

CFAC – Concepção e Fabrico Assistidos por Computador

Toleranciamento Geométrico

João Manuel R. S. Tavares

Bibliografia

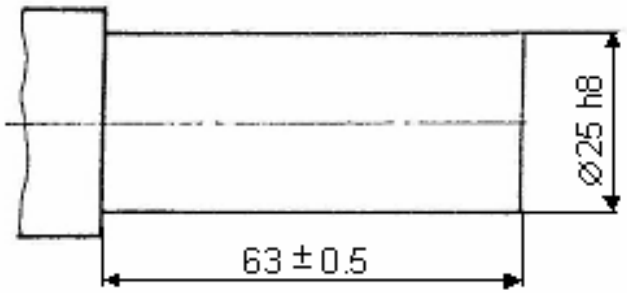
- Simões Morais, José Almacinha, “Texto de Apoio à Disciplina de Desenho de Construção Mecânica (MiEM)”, AEFEUP, 2007
- Simões Morais, “Desenho técnico básico 3”, ISBN: 972-96525-2-X, Porto Editora, 2006

Índice

- Tolerâncias Geométricas - Generalidades;
- Tolerâncias de forma;
- Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981);
- Tolerâncias de perfil;
- Tolerâncias de orientação;
- Tolerâncias de posição;
- Tolerâncias de concentricidade e de coaxialidade;
- Tolerância de simetria;
- Tolerâncias de batimento;
- Toleranciamento de cones.

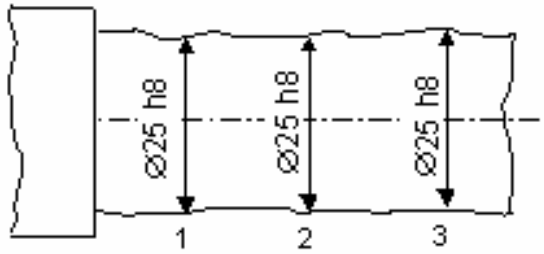
Tolerâncias Geométricas

- De acordo com o princípio de independência, uma cota linear e a sua tolerância limitam apenas o aspecto tamanho de um elemento geométrico. **Uma tolerância linear controla apenas os tamanhos locais reais de um elemento, mas não os seus desvios geométricos de forma.**



Toleranciamento ISO 8015

a) Desenho de definição



Tamanhos locais reais

$24{,}967 \text{ mm} \leq d_i \leq 25{,}000 \text{ mm}$

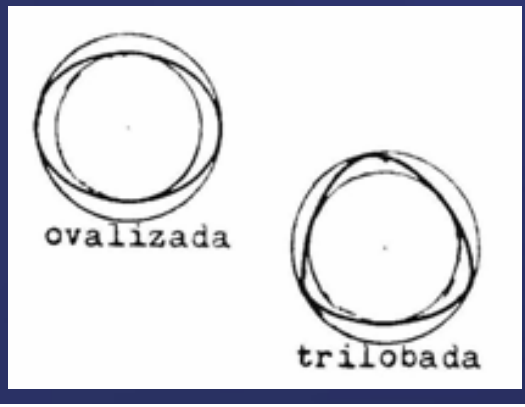
Ø25 h8 (IT8 = 0,033 mm)

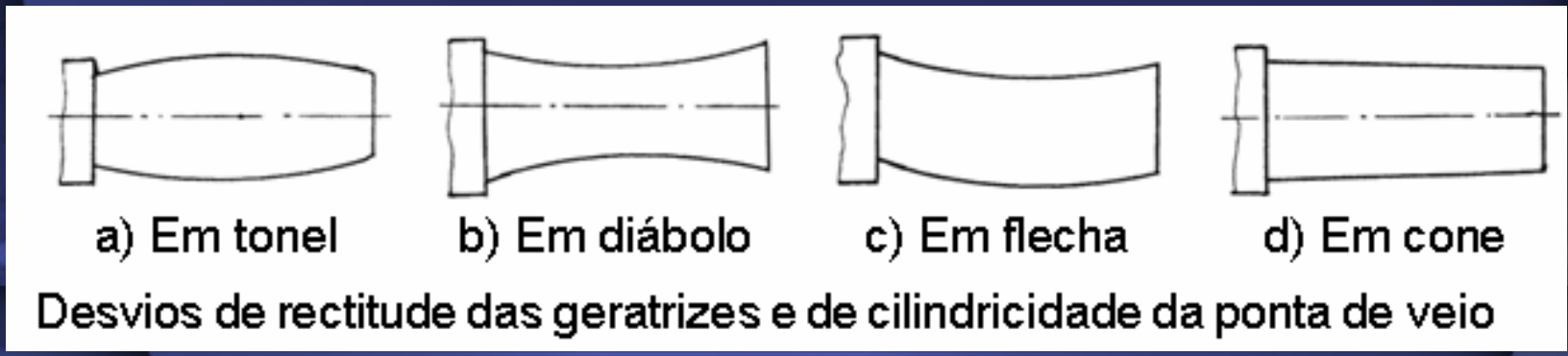
Em qualquer secção deverá verificar-se Ø25 h8.

b) Interpretação

Tolerâncias Geométricas

- **A verificação dimensional da ponta de veio**, em termos de tamanhos locais reais, efectuada com calibres de limites (calibre-maxila), **não permite controlar, em simultâneo, os desvios geométricos de forma**.





Desvios de rectitude das geratrizes e de cilindricidade da ponta de veio

Tolerâncias Geométricas

- Os **desvios geométricos de forma** podem ser resultado de um efeito combinado de diversos **factores de influência**, tais como:
  - a qualidade dos **sistemas de guiamento** das máquinas-ferramenta;
  - os **efeitos térmicos** derivados da temperatura;
  - as **tensões de trabalho**;
  - a deformação da peça derivada do seu **peso próprio**;
  - a **deficiente fixação** da peça;
  - o **desgaste dos órgão mecânicos** das máquinas-ferramenta;
  - etc.

Tolerâncias Geométricas

- Os **desvios geométricos** dos objectos produzidos podem ser:
  - **desvios de forma**: desvios que dizem respeito a elementos geométricos isolados, tais como, a rectitude , a circularidade, a planeza, etc.;
  - **desvios de orientação e de posição**: desvios que dizem respeito a elementos geométricos associados, tais como, paralelismo, perpendicularidade, localização, simetria, etc.;
  - **desvios de batimento**: desvios globais verificados durante a rotação de um elemento geométrico em torno de um eixo de referência.
- **Os desvios geométricos (macro e microgeométricos) têm influência no comportamento em funcionamento** (atrito, aderência, escorregamento, rotação, vedação, etc.) **das superfícies conjugadas de peças acopladas**.

Tolerâncias Geométricas

- **As tolerâncias geométricas só devem ser directamente prescritas no desenho quando são indispensáveis ao correcto funcionamento e à intermutabilidade** (eventualmente, também, à fabricação) **da peça.**
- **As tolerâncias geométricas devem ser prescritas tendo em conta os requisitos funcionais**. Os requisitos de fabricação e de controlo podem ter, também, influência sobre o toleranciamento geométrico.
- **Uma tolerância geométrica aplicada a um elemento define a zona de tolerância**, no interior da qual deve estar compreendido esse elemento.

Tolerâncias Geométricas

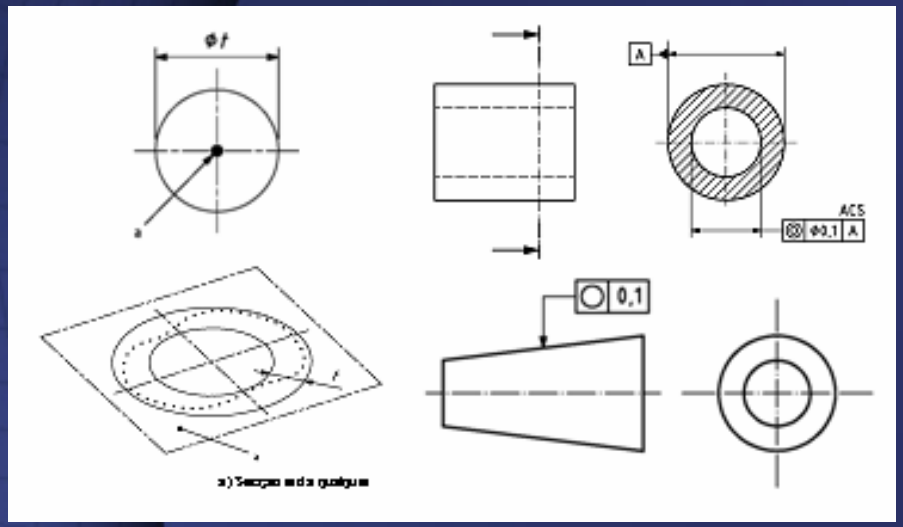
- Um **elemento (geométrico)** é uma parte específica de uma peça, tal como, por exemplo, **um ponto, uma linha ou uma superfície**.
- Esses elementos **podem ser elementos integrais** (por exemplo, a superfície externa de um cilindro) **ou ser derivados** (por exemplo, uma linha mediana ou uma superfície mediana).
  Neste contexto, os termos **"eixo" e "plano mediano" são utilizados para elementos derivados de forma perfeita**, e os termos **"linha mediana" e "superfície mediana" são utilizados para elementos derivados de forma imperfeita**.

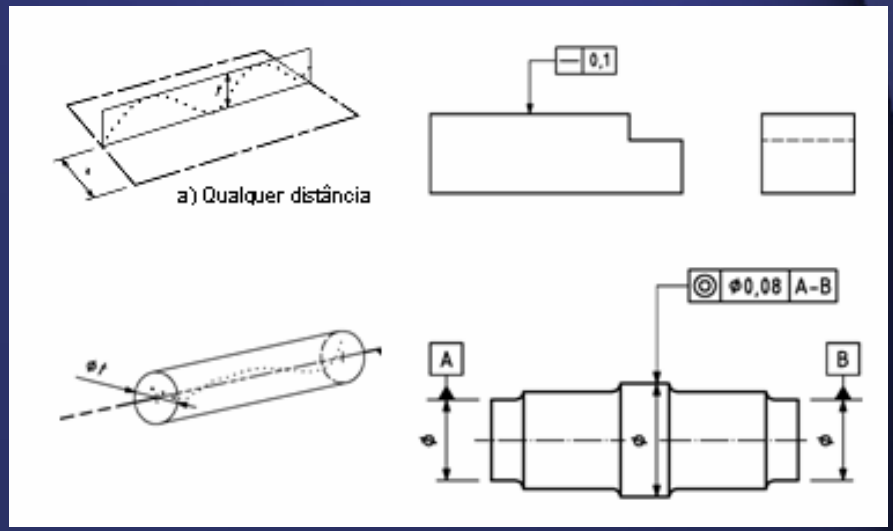
Tolerâncias Geométricas

- A **zona de tolerância é o espaço limitado** por uma ou várias linhas ou superfícies geometricamente perfeitas e caracterizado por uma dimensão linear chamada **tolerância**. **A zona de tolerância pode ser**:
  - o espaço no **interior de um círculo**;
  - o espaço **entre duas circunferências concêntricas**;
  - o espaço **entre duas linhas equidistantes ou duas linhas rectas paralelas**;
  - o espaço no **interior de um cilindro**;
  - o espaço **entre duas superfícies equidistantes ou dois planos paralelos**;
  - o espaço no **interior de uma esfera**.

Tolerâncias Geométricas

- **Zonas de tolerância:**

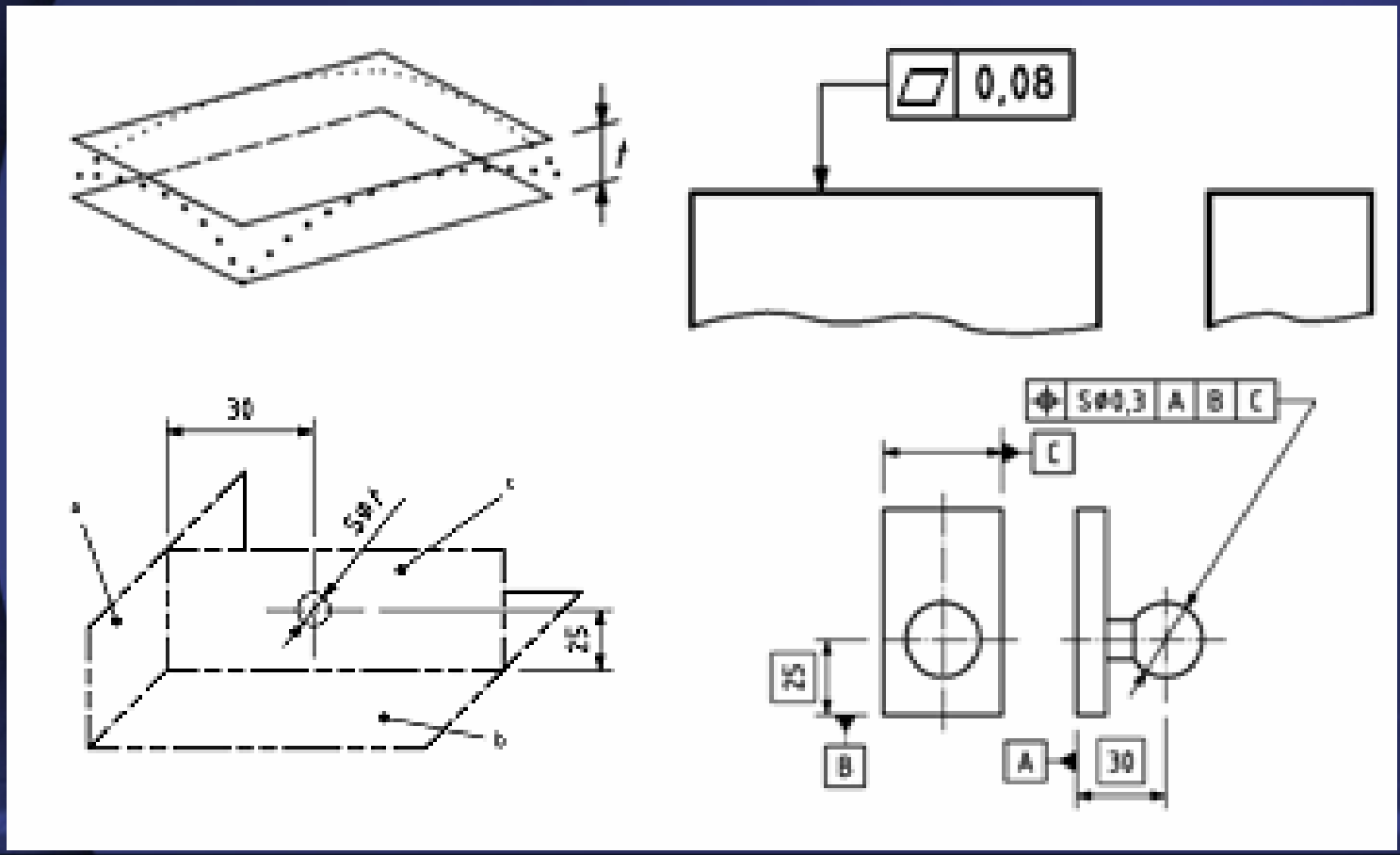




- A forma ou a orientação do elemento toleranciado pode ser qualquer, no interior da zona de tolerância, salvo indicação em contrário.
- A tolerância aplica-se a toda a extensão do elemento considerado, salvo indicação em contrário.

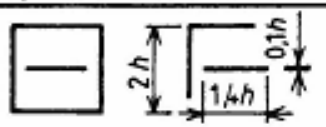
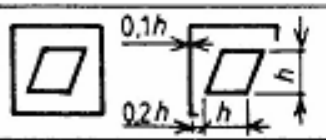
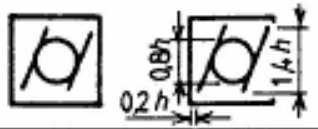
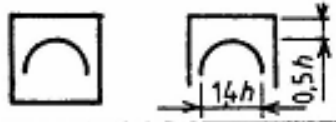
Tolerâncias Geométricas

- **Zonas de tolerância:**



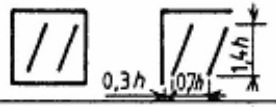
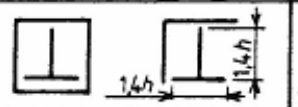
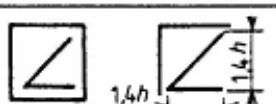
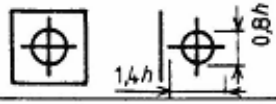
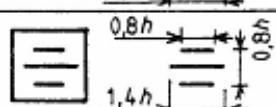
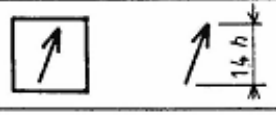
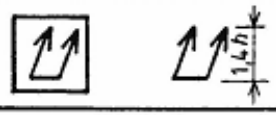
Tolerâncias Geométricas

- Símbolos para características toleranciadas:

CARACTERÍSTICA A TOLERANCIAR		SÍMBOLO DIMENSÕES	TOLERÂNCIA (mm) (FINA) reduzida	(MÉDIA) larga	Dimensão do elemento a considerar no cálculo da tolerância
TOLERÂNCIAS DE FORMA (ver Nota)					
ELEMENTOS ISOLADOS	RECTITUDE		0,02 mm/m	0,1 mm/m	do comprimento do elemento
	PLANEZA		0,04 mm/m	0,1 mm/m	da maior dimensão lateral da superfície ou de ∅
	CIRCULARIDADE		IT 5 do diâmetro	IT 8 do diâmetro	
	CILINDRICIDADE		0,02 mm/m	0,04 mm/m	da maior dimensão entre ∅ e L (comprimento)
	PERFIL DE UMA LINHA QUALQUER				
	PERFIL DE UMA SUPERFÍCIE QUALQUER				

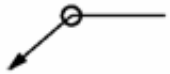
Tolerâncias Geométricas

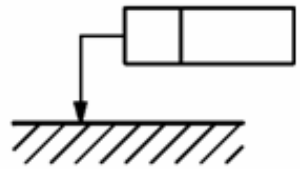
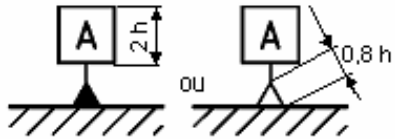
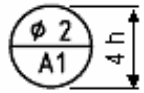
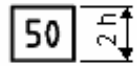
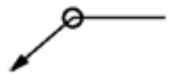
- Símbolos para características toleranciadas (cont.):

	TOLERÂNCIAS DE ORIENTAÇÃO				
ELEMENTOS ASSOCIADOS	PARALELISMO		IT5	IT9	da distância entre faces
	PERPENDICULARIDADE		0,1 mm/m	0,4 mm/m	da dimensão perpendicular à referência
	INCLINAÇÃO OU ANGULARIDADE		0,1 mm/m	0,4 mm/m	da dimensão inclinada em relação à referência
	TOLERÂNCIAS DE POSIÇÃO				
	LOCALIZAÇÃO DE UM ELEMENTO		0,02 mm	IT 11	da distância do elemento à referência
	CONCENTRICIDADE COAXIALIDADE		0,005 mm	0,02 mm	
	SIMETRIA		0,02 mm	IT 11 largura	
	TOLERÂNCIAS DE BATIMENTO (ou OSCILAÇÃO)				
	BATIMENTO CIRCULAR				
	BATIMENTO TOTAL				
OBS:	$h = 10\,d$ (d = espess. do traço fino)	h (altura das letras e algarismos das cotas) = 2,5 , 3,5 ou 5			

Tolerâncias Geométricas

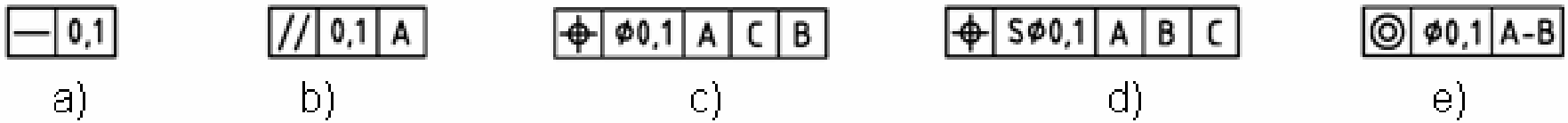
- Símbolos complementares:

A toda a volta (perfil)	
Requisito de envolvente	Ⓔ
Zona comum ("common zone")	CZ
Diâmetro interior ("minor diameter")	LD
Diâmetro exterior ("major diameter")	MD
Diâmetro primitivo ("pitch diameter")	PD
Elemento de linha ("line element")	LE
Não convexo ("not convex")	NC
Secção recta qualquer ("any cross-section")	ACS

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO
Indicação do elemento toleranciado	
Indicação do elemento de referência	
Indicação de referência parcial	
Cota teoricamente exacta	
Zona de tolerância projectada	
Requisito do máximo de matéria	Ⓜ
Requisito do mínimo de matéria	Ⓛ
Condição no estado livre (peças não rígidas)	Ⓕ
A toda a volta (perfil)	

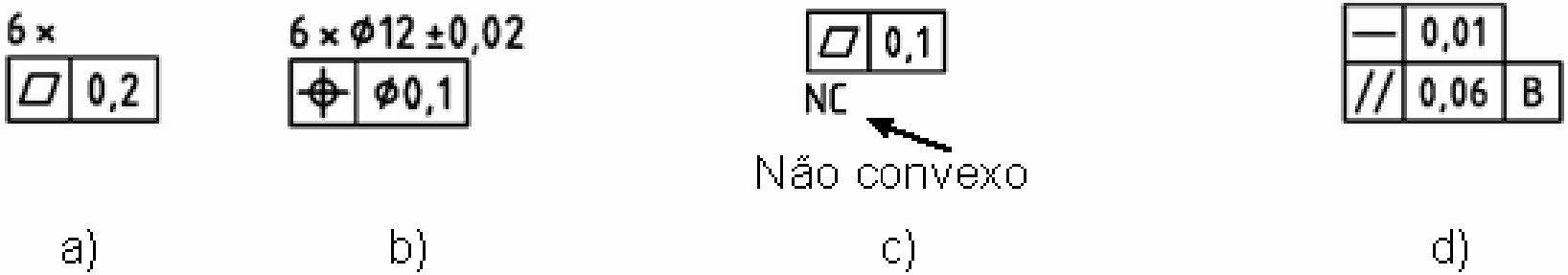
Tolerâncias Geométricas

- Os **requisitos de tolerâncias geométricas são indicados num quadro rectangular** dividido em dois ou mais compartimentos. Estes compartimentos devem conter:
  - o símbolo da característica geométrica a toleranciar;
  - o valor da tolerância, na unidade utilizada na cotagem linear [mm], eventualmente precedido do símbolo "Φ" ou "$S\Phi$";
  - a(s) letra(s) que permite(m) identificar a referência especificada, o sistema de referência ou a referência especificada comum, conforme o caso.

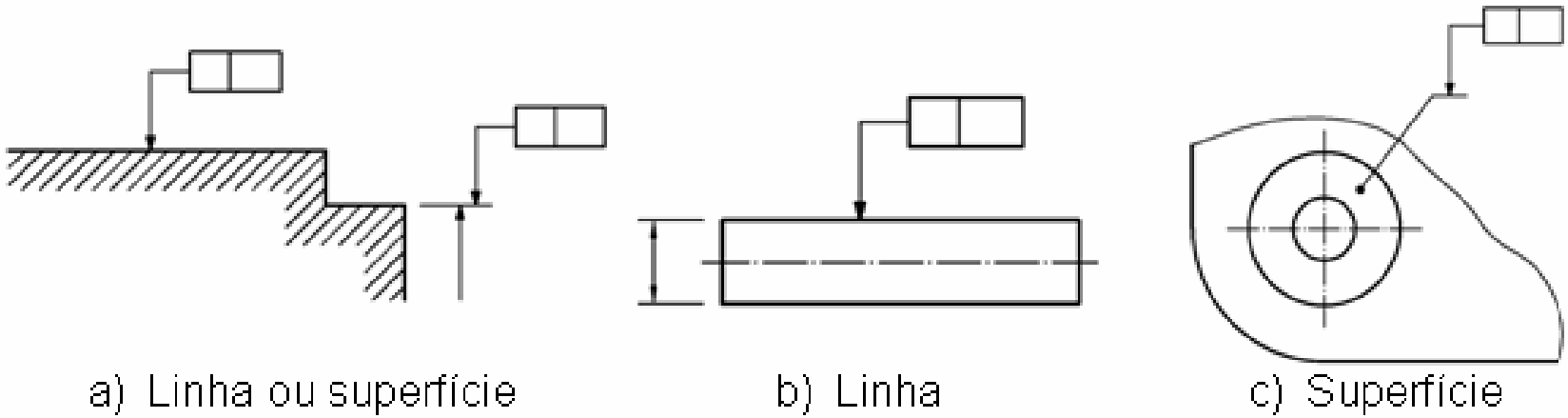


Quadros de tolerância

Tolerâncias Geométricas

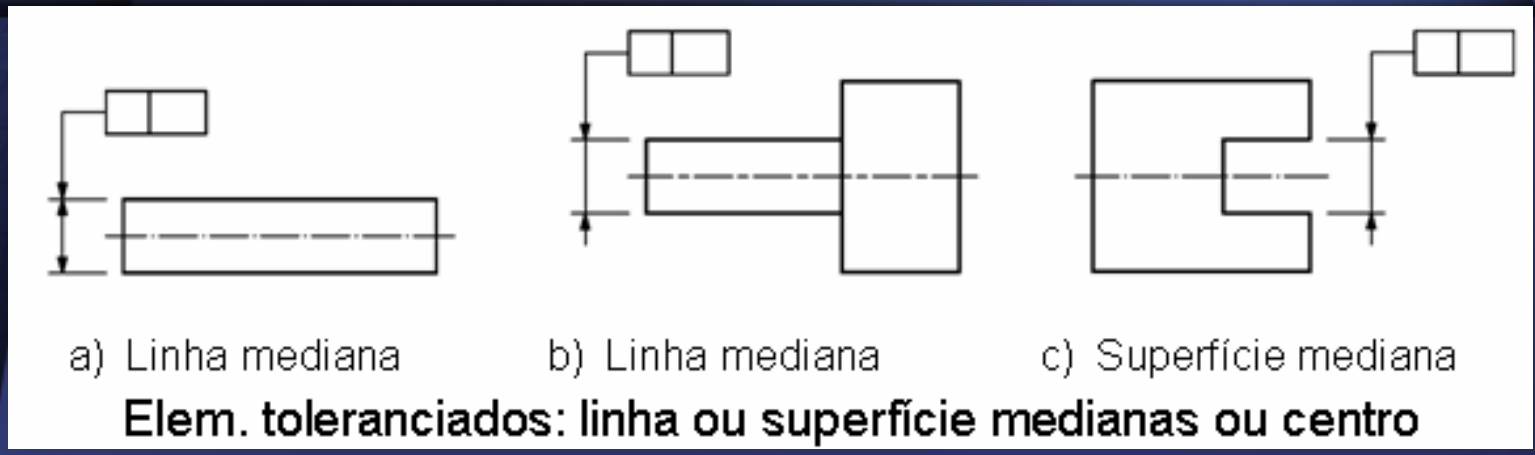


Quadros de tolerância – indicações complementares

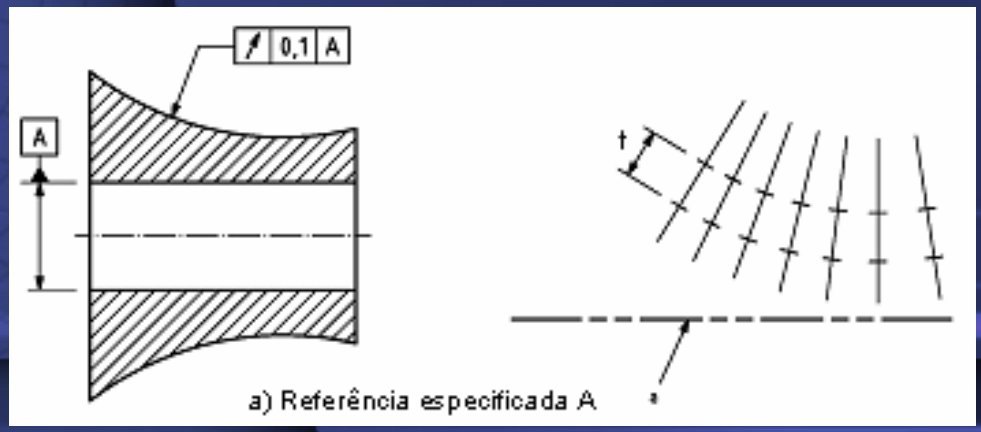


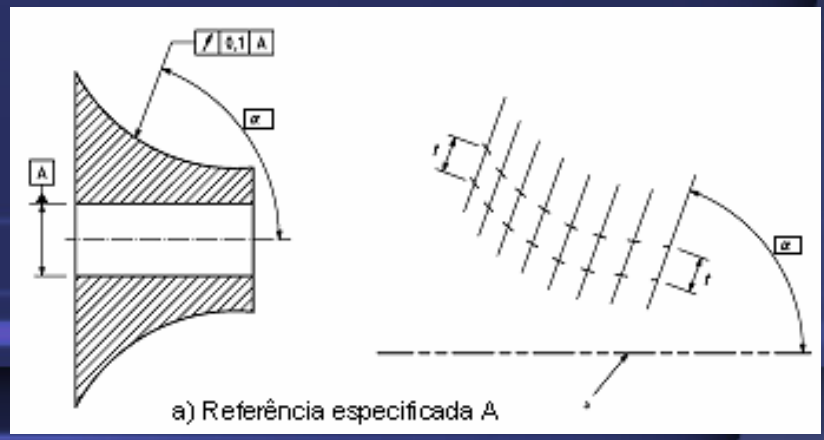
Elementos toleranciados: a linha ou a superfície representadas

Tolerâncias Geométricas

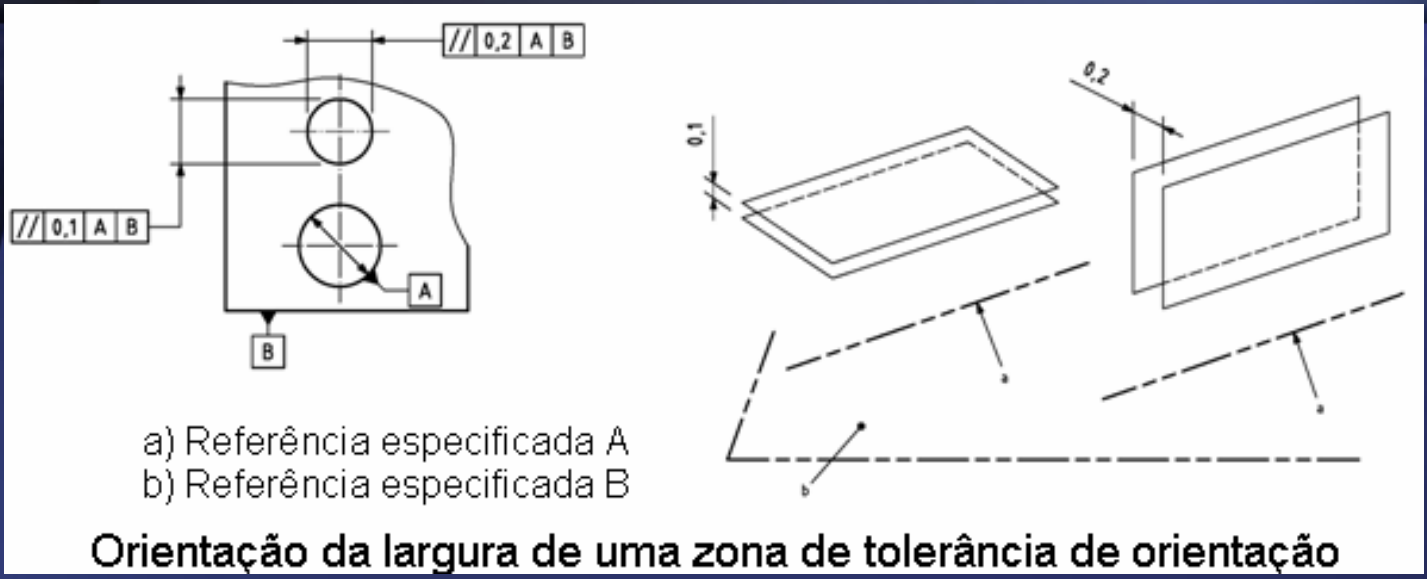


- A **largura da zona de tolerância** é estabelecida **segundo a direcção normal** à geometria especificada, salvo indicação em contrário.

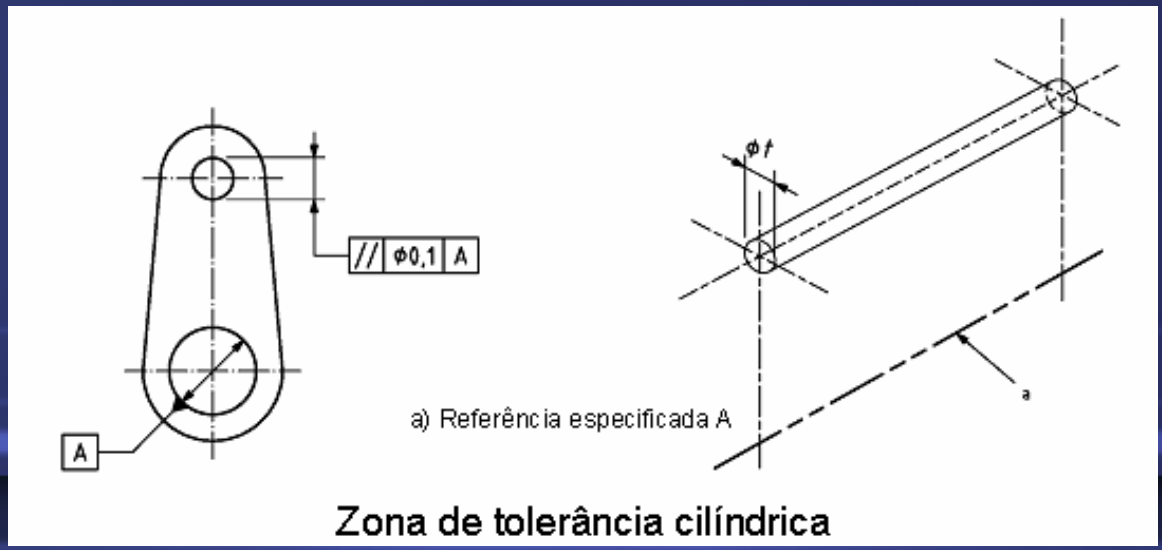




Tolerâncias Geométricas



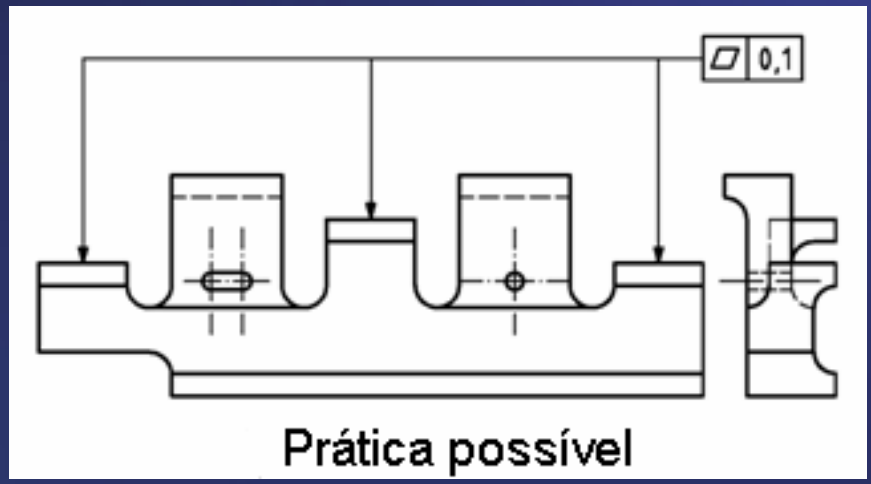
Orientação da largura de uma zona de tolerância de orientação



Zona de tolerância cilíndrica

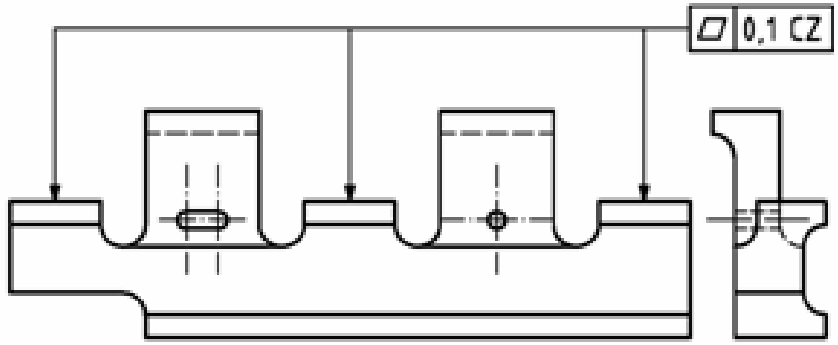
Tolerâncias Geométricas

- Zonas de **tolerância individuais com o mesmo valor**:



Prática possível

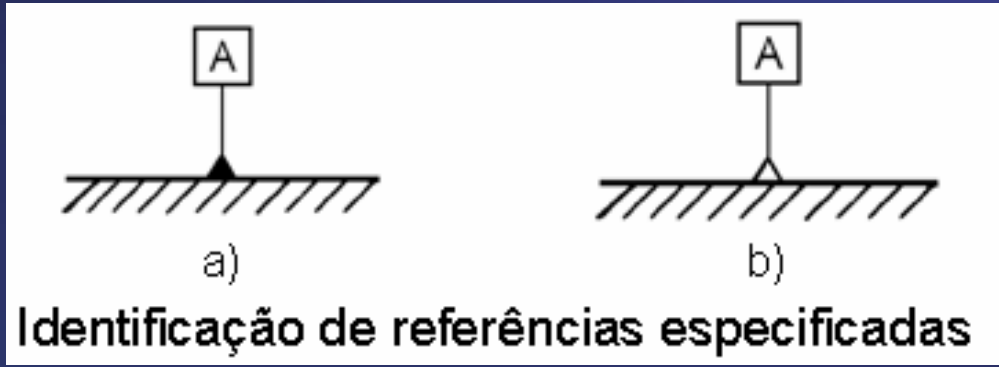
- Requisito de **zona comum** (CZ):



Requisito de zona comum aplicado a vários elementos

Tolerâncias Geométricas

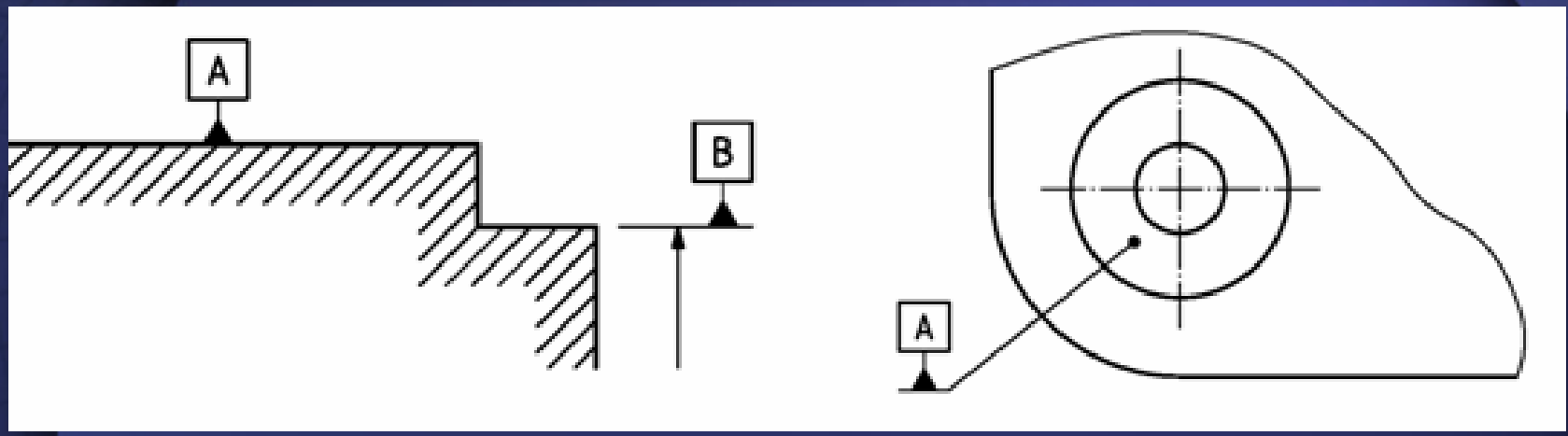
- Referências especificadas:

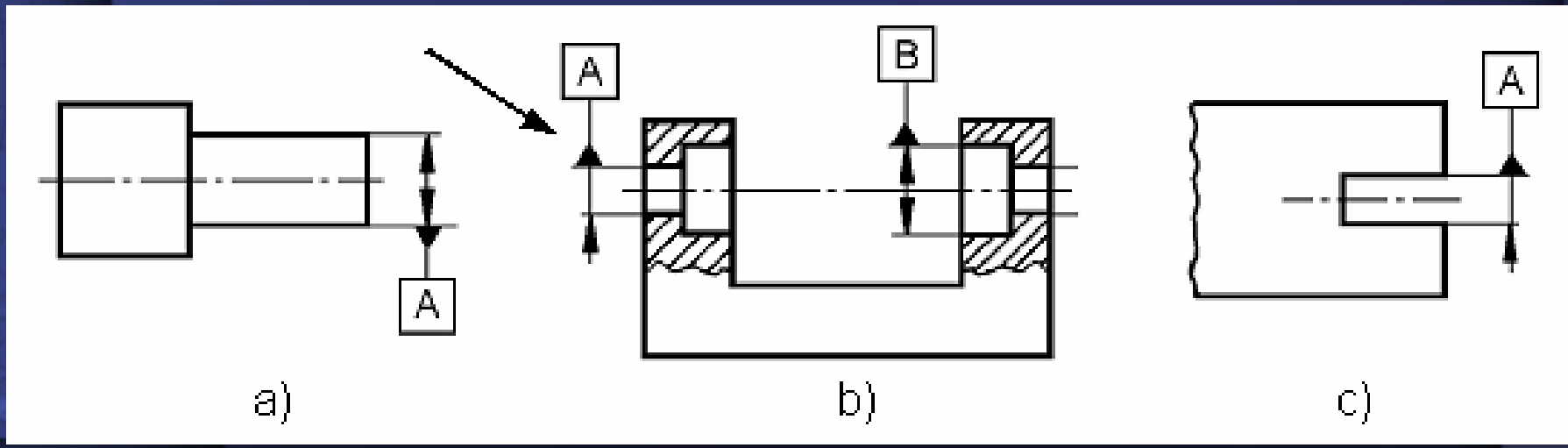


Identificação de referências especificadas

- O **triângulo** com a letra de referência **deve ser colocado**:
  - **Sobre o contorno do elemento ou na sua extensão**, **ou sobre uma linha de referência**, ligada à superfície através de uma linha de indicação quando o elemento de referência é a linha ou a superfície representada.
  - **No prolongamento da linha de cota**, quando a referência especificada é o eixo, o plano mediano ou o centro do elemento assim cotado. Uma das setas pode ser substituída pelo triângulo de referência.

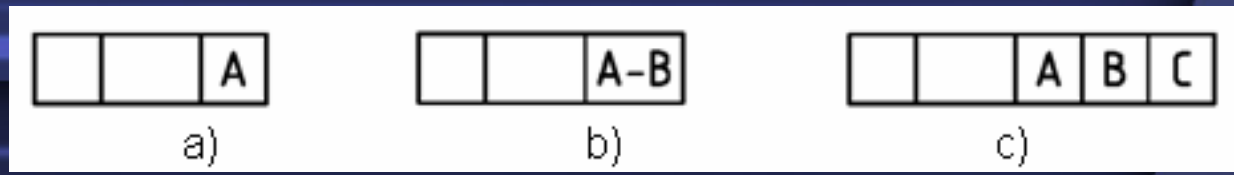
Tolerâncias Geométricas





Tolerâncias Geométricas

- Uma **referência especificada simples**, estabelecida através de um único elemento, é **identificada por uma letra maiúscula**.
- Uma **referência especificada comum**, formada por dois elementos, é **identificada por duas letras separadas por um traço de união**.
- Se **um sistema de referências especificadas** é estabelecido por dois ou três elementos (referências múltiplas), as letras das referências especificadas são indicadas da esquerda para a direita, na ordem de prioridade dos elementos e em compartimentos diferentes.

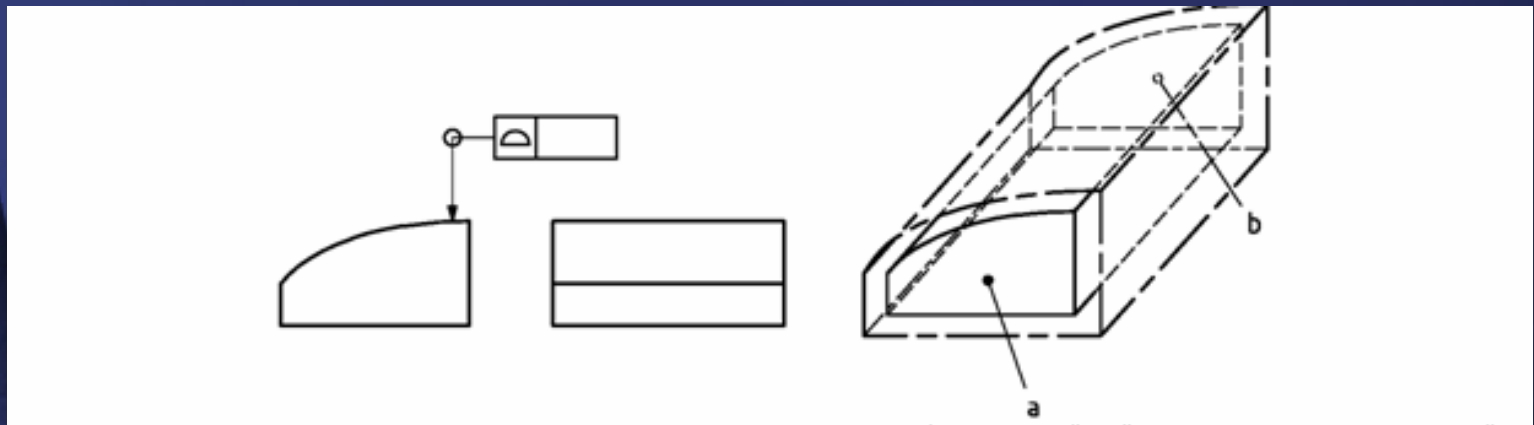


Tolerâncias Geométricas

- Indicações complementares:



Tolerância de perfil de uma linha qualquer “a toda a volta”

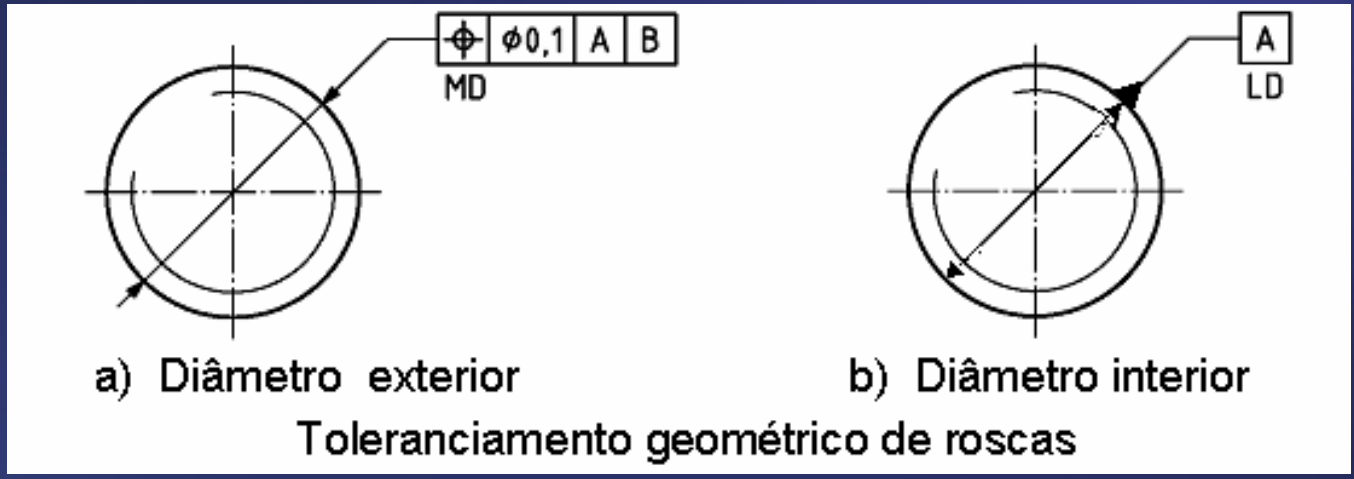


As linhas a traço longo-ponto indicam os elementos considerados. As superfícies a e b não são consideradas na especificação

Tolerância de perfil de uma superfície qualquer “a toda a volta”

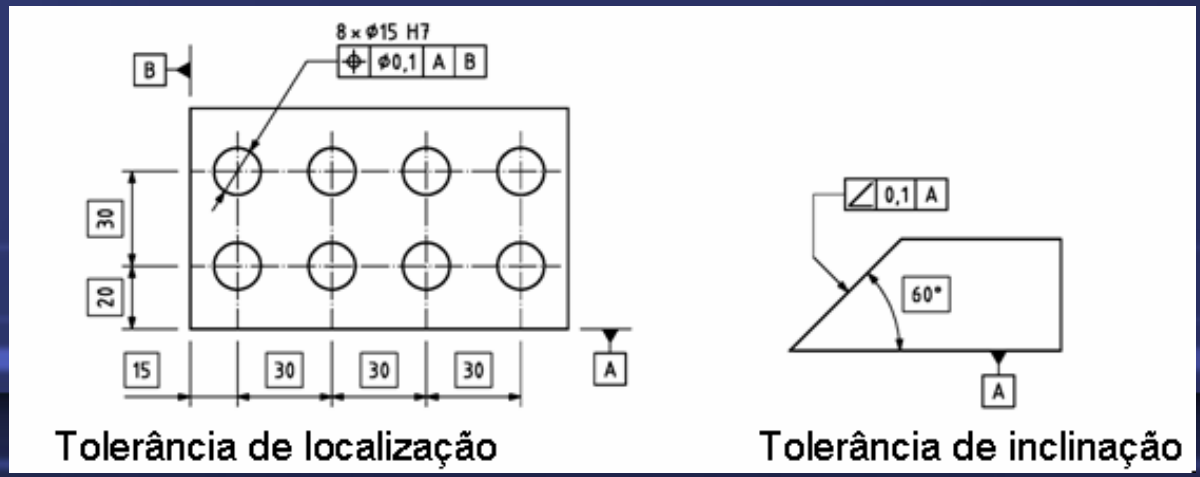
Tolerâncias Geométricas

- Indicações complementares:



Toleranciamento geométrico de roscas

- **Cotas** teoricamente **exactas**:

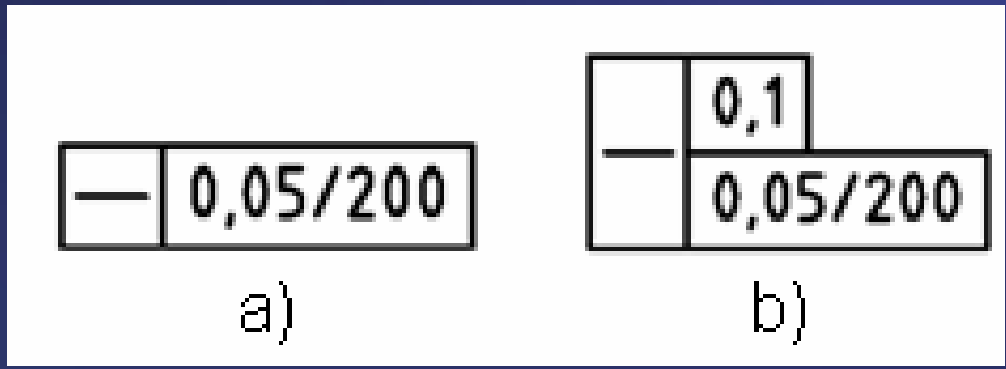


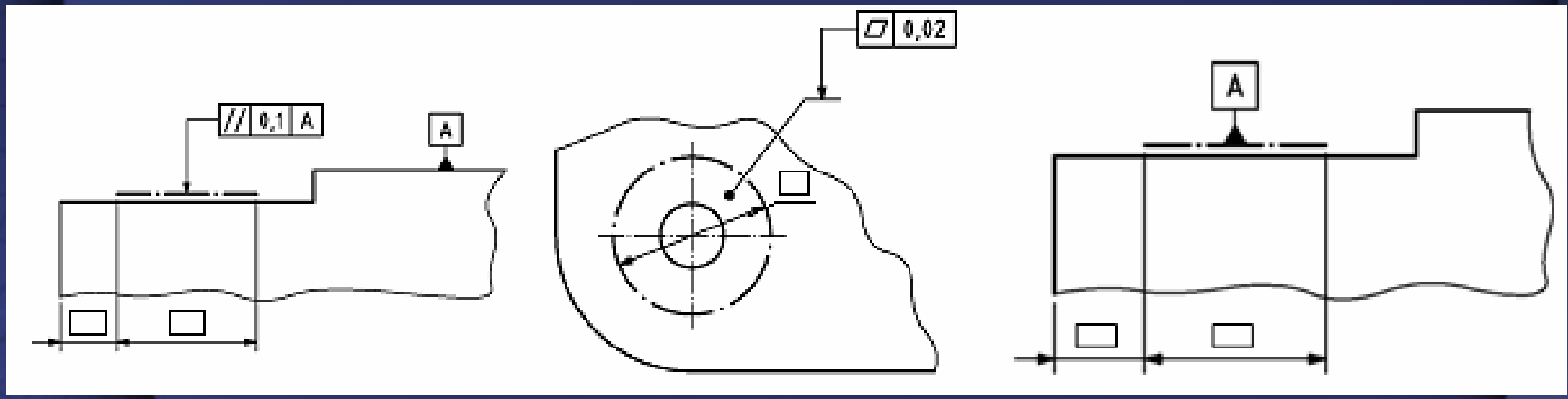
Tolerância de localização

Tolerância de inclinação

Tolerâncias Geométricas

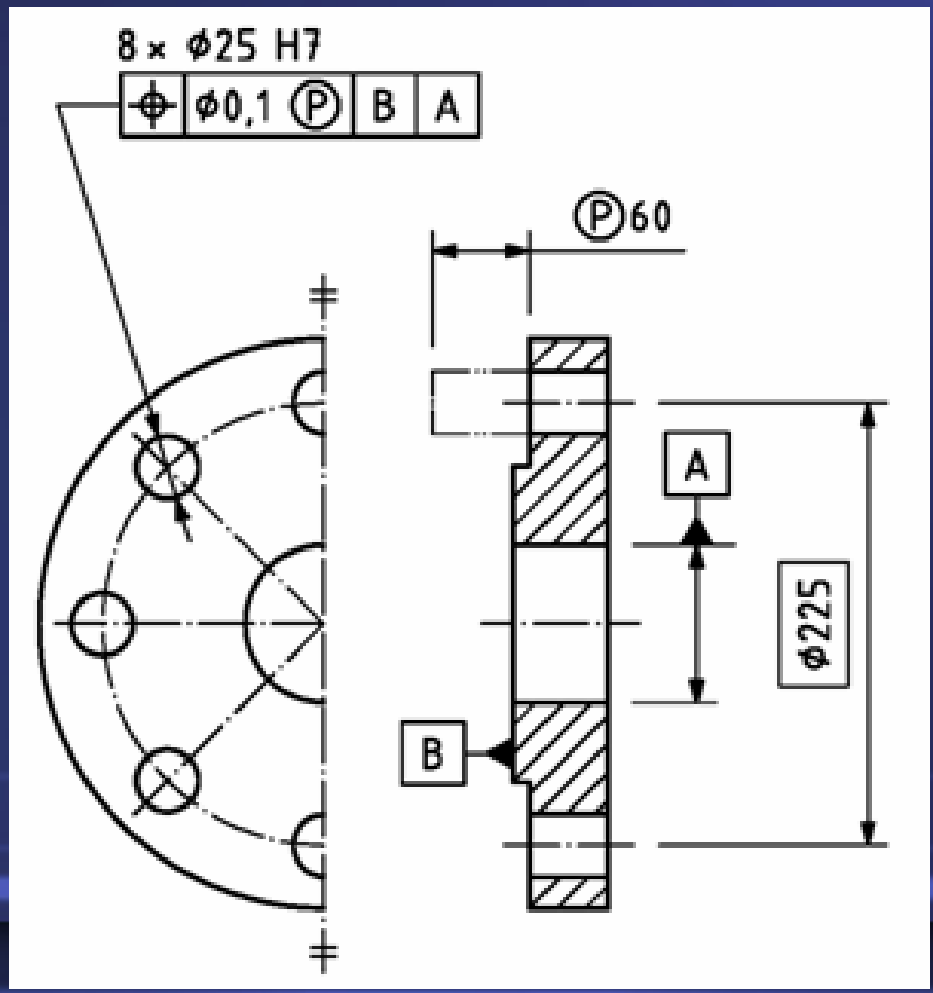
- Especificações restritivas:





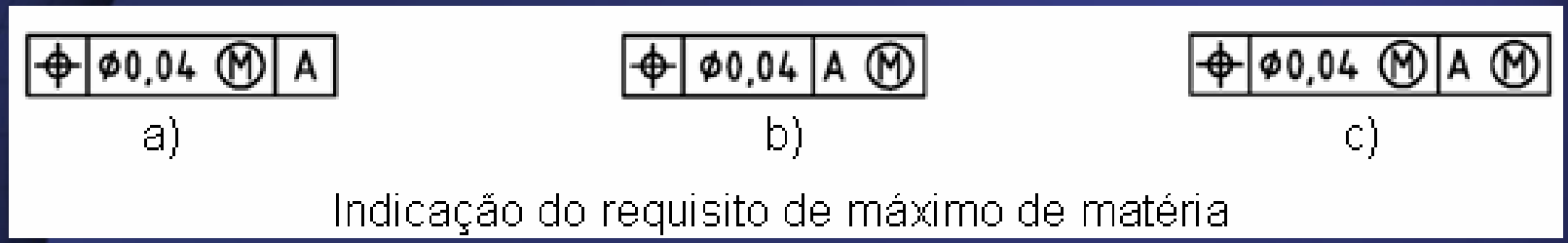
Tolerâncias Geométricas

- **Zona de tolerância projectada:**

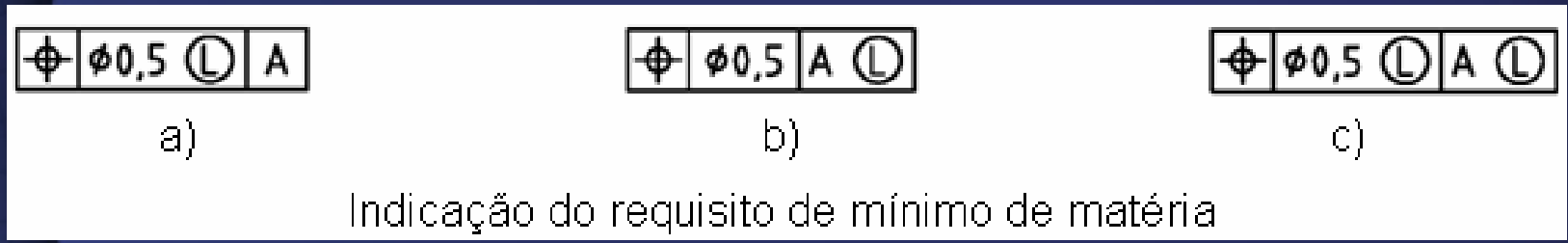


Tolerâncias Geométricas

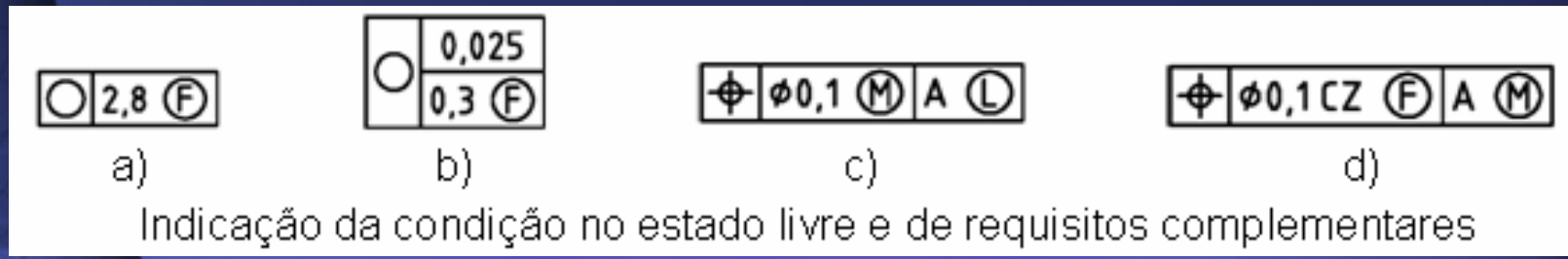
- Requisitos particulares:



Indicação do requisito de máximo de matéria



Indicação do requisito de mínimo de matéria



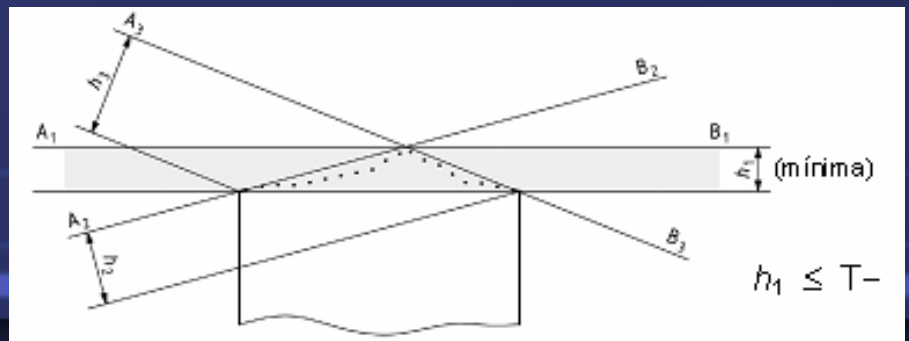
Indicação da condição no estado livre e de requisitos complementares

Tolerâncias Geométricas

- Relação entre tolerâncias geométricas:
  - **Certos tipos de tolerâncias**, que limitam os desvios geométricos de um elemento, **limitam**, **ao mesmo tempo**, **outros desvios** desse elemento.
  - tolerância de posição > tolerância de orientação > tolerância de forma > tolerância de ondulação.

Tolerâncias de forma

- Tolerância de **rectitude:**
  - A **rectitude é**, por definição, **uma propriedade de uma linha recta**. **Caracteriza uma linha** (aresta, linha mediana ou linha de uma superfície), mas não é suficiente para caracterizar uma superfície no seu conjunto.
  - A tolerância de rectitude é, basicamente, **utilizada para o controlo da forma de superfícies cilíndricas e cónicas**.
  - O valor especificado para a tolerância de rectitude não deve ser maior do que os valores de outras tolerâncias de forma, de orientação ou de posição especificadas em conjunto.

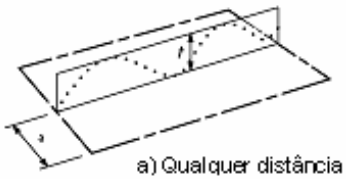
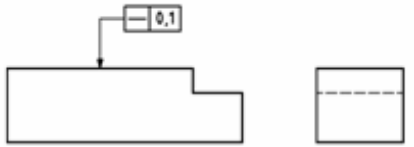
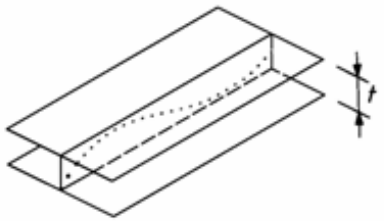
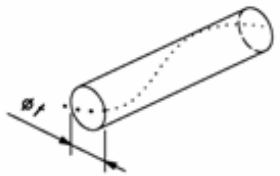
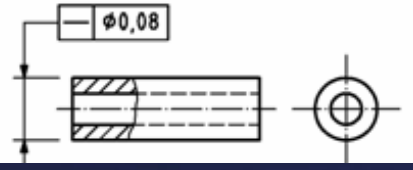


Definição da zona de tolerância de rectitude

Tolerâncias de forma

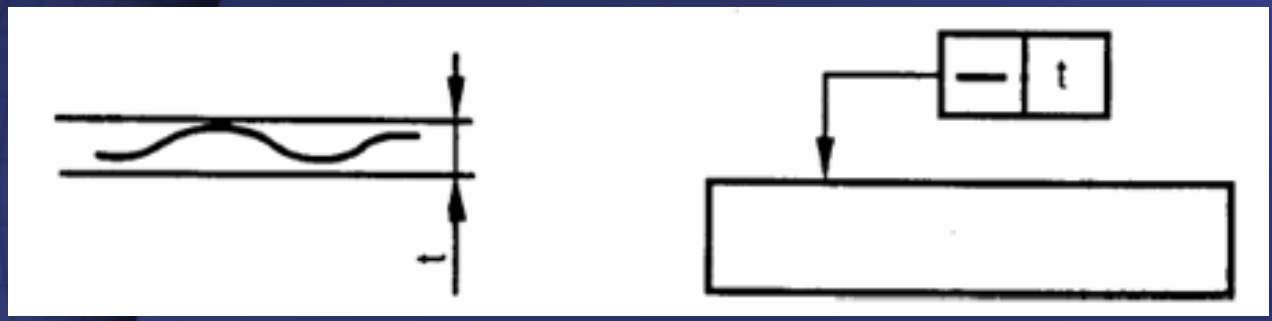
- Tolerância de **rectitude:**

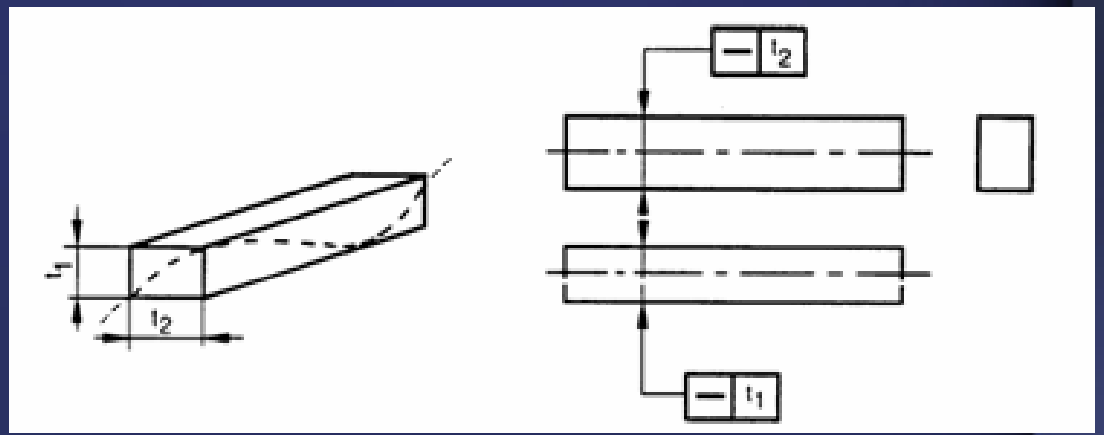
Tolerância de rectitude (símbolo —)

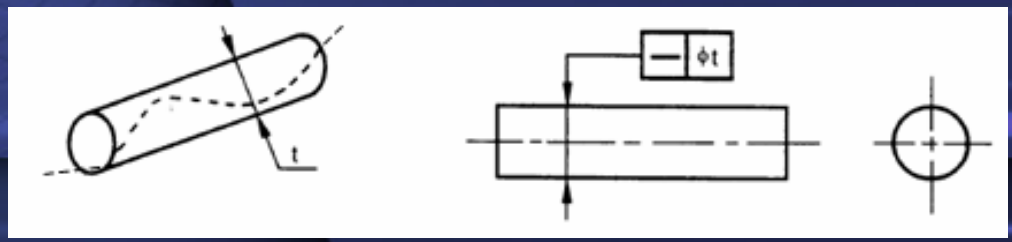
Definição da zona de tolerância	Indicação e interpretação
A zona de tolerância, no plano considerado, está limitada por duas linhas rectas paralelas, distantes entre si de *t*, unicamente na direcção especificada.  a) Qualquer distância	Uma linha extraída (real) qualquer da superfície superior, paralela ao plano de projecção no qual a indicação está dada, deve estar contida entre duas linhas rectas paralelas e distantes, entre si, de 0,1. 
A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos, distantes entre si de *t*. 	Uma linha geratriz extraída (real) qualquer da superfície cilíndrica deve estar compreendida entre dois planos paralelos e distantes, entre si, de 0,1. Nota: A definição de linha geratriz extraída não está ainda normalizada 
A zona de tolerância está limitada por um cilindro de diâmetro *t*, quando o valor da tolerância é precedido do símbolo ⌀. 	A linha mediana extraída (real) do cilindro ao qual se aplica a tolerância deve estar compreendida numa zona cilíndrica de 0,08 de diâmetro. 

Tolerâncias de forma

- Tolerância de **rectitude (exemplos):**





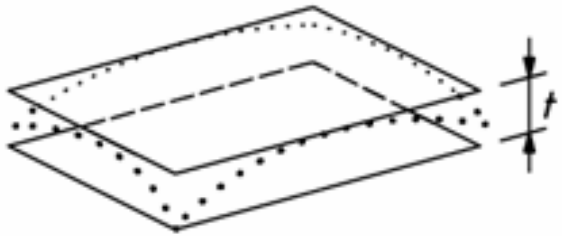


Tolerâncias de forma

- Tolerância de **planeza**:
  - A planeza é uma **propriedade de um plano**. **Caracteriza uma superfície**.
  - O desvio de planeza **é a distância mínima entre dois planos paralelos que contém o conjunto dos pontos da superfície medida**.
  - Esta tolerância é utilizada para controlar superfícies planas e, frequentemente, para qualificar uma superfície como uma referência primária.
  - Quando a superfície considerada está associada com uma cota de tamanho, a tolerância de planeza deve ser menor do que a tolerância dimensional.

Tolerâncias de forma

- Tolerância de **planeza**:

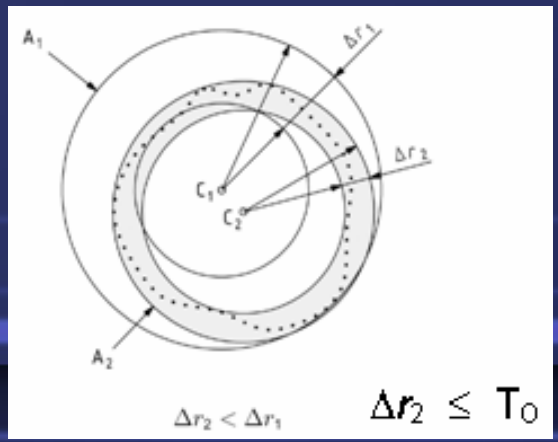
Tolerância de planeza (símbolo ▱)	
Definição da zona de tolerância	**Indicação e interpretação**
A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos, distantes entre si de *t*. 	A superfície extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes, entre si, de 0,08. 



Definição da zona de tolerância de planeza

Tolerâncias de forma

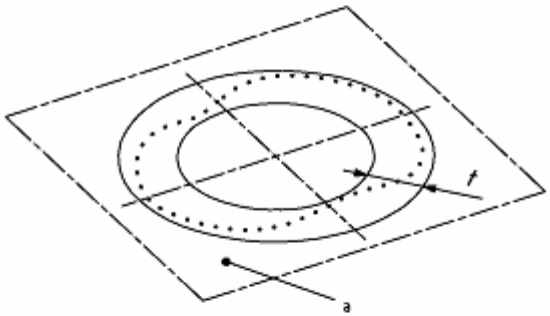
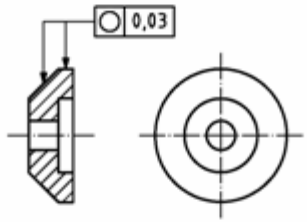
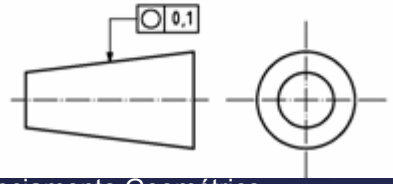
- Tolerância de **circularidade**:
  - A **circularidade é**, por definição, uma **propriedade de um círculo**. Caracteriza uma linha circular, mas não é suficiente para definir, no seu conjunto, uma superfície de revolução.
  - O desvio de circularidade **é a distância radial mínima entre duas circunferências concêntricas e complanares que contêm o conjunto dos pontos do perfil analisado**.
  - A tolerância de circularidade deve ser $T_o < T_D$, excepto para as peças sujeitas a variação no estado livre.



Tolerâncias de forma

- Tolerância de **circularidade**:

Tolerância de circularidade (símbolo ○)

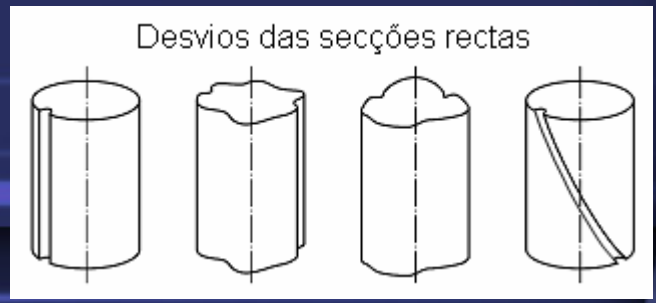
Definição da zona de tolerância	**Indicação e interpretação**
A zona de tolerância, na secção recta considerada, está limitada por duas circunferências concêntricas e com uma diferença de raios de *t*.	A linha circunferencial extraída (real), numa secção recta qualquer das superfícies cilíndricas e cónicas, deve estar compreendida entre duas circunferências complanares concêntricas, com uma diferença de raios de 0,03.
 a) Secção recta qualquer	
	A linha circunferencial extraída (real), numa secção recta qualquer da superfície cónica, deve estar compreendida entre duas circunferências complanares concêntricas, com uma diferença de raios de 0,1.
Nota: A definição de uma linha circunferencial extraída não está ainda normalizada	

Tolerâncias de forma

- Tolerância de **cilindricidade**:
  - A **cilindricidade é**, por definição, uma **propriedade de um cilindro**. **Caracteriza uma superfície cilíndrica no seu conjunto**.
  - Os **desvios de cilindricidade podem ser considerados como uma combinação de elementos simples**, cada um dos quais tendo um significado que pode ser correlacionado com defeitos ou erros do processo de maquinar.

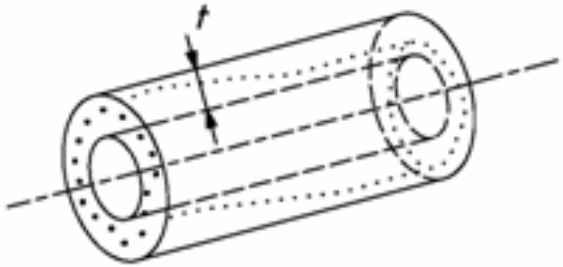
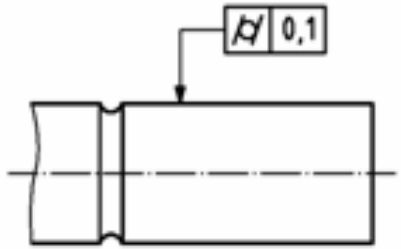






Tolerâncias de forma

- Tolerância de cilindricidade:

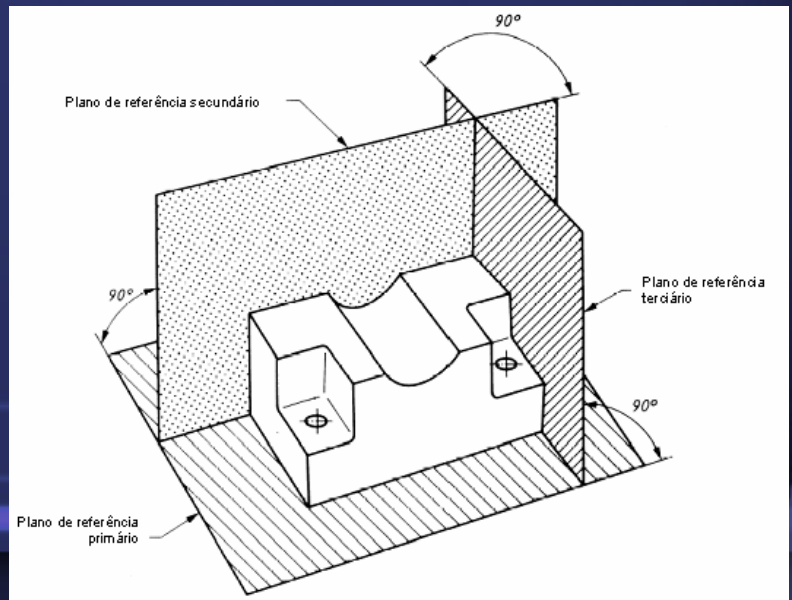
Tolerância de cilindricidade (símbolo ⌭)	
Definição da zona de tolerância	**Indicação e interpretação**
A zona de tolerância está limitada por dois cilindros coaxiais com uma diferença de raios de *t*. 	A superfície cilíndrica extraída (real) deve estar compreendida entre dois cilindros coaxiais, com uma diferença nos raios de 0,1. 

Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- Uma **referência especificada** (“datum”) é uma **referência geométrica teoricamente exacta** (ex.: eixo, plano, linha recta, etc.) em relação à qual os elementos toleranciados (com tolerâncias de orientação, de posição e/ou de batimento) são referidos. As referências especificadas **podem ser baseadas num ou mais elementos de uma peça**.
- Um **sistema de referências especificadas** (“datum-system”) **é um grupo de duas ou mais referências especificadas separadas**, utilizadas como uma referência combinada para um elemento toleranciado.
- São necessárias uma ou duas referências especificadas para as tolerâncias de orientação, **mas as relações de posição requerem, frequentemente, um sistema de referências especificadas constituído por três planos, mutuamente perpendiculares**, sendo necessário decidir sobre qual a sua ordem de precedência adequada.

Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

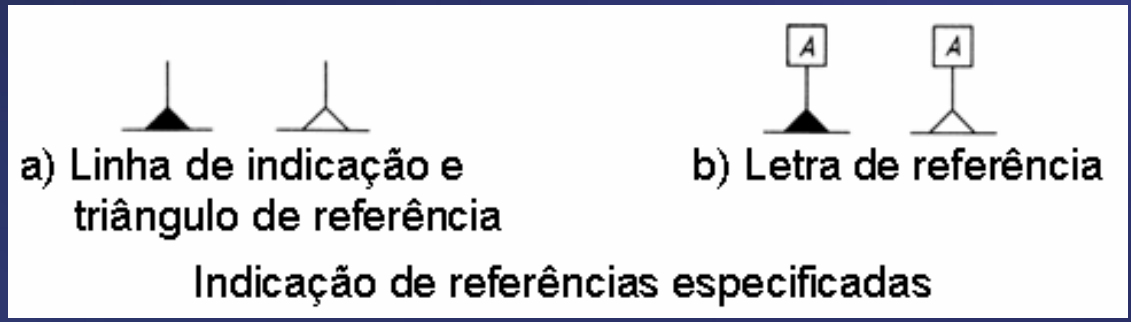
- **Um elemento de referência** (“datum feature”) **é um elemento real de uma peça** (ex.: uma aresta, uma superfície, um furo, etc.) que é **utilizado para estabelecer a posição de uma referência especificada**.
  Esses elementos são trabalhados com boa exactidão, numa fase inicial da execução da peça, e se necessário, têm tolerâncias de forma.



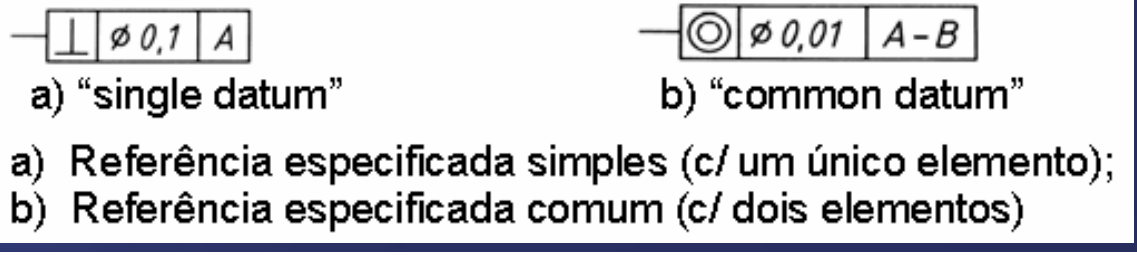
Sistema de referências especificadas

Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- Indicação de referências e sistemas de referências especificadas:

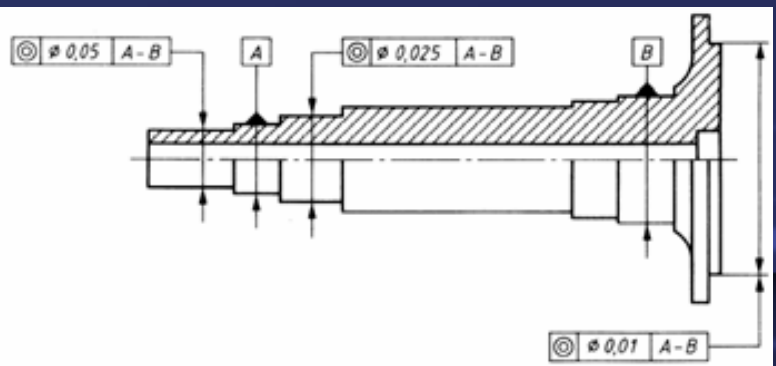


Indicação de referências especificadas



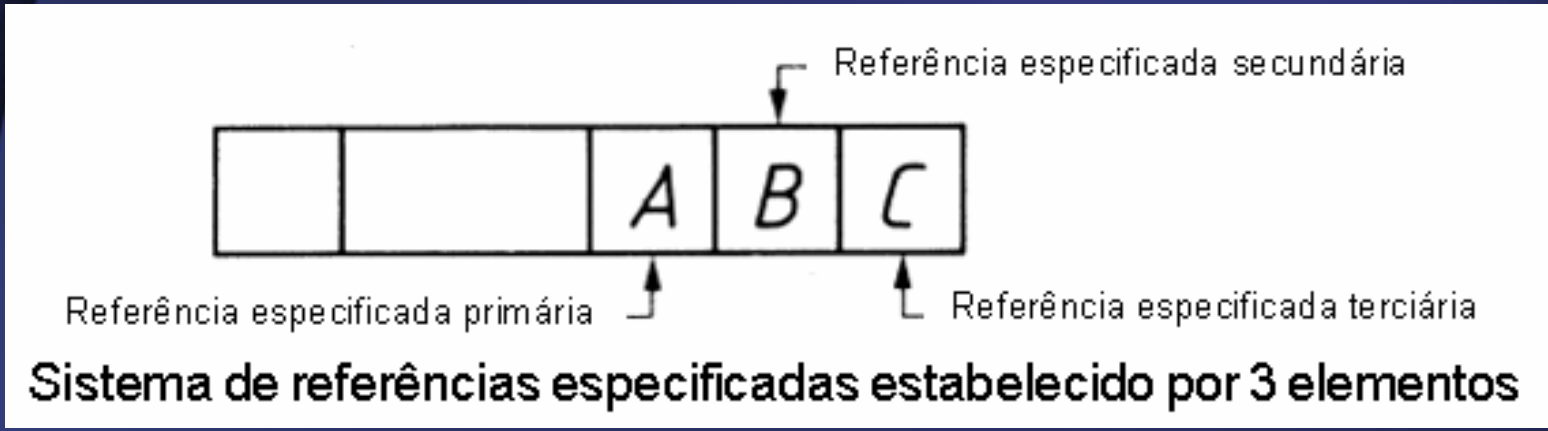
a) Referência especificada simples (c/ um único elemento);
b) Referência especificada comum (c/ dois elementos)

Referência especificada comum ("common datum") estabelecida por dois elementos (exemplo)



Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- Indicação de referências e sistemas de referências especificadas:

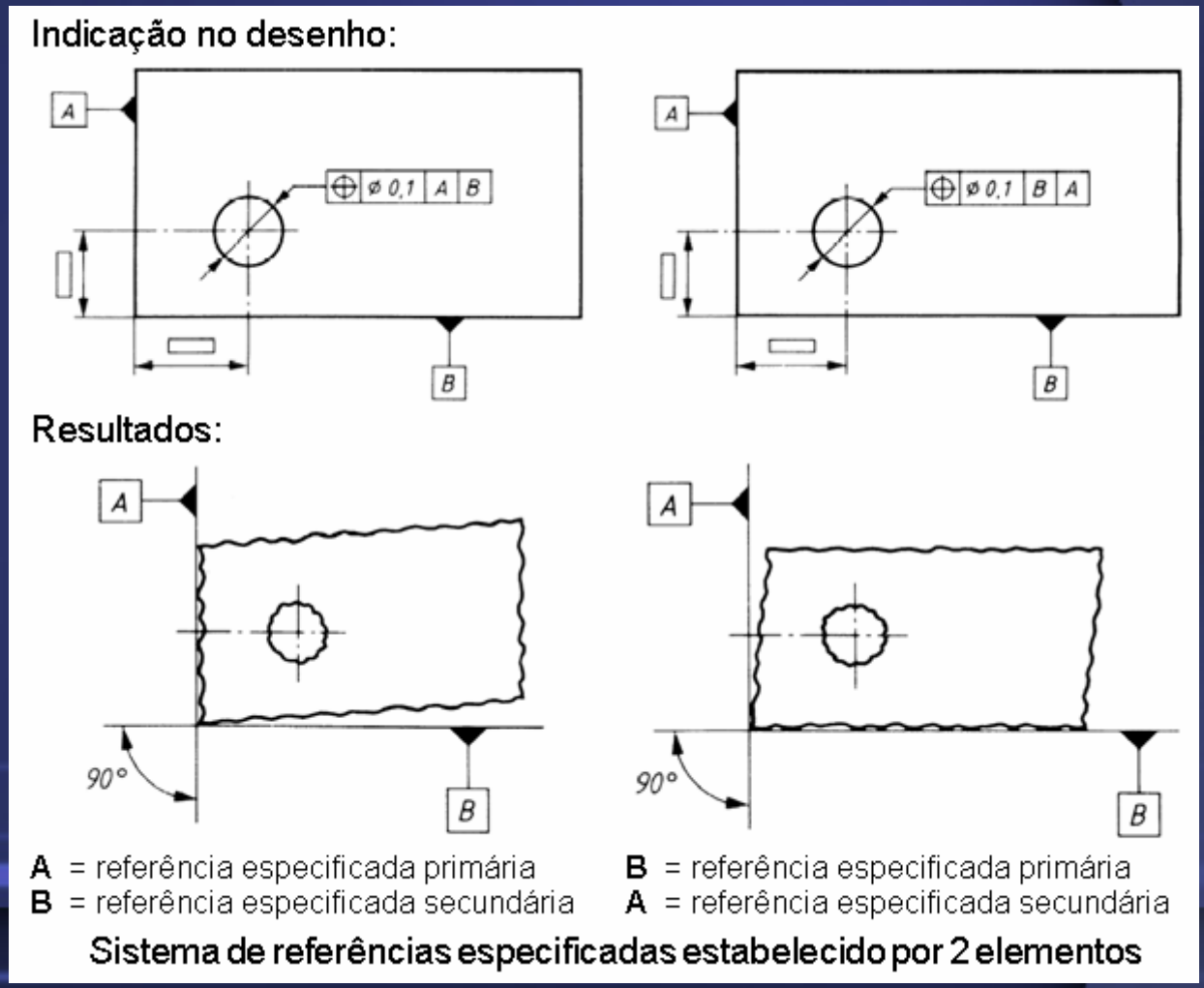


Sistema de referências especificadas estabelecido por 3 elementos

  - **A sequência das referências especificadas pode ter uma influência considerável** no resultado obtido nas fases de fabricação e de verificação.

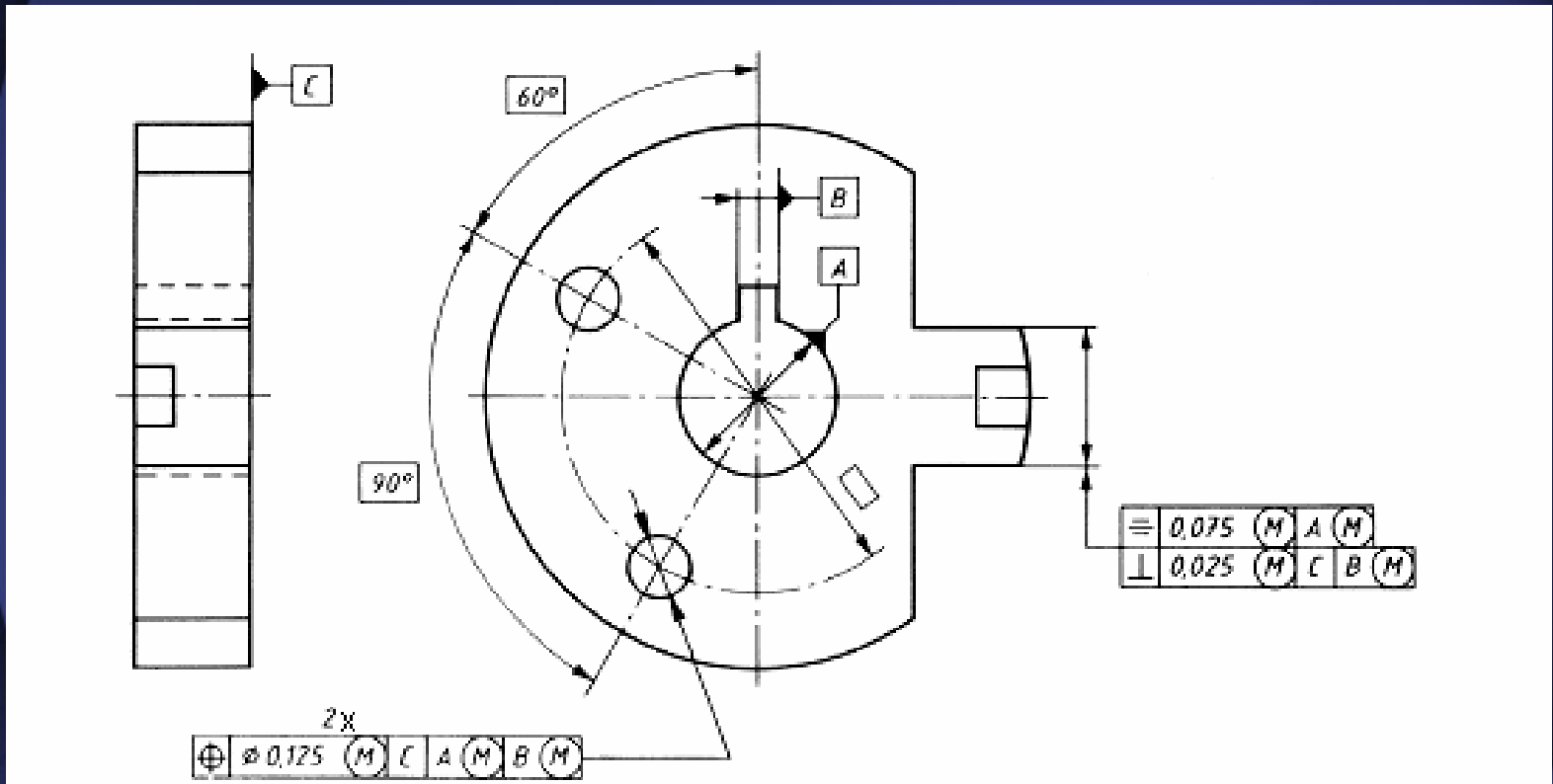
Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- Indicação de referências e sistemas de referências especificadas:



Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- Indicação de referências e sistemas de referências especificadas:



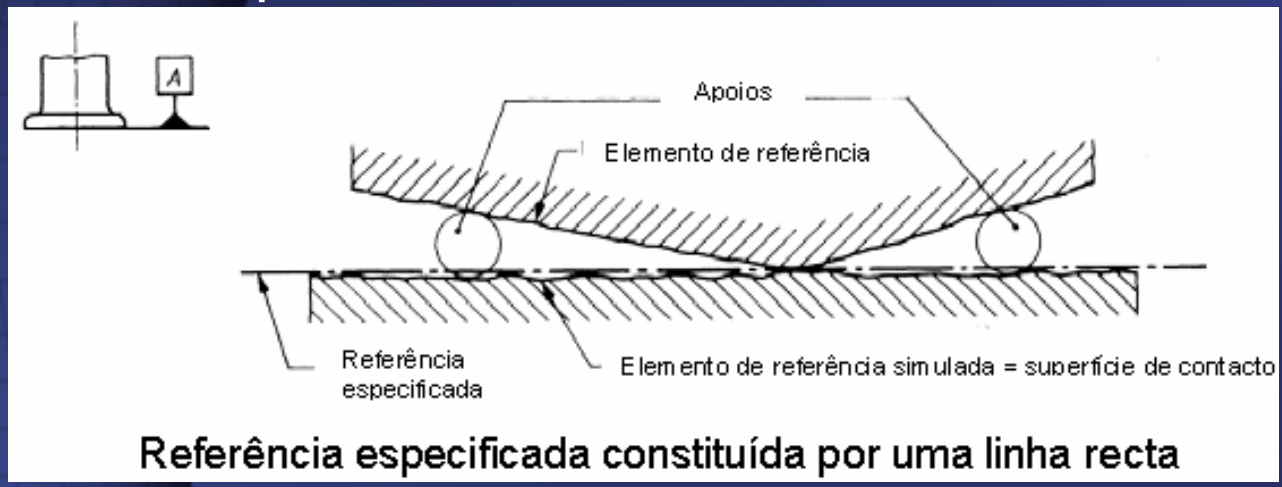
Exemplos de referências e sistemas de referências especificadas

Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

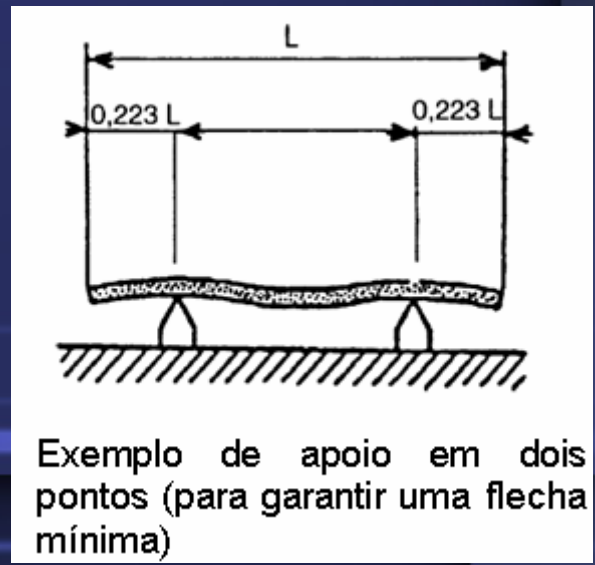
- Estabelecimento de **referências especificadas**:
  - Os elementos indicados como referências especificadas têm inexactidões resultantes do processo produtivo (ex.: desvios convexos, concâvos ou cónicos).
  - Um **elemento de referência simulada** (“simulated datum target”) (ou elemento associado) é uma **superfície real de forma precisa adequada** (ex.: uma superfície plana, um apoio cilíndrico, um mandril, etc.) que é **posta em contacto com o elemento de referência**.
    Os elementos de referência simulada são utilizados para a materialização das referências especificadas durante as fases de fabricação e de inspecção das peças.

Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- Exemplos de estabelecimento de referências especificadas:



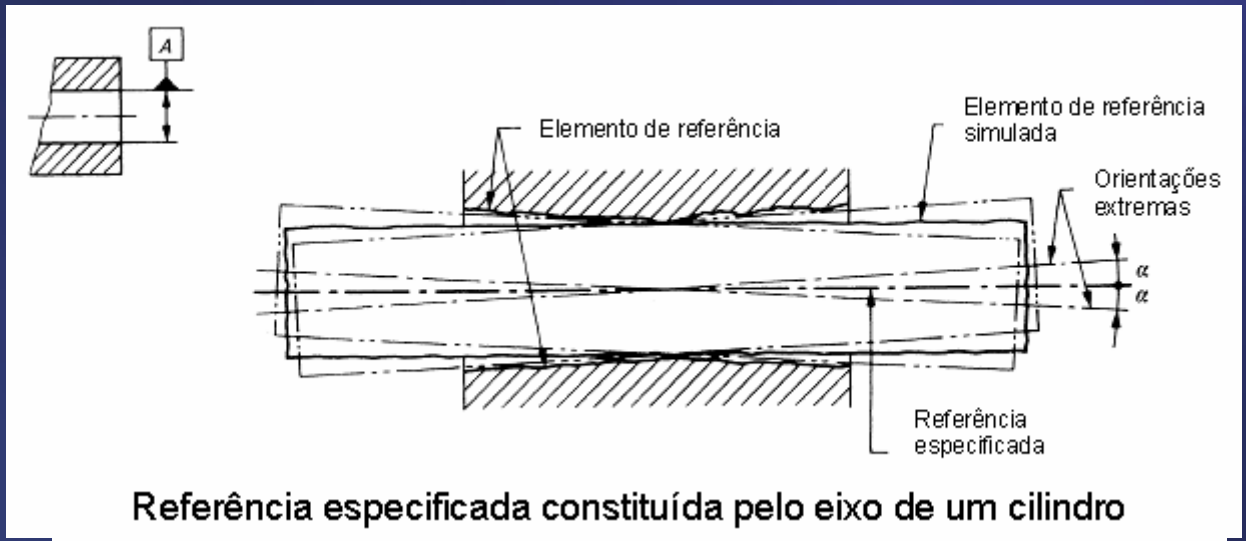
Referência especificada constituída por uma linha recta



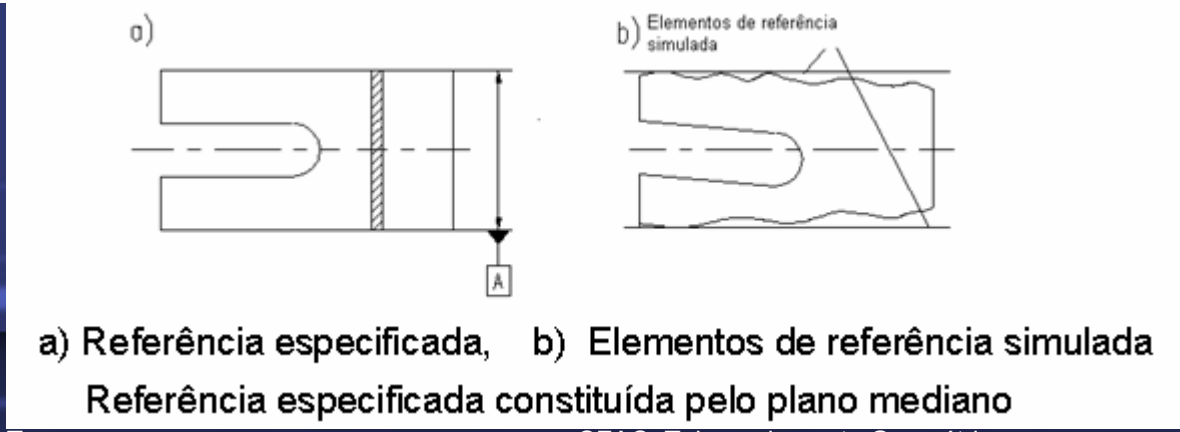
Exemplo de apoio em dois pontos (para garantir uma flecha mínima)

Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- Exemplos de estabelecimento de referências especificadas:



Referência especificada constituída pelo eixo de um cilindro

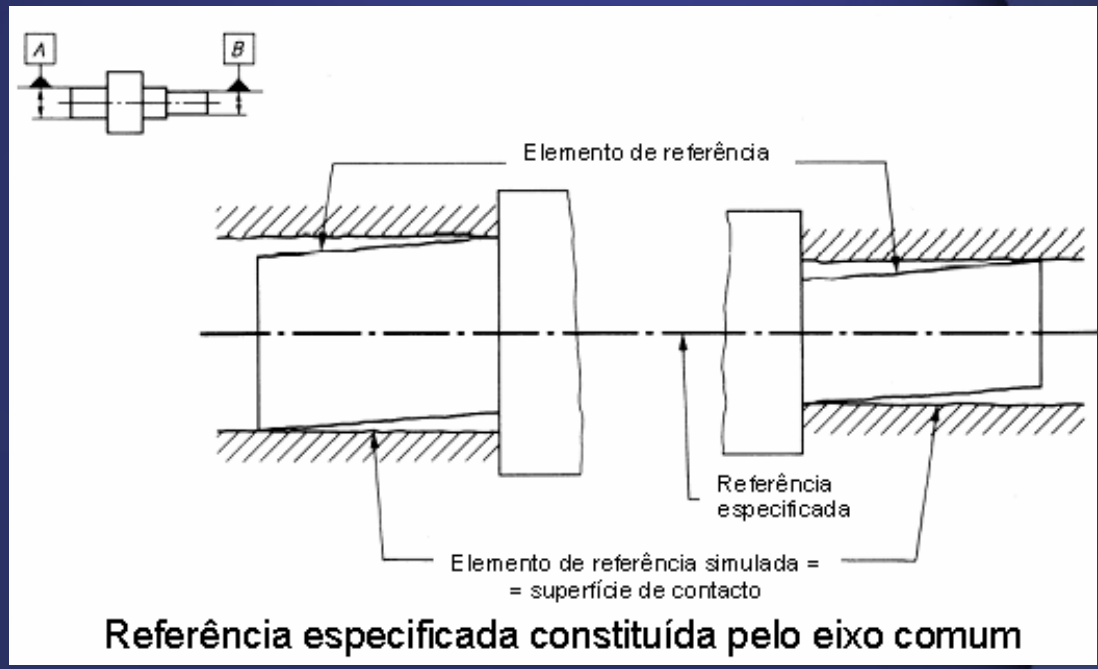


a) Referência especificada, b) Elementos de referência simulada

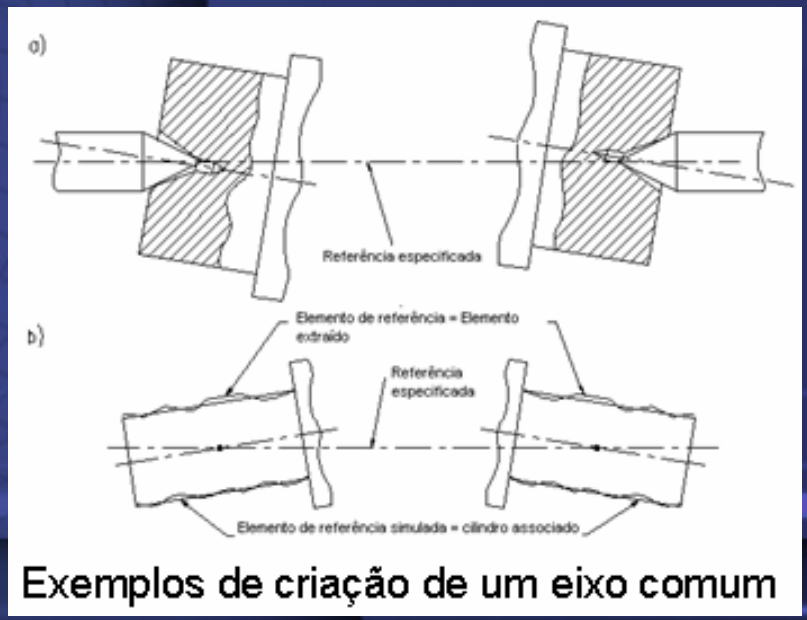
Referência especificada constituída pelo plano mediano

Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- Exemplos de estabelecimento de referências especificadas:



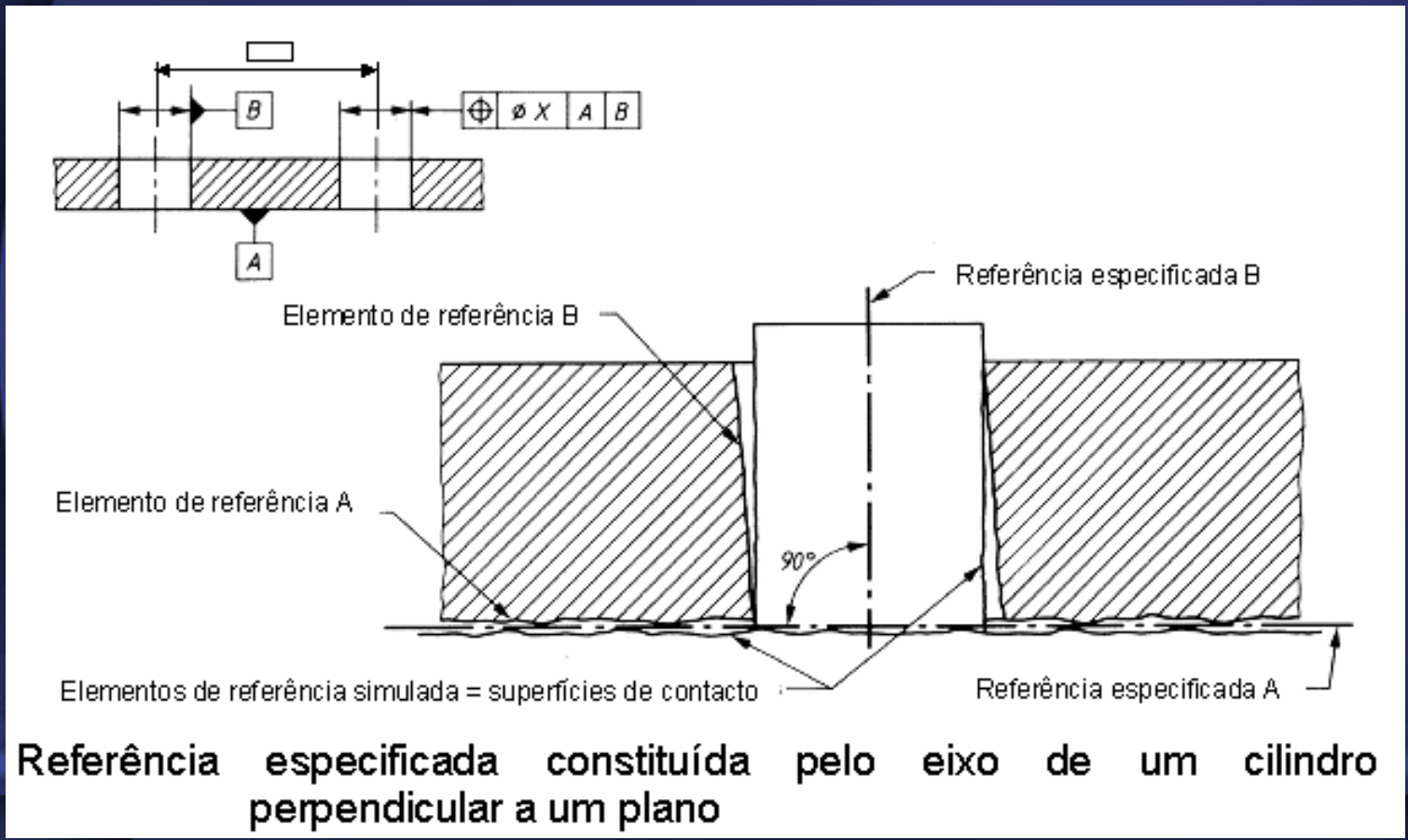
Referência especificada constituída pelo eixo comum



Exemplos de criação de um eixo comum

Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

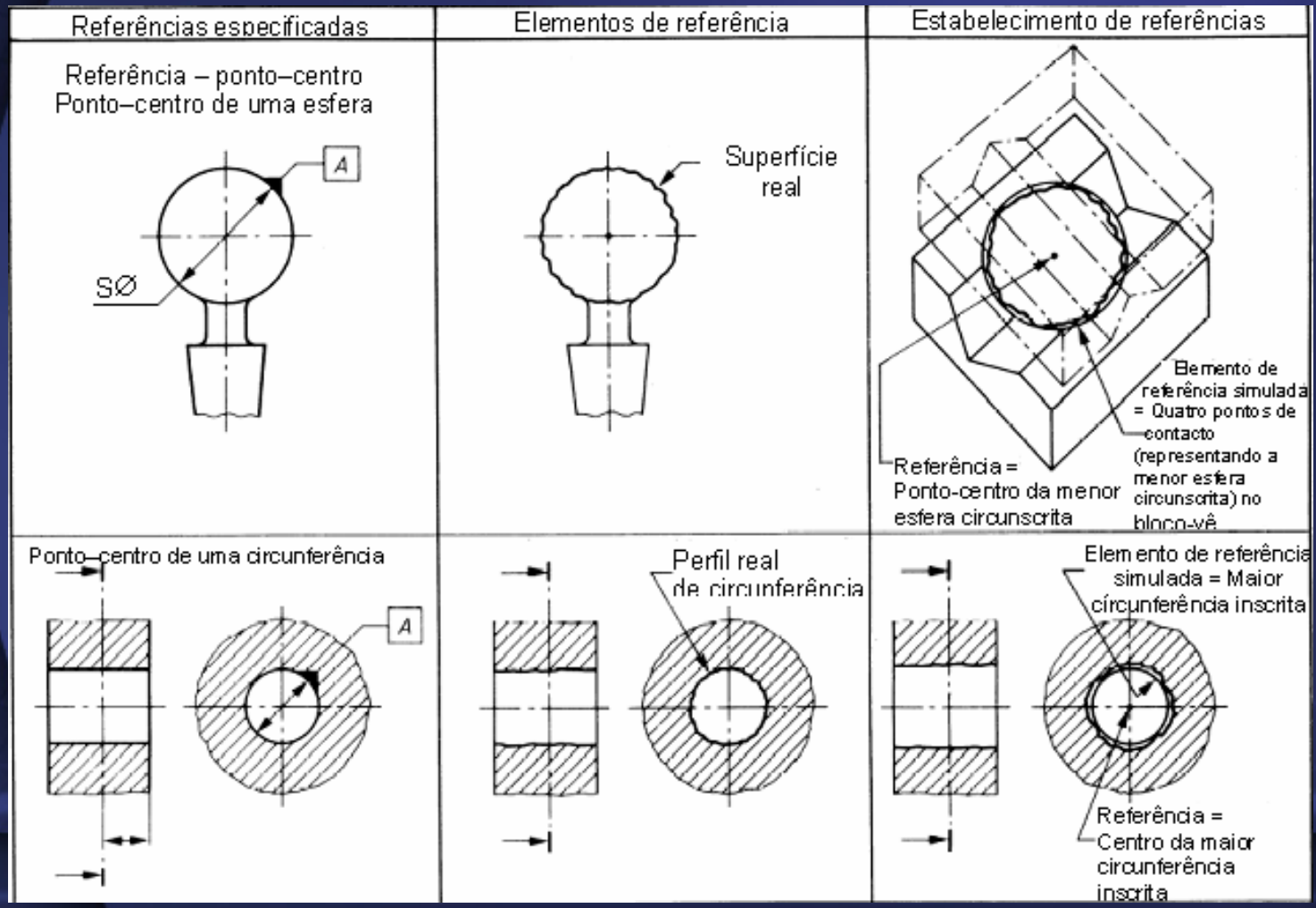
- Exemplos de estabelecimento de referências especificadas:



Referência especificada constituída pelo eixo de um cilindro perpendicular a um plano

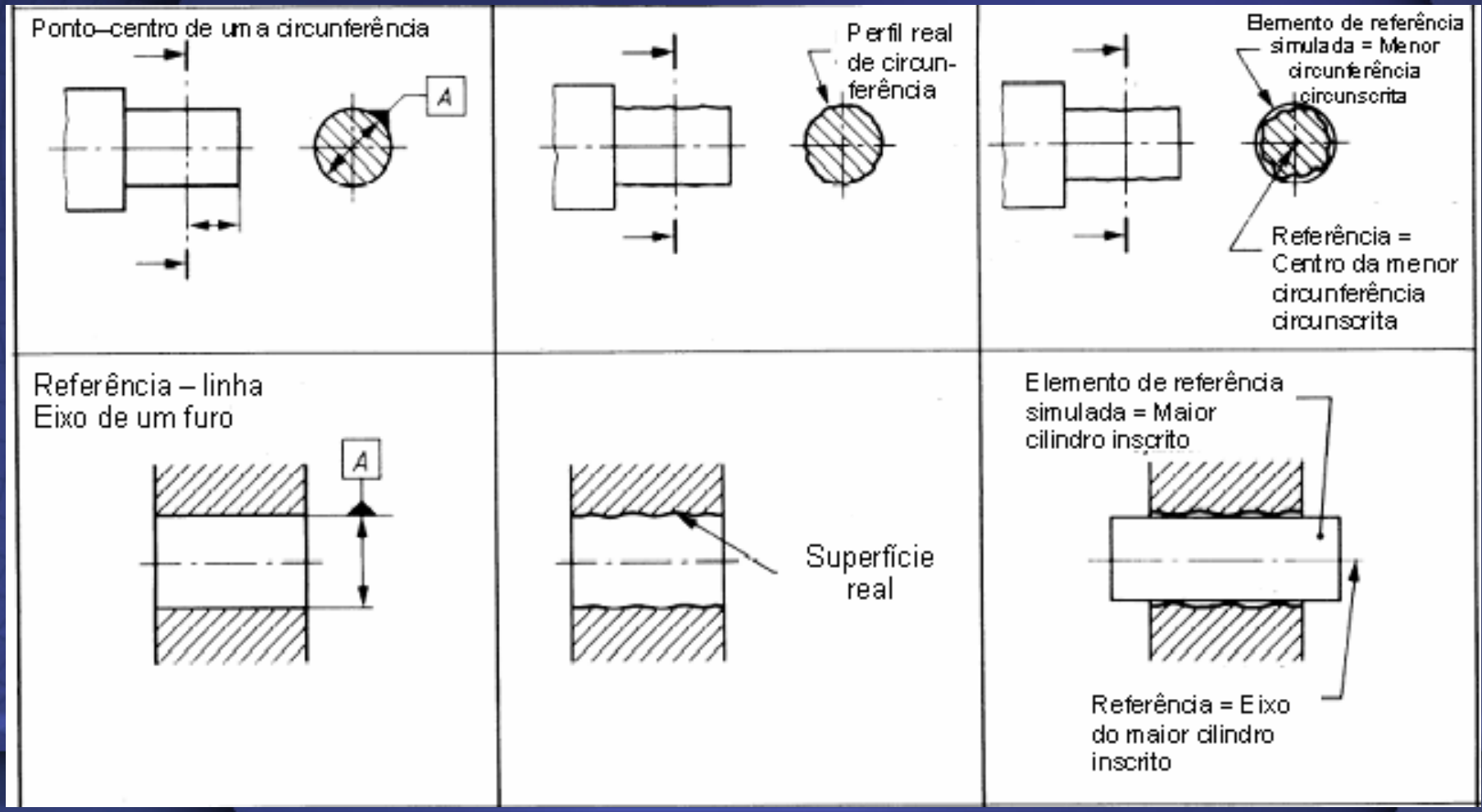
Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- Aplicação de referências especificadas:



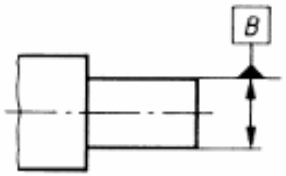
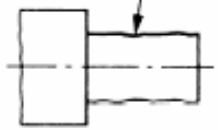
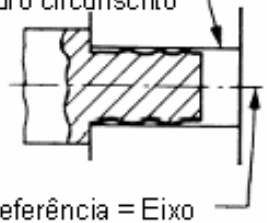
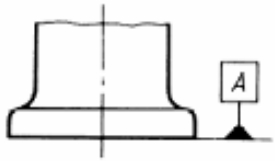
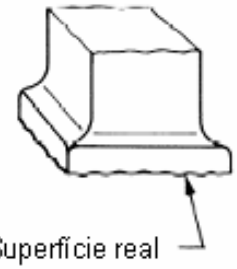
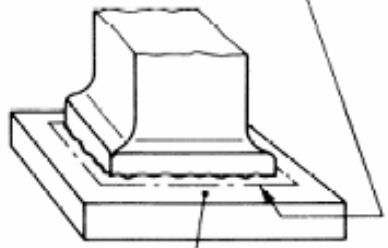
Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- Aplicação de referências especificadas (cont.):



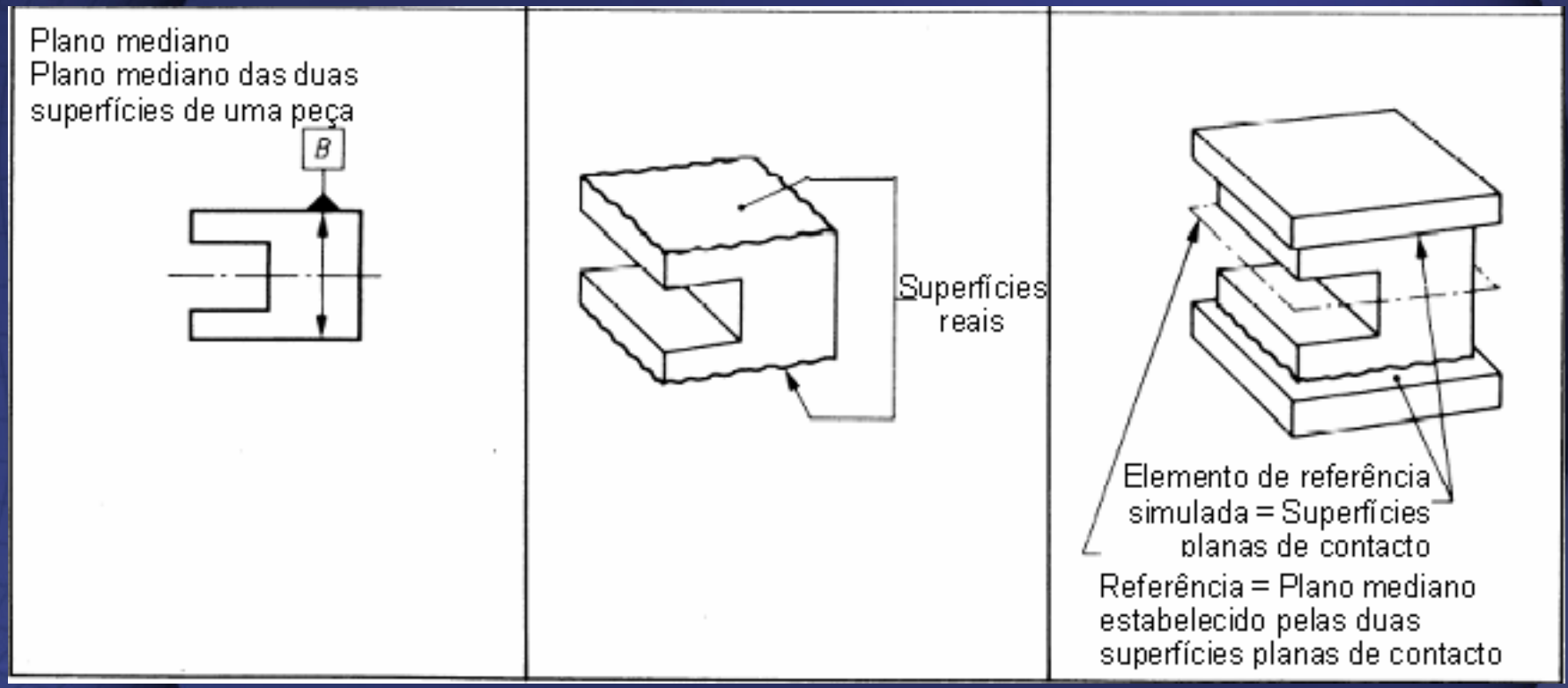
Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- Aplicação de referências especificadas (cont.):

Referências especificadas	Elementos de referência	Estabelecimento de referências
Eixo de um veio 		Elemento de referência simulada = Menor cilindro circunscrito  Referência = Eixo do menor cilindro circunscrito
Referência – plano Superfície de uma peça 		Referência = Plano estabelecido pela superfície plana  Elemento de referência simulada = Superfície da superfície plana

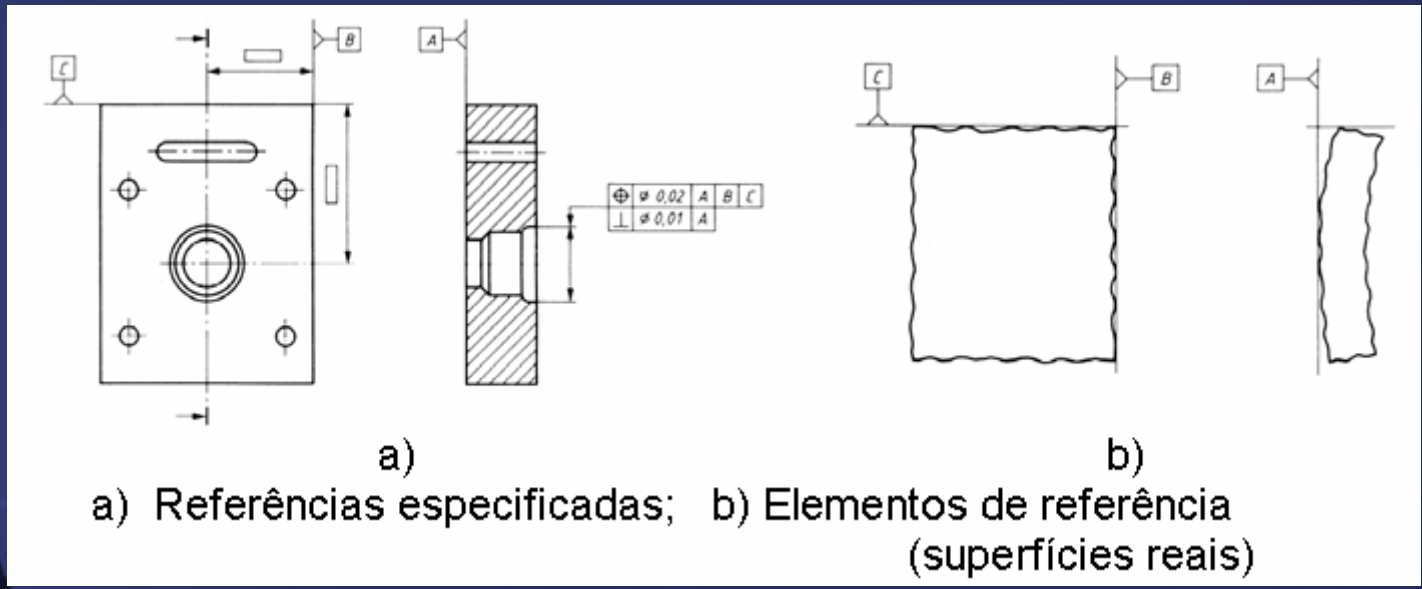
Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- Aplicação de referências especificadas (cont.):



Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- **Referências parciais**:
  - A **especificação de uma superfície total como elemento de referência pode introduzir variações ou falta de repetibilidade** nas medições realizadas a partir dela, se existirem variações significativas em relação à sua forma ideal.

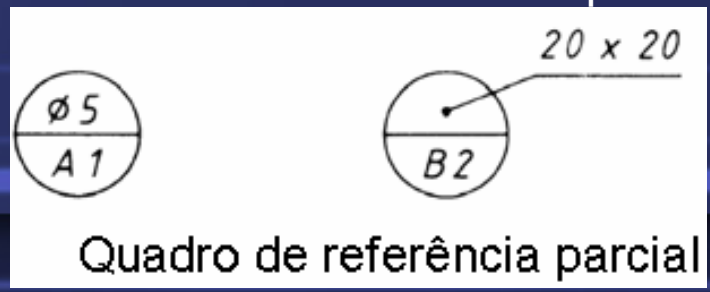


a) Referências especificadas; b) Elementos de referência (superfícies reais)

  - **Pode então ser necessário introduzir referências parciais**, se tal não afectar o funcionamento da peça.

Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- **Referência parcial ("datum target"): ponto, linha ou área limitada** na peça usada no contacto com o equipamento de fabricação e de inspecção, **de modo a definir as referências requeridas para satisfazer os requisitos funcionais**.
- **Símbolos para indicação de referências parciais**:
  - **Quadro de forma circular dividido em dois compartimentos**:
    - No **compartimento inferior**, a **letra** representa a referência especificada e o **algarismo** representa a referência parcial.
    - No **compartimento superior** indica-se **informação complementar** (ex.: dimensões da zona de referência parcial).



Quadro de referência parcial

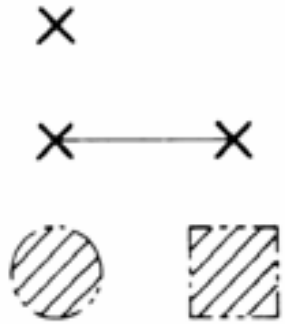
Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- A referência parcial pode ser um ponto, uma linha ou uma área.

Ponto (cruz)

Linha (2 cruzes unidas a traço contínuo fino)

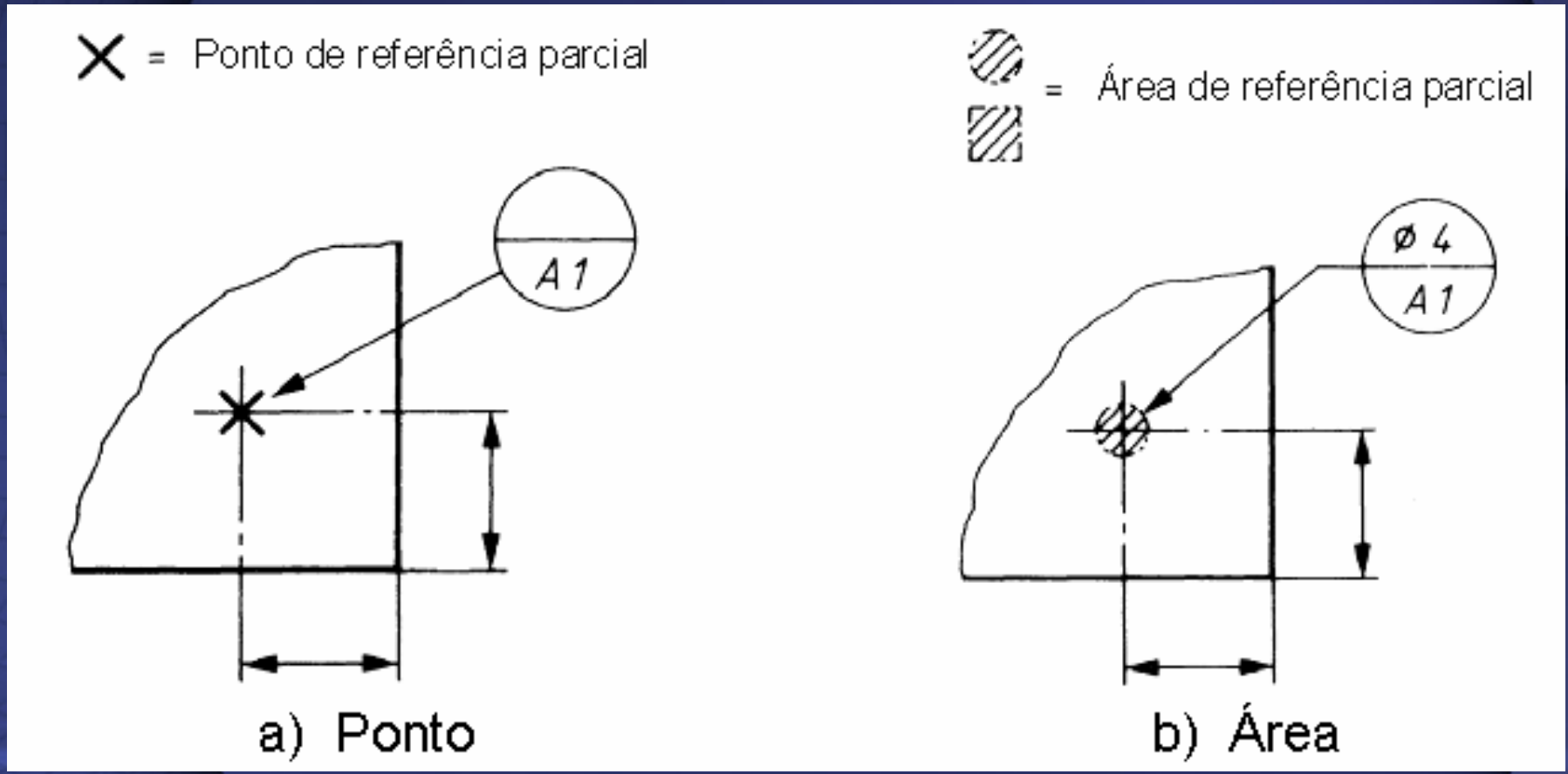
Área (limitada a traço longo-ponto fino)



Referências parciais

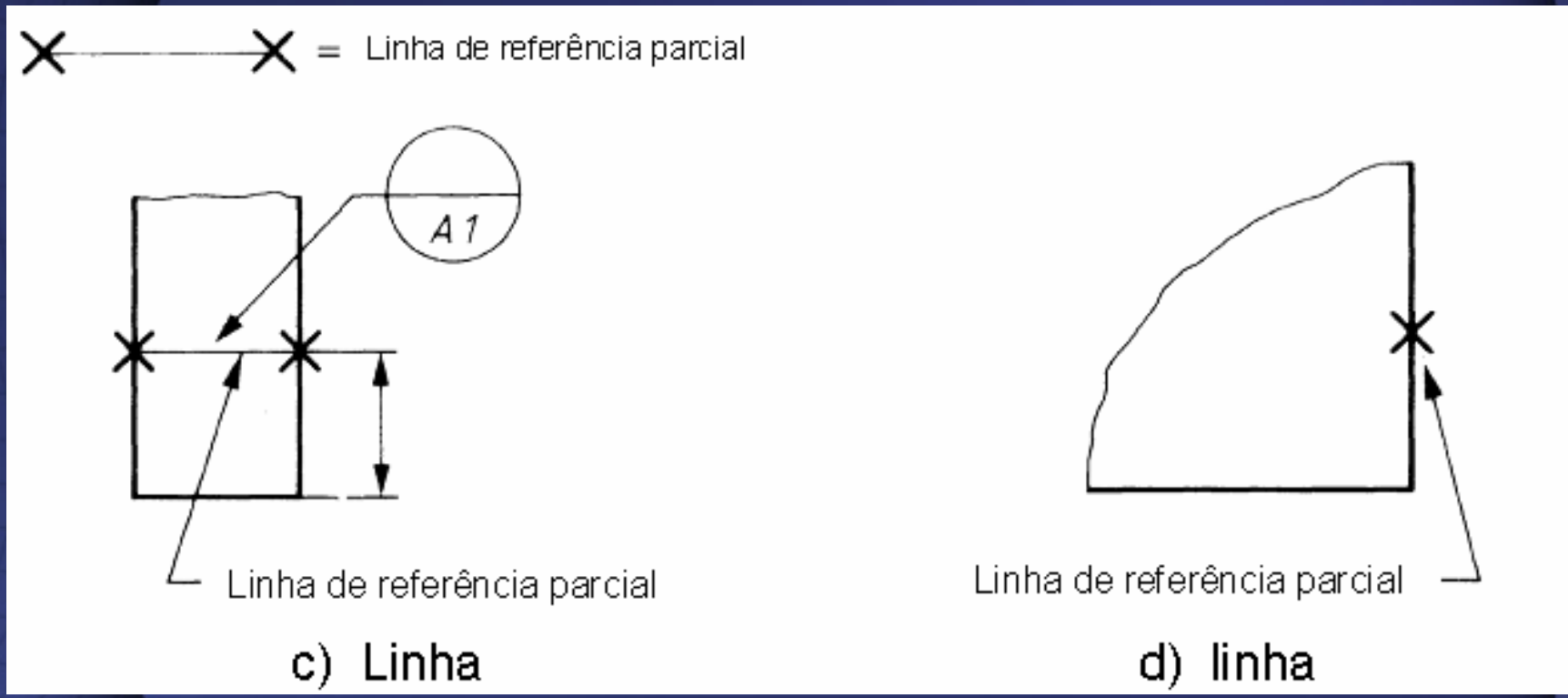
Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- **Referências parciais:**



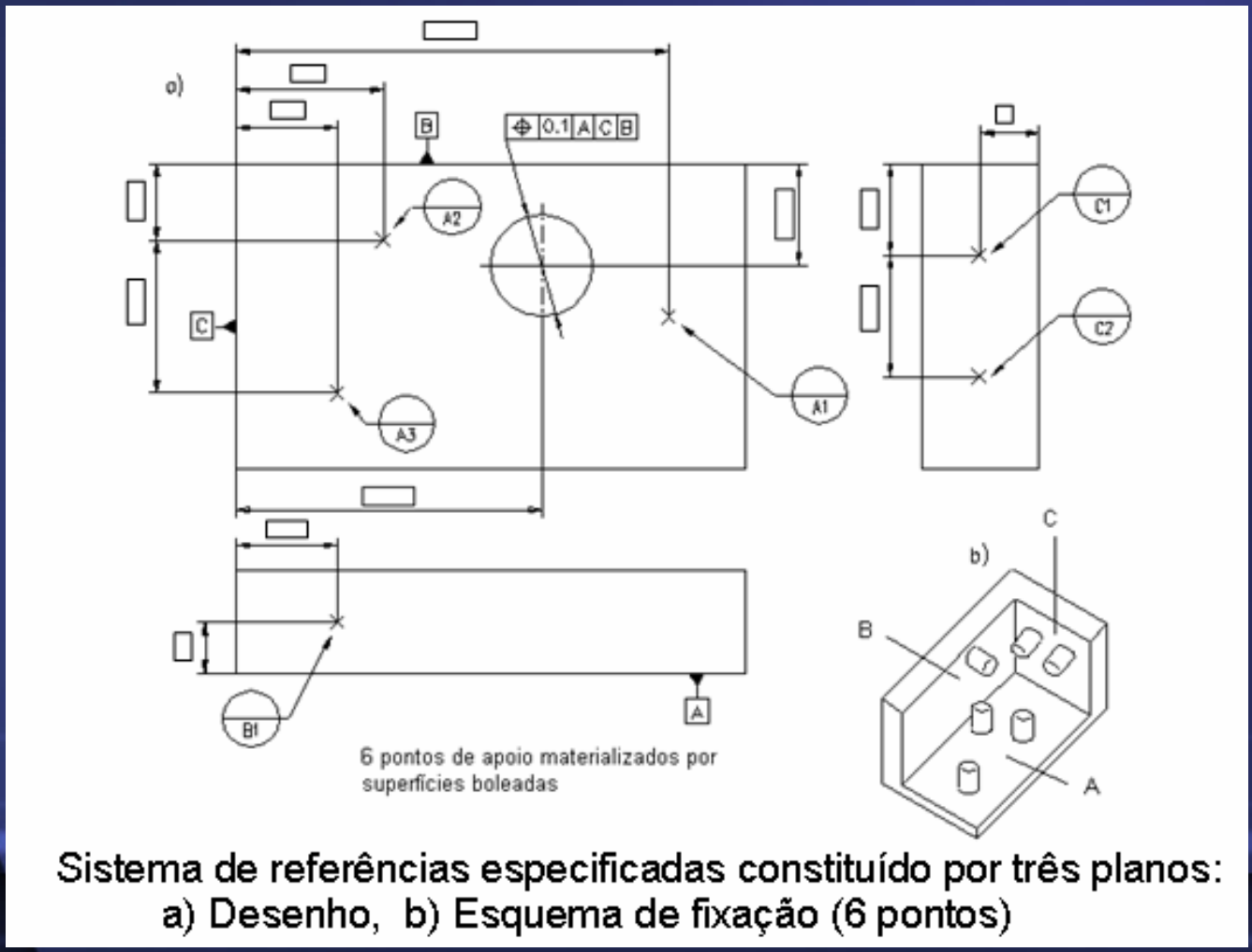
Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- **Referências parciais:**



Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

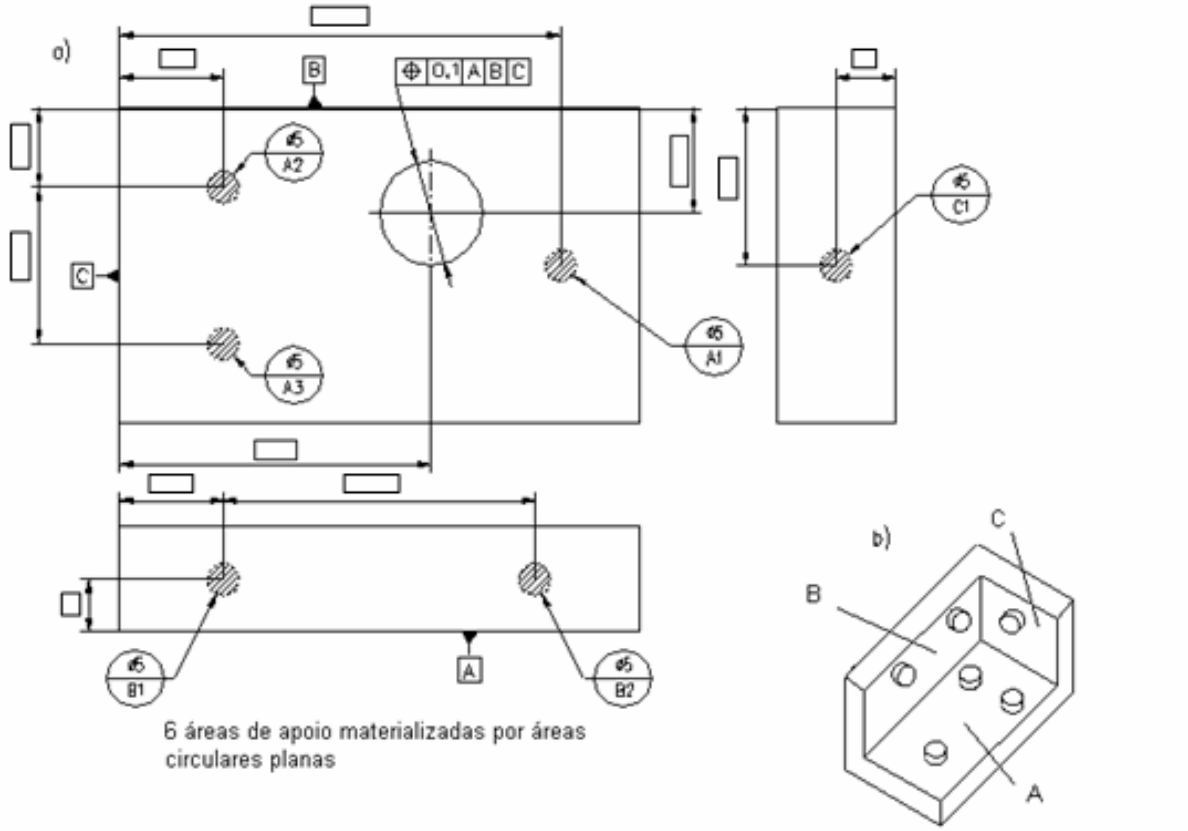
- Exemplos de aplicação de referências parciais:



Sistema de referências especificadas constituído por três planos:
a) Desenho, b) Esquema de fixação (6 pontos)

Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

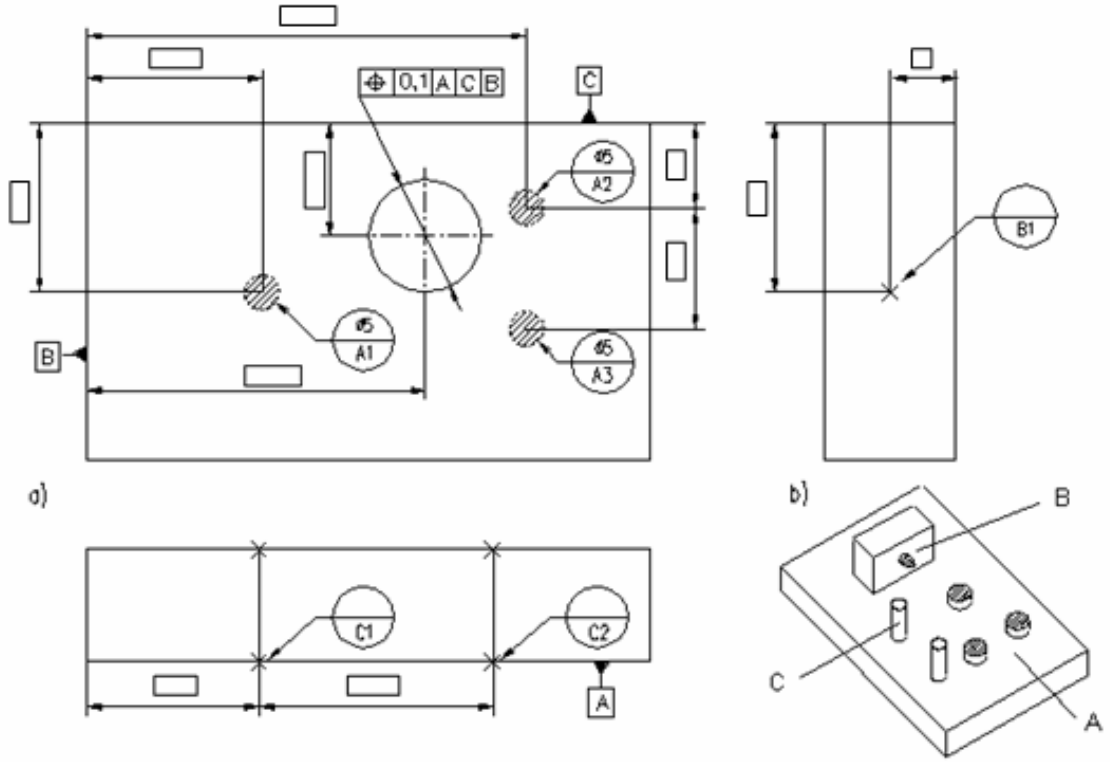
- Exemplos de aplicação de referências parciais:



Sistema de referências especificadas constituído por três planos:
a) Desenho, b) Esquema de fixação (6 áreas circulares)

Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- Exemplos de aplicação de referências parciais:

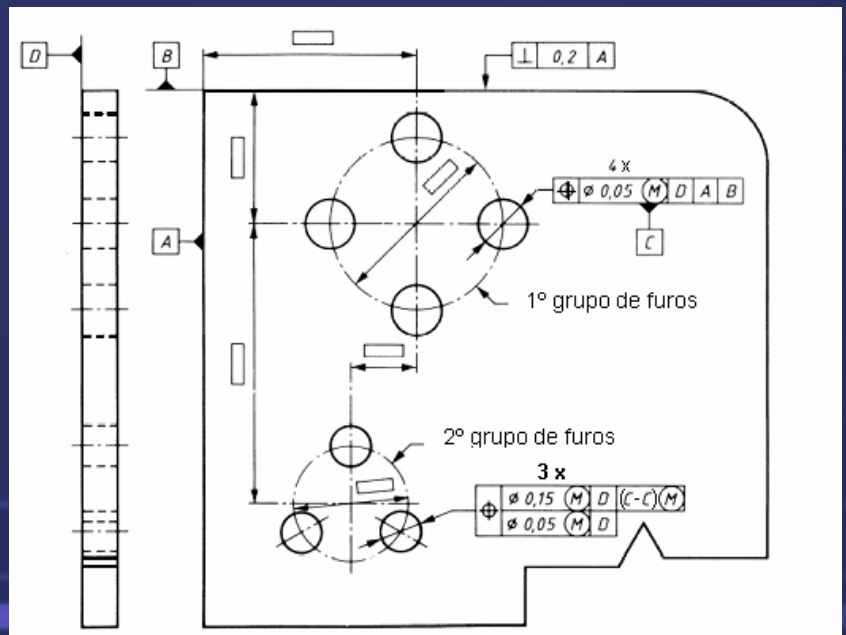


(Materialização das referências parciais: 3 áreas circulares planas; 2 linhas rectas geratrizes de pinos cilíndricos; 1 superfície boleada).

Sistema de referências especificadas constituído por três planos: a) Desenho; b) Esquema de fixação (A - 3 áreas circulares; B - 1 ponto; C – 2 linhas)

Referências especificadas e sistemas de referências especificadas para tolerâncias geométricas (ISO 5459: 1981)

- Grupos de elementos designados com referências especificadas:
  - Se a posição de um grupo de elementos (furos) servir de referência especificada para outro elemento ou grupo de elementos, esta pode ser representada no desenho ligada ao quadro de tolerância.



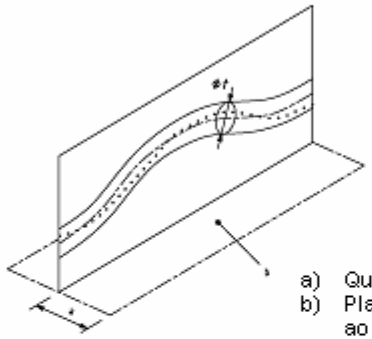
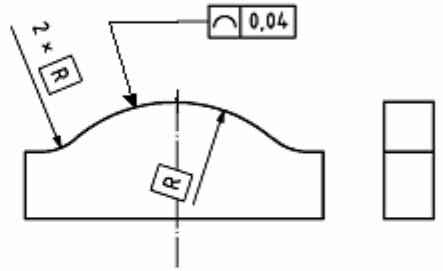
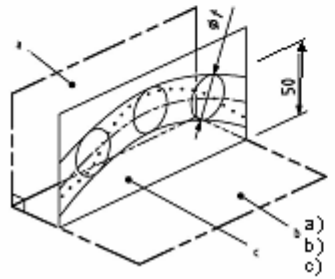
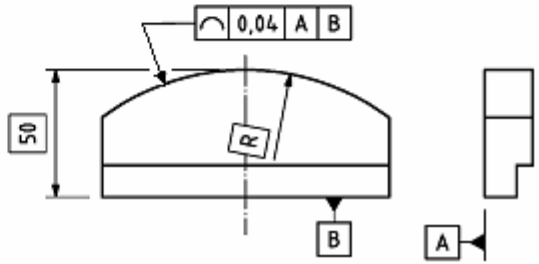
Grupo de elementos designado com referência especificada

Tolerâncias de perfil

- **Tolerância de perfil de uma linha qualquer**:
  - O **perfil de uma linha é uma sucessão de curvas e/ou rectas**, cujo conjunto representa uma figura geométrica particular.
  - Basicamente, a **tolerância do perfil de uma linha num plano é utilizada para controlar perfis de peças com uma secção recta variável**.
  - A tolerância do perfil de uma linha pode dizer respeito a um elemento isolado (tolerância de forma) ou associado (tolerâncias de orientação e de posição), podendo ser pois utilizada para controlar a forma ou combinações de dimensão, forma, orientação e posição do elemento.

Tolerâncias de perfil

- **Tolerância de perfil de uma linha qualquer:**

Tolerância de perfil de uma linha (símbolo ⌒)	
Definição da zona de tolerância	**Indicação e interpretação**
A zona de tolerância está limitada por duas linhas envolventes dos círculos de diâmetro *t*, cujos centros estão situados sobre uma linha com a forma geométrica teoricamente exacta.  a) Qualquer distância. b) Plano perpendicular ao plano do desenho.	Em cada secção, paralela ao plano de projecção no qual é dada a indicação, a linha do perfil extraída (real) deve estar compreendida entre duas linhas equidistantes envolvendo os círculos de diâmetro 0,04, cujos centros estão situados sobre uma linha com a forma geométrica teoricamente exacta. 
A zona de tolerância está limitada por duas linhas envolventes dos círculos de diâmetro *t*, cujos centros estão situados sobre uma linha com uma forma geométrica teoricamente exacta, em relação ao plano de referência A e ao plano de referência B.  a) Referência especificada A. b) Referência especificada B. c) Plano paralelo à referência especificada A.	Em cada secção, paralela ao plano de projecção no qual é dada a indicação, a linha do perfil extraída (real) deve estar compreendida entre duas linhas equidistantes envolvendo os círculos de diâmetro 0,04, cujos centros estão situados sobre uma linha com a forma geométrica teoricamente exacta, em relação ao plano de referência A e ao plano de referência B. 

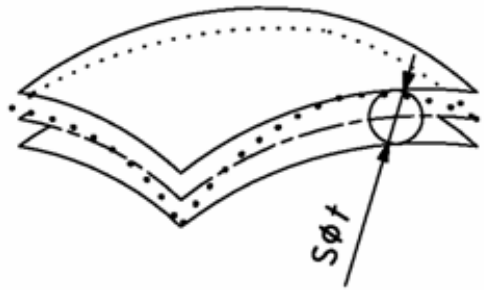
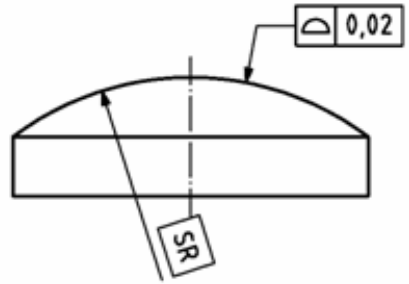
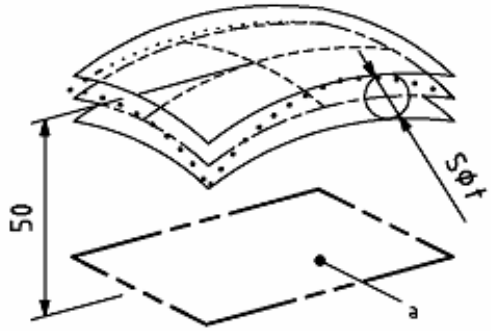
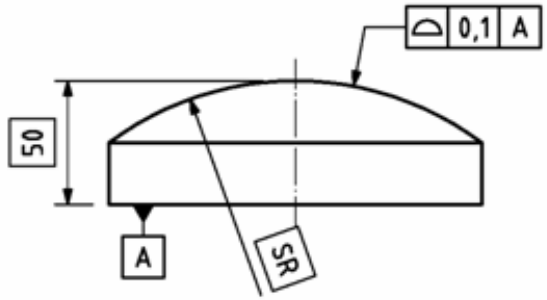
Tolerâncias de perfil

- **Tolerância de perfil de uma superfície qualquer:**
  - O **perfil de uma superfície é uma sucessão de curvas e/ou rectas**, combinadas, cujo conjunto representa uma figura geométrica particular.
  - Basicamente, a tolerância do perfil de uma superfície é utilizada para controlar peças com uma superfície de revolução, ou peças fundidas com superfícies definidas por tolerâncias de perfil aplicadas “a toda a volta”.
  - A tolerância do perfil de uma superfície pode dizer respeito a um elemento isolado (tolerância de forma) ou associado (tolerâncias de orientação e de posição), podendo ser utilizada para controlar a forma ou combinações de dimensão, forma, orientação e posição do elemento.

Tolerâncias de perfil

- **Tolerância de perfil de uma superfície qualquer:**

Tolerância de perfil de uma superfície (símbolo ⌓)

Definição da zona de tolerância	**Indicação e interpretação**
A zona de tolerância está limitada por duas superfícies envolventes das esferas de diâmetro *t*, cujos centros estão situados sobre uma superfície com a forma teoricamente exacta. 	A superfície extraída (real) deve estar compreendida entre duas superfícies equidistantes envolvendo esferas de diâmetro 0,02, cujos centros estão situados sobre uma superfície com a forma geométrica teoricamente exacta. 
A zona de tolerância está limitada por duas superfícies envolventes das esferas de diâmetro *t*, cujos centros estão situados sobre uma superfície com a forma teoricamente exacta, em relação ao plano de referência A.  a) Referência especificada A	A superfície extraída (real) deve estar compreendida entre duas superfícies equidistantes envolvendo esferas de diâmetro 0,1, cujos centros estão situados sobre uma superfície com a forma geométrica teoricamente exacta, em relação ao plano de referência A. 

Tolerâncias de perfil

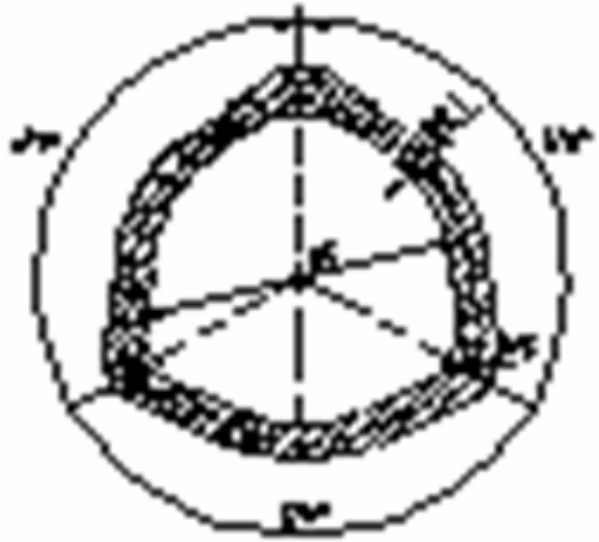
- **Toleranciamento geométrico de uma linha**:
  - A **zona de tolerância é definida relativamente ao perfil nominal** que, por sua vez, é **definido por cotas teoricamente exactas** (cotas enquadradas). A **zona de tolerância deve estar posicionada simetricamente** relativamente ao perfil nominal.
  - A **largura da zona de tolerância**, medida segundo a normal ao perfil nominal, em cada um dos seus pontos, é **constante**.
  - A zona de tolerância é associada a elementos de referência.

Tolerâncias de perfil

- **Toleranciamento geométrico de uma linha:**



a) Indicação sobre o desenho

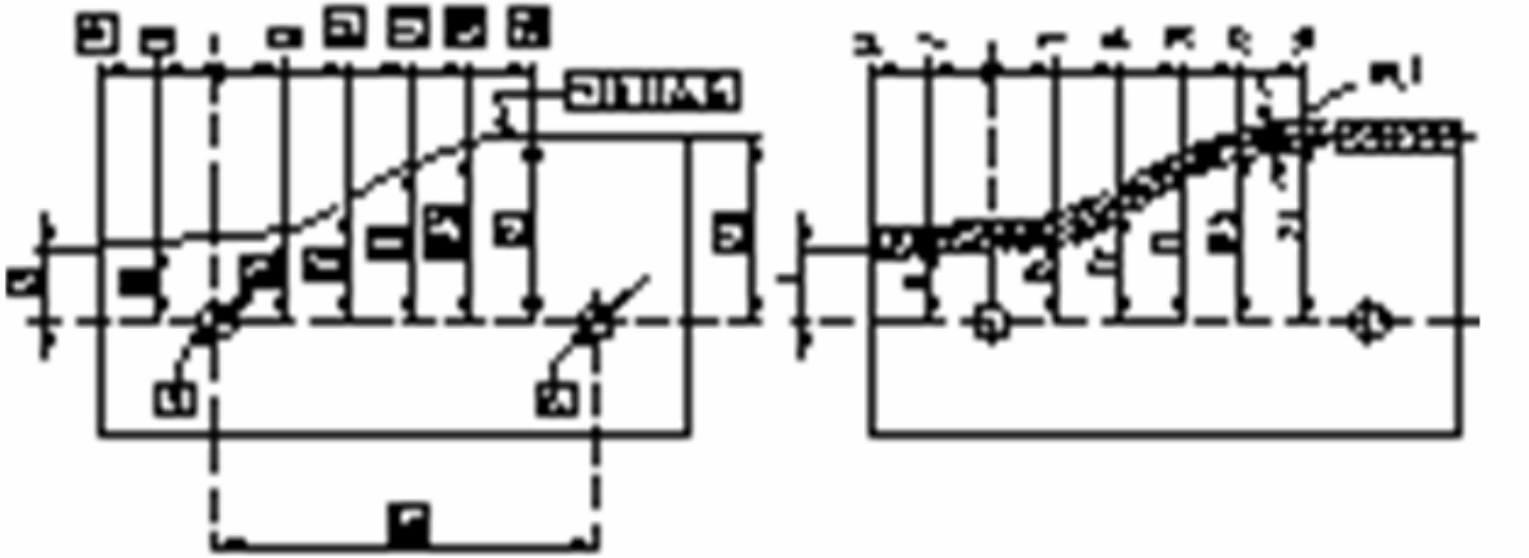


b) Interpretação

Tolerância de perfil de uma linha

Tolerâncias de perfil

- **Toleranciamento geométrico de uma linha:**



a) Indicação sobre o desenho b) Interpretação

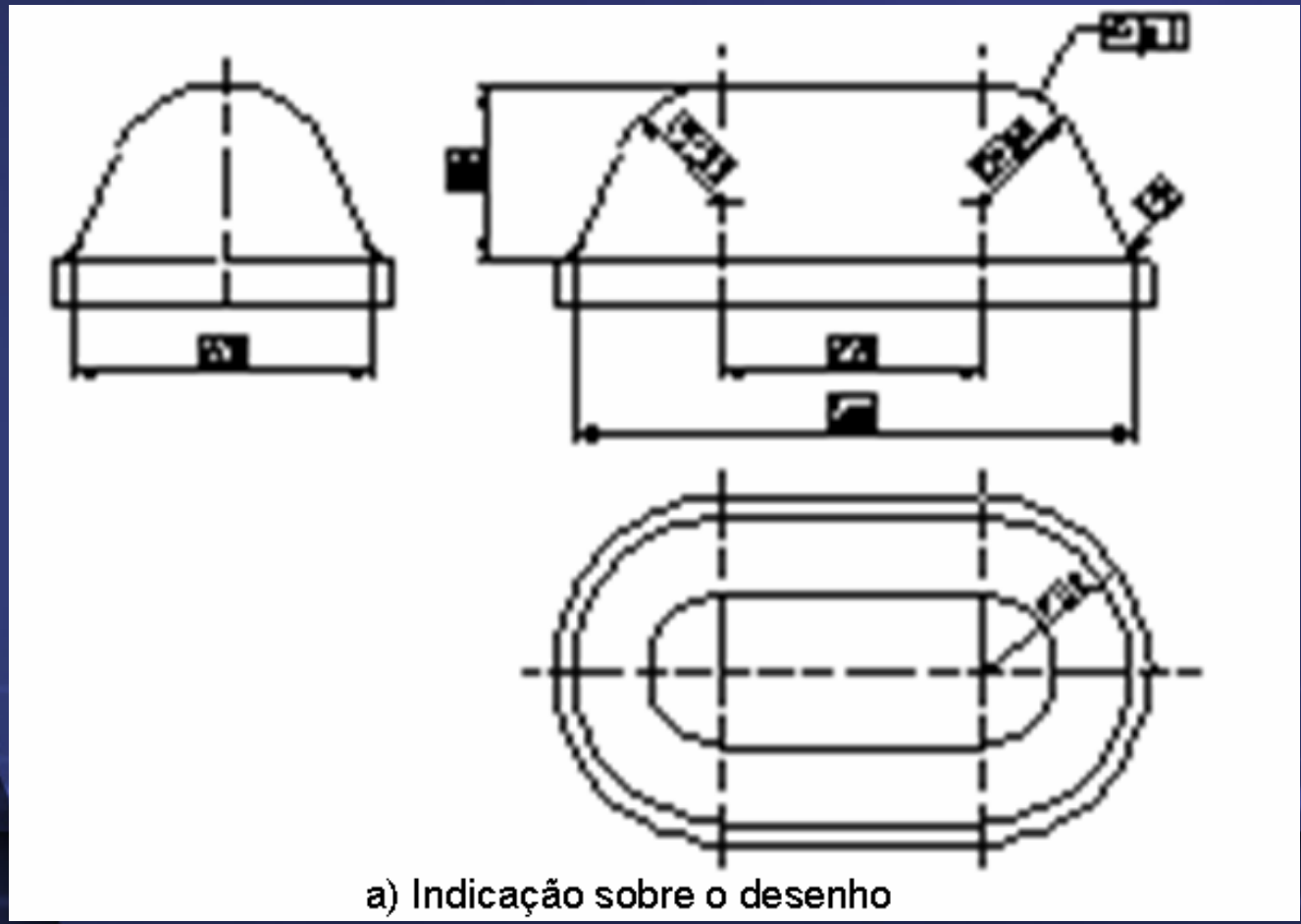
Tolerância de perfil de uma linha

Tolerâncias de perfil

- **Toleranciamento geométrico de uma superfície perfilada:**
  - A **zona de tolerância de uma superfície perfilada é definida em relação ao perfil nominal** que, por sua vez, é **definido por cotas teoricamente exactas**. Esta **zona deve estar posicionada simetricamente** relativamente ao perfil nominal da superfície.
  - A **largura da zona de tolerância**, medida segundo a normal ao perfil nominal da superfície, em cada um dos seus pontos, é **constante**.

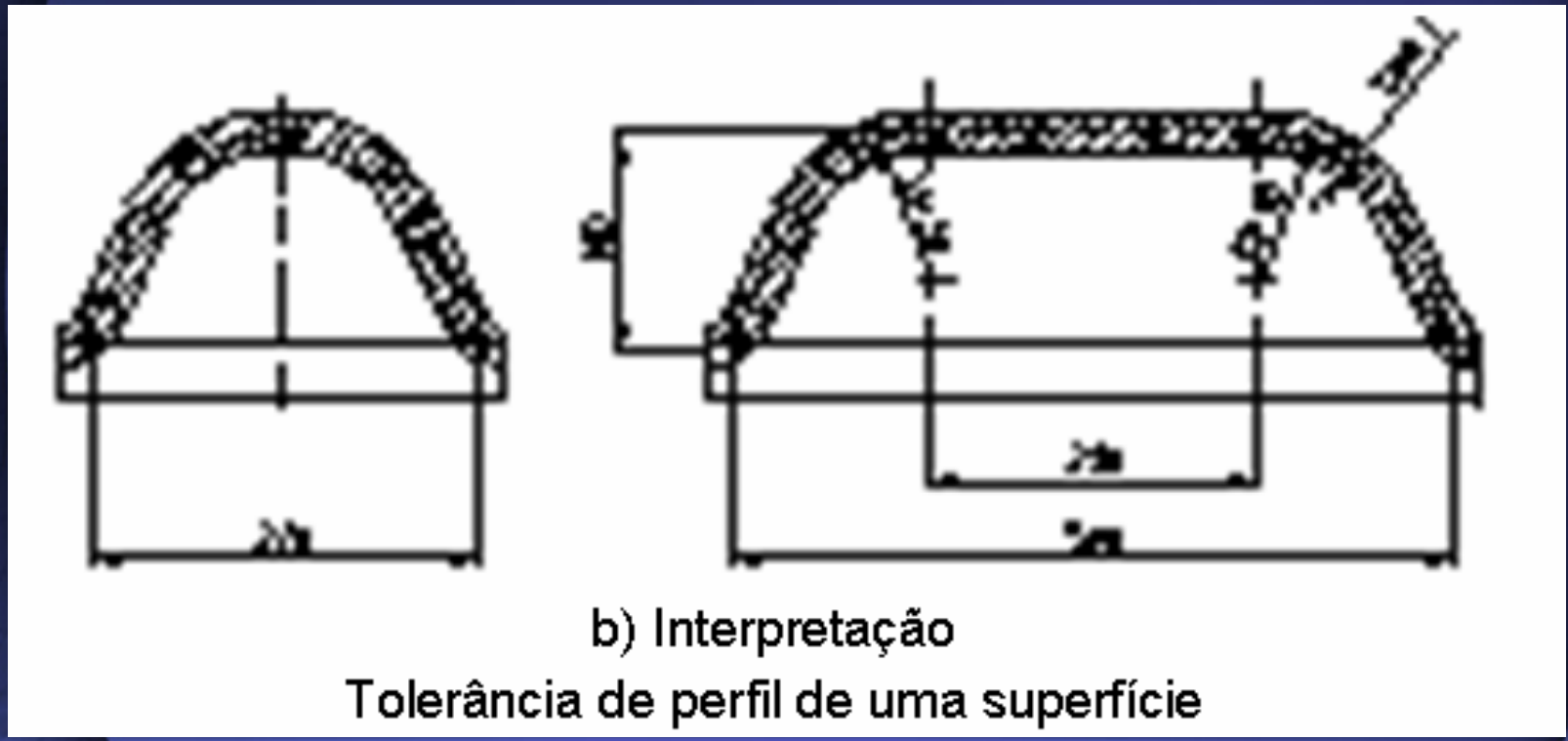
Tolerâncias de perfil

- **Toleranciamento geométrico de uma superfície perfilada:**



Tolerâncias de perfil

- **Toleranciamento geométrico de uma superfície perfilada (cont.):**



b) Interpretação

Tolerância de perfil de uma superfície

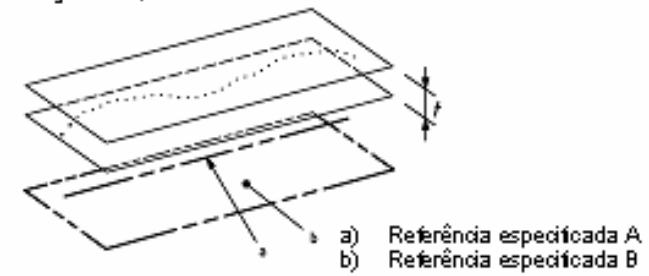
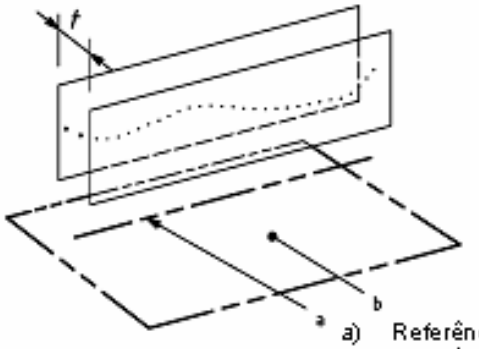
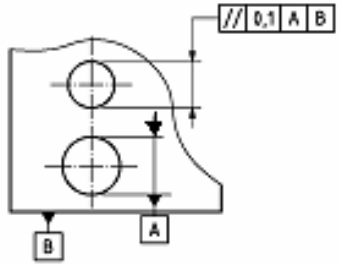
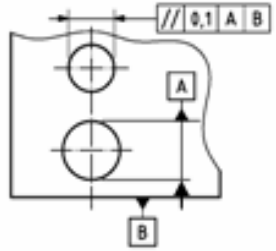
Tolerâncias de orientação

- **Tolerâncias de orientação** dizem respeito a elementos geométricos associados e limitam igualmente os defeitos de forma do elemento toleranciado.

- **Tolerância de paralelismo**:
  - O **paralelismo é qualidade de uma linha ou superfície, em que todos os seus pontos estão a igual distância de uma outra linha ou superfície**.
  - A tolerância de paralelismo **só se aplica a elementos considerados rectilíneos ou planos** (linhas ou superfícies).
  - Limita igualmente os defeitos de forma (rectitude ou planeza) do elemento toleranciado.

Tolerâncias de orientação

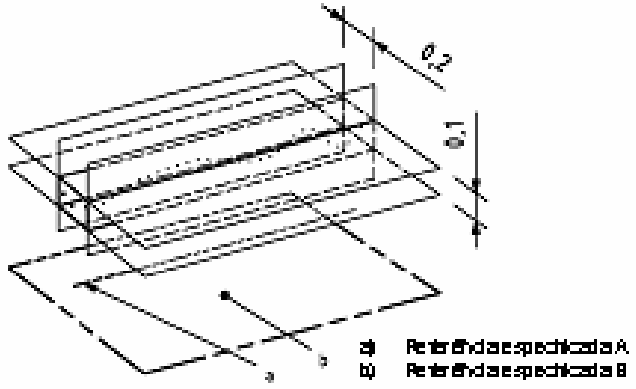
- **Tolerância de paralelismo:**

Tolerância de paralelismo (símbolo //)	
Definição da zona de tolerância	**Indicação e interpretação**
Tolerância de paralelismo de uma linha em relação a um sistema de referências	
A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos distantes, entre si, de *t*. Os planos são paralelos às referências especificadas e orientados na direcção especificada.  a) Referência especificada A b) Referência especificada B  a) Referência especificada A b) Referência especificada B	A linha mediana extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes, entre si, de 0,1, que são paralelos ao eixo de referência A e orientados em relação ao plano de referência B e na direcção especificada.  A linha mediana extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes, entre si, de 0,1, que são paralelos ao eixo de referência A e orientados em relação ao plano de referência B e na direcção especificada. 

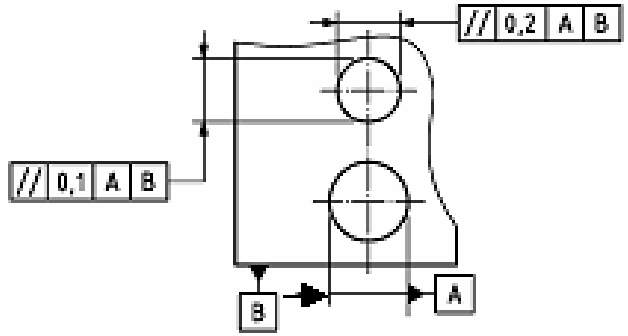
Tolerâncias de orientação

- **Tolerância de paralelismo (cont.)**:

A zona de tolerância está limitada por dois pares de planos paralelos distantes, respectivamente, de 0,1 e 0,2 e perpendiculares entre si. Os planos são paralelos ao eixo de referência A (a) e ao plano de referência B b).



A linha mediana extraída (real) deve estar compreendida entre dois pares de planos paralelos distantes, respectivamente, de 0,1 e 0,2, paralelos ao eixo de referência A e na direcção especificada em relação ao plano de referência B e perpendiculares entre si.

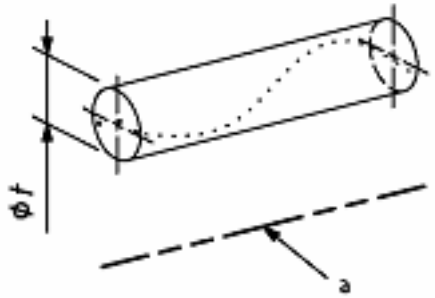


Tolerâncias de orientação

- **Tolerância de paralelismo (cont.)**:

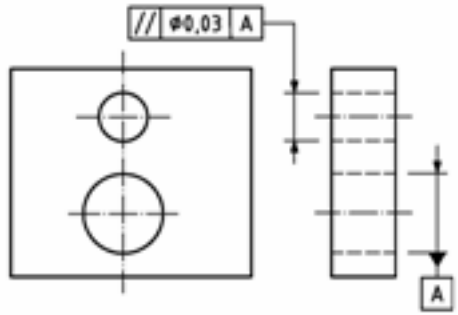
Tolerância de paralelismo de uma linha em relação a uma linha de referência

A zona de tolerância está limitada por um cilindro de diâmetro *t* paralelo à referência especificada, se o valor da tolerância for precedido pelo símbolo ∅.



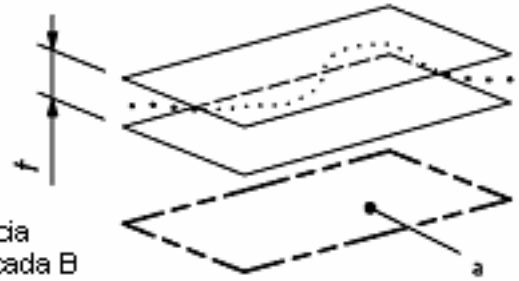
a) Referência especificada A

A linha mediana extraída (real) deve estar compreendida numa zona cilíndrica de diâmetro 0,03, paralela ao eixo de referência A.



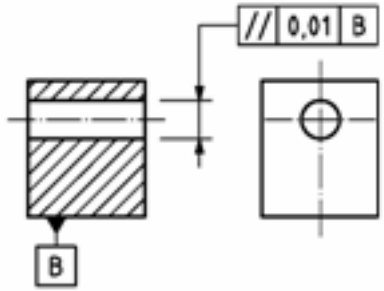
Tolerância de paralelismo de uma linha em relação a uma superfície de referência

A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos distantes, entre si, de *t* e paralelos à referência especificada.



a) Referência especificada B

A linha mediana extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes de 0,01, que são paralelos ao plano de referência B.



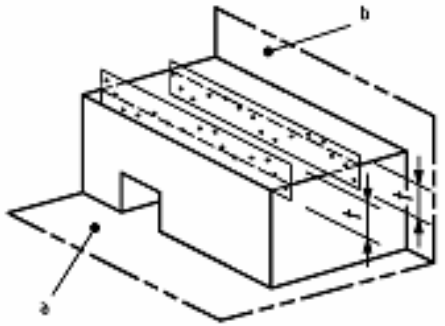
Tolerâncias de orientação

- **Tolerância de paralelismo (cont.)**:

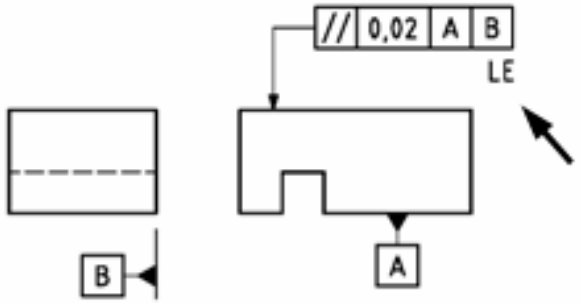
Tolerância de paralelismo de uma linha em relação a um sistema de referências

A zona de tolerância está limitada por duas linhas paralelas distantes, entre si, de *t*, paralelas ao plano de referência A e paralelas ao plano de referência B.

a) Referência especificada A
b) Referência especificada B



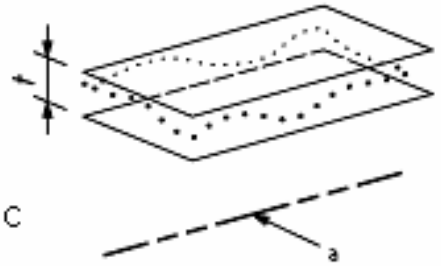
Cada linha extraída (real) deve estar compreendida entre duas linhas paralelas distantes de 0,02, paralelas ao plano de referência A e paralelas ao plano de referência B.



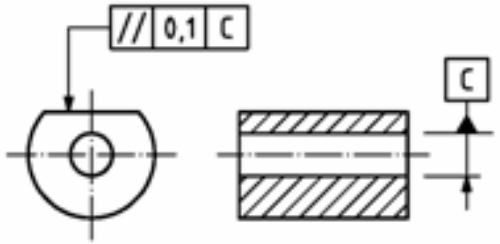
Tolerância de paralelismo de uma superfície em relação a uma linha de referência

A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos distantes, entre si, de *t* e paralelos à referência especificada.

a) Referência especificada C

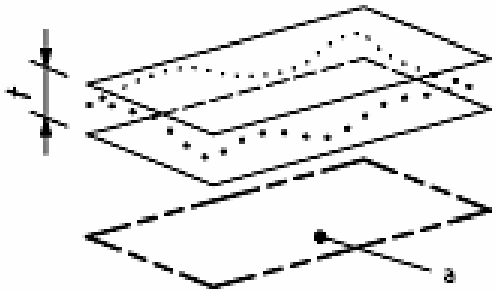
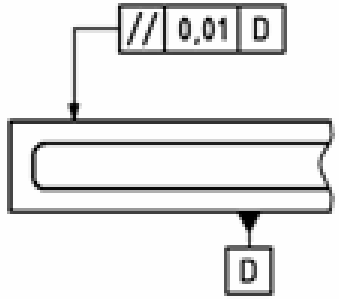


A superfície extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes de 0,1, e paralelos ao eixo de referência C.



Tolerâncias de orientação

- **Tolerância de paralelismo (cont.)**:

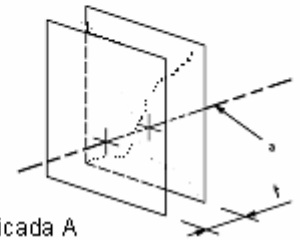
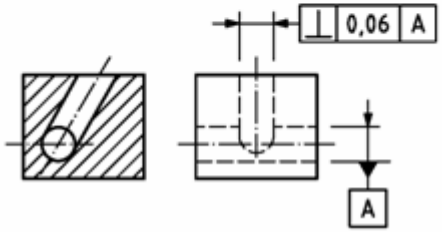
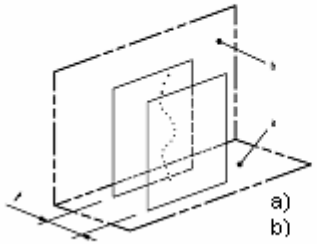
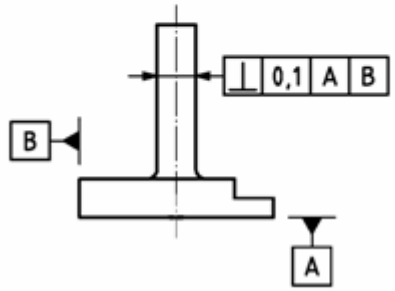
Tolerância de paralelismo de uma superfície em relação a uma superfície de referência	
A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos distantes, entre si, de *t* e paralelos ao plano de referência. a) Referência especificada D 	A superfície extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes de 0,01, e paralelos ao plano de referência D. 

Tolerâncias de orientação

- **Tolerância de perpendicularidade**:
  - A **perpendicularidade é qualidade de duas rectas, de dois planos ou de uma recta e de um plano que se encontram segundo um ângulo recto**.
  - Tolerância de perpendicularidade: dimensão(ões) máxima(s) admissível(is) da **zona de tolerância**, **perpendicular ao elemento de referência**, na qual deve estar compreendida a linha ou a superfície considerada.
  - A **tolerância de perpendicularidade só pode ser aplicada** a elementos considerados rectilíneos ou planos, designados por **linhas ou superfícies**.
  - A tolerância de perpendicularidade limita igualmente os defeitos de forma (rectitude ou planeza) do elemento toleranciado.

Tolerâncias de orientação

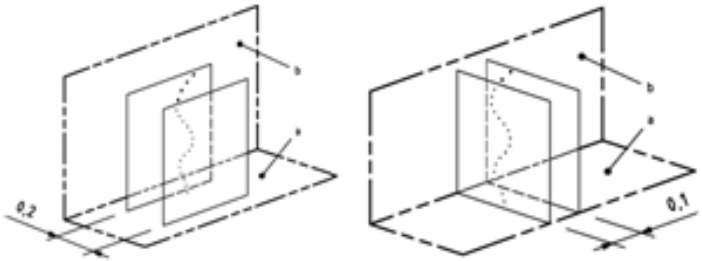
- **Tolerância de perpendicularidade:**

Tolerância de perpendicularidade (símbolo ⊥)	
Definição da zona de tolerância	**Indicação e interpretação**
Tolerância de perpendicularidade de uma linha em relação a uma linha de referência	
A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos distantes, entre si, de *t* e perpendiculares à referência especificada.  a) Referência especificada A	A linha mediana extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes, entre si, de 0,06, que são perpendiculares ao eixo de referência A. 
Tolerância de perpendicularidade de uma linha em relação a um sistema de referências	
A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos distantes, entre si, de *t*. Os planos são perpendiculares à referência especificada A e paralelos à referência especificada B.  a) Referência especificada A b) Referência especificada B	A linha mediana extraída (real) do cilindro deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes, entre si, de 0,1, que são perpendiculares ao plano de referência A e na direcção especificada em relação ao plano de referência B. 

Tolerâncias de orientação

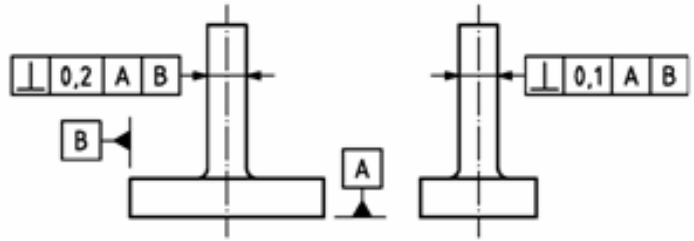
- **Tolerância de perpendicularidade (cont.):**

A zona de tolerância está limitada por dois pares de planos paralelos distantes, respectivamente, de 0,2 e 0,1 e perpendiculares entre si. Os dois pares de planos são perpendiculares à referência especificada A, sendo um paralelo e o outro perpendicular à refer. especif. B.



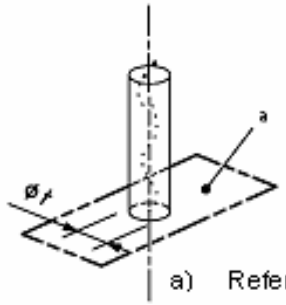
a) Referência especificada A
b) Referência especificada B (As zonas de tolerância devem ser combinadas)

A linha mediana extraída (real) do cilindro deve estar compreendida entre dois pares de planos paralelos distantes entre si, respectivamente, de 0,2 e 0,1, na direcção especificada em relação ao plano de referência B e perpendiculares entre si. Cada par de planos paralelos deve ser perpendicular ao plano de referência A.



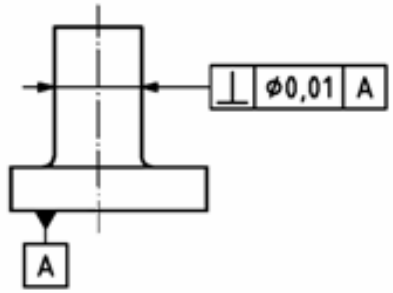
Tolerância de perpendicularidade de uma linha em relação a uma superfície de referência

A zona de tolerância está limitada por um cilindro de diâmetro *t* perpendicular à referência especificada, quando o valor da tolerância é precedido do símbolo ⌀.



a) Referência especificada A

A linha mediana extraída (real) do cilindro deve estar compreendida numa zona de tolerância cilíndrica de diâmetro 0,01, perpendicular ao plano de referência A.

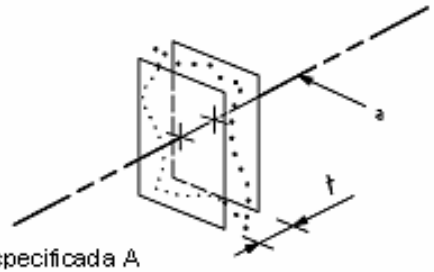


Tolerâncias de orientação

- **Tolerância de perpendicularidade (cont.):**

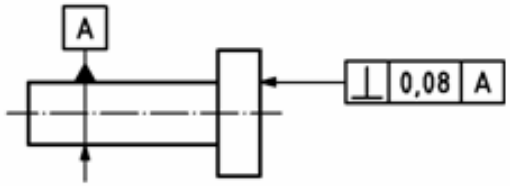
Tolerância de perpendicularidade de uma superfície em relação a uma linha de referência

A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos distantes, entre si, de *t* e perpendiculares à referência especificada.



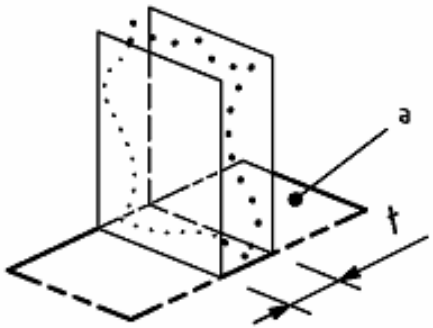
a) Referência especificada A

A superfície extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes de 0,08 e perpendiculares ao eixo de referência A.



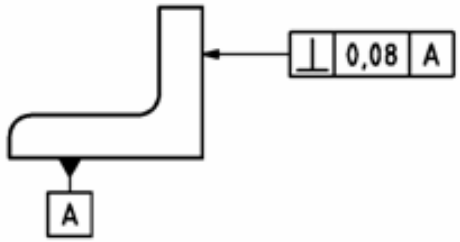
Tolerância de perpendicularidade de uma superfície em relação a uma superfície de referência

A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos distantes, entre si, de *t* e perpendiculares à referência especificada.



a) Referência especificada A

A superfície extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes de 0,08 e perpendiculares ao plano de referência A.



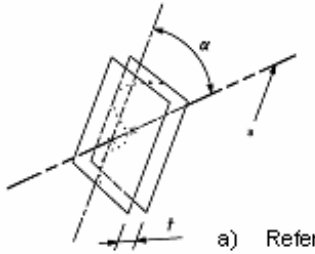
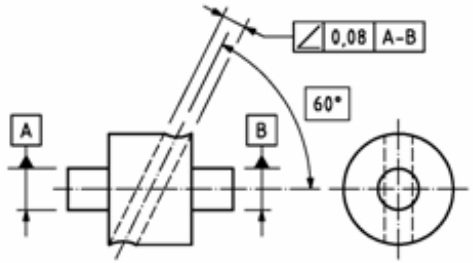
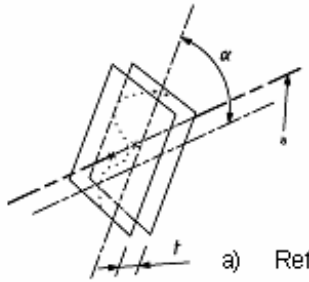
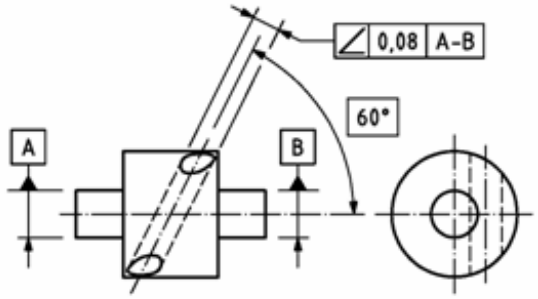
Tolerâncias de orientação

- **Tolerância de inclinação**:
  - **A inclinação é qualidade de duas rectas, de dois planos ou de uma recta e de um plano que se encontram segundo um ângulo especificado**.
  - A **tolerância de inclinação só se aplica a elementos considerados rectilíneos ou planos** (linhas ou superfícies).
  - Limita igualmente os defeitos de forma (rectitude ou planeza) do elemento toleranciado.
  - Para um toleranciamento de inclinação, é **necessário definir a orientação teórica do elemento especificado, através de um ângulo de referência** (teoricamente exacto).
  - A inclinação particular de 0º é um paralelismo e a inclinação particular de 90º é uma perpendicularidade.

Tolerâncias de orientação

- **Tolerância de inclinação:**

Tolerância de inclinação (angularidade) (símbolo ∠)

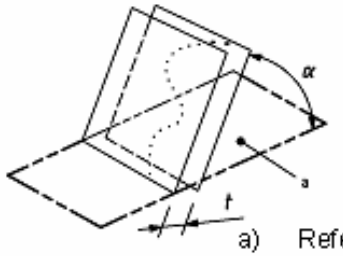
Definição da zona de tolerância	Indicação e interpretação
Tolerância de inclinação de uma linha em relação a uma linha de referência	
a) Linha e linha de referência contidas no mesmo plano: A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos distantes, entre si, de *t* e inclinados do ângulo especificado, em relação à referência especificada.  a) Referência especificada A-B	A linha mediana extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes, entre si, de 0,08 e inclinados de um ângulo teoricamente exacto de 60°, em relação à linha recta de referência comum A-B. 
b b) Linha e linha de referência contidas em planos diferentes: A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos distantes, entre si, de *t* e inclinados do ângulo especificado, em relação à referência especificada. A linha considerada e a linha de referência não estão no mesmo plano.  a) Referência especificada A-B	A linha mediana extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes, entre si, de 0,08 e inclinados de um ângulo teoricamente exacto de 60°, em relação à linha recta de referência comum A-B. 

Tolerâncias de orientação

- **Tolerância de inclinação (cont.)**:

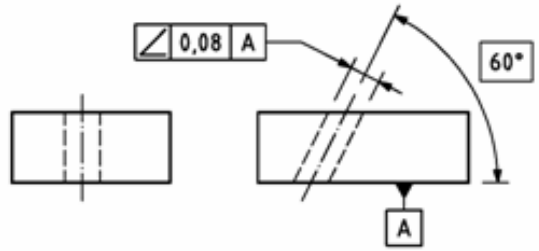
Tolerância de inclinação de uma linha em relação a uma superfície de referência

A zona de tolerância está limitada por dois pares de planos paralelos distantes, entre si, de *t* e inclinados do ângulo especificado, em relação à referência especificada.

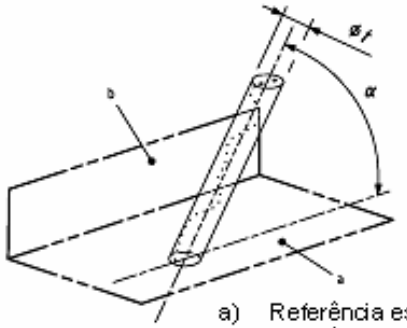


a) Referência especificada A

A linha mediana extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes entre si de 0,08 e inclinados de um ângulo teoricamente exacto de 60° em relação ao plano de referência A.

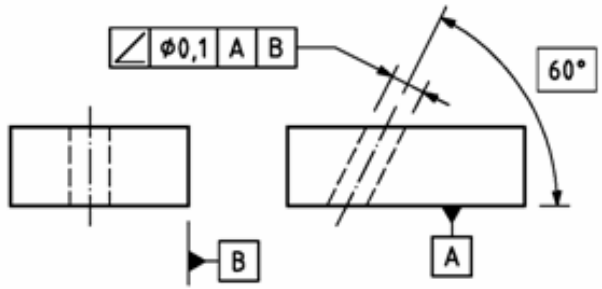


A zona de tolerância está limitada por um cilindro de diâmetro *t*, quando o valor da tolerância é precedido do símbolo ∅. A zona de tolerância cilíndrica é paralela ao plano de referência B, e inclinada do ângulo especificado, em relação ao plano de referência A.



a) Referência especificada A
b) Referência especificada B

A linha mediana extraída (real) deve estar compreendida numa zona de tolerância cilíndrica de diâmetro 0,1, paralela ao plano de referência B e inclinada do ângulo teoricamente exacto de 60°, em relação ao plano de referência A.

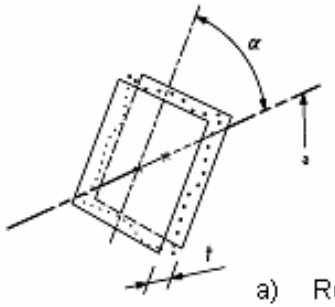


Tolerâncias de orientação

- **Tolerância de inclinação (cont.)**:

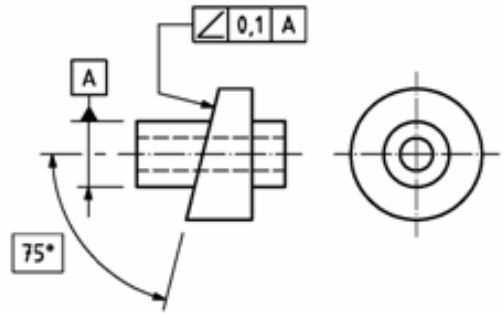
Tolerância de inclinação de uma superfície em relação a uma linha de referência

A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos distantes, entre si, de *t* e inclinados do ângulo especificado, em relação à referência especificada.



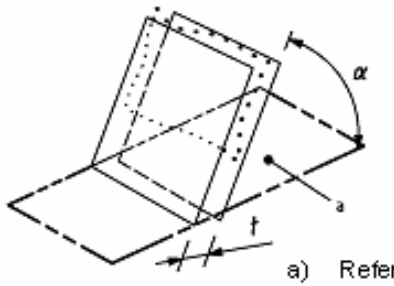
a) Referência especificada A

A superfície extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes de 0,1 e inclinados de um ângulo teoricamente exacto de 75°, em relação ao eixo de referência A.



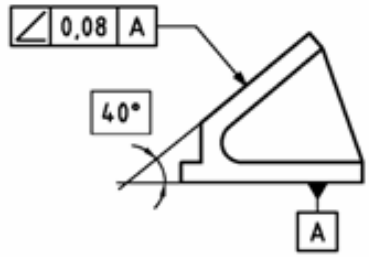
Tolerância de inclinação de uma superfície em relação a uma superfície de referência

A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos distantes, entre si, de *t* e inclinados do ângulo especificado, em relação à referência especificada.



a) Referência especificada A

A superfície extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes de 0,08 e inclinados de um ângulo teoricamente exacto de 40°, em relação ao plano de referência A.



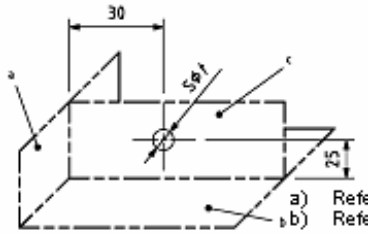
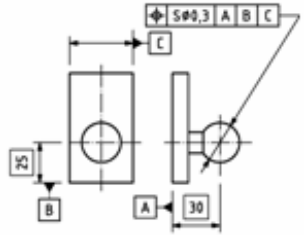
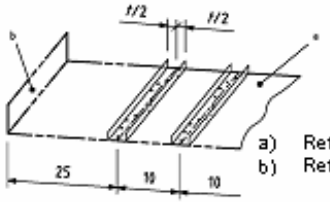
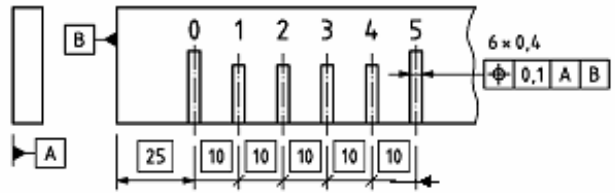
Tolerâncias de posição

- **Tolerâncias de posição dizem respeito a elementos geométricos associados** e limitam igualmente os desvios de forma e de orientação do elemento toleranciado.
- **Tolerância de Localização**:
  - **A localização é a qualidade de posicionamento de um ponto, de uma linha ou de uma superfície, em relação à cotagem especificada**.
  - **Aplica-se a pontos, linhas rectas e superfícies planas**. Não se aplica a furos, mas **apenas à sua linha mediana**, nem a ranhuras, mas **apenas à sua superfície mediana** ou a uma das faces laterais.
  - **Define os limites possíveis da posição**: quer do elemento toleranciado em relação a referências exteriores, quer dos elementos entre si. **A posição teórica exacta é sempre definida por cotas enquadradas**.

Tolerâncias de posição

- **Tolerância de Localização:**

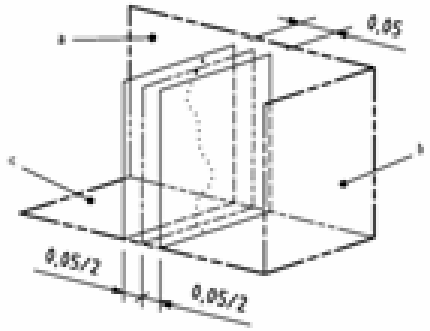
Tolerância de localização (símbolo ⌖)

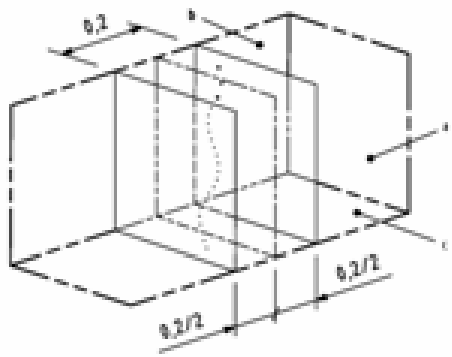
Definição da zona de tolerância	Indicação e interpretação
Tolerância de localização de um ponto	
A zona de tolerância está limitada por uma esfera de diâmetro *t*, quando o valor da tolerância é precedido do símbolo SØ. A posição do centro da zona de tolerância esférica é determinada através de cotas teoricamente exactas em relação às referências especificadas A, B e C.  a) Referência especificada A b) Referência especificada B c) Referência especificada C	O centro extraído (real) da esfera deve estar compreendido numa zona esférica de diâmetro 0,3, cujo centro coincide com a posição teoricamente exacta da esfera, em relação aos planos de referência A e B e ao plano mediano de referência C.  Nota: A definição do centro extraído (real) de uma esfera não está ainda normalizada.
Tolerância de localização de uma linha	
A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos distantes, entre si, de *t* e dispostos simetricamente em relação à linha central. A posição da linha recta central é determinada através de cotas teoricamente exactas, em relação às referências especificadas A e B. A tolerância só está prescrita numa única direcção.  a) Referência especificada A b) Referência especificada B	A linha de eixo (real) extraída de cada linha traçada deve estar compreendida entre dois planos paralelos, distantes, entre si, de 0,1 e dispostos simetricamente, de cada lado da posição teoricamente exacta da linha considerada, em relação aos planos de referência A e B. 

Tolerâncias de posição

- **Tolerância de Localização (cont.):**

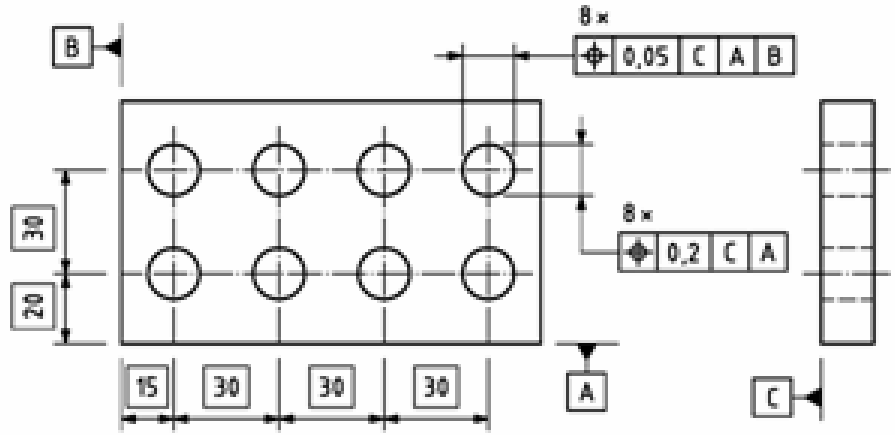
A zona de tolerância está limitada por dois pares de planos paralelos distantes entre si, respectivamente, de 0,05 e 0,2 e dispostos simetricamente em relação à posição teoricamente exacta. A posição teoricamente exacta é determinada através de cotas teoricamente exactas, em relação às referências especificadas C, A e B. A tolerância é prescrita em duas direcções, em relação às referências especificadas.





a) Referência especificada A
b) Referência especificada B
c) Referência especificada C

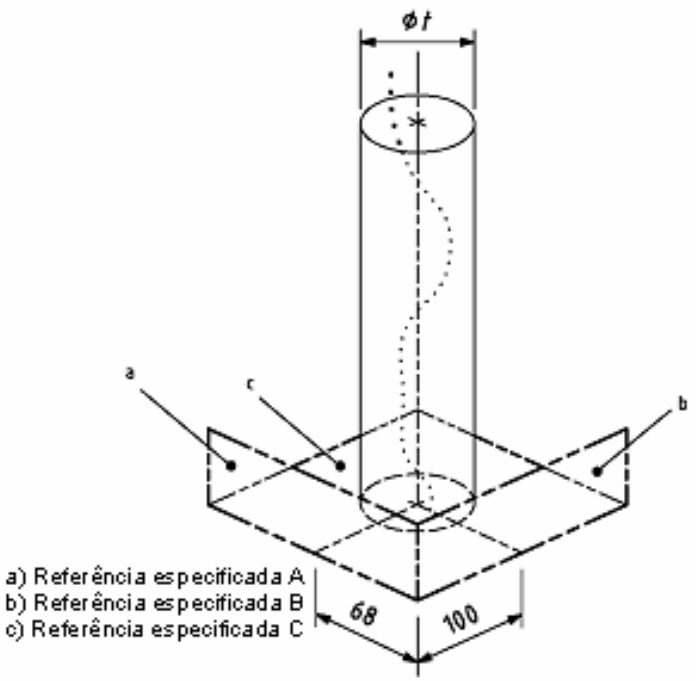
A linha mediana extraída (real) de cada furo deve estar compreendida entre dois pares de planos paralelos distantes, respectivamente, de 0,05 e 0,2, na direcção especificada, e perpendiculares entre eles. Cada par de planos paralelos está orientado em relação ao sistema de referências e está disposto simetricamente de cada lado da posição teoricamente exacta do furo considerado, em relação aos planos de refer. C, A e B.



Tolerâncias de posição

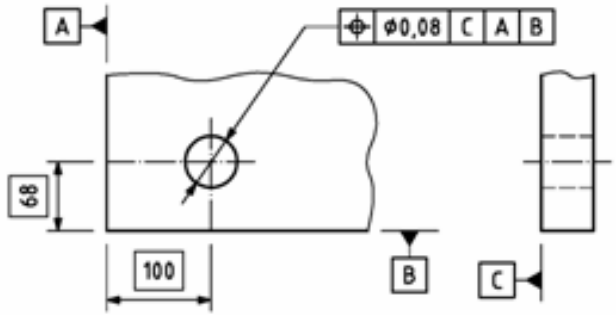
- **Tolerância de Localização (cont.):**

A zona de tolerância está limitada por um cilindro de diâmetro *t*, quando o valor da tolerância é precedido do símbolo ∅. O eixo do cilindro de tolerância é fixado através de cotas teoricamente exactas, em relação às referências especificadas C, A e B.

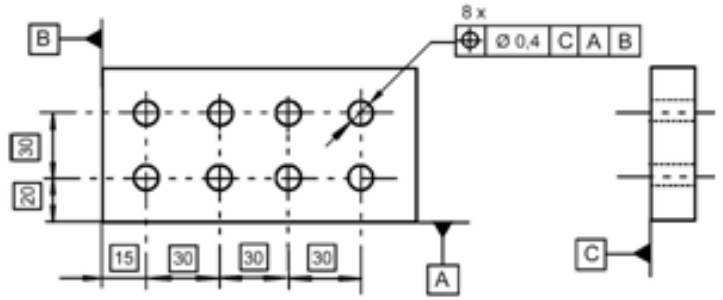


a) Referência especificada A
b) Referência especificada B
c) Referência especificada C

A linha mediana extraída (real) de cada furo deve estar compreendida numa zona cilíndrica de diâmetro 0,08, cujo eixo coincide com a posição teoricamente exacta do furo considerado, em relação aos planos de referência C, A e B.



A linha mediana extraída (real) de cada furo deve estar compreendida numa zona cilíndrica de diâmetro 0,4, cujo eixo coincide com a posição teoricamente exacta do furo considerado, em relação aos planos de referência C, A e B.

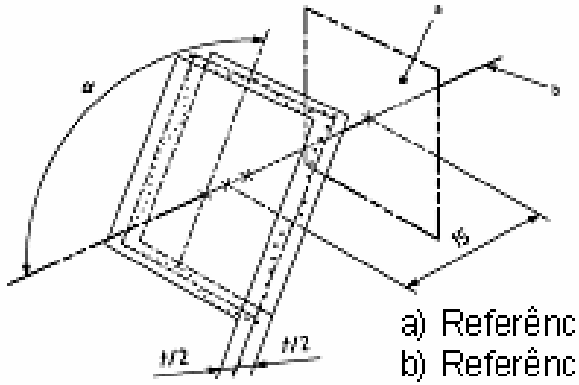


Tolerâncias de posição

- **Tolerância de Localização (cont.):**

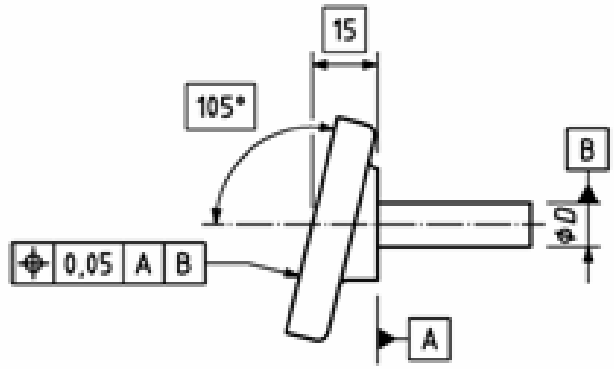
Tolerância de localização de uma superfície plana ou de um plano mediano

A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos distantes de *t* e dispostos simetricamente em relação à posição teoricamente exacta, determinada através de cotas teoricamente exactas, em relação às referências especificadas A e B.



a) Referência especificada A
b) Referência especificada B

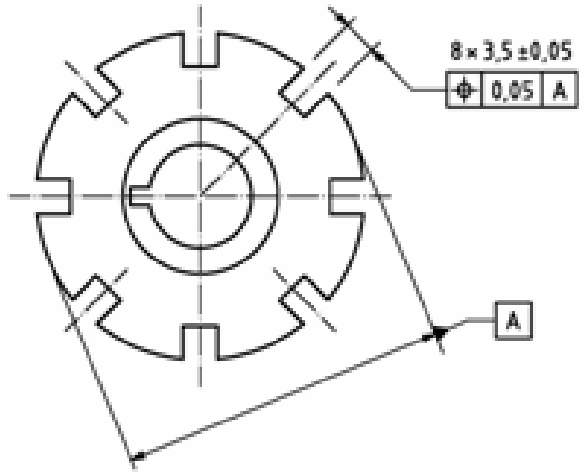
A superfície extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes de 0,05 e dispostos simetricamente de cada lado da posição teoricamente exacta da superfície, em relação ao plano de referência A e ao eixo de referência B.



Tolerâncias de posição

- **Tolerância de Localização (cont.):**

A superfície mediana extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes de 0,05 e dispostos simetricamente de cada lado da posição teoricamente exacta do plano mediano em relação ao eixo de referência A.



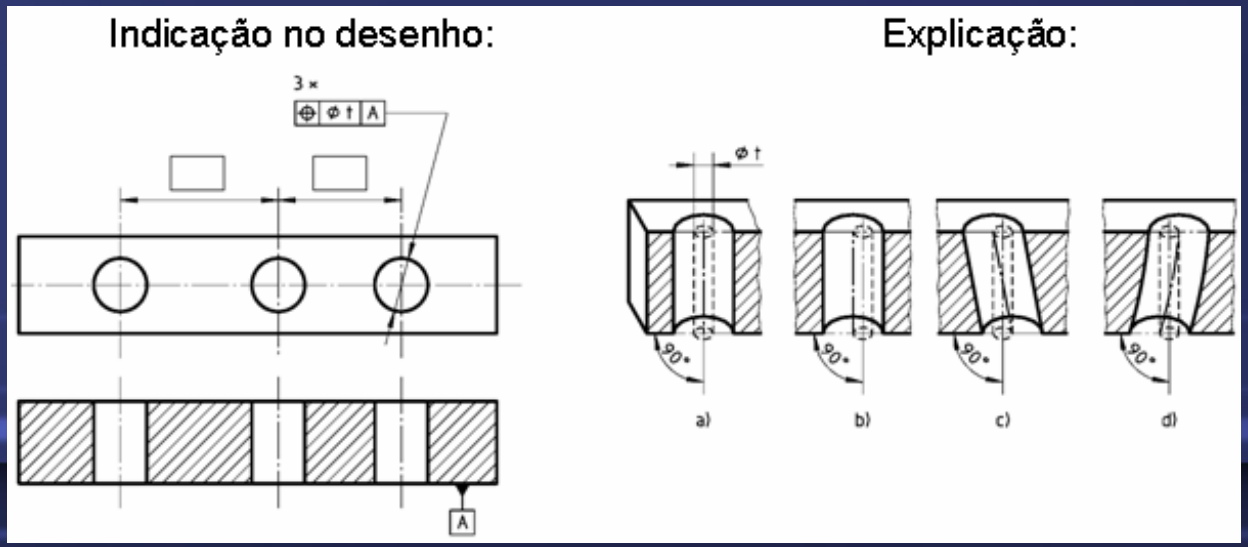
Nota: O ângulo teoricamente exacto entre as oito ranhuras está dado implicitamente

Tolerâncias de posição

- Toleranciamento de localização (ISO 5458):
  - Este método de toleranciamento **aplica-se, por exemplo, à posição do centro de uma esfera, do eixo de um furo ou de um veio e da superfície mediana de um rasgo**. Quando as linhas não são nominalmente rectas ou as superfícies não são nominalmente planas utiliza-se o toleranciamento geométrico de perfil (ver a norma ISO 1660).
  - **Estabelecimento de tolerâncias de localização**:
    - **Cotas teoricamente exactas, zonas de tolerância e referências especificadas** são os constituintes principais deste toleranciamento.
    - As **tolerâncias de localização são associadas com cotas teoricamente exactas** e definem os limites para a posição de elementos reais (extraídos) (pontos, superfícies medianas, linhas nominalmente rectas e superfícies nominalmente planas) uns em relação aos outros ou em relação a uma ou mais referências especificadas. A zona de **tolerância é disposta simetricamente** face à posição teoricamente exacta.

Tolerâncias de posição

- **Cotas teoricamente exactas**:
  - As cotas teoricamente exactas, tanto lineares como angulares, são **indicadas no interior de um quadro rectangular**, em concordância com a norma ISO 1101.
  - As cotas teoricamente exactas 0º e 90º, 180º ou a distância 0, entre elementos toleranciados em localização e entre elementos toleranciados em localização e suas correspondentes referências especificadas estão implícitas sem indicação específica.



Tolerâncias de posição

- Quando os **elementos com tolerância de localização partilham a mesma linha de centro ou eixo, eles são olhados como elementos relacionados de forma teoricamente exacta**, a menos que especificado de outro modo (ex.: em relação a diferentes referências especificadas ou outra razão indicada no desenho).
- Quando os **elementos com tolerâncias de localização estão dispostos numa circunferência completa, entende-se que esses elementos estão igualmente espaçados**, a menos que algo esteja expresso em contrário, e que as suas posições teoricamente exactas.
- **Se dois ou mais grupos de elementos partilham o mesmo eixo, eles devem ser considerados como sendo um único conjunto**, quando:
  - não estão referidos a uma referência especificada;
  - estão referidos à mesma referência especificada ou sistema de referências especificadas.

Tolerâncias de posição

- Direcções de tolerâncias de localização:
  - Tolerâncias de localização numa só direcção:
    - A orientação da largura da zona de tolerância é baseada no conjunto das cotas teoricamente exactas e é a 0º ou 90º, conforme indicado pela direcção da linha de indicação, a menos que indicado de outro modo.

Indicação no desenho:

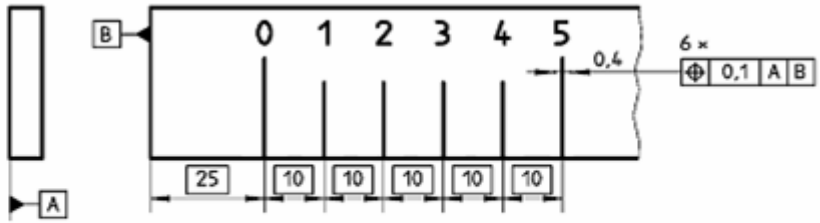
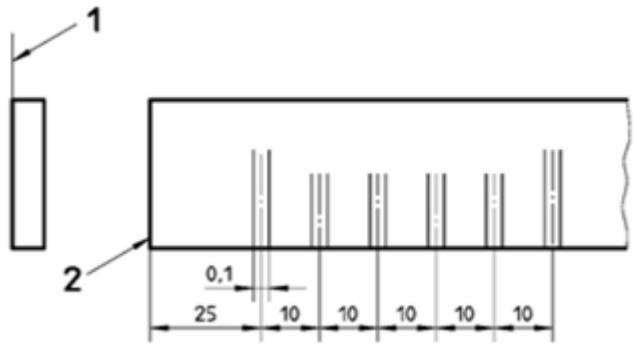


Figura 3 a)

Explicação:

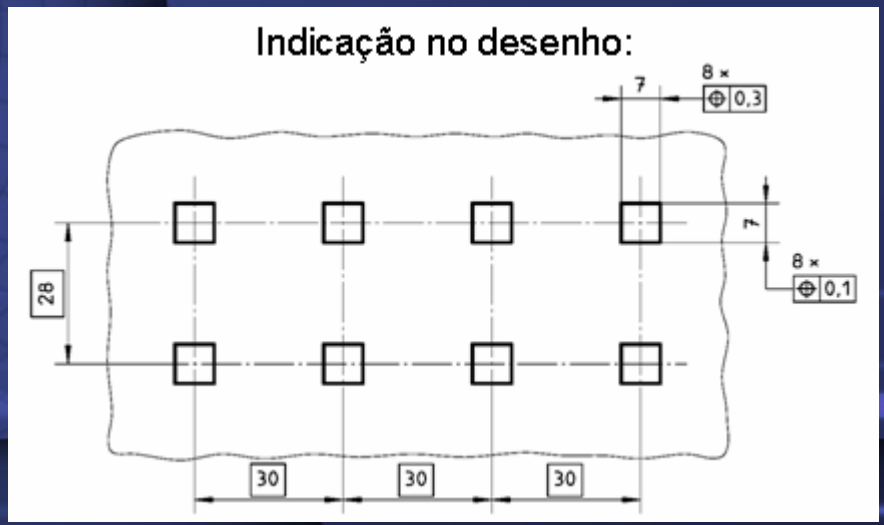


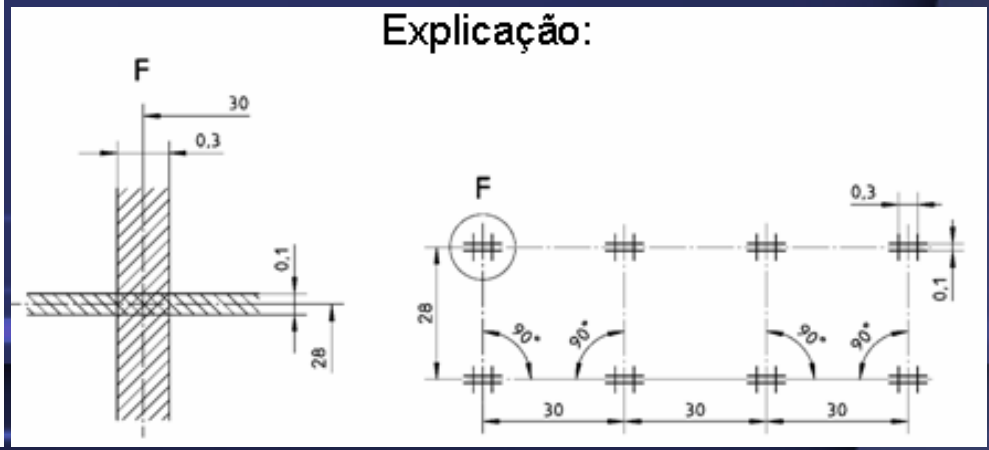
Legenda:

1 – Referência simulada A
2 – Referência simulada B

Tolerâncias de posição

- As **tolerâncias de localização não se acumulam**, quando as cotas teoricamente exactas estão dispostas em série, o que contrasta com o caso das tolerâncias dimensionais de cotas dispostas em série.
  - Tolerâncias de localização em duas direcções:
    - O valor da **tolerância pode ser especificado em duas direcções perpendiculares entre si**, sendo feita referência a valores desiguais ou a valores iguais.

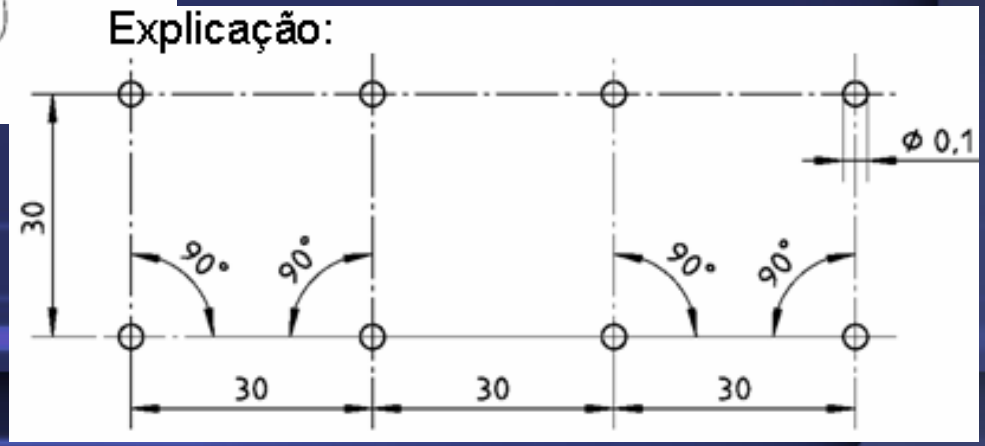




Tolerâncias de posição

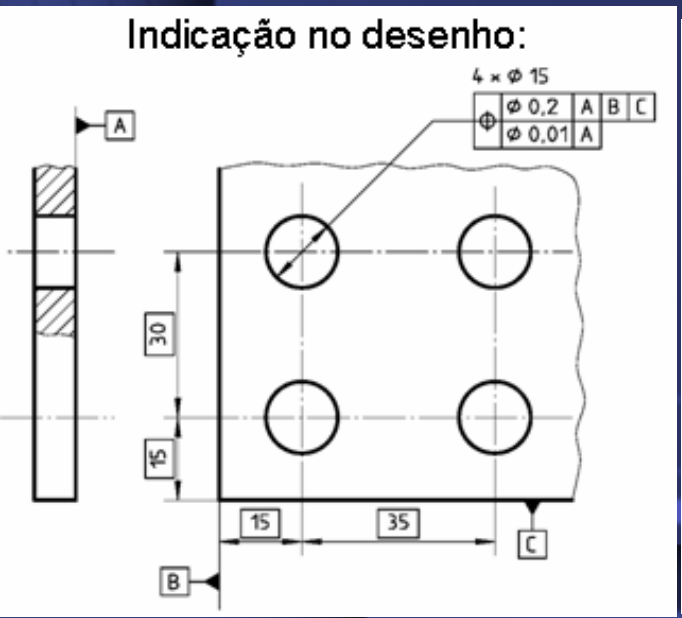
- Tolerâncias de localização multidireccionais:
  - A **tolerância é especificada como uma zona cilíndrica**.

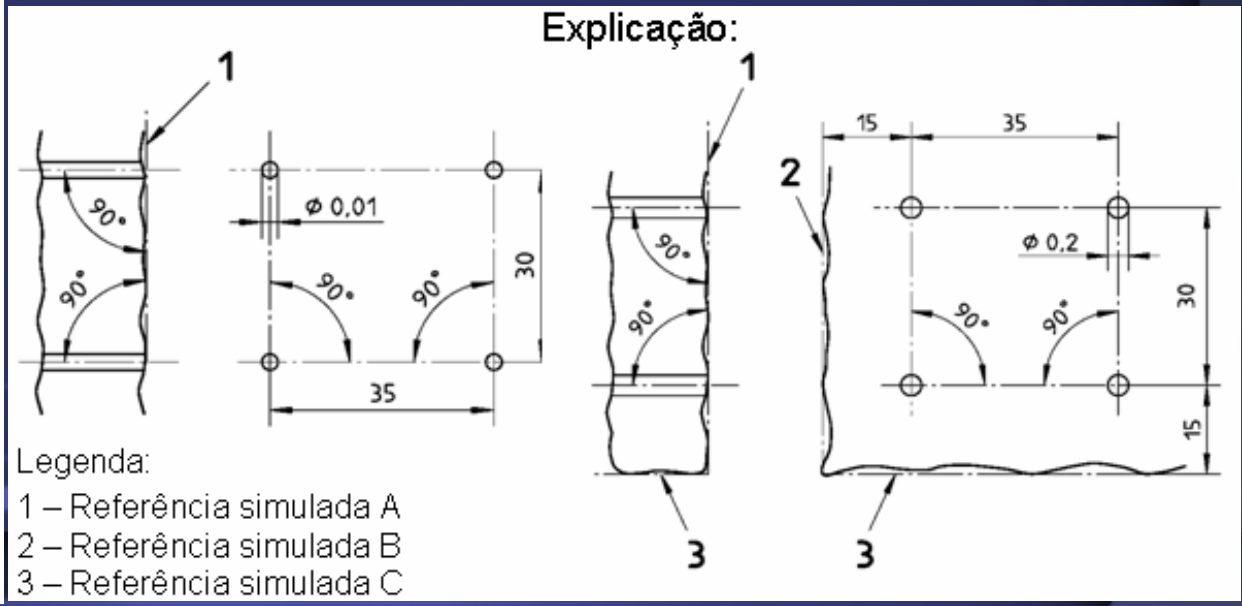




Tolerâncias de posição

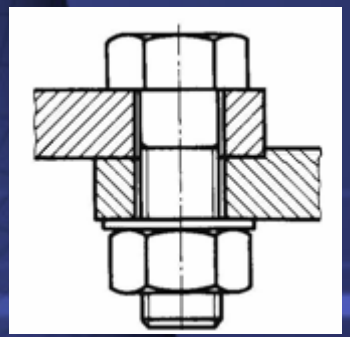
- Combinações de tolerâncias:
  - Se um grupo de elementos é posicionado individualmente através de um toleranciamento de localização e a posição do seu conjunto é também posicionada por um toleranciamento de localização, **cada requisito deve ser respeitado independentemente**.

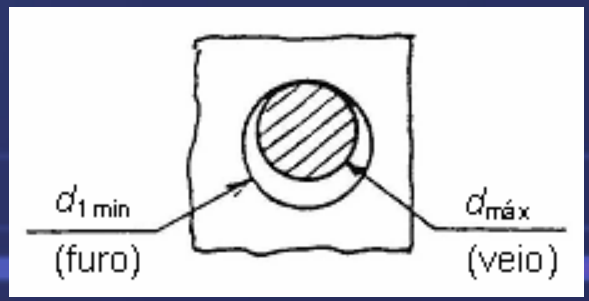


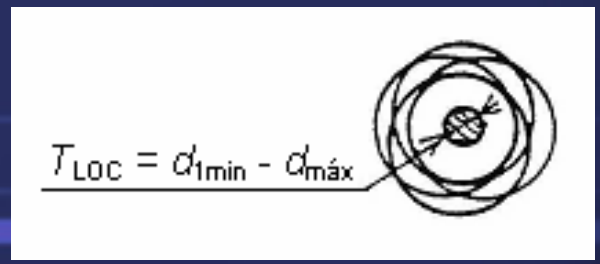


Tolerâncias de posição

- Cálculo de tolerâncias de localização:
  - Admite-se que os **elementos interiores e exteriores são ambos de forma e orientação perfeitas e estão na sua condição de máximo de matéria.** As fórmulas utilizadas darão origem a um ajustamento "sem folga", quando os elementos conjugados estão na condição de máximo de matéria (MMC) e na sua **posição mais desfavorável**, dentro das suas zonas de tolerância de localização.
  - **Elemento de fixação flutuante**:



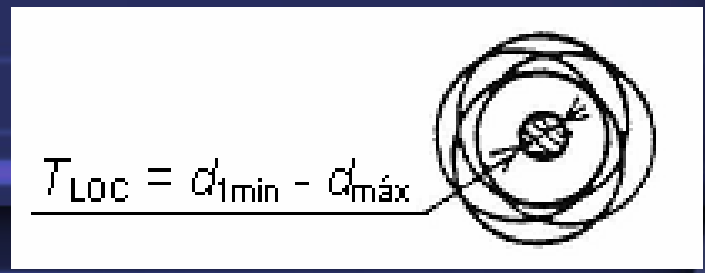




Tolerâncias de posição

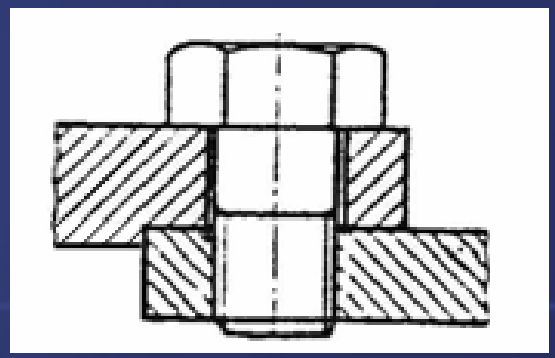
- **Elemento de fixação flutuante**:
  - A zona de tolerância das posições dos eixos dos furos das peças é um cilindro com o eixo na posição teoricamente exacta dos eixos dos furos e diâmetro de valor igual à tolerância de localização:
    - $T_{Loc} = (d_{1min} - d_{máx})$

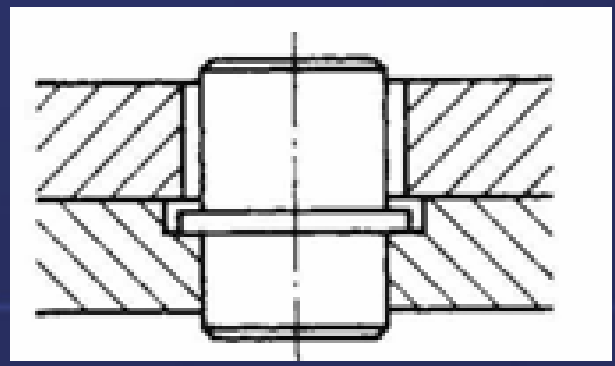
    em que:
    - d_{1min} é o tamanho de máximo de matéria do elemento interior (ex.: diâmetro mínimo do furo passante);
    - $d_{máx}$ é o tamanho de máximo de matéria do elemento exterior (ex.: diâmetro máximo do parafuso).
  - Em conclusão, a **utilização de ligações "parafuso-porca" permite ter, em cada peça, furos passantes com uma tolerância de localização igual à folga mínima entre os elementos da ligação**.



Tolerâncias de posição

- **Elemento de fixação fixo**:
  - Uma das peças tem elementos de fixação restringidos (ex.: pernos e parafusos em furos roscados ou um pino ajustado com aperto numa das extremidades).
  - Como o elemento de fixação está fixo a uma das peças, a tolerância de localização dos furos das peças tem o valor:
    - $T_{LOC} = (d_{1min} - d_{máx}) / 2$



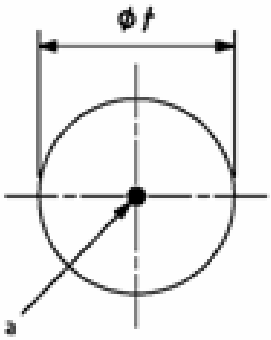


Tolerâncias de concentricidade e de coaxialidade

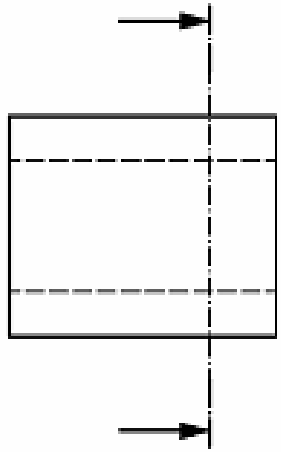
- A **concentricidade** é a qualidade de **dois ou mais elementos circulares ou esféricos cujos centros são confundidos**. A **coaxialidade é a qualidade de dois ou mais elementos cujos eixos de revolução são confundidos**.
- A **concentricidade aplica-se a elementos que têm um ponto de centro, enquanto a coaxialidade se aplica a elementos com um eixo**. A concentricidade e a coaxialidade são características de posição particular cujo valor nominal é a "cota teoricamente exacta implícita 0 mm".
- O elemento a tomar como referência deve ser escolhido em função dos requisitos funcionais.

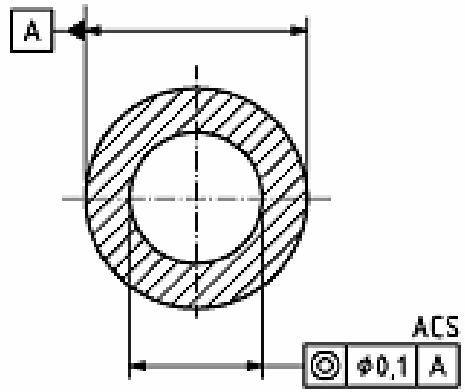
Tolerâncias de concentricidade e de coaxialidade

Tolerância de concentricidade e de coaxialidade (símbolo ◎)	
Definição da zona de tolerância	**Indicação e interpretação**
Tolerância de concentricidade de um ponto	
A zona de tolerância está limitada por uma circunferência de diâmetro t, o valor da tolerância deve ser precedido do símbolo ∅. O centro da zona de tolerância circular coincide com o ponto de referência.	O centro extraído (real) da circunferência exterior deve estar compreendido numa circunferência de diâmetro 0,1, concentrica com o ponto de referência A, na secção recta.



a) Ponto de referência A





Tolerâncias de concentricidade e de coaxialidade

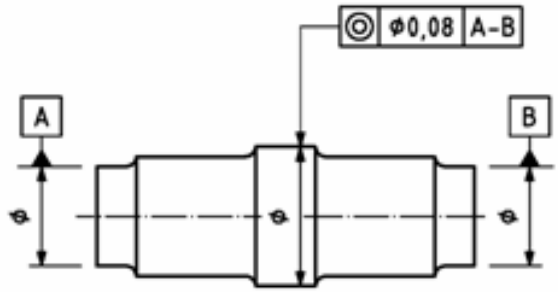
Tolerância de coaxialidade de um eixo

A zona de tolerância está limitada por um cilindro de diâmetro t, o valor da tolerância deve ser precedido do símbolo ⌀. O eixo da zona de tolerância cilíndrica coincide com a referência especificada.



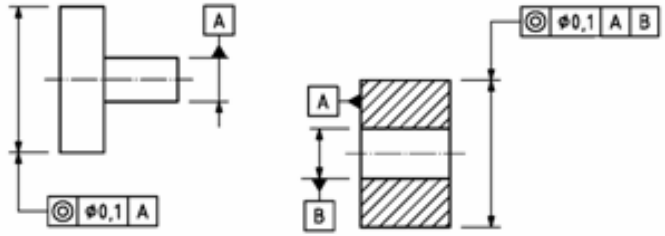
a) Referência especificada A-B

A linha mediana extraída (real) do cilindro toleranciado deve estar compreendida numa zona cilíndrica de diâmetro 0,08, cujo eixo é a linha recta de referência comum A-B.



A linha mediana extraída (real) do cilindro toleranciado deve estar compreendida numa zona cilíndrica de diâmetro 0,1, cujo eixo é o eixo de referência A.

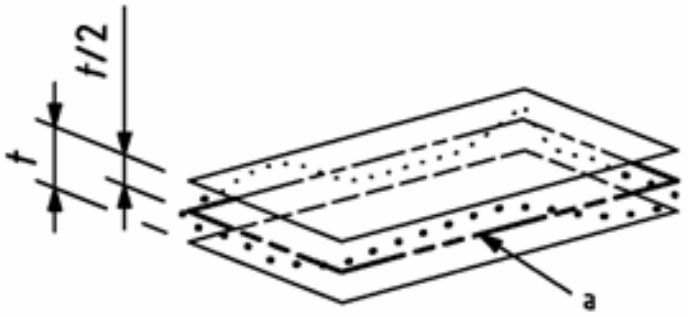
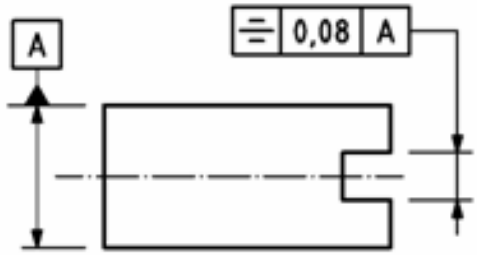
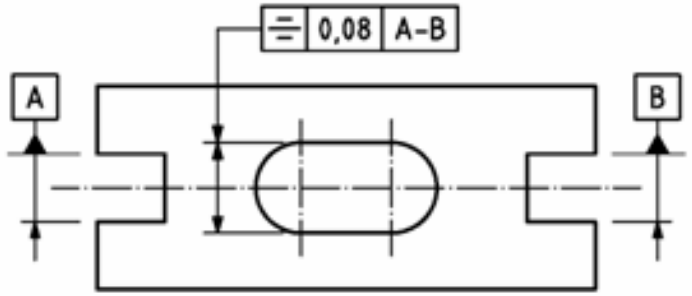
A linha mediana extraída (real) do cilindro maior deve estar compreendida numa zona cilíndrica de diâmetro 0,1, cujo eixo é o eixo de referência B perpendicular ao plano de referência A.



Tolerância de simetria

- A **simetria é a qualidade de um elemento (ponto, linha ou superfície) cuja posição é confundida com o plano definido pela(s) referência(s)**.
- A **tolerância de simetria é a distância máxima entre duas rectas (ou dois planos) paralelos, entre os quais deve estar compreendido o elemento (ponto, linha ou superfície) considerado**.
- O desvio de simetria é igual a duas vezes o desvio máximo em relação ao elemento de referência.
- A simetria é uma característica de posição particular, cujo valor nominal é a “cota teoricamente exacta implícita 0 mm”.

Tolerância de simetria

Tolerância de simetria (símbolo ⌯)	
Definição da zona de tolerância	**Indicação e interpretação**
Tolerância de simetria de um plano mediano	
A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos distantes, entre si, de *t* e dispostos simetricamente em relação ao plano mediano, relativo à referência especificada.	A superfície mediana (real) extraída deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes, entre si, de 0,08, que estão dispostos simetricamente em relação ao plano mediano de referência A.
	
a) Referência especificada.	A superfície mediana (real) extraída deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes, entre si, de 0,08 e dispostos simetricamente em relação ao plano mediano de referência comum A-B.
	

Tolerâncias de batimento

- Tolerâncias globais e compostas, **utilizadas para controlar a relação funcional de uma ou mais características de um elemento, em relação a um eixo de referência**.
- **Aplicam-se a superfícies de revolução**. Permitem exprimir, directamente, as exigências funcionais de superfícies de peças (ex.: discos de embraiagem, rodas de atrito, roletes, jantes de rodas, etc.).
- Tolerância de **batimento circular**:
  - O **batimento circular é um desvio global, que conjuga desvios de forma, de orientação e de posição, verificado durante a rotação de um elemento em torno de um eixo de referência.**

Tolerâncias de batimento

- Tolerância de **batimento circular** (cont.):
  - O **batimento circular pode ser radial, axial, em qualquer direcção ou numa direcção especificada** e diz respeito a linhas circulares.
  - A **tolerância de batimento circular representa a variação máxima admissível *t* do elemento considerado, em relação a um ponto fixo, durante uma rotação completa em torno do eixo de referência** (sem deslocamento axial relativo entre a peça e o instrumento de medição). A tolerância de batimento circular aplica-se, separadamente, a cada posição de medição.
  - O desvio de batimento circular pode incluir os desvios de circularidade, de concentricidade, de perpendicularidade ou de planeza. A soma desses desvios não deve ultrapassar a tolerância de batimento circular prescrita.

Tolerâncias de batimento

- Tolerância de **batimento circular** (cont.):
  - O **desvio de batimento circular radial é o valor conjugado da concentricidade e da circularidade**. O **desvio de batimento circular axial é o valor conjugado da perpendicularidade e de rectitude circunferencial da face medida**. O **desvio de batimento circular em qualquer direcção é o valor conjugado de circularidade e de coaxialidade**.

Tolerâncias de batimento

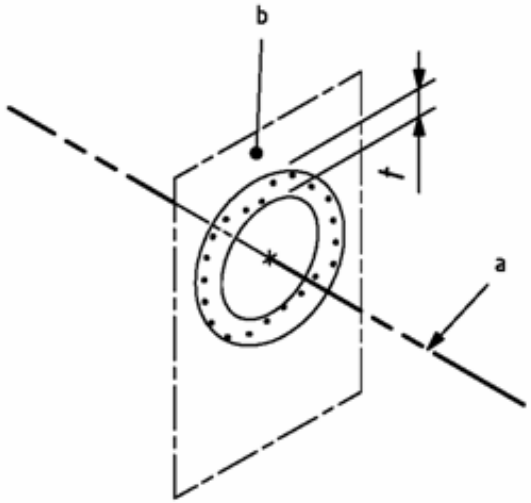
- Tolerância de batimento circular:

Tolerância de batimento circular (símbolo ↗)

Definição da zona de tolerância	**Indicação e interpretação**

Tolerância de batimento circular radial

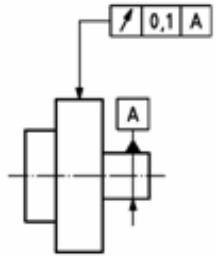
A zona de tolerância está limitada, em cada secção perpendicular ao eixo de referência, por duas circunferências concêntricas, com uma diferença de raios igual a *t*, cujos centros coincidem com a referência especificada.

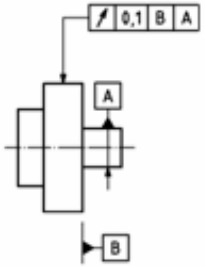


a) Referência especificada
b) Secção recta

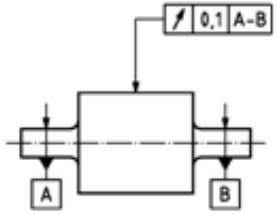
A linha extraída (real), em qualquer secção recta perpendicular ao eixo de referência A, deve estar compreendida entre duas circunferências concêntricas e complanares, com uma diferença de raios de 0,1.

A linha extraída (real), em qualquer secção recta paralela ao plano de referência B, deve estar compreendida entre duas circunferências complanares e concêntricas no eixo de referência A, com uma diferença de raios de 0,1.





A linha extraída (real), em qualquer secção recta, perpendicular à linha recta de referência comum A-B, deve estar compreendida entre duas circunferências concêntricas e complanares, com uma diferença de raios de 0,1.

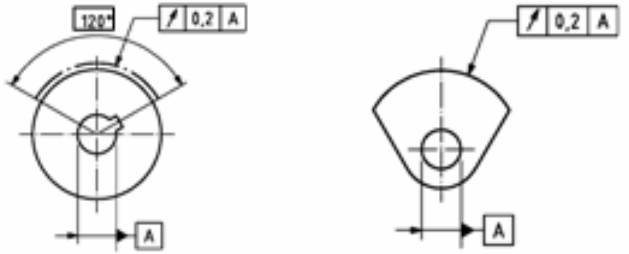


Tolerâncias de batimento

- Tolerância de batimento circular (cont.):

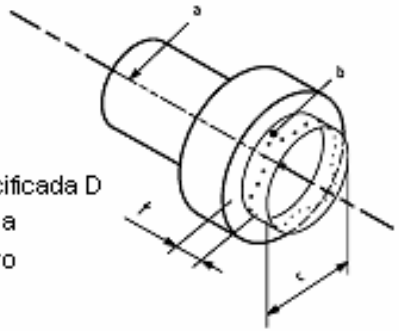
O batimento aplica-se geralmente a elementos completos, mas pode ser aplicado, apenas, a uma parte restrita.

A linha extraída (real), numa qualquer secção recta, perpendicular ao eixo de referência A, deve estar compreendida entre duas circunferências concêntricas e complanares, com uma diferença nos raios de 0,2.



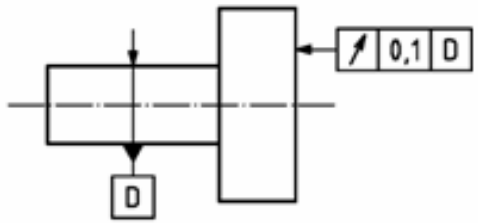
Tolerância de batimento circular axial

A zona de tolerância está limitada, em cada secção cilíndrica, por duas circunferências distantes, entre si, de *t*, situadas na secção cilíndrica, cujo eixo coincide com a referência especificada.



a) Referência especificada D
b) Zona de tolerância
c) Qualquer diâmetro

A linha extraída (real), numa qualquer secção cilíndrica, cujo eixo coincide com o eixo de referência D, deve estar compreendida entre duas circunferências distantes, entre si, de 0,1.



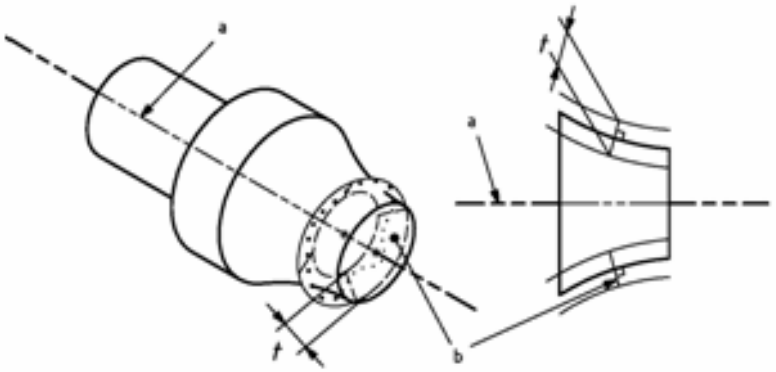
Tolerâncias de batimento

- Tolerância de batimento circular (cont.):

Tolerância de batimento circular em qualquer direcção

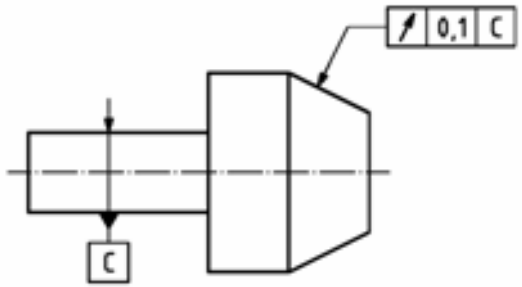
A zona de tolerância está limitada, para cada secção cónica, por duas circunferências distantes, entre si, de *t*, cujos eixos coincidem com a referência especificada.

A largura da zona de tolerância está na direcção normal à geometria da superfície, salvo indicação em contrário.

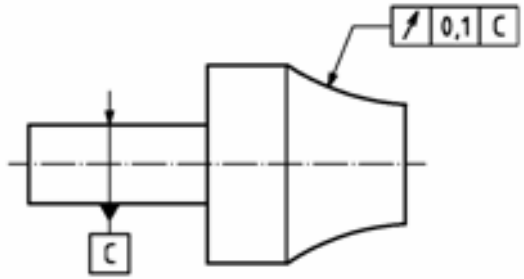


a) Referência especificada C
b) Zona de tolerância

A linha extraída (real), numa qualquer secção cónica, cujo eixo coincide com o eixo de referência C, deve estar compreendida entre duas circunferências distantes, entre si, de 0,1, dentro da secção cónica.



Quando a linha geratriz do elemento toleranciado não é recta, o ângulo no vértice da secção cónica irá variar, em função da posição real.

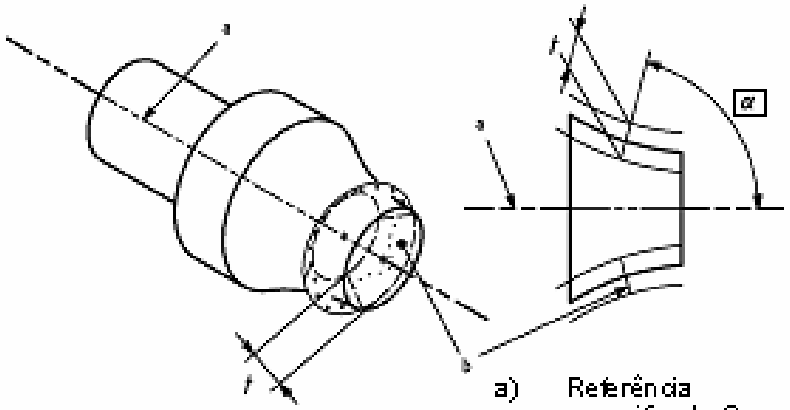


Tolerâncias de batimento

- Tolerância de batimento circular (cont.):

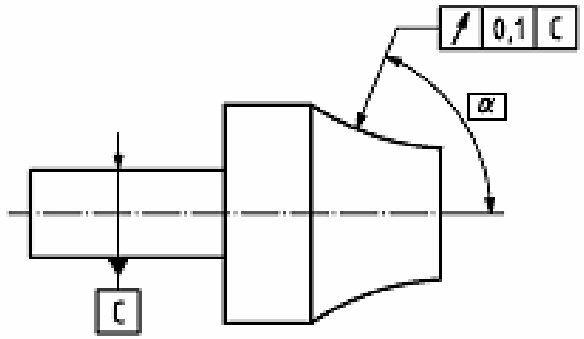
Tolerância de batimento circular numa direcção especificada

A zona de tolerância está limitada, em cada secção cónica de ângulo especificado, por duas circunferências distantes, entre si, de *t*, cujos eixos coincidem com a referência especificada.



a) Referência especificada C
b) Zona de tolerância

A linha extraída (real), numa qualquer secção cónica (ângulo α), cujo eixo coincide com o eixo de referência C, deve estar compreendida entre duas circunferências distantes, entre si, de 0,1, dentro da secção cónica.

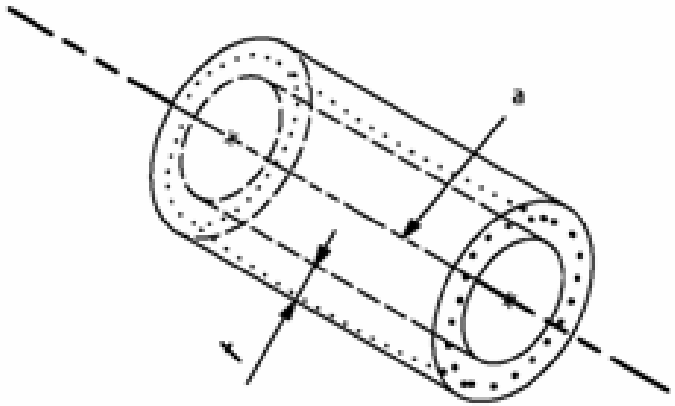
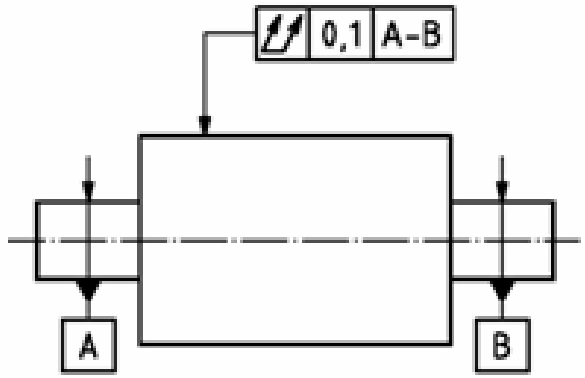


Tolerâncias de batimento

- Tolerância de **batimento total**:
  - O **batimento total é um desvio global, que conjuga desvios de forma, de orientação e de posição (coaxialidade), verificado durante a rotação de um elemento em torno de um eixo de referência**. Diz **respeito à totalidade da superfície** especificada.
  - O **batimento total pode ser radial ou axial e diz respeito a superfícies de revolução ou circulares**.
  - O batimento total limita a rectitude e a inclinação de uma geratriz ou a planeza de uma superfície.
  - O desvio de batimento total radial é o valor conjugado da coaxialidade e da cilindricidade. O desvio de batimento total axial é o valor conjugado da perpendicularidade e da planeza da face medida.

Tolerâncias de batimento

- Tolerância de batimento total:

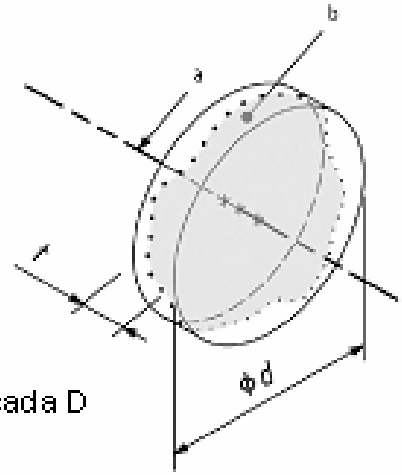
Tolerância de batimento total (símbolo ⌰)	
Definição da zona de tolerância	**Indicação e interpretação**
Tolerância de batimento total radial	
A zona de tolerância está limitada por dois cilindros coaxiais com uma diferença de raios de t, cujos eixos coincidem com a referência especificada.	A superfície extraída (real) deve estar compreendida entre dois cilindros coaxiais, com uma diferença de raios de 0,1 e os eixos coincidentes com a linha recta de referência comum A-B.
 a) Referência especificada A-B	

Tolerâncias de batimento

- Tolerância de batimento total (cont.):

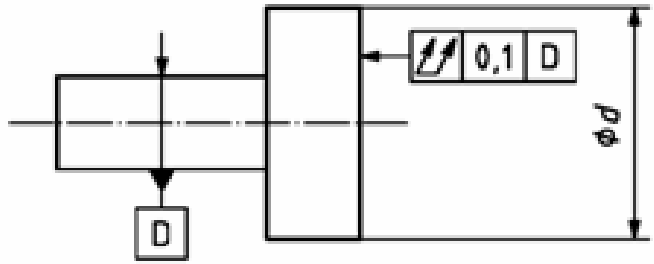
Tolerância de batimento total axial

A zona de tolerância está limitada por dois planos paralelos distantes, entre si, de *t*, e perpendiculares à referência especificada.



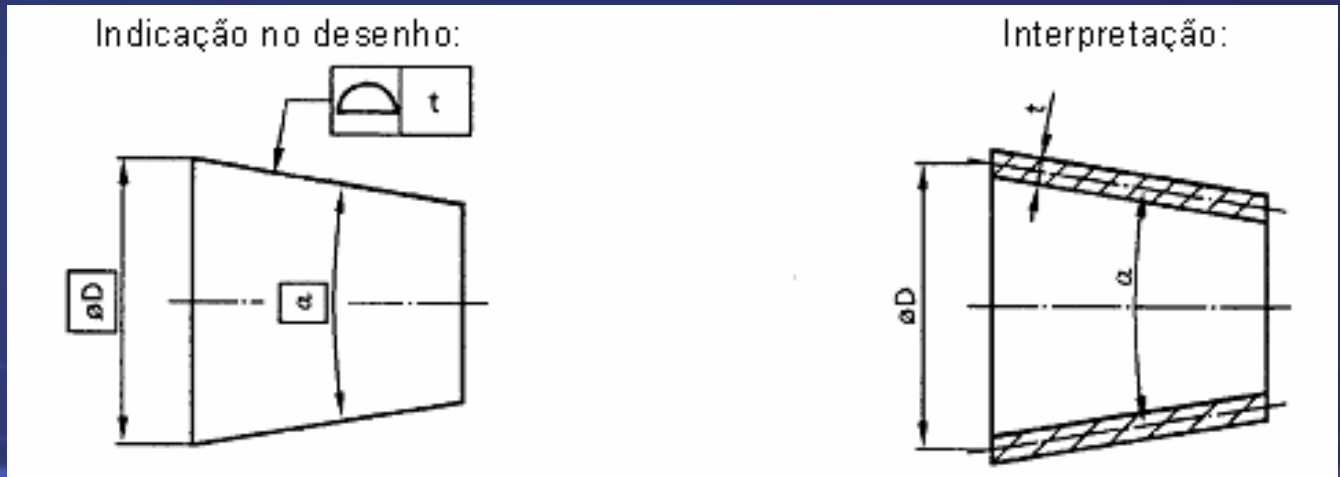
a) Referência especificada D
b) Superfície extraída

A superfície extraída (real) deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes, entre si, de 0,1 e perpendiculares ao eixo de referência D.



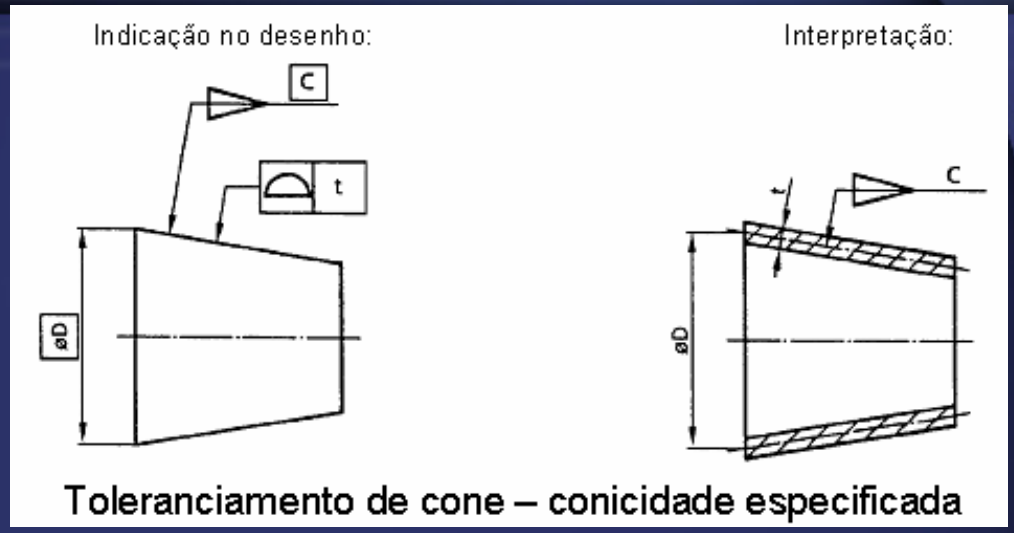
Toleranciamento de cones

- Os **cones devem ser toleranciados (quer o tamanho, quer a superfície cónica) em conformidade com os métodos a seguir indicados**. Métodos de toleranciamento que utilizam apenas tolerâncias dimensionais não fornecem uma indicação adequada em relação à forma da superfície.

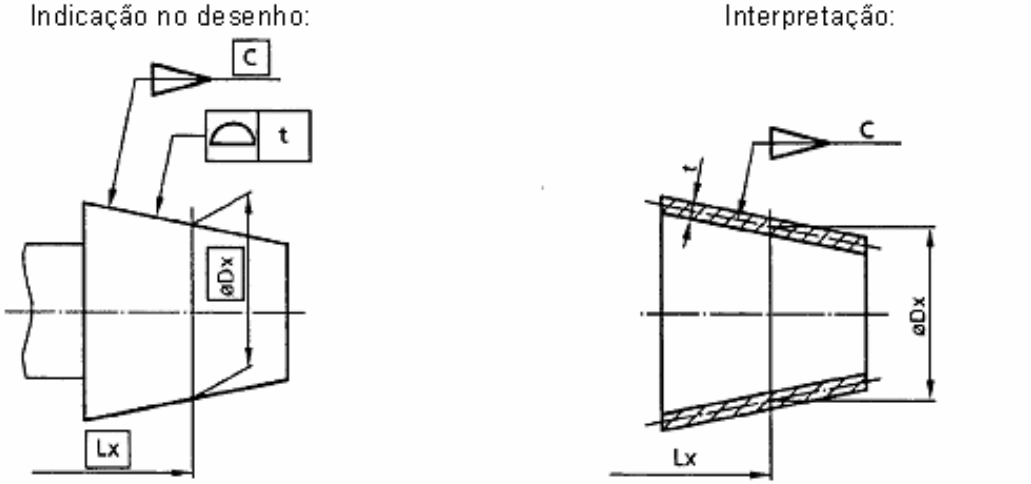


Toleranciamento de cone – ângulo do cone especificado

Toleranciamento de cones



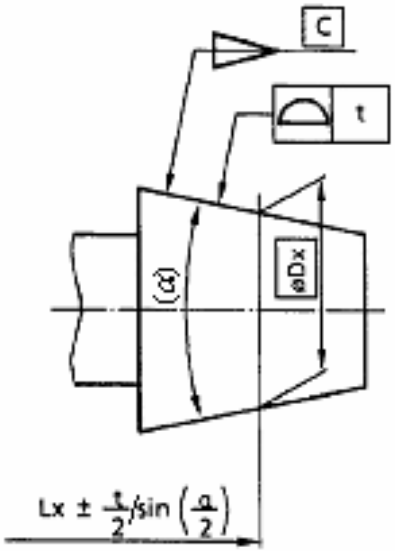
Toleranciamento de cone – conicidade especificada



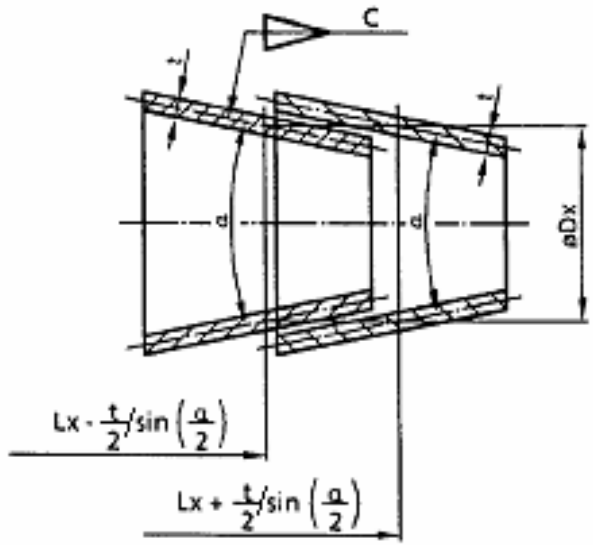
Zona de toleranciamento de cone definindo, em simultâneo, a posição axial do cone

Toleranciamento de cones

Indicação no desenho:



Interpretação:



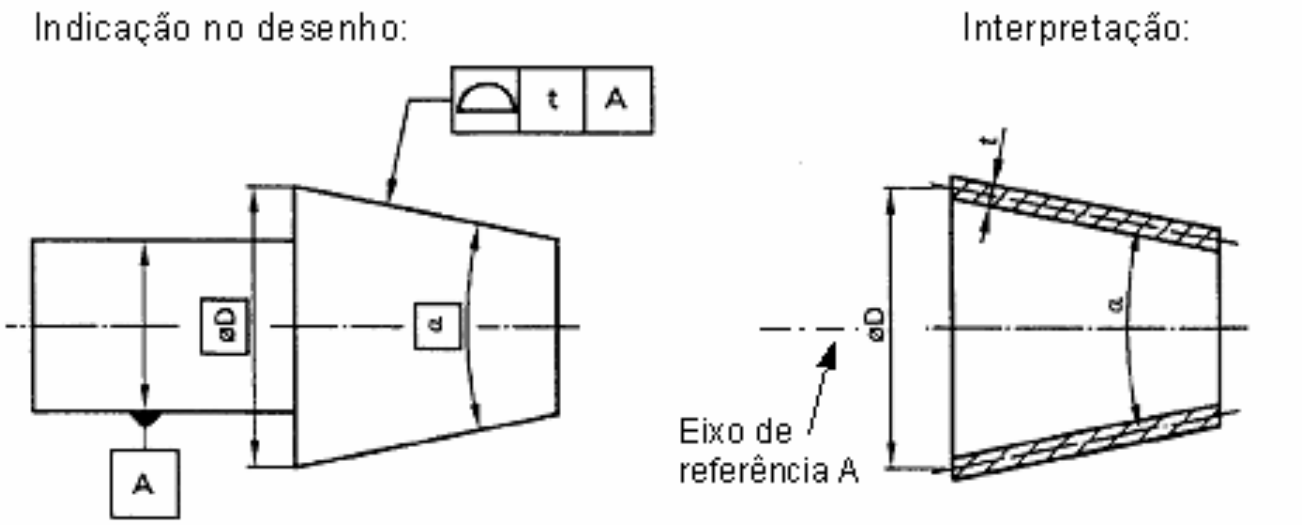
$C = \Delta D / \Delta L \rightarrow 2 \tan(\alpha/2) = 2t / (\cos(\alpha/2)\,\Delta L)$

$2 \sin(\alpha/2) / \cos(\alpha/2) = 2t / (\cos(\alpha/2)\,\Delta L) \rightarrow \Delta L = t / \sin(\alpha/2) \rightarrow$

$\rightarrow \Delta L / 2 = \pm t / (2 \sin(\alpha/2))$

Toleranciamento de cone independente da tolerância da posição axial do cone

Toleranciamento de cones

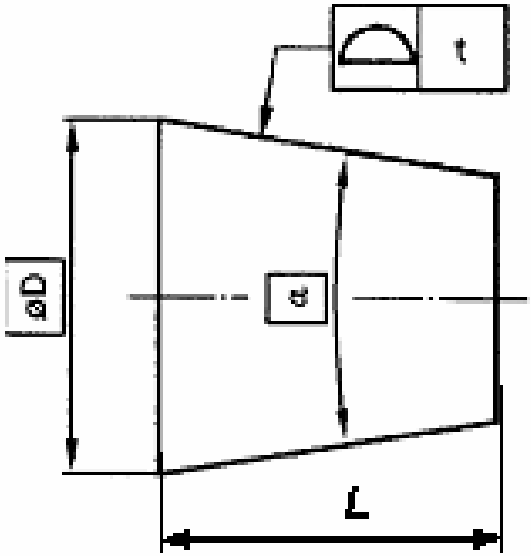


Toleranciamento de cone relativamente a uma referência especificada (definindo simultaneamente a coaxialidade)

- **De acordo com a função do cone**, a configuração da superfície do cone pode ser indicada por outra tolerância de forma ou tolerância de batimento, como, por exemplo, rectitude, circularidade ou batimento. A tolerância do perfil de uma superfície é dada apenas como exemplo.

Toleranciamento de cones

Indicação no desenho:



Interpretação:

