



# **DIMENSIONAMENTO E TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA (GD&T)**

**Fevereiro - 2007**

## SUMÁRIO

Introdução .....	4
Histórico do GD&T .....	5
1 - GENERALIDADES - .....	6
1.1- Desenhos de Engenharia .....	6
1.2- Regras fundamentais do dimensionamento .....	6
1.3- Sistema de tolerâncias coordenadas .....	8
1.3.1- Desvantagem do sistema de tolerâncias coordenadas.....	8
1.4- O sistema de Dimensionamento e Tolerâncias Geométricas ...	8
1.4.1- Benefícios do GD&T .....	9
1.4.2- O grande mito do GD&T.....	10
2- CONCEITOS BÁSICOS .....	12
2.1- Indicações de tolerância geométrica.....	13
2.2- Símbolos indicativos das tol. geométricas.....	14
2.3- Forma de indicação das tol. geométricas nos desenhos .....	15
2.4- Indicação no elemento tolerado.....	19
2.5- indicação no elemento de referência .....	20
2.6- Representação das cotas básicas .....	22
2.7- Campo de tolerância .....	22
2.7.1- Área dentro de um círculo.....	22
2.7.2- Área entre círculos concêntricos .....	23
2.7.3- Área entre duas retas paralelas .....	23
2.7.4- Espaço dentro de um círculo.....	23
2.7.5- Espaço entre dois cilindros coaxiais .....	24
2.7.6- Espaço entre dois planos paralelos .....	24
2.7.7- Espaço dentro de um paralelepípedo .....	24
3- TOLERÂNCIAS GEOMÉTRICAS DE FORMA.....	25
3.1- Tolerância de retilidade .....	25
3.2- Tolerância geométrica de planeza.....	27
3.3- Tolerância de circularidade.....	28
3.4- Tolerância de cilindridade .....	29
3.5- Tolerância de perfil de uma linha qualquer.....	29
3.6- Tolerância de perfil de superfície qualquer .....	30
4- TOLERÂNCIA DE ORIENTAÇÃO.....	32
4.1- Tolerância de paralelismo.....	32
4.1.1- Tol. de paral. de uma linha em relação a uma linha de ref....	32
4.1.2- Tol. de paral. de uma linha em rel. a uma sup. de ref.....	34
4.1.3- Tol. de paral. de uma sup. em relação a uma sup. de ref.....	35
4.2- Tolerância de perpendicularidade.....	35

4.2.1- T. de perp. de uma linha em relação a uma linha de ref....	35
4.2.2- T. de perp. de uma linha em relação a uma sup. de ref. ....	36
4.2.3- T. de perp. de uma sup. em relação a uma linha de ref. ....	37
4.2.4- Tol. de perp. de uma sup. em relação a uma sup. de ref. ....	38
4.3- Tolerância de inclinação.....	38
4.3.1- Tol. de inc. de uma linha em relação a uma linha de ref.....	38
4.3.2- Tol. de inc. de uma linha em relação a uma sup. de ref. ....	39
4.3.3- Tol. de inc. de uma sup. em relação a uma linha de ref.....	40
4.3.4- Tol. de inc. de uma sup. em relação a uma sup. de ref. ....	40
5- TOLERÂNCIA DE POSIÇÃO .....	41
5.1- Tolerância de posição de um ponto .....	41
5.2- Tolerância de posição de uma linha .....	42
5.3- Tol. de posição de uma sup. plana ou de um plano médio.....	43
5.4- Tolerância de concentricidade .....	44
5.5- Tolerância de simetria.....	44
5.5.1- Tolerância de simetria de um plano médio .....	45
5.5.2- Tolerância de simetria de uma linha ou de um eixo.....	45
6- TOLERÂNCIA DE BATIMENTO .....	47
6.1- Tolerância de batimento circular .....	48
6.1.1- Tolerância de batimento circular radial .....	48
6.1.2- Tolerância de batimento circular axial .....	49
6.1.3- Tolerância de batimento circular em qualquer direção.....	50
6.1.4- Tolerância de bat. circular com direção específica.....	50
6.2- Tolerância de batimento total.....	51
6.2.1- Tolerância de batimento total radial.....	51
6.2.2- Tolerância de batimento total axial.....	51
LISTA DE QUADROS	
Quadro nº 01 – Desenho com utilização de GD&T .....	09
Quadro nº 02 - Símbolos das tolerâncias geométricas .....	15
Quadro nº 03 – símbolos dos modificadores.....	15
BIBLIOGRAFIA .....	52
ANEXOS .....	55

## **Introdução**

Apesar do alto nível de desenvolvimento tecnológico, ainda não é possível produzir peças perfeitamente exatas. Por causa desta situação a aproximadamente 300 anos foram criados sistemas de tolerância dimensional.

Um destes sistemas de tolerância é conhecido como sistema cartesiano, e continua sendo ensinado nas escolas técnicas e faculdades de engenharia. Sendo usado isoladamente, além de estar obsoleto, aumenta o custo dos produtos.

Para que os produtos industriais brasileiros sejam competitivos, é necessário que modernas ferramentas sejam utilizadas a partir dos projetos dos mesmos até a sua fabricação.

Para buscar uma melhor qualidade e competitividade de seus produtos, as empresas passarão a cada vez mais utilizar uma ferramenta muito importante que é o GD&T. Esta ferramenta controla além das dimensões cartesianas, a forma e posição dos elementos de uma peça.

## HISTÓRICO DO GD&T

O criador do GD&T foi Stanley Parker, engenheiro inglês da fábrica de torpedos da marinha britânica, localizada na cidade de Alexandria, Escócia.

Nessa época, 1940, acreditava-se que o erro era inevitável. Tudo que era produzido, não importando o quê, continha um percentual de peças ruins. O modelo industrial da época tinha obrigatoriamente duas etapas: fabricar e inspecionar, para retirar as peças ruins do lote produzido.

Stanley Parker, pressionado pelo esforço de guerra, provocou uma grande controvérsia ao realizar uma experiência inédita. Montou produtos com peças reprovadas na inspeção. Em sua experiência constatou que a parte crítica na montagem dos produtos são os centros dos elementos das peças, para isso o campo de tolerância deveria ser circular e não quadrado como o sistema cartesiano determina.

Com um campo de tolerância circular se ganha 57% de aumento na margem de erro. Então Parker concluiu que as peças reprovadas, na verdade, eram peças boas. O que estava errado era o conceito de peça ruim. Assim nasceu o GD&T, que utiliza campos de tolerâncias cilíndricos. Esta foi a primeira alteração sofrida pelo sistema cartesiano, 300 anos após a sua criação.

“Em 1945 o exército publicou um manual de dimensionamento e tolerâncias que introduzia o uso dos símbolos (melhor do que notas) para especificar tolerâncias de forma e posição.” (Krulikowski, 1988, pg.11).

## **1 – Generalidades**

As informações deste material estão baseadas na norma ASME Y14.5M-1994. **ASME Y14.5M-1994** é a norma de dimensionamento e tolerâncias. ASME significa American Society of Mechanical Engineers. O Y 14.5 é o número da norma. O “M” é para indicar que a norma é métrica, e 1994 é o ano que a norma foi oficialmente aprovada.

### **1.1 - Desenhos de Engenharia**

Um desenho de engenharia é um documento que comunica uma descrição precisa da peça. Esta descrição consiste de figuras, palavras, números e símbolos. Juntos esses elementos comunicam as informações da peça para todos os usuários do desenho. As informações dos desenhos de engenharia incluem:

- Geometria (aspecto, tamanho, e forma da peça);
- Relacionamentos funcionais críticos;
- Tolerâncias permissíveis para funções adequadas;
- Material, tratamento térmico, revestimento de superfícies;
- Informações da documentação da peça (número da peça, nível de revisão).

### **1.2 - Regras Fundamentais do Dimensionamento**

As Regras Fundamentais do Dimensionamento é um grupo de regras gerais para dimensionamento e interpretação de desenhos. ASME Y14.5M-1994 tem definido um grupo de regras fundamentais para este propósito. As dez regras fundamentais estão listadas abaixo:

1. Cada dimensão deve ter uma tolerância, exceto aquelas dimensões especificamente identificadas como referência, máximo, mínimo, ou tamanho de comercial (estoque comercial).
2. Dimensionamento e tolerância devem se completar, havendo uma definição completa de cada elemento da peça.

3. As dimensões devem ser selecionadas e arranjadas para satisfazer as relações de função e montagem de uma peça e não deve ser sujeitas a mais do que uma interpretação.
4. O desenho deve definir uma peça sem especificar os métodos de manufatura.
5. Um ângulo de  $90^\circ$  aplica-se onde as linhas de centro e as linhas dos elementos descritos são mostradas no desenho de ângulos exatos, e não são mostradas dimensões.
6. Um ângulo básico de  $90^\circ$  aplica-se onde as linhas de centro dos elementos de uma forma – ou superfícies mostradas em ângulos exatos de um desenho – são localizadas e definidas por dimensões básicas, e não é especificado o ângulo.
7. A menos que de outra forma não especificado, todas as dimensões são aplicadas a  $20^\circ\text{ C}$  ( $68^\circ\text{ F}$ ).
8. Todas as dimensões e tolerâncias são aplicadas em condições de estado livre. Este princípio não se aplica as peças não-rígidas.
9. A menos que de outra forma especificada, todas as tolerâncias geométricas aplicam-se a profundidade total, comprimento, e largura do elemento.
10. Dimensões e tolerâncias aplicam-se somente ao nível de desenho onde eles são especificados. Uma dimensão especificada em um detalhe do desenho não é mandatório para o elemento do desenho de montagem.

As primeiras três regras estabelecem convenções de dimensionamento, regra quatro expressa que os métodos de manufatura não devem ser mostrados. Regras cinco e seis estabelecem as convenções para ângulos de  $90^\circ$ . Regras sete, oito e nove estabelecem condições por definição (default) para dimensões e zonas de tolerâncias. A regra dez estabelece uma convenção para qual nível de desenho as dimensões e tolerâncias se aplicam.

### **1.3 - Sistema de tolerâncias coordenadas**

Por quase cento e cinquenta anos, um sistema de tolerâncias chamado “tolerâncias coordenadas” foi o sistema de tolerâncias predominante usado nos desenhos de engenharia. **Tolerâncias coordenadas** é um sistema de dimensionamento onde um elemento da peça é localizado (ou definido) por significar tolerâncias retangulares com tolerâncias dadas.

#### **1.3.1 - Desvantagens do sistema de tolerâncias coordenadas**

As tolerâncias coordenadas foram bem sucedidas quando as companhias eram pequenas, porque ele era fácil de comunicar ao operador para explicar qual era a intenção do desenho de engenharia. Passado os anos, as companhias cresceram de tamanho, as peças foram obtidas por muitos recursos. A habilidade para o projetista e o operador de comunicar diretamente foi diminuída, e as desvantagens do sistema de tolerâncias coordenadas tornaram-se evidentes. Tolerâncias coordenadas simplesmente não tem a precisão completa de comunicar as exigências da peça.

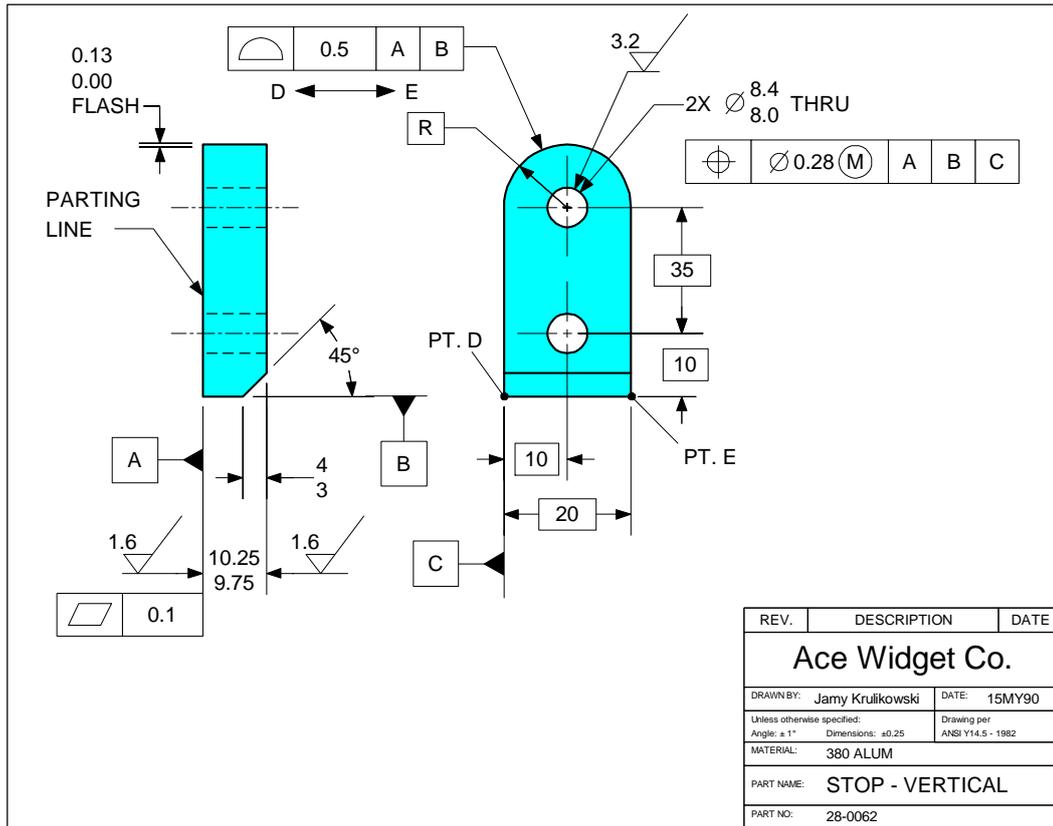
Tolerâncias coordenadas contêm três grandes desvantagens. São elas:

1. Zonas de tolerâncias quadradas ou retangulares;
2. Zonas de tolerâncias de tamanho fixo;
3. Instruções equivocadas para inspeção.

### **1.4 - O Sistema de Dimensionamento e Tolerâncias Geométricas**

O Dimensionamento e Tolerância Geométrica (GD&T) é uma linguagem internacional que é usado em desenhos de engenharia para descrever exatamente uma peça. A linguagem do GD&T consiste de um bem-definido grupo de símbolos, regras, definições e convenções. GD&T é uma linguagem matemática precisa que pode ser usada para descrever o tamanho, forma, orientação e localização de elementos (features) da peça. GD&T é também uma filosofia de projeto de como projetar e dimensionar peças. A figura a

seguir mostra um exemplo de um desenho de engenharia com uso do GD&T.



Quadro nº 01: Desenho com utilização de GD&T

## Filosofia de Projeto das Tolerâncias Geométricas

Tolerâncias geométricas encorajam uma filosofia de dimensionamento chamada “dimensionamento funcional”. **Dimensionamento funcional** é uma filosofia de dimensionamento que define uma peça baseada nas funções do produto final. A filosofia do dimensionamento funcional é encorajada em muitos lugares através da norma Y14.5. Embora o dimensionamento funcional é a filosofia, não significa que o projetista deva projetar o componente sem adotar outros fatores na consideração.

### 1.4.1 - Benefícios do GD&T

#### - Melhoria na Comunicação

GD&T pode fornecer uniformidade nas especificações e interpretações do desenho, através disso reduz as controvérsias e suposições. Projeto, produção e inspeção, todos trabalham na mesma linguagem.

### **- Fornece Melhor Projeto do Produto**

O uso do GD&T pode melhorar o projeto do produto por fornecer aos projetistas as ferramentas para “dizer o que elas significam”, e por seguir a filosofia do dimensionamento funcional.

### **- Aumenta a Eficácia das Tolerâncias**

Há duas maneiras das tolerâncias serem aumentadas através do uso do GD&T. Primeiro, sob certas condições o GD&T fornece “bônus extra” de tolerância para a manufatura. Esta tolerância adicional pode fazer significantes economias de dinheiro nos custos de produção. Segundo, pelo uso do dimensionamento funcional, as tolerâncias são designadas para a peça sob as exigências funcionais. Isso oferece resultados de uma tolerância maior para a manufatura. Ele elimina os problemas que resultam quando os projetistas copiam tolerâncias existentes, ou designam tolerâncias apertadas, por que eles não conhecem como determinar uma tolerância razoável”.

## **1.4.2 - O Grande Mito do GD&T**

Mesmo que as tolerâncias geométricas tenham sido aceitados por muitas companhias e indivíduos, ele ainda é associado com um grande mito. O **Grande Mito do GD&T** é a concepção errada de que as tolerâncias geométricas aumentam os custos do produto.

O mito vem de dois fatores. O primeiro é o medo do desconhecido; ele é simples para ser utilizado em situações que não estão bem entendidas. Quando uma peça é dimensionada com GD&T para fazer estimativa de custo, as pessoas tendem a aumentar a avaliação de quanto a peça irá custar simplesmente porque elas estão com medo das exigências que o desenho contém, por não estarem aptas a interpretar. As tolerâncias geométricas levam a culpa para os custos altos, mas na realidade, as tolerâncias geométricas provavelmente permitem a peça maiores tolerâncias, e os usuários do desenho não entenderam como interpretar desenho.

O segundo fator que ajuda a criar o mito são as práticas pobres de projeto. Muitos desenhos contêm tolerâncias que são muito difíceis de obter em produção, sem levar em consideração de qual sistema de dimensionamento é usado. Isso se origina de projetistas que simplesmente não tomam os devidos cuidados em determinar as tolerâncias. De certo modo a linguagem do

GD&T leva a culpa. Ela não é a causa do defeito da linguagem; ela é do projetista.

O fato é que quando corretamente usado, o GD&T ECONOMIZA DINHEIRO. O grande mito sobre tolerâncias geométricas pode ser eliminado com um melhor entendimento das tolerâncias geométricas por ambos os projetistas e os usuários dos desenhos. Simplesmente propor conhecimento é a chave para eliminar o mito.

Vamos revisar em poucos FATOS sobre as tolerâncias geométricas:

- GD&T aumenta as tolerâncias com zonas de tolerâncias circulares.
- GD&T permite tolerâncias adicionais (bônus).
- GD&T permite ao projetista uma comunicação mais clara.
- GD&T elimina confusão na inspeção.

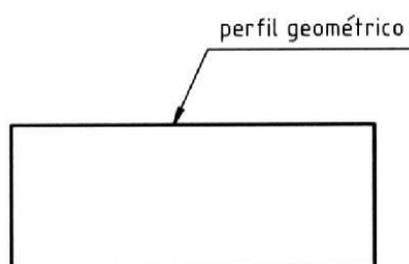
## 2 – Conceitos básicos para interpretação das normas

Todo corpo é separado do meio que o envolve por uma superfície. Esta superfície, que limita o corpo, e chamada de **superfície real**.

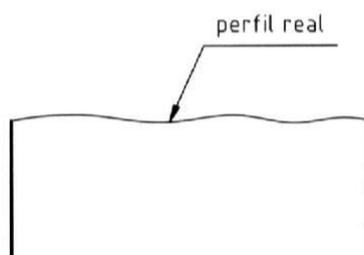
A superfície real do corpo não é idêntica à **superfície geométrica**, que corresponde à superfície ideal, representada no desenho. Para fins práticos, considera-se que a superfície geométrica é isenta de erros de forma, posição e de acabamento.

Ao término de um processo de fabricação qualquer, o corpo apresenta uma **superfície efetiva**. Esta corresponde à superfície avaliada por meio de técnicas de medição e se aproxima da superfície real.

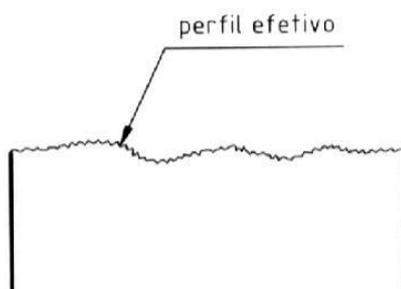
Imaginando uma superfície geométrica cortada por um plano perpendicular, como mostra a figura, você obterá um **perfil geométrico**.



O **perfil real** é o que resulta da interseção de uma superfície real por um plano perpendicular.



Já o perfil obtido por meio de avaliação ou de medição, que corresponde a uma imagem aproximada do perfil real, é o chamado **perfil efetivo**.



As diferenças entre o perfil efetivo e o perfil geométrico são os erros

apresentados pela superfície em exame e são genericamente classificados em dois grupos.

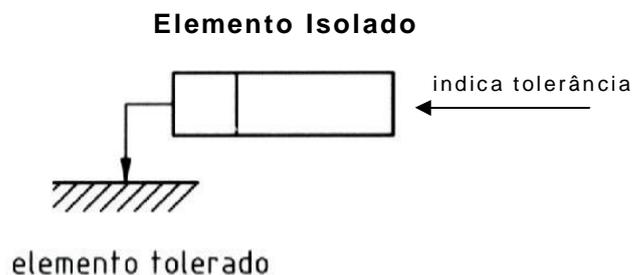
**Erros Macrogeométricos:** também conhecidos como erros de forma e/ou de posição. Podem ser detectados por instrumentos convencionais como relógios comparadores, micrômetros, esquadros, desempenos, etc. de acordo com a necessidade, podem também ser detectados por equipamentos eletrônicos.

**Erros Microgeométricos:** formados por sulcos ou marcas deixadas nas superfícies efetivas pelo processo de usinagem, deformação no tratamento térmico, tensões residuais de forjamento ou fundição. Detecta-se por meio de instrumentos, como rugosímetros e perfiloscópios. Esses erros são também definidos como rugosidade da superfície.

## 2.1 - Indicações de tolerâncias geométricas (elementos isolados e associados)

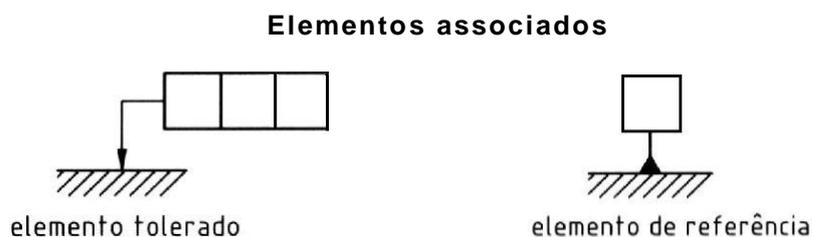
Os elementos tolerados, tanto isolados como associados, podem ser linhas, superfícies ou pontos.

A tolerância refere-se a um **elemento isolado** quando ela se aplica diretamente a este elemento, independente dos demais elementos da peça, como mostra a figura a seguir.



Quando a tolerância refere-se a **elementos associados**, um desses elementos será o tolerado e o outro será a referência. Os elementos de referência também podem ser linhas, superfícies, pontos ou ainda planos de simetria.

Na verificação, o elemento de referência, embora seja um elemento real da peça, é sempre considerado como ideal, isto é, isento de erros.



Alguns tipos de tolerância só se aplicam em elementos isolados. Outros só se aplicam em elementos associados. E há certas características que se aplicam tanto em elementos isolados como elementos associados.

Conforme as normas técnicas sobre tolerância geométrica, as características toleradas podem ser relacionadas a: **forma, posição, orientação e batimento**.

A **tolerância de forma** é a variação permitida em relação a uma forma perfeita definida no projeto. Esta variação pode ser de:

- Retilidade (retitude)
- Planeza
- Circularidade
- Cilindricidade
- Perfil de linha qualquer
- Perfil de superfície qualquer

A **tolerância de orientação** refere-se ao desvio angular aceitável de um elemento da peça em relação à sua inclinação ideal, prescrita no desenho. Esse desvio pode ser de:

- Paralelismo
- Perpendicularidade
- Inclinação

A **tolerância de posição** estabelece o desvio admissível de localização de um elemento da peça, em relação à sua localização teórica, prescrita no projeto. Pode ser de:

- Concentricidade
- Simetria
- Posição

A **tolerância de batimento** refere-se a desvios compostos de forma e posição, em relação ao eixo de simetria da peça, quando esta é submetida a rotação. Pode ser de batimento:

- Circular
- Total

Quanto à direção pode ser axial, radial, especificada ou qualquer.

## 2.2 - Símbolos Indicativos das Tolerâncias Geométricas

Cada tipo de tolerância geométrica é identificado por um símbolo apropriado. Esses símbolos devem ser usados nos desenhos técnicos para indicar as tolerâncias especificadas. O quadro a seguir apresenta uma visão de conjunto das tolerâncias geométricas e seus respectivos símbolos.

	Tipo de tolerância	Característica Tolerada	Símbolo
<b>Elementos Isolados</b>	<b>Forma</b>	<b>Retitude (retilineidade)</b>	--
		<b>Planeza</b>	
		<b>Circularidade</b>	
		<b>Cilindricidade</b>	
<b>Elementos isolados ou associados</b>	<b>Perfil</b>	<b>De linha qualquer</b>	
		<b>De superfície qualquer</b>	
<b>Elementos Associados</b>	<b>Orientação</b>	<b>Paralelismo</b>	//
		<b>Perpendicularidade</b>	
		<b>Inclinação</b>	
	<b>Localização</b>	<b>Posição</b>	
		<b>Concentricidade</b>	
		<b>Simetria</b>	
	<b>Movimento</b>	<b>Batimento circular</b>	
		<b>Batimento total</b>	

Quadro nº 02: Símbolos de Tolerâncias geométricas

Significado dos símbolos	Conforme ASME Y14.5M
<b>Condição de máximo material</b>	
<b>Condição de mínimo material</b>	
<b>Campo de tolerância projetado</b>	
<b>Estado livre</b>	
<b>Plano tangente</b>	
<b>Raio esférico</b>	<b>S R</b>
<b>Diâmetro</b>	$\varnothing$
<b>Diâmetro esférico</b>	<b>S<math>\varnothing</math></b>
<b>Raio</b>	<b>R</b>
<b>Controle de raio</b>	<b>CR</b>

Quadro nº 03: Símbolos modificadores

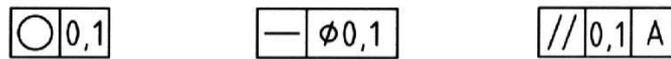
### 2.3 - Forma de indicação das tolerâncias geométricas nos desenhos técnicos

Nos desenhos técnicos, a característica tolerada deve estar indicada em um quadro retangular, dividido em duas ou mais partes. Nessas divisões são inscritos, da esquerda para a direita, na seguinte ordem:

- Símbolo da característica a ser tolerada;

- O valor da tolerância para dimensões lineares. Se a zona de tolerância tiver a forma circular ou cilíndrica, este valor deve ser precedido do símbolo de diâmetro ( $\varnothing$ );
- Letra ou letras, quando for o caso, para identificar os elementos tomados como referência.

Os exemplos a seguir ilustram diferentes possibilidades de indicação nos quadros de tolerância.

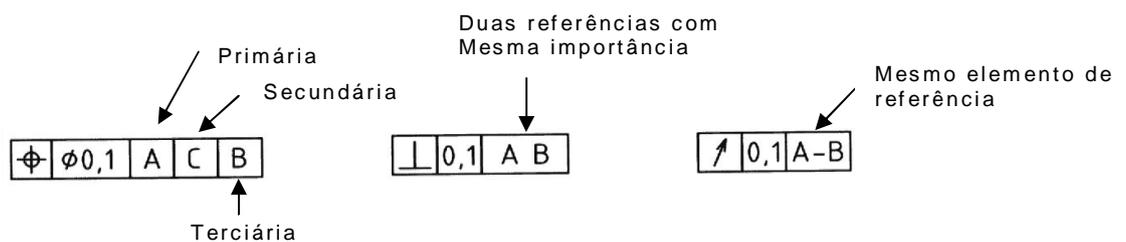


Na figura da esquerda, o símbolo indica que se trata de tolerância de circularidade. O valor **0,1** indica que a tolerância é de um décimo de milímetro, no máximo. Neste caso, trata-se de tolerância de um elemento isolado.

Na figura central, o valor da tolerância também é de **0,1**, mas o símbolo indica que se trata de tolerância de retilidade. A novidade é o sinal de diâmetro antes do valor da tolerância, que indica que o campo de tolerância neste caso tem a forma cilíndrica.

Na figura da direita, o símbolo mostra que está sendo indicada uma tolerância de paralelismo. Este tipo de tolerância só se aplica a elementos associados. Portanto, é necessário identificar o elemento de referência, neste exemplo representado pela letra **A**.

No exemplo anterior, apenas um elemento foi tomado como referência. Mas, há casos em que é necessário indicar mais de um elemento de referência. Quando isso ocorre, algumas regras devem ser seguidas. Os exemplos a seguir mostram as formas possíveis de indicação de mais de um elemento de referência.



Na figura da esquerda, as letras **A**, **C** e **B** servem para indicar quantos e quais são os elementos tomados como referência.

Quando as letras que representam os elementos de referência aparecem em compartimentos separados, a seqüência de apresentação, da esquerda para a direita, indica a ordem de prioridade. Neste exemplo, o elemento de referência **A** tem prioridade sobre o **C** e o **B**; e o elemento **C** tem prioridade sobre o **B**.

Na figura do meio, as letras **A** e **B** aparecem no mesmo compartimento. Isso indica que os dois elementos de referência têm a mesma importância.

Finalmente, na figura da direita, as letras **A** e **B** estão inscritas no mesmo compartimento, mas aparecem separadas por hífen. Essa indicação deve ser usada quando as letras diferentes relacionam-se ao mesmo elemento de referência.

Se a tolerância se aplica a vários elementos repetitivos, isso deve ser indicado sobre o quadro de tolerância, na forma de uma nota. O número de elementos aos quais a tolerância se refere deve ser seguida por um sinal de multiplicação ou pode-se escrever direto a quantidade de elementos a serem tolerados, como mostram as figuras a seguir.

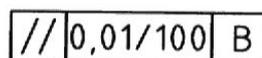


Se for necessário especificar alguma restrição quanto à forma do elemento tolerado, essa restrição deve ser escrita próxima ao quadro de tolerância, ligada ou não ao quadro por uma linha.



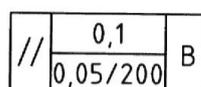
Nos exemplos apresentados, a inscrição “não convexo” significa que a superfície efetiva, além de estar dentro dos limites especificados, não pode apresentar perfil convexo.

Se a restrição for relacionada à extensão em que a característica tolerada deve ser verificada, o compartimento da parte a ser verificada deve ser especificada no quadro de tolerância, após o valor da tolerância e separado dele por uma barra inclinada, como mostra a figura.



No exemplo o valor ao lado da tolerância de 0,01 mm significa que o paralelismo do elemento tolerado em relação ao elemento de referência B, deverá ser verificado numa extensão de 100mm livremente escolhidos ou indicados no desenho da peça.

Pode ser necessário, em alguns casos, indicar uma tolerância mais apertada para uma parte do elemento tolerado. Nesses casos, a indicação restrita a uma parte limitada da peça deve vir indicada no quadro de tolerância, num compartimento abaixo da tolerância principal, como na figura a seguir.



Nesse exemplo, deve ser observada a tolerância de paralelismo em relação ao elemento de referência B, de no máximo 0,1mm, que é a tolerância

principal. Ao longo da extensão tolerada, uma parte com o comprimento de 200mm admite uma tolerância de paralelismo menor, de no máximo 0,05mm, em relação ao mesmo elemento de referência B.

Caso um mesmo elemento tenha de ser tolerado em relação a mais de uma característica, as especificações de tolerância devem ser feitas em dois quadros, um sobre o outro, como a figura.



No exemplo apresentado, o mesmo elemento está sendo tolerado quanto à circularidade de forma isolada, e quanto ao paralelismo em relação ao elemento de referência B.

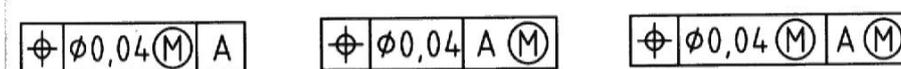
Algumas vezes, uma indicação de uma tolerância engloba outra e portanto, não é necessário indicar as duas. Basta especificar a mais abrangente. Por exemplo, a condição de retitude está contida na especificação de paralelismo. Porém, o contrário não é verdadeiro: a tolerância de retitude não limita erros de paralelismo.

Outros símbolos conhecidos como **modificadores** podem aparecer no quadro de tolerância, ao lado do valor numérico. Por exemplo: o símbolo indicativo da condição de máximo material (M) o símbolo indicativo de da condição de mínimo material (L), o (T) símbolo indicativo de plano tangente e o símbolo indicativo de campo de tolerância projetado (P).

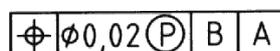
**Condição de máximo material** – condição de um elemento de forma, para o qual todas as dimensões locais se encontram no limite onde o material do elemento é máximo. Por exemplo, o menor diâmetro de um furo ou o maior diâmetro de um eixo.

**Condição de mínimo material** – condição de um elemento de forma, para o qual todas as dimensões locais se encontram no limite onde o material do elemento é mínimo. Por exemplo, o diâmetro maior do furo e o menor diâmetro do eixo.

Os símbolos (M) e (L), tanto podem aparecer após o valor de tolerância, como após a letra de referência, ou ainda depois dos dois.



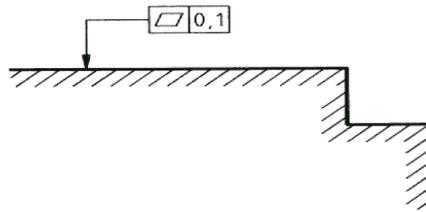
Os símbolos (P) e (T) são aplicados em alguns casos em que as letras de orientação e de posição não devem ser indicadas em relação ao próprio elemento tolerado, mas sim em relação a uma projeção externa dele.



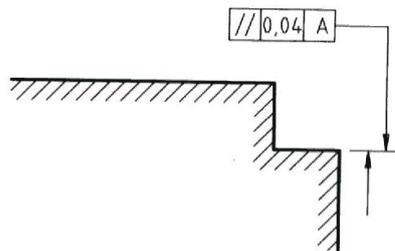
desenhos técnicos. Primeiro, serão examinadas os modos de representar o quadro de tolerância em relação aos elementos tolerados. Depois, serão analisadas as formas aceitáveis de indicação dos elementos de referência.

## 2.4 - Indicação no Elemento Tolerado

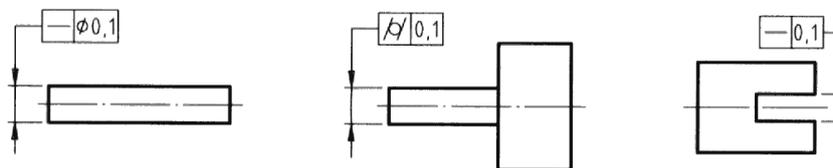
Uma forma de indicar a tolerância geométrica no desenho técnico consiste em ligar o quadro de tolerância diretamente ao contorno do elemento tolerado por meio de uma linha auxiliar (linha contínua estreita) com uma seta na sua extremidade.



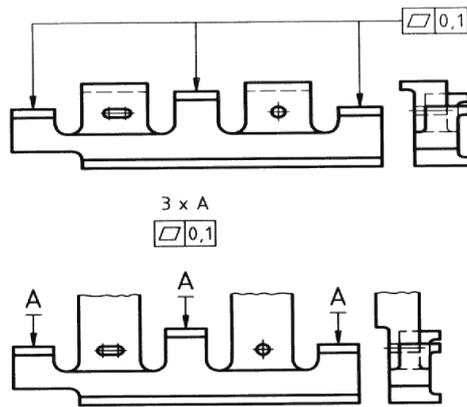
Uma alternativa consiste em ligar o quadro de tolerância a uma linha auxiliar no prolongamento do contorno, se a tolerância se aplica a linha ou à própria superfície.



Quando a tolerância for aplicada a um eixo como nas duas figuras à baixo ou ao plano médio de um elemento cotado, como mostra a figura à direita, o quadro de tolerância pode ser ligado à linha de extensão, em prolongamento à linha de cota.



Se a mesma característica de tolerância geométrica e o mesmo valor de tolerância forem especificados para vários elementos distintos, não é necessário repetir o quadro de tolerância para cada elemento. Em vez disso, as indicações de tolerância podem ser feitas como mostram as figuras a seguir:



Nos dois exemplos a tolerância de planeza, de no máximo 0,1mm, aplica-se igualmente aos três elementos indicados nos desenhos.

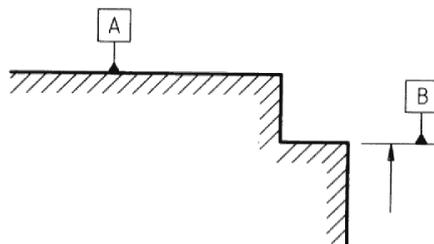
## 2.5 - Indicação no elemento de referência

Em alguns dos exemplos analisados anteriormente, os quadros de tolerância apresentavam uma ou mais letras maiúsculas representando os elementos de referência para verificação do elemento tolerado.

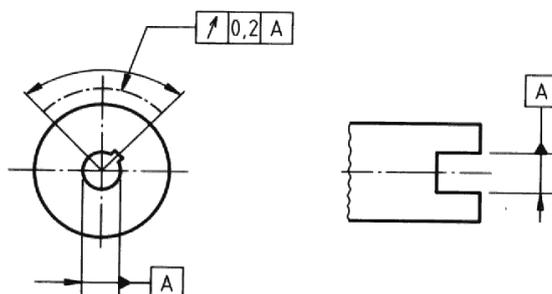
Nos desenhos técnicos, essas mesmas letras maiúsculas devem ser inscritas num quadro e ligadas ao elemento de referência por uma linha auxiliar (linha contínua estreita), que termina num triângulo **cheio** ou **vazio**, apoiado sobre o elemento de referência.



A base do triângulo pode apoiar-se diretamente no contorno do elemento de referência ou no seu prolongamento. Só não é permitido apoiar a base do triângulo diretamente sobre uma linha de cota.

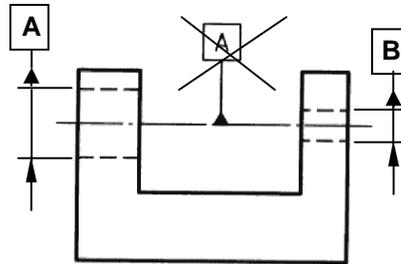


Quando o elemento de referência for um plano médio de uma parte cotada, ou um eixo, a base de triângulo pode ser apoiada numa extensão da linha de cota.

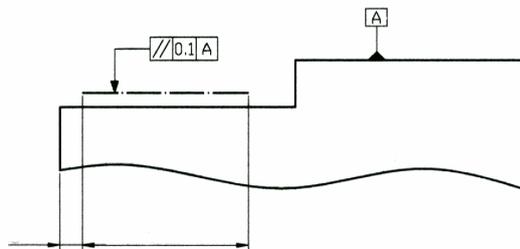


Na figura da direita, onde o elemento de referência é o plano médio do rasgo retangular, uma das setas foi suprimida por falta de espaço, o que é aceitável segundo a norma técnica.

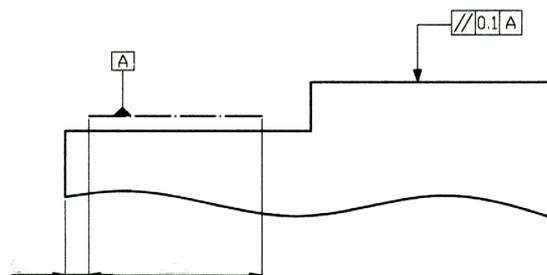
A base do triângulo **não** pode ser apoiada diretamente sobre o eixo ou plano médio do elemento de referência, quando se trata do eixo ou plano de um elemento único ou do eixo ou plano **comum** a dois elementos.



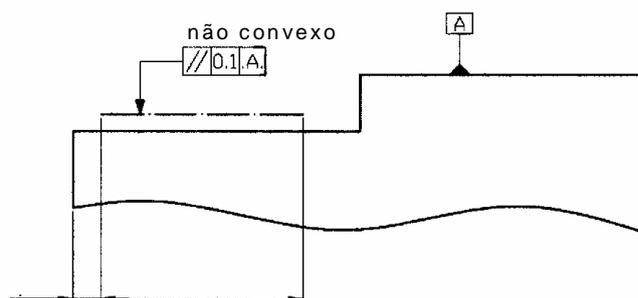
Para indicar que a tolerância restringe-se a uma parte limitada de um comprimento ou superfície, deve-se usar uma linha e ponto larga para delimitar a região tolerada.



Do mesmo modo, se apenas parte do elemento de referência for tomada como base para verificação da característica tolerada, esta parte deve ser delimitada no desenho pela linha traço e ponto larga.



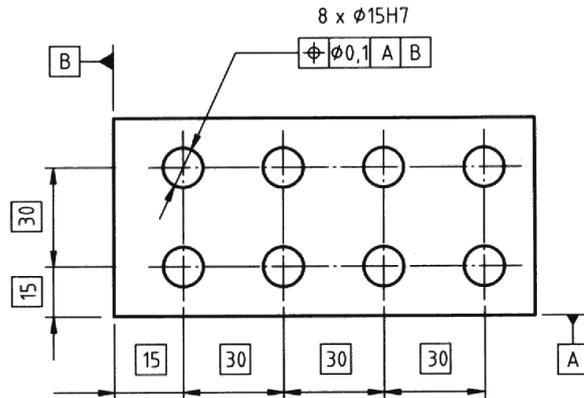
Se houver restrições quanto a forma em alguma parte definida do elemento tolerado, a região correspondente também deve ser delimitada pela linha traço e ponto larga e uma nota deve ser escrita próxima ao quadro de tolerância especificando o tipo de restrição aplicável.



## 2.6 - Representação das cotas básicas

São chamadas de cotas básicas as dimensões teoricamente exatas que determinam a posição, o perfil de uma linha ou de uma superfície qualquer ou a inclinação de um elemento.

Essas cotas não devem ser toleradas diretamente. No desenho, elas são representadas emolduradas, como mostra a figura a seguir.



No exemplo, as cotas de localização dos furos aparecem dentro de um quadro, que significa que se trata de cotas básicas. A tolerância de posição aparece indicada em relação ao centro de cada furo, tomando como referência as arestas horizontais e verticais da peça. Este tipo de indicação tem por objetivo evitar o acúmulo de erros de localização dos elementos na produção da peça.

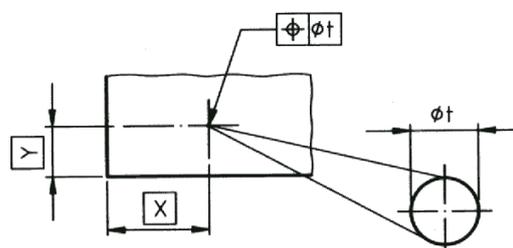
As várias tolerâncias geométricas são definidas com suas respectivas zonas de tolerância. Essas zonas correspondem ao que as normas chamam de **campo de tolerância**, conceito extremamente importante das tolerâncias geométricas.

## 2.7 - Campo de Tolerância

A tolerância geométrica para um elemento, define uma região dentro da qual o elemento tolerado deve estar contido. Portanto, **campo de tolerância** é o espaço onde devem estar localizados os desvios de forma, de posição e de orientação do elemento tolerado, em relação à sua forma geométrica ideal.

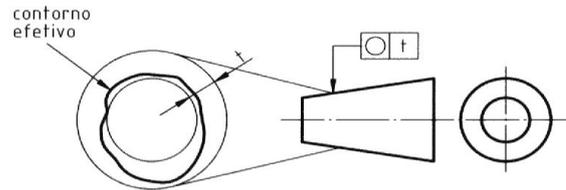
Dependendo da característica tolerada e da maneira como a tolerância é indicada no desenho técnico, o campo de tolerância é caracterizado por:

### 2.7.1 - Área dentro de um círculo



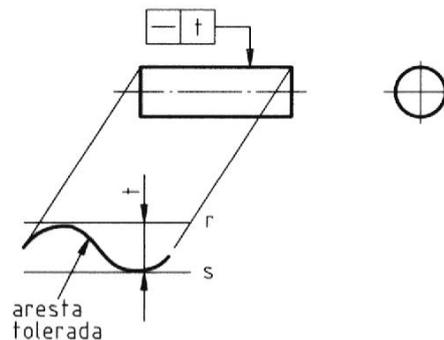
No exemplo anterior, o ponto de intersecção determinado pelas coordenadas “X” e “Y” (básicas) admite uma tolerância circular de diâmetro “t”. O detalhe ampliado do campo de tolerância ao lado indica que, para a peça ser aprovada, o ponto efetivo deve estar em qualquer posição dentro da área circular de diâmetro “t”.

### 2.7.2 - Área entre círculos concêntricos



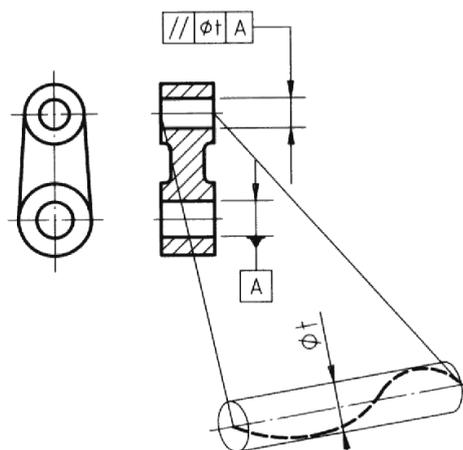
Neste exemplo, o campo de tolerância é determinado pela área entre dois círculos concêntricos distantes radialmente de “t”. A peça para ser aprovada deve apresentar efetivamente seu contorno dentro desta área.

### 2.7.3 - Área entre duas retas paralelas



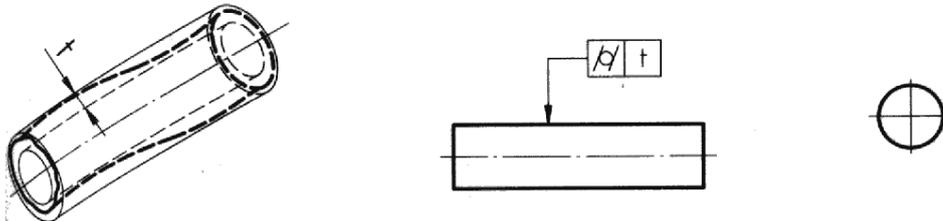
Na figura anterior, o campo de tolerância de retidão  $t$  é determinado pelas duas linhas paralelas  $r$  e  $s$ . Isso significa que a aresta tolerada, na peça pronta, deverá apresentar um perfil que não ultrapasse os limites determinados pelas duas paralelas  $r$  e  $s$ .

### 2.7.4 - Espaço dentro de um cilindro



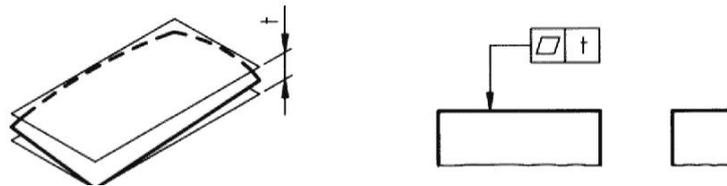
No exemplo, o valor da tolerância precedido pelo símbolo de diâmetro indica tratar-se de um campo de tolerância cilíndrico.

### 2.7.5 - Espaço entre dois cilindros coaxiais



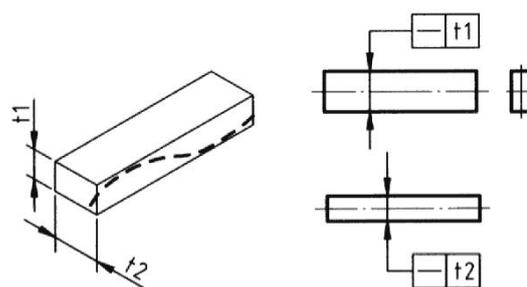
Neste caso, o campo de tolerância tem a forma cilíndrica e corresponde à região delimitada por dois cilindros coaxiais distantes radialmente de “t”. O contorno cilíndrico efetivo deve estar entre esses dois cilindros coaxiais.

### 2.7.6 - Espaço entre dois planos paralelos



Aqui o campo de tolerância  $t$  compreende a região situada entre dois planos paralelos, equidistantes da superfície ideal projetada no desenho. Na peça acabada, a planeza será considerada satisfatória, se todos os pontos da superfície tolerada estiverem contidos nessa região entre dois planos.

### 2.7.7 - Espaço dentro de um paralelepípedo



Quando um mesmo elemento é tolerado em duas direções distintas, o campo de tolerância resultante tem a forma prismática. Na peça pronta, os pontos do elemento tolerado podem situar-se em qualquer região dentro do paralelepípedo determinando por  $t1$  e  $t2$ .

A visualização dos campos de tolerância, para cada característica tolerada, é importante porque fornece as “pistas” para determinar a forma de verificação das tolerâncias indicadas, nos produtos acabados. Por isso, este assunto será retomado em relação a cada uma das características de tolerância geométrica, apresentadas nos capítulos seguintes.

### 3. - TOLERÂNCIAS GEOMÉTRICAS DE FORMA

Um tampo de mesa que não esteja perfeitamente plano pode servir a diversas finalidades, sem prejuízo da sua funcionalidade. Mas, se esta mesa for usada como desempenho, a planeza do seu tampo passa a ser um requisito de importância fundamental. Neste caso, esta exigência quanto a exatidão da forma deve ser especificada no desenho técnico e posteriormente verificada no objeto acabado.

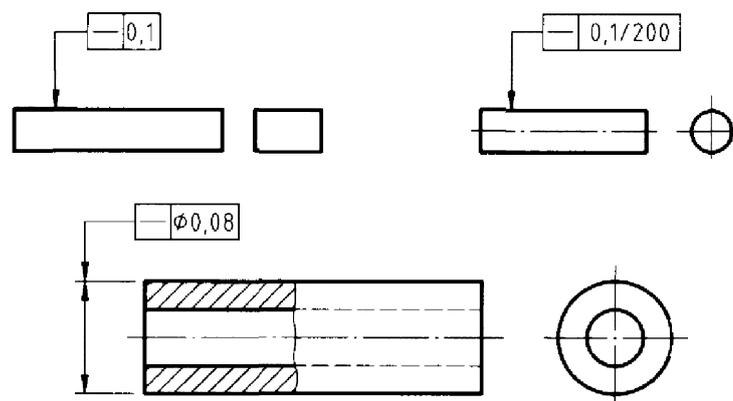
Este é somente um exemplo, e assim como a planeza outras características relativas às formas podem estar especificadas nos projetos, estando elas citadas abaixo.

- **Retilneidade** —
- **Planeza** ▭
- **Circularidade** ○
- **Cilindricidade** ∅
- **Perfil de uma linha qualquer** ⤴
- **Perfil de uma superfície qualquer** ⤵

#### 3.1– Tolerância de retilneidade (retitude) —

Refere-se ao desvio da forma do elemento tolerado, na peça pronta, em relação a uma linha reta, representada no desenho técnico.

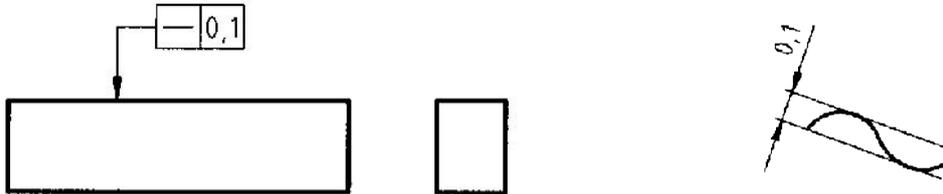
Este tipo de tolerância só se aplica a elementos isolados, como linhas contidas nas faces de peças, eixos de simetria linhas de centro ou geratrizes de sólidos de revolução.



O campo de tolerância de retilneidade pode assumir várias formas em função do modo como essa tolerância é indicada no desenho técnico.

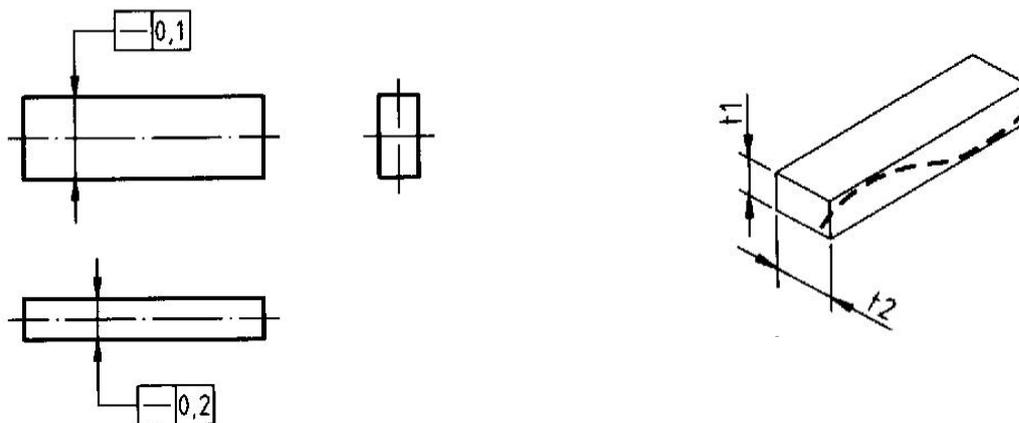
Na figura a seguir, a seta que liga o quadro de tolerância ao elemento tolerado indica que a tolerância é especificada somente em um plano. Neste

caso, o campo de tolerância é limitado por duas retas paralelas, separadas por uma distância de 0,1mm. Isto significa que qualquer linha da face superior da peça, paralela ao plano de projeção no qual é indicada a tolerância, deve estar contida entre duas retas paralelas afastadas 0,1mm entre si.



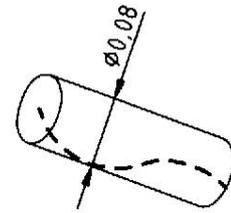
Esta tolerância também pode ser especificada em dois planos perpendiculares entre si, como mostra a figura a seguir. O elemento tolerado quanto a retilidade é a linha de centro da peça. A tolerância está indicada tanto na direção vertical, na vista frontal, como na direção horizontal, na vista superior.

Quando isso ocorre, o campo de tolerância tem a forma de um paralelepípedo de seção transversal  $t_1 \times t_2$



Neste caso, a linha de centro da peça pronta deve estar contida dentro de um paralelepípedo de 0,1mm de altura por 0,2mm de largura, ao longo de toda extensão da peça.

Outra possibilidade é o campo de retilidade apresentar forma cilíndrica. Quando isso ocorrer, o símbolo indicativo de diâmetro aparecerá ao lado esquerdo do valor da tolerância, no compartimento correspondente do quadro de tolerância.

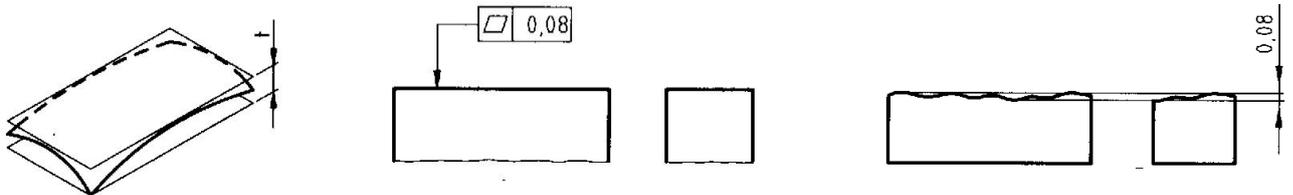


No exemplo apresentado, a tolerância de retilidade deve ser verificada em relação ao eixo da peça, que deve estar contido numa região cilíndrica com diâmetro de 0,08mm ao longo de toda extensão da peça.

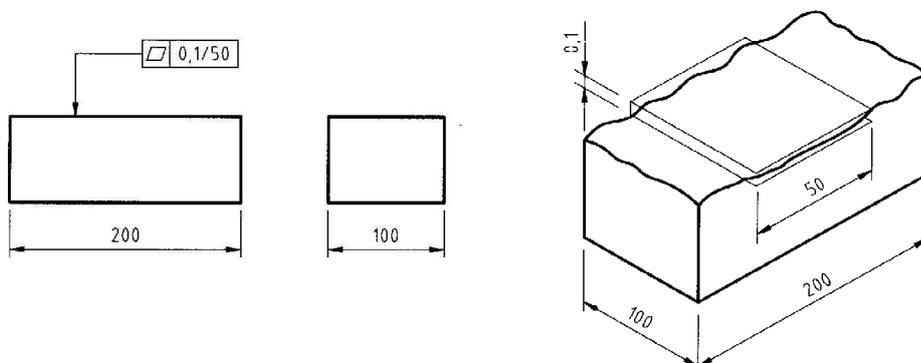
### 3.2 – Tolerância Geométrica de Planeza

É o desvio aceitável na forma do elemento tolerado em relação à forma plana ideal.

No exemplo a seguir, o elemento ao qual a tolerância de planeza se refere é a face superior da peça. O valor da tolerância de planeza é de 0,08mm. A indicação deste tipo de tolerância significa que a superfície efetiva tolerada deve estar contida entre dois planos paralelos afastados de uma distância “t”, que definem o campo de tolerância, e nesse caso é de 0,08mm.



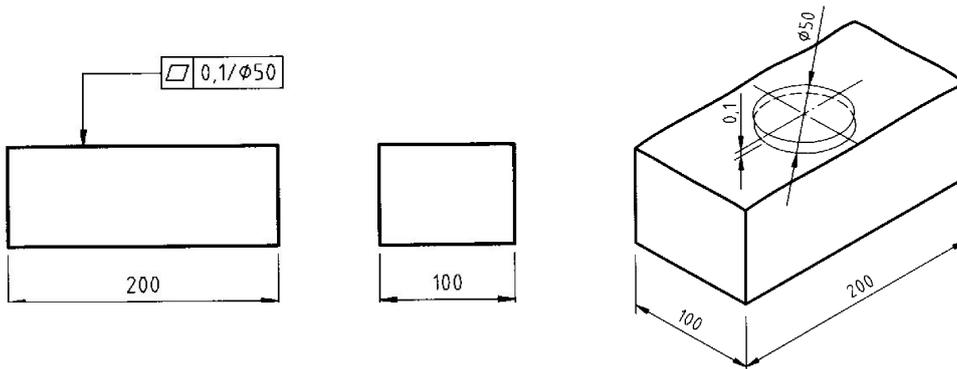
No próximo exemplo, a planeza deve ser verificada apenas em relação a uma extensão determinada da face superior da peça, como é indicado no quadro de tolerância.



**Obs:** se não for indicado um local específico no desenho a verificação deve ser feita em vários pontos da superfície ou elemento tolerado da peça.

Outra situação pode ocorrer quando a tolerância de planeza for especificada também em relação a uma região circular da superfície da peça. Quando isso ocorre, o símbolo indicativo de diâmetro precede a indicação numérica da extensão a ser tolerada no quadro de tolerância.

Neste caso a região a ser verificada é limitada a uma área circular livremente escolhida sobre a face tolerada.



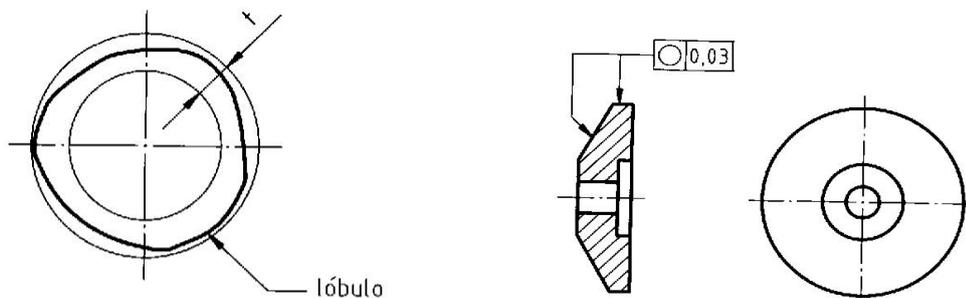
**Obs:** caso não seja especificado no desenho a verificação deverá ser feita em vários pontos do elemento tolerado.

### 3.3 – Tolerância de circularidade ○

Corresponde ao desvio da forma geométrica circular, que pode ser aceito sem comprometer a funcionalidade da peça. Esta característica é tolerada principalmente em peças cônicas e cilíndricas.

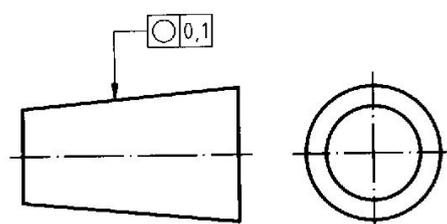
A peça a seguir apresenta indicação de tolerância de circularidade válida tanto para superfície cilíndrica como para superfície cônica. O valor da tolerância é 0,03mm.

O campo de tolerância correspondente é limitado, na seção de medição, por dois círculos concêntricos e coplanares afastados a uma distância "t" que neste caso é de 0,03mm.



No próximo desenho, a indicação de tolerância de circularidade aplica-se a uma superfície cônica.

Isso quer dizer que o contorno de cada seção transversal da peça acabada deve estar compreendido entre dois círculos concêntricos e coplanares afastados 0,1mm.

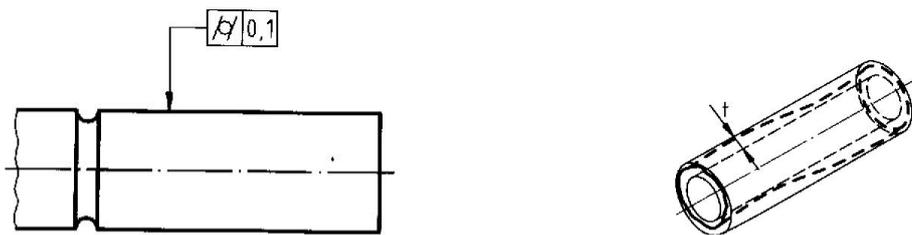


### 3.4 – Tolerância de cilindricidade

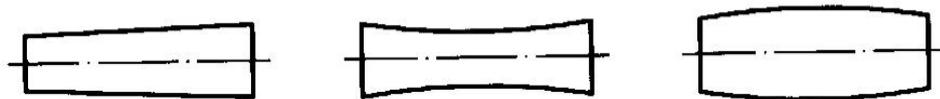
É o desvio aceitável da superfície cilíndrica efetiva em comparação com a superfície cilíndrica ideal, representada no desenho.

O campo de tolerância correspondente é limitado por dois cilindros coaxiais afastados uma distância “t”.

A peça a seguir apresenta indicação de tolerância de cilindricidade. O quadro de tolerância indica que a superfície cilíndrica efetiva deve estar compreendida entre dois cilindros coaxiais com 0,1mm de diferença entre seus raios.



A tolerância de cilindricidade compreende desvios de forma ao longo da seção longitudinal do cilindro, que incluem erros de conicidade, concavidade e convexidade.



Quando se considera uma seção do cilindro perpendicular à sua geratriz, o resultado é um caso particular de cilindricidade: a circularidade. Conseqüentemente, onde for necessário especificar tolerância de cilindricidade, implicitamente já se estará especificando também a tolerância de circularidade.

### 3.5 – Tolerância de perfil de uma linha qualquer

Às vezes a exatidão das formas irregulares de linhas com perfis compostos por raios e concordâncias, pode ser imprescindível para a funcionalidade da peça. Para garantir essa exatidão, é necessário especificar a tolerância de perfil de linha qualquer.

Este tipo de tolerância compreende o desvio de forma da linha tolerada em relação à mesma linha, representada no desenho técnico, quando se aplica a um elemento isolado.

A tolerância de perfil de linha qualquer, pode também ser aplicada, a elementos associados. Neste caso, o desvio da linha tolerada deve ser verificada em relação à linha tomada como elemento de referência.

A peça a seguir apresenta indicação de tolerância de linha qualquer. O valor da tolerância é de 0,04mm.

O campo de tolerância correspondente é a região compreendida entre duas linhas que tangenciam o diâmetro “t”, neste caso, igual a 0,04mm, de um círculo, cujo centro se situa sobre a linha geométrica teórica do perfil considerado.



Neste exemplo, o quadro de tolerância mostra que, em cada seção paralela ao plano de projeção, o perfil efetivo deve estar contido entre duas linhas que tangenciam círculos de 0,04mm de diâmetro, que têm seus centros sobre a linha com perfil geométrico ideal.

### 3.6 – Tolerância de perfil de superfície qualquer

As superfícies das peças também podem apresentar perfis irregulares, compostos por raios e concordâncias. Quando a exatidão da superfície irregular for um requisito fundamental para a funcionalidade da peça, é necessário especificar a tolerância de perfil de superfície qualquer.

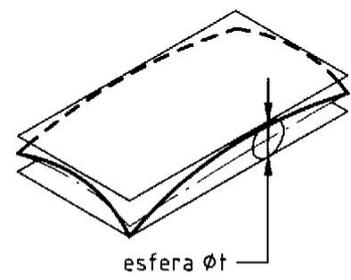
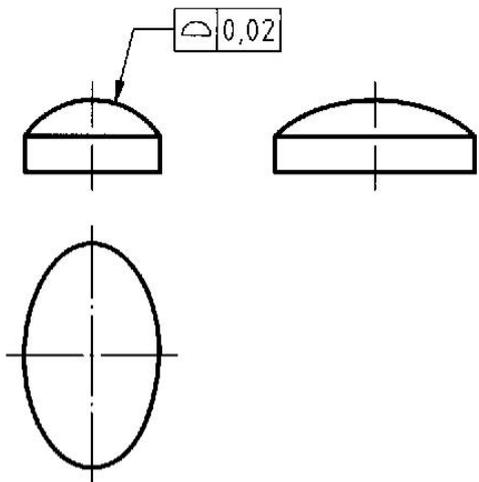
A tolerância de perfil de uma superfície qualquer corresponde ao desvio aceitável da superfície efetiva em relação à superfície representada no desenho.

Aplica-se tanto a elementos isolados como a elementos associados, ou seja, a verificação tanto pode ser feita com base na superfície prescrita no projeto, ou com base em outra superfície da peça, escolhida como elemento de referência.

O exemplo a seguir mostra a tolerância de superfície qualquer, aplicada a uma face convexa de uma peça. O valor da tolerância é de 0,02mm.

Seu campo de tolerância é limitado por duas superfícies geradas por esferas de diâmetro “t”, cujos centros situam-se sobre a superfície geométrica teórica do perfil considerado.

Na verificação, todos os pontos da superfície convexa efetiva devem situar-se entre duas superfícies simétricas em relação ao centro da esfera, afastados 0,02mm e que têm a mesma forma da superfície teórica projetada no desenho técnico.



## 4 – Tolerância de Orientação

O funcionamento de algumas peças, depende da correta relação angular entre as linhas e superfícies que compõem suas faces.

Quando analisamos de um modo geral, as possibilidades de orientação de elemento em relação a outro, três condições se apresentam:

- Paralelismo  $//$ : os elementos não formam ângulo entre si;
- Perpendicularidade  $\perp$ : os elementos formam ângulo de  $90^\circ$  entre si;
- Inclinação  $\sphericalangle$ : os elementos formam ângulo diferente de  $90^\circ$  entre si.

As tolerâncias de orientação referem-se aos desvios aceitáveis em relação ao paralelismo, à perpendicularidade e a inclinação de elementos associados.

Quando falamos em elementos associados, estamos falando do elemento tolerado e da referência. O elemento tolerado que aqui pode ser uma linha ou uma superfície, deve ser observado segundo uma orientação estabelecida no projeto.

Os elementos de referência também são constituídos por linhas ou superfícies da peça para efeito de verificação, deve-se assumir que os elementos de referência tem a forma geométrica perfeita, mesmo sabendo que na prática isso não ocorre. Do contrário não será possível separar, para efeito de verificação, diferentes tipos de desvio.

### 4.1 – Tolerância de Paralelismo $//$

Duas linhas são paralelas quando ambas são eqüidistantes em toda sua extensão. Pode-se falar também em paralelismo de superfícies e paralelismo de linhas e superfícies.

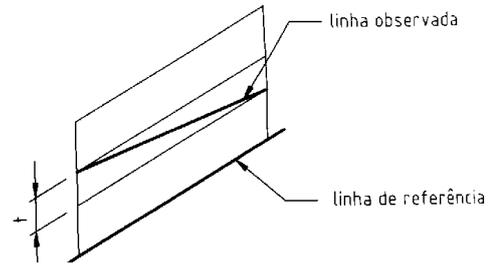
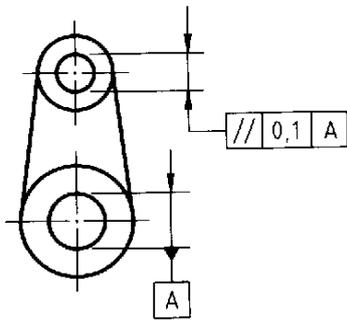
Tolerância de paralelismo corresponde ao desvio aceitável de eqüidistância entre dois elementos, um dos quais é o elemento tolerado e o outro o elemento tomado como referência.

#### 4.1.1 – Tolerância de paralelismo de uma linha em relação a uma linha de referência.

Quando o elemento tolerado é uma linha, e o elemento de referência também for uma linha, o campo de tolerância correspondente é limitado por duas retas paralelas afastadas a uma distância “t” e paralelas também à linha de referência.

A figura a seguir mostra um exemplo de aplicação de tolerância de paralelismo de uma linha em relação a uma linha de referência. Neste exemplo, o elemento tolerado é o eixo de centro do furo superior e o

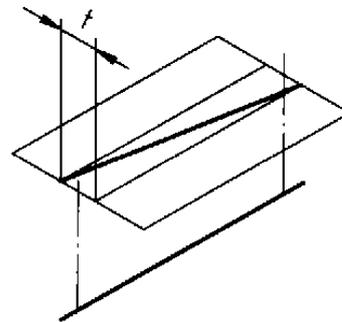
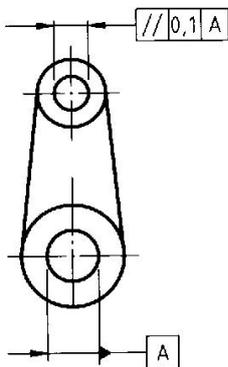
elemento de referência, indicado no desenho pela letra A, é o eixo do furo inferior.



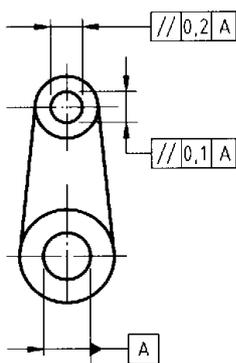
Na verificação, o eixo do furo superior deve estar contido entre duas retas 0,1mm entre si e paralelas ao eixo do furo inferior, tomado como referência. Neste caso, a tolerância só se aplica no plano vertical.

No próximo exemplo, a indicação no desenho mostra que a tolerância deve ser aplicada no plano horizontal.

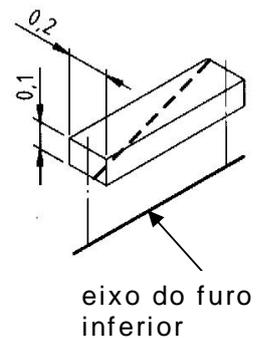
Neste caso, o campo de tolerância é definido por duas retas horizontais, paralelas à linha de centro do furo inferior tomada como referência, como mostra a figura a seguir.



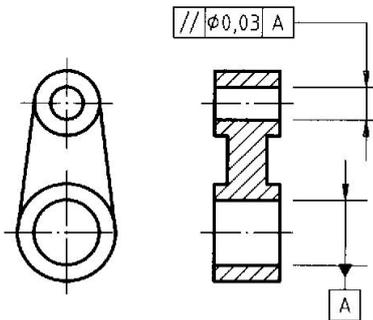
A tolerância pode ser especificada em duas direções perpendiculares entre si, como no próximo desenho.



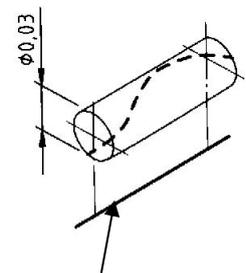
Neste caso, o campo de tolerância tem a forma de um paralelepípedo de seção transversal  $t_1 \times t_2$ . o eixo deve estar localizado dentro dele, sendo que o paralelepípedo deve estar paralelo ao eixo do furo inferior.



No próximo desenho a tolerância de paralelismo aparece precedido pelo símbolo de diâmetro, neste caso o campo de tolerância terá a forma de um cilindro, com diâmetro igual ao valor da tolerância especificada.



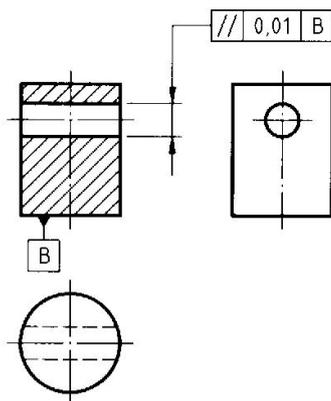
O eixo do cilindro imaginário, que delimita o campo de tolerância, deve ser paralelo ao elemento de referência, que no caso é a linha de centro do furo inferior.



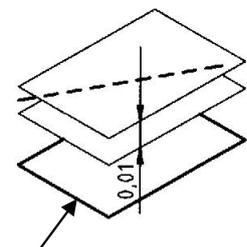
Eixo do furo inferior

#### 4.1.2 – Tolerância de paralelismo de uma linha em relação a uma superfície de referência.

Nos exemplos analisados anteriormente, tratava-se do paralelismo entre linhas. Mas pode ser necessário especificar a tolerância de paralelismo de uma linha em relação a uma superfície, como no desenho a seguir.

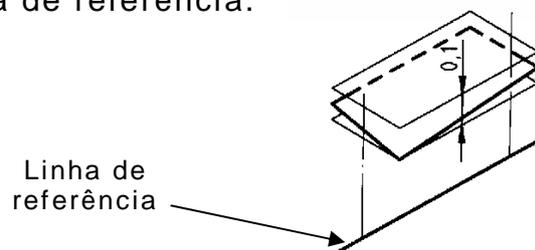
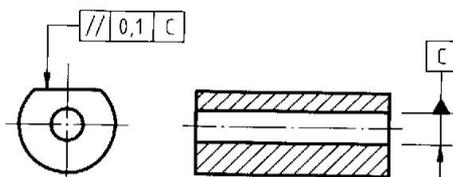


Neste exemplo, o eixo do furo cilíndrico deve estar paralelo à superfície inferior da peça. O desvio de paralelismo admitido é de 0,01mm entre si e paralelos à superfície da peça tomada como referência.



Superfície de referência

Em alguns casos, pode ser necessário especificar a tolerância de paralelismo de uma superfície em relação a uma linha de referência.



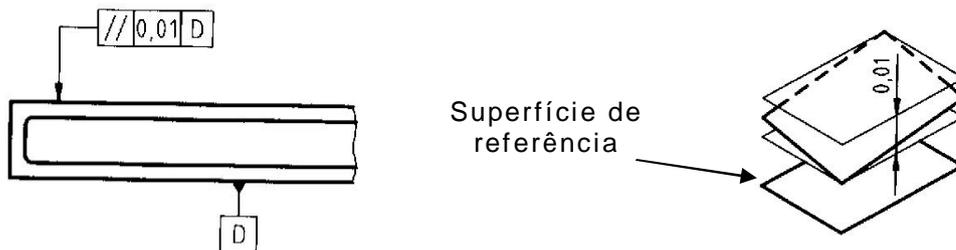
Neste caso o eixo do furo foi tomado como elemento de referência para a verificação do paralelismo da superfície superior da peça.

A superfície efetiva deve estar contida entre dois planos afastados, 0,1mm e paralelos ao eixo do furo da peça.

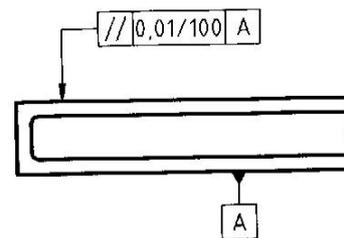
### 4.1.3 – Tolerância de paralelismo de uma superfície em relação a uma superfície de referência.

Outra possibilidade de especificação de tolerância de paralelismo, pode ser entre duas superfícies, uma como elemento tolerado e outra como elemento de referência.

De acordo com o desenho, a face superior externa da peça deve ser paralela à face inferior, tomada como referência. O desvio máximo aceitável de paralelismo é de 0,01mm. Isso quer dizer que a superfície da face superior deve estar contida entre dois planos afastados 0,01mm, paralelos à face da peça.



Se o valor da tolerância for limitado a uma extensão da peça, como aparece indicado no desenho ao lado, a verificação do paralelismo deve restringir-se ao comprimento indicado, em qualquer lugar da superfície.



## 4.2 – Tolerância de Perpendicularidade $\perp$

A perpendicularidade é uma condição que só pode ser observada quando se trata de elementos associados. Pode-se falar em perpendicularidade entre duas linhas, entre dois planos ou entre uma linha e um plano. O ângulo formado entre esses elementos é sempre de  $90^\circ$  (ângulo reto).

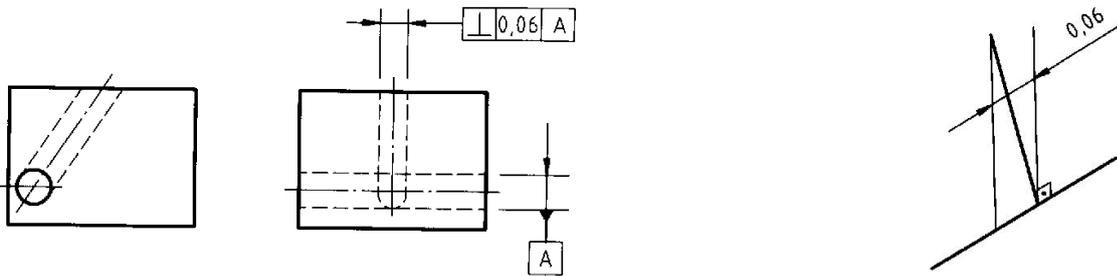
A tolerância de perpendicularidade refere-se ao desvio máximo aceitável de inclinação entre o elemento tolerado e o elemento de referência. A unidade de medida deste tipo de tolerância também é o milímetro.

### 4.2.1 – Tolerância de perpendicularidade de uma linha em relação a uma linha de referência.

O primeiro exemplo a ser examinado apresenta tolerância de perpendicularidade de uma linha em relação a outra linha.

O elemento tolerado é o eixo do furo que na vista frontal aparece inclinado. O elemento de referência, em relação ao qual será verificado a

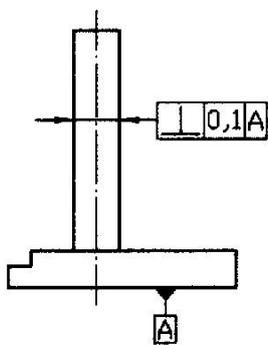
perpendicularidade é o eixo do furo horizontal da peça. O valor da tolerância é de 0,06mm.



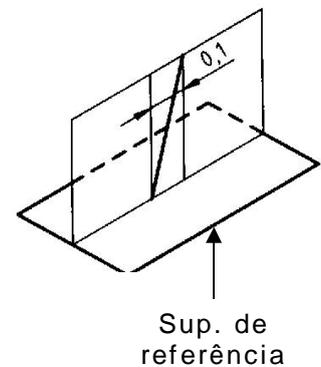
Neste exemplo, o campo de tolerância é limitado por duas retas paralelas, afastadas 0,06mm, e perpendiculares à linha de referência, constituída pelo eixo do furo horizontal. A peça será aprovada se o eixo do furo inclinado estiver contido entre essas duas paralelas.

#### 4.2.2 – Tolerância de perpendicularidade de uma linha em relação a uma superfície de referência.

Neste exemplo, o elemento tolerado quanto a perpendicularidade é o eixo da parte cilíndrica da peça. A perpendicularidade desse eixo deverá ser verificado em relação à superfície da base da peça. O valor da tolerância é de 0,1mm.



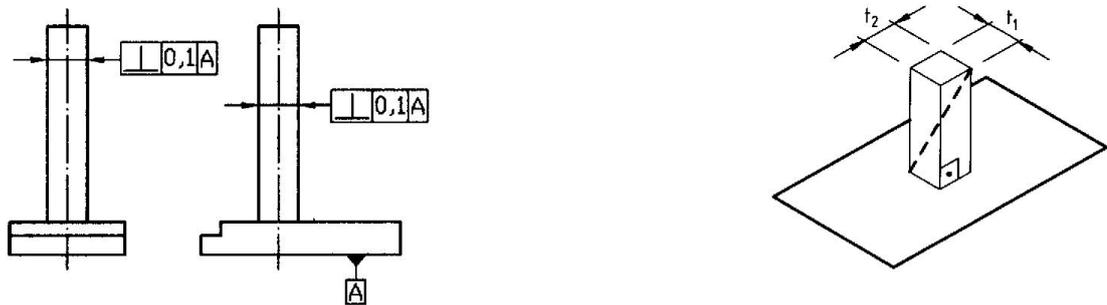
O campo de tolerância correspondente fica limitado por duas retas paralelas, afastadas 0,1mm e perpendiculares à sua superfície de referência, uma vez que a tolerância está especificada somente em uma direção. Isso quer dizer que, na peça pronta, o eixo do cilindro deve estar contido entre essas duas retas paralelas que definem o campo de tolerância na direção especificada.



Se a tolerância for especificada em duas direções perpendiculares entre si, como no próximo desenho, a forma do campo de tolerância é diferente.

No desenho abaixo a tolerância aparece indicada tanto na vista frontal como na vista lateral. O elemento tolerado é o eixo da parte cilíndrica e o elemento de referência é a superfície da base da peça. A diferença em relação ao caso anterior, é que a tolerância está especificada em duas direções.

Neste caso o campo de tolerância assume a forma de um paralelepípedo, de seção transversal  $t_1 \times t_2$ , onde  $t_1$  é o valor da tolerância indicada no plano lateral e  $t_2$  é o valor da tolerância indicada no plano frontal.



Quando o valor da tolerância for precedida do símbolo indicativo de diâmetro, como no desenho abaixo, o respectivo campo de tolerância tem a forma cilíndrica.

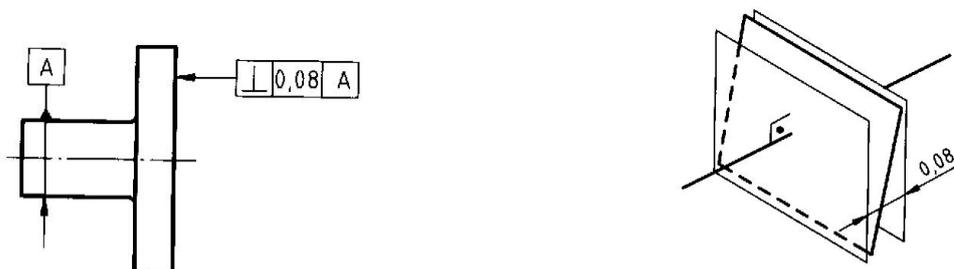
O diâmetro do cilindro que delimita o campo de tolerância corresponde ao valor da tolerância especificada. O eixo da parte cilíndrica, na peça acabada, deverá estar situada na região cilíndrica que constitui o campo de tolerância.



#### 4.2.3 – Tolerância de perpendicularidade de uma superfície em relação a uma linha de referência.

No desenho abaixo o elemento tolerado é a face lateral direita da peça, ou seja uma superfície e a linha de referência é o eixo da parte cilíndrica, isto é uma linha. O valor da tolerância é de 0,08.

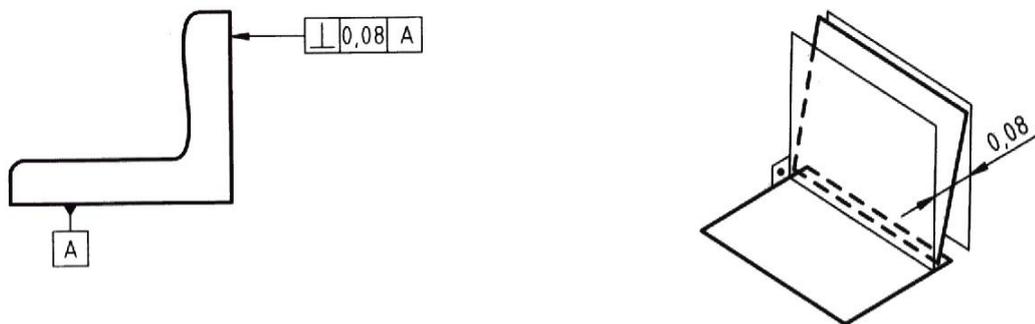
O campo de tolerância correspondente é limitado por dois planos paralelos, afastados 0,08mm, e perpendiculares ao eixo da peça. Na verificação, todos os pontos da superfície tolerada deverão estar situados entre esses dois planos paralelos.



#### 4.2.4 – Tolerância de perpendicularidade de uma superfície em relação a uma superfície de referência.

Quando a perpendicularidade deve ser verificada entre duas superfícies, uma delas recebe a indicação de tolerância e a outra é considerada o elemento de referência, geometricamente perfeito. É o que aparece indicado no próximo desenho, onde a face lateral direita está sendo tolerada quanto a perpendicularidade em relação à base da peça. O valor da tolerância é 0,08mm.

O campo de tolerância corresponde a região limitada por dois planos paralelos, afastados 0,08mm, dentro da qual devem situar-se todos os pontos da superfície a ser verificada.



#### 4.3 – Tolerância de Inclinação $\angle$

Se tivermos um ângulo formado entre duas partes de uma peça e este ângulo for diferente de 90°, sendo imprescindível sua exatidão por razões de funcionalidade, é necessário especificar no desenho qual o tamanho do erro admissível.

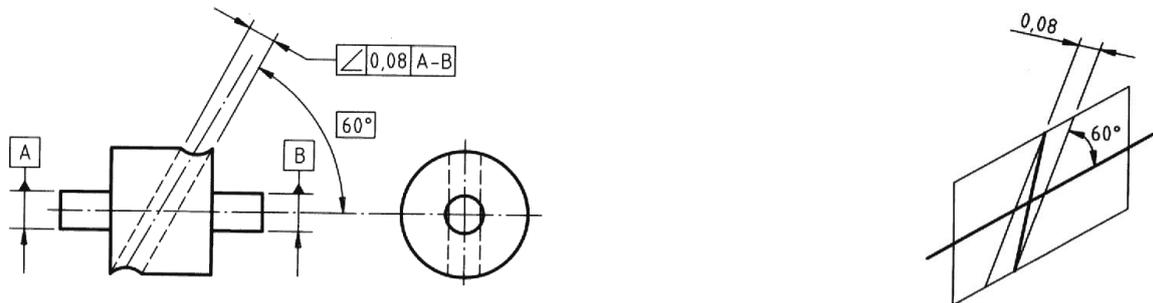
Da mesma forma que a tolerância de perpendicularidade, que é um caso particular de inclinação em que o ângulo é reto, a tolerância de inclinação pode ser determinado entre duas linhas, entre uma linha e uma superfície de referência, entre uma superfície e uma linha de referência ou entre duas superfícies. Em cada caso, o campo de tolerância tem características próprias.

##### 4.3.1 – Tolerância de inclinação de uma linha em relação a uma linha de referência.

O desenho a seguir mostra a especificação de tolerância de inclinação do eixo de um furo que atravessa obliquamente uma peça cilíndrica em relação ao eixo longitudinal da peça, com o qual deve formar um ângulo de 60°. O valor da tolerância é 0,08mm.

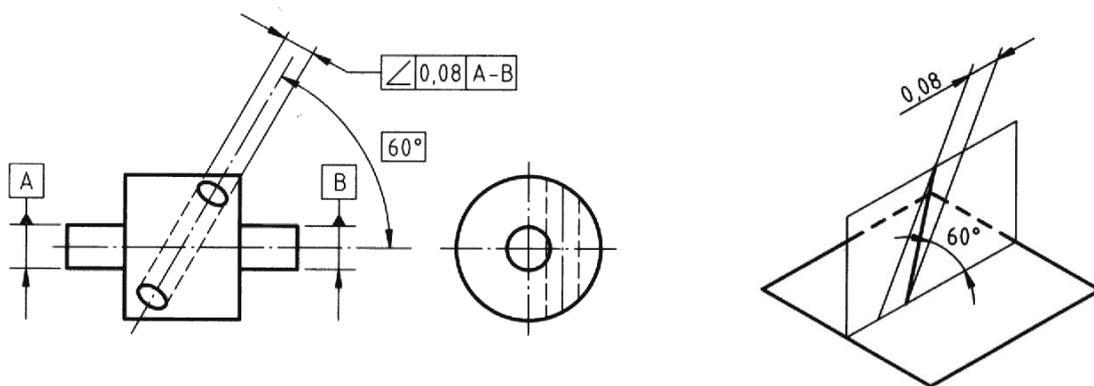
O eixo longitudinal, ao qual estão associadas as letras A e B, é a linha de referência. Neste exemplo, os dois eixos, isto é, o eixo tolerado e o eixo de referência, estão situados no mesmo plano.

O eixo do furo oblíquo pode apresentar certo desvio de sua inclinação geométrica ideal, desde que esteja contido dentro do campo de tolerância determinado por duas retas paralelas afastadas 0,08mm e que formam com o eixo longitudinal um ângulo de 60°.



Quando a linha tolerada e a linha de referência encontram-se em diferentes planos, o campo de tolerância tem outra característica. Trata-se da mesma peça anterior, com a diferença de que o furo oblíquo não está no mesmo plano do eixo longitudinal da peça.

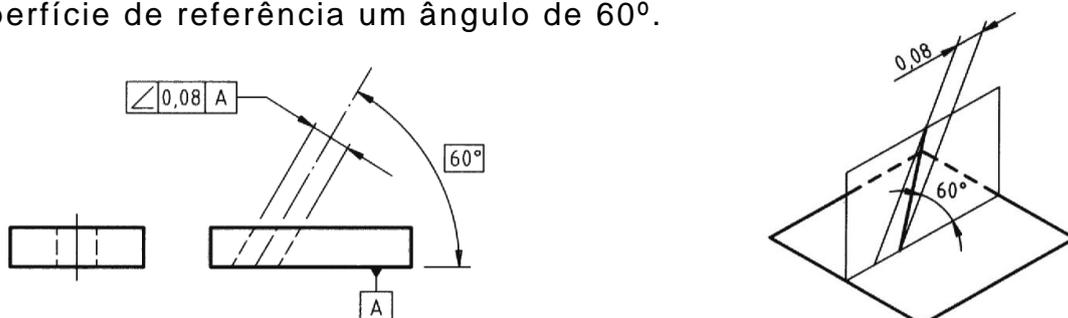
Neste caso, o campo de tolerância é aplicado à projeção da linha tolerada em um plano que contém a linha de referência e que é paralelo à linha tolerada.



#### 4.3.2 - Tolerância de inclinação de uma linha em relação a uma superfície de referência.

O desenho abaixo mostra um caso de aplicação de tolerância de inclinação de uma linha (o eixo da parte cilíndrica oblíqua da peça) em relação a uma superfície de referência (a face inferior da base peça). O ângulo entre o eixo da parte cilíndrica e a face de referência deve ser de 60°. O desvio de inclinação do eixo efetivo deve estar compreendido dentro do campo de tolerância especificado.

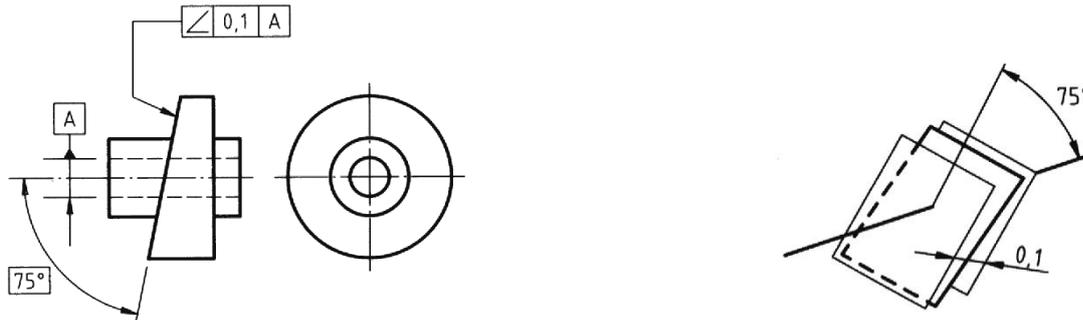
Neste exemplo, o campo de tolerância compreende a região limitada por duas retas paralelas, distantes 0,08mm uma da outra, que formam com a superfície de referência um ângulo de 60°.



### 4.3.3 – Tolerância de inclinação de uma superfície em relação a uma linha de referência.

No desenho abaixo temos uma face circular oblíqua, tolerada quando a inclinação em relação ao eixo longitudinal da parte cilíndrica da peça, tomada como elemento de referência.

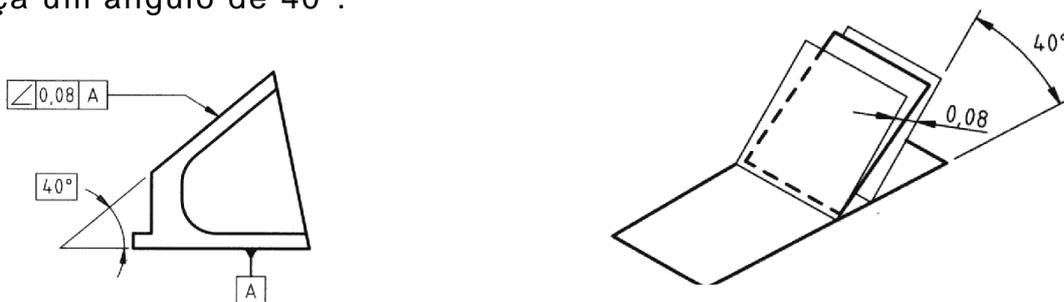
O campo de tolerância, dentro do qual deve situar-se a superfície oblíqua efetiva da peça, é definido por dois planos paralelos, afastados 0,1mm um do outro, que formam com o eixo longitudinal da peça um ângulo de 75°.



### 4.3.4 – Tolerância de inclinação de uma superfície em relação a uma superfície de referência.

O desenho abaixo mostra que a base da peça foi escolhida como superfície de referência e a tolerância de inclinação, de 0,08, foi especificada na face inclinada. O ângulo ideal entre as duas superfícies é de 40°.

O campo de tolerância, dentro do qual deve estar contida a superfície inclinada efetiva da peça, corresponde à região limitada por dois planos paralelos, distantes 0,08mm um do outro, e que formam com a base da peça um ângulo de 40°.



## 5. – Tolerâncias de Posição $\oplus$

O desvio admissível na localização de um elemento em relação a sua localização ideal é estabelecido pelas tolerâncias de posição, todas para elementos associados.

Considerando o atual estágio de desenvolvimento tecnológico, a especificação das tolerâncias de posição é um fator muito importante para racionalizar os processos de montagem de peças, pois contribui para evitar a necessidade de ajustes em consequência de erros na localização de elementos que trabalham associados.

Os elementos geométricos que podem ser tolerados quanto a posição, nas peças, são pontos, retas e planos.

Os tipos normalizados de tolerância de posição são: **posição** de um ponto, de uma linha ou de uma superfície plana, **concentricidade** de dois eixos e **simetria** de um plano médio, de uma linha ou de um eixo.

A tolerância de posição propriamente dita refere-se a desvios de posição de um ponto, de uma linha ou de um plano em relação a sua posição teoricamente exata, que no desenho aparece indicada dentro de uma moldura.

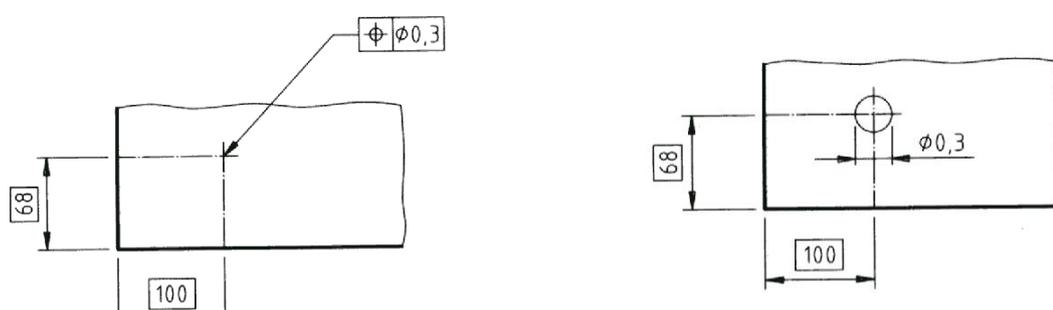
O campo de tolerância correspondente é disposto simetricamente em torno da posição teoricamente exata. Com isso, evita-se o acúmulo de erros provenientes da cotação em cadeia com indicação somente de tolerâncias dimensionais.

### 5.1 – Tolerância de posição de um ponto.

Nos sistemas de cotação por coordenadas, a localização de um ponto é dada pela interseção do prolongamento de duas cotas. Esta interseção representa a posição ideal do ponto, dificilmente conseguida na prática. Por isso, muitas vezes é necessário especificar a tolerância de posição de um ponto.

Na figura a seguir a tolerância de posição aparece especificada. O quadro de tolerâncias indica que o elemento tolerado é o ponto resultante da interseção das cotas básicas 68 e 100. o valor da tolerância de posição do ponto é 0,3mm.

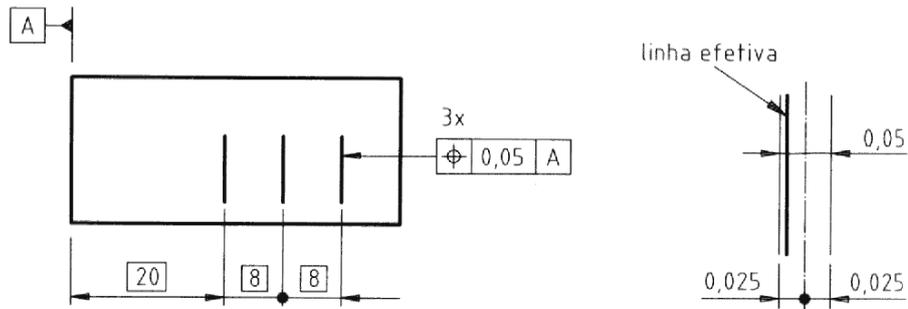
O símbolo de diâmetro, antes do valor da tolerância, significa que o campo de tolerância tem a forma circular. Na peça, a localização efetiva do ponto deve situar-se dentro de um círculo de 0,3mm de diâmetro, que delimita o campo de tolerância e que tem seu centro na posição teórica definida no desenho.



## 5.2 – Tolerância de posição de uma linha.

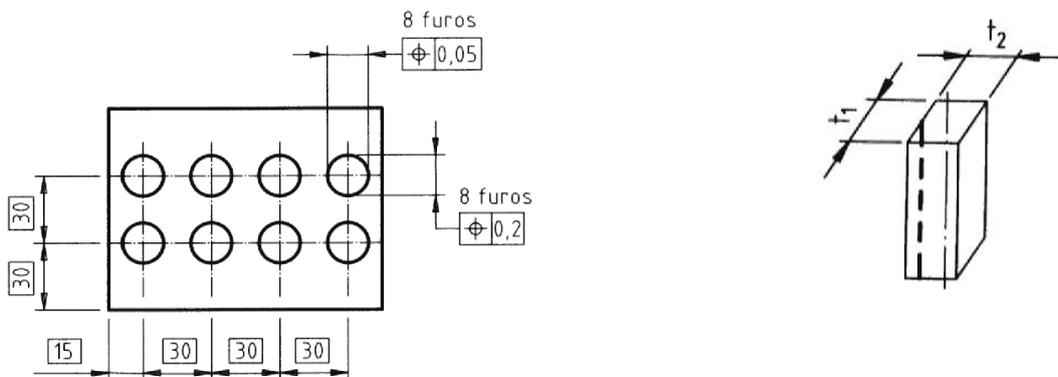
Quando a localização exata de uma linha é importante para a funcionalidade da peça, é necessário especificar a tolerância de posição no desenho técnico.

A tolerância de posição de uma linha delimita o desvio aceitável da posição dos pontos que compõe a linha efetiva em relação a sua posição ideal. Este tipo de indicação limita, ao mesmo tempo, os desvios de forma da linha.



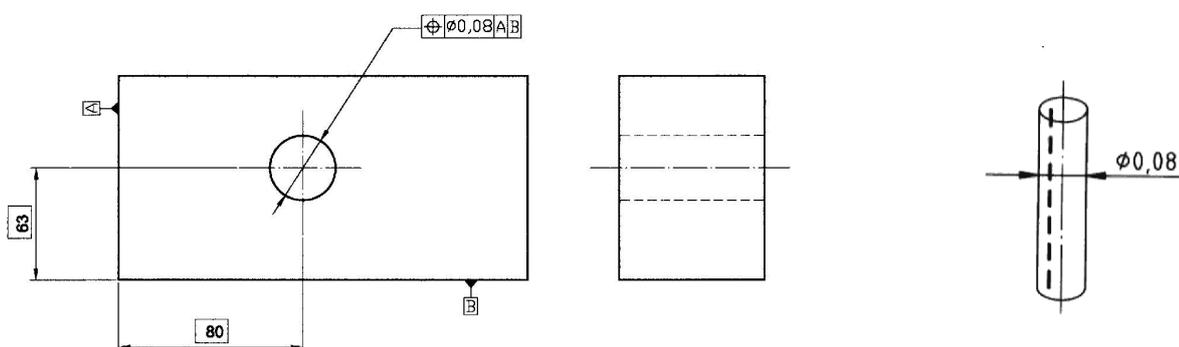
No desenho abaixo, os elementos tolerados quanto a posição são os eixos dos furos da peça. A tolerância aparece especificada em duas direções perpendiculares entre si.

Neste caso, o campo de tolerância de cada eixo tolerado tem a forma de um paralelepípedo com seção transversal  $t_1 \times t_2$ . deve-se assumir que o eixo deste paralelepípedo coincide com a posição ideal da linha tolerada.



Outro caso é a utilização do campo de tolerância de posição cilíndrico de uma linha (eixo). Isto acontece quando o símbolo de diâmetro aparece antes do valor da tolerância, como no desenho a seguir.

O campo de tolerância é constituído por um cilindro de 0,08mm de diâmetro, cujo eixo ocupa a posição ideal, definida a partir das faces de referência A e B.

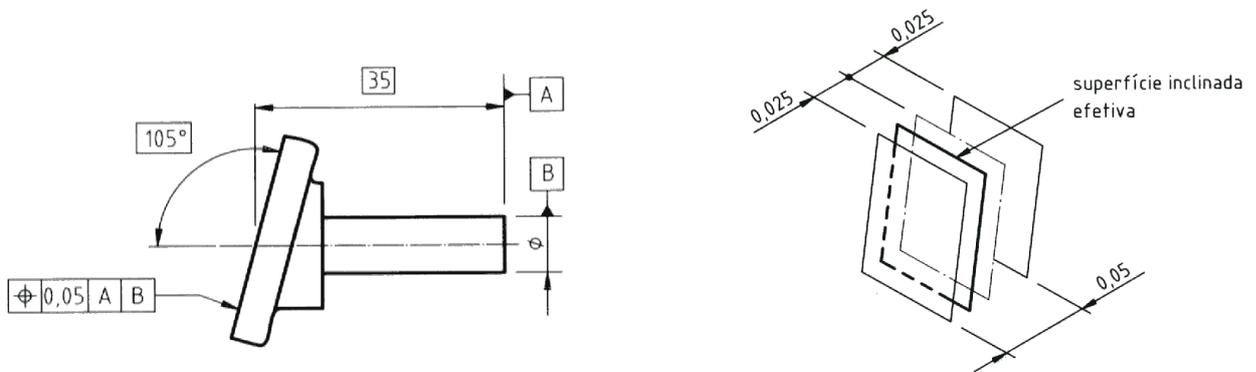


### 5.3 – Tolerância de posição de uma superfície plana ou de um plano Médio.

No desenho abaixo, o elemento tolerado quanto a posição é uma superfície plana inclinada, conforme indica o quadro de tolerância.

A posição deve ser verificada em relação a dois elementos de referência: o eixo da parte cilíndrica e a face lateral direita da peça. A superfície inclinada deve formar um ângulo de  $105^\circ$  com o eixo da peça e, ao mesmo tempo, seu ponto médio deve estar a 35mm de distância da face lateral direita. O desvio de posição permitido é de 0,05mm.

O campo de tolerância de posição é limitado por dois planos paralelos, afastados 0,05mm e simetricamente dispostos em relação à posição teórica da superfície inclinada. A superfície inclinada efetiva deverá estar entre esses dois planos.



## 5.4 – Tolerância de Concentricidade $\odot$

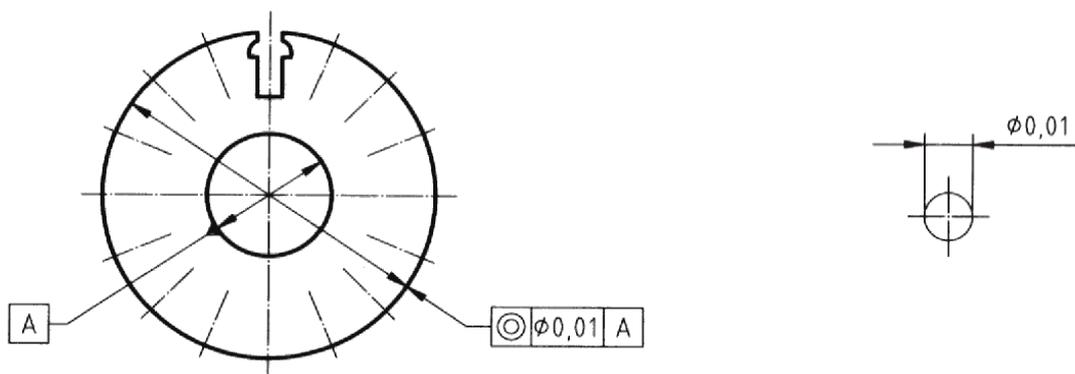
Dois elementos são concêntricos quando os seus eixos ocupam a mesma posição no plano. Para que se possa verificar essa condição, a posição de um dos elementos tem de ser tomada como referência.

Tolerância de concentricidade é o desvio permitido na posição do centro de um círculo, em relação ao centro de outro círculo tomado como referência.

A seguir temos um desenho que apresenta um exemplo de aplicação da tolerância de concentricidade.

O elemento tolerado é o círculo maior e o elemento de referência é o círculo menor. O valor da tolerância é de 0,01mm. O símbolo indicativo de diâmetro que precede o valor da tolerância indica que o campo de tolerância tem a forma circular.

O centro do furo tolerado deve estar contido dentro do círculo de 0,01mm, cujo centro coincide com o centro do círculo de referência e que limita o campo de tolerância.



## 5.5 – Tolerância de Simetria $\equiv$

A simetria entre dois elementos que se opõem, situados em torno de um eixo ou de um plano, significa que eles são idênticos quanto à forma, ao tamanho e à posição relativa.

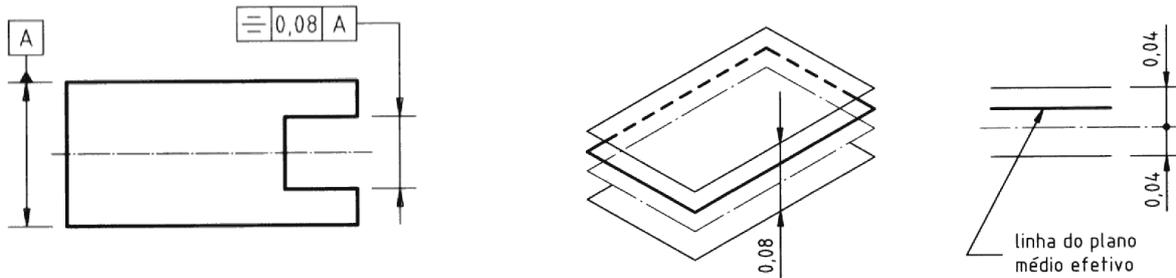
A indicação de simetria no desenho técnico pressupõe a exigência de grande rigor na execução da peça. A tolerância de simetria define os limites dentro dos quais os erros de simetria podem ser aceitos sem comprometer a sua funcionalidade.

Pode-se tolerar quanto à simetria o plano médio da peça e eixos (ou linhas).

### 5.5.1 – Tolerância de Simetria de um Plano Médio.

No desenho abaixo, o plano médio do rasgo da peça aparece tolerado quanto a simetria. O valor da tolerância é de 0,08mm. O elemento de referência é o plano médio da peça.

Isso significa que o plano médio efetivo do rasgo deve estar contido entre dois planos paralelos, afastados 0,08mm um do outro, simetricamente dispostos em torno do plano médio da peça. Esses dois planos paralelos eqüidistantes do plano médio da peça 0,04mm cada um, limitam o campo de tolerância de simetria.



### 5.5.2 – Tolerância de Simetria de uma Linha ou de um Eixo.

O próximo desenho mostra um exemplo de aplicação de tolerância de simetria a um eixo.

O elemento tolerado em relação à simetria é o eixo do furo e o elemento tomado como referência é o plano médio da peça, identificado pelas letras A e B, que também divide os rasgos simetricamente. O valor da tolerância é de 0,08mm.

Na peça acabada, o eixo efetivo do furo deverá estar contido dentro do campo de tolerância, que neste caso compreende a região limitada por duas paralelas, afastadas 0,08mm entre si e dispostas simetricamente em torno da localização ideal do eixo.

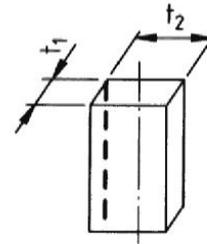
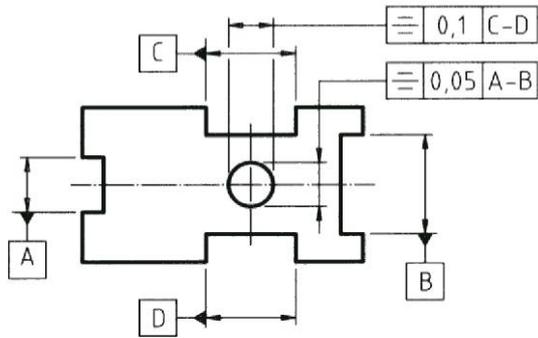


No exemplo anterior, a tolerância de simetria foi indicada em apenas uma direção, sendo que ela pode também ser indicada em duas direções perpendiculares entre si, como no desenho a seguir.

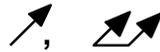
Nesta peça, a simetria do eixo do furo deve ser observada tanto no sentido horizontal como no sentido vertical. No plano vertical, o elemento de referência é o plano médio da peça, identificado pelas letras A e B. No plano horizontal, o elemento de referência é o plano médio do rasgo assimétrico, identificado pelas letras C e D.

O campo de tolerância é constituído por um paralelepípedo de seção transversal  $t_1$  e  $t_2$ , onde  $t_1$  refere-se ao valor da tolerância indicado no sentido vertical (0,05mm) e  $t_2$  corresponde ao valor da tolerância indicado no sentido horizontal (0,1mm).

O eixo efetivo do furo deve estar contido dentro deste paralelepípedo.



## 6. – Tolerâncias de Batimento



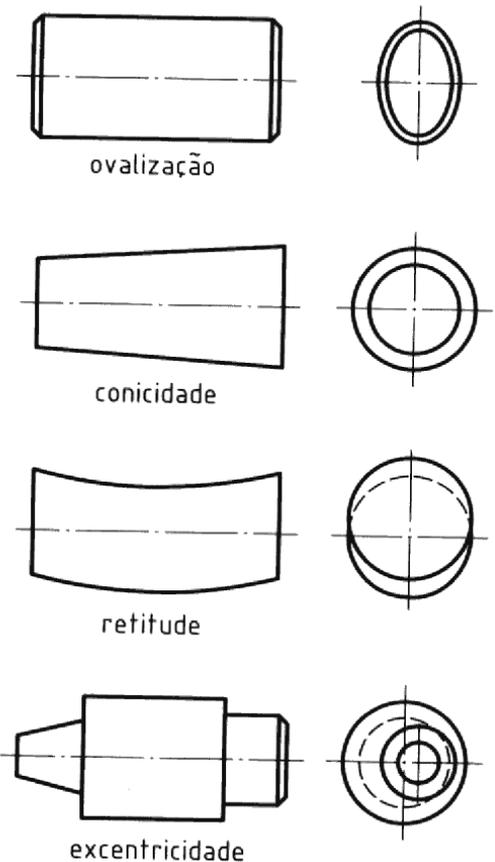
Na usinagem de peças ou de elementos que têm formas associadas a sólidos de revolução, como cilindros e cones maciços (eixos) ou ocos (furos), ocorrem variações em suas formas e posições, que resultam em erros de ovalização, conicidade, retitude, excentricidade, etc.

A verificação desses erros só pode ser feita de **modo indireto**, a partir de outras referências que estejam relacionadas ao eixo de simetria da peça inspecionada, porque é praticamente impossível determinar o eixo de revolução verdadeiro.

Essa variação de referencial geralmente leva ao acúmulo de erros, envolvendo a superfície medida, a superfície de referência e a linha de centro teórica.

Os erros compostos da forma e/ou da posição de uma superfície de revolução em relação a um elemento de referência recebem o nome de **desvios de batimento**.

Tais erros são aceitáveis até certos limites, desde que não comprometam o funcionamento da peça. A tolerância de batimento representa a variação máxima admissível da posição associada a forma de um elemento, observada quando se dá um giro completo da peça em torno de um eixo de referência, ou seja, quando a peça sofre uma rotação completa.



Durante a verificação é necessário que a peça esteja travada, de modo a evitar deslocamento axial que pode levar a erros de leitura ao desvio.

Por se tratar de uma tolerância **composta**, a tolerância de batimento permite analisar, a um só tempo, uma combinação de desvios de forma, de orientação e de posição. O valor da tolerância de batimento representa a soma de todos esses desvios acumulados, que devem estar contidos dentro da tolerância especificada no projeto.

Dependendo do ponto onde a tolerância é verificada, ela é classificada como **circular** ou **total**.

## 6.1 – Tolerância de Batimento Circular ↗

A tolerância de batimento é circular quando a verificação do desvio se dá em um ponto determinado da peça. Neste caso, a tolerância é aplicada em uma posição determinada, permitindo verificar o desvio apenas em uma seção circular da peça.

Quando o desenho técnico apresenta indicação de tolerância de batimento circular, a verificação não proporciona uma análise completa para a superfície em exame, mas apenas de uma seção determinada.

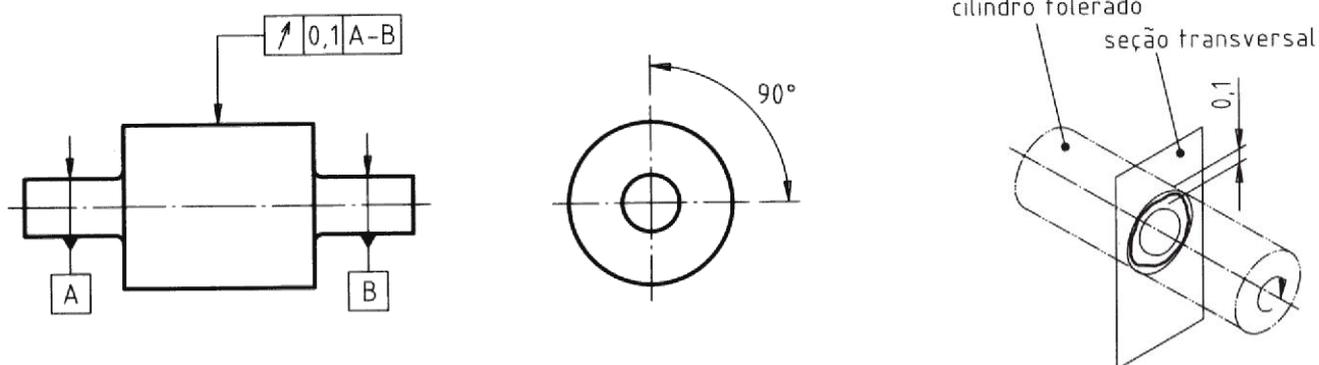
A tolerância de batimento circular pode ser radial ou axial, dependendo da maneira como aparece indicada no desenho técnico.

### 6.1.1 – Tolerância de Batimento Circular Radial ↗

Neste tipo de tolerância, o elemento tolerado guarda uma relação de perpendicularidade com o eixo de simetria tomado como elemento de referência para verificação do desvio de batimento.

No exemplo abaixo, o quadro de tolerância está ligado à parte cilíndrica de maior diâmetro, indicando que em qualquer seção circular desta parte o desvio de batimento não pode exceder 0,1mm quando a peça é submetida a uma rotação completa em torno do seu eixo de referência.

O campo de tolerância é limitado, em qualquer seção transversal da peça, por dois círculos com um centro comum sobre o eixo de referência e afastados 0,1mm um do outro. A verificação pode ser feita em qualquer plano de medição, durante uma rotação completa em torno do eixo de referência da peça.



Em geral, este tipo de tolerância se aplica a rotações completas, mas pode também ser limitado a setores de círculos, como mostra o desenho abaixo.

Neste caso, a referência deverá ser simulada por um mandril cilíndrico expansível ou justo. O batimento deverá ser verificado apenas em relação à

superfície delimitada pela linha traço e ponto larga, isto é, não será necessário imprimir uma rotação completa á peça para avaliar o desvio de batimento circular.

Quando a peça não tem a forma circular completa, o batimento deverá ser verificado somente na superfície à qual está ligado o quadro de tolerância.

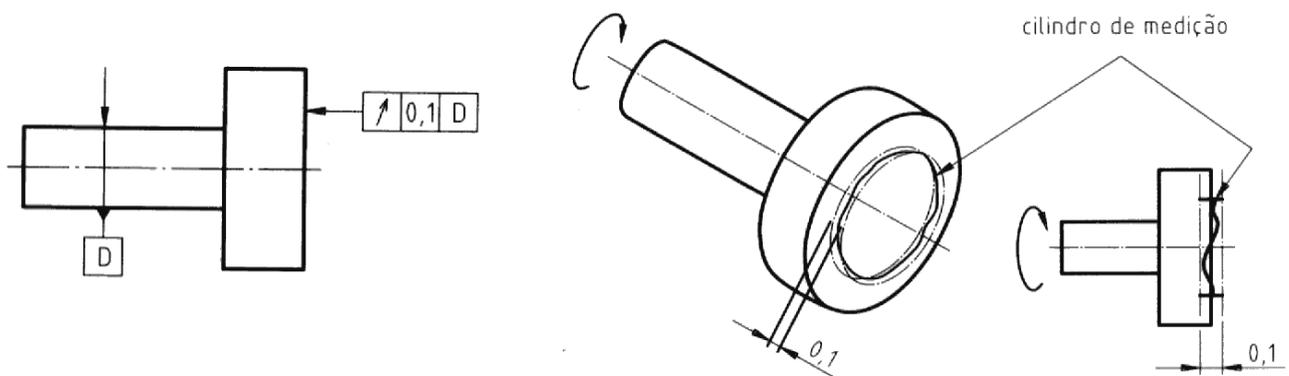


### 6.1.2 – Tolerância de Batimento Circular Axial

Refere-se ao deslocamento máximo admissível do elemento tolerado ao longo do eixo de simetria quando a peça sofre uma rotação completa.

No desenho abaixo, a superfície tolerada com batimento axial é a face direita da peça. Na verificação, esta superfície não pode apresentar deslocamento axial maior que 0,1mm em qualquer ponto da superfície verificada.

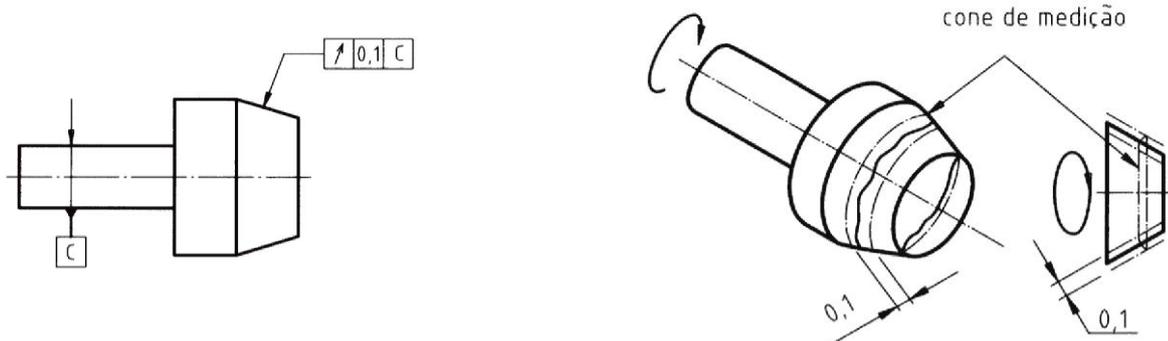
Neste caso, o campo de tolerância é delimitado por duas circunferências idênticas e coaxiais, afastadas 0,1mm uma da outra, que definem uma superfície cilíndrica.



### 6.1.3 – Tolerância de Batimento Circular em Qualquer Direção ↗

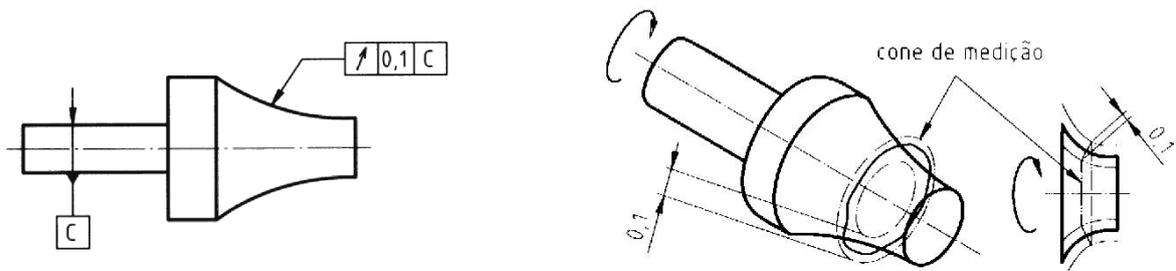
Este tipo de tolerância é comumente indicado sobre superfícies de revolução de formas cônica, côncava ou convexa. Nesses casos, a direção de medição é sempre perpendicular à superfície tolerada. O desenho a seguir exemplifica esta aplicação.

O campo de tolerância corresponde a uma região cônica (cone de medição) gerada pelo prolongamento da direção da seta que liga o quadro de tolerância até o eixo de simetria da peça que coincide com o eixo de referência C.



No próximo desenho, a indicação de tolerância de batimento em qualquer direção refere-se a uma superfície de revolução côncava. A direção de medição é perpendicular à tangente da superfície curva em qualquer seção transversal. O batimento não deve ser maior que 0,1mm durante uma rotação completa em torno do eixo de referência C.

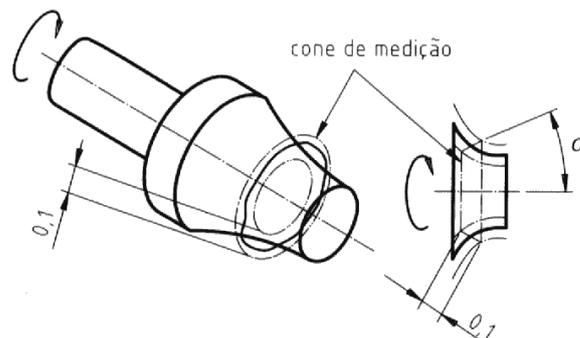
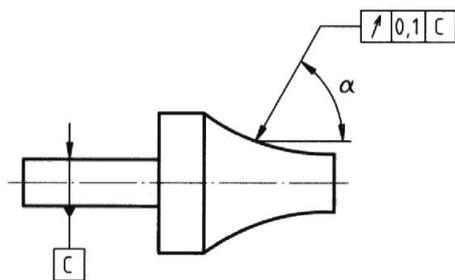
A figura ao lado direito mostra a representação gráfica do campo de tolerância correspondente.



### 6.1.4 – Tolerância de batimento circular com direção especificada ↗

Toda vez que a indicação de tolerância aparecer ligado a uma superfície onde está indicada a direção de observação (ângulo  $\alpha$ , no desenho), o batimento deve ser verificado exclusivamente em relação a direção especificada, em qualquer plano de medição, durante uma rotação completa em torno da linha de referência.

O campo de tolerância tem a forma cônica, formando um ângulo com o eixo de simetria da peça igual ao ângulo especificado no desenho e é limitado por duas circunferências afastadas 0,1mm. O batimento na direção especificada não pode ultrapassar 0,1mm em qualquer cone de medição, durante uma rotação em torno do eixo de referência C.



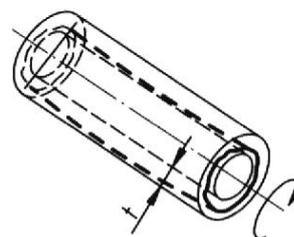
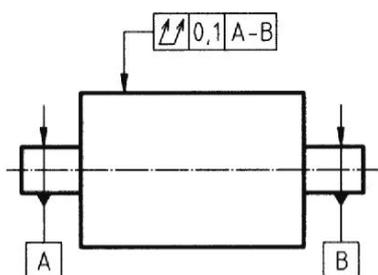
## 6.2 – Tolerância de Batimento Total

o batimento total difere do batimento circular quanto aos procedimentos de verificação. Ao passo que no batimento circular a verificação se dá em planos de medição determinados (seções), no batimento total a verificação deve ser feita ao longo de toda extensão da superfície tolerada, ou seja, além do movimento de rotação, ocorre também um deslocamento do dispositivo de medição ao longo da superfície tolerada, segundo uma direção determinada. Descrevendo trajetórias com formas de espiral ou helicóides. O que definirá o tipo de trajetória é se o batimento for **axial** ou **radial**.

### 6.2.1 – Tolerância de Batimento Total Radial

Neste caso, a superfície tolerada é verificada simultaneamente quanto a cilindricidade do elemento de revolução e quanto ao batimento circular radial em relação a um eixo de referência.

O campo de tolerância é limitado por dois cilindros coaxiais, separados por uma distância “t” que corresponde ao valor da tolerância (0,1mm neste exemplo). O eixo desses dois cilindros coincide com o eixo de referência teórico. Na verificação deste caso além do giro da peça verificada, deve haver o deslocamento longitudinal do instrumento, descrevendo uma trajetória com forma helicoidal.



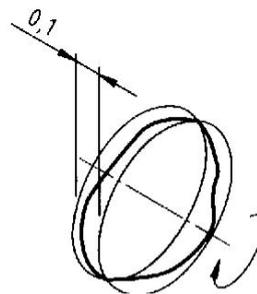
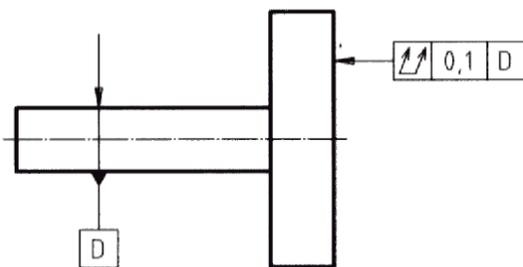
### 6.2.2 – Tolerância de Batimento Total Axial

Na tolerância de batimento total axial, a superfície é tolerada simultaneamente quanto à retilidade e quanto ao batimento circular axial em relação a um eixo de referência.

Neste exemplo, a superfície tolerada quanto ao batimento total é a face lateral direita da peça. O valor da tolerância é de 0,1mm.

O campo de tolerância é formado por dois planos circulares paralelos, que devem estar afastados 0,1mm do outro e perpendiculares à linha de referência.

Na peça acabada, o batimento não pode ser maior que 0,1mm em qualquer ponto especificado da superfície tolerada, durante várias rotações em torno da linha de referência D. Os movimentos de verificação devem ser de rotação da peça e deslocamento do instrumento, descrevendo uma trajetória com forma de espiral.



## Bibliografia

Apostila “**Tolerâncias Geométricas (GD&T)**” – Fundação CERTI.

SENAI.SP. **Tolerância Geométrica**. Brasília, SENAI/DN, 2000.

Norma **ASME Y14.5M-1994**.

ISO **1101: 1983**; Desenho técnico – Tolerâncias Geométricas.

KRULIKOWSKI, Alex. **Fundamentals of Geometric Dimensioning and Tolerancing**. 1998.

