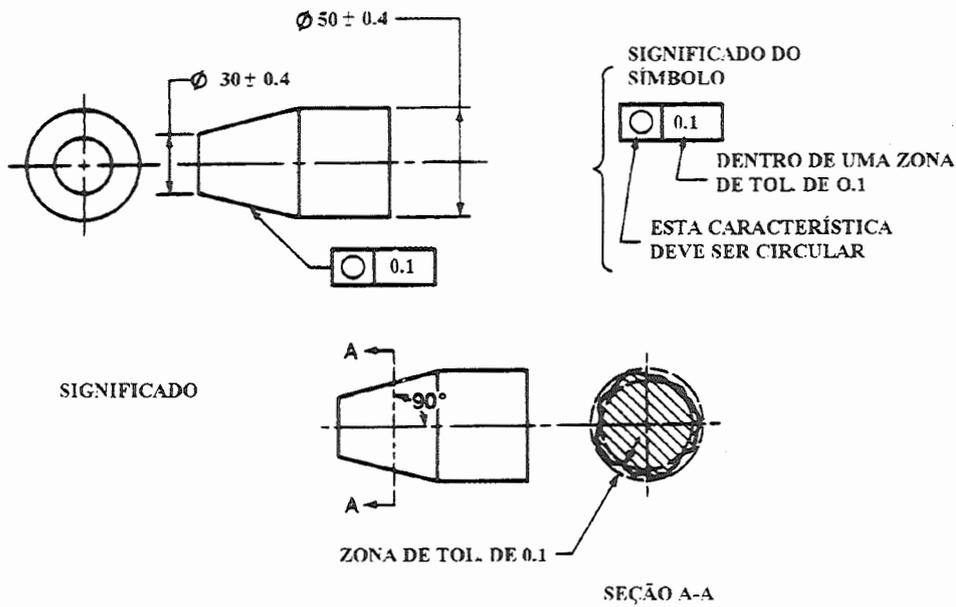


Figura 4.5 - Interpretação da tolerância de circularidade de um cone.

Exemplo 3 - Circularidade de uma esfera

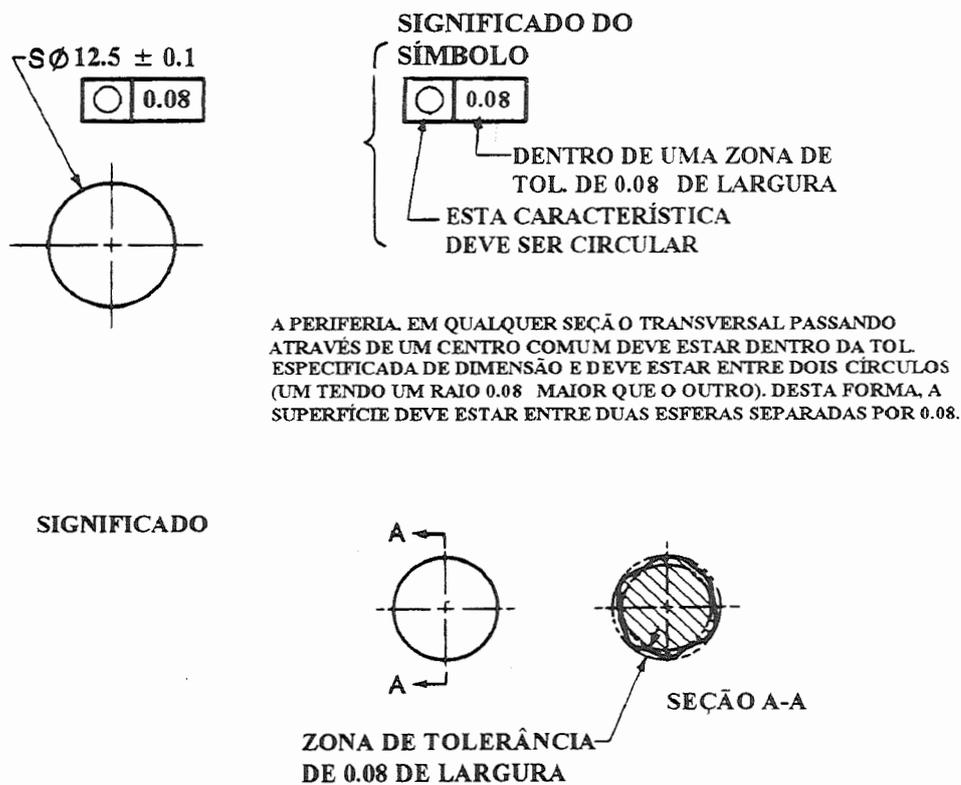
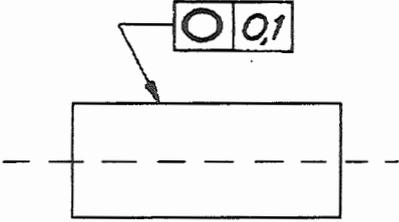
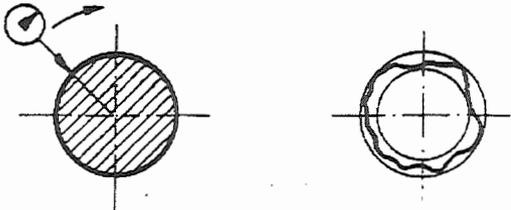
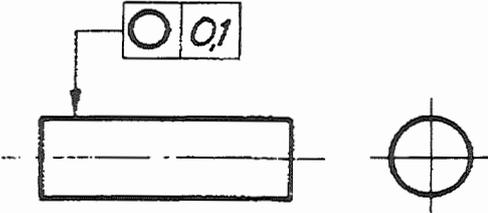
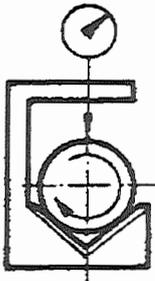


Figura 4.6 - Interpretação da tolerância de circularidade de uma esfera.

4.3. Procedimentos de Inspeção

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
 <p data-bbox="240 755 804 857">Cada seção transversal da superfície cilíndrica deve estar situada dentro de uma coroa circular de largura igual a 0,1 mm.</p>	 <p data-bbox="842 743 1374 845">Instrumento de medição: Instrumento que permita uma variação no raio a partir de um centro fixo.</p> <ul data-bbox="842 886 1417 1233" style="list-style-type: none"> • Uma seção transversal da superfície cilíndrica é medida durante uma revolução. • procedimento de medição é repetido para uma número adequado de seções ao longo da superfície. • As leituras efetuadas são plotadas em um diagrama polar, um para cada seção medida. • A diferença máxima no raio, entre os círculos circunscrito e inscrito, com o mesmo centro, é o erro de circularidade.
 <p data-bbox="240 1583 804 1685">Cada seção transversal da superfície cilíndrica deve estar situada dentro de uma coroa circular de largura igual a 0,1 mm.</p>	 <p data-bbox="842 1594 1406 1662">Instrumento de medição: Relógio comparador e bloco V.</p> <ul data-bbox="842 1703 1417 1973" style="list-style-type: none"> • Uma seção transversal da superfície cilíndrica é medida durante uma revolução. • procedimento de medição é repetido para um número adequado de seções ao longo do cilindro. • metade da diferença máxima entre as indicações max. e min. do indicador é considerada como o erro de circularidade

$$\left| \frac{MAX_{TOTAL}}{2} \right| = ERRC$$

5. Cilindricidade

5.1. Conceitos e Definições

Símbolo



Definição

Cilindricidade é a condição de uma superfície de revolução na qual todos os pontos (elementos) da superfície são equidistantes de um eixo comum.

Tolerância de Cilindricidade

A tolerância de cilindruidade especifica uma zona de tolerância limitada por dois cilindros concêntricos dentro da qual a superfície controlada deve ficar. O valor da tolerância corresponde à distancia radial entre os dois cilindros.

Aplicação da Tolerância de Cilindricidade

Uma tolerância de cilindruidade pode ser especificada como mostrado na Figura 5.1 abaixo. Uma seta conecta o quadro de controle com a superfície cilíndrica a ser controlada. Esta seta pode ser dirigida para qualquer uma das vistas.

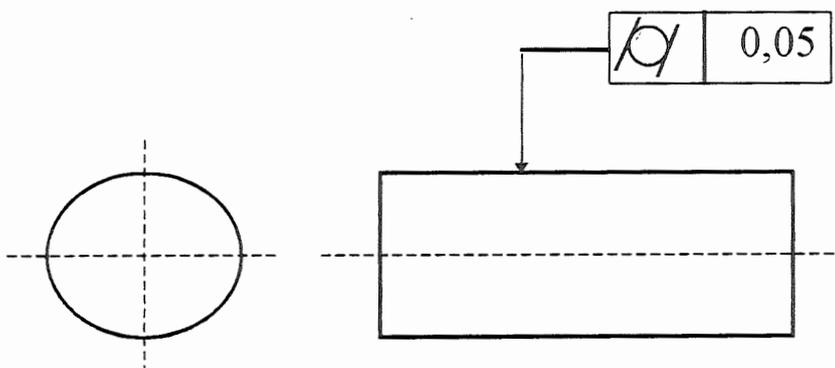


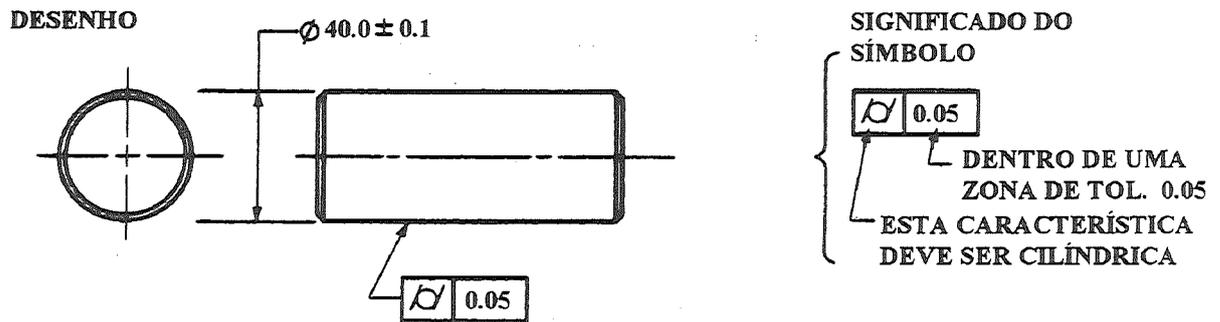
Figura 5.1 - Tolerância de cilindruidade.

5.2. Interpretação da Tolerância de Cilindruidade

A tolerância de cilindruidade é o espaço entre dois cilindros concêntricos separados pelo valor da tolerância especificada. A tolerância de cilindruidade é pois uma tolerância radial, isto é, ela corresponde à diferença dos raios dos dois cilindros

concêntricos. Na Figura 5.2 é mostrada uma interpretação da tolerância de cilindridade.

O cilindro maior deve tocar a superfície real e depois o cilindro menor deve ser colocado concêntrico com o primeiro e a uma distância radial igual à tolerância. Nenhum dos dois cilindros pode exceder os limites de dimensão da superfície controlada.



SIGNIFICADO

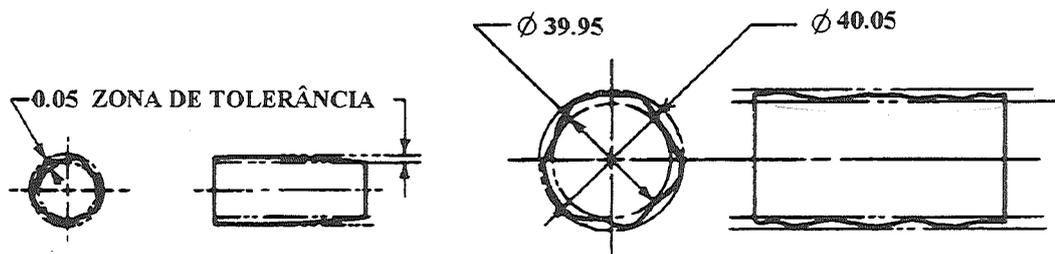


Figura 5.2 - Interpretação da tolerância de cilindridade.

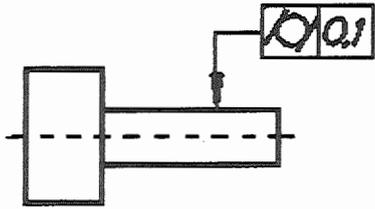
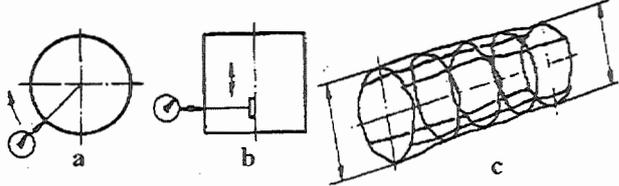
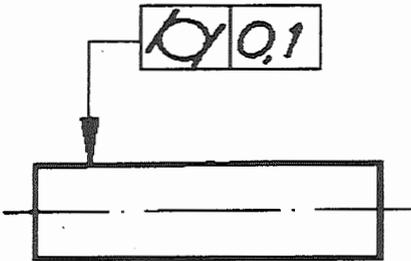
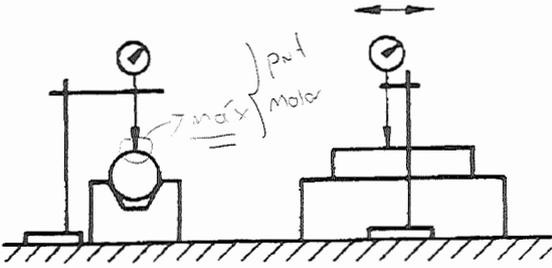
No exemplo, considera-se uma peça com diâmetro de 40.05 mm, portanto dentro da tolerância dimensional. Neste caso o diâmetro do cilindro maior coincide com o diâmetro da peça e o diâmetro do cilindro menor é 40.05 menos duas vezes o valor da tolerância de cilindridade, ou seja, de 39.95mm.

Se o diâmetro da peça produzida fosse próximo do limite inferior da tolerância dimensional, por exemplo, de 39.96 mm, a tolerância de cilindridade não poderia ser mais que 0.03 mm.

Notas:

1. Os limites dimensionais, definidos pela tolerância dimensional, exercem um controle da forma cilíndrica e, muitas vezes, isto é suficiente. Entretanto, quando é necessário refinar o controle da forma cilíndrica, uma tolerância de cilindridade adicional deve ser usada.
2. A tolerância de cilindridade é independente da tolerância dimensional. Isto significa que a peça pode ter diferentes dimensões (respeitando a tolerância dimensional) porém a zona de tolerância permanece constante. A única relação entre a tolerância dimensional e a tolerância de cilindridade é que a última deve estar sempre dentro dos limites impostos pela primeira.
3. A tolerância de cilindridade controla o desvio da forma cilíndrica perfeita de um elemento cilíndrico de uma peça e por isso não requer e, nem é apropriado, a especificação de um elemento de referência.
4. A tolerância de cilindridade é um controle de forma composta que inclui circularidade, retilineidade e conicidade de uma característica cilíndrica.

5.3. Procedimentos de Inspeção

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
 <p>A superfície deve estar contida entre dois cilindros concêntricos com 0,1 mm de diferença radial.</p>	 <p>Instrumento de medição: Instrumento que permita uma variação no raio a partir de um centro fixo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • A superfície cilíndrica é medida em uma seção transversal durante uma revolução (a). • Mede-se diversas seções cilíndricas com o mesmo procedimento anterior. • A geratriz do cilindro é medida nos pontos escolhidos (b). • O erro de cilíndricidade é avaliado combinando-se o diagrama polar relativo à circularidade e a medição da geratriz (c).
 <p>A superfície deve estar contida entre dois cilindros concêntricos com 0,1 mm de diferença radial.</p>	 <p>Instrumento de Medição: Relógio comparador e bloco V</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apóia-se a peça em um bloco V. • A superfície cilíndrica é medida girando-se a peça e registrando a leitura total do indicador (LTI). • O procedimento é repetido em um número adequado de seções. • O erro de cilíndricidade é a metade do maior valor LTI encontrado. <p>Para verificar se a peça não apresenta o problema de poligonalidade faz-se a inspeção em blocos com ângulos de 90° e de 120°.</p>

$$\left| \begin{array}{l} \text{MÁX DIF ENTRE} \\ \text{SEÇÕES} \end{array} \right| = \text{ERRO}$$

6. Forma de um Perfil ou de uma Superfície Genérica

6.1. Forma de um Perfil - Conceitos e Definições

Símbolo



Definição

Um perfil é a linha que descreve um objeto num plano dado (figura bidimensional). Os perfis são formados pela projeção de uma figura tridimensional sobre um plano ou pelo contorno de uma seção de toda a figura.

Tolerância de Forma de um Perfil

A tolerância do perfil especifica um contorno uniforme ao longo do perfil real, dentro do qual os elementos do perfil devem estar contidos. O campo de tolerância é limitado por 2 linhas paralelas, envolvendo círculos de diâmetro igual ao valor da tolerância cujos centros estão situados sobre a linha que representa o perfil geométrico correto. (Figura 6.1).

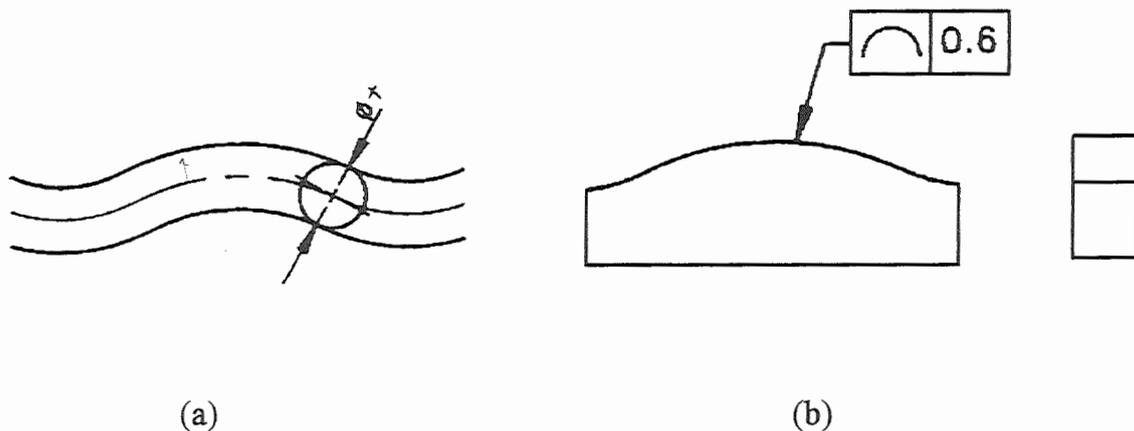


Figura 6.1 - Tolerância de forma de um perfil qualquer.

A zona de tolerância estabelecida pela tolerância de perfil de uma linha é bidimensional, estendendo-se ao longo do comprimento da característica controlada.

Aplicação

Uma tolerância de perfil é um método efetivo para controlar linhas, arcos, superfícies irregulares ou outros perfis excepcionais de peças. Ela é especificada em uma vista ou seção apropriada onde o perfil básico desejado é mostrado. O quadro de controle é conectado ao perfil através de uma seta (Figura 6.1b).

A tolerância de perfil se aplica a perfis de peças que tem variações em suas seções tais como a conicidade de uma asa de avião, ou para outras seções genéricas onde não é desejado controlar a superfície total do elemento como uma entidade única.

A Figura 6.2 ilustra uma aplicação de uma tolerância de perfil em uma peça também afetada por uma tolerância dimensional.

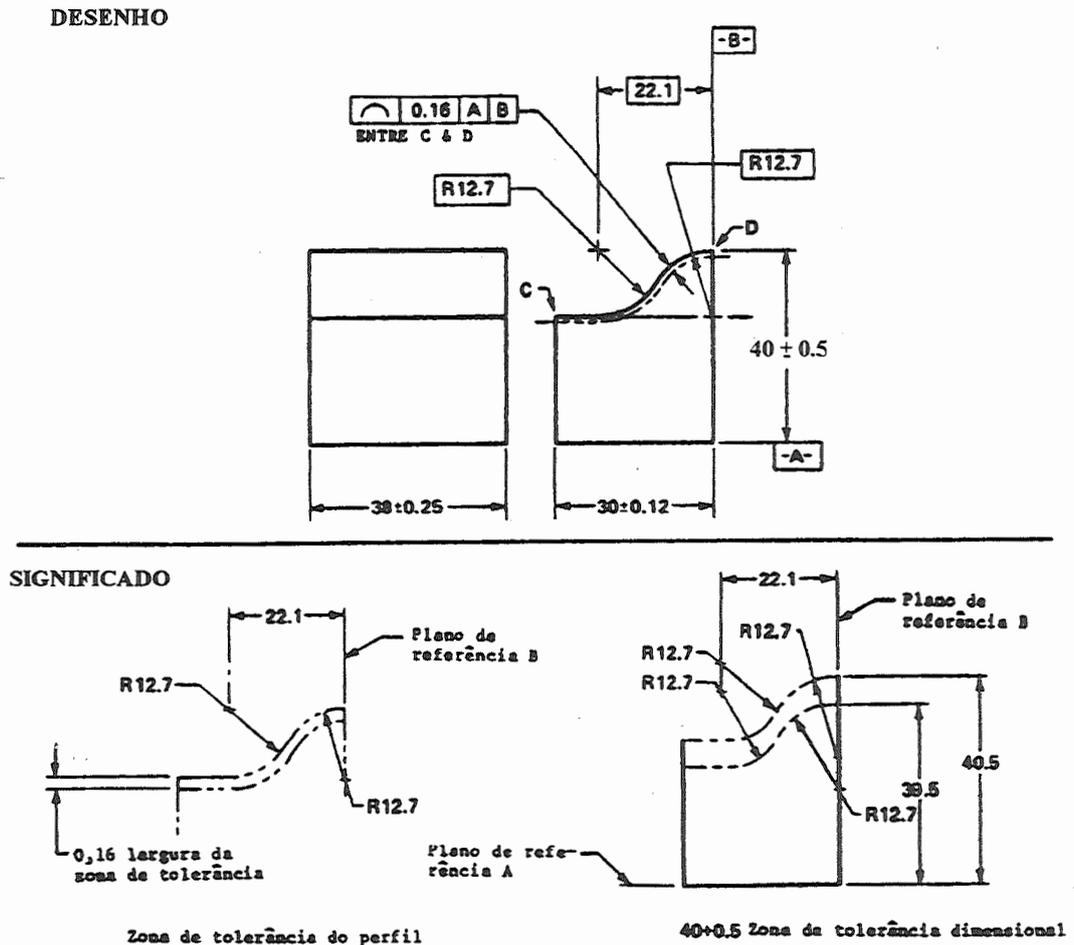


Figura 6.2 - Perfil de uma linha e controle dimensional.

Observe que cada linha da superfície; entre os pontos C e D, em qualquer seção, deve estar contido entre dois perfis espaçados 0,16 mm em relação aos planos de referência A e B. Ainda, a superfície deve estar entre os limites dimensionais especificados.

As tolerâncias de perfil podem ser combinadas com outros tipos de tolerância geométrica. A Figura 6.3 mostra um exemplo onde a superfície é controlada por uma tolerância de perfil e por uma tolerância de batimento.

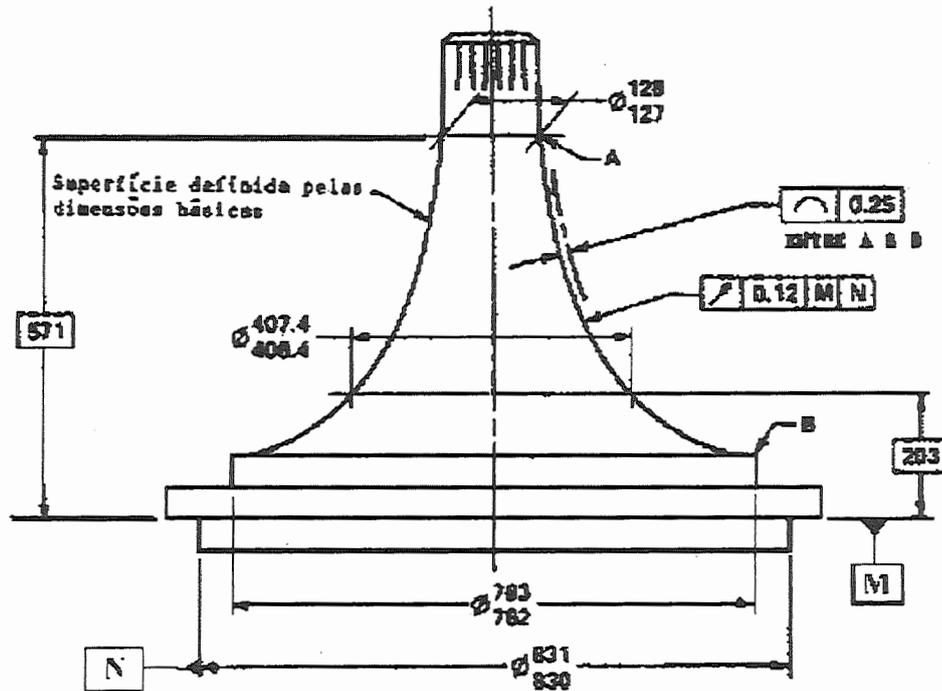


Figura 6.3 - Perfil de uma linha e controle de batimento.

6.2. Forma de Uma Superfície Genérica - Conceitos e Definições

Símbolo



Definição

Uma superfície qualquer ou genérica é a região do espaço que contém todos os pontos pertencentes à superfície.

Tolerância de Forma de uma Superfície

A tolerância de forma da superfície define uma região uniforme no espaço, ao longo da superfície real, dentro da qual os elementos da superfície devem estar contidos. O campo de tolerância é limitado por duas superfícies paralelas, tangentes a esferas, de diâmetro igual ao valor da tolerância, cujos centros estão situados sobre a superfície que representa a superfície geométrica correta.

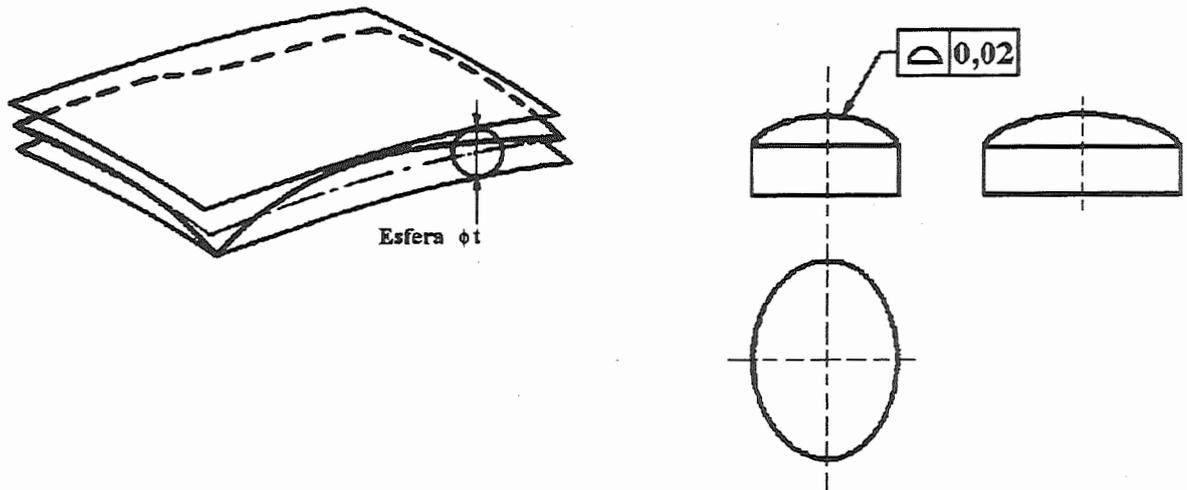


Figura 6.4 - Tolerância de perfil de uma superfície qualquer

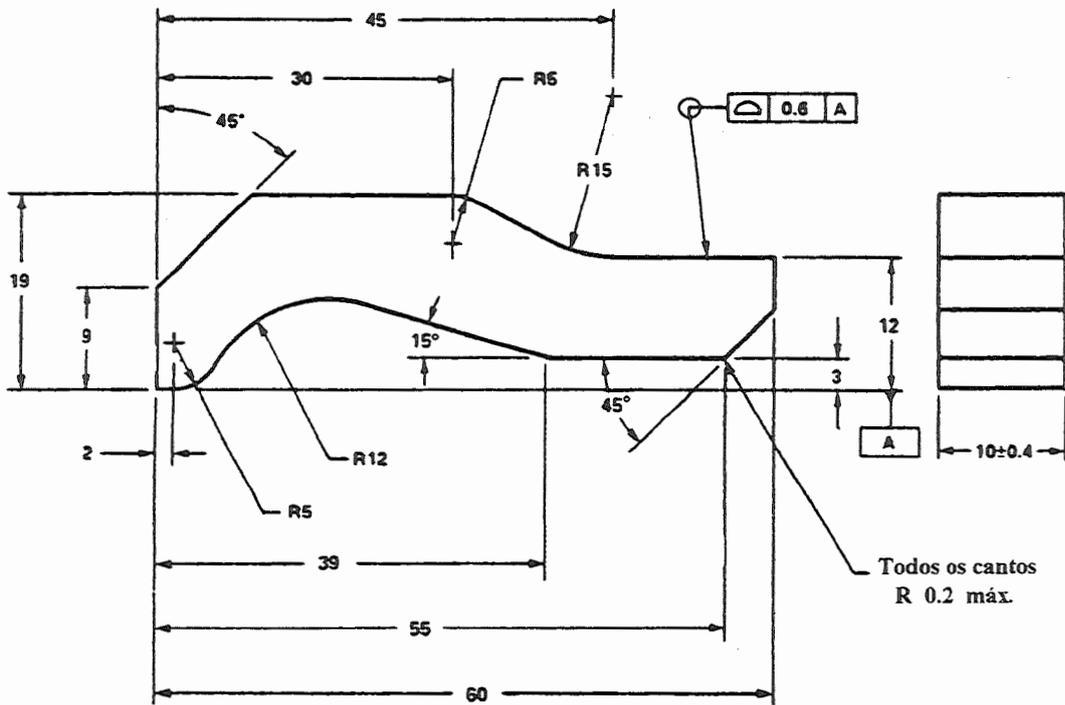
Aplicação

Uma tolerância de forma de uma superfície qualquer é um método para especificar um controle tridimensional ao longo de toda a superfície a ser controlada. Este controle pode ser aplicado a peças possuindo uma seção constante como a peça da Figura 6.5 ou para peças tendo uma superfície de revolução.

Uma tolerância de forma de uma superfície qualquer também pode ser usada conjuntamente com uma outra tolerância geométrica com o intuito de refinar o controle do perfil da superfície

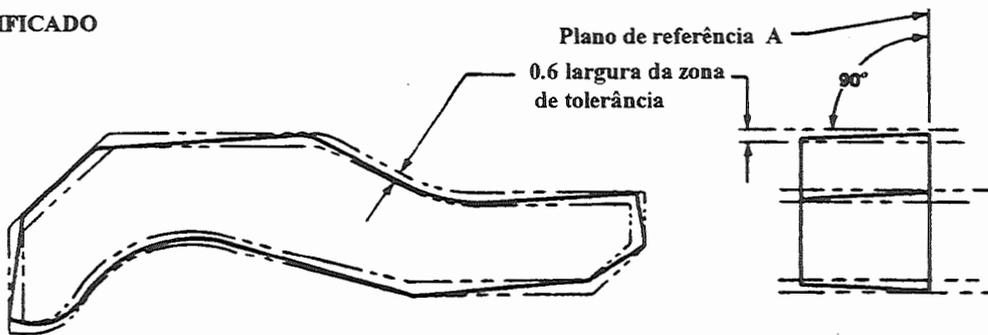
No exemplo mostrado na Fig.5.6, a superfície entre C e D deve estar contida entre dois perfis espaçados de 0,4 mm, um coincidente com o perfil teórico e o outro contido no perfil teórico e posicionados com referência aos planos A e B. Cada linha da superfície considerada, paralela ao plano de referência B, deve estar contida entre duas linhas espaçadas de 0,12mm e paralelas ao plano de referência A.

DESENHO



Tolerâncias não dimensionadas são básicas

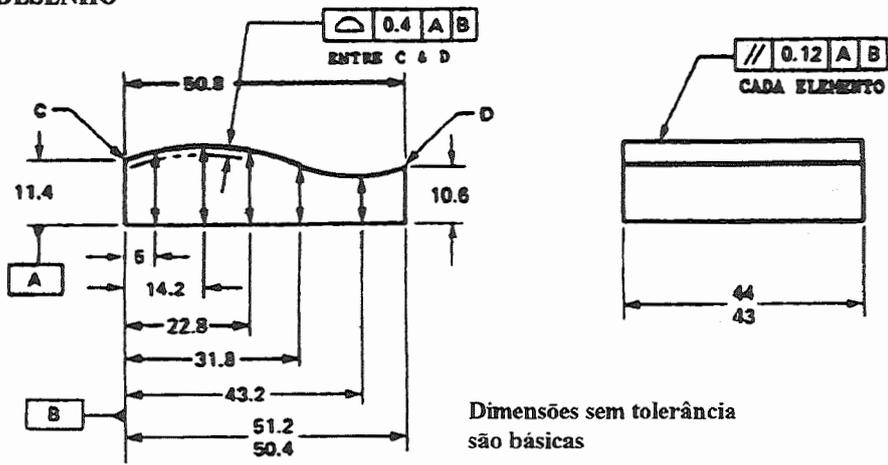
SIGNIFICADO



As superfícies, todo o contorno externo da peça, deve estar contido entre dois contornos paralelos afastados 0,6 mm entre si e perpendiculares ao plano de referência A e igualmente dispostos sobre o perfil teórico. Os raios dos cantos não devem exceder 0,2 mm.

Figura 6.5 - Especificando tolerância de perfil de uma superfície em toda a volta.

DESENHO



SIGNIFICADO

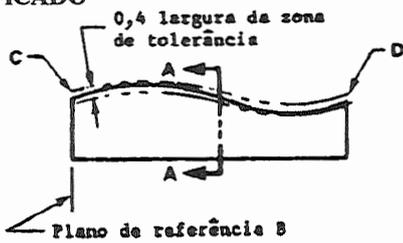
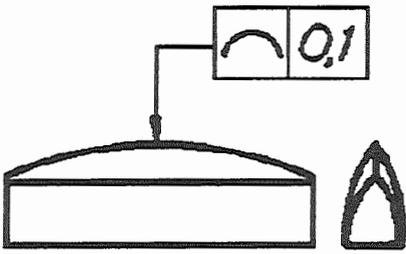
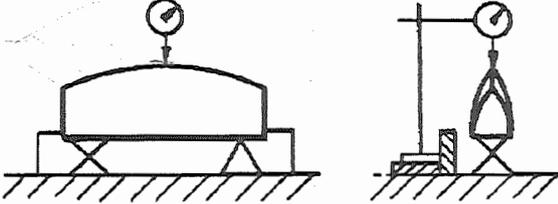
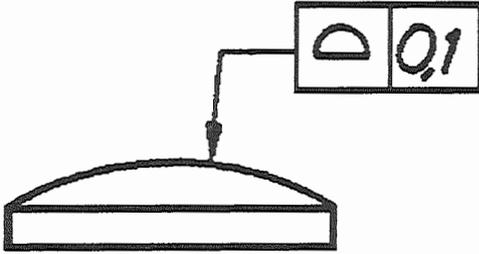
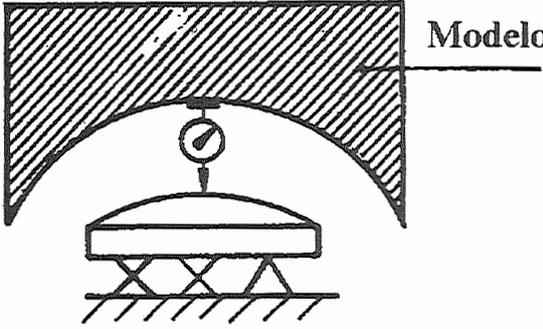


Figura 6.6 - Tolerância de perfil combinada com tolerância de paralelismo.

6.3. Procedimentos de Inspeção

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
 <p>O perfil deve estar contido entre duas linhas distantes entre si de 0,1 mm e de formato correspondente à geometria do perfil.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • A peça é apoiada sobre dois suportes sendo um ajustável e um fixo. • Dois pontos, com a maior distância possível entre eles, são colocados à mesma distância da mesa de medição. • o perfil é medido em um número satisfatório de pontos ao longo do perfil. • o contorno do perfil definido pelo conjunto de pontos medidos é comparado com a zona de tolerância. <p>Obs: medição com projetor de perfil também é compatível com este princípio de medição.</p>
 <p>A superfície deve estar contida entre duas superfícies distantes entre si de 0,1 mm e de formato correspondente à geometria da superfície.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • A peça é apoiada sobre três suportes sendo dois ajustáveis e um fixo. • Pontos da superfície separados o máximo possível um do outro são colocados à mesma distância da mesa de medição. • A superfície é medida em um número satisfatório de pontos a partir de um padrão de formato correspondente à superfície ideal. • O erro de forma corresponde à diferença máxima entre leituras máxima e mínima.

7. Exercícios De Avaliação

1- A zona de tolerância de retilidade para o eixo de um furo cilíndrico e um _____ de diâmetro igual ao _____ desde que o símbolo _____ seja escrito no quadro de controle.

2- Especificando-se uma tolerância de retilidade para as geratrizes de um cilindro, cada geratriz deverá estar compreendida em uma zona de tolerância definida por _____

3- O erro de retilidade pode ser determinado com o auxílio de _____ ou de _____

4. Tolerâncias de Forma _____ (requerem/ não requerem) a especificação de uma referência.

5. Uma tolerância de planicidade exige que a superfície controlada esteja compreendida entre _____, distantes entre si de um valor igual ao _____

6. A zona de tolerância de circularidade é definida por _____ concêntricas.

7. O valor da tolerância de circularidade é igual à diferença entre os _____ (raios/diâmetros).

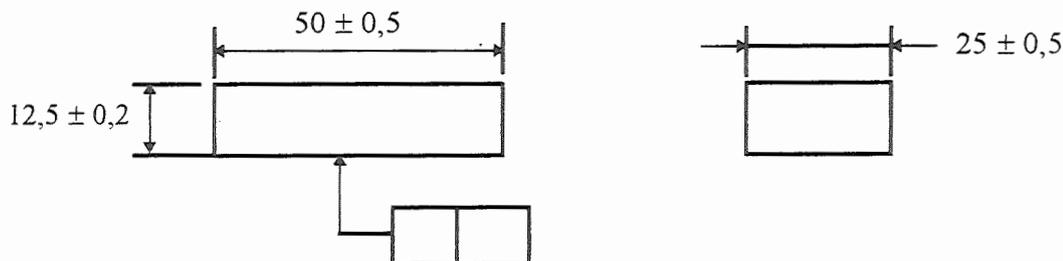
8. Uma tolerância de circularidade _____ (controla/não controla) erros de conicidade.

9. A zona de tolerância de cilindridade é definida por dois _____ dentro da qual a superfície controlada deve ficar.

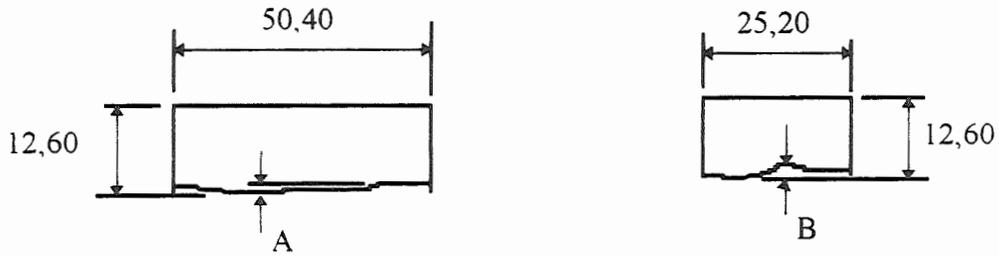
10. A tolerância de cilindridade _____ (controla/não controla) erro de conicidade.

Com relação ao desenho abaixo, responda às perguntas de 11 a 14.

DESENHO



PEÇA PRONTA



11. Quando o quadro de controle é especificado como

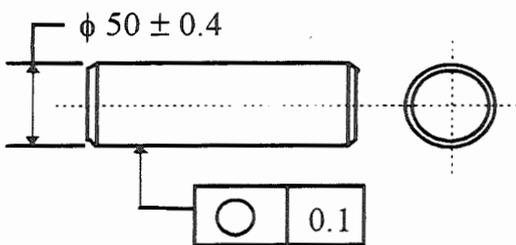
	0,05
--	------

, qual é o máximo valor permitido para os erros de retitude A e B?
12. Quando o quadro de controle é especificado como

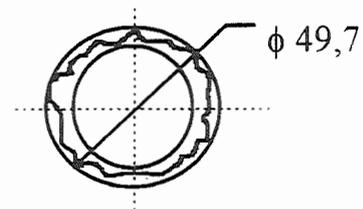
▭	0,05
---	------

, qual é o máximo valor permitido para A e B?
13. Se a espessura da peça usinada resultasse em 12,30 mm, e o erro de planicidade em 0,03 (sendo a tolerância de planicidade de 0,05), a peça estaria dentro ou fora das especificações?
14. Qual é o valor da espessura desta peça, na sua condição de máximo material.
15. Considere a tolerância de circularidade no desenho abaixo. qual o máximo erro de circularidade aceitável?

Desenho



Peça



8. PARALELISMO

8.1. Conceitos e Definições

Símbolo



Definição

Paralelismo é a condição de uma superfície ou eixo que é equidistante, em todos os seus pontos, de uma superfície (plano) de referência ou de um eixo de referência.

Tolerância de Paralelismo

Uma tolerância de paralelismo define uma zona formada por dois planos paralelos, duas linhas paralelas ou por um cilindro paralelo a uma referência.

O paralelismo é um controle de orientação e, desta forma, um elemento de referência é requerido.

Aplicação da Tolerância de Paralelismo

O quadro de controle deve ser colocado em uma vista onde a relação de paralelismo é mostrada. A Figura 8.1 abaixo ilustra um exemplo de colocação de tolerância de paralelismo.

A tolerância de paralelismo é especificada em um projeto onde um plano, superfície ou eixo deva ter uma relação de paralelismo com uma característica de referência. A tolerância de paralelismo também controla planicidade e retilidade de um eixo.

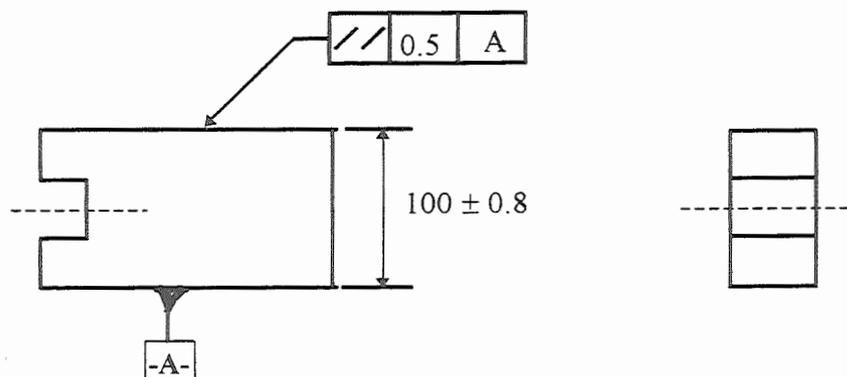


Figura 8.1 - Colocação de uma tolerância de paralelismo.

Existem quatro casos possíveis para a especificação de tolerância de paralelismo.

- a) Tolerância de paralelismo de uma superfície com relação a um plano;
- b) Tolerância de paralelismo de um eixo com relação a um plano;
- c) Tolerância de paralelismo de um eixo com relação a uma reta;
- d) Tolerância de paralelismo de uma superfície com relação a uma reta;

Estes quatro casos serão discutidos em detalhes a seguir.

8.2. Tolerância de Paralelismo de uma Superfície com relação a um Plano de Referência.

O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, espaçados do valor da tolerância e paralelos ao plano de referência.

Este é o caso mais freqüente de aplicação de controle de paralelismo. A Figura 8.2 ilustra este caso. O quadro de controle é conectado à superfície através de uma seta. Na mesma vista do desenho devemos especificar a superfície de referência.

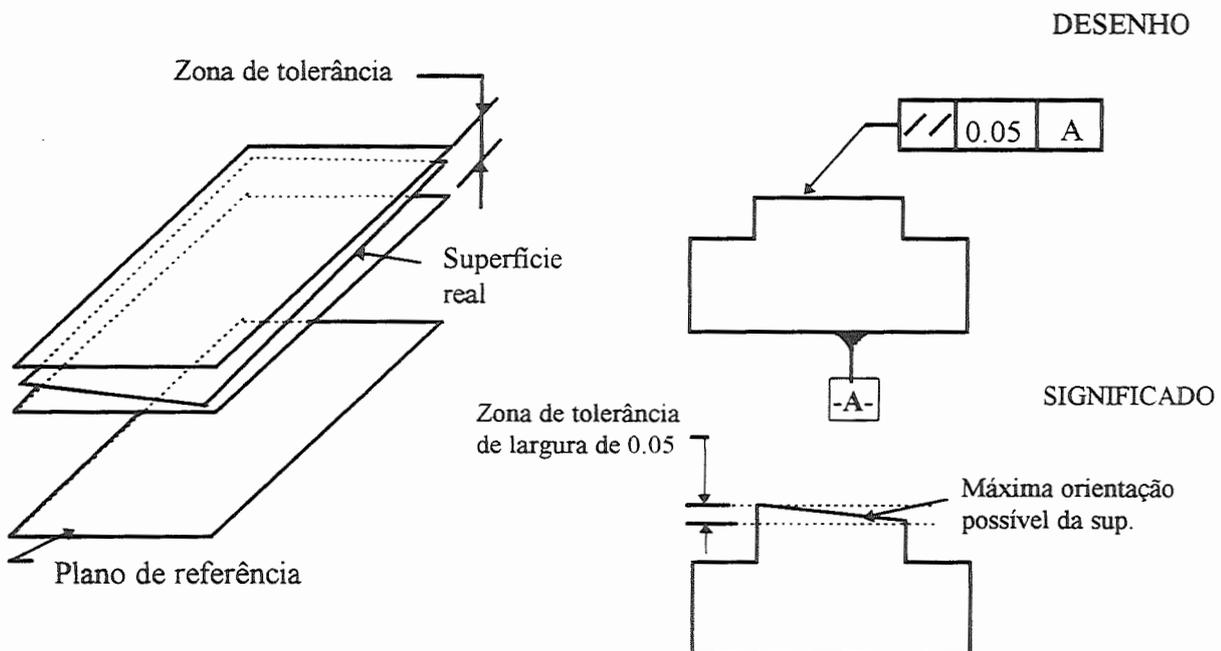


Figura 8.2 - Tolerância de uma superfície em relação a um plano

É importante salientar que a superfície controlada precisa, primeiramente, satisfazer os requisitos de limite dimensional e depois os requisitos de tolerância geométrica de

orientação (paralelismo). Isto significa que a zona de tolerância de paralelismo deve estar contida dentro da zona de tolerância dimensional como ilustrado na Figura 8.3 abaixo.

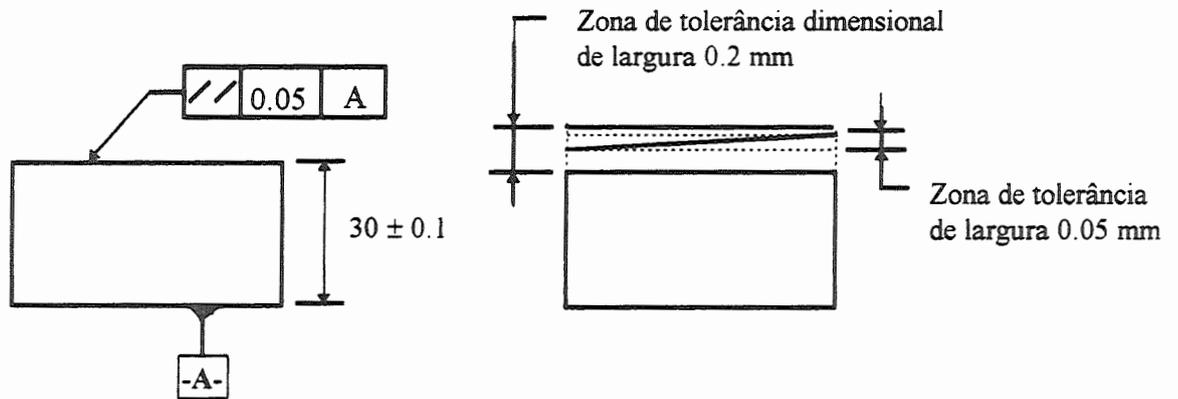


Figura 8.3 - Zona de tolerância de paralelismo

8.2.1. Procedimentos de Inspeção

A superfície pode ser verificada com instrumentos básicos de inspeção tais como, uma máquina de medir três coordenadas (MMC) ou um relógio comparador. A superfície de referência deve ser colocada em contato com uma superfície perfeita, que normalmente é representada pela superfície de um despenho, e, em seguida, a superfície controlada deve ser verificada em todas as direções de modo a assegurar uma inspeção adequada. Um exemplo de inspeção é ilustrado na figura abaixo.

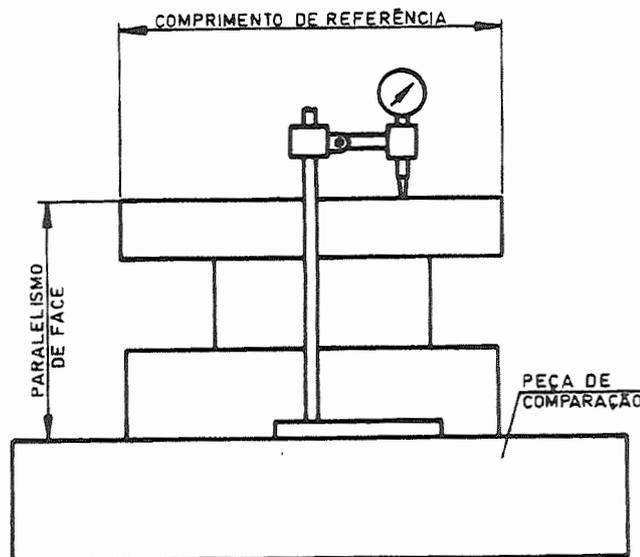
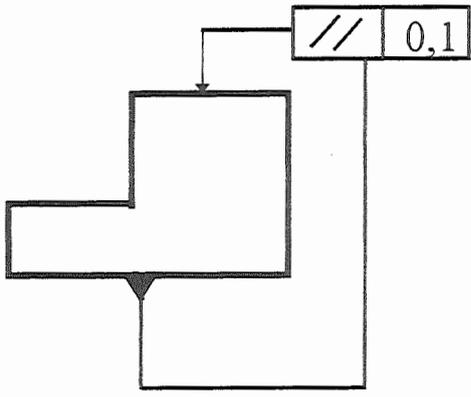
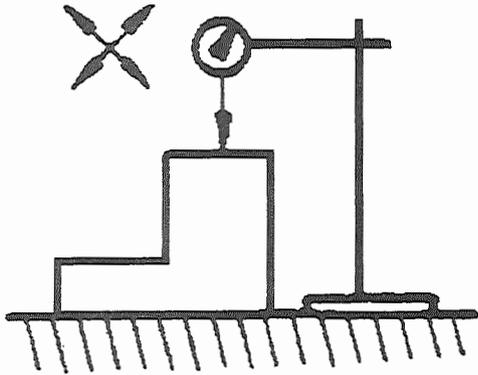
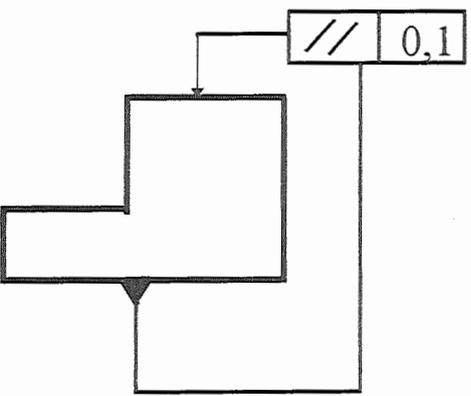
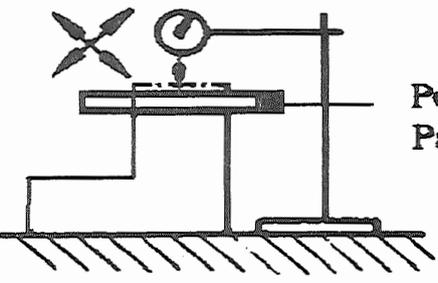


Figura 8.4 - Inspeção de erro de paralelismo

Pode-se também colocar uma peça plana perfeita sobre a superfície a ser inspecionada caso se deseje eliminar o erro de planicidade da superfície. Estes dois casos estão ilustrados abaixo.

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
 <p>A superfície superior deve ser paralela com a base dentro de 0,1 mm.</p>	 <p>Instrumento de Medição: Relógio Comparador</p> <p>A peça é colocada sobre uma mesa de medição. A superfície é apalpada em vários pontos. A diferença entre as leituras máxima e mínima do relógio constitui o erro de paralelismo.</p>
 <p>A superfície superior deve ser paralela com a base dentro de 0,1 mm.</p>	 <p>Peça Paralela</p> <p>A peça é colocada sobre uma mesa de medição. Uma peça plana e de faces paralelas é colocada sobre a superfície. Quatro medidas, relativas aos quatro cantos da peça, são feitas. A diferença entre as leituras máxima e mínima do relógio constitui o erro de paralelismo.</p>

8.3. Tolerância de Paralelismo de um Eixo com relação a um Plano de Referência

O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, espaçados do valor da tolerância e paralelos ao plano de referência. A especificação dessa tolerância pode ser feita como ilustrado na Figura 8.5 abaixo.

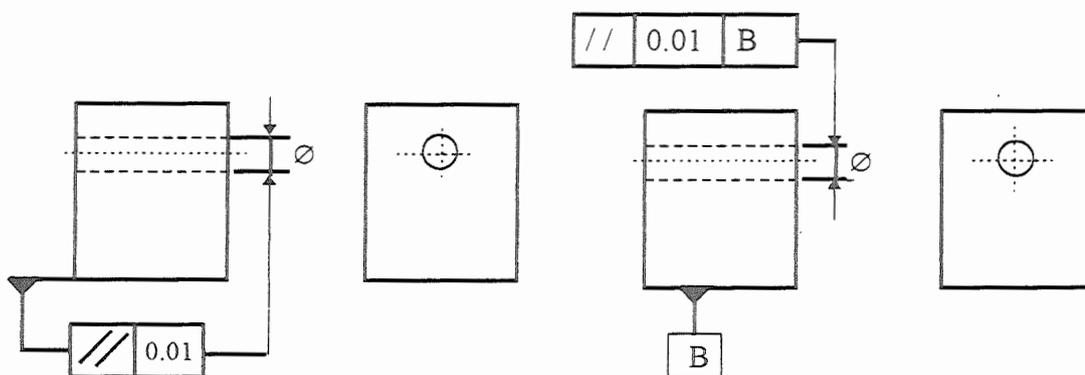


Figura 8.5 - Especificação de tolerância de paralelismo entre eixo e plano

O quadro de controle deve ser conectado a uma linha de cota do elemento controlado. Este caso pode ser adotado na prática quando a característica cilíndrica deve ser controlada em somente uma direção. Esta direção é dada pela vista do desenho que contém o quadro de controle. Normalmente, a característica controlada é localizada com uma tolerância de posição e então refinada com uma tolerância de paralelismo.

A zona de tolerância, dentro da qual o eixo deve estar, é determinada a partir do plano de referência. Isto pode ser conseguido com instrumentos de medição direta. A Figura 8.6 mostra outro exemplo juntamente com sua interpretação.

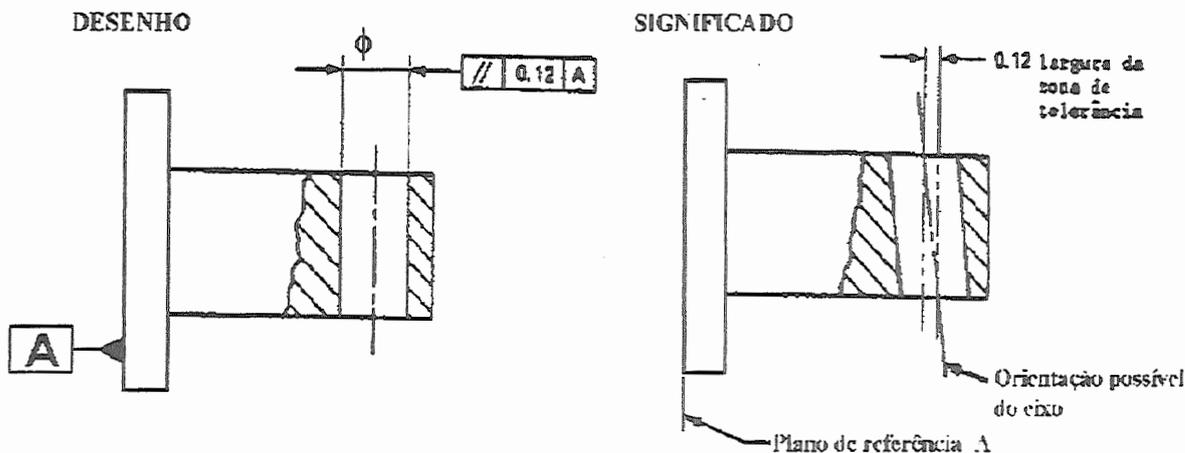
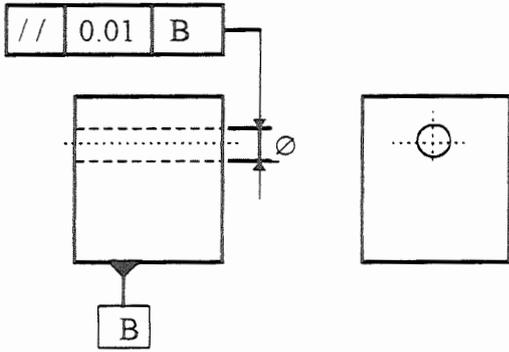
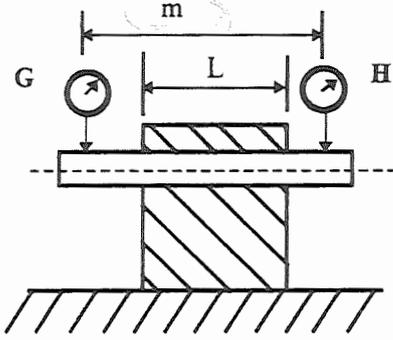
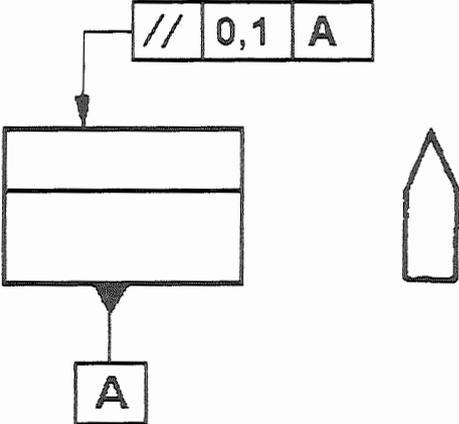
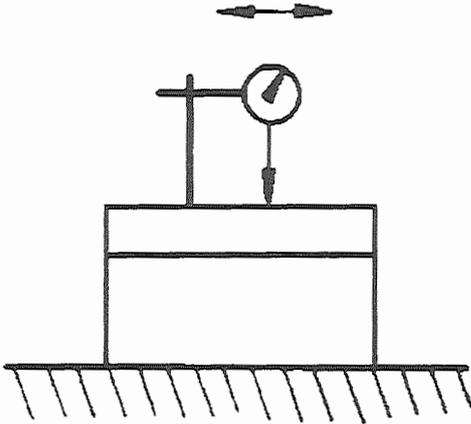


Figura 8.6 - Paralelismo entre eixo e plano.

8.3.1. Procedimentos de Inspeção

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
 <p>A linha de centro do furo deve ser paralela com a superfície de referência B dentro de 0.01 mm, no plano indicado.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • Um mandril é colocado no furo controlado • A peça é colocada sobre um plano de referência. • Medições são feitas nas duas extremidades do mandril (G e H). • As leituras do relógio são corrigidas através da fórmula $P = \frac{(G - H) \times L}{m}$ para que se apliquem ao furo. • O valor de P constitui o erro de paralelismo.
 <p>A aresta controlada deve ser paralela com a superfície de referência A dentro de uma zona de tolerância de 0,1 mm.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • A peça é colocada em um plano de referência. • O relógio comparador é zerado em uma das extremidades. • Medições são feitas ao longo da aresta. • A diferença entre a máxima e a mínima indicação do relógio constitui o erro de paralelismo.

8.4. Tolerância de Paralelismo de uma Reta com relação a uma Reta de Referência

8.4.1. Definições

Campo de tolerância de paralelismo é definido por

1. Um cilindro, de diâmetro igual ao valor da tolerância, paralelo à reta de referência, quando o valor da tolerância, no quadro de controle, for precedido pelo símbolo ϕ (Figura 8.7 a);
2. Duas retas paralelas, distantes do valor da tolerância e paralelas à reta de referência (Figura 8.7 b).

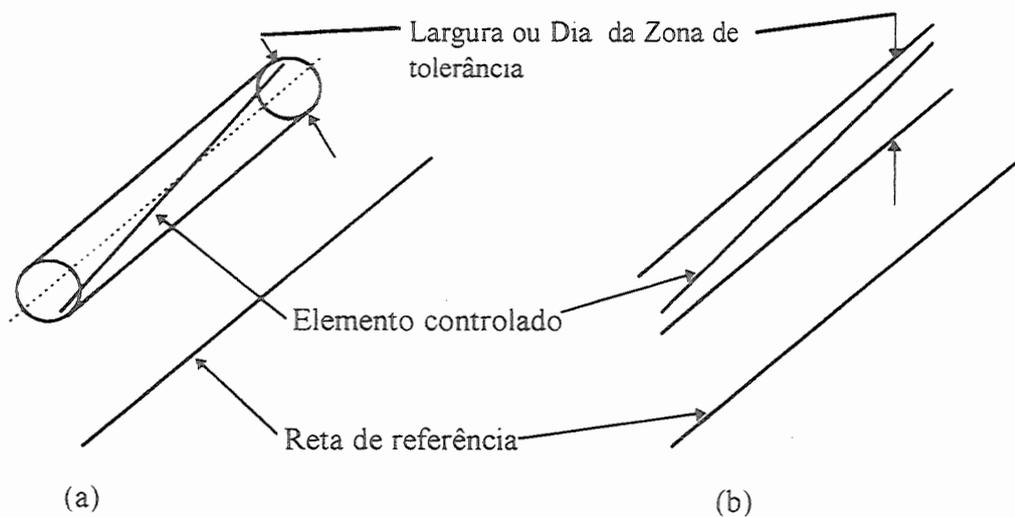


Figura 8.7 - Tolerância de paralelismo entre retas

Este caso de tolerância de paralelismo é um método para controlar dois cilindros ou dois furos que devem ser paralelos um ao outro. Alguns exemplos de aplicação são mostrados abaixo, juntamente com o seu significado.

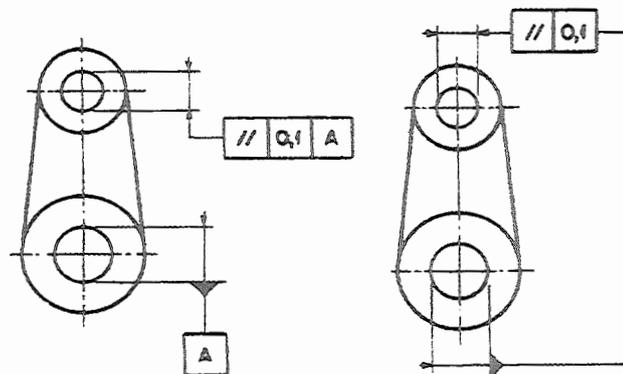
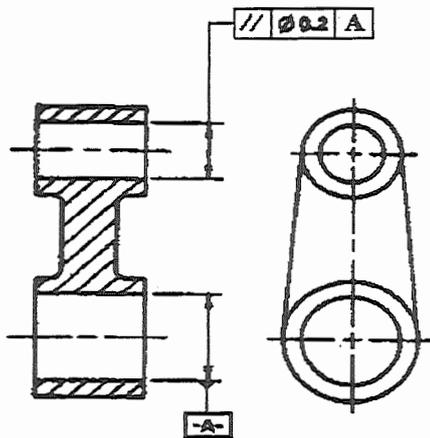


Figura 8.8 - Exemplo de aplicação de tolerância entre furos em dois planos

DESENHO



SIGNIFICADO

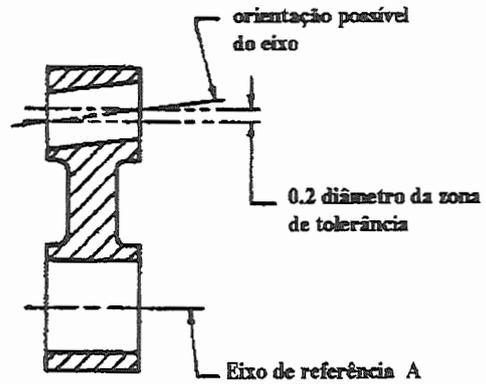


Figura 8.9 - Exemplo de aplicação de tolerância entre furos

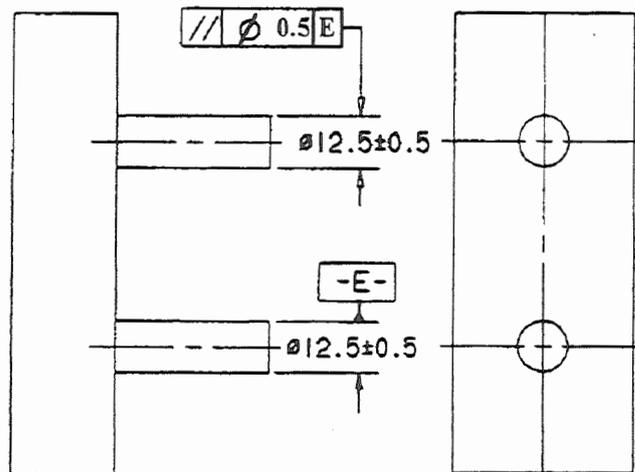
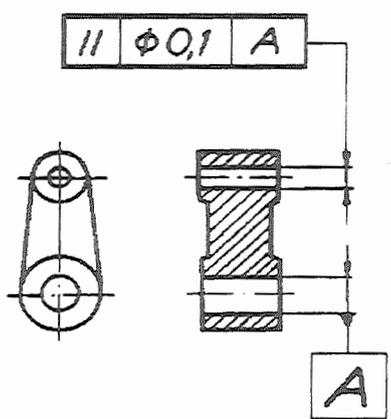
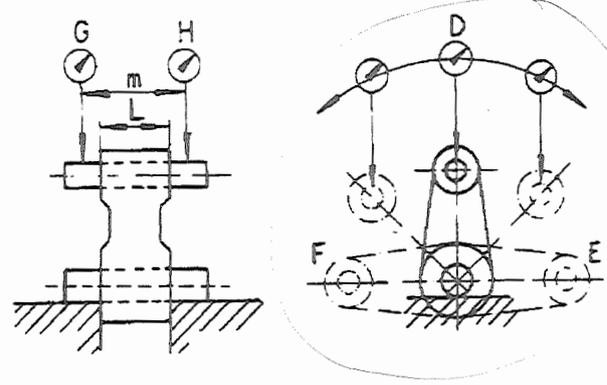
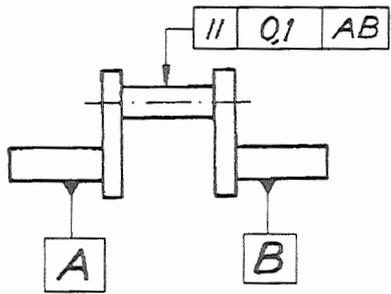
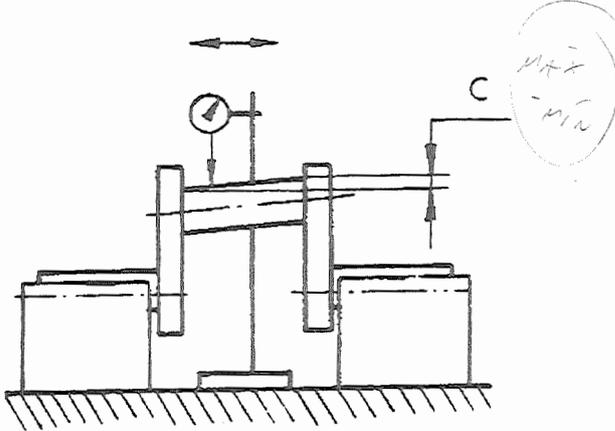
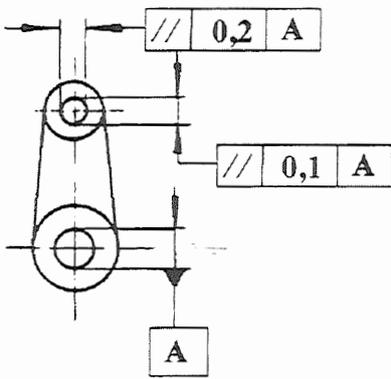
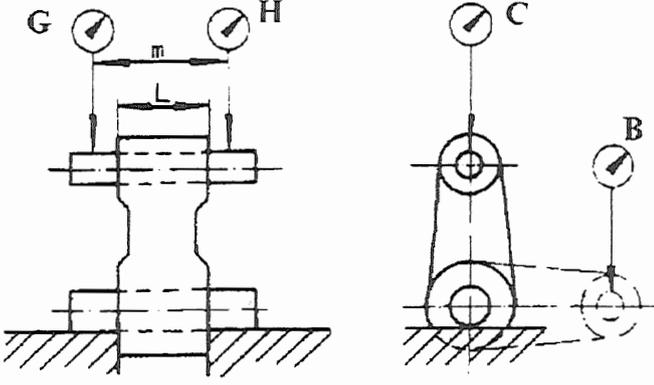


Figura 8.10 - Exemplo de aplicação de tolerância entre eixos

8.4.2. Procedimentos de Inspeção

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
 <p>A linha de centro do furo superior deve estar contida em uma região cilíndrica de diâmetro 0,1 mm, com eixo alinhado ao eixo de referência.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • As linhas de centro dos furos são materializadas por eixos calibrados. • O eixo de referência é alinhado com a superfície de medição. • O relógio apalpador toca em dois pontos do eixo (G e H), em duas posições D e E (ou D e F). • Outras posições entre D e E devem ser escolhidas para se realizar mais medições. • Em cada posição, o desvio referente ao comprimento do furo é encontrado pela fórmula $\frac{(G - H) \times L}{m}$. • O erro de paralelismo corresponde ao máximo valor calculado.
 <p>A geratriz superior deve estar entre duas retas paralelas, contidas no plano da figura e distantes 0,1 mm entre si e, ainda, paralelas ao eixo comum definido pelas superfícies cilíndricas A e B.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • A peça é colocada apoiada em dois blocos V. • O relógio é zerado em um extremidade e deslocado até a outra. O valor C é o erro de paralelismo.

continuação

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
 <p>A linha de centro do furo superior deve ser paralela à linha de centro do furo inferior dentro de 0,2 mm no plano horizontal e 0,1 mm no plano vertical.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • As linhas de centro dos furos são materializadas por eixos calibrados. • O eixo de referência é alinhado com a superfície de medição. • O relógio apalpador toca em dois pontos do eixo (G e H), em duas posições A e B. • Em cada posição, o erro referente ao comprimento do furo é encontrado pela fórmula $\frac{(G - H) \times L}{m}$.

8.5. Tolerância de Paralelismo de uma Superfície com Relação a uma Reta de Referência.

8.5.1. Definições

O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, espaçados do valor da tolerância e paralelos à reta de referência.

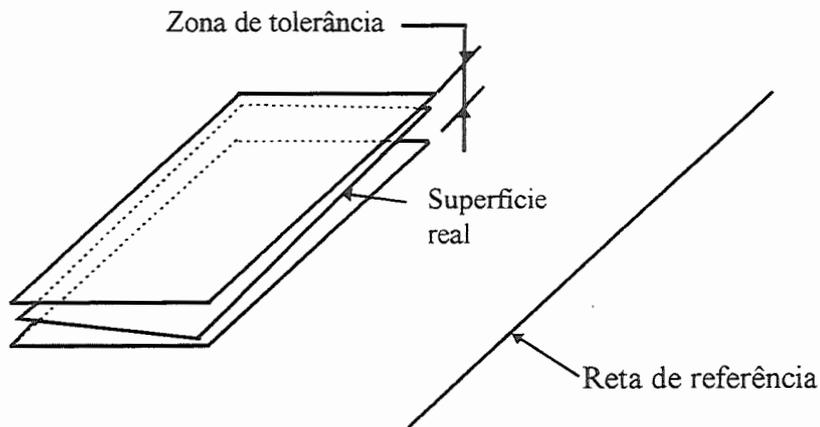
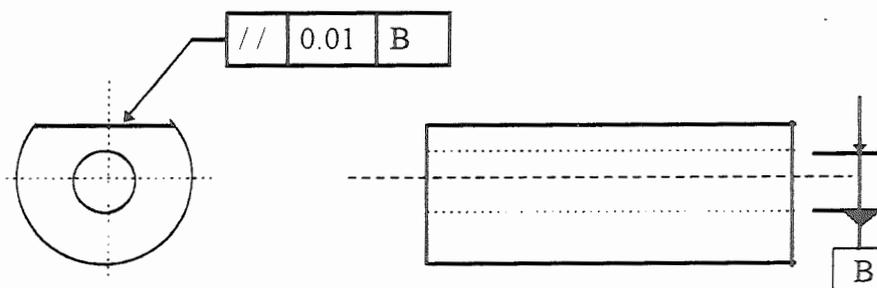


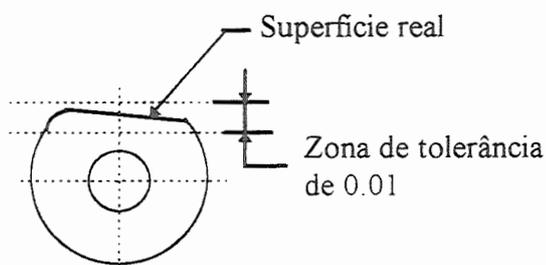
Figura 8.11 - Conceituação de tolerância de paralelismo entre plano e reta

O exemplo da Figura 8.12 mostra como colocar o quadro de controle e a referência. A superfície real deve estar contida entre dois planos espaçados de 0.01 os quais são paralelos a linha de centro do furo.

DESENHO



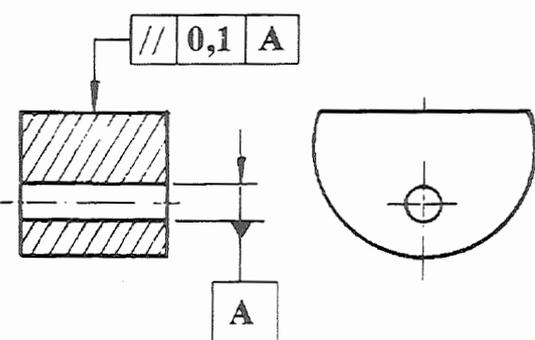
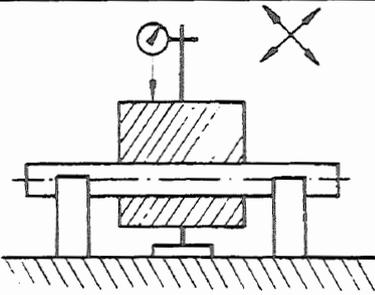
SIGNIFICADO



A superfície real controlada deve estar contida entre dois planos paralelos e espaçados de 0.01 mm os quais são paralelos à linha de centro do furo

Figura 8.12 - Exemplo de especificação

8.5.2. Procedimentos de Inspeção

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
 <p>A superfície indicada deve ser paralela ao eixo do furo dentro de 0,1 mm.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • A peça é apoiada em dois blocos V e alinhada com a superfície de medição. • A superfície controlada é apalpada em várias direções. • A diferença entre as leituras max. e min. do relógio é o erro de paralelismo.

9. Perpendicularidade

9.1. Conceitos e Definições

Símbolo 

Definição

Perpendicularidade é a condição de uma superfície, um plano médio ou eixo que está em ângulo reto com relação a um plano ou eixo de referência.

Tolerância de Perpendicularidade

Uma tolerância de perpendicularidade define uma zona formada por dois planos paralelos, duas linhas paralelas ou por um cilindro perpendicular a uma referência. A superfície, plano ou eixo controlado deve estar dentro da zona de tolerância especificada. O perpendicularidade é um controle de orientação e, desta forma, um elemento de referência é requerido.

9.2. Aplicação e Interpretação da Tolerância de Perpendicularidade

Tolerância de perpendicularidade deve ser especificada na vista do desenho da peça onde estejam mostrados o elemento controlado e a característica de referência.

Tolerância de perpendicularidade é especificada em projetos que requerem que uma característica seja perpendicular a outra e, como dito anteriormente, uma referência deve ser especificada. A superfície ou característica de referência é considerada perfeita para efeito de medição da característica controlada. O perpendicularidade controla todos os erros da superfície incluindo planicidade e angularidade.

A Figura 9.1 exemplifica uma aplicação da tolerância de perpendicularidade de uma superfície com relação a uma superfície de referência.

Observe que a face inferior da peça é a superfície de referência e a face lateral é a superfície controlada.

Primeiramente, a face controlada deve obedecer a tolerância dimensional e depois a tolerância de orientação. Isto significa que esta superfície deve estar dentro da zona de tolerância formada por dois planos paralelos, distantes 0,5mm um do outro e perpendiculares à superfície de referência.

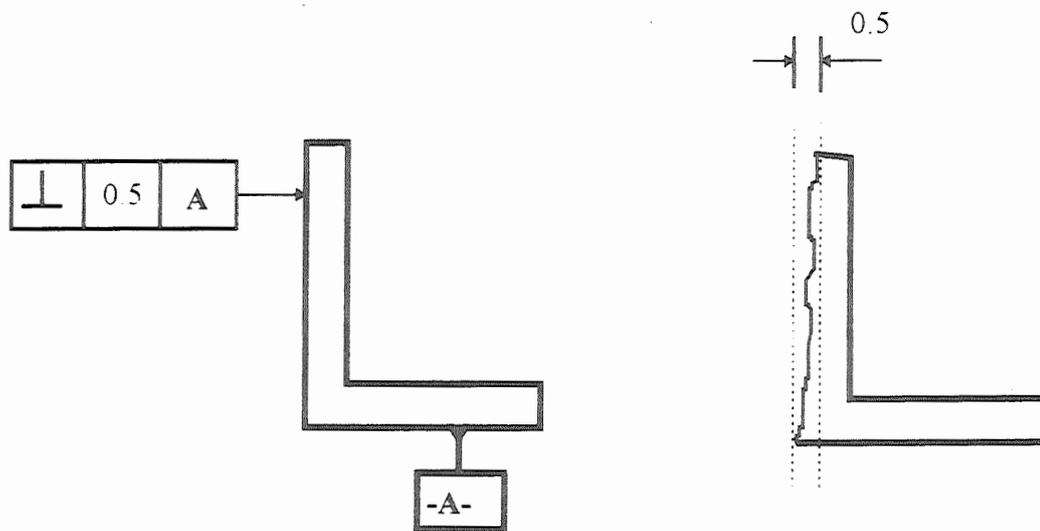


Figura 9.1: Exemplo de aplicação de tolerância de Perpendicularidade.

Existem quatro casos possíveis para a especificação da tolerância de perpendicularidade, conforme segue:

1. Tolerância de perpendicularidade entre uma superfície e um plano de referência;
2. Tolerância de perpendicularidade entre uma superfície e um eixo de referência;
3. Tolerância de perpendicularidade entre um eixo e um plano de referência;
4. Tolerância de perpendicularidade entre um eixo e um eixo de referência;

A Figura 9.2 ilustra estes quatro casos. As Figuras 9.2a e 9.2b mostram o caso de tolerância de perpendicularidade de uma superfície e de um plano mediano com relação a um plano de referência.

A Figura 9.2c ilustra o caso de uma superfície perpendicular a um eixo de referência, enquanto que a Figura 9.2e mostra o caso oposto, isto é, um eixo perpendicular a uma superfície de referência.

As Figuras 9.2d e 9.2f apresentam o caso de um eixo (ou de uma reta) perpendicular a um eixo de referência.

9.3. Tolerância de Perpendicularidade de uma Superfície ou Plano Mediano com relação a um Plano de Referência.

Este é o caso mais freqüente de aplicação da tolerância de perpendicularidade. A zona de tolerância é definida por dois planos paralelos perpendiculares ao plano de referência. Dentro desta zona deve estar localizada a superfície ou plano médio controlado.

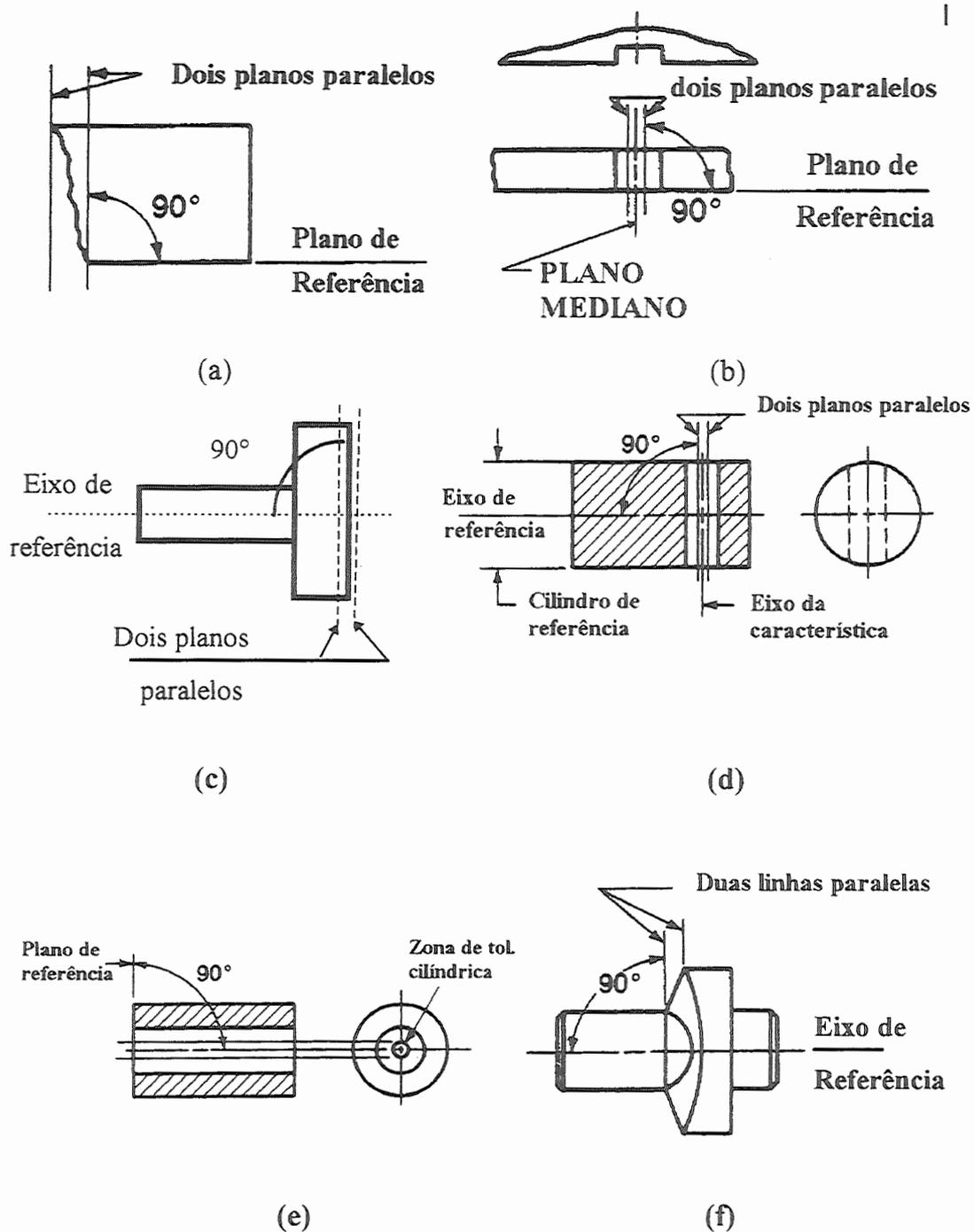


Figura 9.2 - Casos de aplicação de tolerância de Perpendicularidade.

As Figuras 9.3 e 9.4 ilustram este caso. Note que a tolerância de perpendicularidade aplicada a uma superfície plana controla também a planicidade (isto é, o erro de planicidade será no máximo igual ao erro de perpendicularidade).

A superfície real pode ser verificada de várias maneiras. Uma verificação simples pode ser feita com um relógio comparador. Primeiro a superfície de referência deve ser colocada em contato com um plano ideal (desempeno, por exemplo); depois, o relógio comparador deve ser zerado em um ponto; se possível no ponto mais alto, e

deslocado sobre toda a superfície, efetuando-se as leituras. A leitura total do indicador não deve exceder a tolerância especificada no quadro de controle. Alternativamente, uma Máquina de Medir a Três Coordenadas (MMC) pode ser usada para esse tipo de medição.

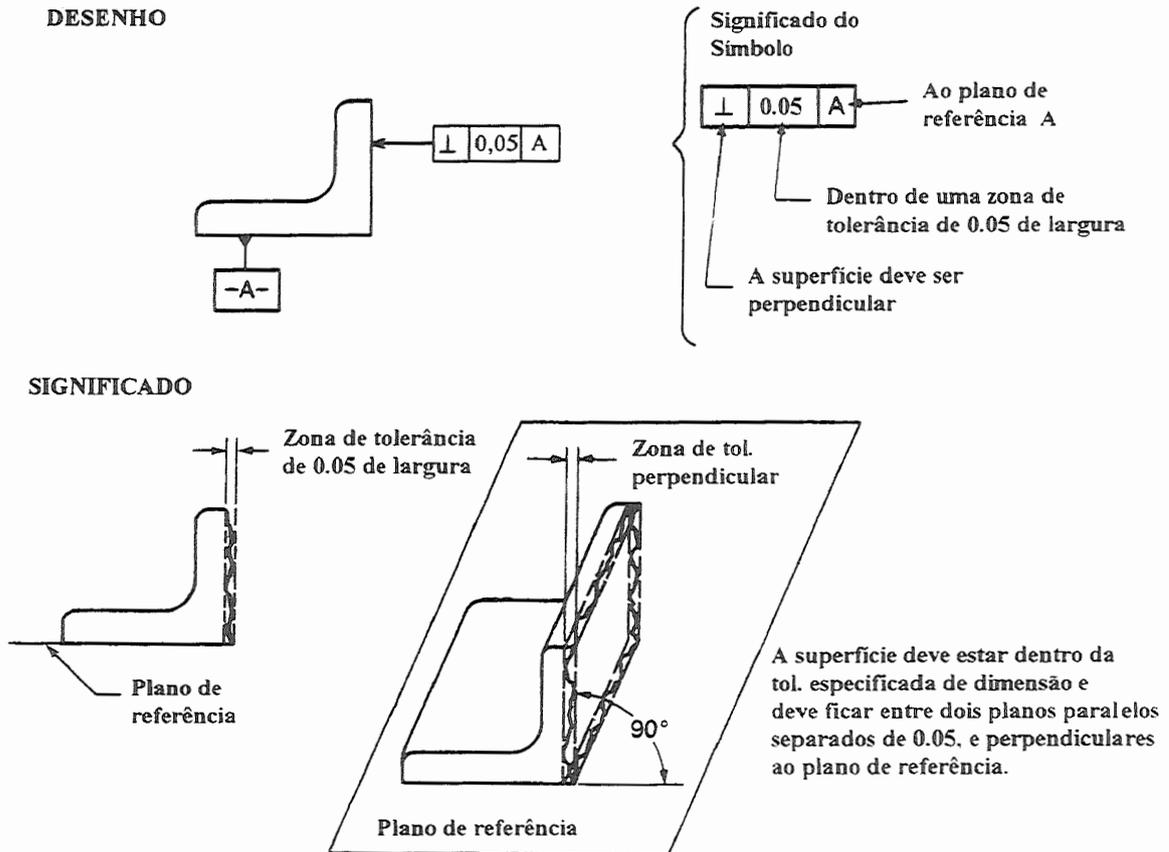


Figura 9.3 - Perpendicularidade entre duas superfícies

9.4. Tolerância de Perpendicularidade de um Eixo com relação a um Plano de Referência

A zona de tolerância neste segundo caso é uma zona de tolerância cilíndrica, perpendicular a um plano de referência, dentro da qual o eixo controlado deve estar contido.

É comum a especificação de perpendicularidade para controlar o relacionamento entre um cilindro e um plano. O quadro de controle deve ser conectado à linha de cota da especificação do diâmetro, como mostrado na Figura 9.5.

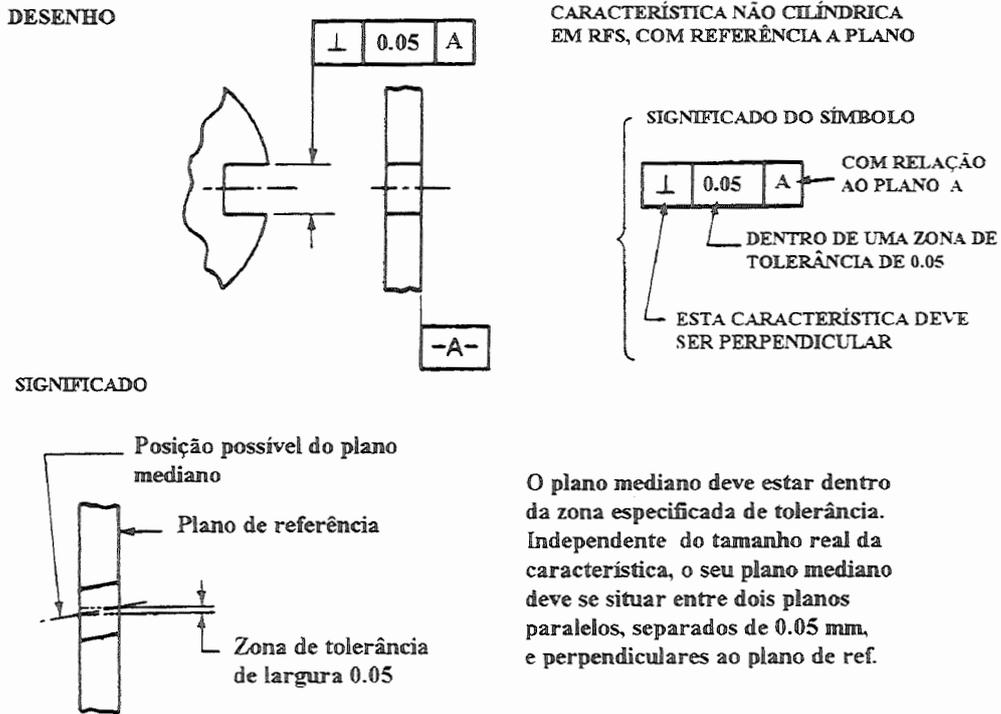


Figura 9.4 - Perpendicularidade de um plano mediano a uma superfície

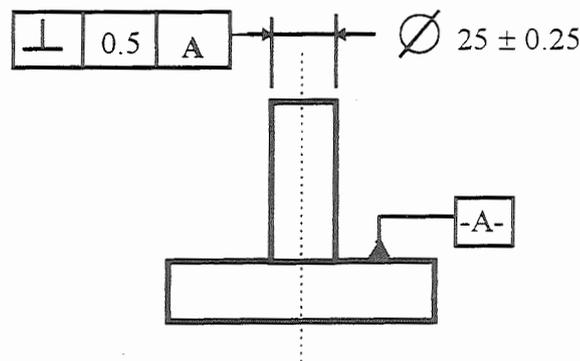
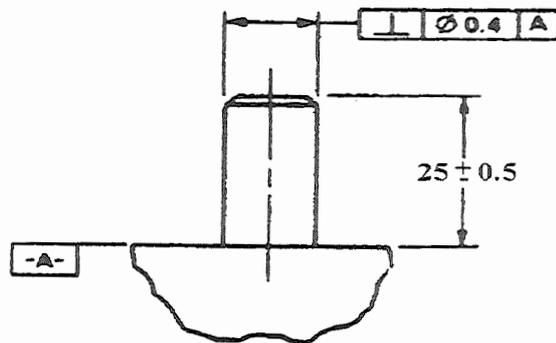


Figura 9.5 - Colocação da tolerância

Esta especificação deve ser feita em uma vista do desenho onde o relacionamento entre as características é claramente mostrado.

No exemplo abaixo(Figura 9.6), independentemente do diâmetro real da superfície cilíndrica, o seu eixo deve estar contido numa zona cilíndrica de 0,05mm de diâmetro e 25mm de altura, perpendicular ao plano de referência A. Esta interpretação é correta pois não há especificação de modificadores no quadro de controle.

DESENHO



SIGNIFICADO

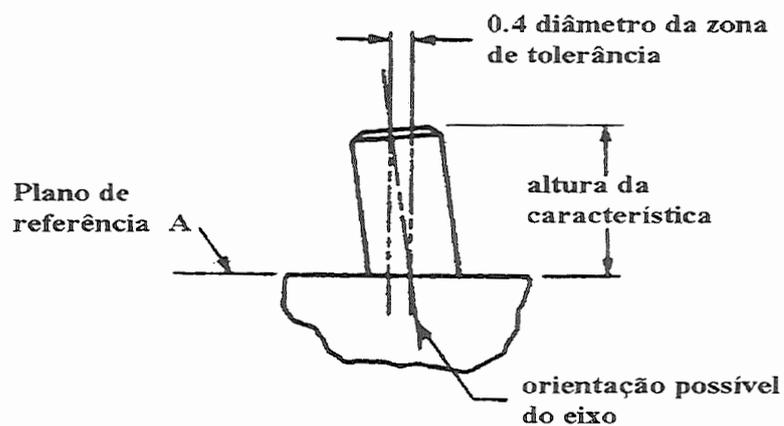


Figura 9.6 - Exemplo de aplicação de tolerância de perpendicularidade

9.5. Tolerância de Perpendicularidade de um Plano com relação a um Eixo de Referência.

A zona de tolerância é definida por dois planos paralelos, perpendiculares ao eixo de referência. A distância entre os dois planos paralelos é igual ao valor especificado da tolerância. O quadro de controle deve ser conectado à superfície controlada como mostrado na Figura 9.7.

9.6. Tolerância de Perpendicularidade de uma Reta com um Eixo de Referência.

A zona de tolerância é formada por duas linhas paralelas perpendiculares ao eixo de referência. A distância entre as duas linhas paralelas é dada pela tolerância de Perpendicularidade especificada e dentro deste espaço deve estar um elemento da superfície controlada. A Figura 9.8 ilustra este caso.

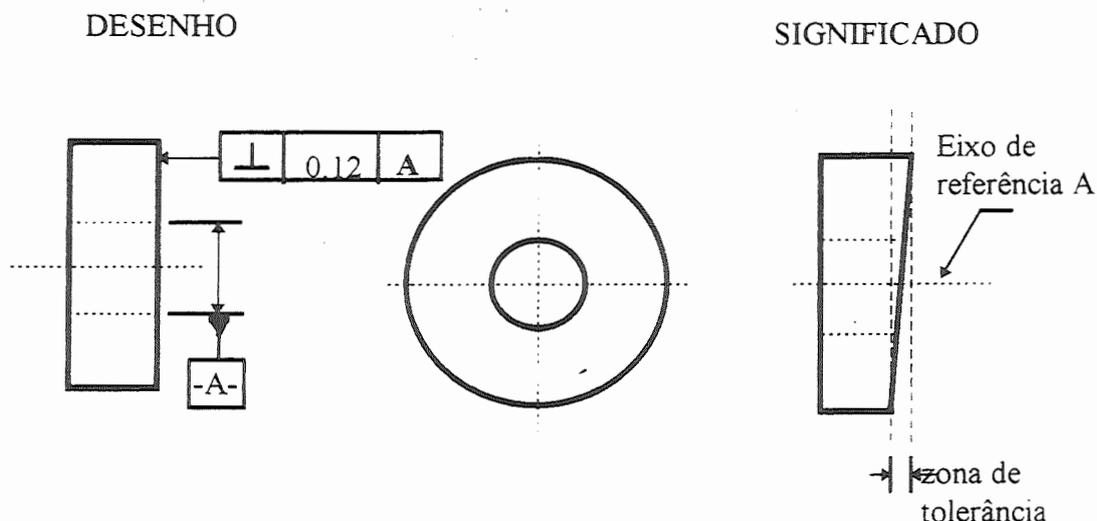
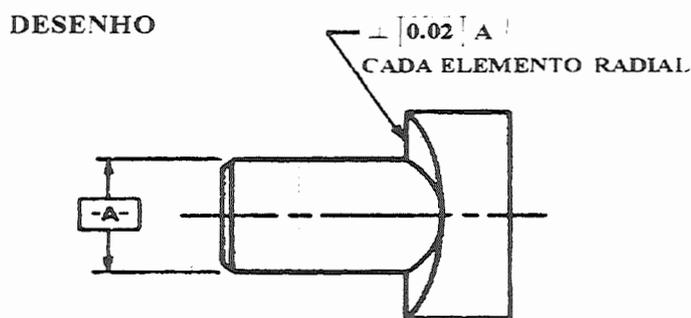


Figura 9.7 - Zona de tolerância da superfície controlada

Cada elemento radial da superfície deve estar contido entre duas linhas paralelas afastadas 0.02 entre si e perpendiculares ao eixo de referência A. Ainda, a superfície deve estar contida dentro dos limites impostos pela tolerância dimensional. A verificação deste desvio pode ser feita com um simples relógio comparador e um desempenho ou uma máquina de medir a três coordenadas.



Nota: a ausência de um modificador implica RFS aplicado à referência A.

SIGNIFICADO

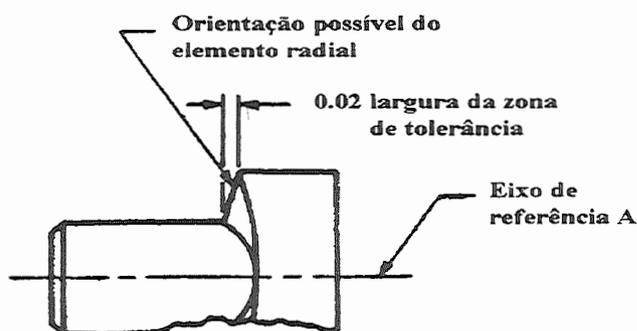
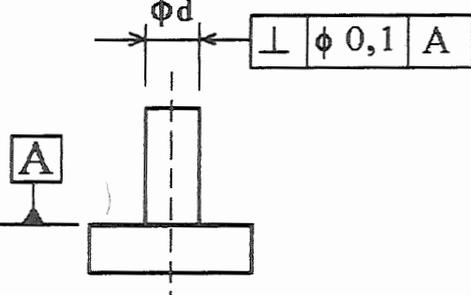
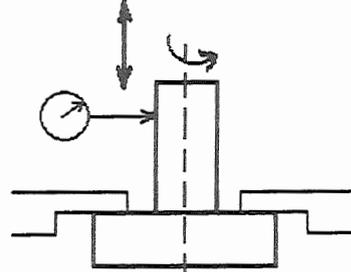
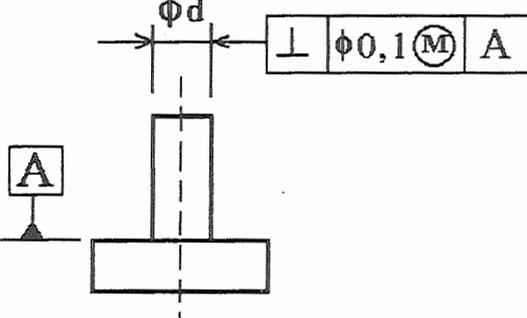
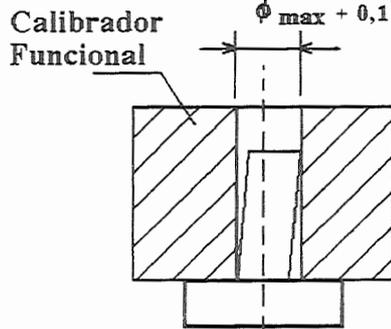
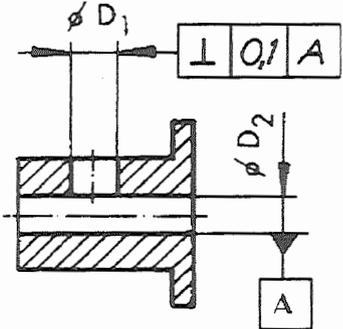
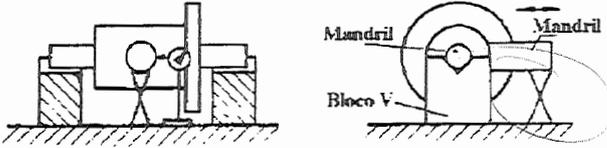
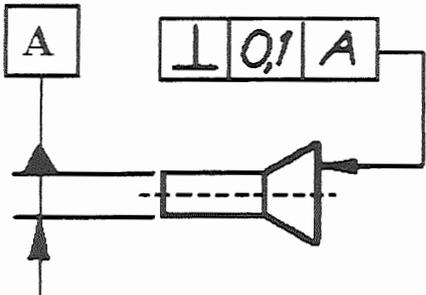
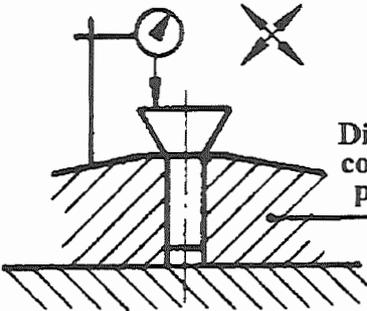
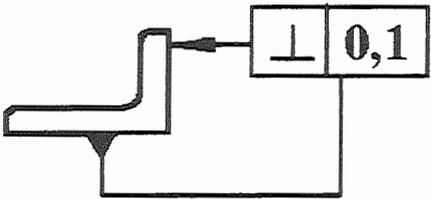
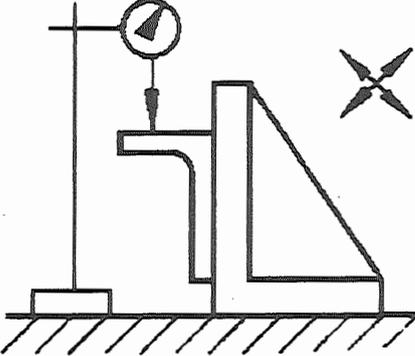


Figura 9.8 - Tolerância de perpendicularidade entre duas retas

9.7. Procedimentos de Inspeção

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
Perpendicularidade entre Reta e Plano	
 <p>O eixo deve estar contido em um cilindro de diâmetro 0,1 mm e perpendicular à superfície de referência.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • a superfície de referência é alinhada com o plano de medição e seções transversais da superfície cilíndrica são percorridas por um relógio comparador. • a distância máxima entre os pontos definidos pela posição relativa da mínima/máxima indicação do relógio para diferentes seções transversais, define o erro de perpendicularidade.
 <p>O eixo deve estar contido em um cilindro de diâmetro 0,1 mm (para a condição de máximo material) e perpendicular à superfície de referência.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • com auxílio de um calibrador de eixo com diâmetro correspondente ao diâmetro máximo do eixo mais o valor da tolerância.
Perpendicularidade entre Reta e Reta	
 <p>O eixo deve estar contido entre duas retas paralelas e perpendiculares ao eixo de referência.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • eixos-padrão são usados para materializar a linha de centro de medição e de referência. • a peça é alinhada ao plano de medição e relógio comparador percorre a geratriz. • a maior diferença entre máximo e mínima leituras da geratriz dão o erro de perpendicularidade.

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
Perpendicularidade entre Plano e Reta	
 <p data-bbox="129 630 742 698">A superfície deve estar contida entre dois planos paralelos e perpendiculares ao eixo de referência.</p>	 <p data-bbox="1155 421 1310 512">Dispositivo com furo padrão</p> <ul data-bbox="756 644 1362 802" style="list-style-type: none"> • uma peça padrão é usada como auxiliar na materialização do eixo de referência. • a máxima variação da leitura do relógio indica o erro.
Perpendicularidade entre Plano e Plano	
 <p data-bbox="129 1170 742 1238">A superfície deve estar contida entre dois planos paralelos e perpendiculares ao plano de referência.</p>	 <ul data-bbox="756 1295 1362 1419" style="list-style-type: none"> • um esquadro padrão é usada como auxiliar na materialização da superfície de referência. • a máxima variação da leitura do relógio indica o erro.

10. Inclinação (Angularidade)

10.1. Conceitos e Definições

Símbolo



Definição

Inclinação ou Angularidade é a condição de uma superfície, eixo ou plano mediano que está em um ângulo específico (diferente de 90°) com relação a um plano ou eixo de referência.

Tolerância de Inclinação

Tolerância de inclinação define uma zona formada por dois planos paralelos ou por duas linhas paralelas, separadas pelo valor da tolerância, inclinadas de um ângulo específico com relação a uma reta ou plano de referência, dentro da qual deve estar contida a superfície, reta ou plano meridiano afetado pela tolerância (Figura 10.1b).

Aplicação da Tolerância de Inclinação

O quadro de controle é especificado em uma vista do desenho onde o relacionamento entre as características é mostrado. A inclinação, por ser uma tolerância de orientação, exige a especificação de uma superfície ou eixo de referência. O relacionamento deve ser especificado com um ângulo básico (Figura 10.1a).

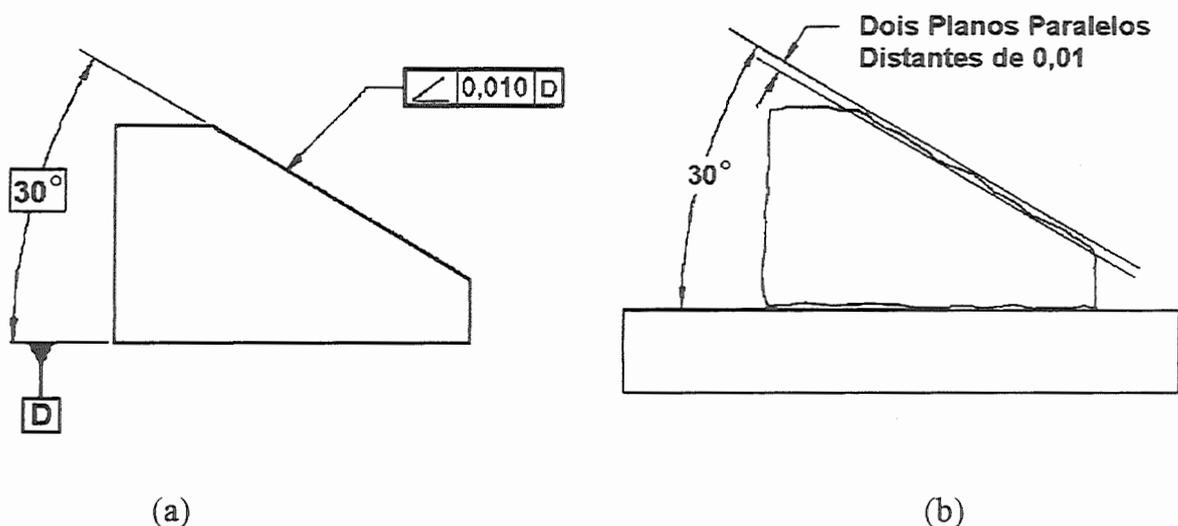


Figura 10.1 - Colocação e interpretação da tolerância de inclinação

O controle de inclinação é especificado para controlar características que devem estar em um ângulo específico, diferente de 90° , com relação a outro plano ou eixo. A tolerância de inclinação controla a planicidade da superfície ou a retilidade do perfil.

Quando uma inclinação é especificada para uma característica interna, tal como um furo ou um rasgo, a tolerância somente se aplica na vista indicada e com relação à característica de referência ali definida. A característica não é controlada em nenhuma outra direção.

Existem quatro casos possíveis para a especificação da tolerância de inclinação.

1. Tolerância de inclinação de uma superfície com relação a um plano de referência.
2. Tolerância de inclinação de uma superfície com relação a uma reta de referência.
3. Tolerância de inclinação de uma reta com relação a um plano de referência.
4. Tolerância de inclinação de uma reta com relação a uma reta de referência.

Estes quatro casos serão discutidos em detalhes a seguir.

10.2. Tolerância de Inclinação de uma Superfície em relação a um Plano de Referência.

O campo de tolerância é definido por dois planos paralelos, separados por uma distância igual ao valor da tolerância, e inclinados de um ângulo base específico (diferente de 90°) a partir do plano de referência.

A Figura 10.2 ilustra este caso de tolerância de inclinação juntamente com um exemplo de aplicação. A superfície deve estar contida entre dois planos paralelos espaçados de 0,4mm os quais são inclinados de 30° com relação à base da peça (plano de referência A).

10.3. Tolerância de Inclinação de uma Superfície em relação a uma Reta de Referência.

O campo de tolerância é definido por dois planos paralelos, separados por uma distância igual ao valor da tolerância, e inclinados de um ângulo base específico (outro que não 90°) em relação à reta de referência.

No exemplo abaixo (Figura 10.3), a face inclinada da peça deve estar contida entre dois planos paralelos distantes de 0,1mm e inclinados de 75° em relação à linha de centro do furo.

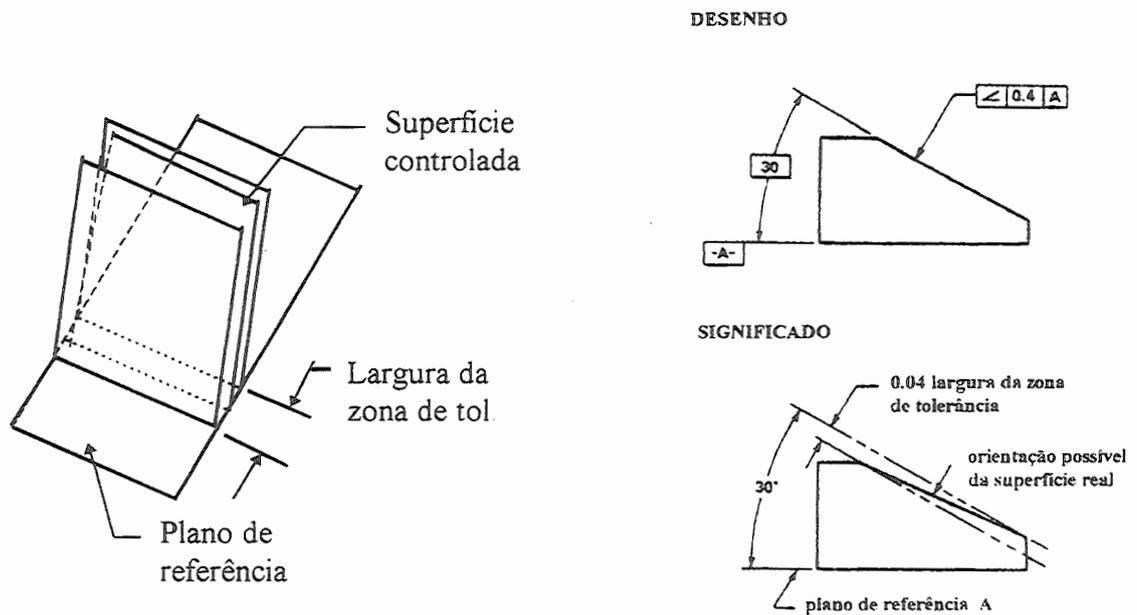


Figura 10.2 - Tolerância de inclinação de uma superfície

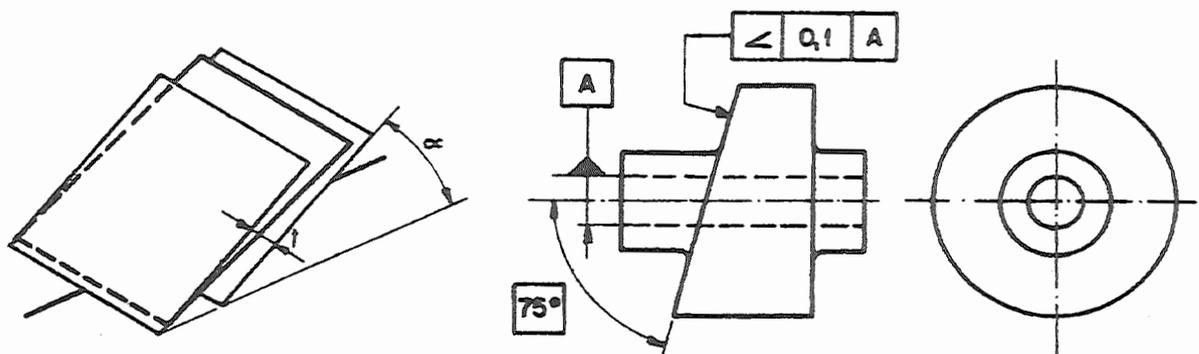


Figura 10.3 - Inclinação de uma superfície com relação a uma reta

10.4. Tolerância de Inclinação de uma Reta em relação a um Plano de Referência.

O campo de tolerância é definido por duas retas paralelas, separadas por uma distância igual ao valor da tolerância, e inclinadas de um ângulo base específico (não de 90°), a partir do plano de referência. A figura 10.4 ilustra este caso.

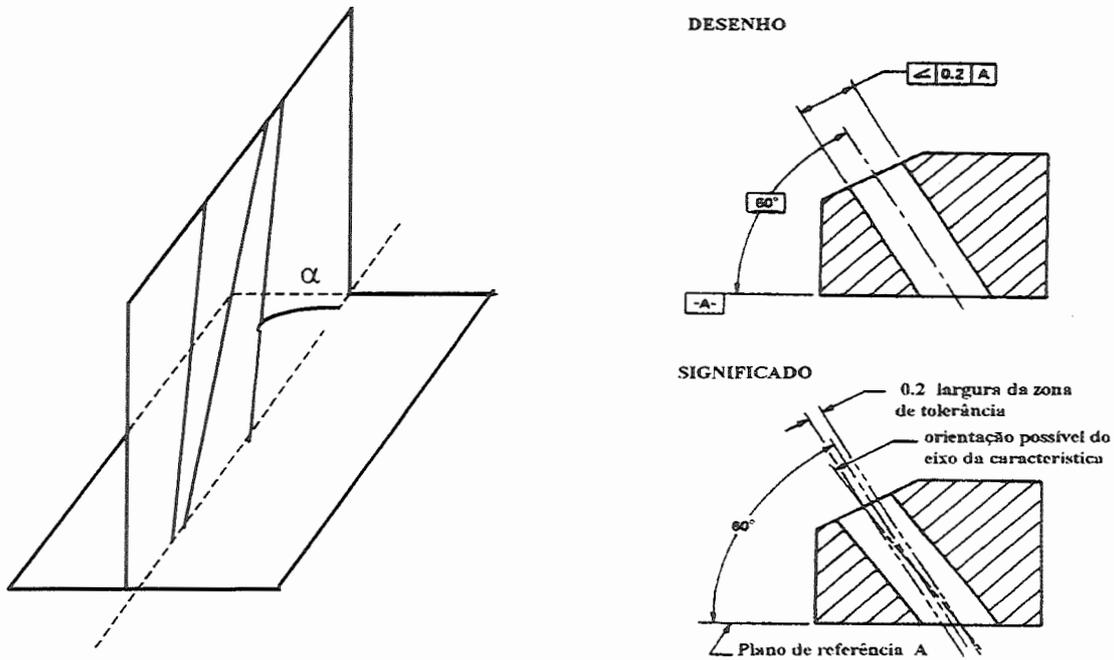


Figura 10.4 - Inclinação de uma reta com relação a um plano

Independente do valor do diâmetro do furo, o seu eixo deve estar contido entre duas retas espaçadas de 0,2mm e inclinadas de 60° com relação à base (plano de referência). Este controle se aplica somente na vista em que é especificado.

10.5. Tolerância de Inclinação de uma Reta com relação a uma Reta de Referência.

O campo de tolerância é definido por duas paralelas, separadas de uma distância reta igual ao valor da tolerância, e inclinadas de um ângulo base específico a partir da reta de referência. A Figura 10.5 ilustra este caso de aplicação.

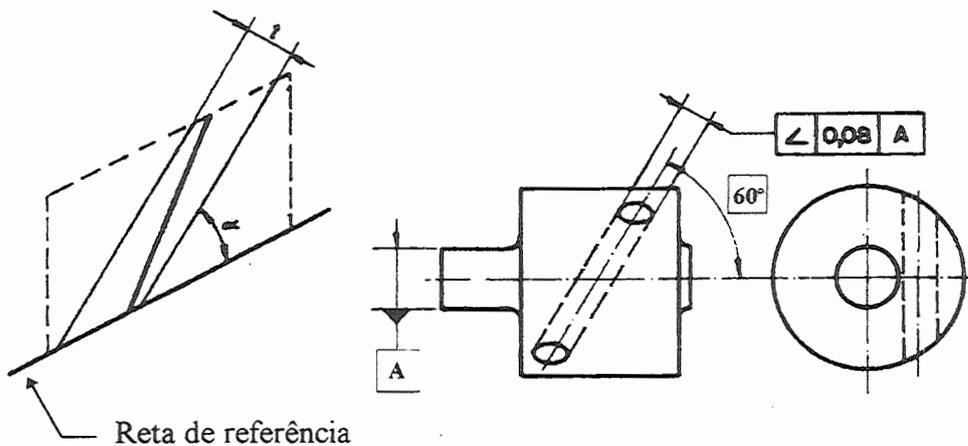
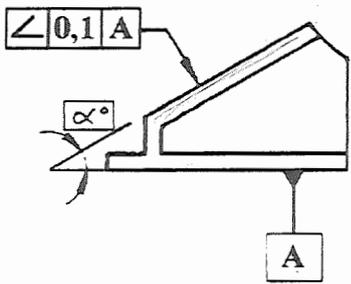
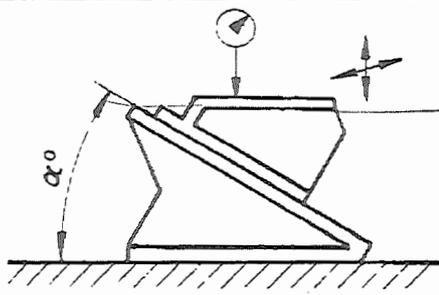
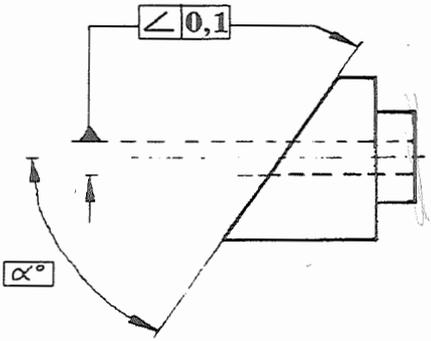
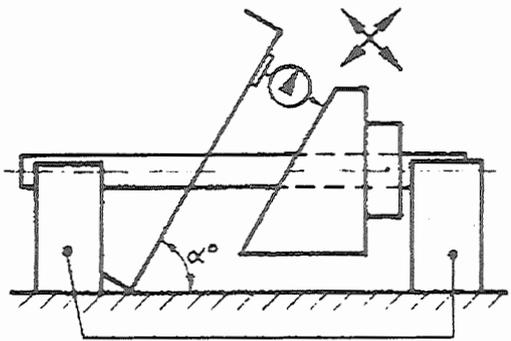
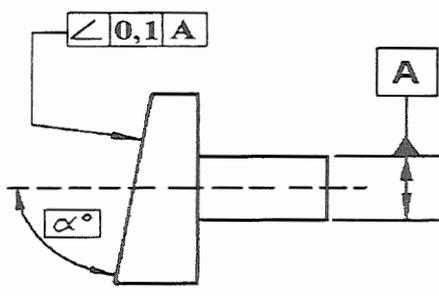
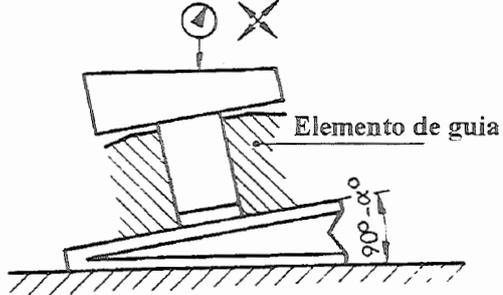
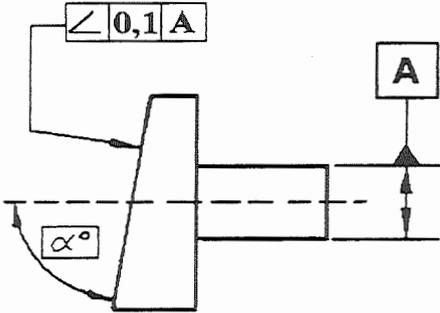
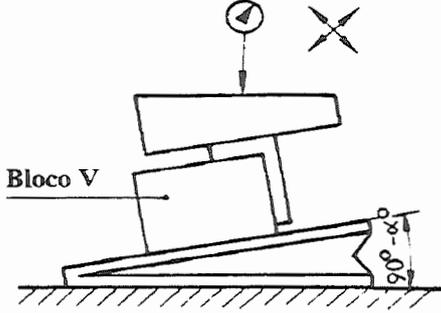
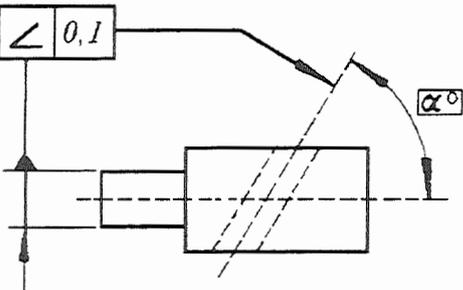
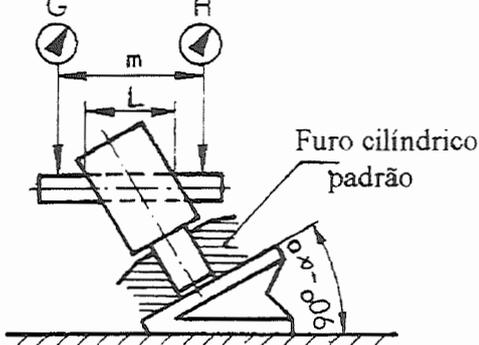
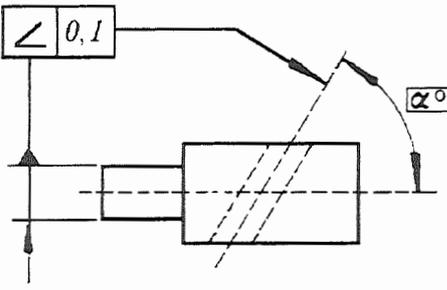
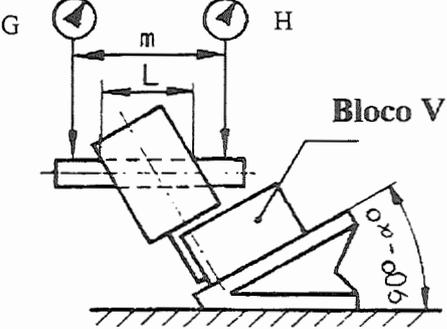


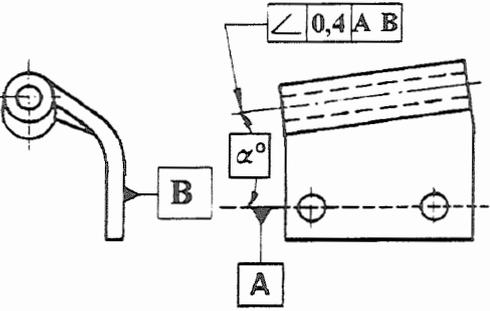
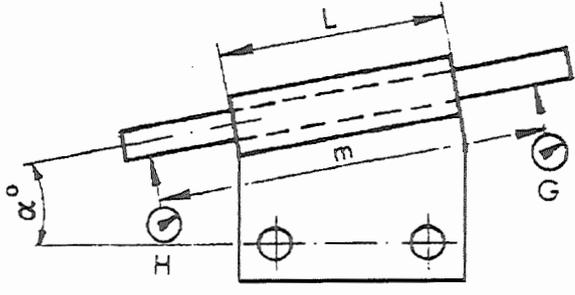
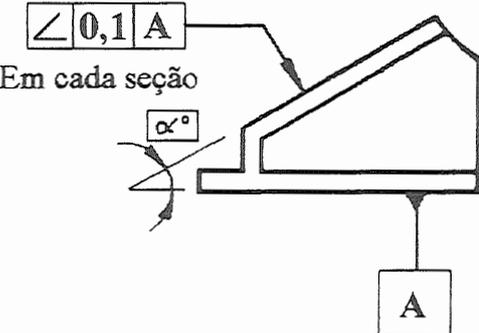
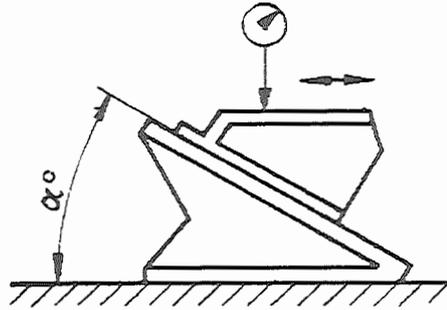
Figura 10.5 - Inclinação de uma reta com relação a uma reta de referência

Rego de Soro e Bloco Pastos $\text{sen } \alpha = \frac{H}{L}$

10.2. Procedimentos de Inspeção

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
 <p>A superfície controlada deve permanecer dentro de uma zona de tolerância definida por dois planos paralelos, separados por uma distância de 0,1mm e inclinados de α com relação à superfície de referência.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • a peça é colocada em um plano inclinado • a superfície é medida em um número adequado de direções • a diferença entre as leituras máx. e min do indicador é o erro de inclinação.
 <p>A superfície controlada deve permanecer dentro de uma zona de tolerância definida por dois planos paralelos, separados por uma distância de 0,1mm e inclinados de α com relação à linha de centro do furo.</p>	 <p>Blocos V</p> <ul style="list-style-type: none"> • um mandril é colocado no furo e apoiado em dois blocos v. • a superfície é medida em várias direções. • a diferença entre as leituras máx e min do indicador é o erro de inclinação.
 <p>A superfície controlada deve permanecer dentro de uma zona de tolerância definida por dois planos paralelos, separados por uma distância de 0,1mm e inclinados de α com relação à linha de centro do pino.</p>	 <p>Elemento de guia</p> <ul style="list-style-type: none"> • a peça é presa através de um elemento de guia e colocada em um plano inclinado de $90^\circ - \alpha$. • a superfície é medida em um número adequado de direções. • a diferença entre as leituras máx. e min. do indicador é o erro de inclinação.

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
 <p>A superfície controlada deve permanecer dentro de uma zona de tolerância definida por dois planos paralelos, separados por uma distância de 0,1mm e inclinados de α com relação à linha de centro do pino.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • a peça é presa em um bloco v e colocada em um plano inclinado de $90^\circ - \alpha$. • a superfície é medida em um número adequado de direções. • a diferença entre as leituras máx. e min. do indicador é o erro de inclinação.
 <p>A linha de centro do furo deve estar inclinada de um ângulo α com relação à linha de centro do pino dentro de 0,1mm no plano.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • um mandril é colocado no furo. • a peça é presa por um elemento de guia e colocada em uma superfície inclinada de $90^\circ - \alpha$. • apalpando em dois pontos g e h, determina-se o erro de inclinação através da fórmula $(g-h)*L/m$
 <p>A linha de centro do furo deve estar inclinada de um ângulo α com relação à linha de centro do pino dentro de 0,1mm no plano</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • um mandril é colocado no furo. • a peça é presa em um bloco v e colocada em uma superfície inclinada de $90^\circ - \alpha$. • apalpando em dois pontos G e H, determina-se o erro de inclinação através da fórmula $(G-H)*L/m$.

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
 <p>A linha de centro do furo deve estar inclinada de um ângulo α com relação às linhas de centro de dois furos dentro de 0.4mm</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • um mandril é colocado no furo. • a peça é guiada por dois mandris e colocada em um plano de medida. • apalpando em dois pontos G e H, determina-se o erro de inclinação através da fórmula $(G-H)*L/m$
 <p>Cada seção da superfície controlada deve estar inclinada com relação ao plano de referência de um ângulo α dentro de 0.1mm.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • a peça é colocada em uma superfície inclinada de um ângulo α. • a superfície é medida em um número adequado de seções. • a diferença máxima entre as leituras máx. e min. do indicador, em seções individuais, fornece o erro de inclinação.

11. Concentricidade



11.1. Conceitos e Definições

Símbolo



Definição

Concentricidade é a condição onde os eixos de todos os elementos de superfície, correspondentes às seções transversais de uma superfície de revolução, coincidem com o eixo de um elemento de referência.

Tolerância de Concentricidade

A tolerância de concentricidade especifica uma zona de tolerância cilíndrica de diâmetro igual ao valor da tolerância especificada, cujo eixo coincide com o eixo da referência. Dentro dessa zona devem ficar os eixos das seções transversais do elemento controlado (Figura 11.1).

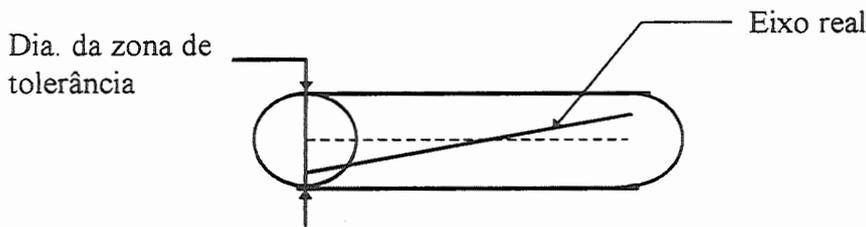


Figura 11.1 Zona de tolerância de concentricidade.

Concentricidade é um tipo de tolerância de localização. Ela sempre relaciona dois ou mais elementos coaxiais (cilindros, cones, esferas, hexágonos, etc.), que possuem uma certa dimensão, e ela controla o quanto um eixo pode se afastar do outro.

A concentricidade é um controle geométrico bastante restritivo. Uma tolerância especificada controla erros de excentricidade, paralelismo do eixo e retitude do eixo. Esta tolerância controla todos os erros possíveis do eixo do elemento e é difícil de ser verificada e o procedimento de inspeção pode ser excessivamente caro.

A superfície do elemento controlado tem de ser usada para estabelecer seu eixo. Desta forma, todas as irregularidades ou erros de forma da superfície do elemento devem ser considerados no estabelecimento do eixo. Por exemplo, a superfície pode estar abaulada, com erro de circularidade, etc., além de estar excêntrica com relação à referência. Isto usualmente envolve uma análise de inspeção complexa e desta maneira requer procedimentos mais demorados e mais caros.

11.2. Aplicação da Tolerância de Concentricidade

A tolerância de concentricidade é especificada menos freqüentemente do que as tolerâncias de posição e de batimento. Ela é usada quando um controle apertado de eixo com eixo é necessário em elementos balanceados dinamicamente. Assim ela é especificada para peças trabalhando em alta rotação, massas rotativas, precisão em eixo com eixo ou para qualquer outro elemento crítico para o funcionamento do conjunto. Por exemplo, uma tolerância de concentricidade poderia ser especificada para uma polia de um toca-fitas, ou para um rotor de um motor. A colocação em um desenho é mostrada na Figura 11.2 abaixo.

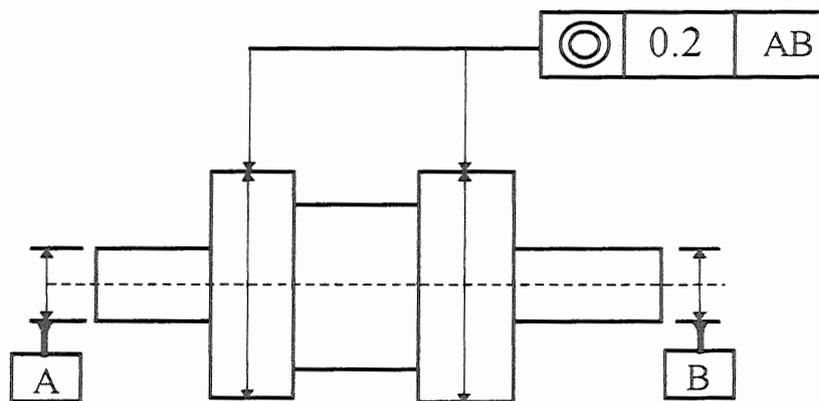


Figura 11.2 Aplicação da tolerância de concentricidade

11.3. Interpretação da Tolerância de Concentricidade

A Figura 11.3 mostra duas possíveis situações para uma peça sujeita a uma tolerância de concentricidade. O eixo do elemento considerado pode ser paralelo ao eixo de referência mas estar deslocado radialmente (ver (a)) ou pode estar inclinado até o máximo permitido pelo campo de tolerância cilíndrico com em (b).

11.4. Medida do Erro de Concentricidade

Um método comum para determinar a coaxialidade de um elemento com sua referência é através do uso de um relógio comparador, com a peça girando 360°, apoiada no elemento de referência.

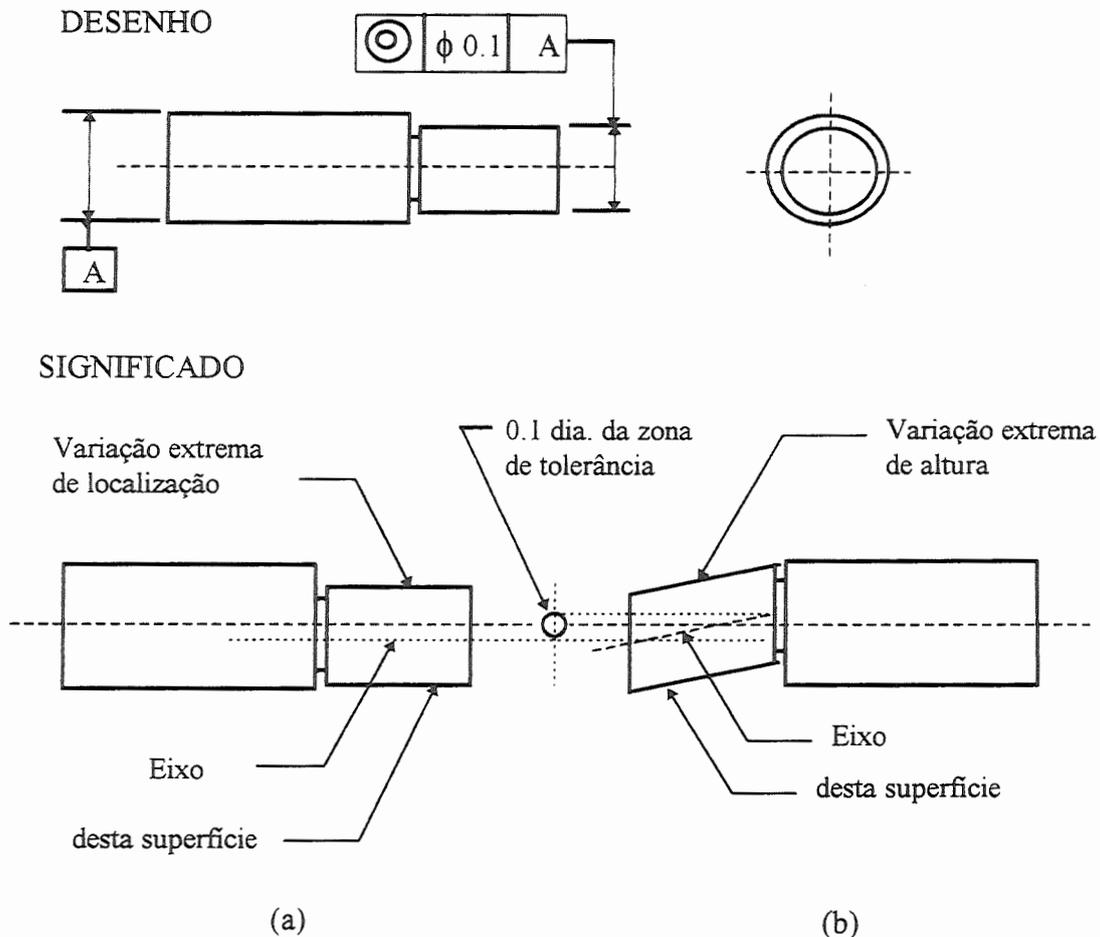


Figura 11.3 - Interpretação gráfica da tolerância

Este método é usualmente adequado também para verificar se os requisitos de concentricidade estão satisfeitos. Entretanto, pela natureza própria deste tipo de tolerância, uma leitura total do relógio maior que a tolerância especificada não significa necessariamente que o eixo do elemento controlado se encontra fora da zona de tolerância de concentricidade. Por exemplo, se um elemento cilíndrico sendo controlado tem um erro de circularidade, o relógio comparador vai indicar uma leitura, relativa ao cilindro de referência, mas o eixo do cilindro controlado pode não ter realmente excedido a tolerância de concentricidade especificada.

As Figuras 11.4 a 11.9 abaixo ilustram essa possibilidade. A Figura 11.5 mostra uma peça teoricamente perfeita. Ela também mostra a zona de tolerância cilíndrica colocada concêntrica com o eixo de referência.

A Figura 11.6 ilustra um caso onde a superfície cilíndrica está deslocada de um valor máximo com relação ao eixo de referência. Note que a leitura total do indicador de 0,08 é equivalente a duas vezes o deslocamento real do eixo, com relação ao eixo de referência.

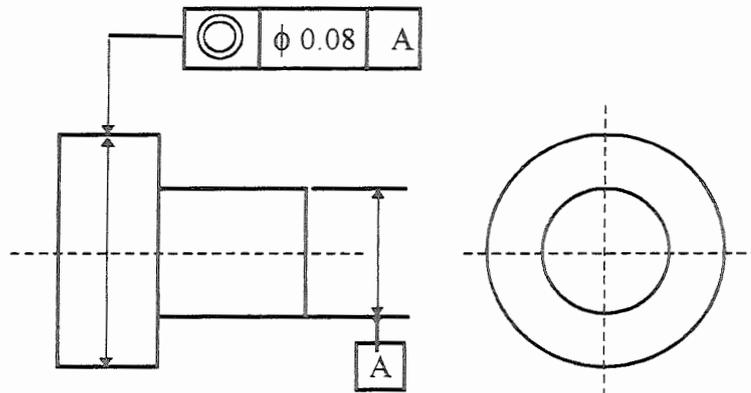


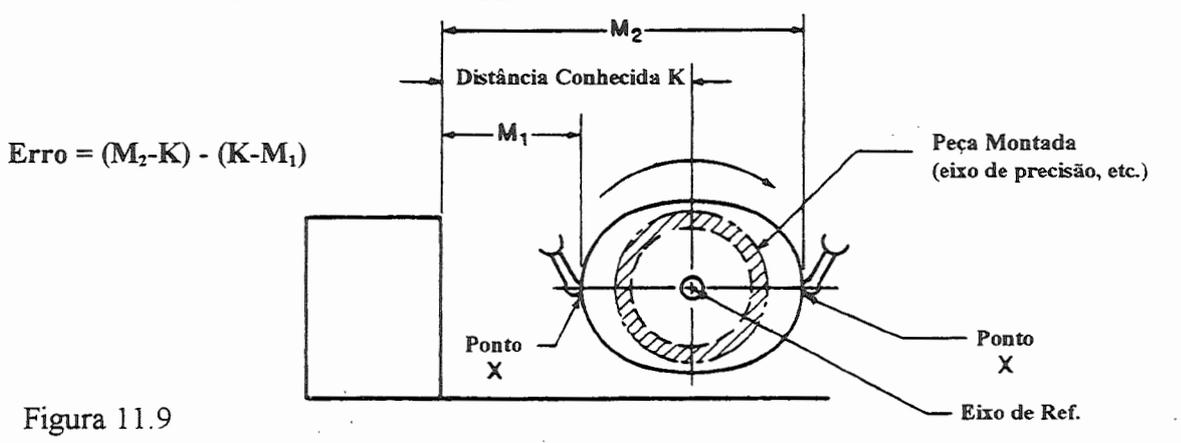
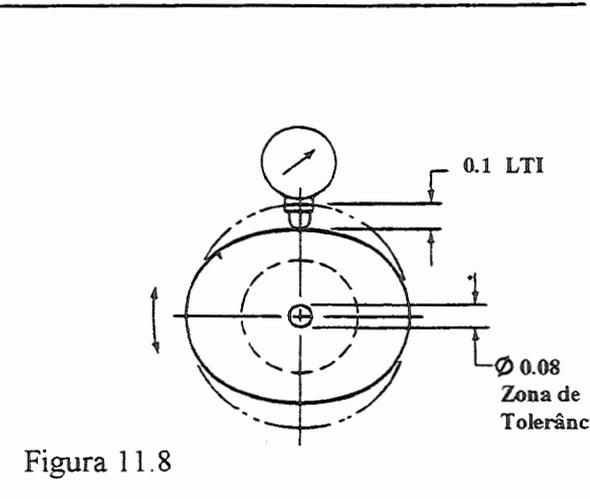
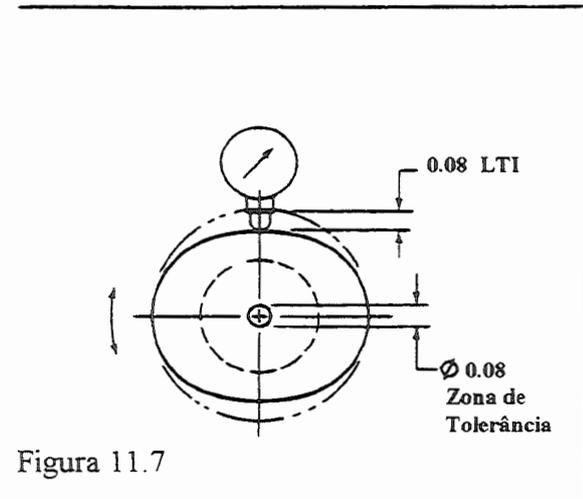
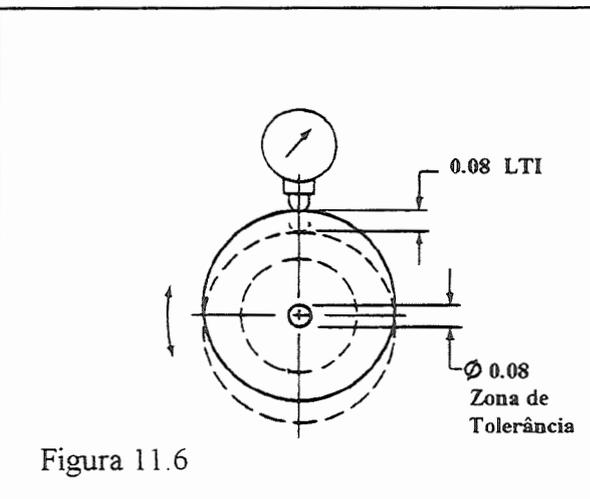
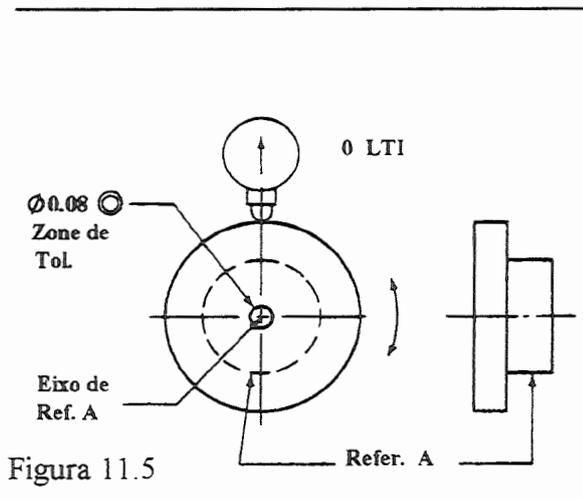
Figura 11.4 - Peça afetada por uma tolerância de concentricidade

A Figura 11.7 ilustra uma condição de erro de circularidade para a qual a leitura de 0,08 também se encontra dentro da zona de tolerância. Sob as condições ilustradas nas Figuras 11.6 e 11.7, uma vez que a leitura total do indicador (LTI) está dentro da tolerância de concentricidade especificada, as peças são aceitas sem maiores considerações. Neste caso, os resultados são essencialmente idênticos aos que seriam obtidos se uma tolerância de batimento tivesse sido especificada. Assim de um certo modo, concentricidade e batimento radial podem ser considerados idênticos exceto pela interpretação, isto é, variação superficial (LTI diretamente) versus deslocamento de eixo (derivado de LTI ou de algum outro método comparável).

Entretanto, quando o erro de concentricidade, dado por LTI, excede a tolerância especificada, não podemos concluir que temos em mãos uma peça fora de especificação. A Figura 11.8 ilustra uma peça com uma leitura de 0,1 e que, aparentemente, ultrapassa a tolerância de concentricidade adotada. Porém observando-se a peça mais atentamente, podemos verificar que o eixo da superfície cilíndrica controlada é **perfeitamente concêntrico** (como exemplo hipotético) com o eixo da superfície de referência, uma vez que o erro de circularidade (possivelmente incluindo outros erros de forma) é simetricamente uniforme. O procedimento de medição, baseado na LTI, não mais permite concluir se a peça é boa ou não, de fato, ele pode rejeitar peças boas!

Voltando à Figura 11.7 pode-se observar que o valor LTI não permite concluir nada sobre a concentricidade real da peça. Esta é **perfeitamente concêntrica** embora um valor de 0,08 para LTI tenha sido encontrado. Dessa forma, quando uma peça está sendo inspecionada para concentricidade, com métodos convencionais de leitura total do indicador (LTI) e se encontra um valor menor que a tolerância especificada, então a peça satisfaz os requisitos de tolerância de concentricidade.

Porém, se o valor LTI é maior que a tolerância especificada ou se o valor real do erro de concentricidade deve ser determinado, técnicas mais apuradas de inspeção devem ser usadas.



A Figura 11.9 ilustra os princípios envolvendo a inspeção real da concentricidade. A peça é presa em um eixo com alta precisão de giro e a medida M_1 é efetuada. Depois a peça é girada 180° e uma outra medição (M_2) é realizada. O valor dado pela expressão colocada à esquerda na figura é o erro de concentricidade (pensado como

um diâmetro) naquela seção transversal. Esse procedimento deve ser repetido ao longo da superfície controlada (várias seções transversais) para aceitação da peça, o máximo desvio obtido deve estar dentro da tolerância de concentricidade permitida.

Uma vez que o desvio de concentricidade calculado é expresso como um diâmetro, ele pode ser comparado diretamente com o valor da tolerância especificada no desenho da peça.

Para ilustrar os vários tipos básicos de erros que podem estar presentes em uma peça que se checa a tolerância de concentricidade, a Figura 11.10 mostra o efeito geral de excentricidade do elemento controlado, paralelismo do eixo, retilidade, circularidade e cilindridade sobre a tolerância de concentricidade, usando métodos baseados na LTI. Observe que a peça exemplo tem uma tolerância de concentricidade de $\phi 0,02$.

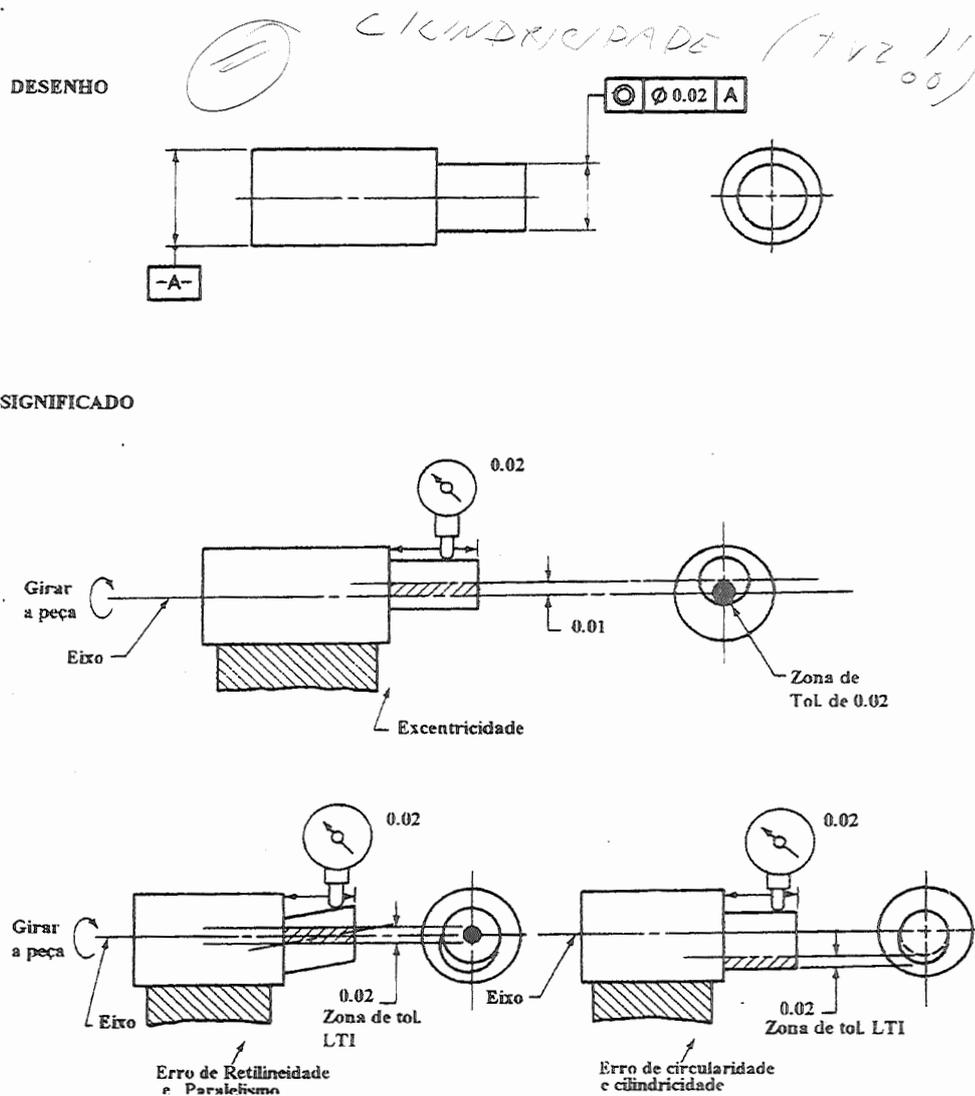


Figura 11.10 - Efeito de vários erros na tolerância de concentricidade

12. Batimento

12.1. Introdução

Batimento ou Batida é uma tolerância composta usada para controlar o relacionamento funcional de um ou mais elementos ou características de uma peça com um eixo de referência.

Os tipos de elementos ou características controlados pela tolerância de batimento incluem aquelas superfícies construídas em volta de um eixo de referência e aquelas construídas num ângulo reto a um eixo de referência, como mostrado na Figura 12.1

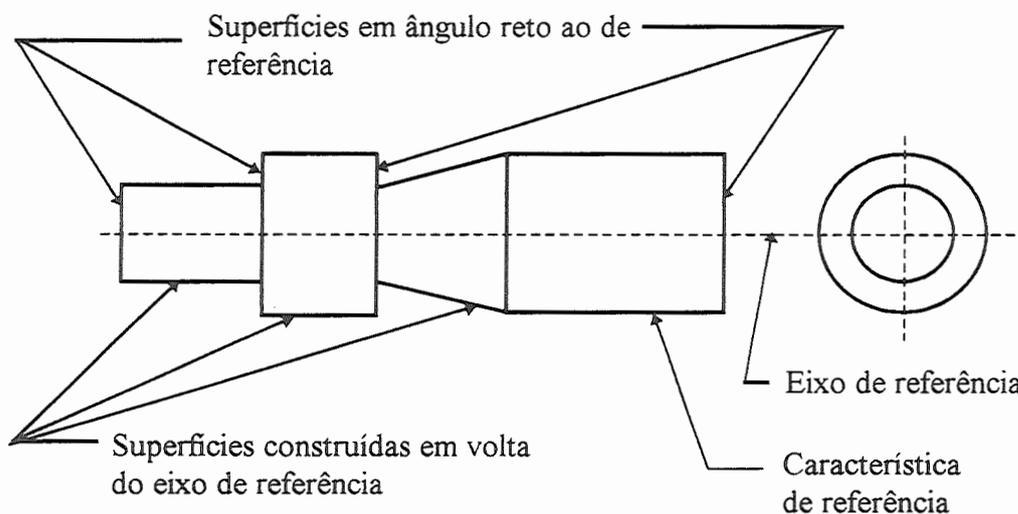


Figura 12.1 - Características sujeitas a tolerância de batimento.

Cada elemento considerado deve estar dentro da tolerância de batimento especificado quando a peça é rotacionada 360° em torno do eixo de referência. Utilizando-se um relógio comparador apoiado na superfície controlada e girando-se a peça 360° , o erro de batimento é dado pela leitura total do indicador (LTI).

A base de controle da tolerância de batimento é um eixo de referência definido por um ou mais elementos da peça. Esse eixo de referência pode ser definido por um elemento cilíndrico de comprimento adequado, por dois elementos cilíndricos tendo uma separação axial suficiente ou por um elemento cilíndrico e uma face plana situada a 90° do eixo do elemento cilíndrico considerado.

As tolerâncias de batimento podem controlar erros de circularidade, coaxialidade, excentricidade, perpendicularismo e planicidade. Para checar erros de batimento, o elemento (ou elementos) de referência é normalmente posicionado ou centrado em um dispositivo de inspeção adequado (por exemplo, entre centros, pinças, mandril, blocos V ou outros dispositivos de centragem) para estabelecer o eixo de referência. A partir do qual os relacionamentos de batimento serão determinados.

12.2. Batimento Radial e Axial - Conceitos e Definições

Símbolo



Definição

Batimento é um controle composto de forma e orientação do erro permissível da superfície de uma peça de revolução, durante uma rotação completa da peça em torno de um eixo de referência.

Tolerância de Batimento Radial - Uma tolerância de batimento radial é definida por uma zona formada por dois círculos concêntricos com uma diferença radial igual ao valor especificado da tolerância e centrados no eixo de referência.

Tolerância de Batimento Axial - Uma tolerância de batimento axial é definida, em cada posição radial de medição, por dois planos paralelos, separadas por uma distância igual ao valor especificado da tolerância e perpendiculares ao eixo de referência.

A Figura 12.2 abaixo ilustra a colocação de uma tolerância de batimento em um eixo.

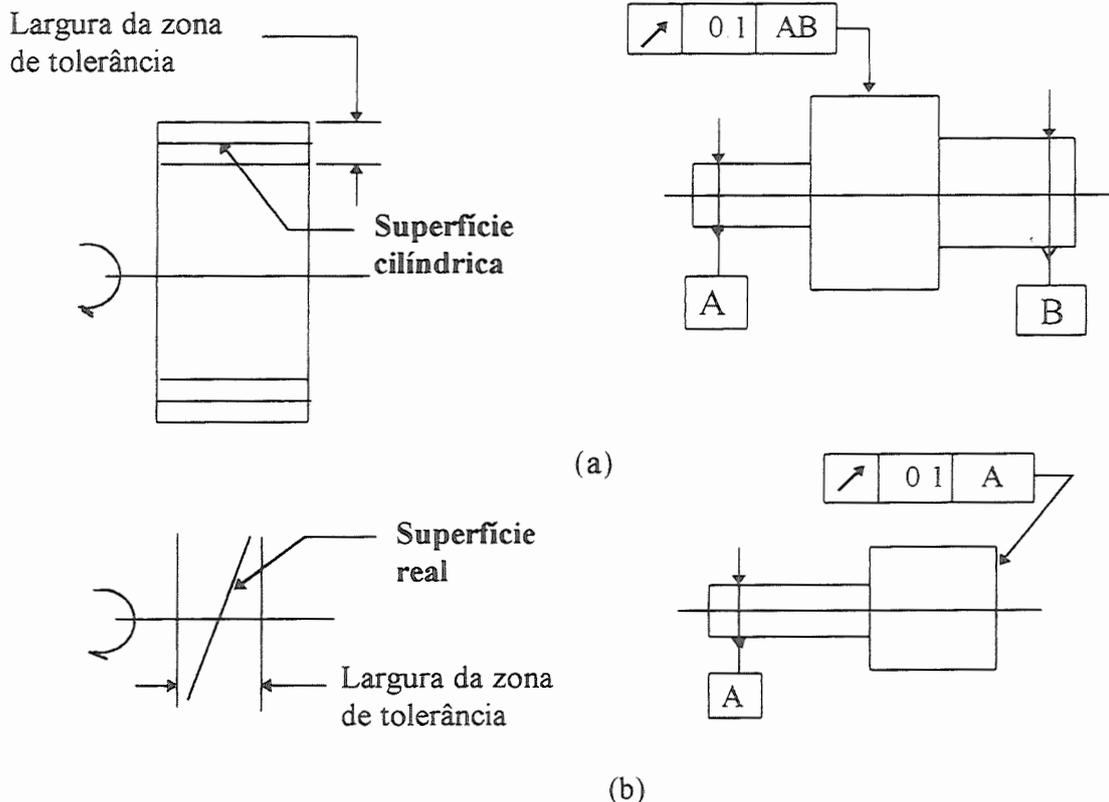


Figura 12.2 - Colocação de tolerância de batimento radial e axial.

Em (a), em cada seção transversal, o batimento radial não deve ultrapassar 0,1mm (leitura total do indicador - LTI) durante uma rotação completa do eixo. A peça deve ser apoiada nas duas superfícies de referência A e B.

Em (b), em cada posição radial ao longo da face da peça, o batimento axial não deve ultrapassar 0,1mm (LTI), durante uma rotação completa. A peça deve estar apoiada na superfície cilíndrica de referência A.

A seguir são dados diversos exemplos mostrando aplicações da tolerância de batimento.

12.3. Exemplos de aplicação

Exemplo 1: Peça apoiada em 1 diâmetro funcional

Um único elemento cilíndrico é usado como referência. A inspeção é feita apoiando-se a peça nesse elemento (para estabelecer o eixo de referência) e, girando a peça de 360° o erro de batida será dado pela leitura total do indicador (LTI) em cada seção circular. Um número adequado de medições deve ser efetuado e em nenhuma delas deve-se ter um valor maior que a tolerância especificada no desenho para que a peça seja considerada aprovada.

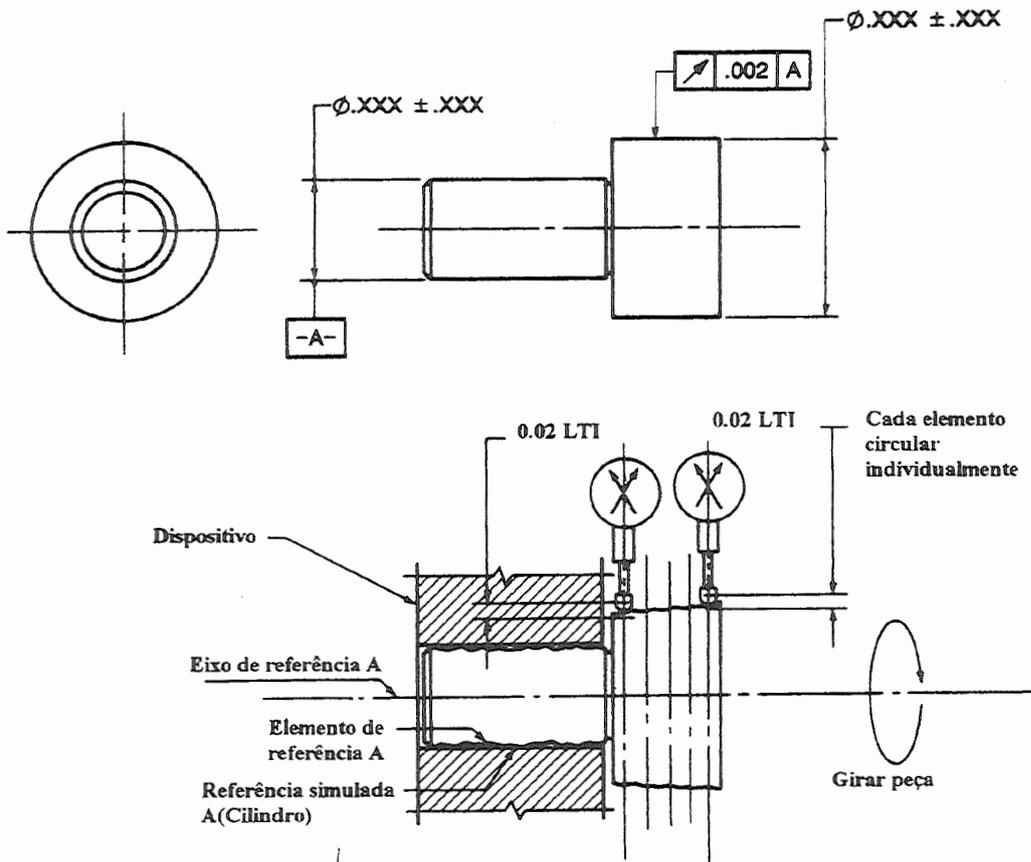


Figura 12.3 - Uma única superfície cilíndrica como referência.

Exemplo 2: Peça apoiada em 2 diâmetros funcionais.

Quando vários diâmetros de uma peça rotativa devem ser controlados com relação a um eixo de referência, este eixo pode ser estabelecido por elementos que proporcionarão a montagem funcional da peça no conjunto.

Este exemplo ilustra uma aplicação de tolerância de batimento onde dois diâmetros de referência coletivamente estabelecem um único eixo aos quais as características estão relacionadas (ver figura a seguir).

Estes diâmetros podem ser os assentos de rolamentos que funcionalmente definem a montagem do eixo no conjunto.

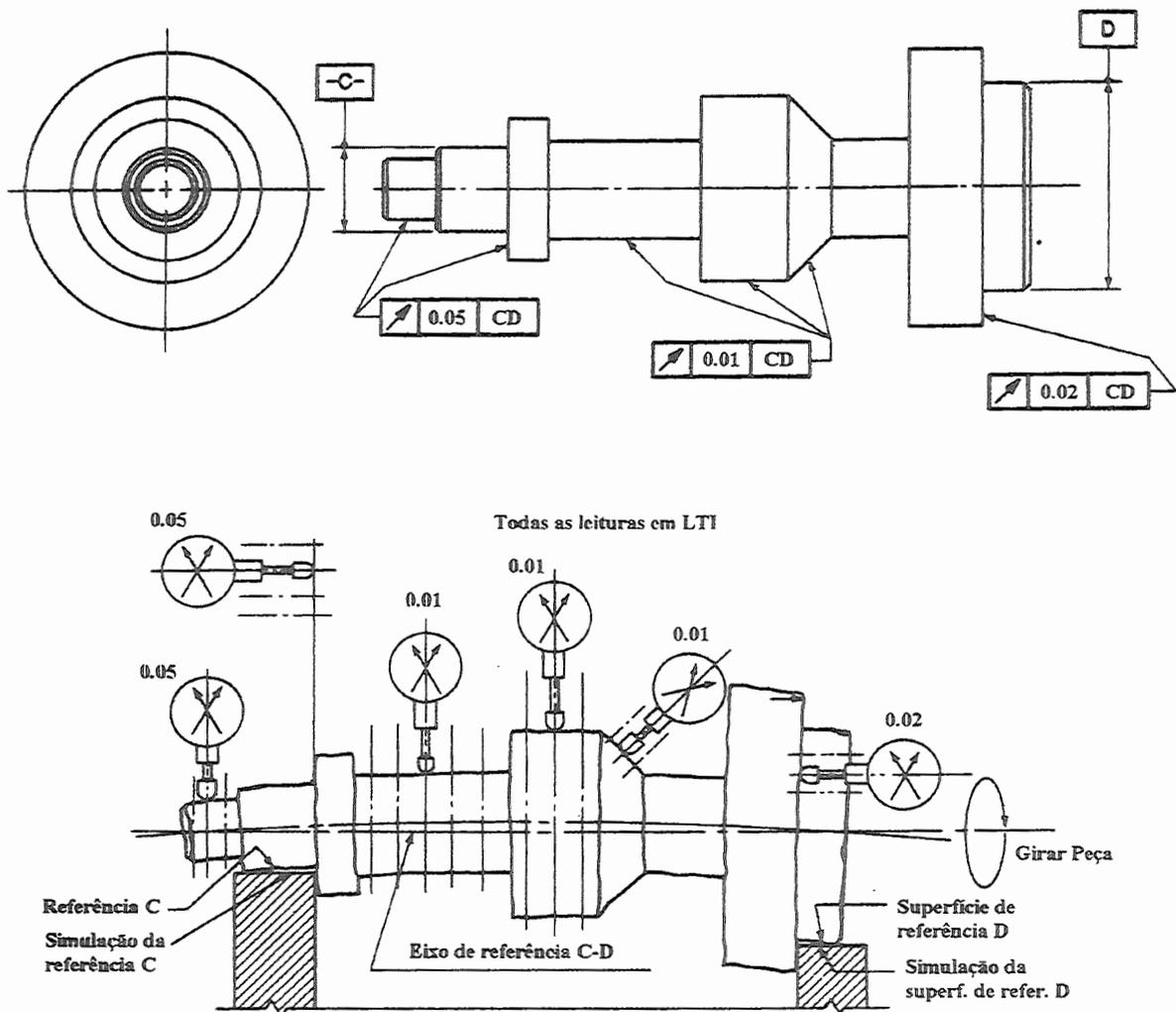


Figura 12.4 - Duas superfícies como referência.

Exemplo 3: Peça montada entre centros

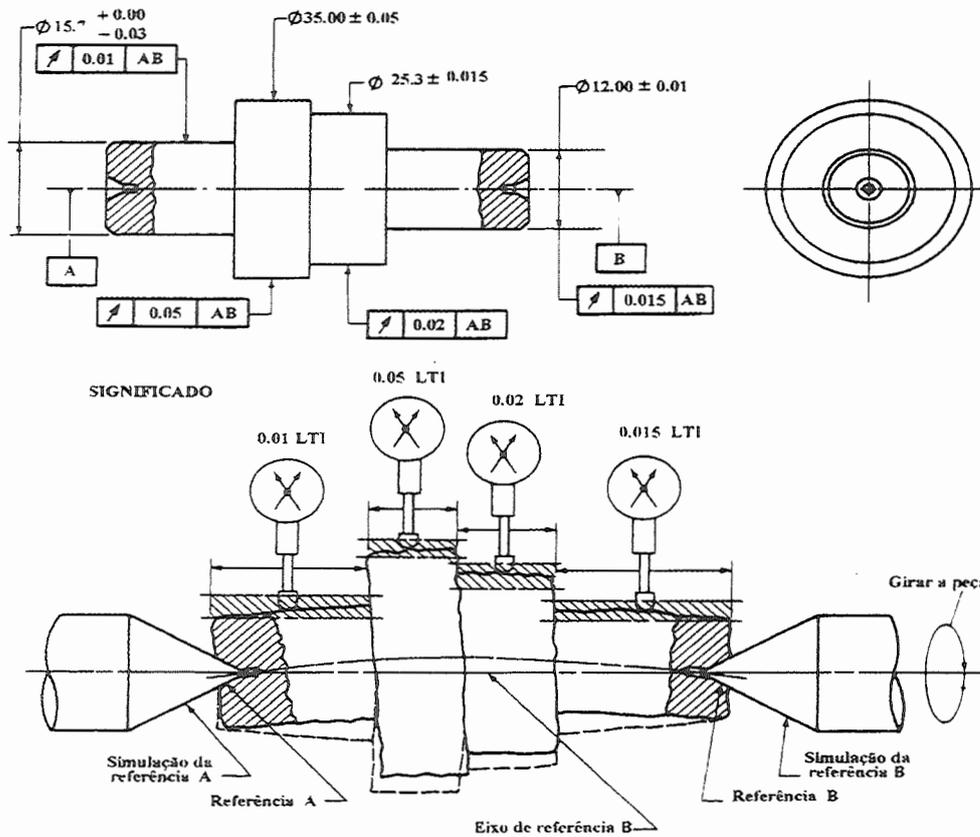


Figura 12.5 - Linha de centro como referência.

Exemplo 4: Batimento axial

A inspeção de um batimento axial requer que o movimento axial da peça seja restringido enquanto a peça é verificada. Se forem utilizadas pinças ou outros dispositivos de fixação o movimento axial é evitado. Entretanto, se esses dispositivos não são utilizados a inspeção deveria ser feita colocando, se possível, um encosto(stop) na própria superfície sendo verificada para evitar adicionar o erro de outra superfície na leitura, como mostrado na Figura 12.5a. Quando isto é feito, dependendo da posição do encosto, a leitura total do indicador pode ter que ser dividida por 2 antes de comparar com a tolerância especificada no desenho.

Na Figura 12.6a, o encosto é colocado próximo ao diâmetro externo e, assim, a leitura deve ser dividida por 2. Se o encosto pudesse ser colocado coincidente com o eixo AB a leitura do indicador seria o próprio erro de batimento. Os outros casos da Figura 12.6 mostram diversas possibilidades de colocação do encosto.

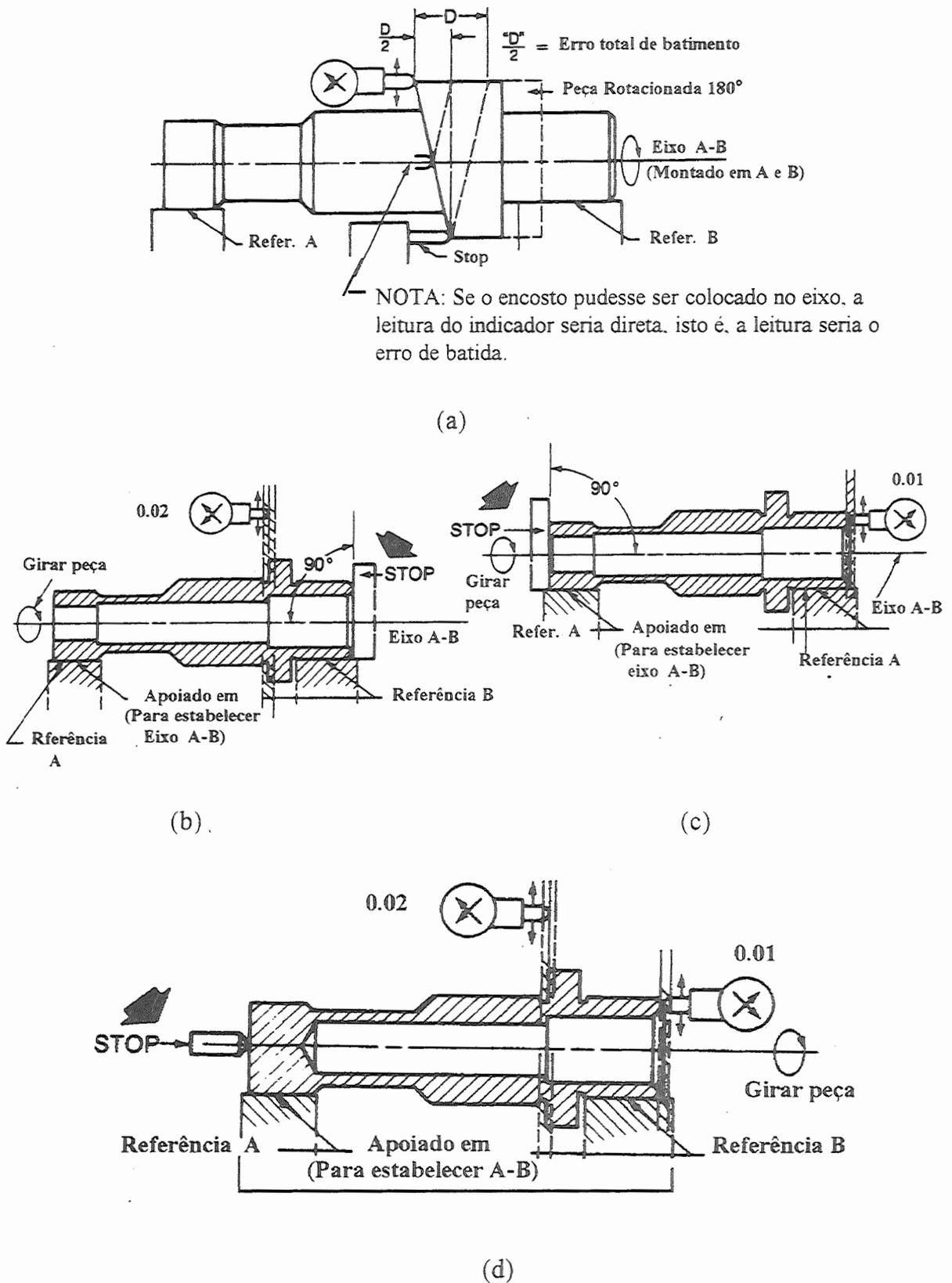
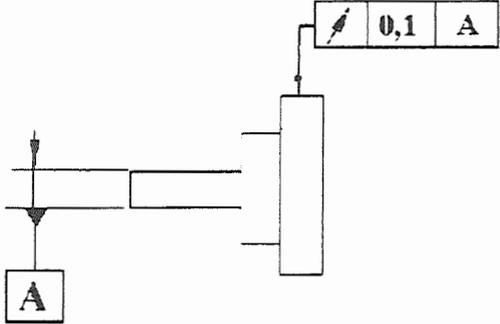
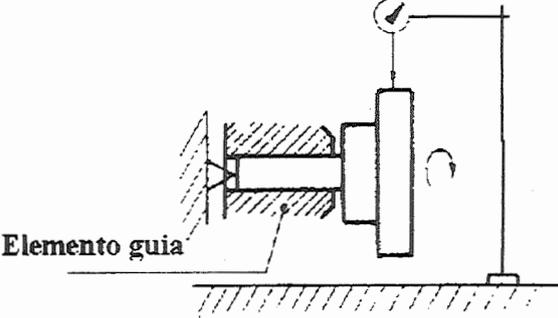
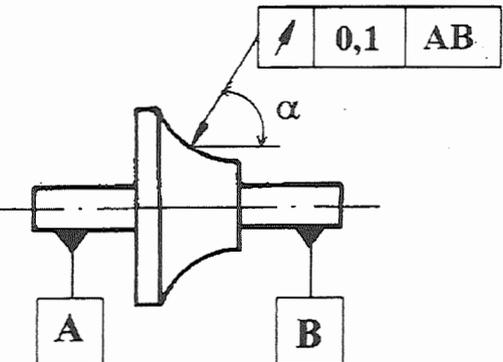
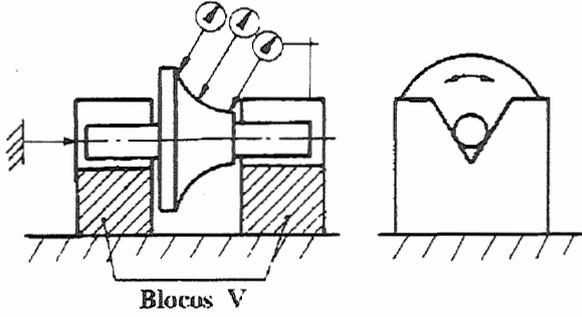
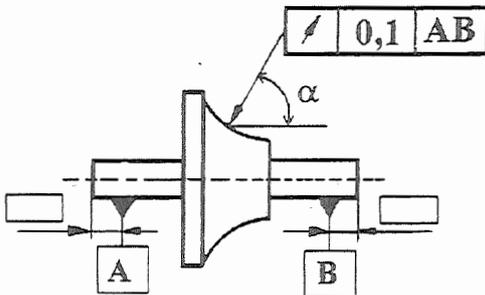
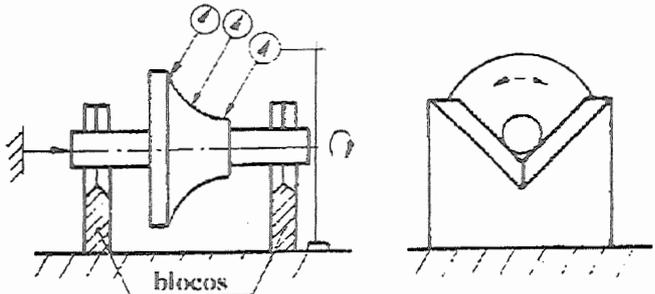
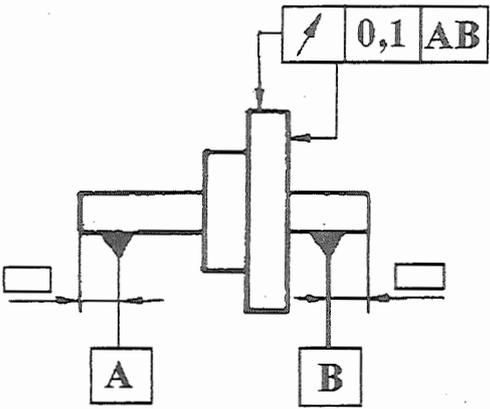
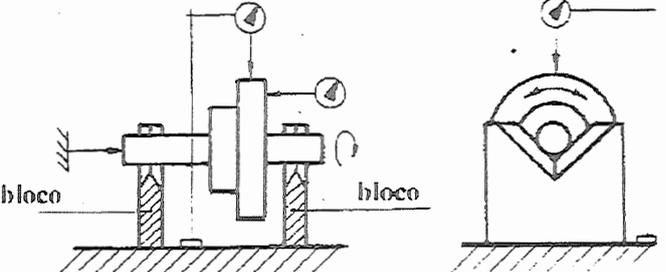
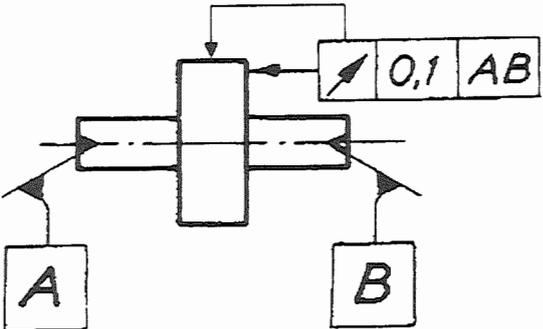
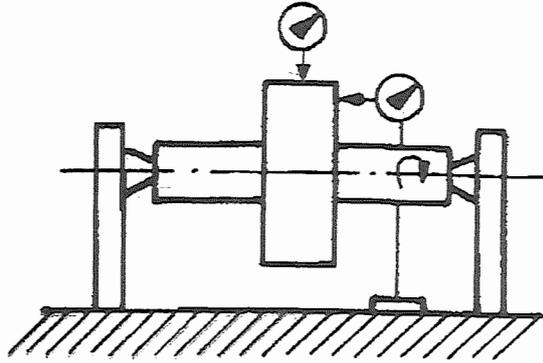
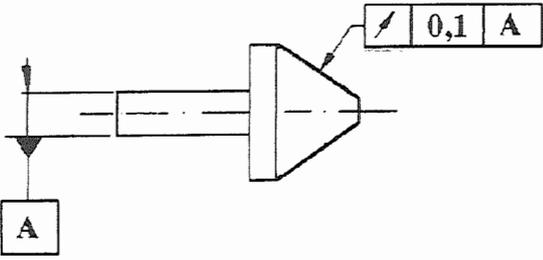
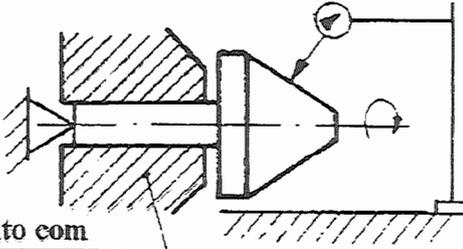


Figura 12.6 - Verificação de batimento axial.

12.4. Procedimentos de Inspeção

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
<p><i>Desvio de batida radial de uma superfície cilíndrica com relação a um elemento cilíndrico de referência</i></p>  <p>O desvio de batida radial deve estar dentro de 0.1 mm LTI.</p>	 <p>Elemento guia</p> <ul style="list-style-type: none"> • a peça é presa em um elemento de guia com furo cilíndrico calibrado e apoiada axialmente. • o apalpador deve ser colocado perpendicular à superfície. • a medição é feita durante uma revolução da peça. • a leitura total do indicador(LTI) define o erro de batida radial na seção. • o procedimento é repetido em várias seções. • o maior valor LTI obtido é considerado como o erro de batida radial da superfície cilíndrica.
<p><i>Desvio de batida com medição em blocos V</i></p>  <p>O desvio de batida radial deve estar dentro de 0.1 mm LTI.</p>	 <p>Blocos V</p> <ul style="list-style-type: none"> • a peça é colocada em dois blocos V e apoiada axialmente. • a medição é feita durante uma revolução da peça, com o apalpador colocado em um ângulo α. • o erro de batimento na seção é dado pela leitura total do indicador(LTI). • o procedimento é repetido para várias seções. • o valor LTI máximo é considerado como o erro de batimento da superfície.

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
<p data-bbox="225 331 756 399"><i>Desvio de batida com medição em blocos V e posição especificada de apoio</i></p>  <p data-bbox="225 811 756 879">O desvio de batida radial deve estar dentro de 0.1 mm LTI.</p>	 <ul data-bbox="783 687 1453 954" style="list-style-type: none"> • a peça é colocada em dois blocos V com apoios em forma de cunha e apoiada axialmente. • a medição é feita durante uma revolução da peça com o apalpador colocado em um ângulo α. • a leitura total do indicador nos dá o erro de batimento. • o procedimento é repetido para várias seções. • o valor máximo LTI encontrado é considerado como o erro de batida da superfície.
<p data-bbox="225 1000 756 1102"><i>Desvio de batida radial e axial com medição em blocos V e posição especificada de apoio</i></p>  <p data-bbox="225 1612 756 1748">O desvio de batimento radial e axial da superfície controlada deve estar dentro de 0.1 mm LTI. Os apoios devem ser colocados nas posições indicadas <u>a</u> e <u>b</u>.</p>	 <ul data-bbox="783 1363 1453 1737" style="list-style-type: none"> • a peça é colocada em dois blocos V com apoios em forma de cunha e apoiada axialmente. • o apalpador é colocado na posição radial(axial) sobre a superfície. • a medição é feita durante uma revolução da peça. • a leitura total do indicador(LTI) nos dá o erro de batimento. • o procedimento é repetido para várias seções. • o valor máximo encontrado é considerado o erro de batida radial(axial) da superfície controlada.

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
<p><i>Desvio de batida radial e axial de uma superfície cilíndrica com referência à linha de centro</i></p>  <p>O desvio de batimento radial e axial da superfície controlada deve estar dentro de 0,1 mm LTI. A peça deve ser colocada entre centros.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • a peça é colocada entre centros. • o apalpador é colocado na posição radial(axial) sobre a superfície. • a medição é feita durante uma revolução da peça. • a leitura total do indicador(LTI) nos dá o erro de batimento. • o procedimento é repetido para várias seções. • o valor máximo LTI encontrado é considerado o erro de batida radial(axial) da superfície controlada.
<p><i>Desvio de batida de superfície cônica</i></p>  <p>O desvio de batida, perpendicular à superfície controlada, deve estar dentro de 0,1 mm LTI.</p>	 <p>Elemento com furo padrão</p> <ul style="list-style-type: none"> • a peça é presa em um elemento guia com furo cilíndrico calibrado e apoiada axialmente. • o apalpador deve ser colocado perpendicular à superfície. • a medição é feita girando a peça de uma revolução completa.. • a leitura total do indicador(LTI) define o erro de batida na seção. • o procedimento é repetido em um número adequado de seções. • o maior valor LTI obtido é considerado como o erro de batida final.

13. Localização

13.1. Conceitos e definições

Símbolo



Definição

Localização é um termo usado para descrever a posição exata de um ponto, linha ou plano de uma característica em relação a uma outra característica ou em relação a uma referência.

Tolerância de Localização

Uma tolerância de localização define a variação total permissível na posição de uma característica com relação à sua posição verdadeira exata.

Para características cilíndricas (furos, pinos, etc) a tolerância de localização corresponde ao diâmetro de uma zona cilíndrica dentro da qual o eixo da característica deve estar. A linha de centro da zona de tolerância cilíndrica deve estar exatamente na posição verdadeira.

Para outras características (rasgos, ressaltos, etc) a tolerância de localização é a largura total da zona de tolerância dentro da qual o plano central (ou mediano) da característica deve estar. O plano central da zona de tolerância deve estar exatamente na verdadeira posição.

13.2. Tolerância de Localização do Ponto.

A tolerância de localização de um ponto é definida por uma esfera ou por um círculo de diâmetro igual ao valor da tolerância especificada e cujo centro coincide com a posição teórica exata do ponto considerado.

A posição teórica é dada por valores nominais exatos, portanto, não afetados por tolerâncias dimensionais (no exemplo da Figura 13.1, dado pelos valores 68 e 100).

Esta tolerância pode ser usada na localização de furos em chapas finas onde a espessura é desprezível com relação ao diâmetro.

13.3. Tolerância de Localização da Reta em um Plano.

A tolerância de localização de uma reta em um plano define uma zona limitada por duas retas paralelas, separadas por uma distância igual ao valor da tolerância

especificada e dispostas simetricamente em relação à posição teórica da linha considerada(Figura 13.2).

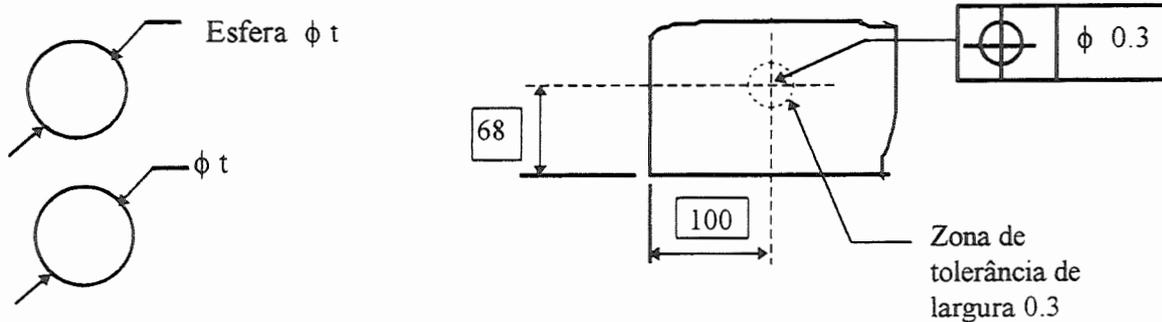


Figura 13.1 - Tolerância de localização de um ponto.

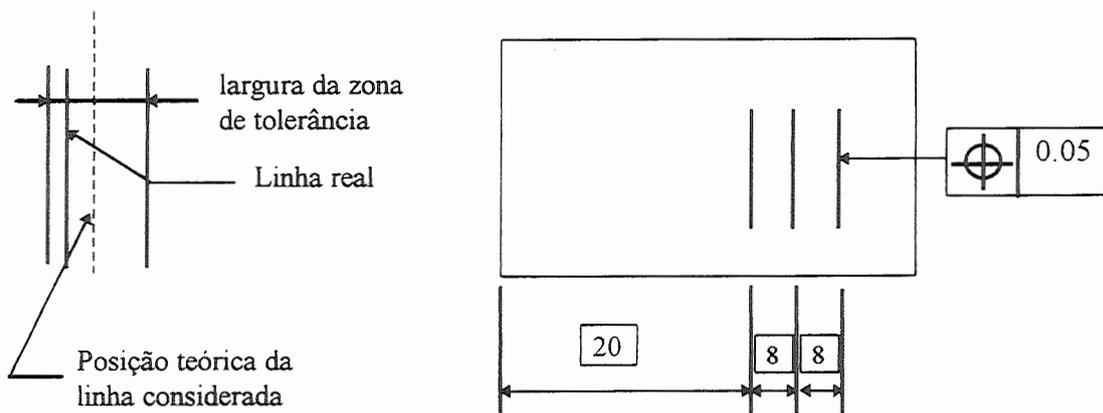


Figura 13.2 - Tolerância de localização de uma linha no plano.

13.4. Tolerância de Localização de uma Linha ou Eixo no Espaço

A tolerância de localização de uma linha no espaço define uma zona de tolerância cilíndrica, de diâmetro igual ao valor especificado da tolerância, e cuja linha de centro se encontra na posição teórica exata da linha considerada(Figura 13.3).

Neste caso, o símbolo ϕ deve ser colocado antecedendo o valor da tolerância de localização, no quadro de controle correspondente.

13.5. Tolerância de Localização de uma Superfície

O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, separados por uma distância igual ao valor da tolerância especificada, e dispostos simetricamente em relação à posição teórica da superfície considerada (Figura 13.4).

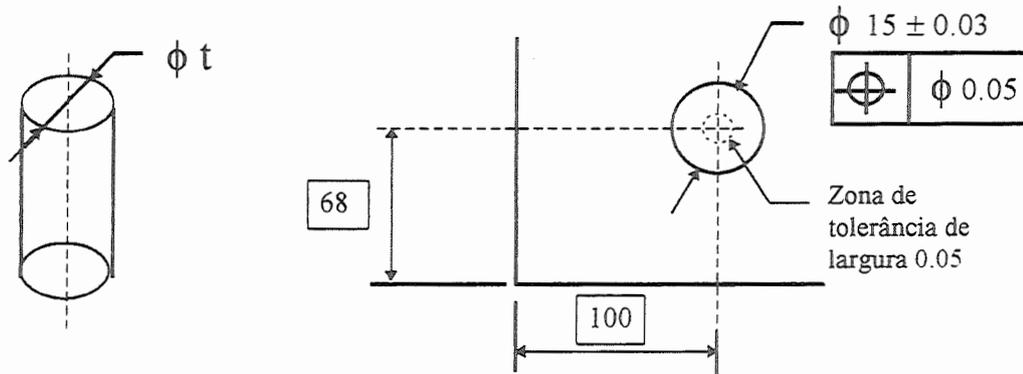


Figura 13.3 - Tolerância de localização de um eixo.

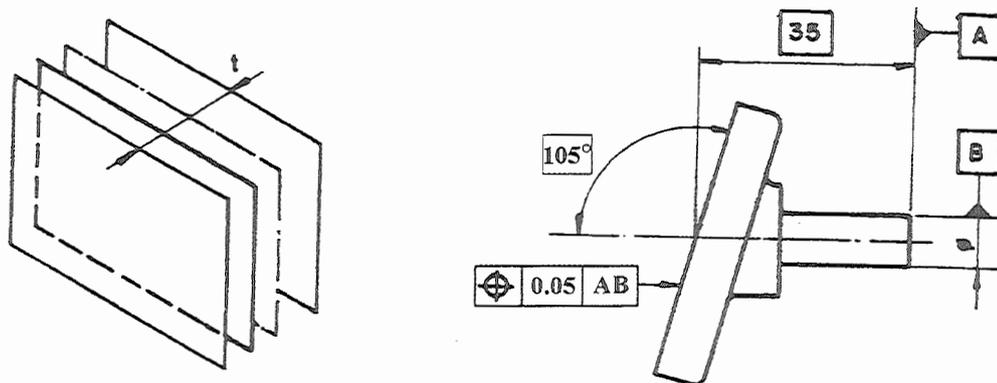
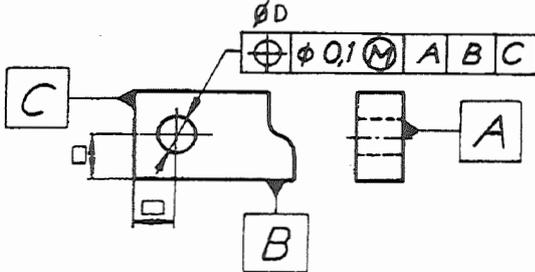
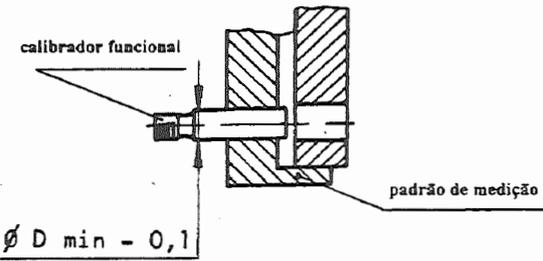
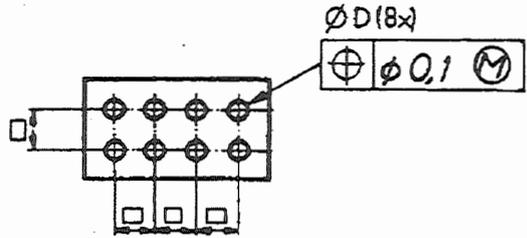
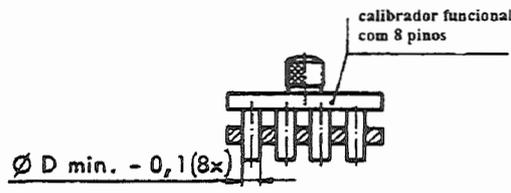
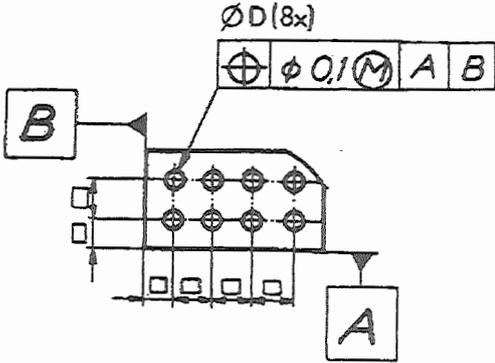
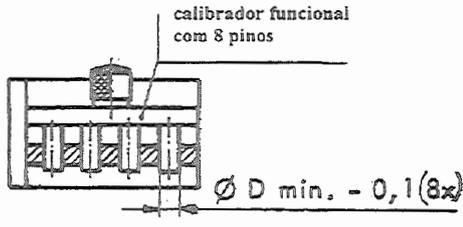
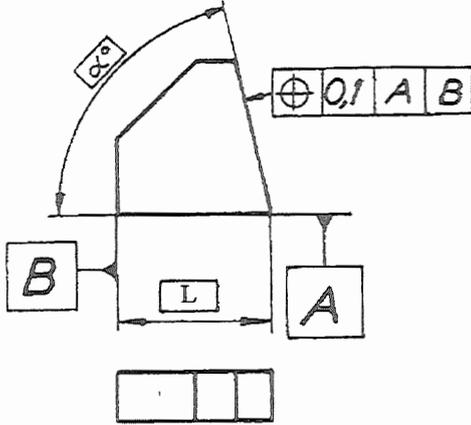
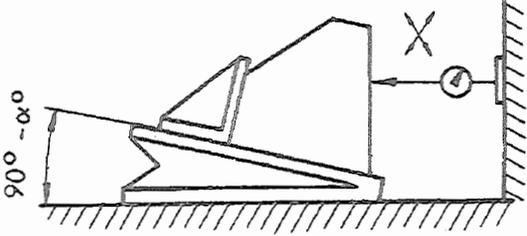


Figura 13.4 - Tolerância de localização de uma superfície

13.6. Procedimentos de Inspeção

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
Tolerância de localização de um eixo	
 <p>A linha de centro do furo deve estar dentro de uma zona cilíndrica, com eixo na posição nominal e diâmetro igual ao valor da tolerância, para a condição de máximo material.</p>	 <p>$\varnothing D \text{ min} - 0,1$</p> <ul style="list-style-type: none"> • a peça é apoiada em um suporte com um furo perpendicular à referência a e linha de centro na posição nominal. • um calibrador funcional de diâmetro igual ao diâmetro mínimo do furo menos o valor da tolerância atravessa toda a extensão do furo. • se, quando o calibrador atravessar a peça, ela não se deslocar em relação ao suporte, o erro de localização esta dentro dos limites.
 <p>A linha de centro dos 8 furos devem estar dentro de uma zona cilíndrica, com eixos nas posições nominais e diâmetro igual ao valor da tolerância, para a condição de máximo material.</p>	 <p>$\varnothing D \text{ min.} - 0,1(8x)$</p> <ul style="list-style-type: none"> • um calibrador funcional com 8 pinos de diâmetro igual ao diâmetro mínimo dos furos menos o valor da tolerância deve atravessar toda a extensão dos furos. • se, calibrador atravessar os furos livremente, o erro de localização esta dentro dos limites.

Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
Tolerância de localização de vários eixos	
 <p>A linha de centro dos 8 furos devem estar dentro de uma zona cilíndrica, com eixos na posições nominais e diâmetro igual ao valor da tolerância, para a condição de máximo material.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • a peça deve ser apoiada em um padrão com superfícies ortogonais e as faces de referência da peça devem ser encostadas nas superfícies do padrão. • um calibrador funcional com 8 pinos de diâmetro igual ao diâmetro mínimo dos furos menos o valor da tolerância deve atravessar toda a extensão dos furos. • se, calibrador atravessar os furos livremente, e sem deslocar a peça do padrão, o erro de localização esta dentro dos limites.
Tolerância de localização de um plano	
 <p>A superfície deve estar dentro de uma zona definida por dois planos paralelos separados de 0,1 mm, com inclinação igual ao valor nominal e localizados simetricamente em relação ao plano nominal.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • a dimensão L é medida e comparada com o valor nominal • a superfície A deve ser apoiada em um padrão angular com a superfície B apoiada em um suporte. • a variação da distância em qualquer ponto da superfície, com relação à superfície de referência de medição, não deve exceder correspondente à metade do valor da tolerância (0,05 mm), acrescido ou decrescido da diferença entre a dimensão l e seu valor nominal.

14. Simetria

14.1. Conceitos e Definições

Símbolo



Definição

Uma tolerância de simetria define a variação total permissível da posição de uma linha (perfil) ou plano em relação a um eixo ou plano de referência de simetria. A tolerância de simetria pode ser definida para uma linha ou plano.

14.2. Tolerância de Simetria de uma Linha ou Eixo

A zona de tolerância é definida por duas retas paralelas, separadas por uma distância t , igual ao valor da tolerância, localizadas à igual distância da linha ou eixo de referência de simetria. A linha ou perfil especificado pela tolerância deve estar contida nessa zona (Figura 14.1).

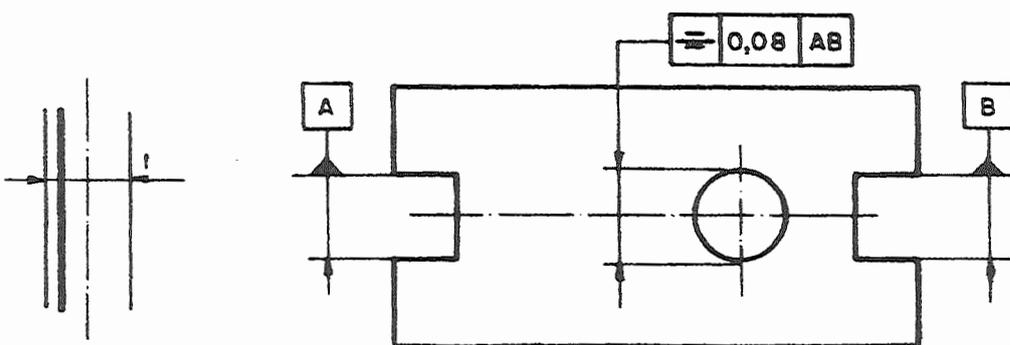


Figura 14.1: Aplicação de Tolerância de Simetria a um eixo.

14.3. Tolerância de Simetria de um Plano Médio

A zona de tolerância é definida por dois planos paralelos, separados por uma distância t , igual ao valor da tolerância, localizados simetricamente em relação ao plano de referência de simetria. O plano médio especificado pela tolerância deve estar contido nessa zona (Figura 14.2).

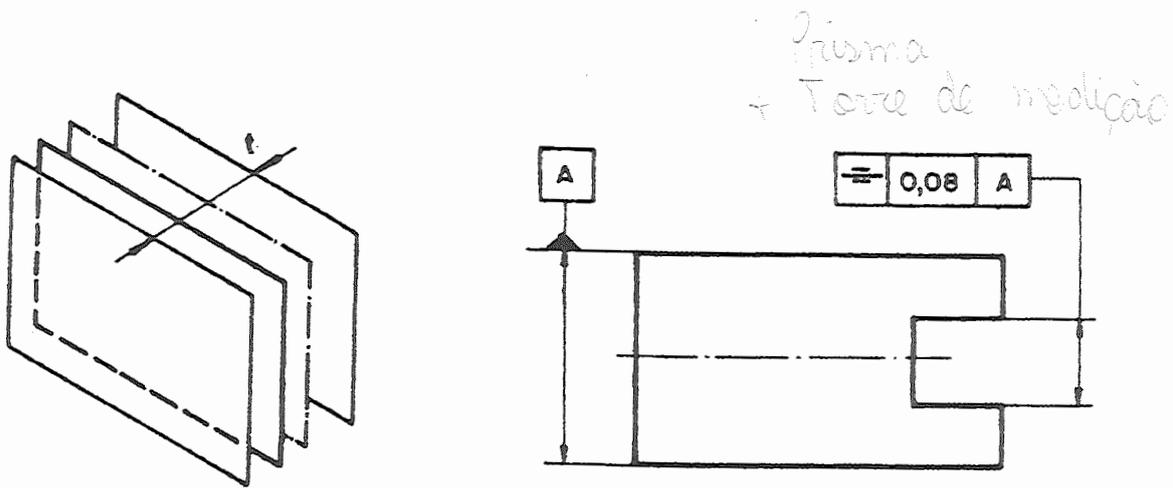
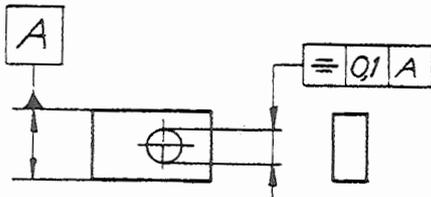
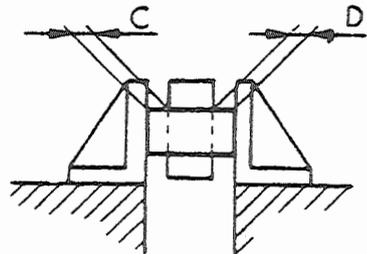
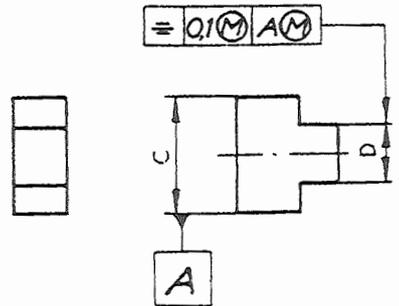
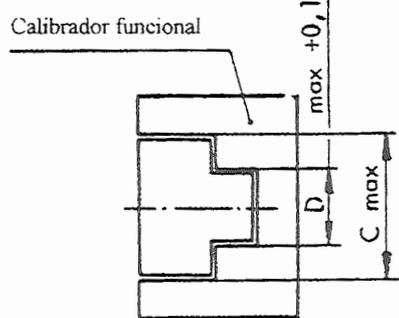
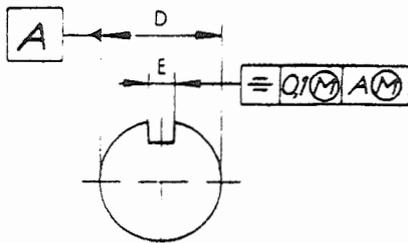


Figura 14.2: Aplicação da Tolerância de Simetria a um plano médio.

14.4. Procedimentos de Inspeção

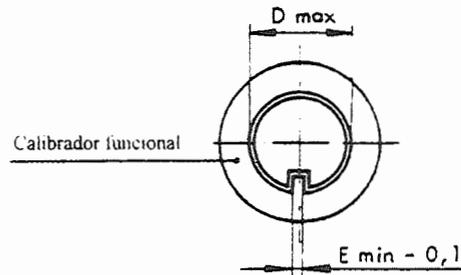
Indicação e Interpretação	Princípio de Medição
Simetria de uma reta ou eixo	
 <p>a linha de centro do furo deve estar dentro de +/- 0,05 a partir da linha média A.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • a peça é apoiada entre dois esquadros padrão e um mandril é ajustado ao furo; • a diferença entre as medidas C e D corresponde ao desvio de simetria.
Simetria de um plano médio	
 <p>o plano médio do ressalto deve estar dentro de +/- 0,05 a partir do plano médio A, mais o valor permitido pelo Princípio do Máximo Material.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • a medição é feita com um calibrador funcional para a condição de máximo material; • se o calibrador se ajustar em posição, o erro de simetria é menor que o limite tolerado.

Simetria de um plano médio



O plano médio do rasgo deve estar dentro de $\pm 0,05$ a partir do plano médio A, mais o valor permitido pelo Princípio de Máximo Material.

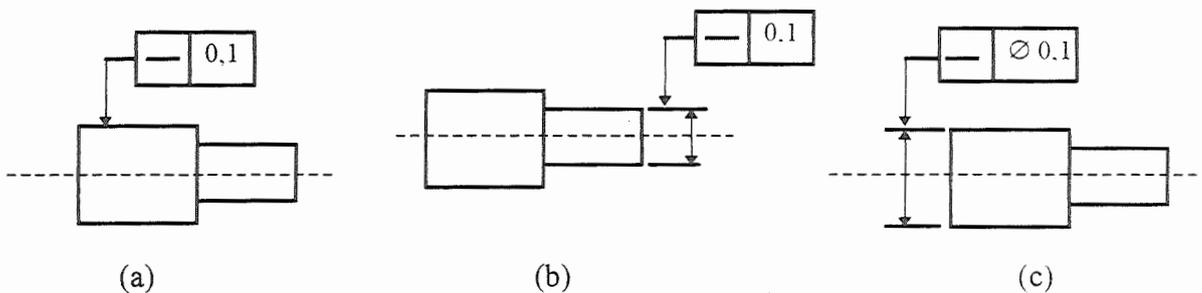
- a medição é feita com um calibrador funcional para a condição de máximo material;
- se o calibrador se ajustar em posição, o erro de simetria é menor que o limite tolerado



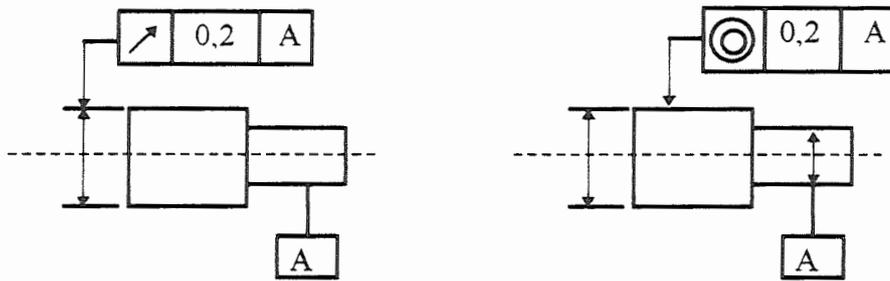
15. Exercícios de Avaliação

1. Uma tolerância de paralelismo também controla erros de _____ e de _____.
2. Tolerâncias de orientação _____ (exigem/não exigem) referências.
3. A zona de tolerância de paralelismo de um eixo de um furo com relação a uma superfície de referência é definida por _____.
4. A zona de tolerância de paralelismo de um eixo de uma superfície cilíndrica com relação a um eixo de referência é definida por _____.
5. A zona de tolerância de perpendicularismo de um eixo de um furo com relação a uma superfície de referência é definida por _____.
6. A zona de tolerância de perpendicularismo de um eixo de um furo com relação a um eixo de referência é definida por _____.
7. Tolerâncias de paralelismo e perpendicularismo devem ser precedidas do símbolo \ominus somente quando a zona de tolerância for _____.

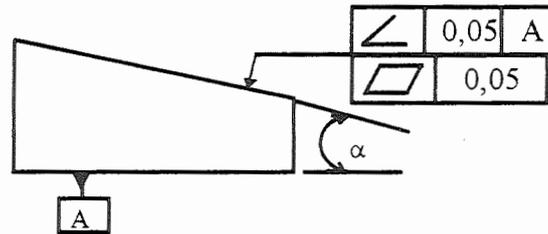
8. Em cada um dos casos abaixo, interpretar e definir o que está sendo controlado:



9. A tolerância de inclinação de um eixo com relação a outro eixo é definida por _____.
10. A unidade de medida utilizada para a especificação de uma tolerância de inclinação é _____ (mm/graus).
11. Critique as indicações de tolerâncias abaixo:

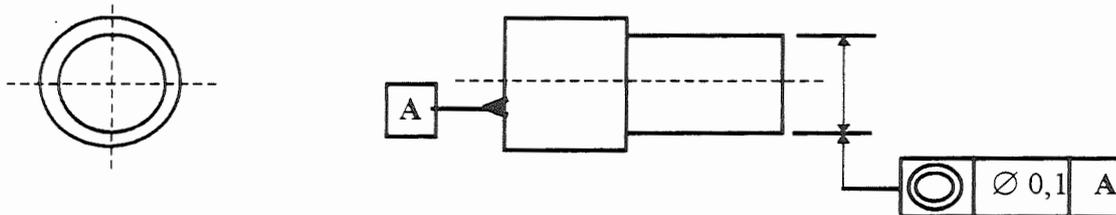


12. Criticar a especificação:



13. A zona de tolerância de localização de um eixo é definida por um _____ desde que o valor da tolerância venha precedido _____.

14. Está correta a especificação abaixo?



15. Relacione as colunas de símbolos e aplicações de acordo com as definições.

1	paralelismo			controla somente relação entre eixos
2	batimento			controla orientação entre 0 e 90
3	localização			a peça deve girar para se efetuar uma medida
4	concentricidade			controla também planicidade para superfícies a 90°
5	perpendicularismo			o conceito de verdadeira posição é usado
6	inclinação			controla relação entre duas geratrizes de um cilindro

16. A tolerância de concentricidade especifica uma zona _____ cujo eixo coincide com _____

17. A tolerância de batimento radial é definida por dois _____ com diferença radial igual a _____ e centrados no _____.

18. A tolerância de batimento axial é definida por _____ separadas entre si de uma valor igual a _____ e perpendiculares a _____.

19. Utilizando-se um relógio comparador apoiado sobre a superfície controlada, e girando-se a peça de 360° em torno do eixo de referência, o erro de batimento é dado pela _____.

20. A tolerância de batimento radial controla erros de _____ e de _____.

21. A tolerância de batimento axial controla erros de _____ e de _____.

Bibliografia

- 1) Meadows, J. D. (1995). Geometric Dimensioning and Tolerancing : Applications and Techniques for use in Design, Manufacturing, and Inspection, Marcel Dekker, Inc. New York, NY.
- 2) Valaer, P. and Hall, J. (1990). The Problems with Geometric Dimensioning and Tolerancing. Machine Design, August 23, pp.129-133.
- 3) Shepherd, D. W. (1986). Geometric Tolerancing: Key to Assembly and Interchangeability. Machine Design, August 7, pp. 65-67.
- 4) Johnson, S. M. (1994). Misunderstanding Fires GD&T Debate. Machine Design, April 18, pp. 69-72.
- 5) Norma Brasileira NBR 6409, Dezembro 1980. Tolerâncias de Forma e Tolerâncias de Posição: Procedimento.
- 6) Foster, L. W. (1986). Geo-Metrics II: The Application of Geometric Tolerancing Techniques. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Reading, Massachusetts.
- 7) ASME Y14.5M-1994. Dimensioning and Tolerancing. ASME, NY, 1995.