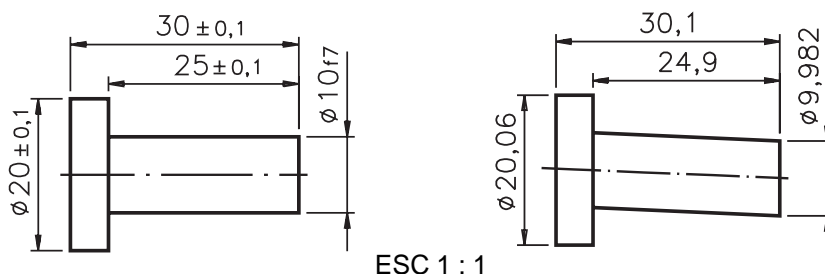


# Tolerância geométrica

## Introdução

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

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



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

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

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

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

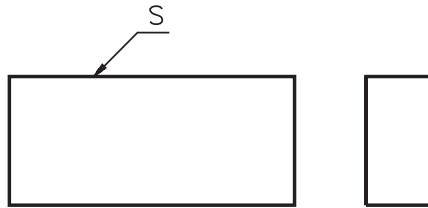
Interpretar desenhos técnicos com indicações de tolerâncias geométricas é o que você vai aprender nesta aula. Como se trata de um assunto muito complexo, será dada apenas uma visão geral, sem a pretensão de esgotar o tema. O aprofundamento virá com muito estudo e com a prática profissional.

## Nossa aula

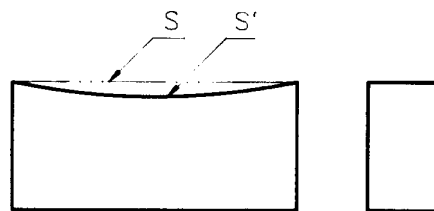
## Tolerâncias de forma

As tolerâncias de forma são os desvios que um elemento pode apresentar em relação à sua forma geométrica ideal. As tolerâncias de forma vêm indicadas no desenho técnico para **elementos isolados**, como por exemplo, uma superfície ou uma linha. Acompanhe um exemplo, para entender melhor.

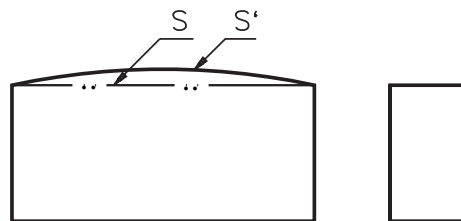
Análise as vistas: frontal e lateral esquerda do modelo prismático abaixo. Note que a superfície **S**, projetada no desenho, é uma superfície geométrica ideal **plana**.



Após a execução, a superfície real da peça **S'** pode não ficar tão plana como a superfície ideal **S**. Entre os desvios de **planeza**, os tipos mais comuns são a **concavidade** e a **convexidade**.

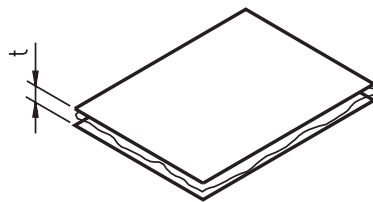


Forma real côncava



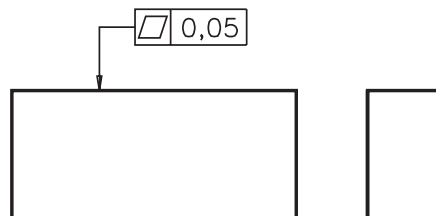
Forma real convexa

A **tolerância de planeza** corresponde à distância **t** entre dois planos ideais imaginários, entre os quais deve encontrar-se a superfície real da peça.



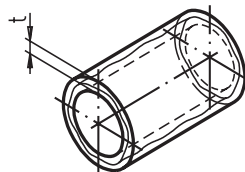
No desenho anterior, o espaço situado entre os dois planos paralelos é o campo de tolerância.

Nos desenhos técnicos, a indicação da tolerância de planeza vem sempre precedida do seguinte símbolo:  $\square$ .

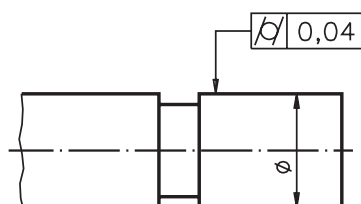


Um outro tipo de tolerância de forma de superfície é a tolerância de **cilindricidade**.

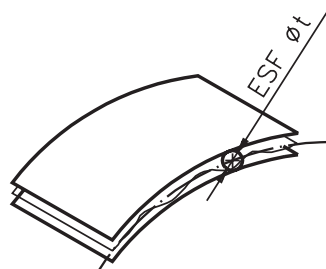
Quando uma peça é cilíndrica, a forma real da peça fabricada deve estar situada entre as superfícies de dois cilindros que têm o mesmo eixo e raios diferentes.



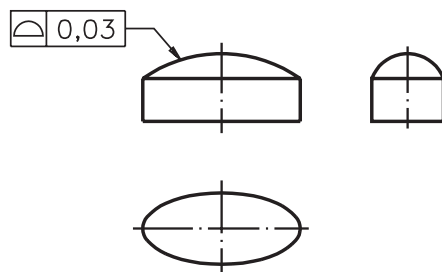
No desenho acima, o espaço entre as superfícies dos cilindros imaginários representa o campo de tolerância. A indicação da tolerância de cilindridade, nos desenhos técnicos, vem precedida do seguinte símbolo:  $\bigcirc$ .



Finalmente, a superfície de uma peça pode apresentar uma forma qualquer. A tolerância de **forma de uma superfície qualquer** é definida por uma esfera de diâmetro  $t$ , cujo centro movimenta-se por uma superfície que tem a forma geométrica ideal. O campo de tolerância é limitado por duas superfícies tangentes à esfera  $t$ , como mostra o desenho a seguir.



A tolerância de forma de uma superfície qualquer vem precedida, nos desenhos técnicos, pelo símbolo:  $\bigcap$ .



Resolva um exercício, antes de prosseguir.

**Verificando o entendimento**

Ligue cada símbolo à tolerância de forma de superfície que ele representa:

- |    |  |                      |
|----|--|----------------------|
| a) |  | ·planeza             |
| b) |  | ·circularidade       |
| c) |  | ·cilindricidade      |
|    |  | ·superfície qualquer |

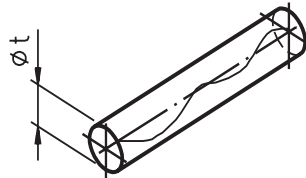
Verifique se você fez as associações acertadas: **a)** superfície qualquer; **b)** cilindridade e **c)** planeza.

Até aqui você ficou conhecendo os símbolos indicativos de tolerâncias de forma de **superfícies**. Mas, em certos casos, é necessário indicar as tolerâncias de forma de **linhas**.

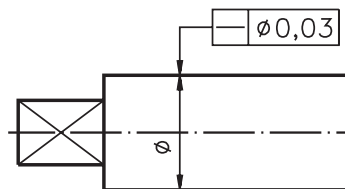
São três os tipos de tolerâncias de forma de linhas: **retilineidade, circularidade e linha qualquer**.

A **tolerância de retilineidade** de uma linha ou eixo depende da forma da peça à qual a linha pertence.

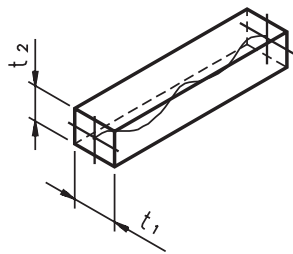
Quando a peça tem forma cilíndrica, é importante determinar a tolerância de retilineidade em relação ao eixo da parte cilíndrica. Nesses casos, a tolerância de retilineidade é determinada por um cilindro imaginário de diâmetro **t**, cujo centro coincide com o eixo da peça.



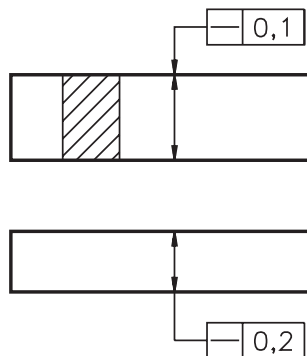
Nos desenhos técnicos, a tolerância de retilineidade de linha é indicada pelo símbolo: , como mostra o desenho abaixo.



Quando a peça tem a forma cilíndrica, o campo de tolerância de retilineidade também tem a forma cilíndrica. Quando a peça tem forma prismática com **seção retangular**, o campo de tolerância de retilineidade fica definido por um paralelepípedo imaginário, cuja base é formada pelos lados **t1** e **t2**.



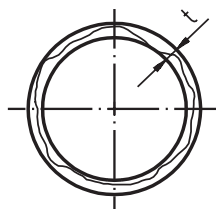
No caso das peças prismáticas a indicação de tolerância de retilidade também é feita pelo símbolo:  $\text{—}$  que antecede o valor numérico da tolerância.



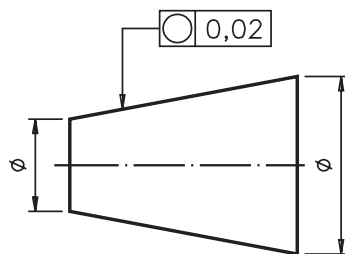
Em peças com forma de disco, cilindro ou cone pode ser necessário determinar a **tolerância de circularidade**.

A tolerância de circularidade é determinada por duas circunferências que têm o mesmo centro e raios diferentes. O centro dessas circunferências é um ponto situado no eixo da peça.

O campo de tolerância de circularidade corresponde ao espaço  $t$  entre as duas circunferências, dentro do qual deve estar compreendido o contorno de cada seção da peça.



Nos desenhos técnicos, a indicação da tolerância de circularidade vem precedida do símbolo:  $\bigcirc$

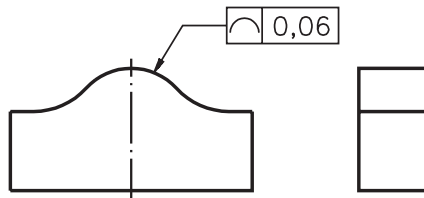


Finalmente, há casos em que é necessário determinar a tolerância de forma de uma linha qualquer. A tolerância de um perfil ou contorno qualquer é determinada por duas linhas envolvendo uma circunferência de diâmetro  $t$  cujo centro se desloca por uma linha que tem o perfil geométrico desejado.



Note que o contorno de cada seção do perfil deve estar compreendido entre duas linhas paralelas, tangentes à circunferência.

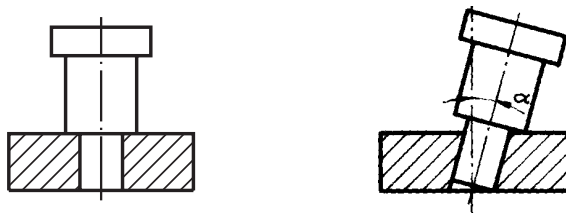
A indicação da tolerância de forma de uma linha qualquer vem precedida do símbolo:  $\bigcirc$ .



Cuidado para não confundir os símbolos! No final desta aula, você encontrará um quadro com o resumo de todos os símbolos usados em tolerâncias geométricas. Estude-o com atenção e procure memorizar todos os símbolos aprendidos.

## Tolerâncias de orientação

Quando dois ou mais elementos são associados pode ser necessário determinar a **orientação** precisa de um em relação ao outro para assegurar o bom funcionamento do conjunto. Veja um exemplo.



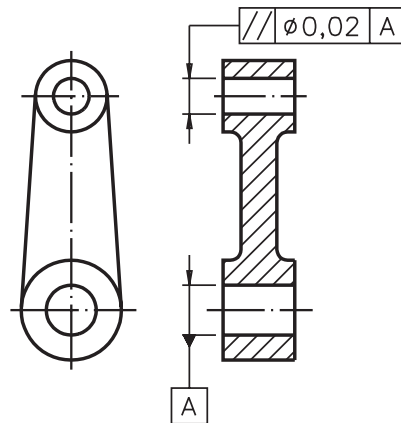
O desenho técnico da esquerda mostra que o eixo deve ser perpendicular ao furo. Observe, no desenho da direita, como um erro de perpendicularidade na execução do furo afeta de modo inaceitável a funcionalidade do conjunto. Daí a necessidade de se determinarem, em alguns casos, as **tolerâncias de orientação**. Na determinação das tolerâncias de orientação geralmente um elemento é escolhido como **referência** para indicação das tolerâncias dos demais elementos.

O elemento tomado como referência pode ser uma **linha**, como por exemplo, o eixo de uma peça. Pode ser, ainda, um **plano**, como por exemplo, uma determinada face da peça. E pode ser até mesmo um **ponto** de referência, como por exemplo, o centro de um furo. O elemento tolerado também pode ser uma **linha**, uma **superfície** ou um **ponto**.

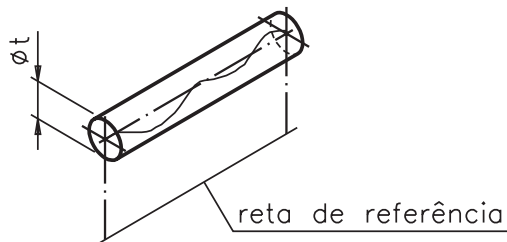
As tolerâncias de orientação podem ser de: **paralelismo**, **perpendicularidade** e **inclinação**. A seguir, você vai aprender a identificar cada um desses tipos de tolerâncias.

## Tolerância de paralelismo

Observe o desenho técnico abaixo.



Nesta peça, o eixo do furo superior deve ficar paralelo ao eixo do furo inferior, tomado como referência. O eixo do furo superior deve estar compreendido dentro de uma zona cilíndrica de diâmetro  $t$ , paralela ao eixo do furo inferior, que constitui a reta de referência.

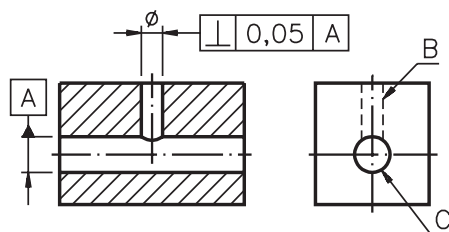


Na peça do exemplo anterior, o elemento tolerado foi uma linha reta: o eixo do furo superior. O elemento tomado como referência também foi uma linha: o eixo do furo inferior. Mas, há casos em que a tolerância de paralelismo de um eixo é determinada tomando-se como referência uma superfície plana.

Qualquer que seja o elemento tolerado e o elemento de referência, a indicação de tolerância de paralelismo, nos desenhos técnicos, vem sempre precedida do símbolo: //

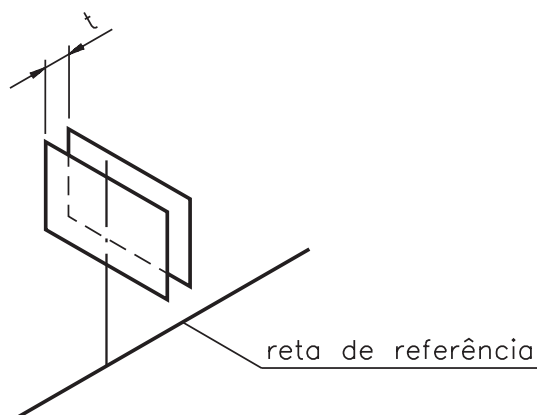
## Tolerância de perpendicularidade

Observe o desenho abaixo.



Nesta peça, o eixo do furo vertical **B** deve ficar perpendicular ao eixo do furo horizontal **C**. Portanto, é necessário determinar a tolerância de perpendicularidade de um eixo em relação ao outro.

Tomando como reta de referência o eixo do furo **C**, o campo de tolerância do eixo do furo **B** fica limitado por dois planos paralelos, distantes entre si uma distância **t** e perpendiculares à reta de referência.

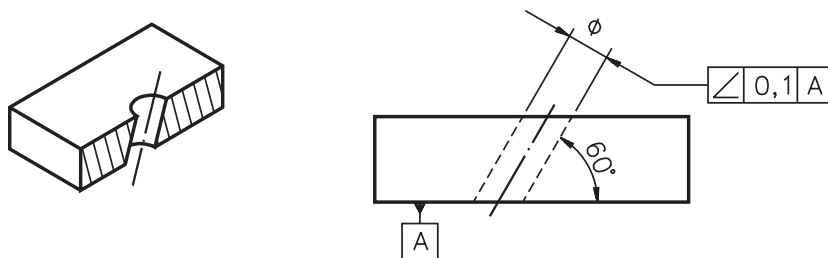


Dependendo da forma da peça, pode ser mais conveniente indicar a tolerância de perpendicularidade de uma linha em relação a um plano de referência.

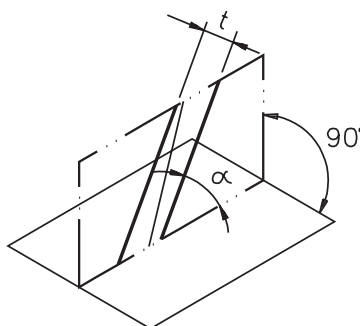
Nos desenhos técnicos, a indicação das tolerâncias de perpendicularidade vem precedida do seguinte símbolo:  $\perp$ .

### Tolerância de inclinação

O furo da peça representada a seguir deve ficar inclinado em relação à base.



Para que o furo apresente a inclinação correta é necessário determinar a tolerância de inclinação do eixo do furo. O elemento de referência para determinação da tolerância, neste caso, é o plano da base da peça. O campo de tolerância é limitado por duas retas paralelas, distantes entre si uma distância **t**, que formam com a base o ângulo de inclinação especificado  $\alpha$ .



Em vez de uma linha, como no exemplo anterior, o elemento tolerado pode ser uma superfície.



Nos desenhos técnicos, a indicação de tolerância de inclinação vem precedida do símbolo:  $\angle$ .

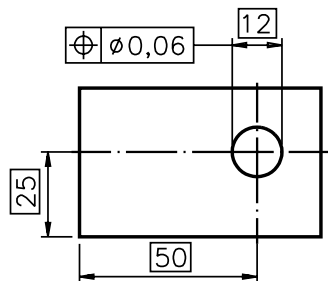
### Tolerância de posição

Quando tomamos como referência a posição, três tipos de tolerância devem ser considerados: **de localização**; de **concentricidade** e de **simetria**.

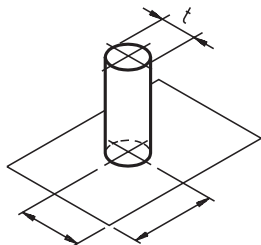
Saiba como identificar cada um desses tipos de tolerância acompanhando com atenção as próximas explicações.

#### Tolerância de localização

Quando a localização exata de um elemento, como por exemplo: uma linha, um eixo ou uma superfície, é essencial para o funcionamento da peça, sua **tolerância de localização** deve ser determinada. Observe a placa com furo, a seguir.



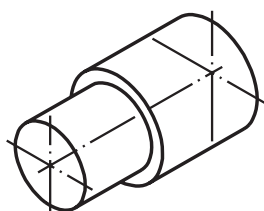
Como a localização do furo é importante, o eixo do furo deve ser tolerado. O campo de tolerância do eixo do furo é limitado por um cilindro de diâmetro  $t$ . O centro deste cilindro coincide com a localização ideal do eixo do elemento tolerado.



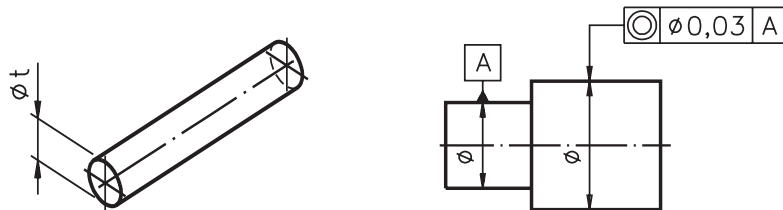
A indicação da tolerância de localização, nos desenhos técnicos, é antecedida pelo símbolo:  $\oplus$ .

#### Tolerância de concentricidade ou coaxialidade

Quando duas ou mais figuras geométricas planas regulares têm o mesmo centro, dizemos que elas são **concêntricas**. Quando dois ou mais sólidos de revolução têm o eixo comum, dizemos que eles são **coaxiais**. Em diversas peças, a concentricidade ou a coaxialidade de partes ou de elementos, é condição necessária para seu funcionamento adequado. Mas, determinados desvios, dentro de limites estabelecidos, não chegam a prejudicar a funcionalidade da peça. Daí a necessidade de serem indicadas as tolerâncias de concentricidade ou de coaxialidade. Veja a peça abaixo, por exemplo:



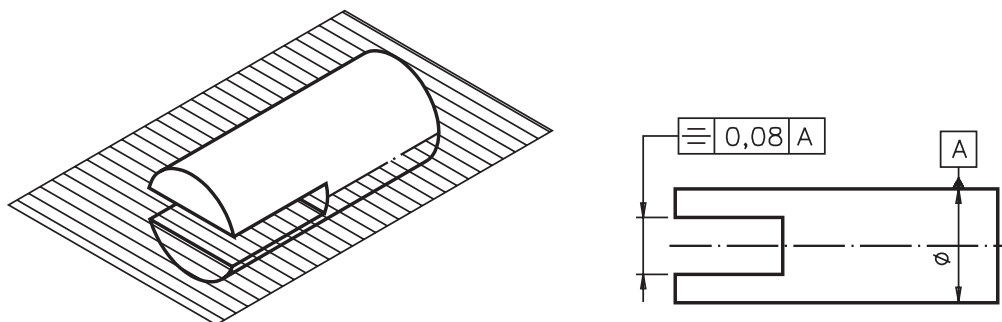
Essa peça é composta por duas partes de diâmetros diferentes. Mas, os dois cilindros que formam a peça são coaxiais, pois têm o mesmo eixo. O campo de tolerância de coaxialidade dos eixos da peça fica determinado por um cilindro de diâmetro  $t$  cujo eixo coincide com o eixo ideal da peça projetada.



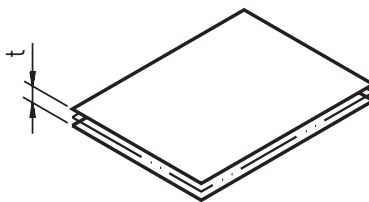
A tolerância de concentricidade é identificada, nos desenhos técnicos, pelo símbolo:  $\odot$

### Tolerância de simetria

Em peças simétricas é necessário especificar a tolerância de simetria. Observe a peça a seguir, representada em perspectiva e em vista única:



Preste atenção ao plano que divide a peça em duas partes simétricas. Na vista frontal, a simetria vem indicada pela linha de simetria que coincide com o eixo da peça. Para determinar a tolerância de simetria, tomamos como elemento de referência o plano médio ou eixo da peça. O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, equidistantes do plano médio de referência, e que guardam entre si uma distância  $t$ . É o que mostra o próximo desenho.



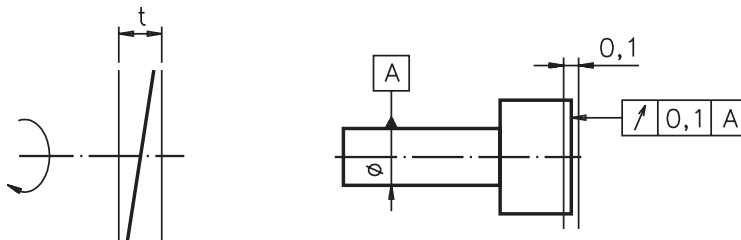
Nos desenhos técnicos, a indicação de tolerância de simetria vem precedida pelo símbolo :  $\equiv$

Há ainda um outro tipo de tolerância que você precisa conhecer para adquirir uma visão geral deste assunto: tolerância de **batimento**.

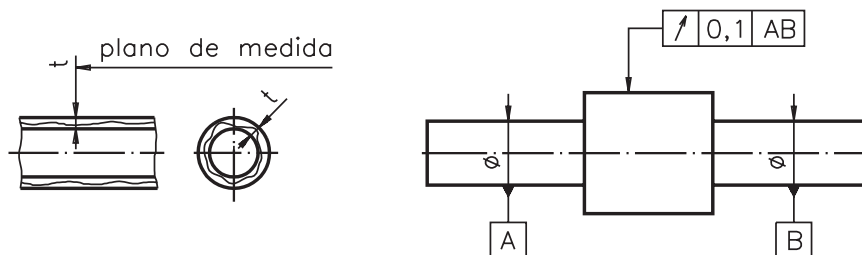
### Tolerância de batimento

Quando um elemento dá uma volta completa em torno de seu eixo de rotação, ele pode sofrer **oscilação**, isto é, deslocamentos em relação ao eixo. Dependendo da função do elemento, esta oscilação tem de ser controlada para não comprometer a funcionalidade da peça. Por isso, é necessário que sejam determinadas as tolerâncias de batimento, que delimitam a oscilação aceitável do elemento. As tolerâncias de batimento podem ser de dois tipos: **axial** e **radial**.

**Axial**, você já sabe, refere-se a eixo. Batimento axial quer dizer balanço no sentido do eixo. O campo de tolerância, no batimento axial, fica delimitado por dois planos paralelos entre si, a uma distância **t** e que são perpendiculares ao eixo de rotação.



O batimento radial, por outro lado, é verificado em relação ao raio do elemento, quando o eixo der uma volta completa. O campo de tolerância, no batimento radial é delimitado por um plano perpendicular ao eixo de giro que define dois círculos concêntricos, de raios diferentes. A diferença **t** dos raios corresponde à tolerância radial.

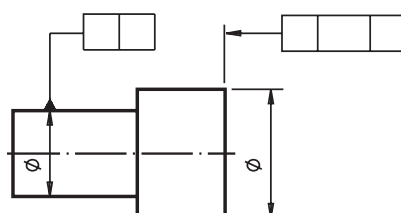


As tolerâncias de balanço são indicadas, nos desenhos técnicos, precedidas do símbolo:  $\nearrow$ .

A execução de peças com indicação de tolerâncias geométricas é tarefa que requer grande experiência e habilidade. A interpretação completa deste tipo de tolerância exige conhecimentos muito mais aprofundados, que escapam ao objetivo deste curso.

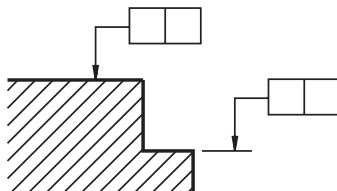
### Indicações de tolerâncias geométricas em desenhos técnicos

Nos desenhos técnicos, as tolerâncias de forma, de orientação, de posição e de batimento são inscritas em quadros retangulares divididos em **duas** ou **três** partes, como mostra o desenho abaixo:

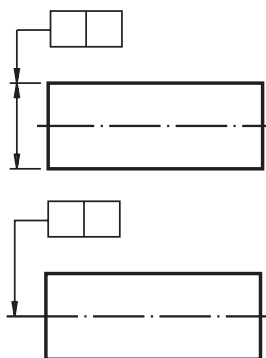


Observe que o quadro de tolerância aparece ligado ao elemento que se deseja verificar por uma linha de marcação terminada em seta.

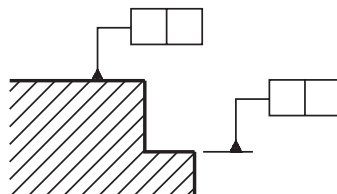
Veja, no detalhe do desenho, reproduzido a seguir, que a seta termina no contorno ou numa **linha de prolongamento** se a tolerância é aplicada numa superfície, como neste exemplo.



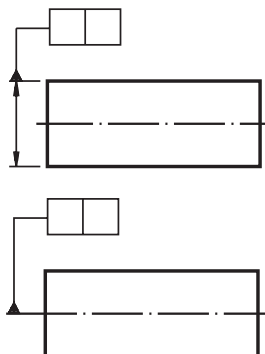
Mas, quando a tolerância é aplicada a um eixo, ou ao plano médio da peça, a indicação é feita na linha auxiliar, no prolongamento da linha de cota, ou diretamente sobre o eixo tolerado. Veja, no próximo desenho, essas duas formas de indicação.



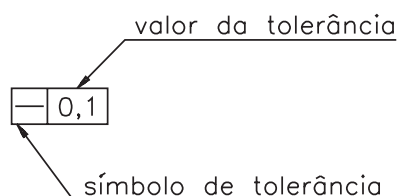
Os elementos de referência são indicados por uma linha que termina por um triângulo cheio. A base deste triângulo é apoiada sobre o contorno do elemento ou sobre o prolongamento do contorno do elemento.



No exemplo acima, o elemento de referência é uma superfície. Mas, o elemento de referência pode ser, também, um eixo ou um plano médio da peça. Quando o elemento de referência é um eixo ou um plano médio, a base do triângulo se apoia sobre a linha auxiliar, no prolongamento da linha de cota ou diretamente sobre o eixo ou plano médio de referência.



Agora, vamos analisar o conteúdo do quadro dividido em duas partes. No primeiro quadrinho, da esquerda para a direita, vem sempre indicado o tipo de tolerância. No quadrinho seguinte, vem indicado o valor da tolerância, em milímetros:

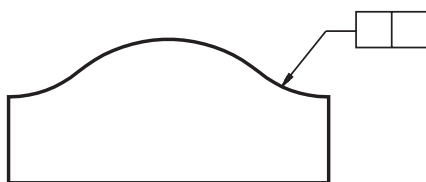


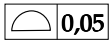
No exemplo acima, o símbolo: — indica que se trata de tolerância de retidão de linha. O valor **0,1** indica que a tolerância de retidão, neste caso, é de um décimo de milímetro.

Resolva o próximo exercício.

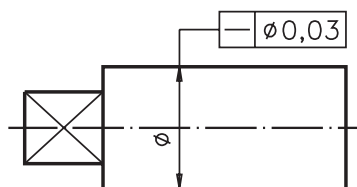
### Verificando o entendimento

Indique a tolerância geométrica no quadro apropriado sabendo que: a tolerância é aplicada a uma superfície de forma qualquer; o valor da tolerância é de cinco centésimos de milímetro.



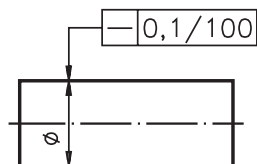
Verifique se você acertou. Você deve ter inscrito o símbolo de tolerância de forma para superfície qualquer no quadrinho da esquerda. No quadrinho da direita você deve ter inscrito o valor da tolerância: 0,05. Sua resposta deve ter ficado assim: 

Às vezes, o valor da tolerância vem precedido do símbolo indicativo de diâmetro:  $\varnothing$  como no próximo exemplo.



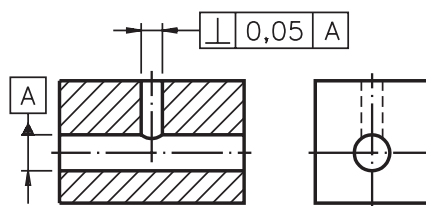
Aqui temos um caso de tolerância de forma: o símbolo — indica tolerância de retidão de linha. Observe o símbolo  $\varnothing$  antes do valor da tolerância 0,03. Quando o valor da tolerância vem após o símbolo  $\varnothing$  isto quer dizer que o campo de tolerância correspondente pode ter a forma circular ou cilíndrica.

Quando a tolerância deve ser verificada em relação a determinada extensão da peça, esta informação vem indicada no segundo quadrinho, separada do valor da tolerância por uma barra inclinada (/). Veja, no próximo desenho:



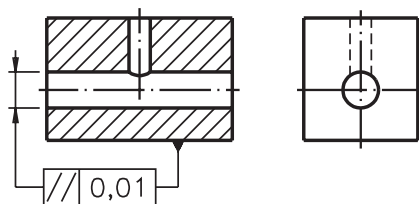
A tolerância aplicada nesta peça é de retilineidade de linha. O valor da tolerância é de **0,1**, ou seja, um décimo de milímetro. O número **100**, após o valor da tolerância, indica que sobre uma extensão de 100 mm, tomada em qualquer parte do comprimento da peça, o eixo real deve ficar entre duas retas paralelas, distantes entre si 0,1 mm.

Os casos estudados até agora apresentavam o quadro de tolerância dividido em duas partes. Agora você vai aprender a interpretar a terceira parte do quadro:



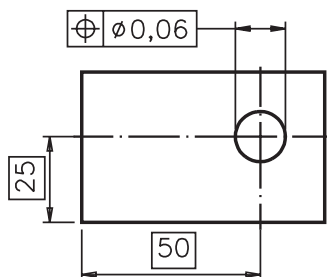
A letra **A** identifica o elemento de referência, que, neste exemplo, é o eixo do furo horizontal. Esta mesma letra **A** aparece no terceiro quadrinho, para deixar clara a associação entre o elemento tolerado e o elemento de referência. O símbolo  $\perp$  no quadrinho da esquerda, refere-se à tolerância de perpendicularidade. Isso significa que, nesta peça, o furo vertical, que é o elemento tolerado, deve ser perpendicular ao furo horizontal. O quadrinho  $\perp$  é ligado ao elemento a que se refere pela linha que termina em um triângulo cheio. O valor da tolerância é de 0,05 mm.

Nem sempre, porém, o elemento de referência vem identificado pela letra maiúscula. Às vezes, é mais conveniente ligar diretamente o elemento tolerado ao elemento de referência. Veja.



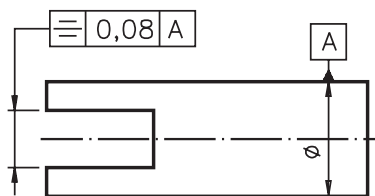
O símbolo  $//$  indica que se trata de tolerância de paralelismo. O valor da tolerância é de 0,01 mm. O triângulo cheio, apoiado no contorno do bloco, indica que a base da peça está sendo tomada como elemento de referência. O elemento tolerado é o eixo do furo horizontal, paralelo ao plano da base da peça.

Acompanhe a interpretação de mais um exemplo de desenho técnico com aplicação de tolerância geométrica.



Aqui, o elemento tolerado é o furo. O símbolo  $\oplus$  indica que se trata de tolerância de localização. O valor da tolerância é de 0,06 mm. O símbolo  $\varnothing$  antes do valor da tolerância indica que o campo de tolerância tem a forma cilíndrica. As cotas  $\boxed{25}$  e  $\boxed{50}$  são cotas de referência para localização do furo. As cotas de referência sempre vêm inscritas em retângulos.

Analise o próximo desenho e depois resolva o exercício.



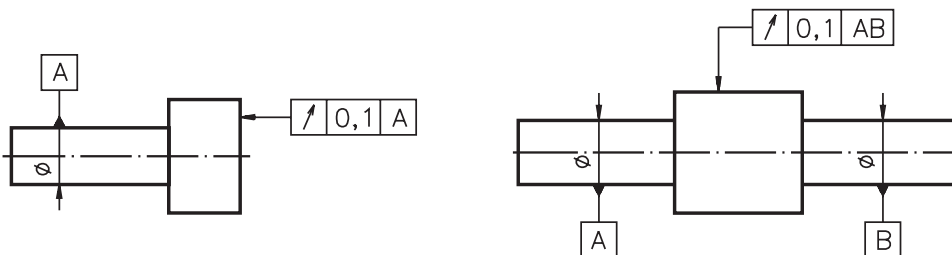
### Verificando o entendimento

Responda às questões:

- Que tipo de tolerância está indicada nesse desenho? R:.....
- Qual o valor da tolerância? R: .....
- Qual o elemento tomado como referência? R:.....

Você deve ter respondido que: **a)** Nesse desenho está indicada a tolerância de simetria; **b)** O valor da tolerância é de 0,08 mm e **c)** O elemento tomado como referência é o plano médio da peça. Você deve ter concluído que o plano médio da peça é o elemento de referência, já que o triângulo cheio da letra A ( $\frac{A}{\perp}$ ) está apoiado sobre o prolongamento da linha de cota do diâmetro.

Finalmente, observe dois exemplos de aplicação de tolerância de batimento:



No desenho da esquerda temos uma indicação de batimento axial. Em uma volta completa em torno do eixo de referência **A**, o batimento da superfície tolerada não pode se deslocar fora de duas retas paralelas, distantes entre si de 0,1 mm e perpendiculares ao eixo da peça.

No desenho da direita o batimento é radial em relação a dois elementos de referência: **A** e **B**. Isto quer dizer que durante uma volta completa em torno do eixo definido por A e B, a oscilação da parte tolerada não pode ser maior que 0,1 mm.

Muito bem! Depois de analisar tantos casos, você deve estar preparado para responder a algumas questões básicas sobre tolerâncias geométricas indicadas em desenhos técnicos. Então, resolva os exercícios a seguir.

## Exercícios

### Exercício 1

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

- a)  $\perp$     b)  $\varnothing$     c)  $\frown$     d)  $\square$

### Exercício 2

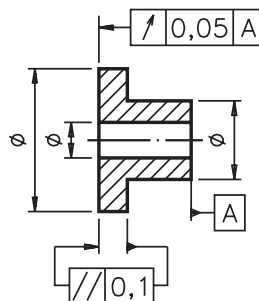
Faça um círculo em torno do símbolo que indica tolerância de concentricidade.

- a)  $\equiv$     b)  $\odot$     c)  $\oplus$     d)  $\angle$

### Exercício 3

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

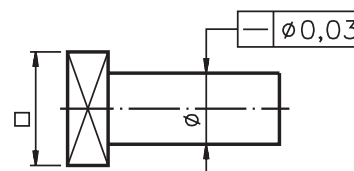
- a) ( ) batimento;  
b) ( ) paralelismo;  
c) ( ) inclinação;  
d) ( ) simetria.



### Exercício 4

Análise o desenho abaixo e assinale com X qual o elemento tolerado:

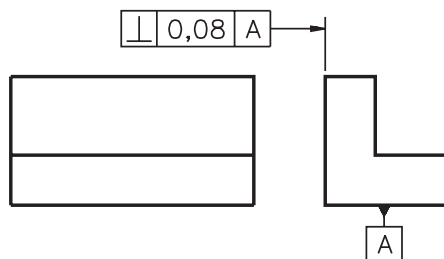
- a) ( ) eixo da parte cilíndrica  
b) ( ) eixo da parte prismática



R.: .....

### Exercício 5

Análise o desenho técnico e responda:

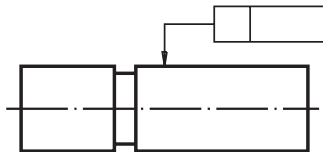


- a) qual o elemento tolerado? R.: .....  
b) qual o elemento de referência? R.: .....

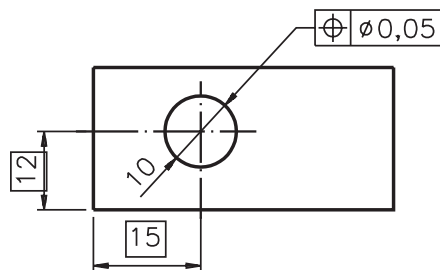


**Exercício 6**

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

**Exercício 7**

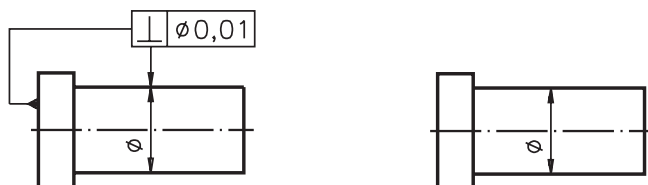
Análise o desenho técnico e complete as frases.



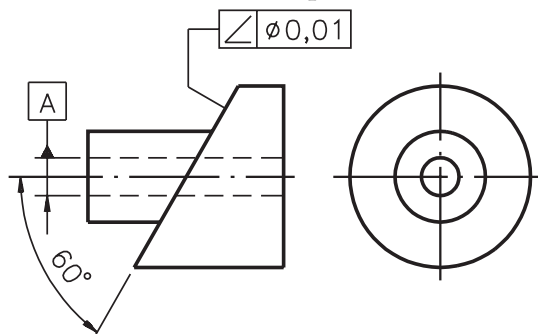
- A tolerância aplicada neste desenho é de .....
- O valor da tolerância é de .....
- Os elementos de referência são as cotas ..... e .....

**Exercício 8**

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

**Exercício 9**

Análise o desenho técnico e complete as frases corretamente.



- A tolerância indicada neste desenho é de .....
- O elemento de referência é o .....

TOLERÂNCIAS GEOMÉTRICAS (QUADRO SINÓTICO)		
TOLERÂNCIA DE FORMA PARA ELEMENTOS ISOLADOS		
	Denominação	Símbolo
de linhas	Retilidade	—
	Circularidade	○
	Forma de linha qualquer	⌒
de superfícies	Planeza	▭
	Cilindricidade	⊘
	Forma de superfície qualquer	⌒
TOLERÂNCIA PARA ELEMENTOS ASSOCIADOS		
	Denominação	Símbolo
de orientação	Paralelismo	/
	Perpendicularidade	⊥
	Inclinação	∠
de posição	Localização	⊕
	Concentricidade ou coaxialidade	⊙
	Simetria	≡
TOLERÂNCIA DE BATIMENTO		
	Radial Axial	↗