

PMR 3202

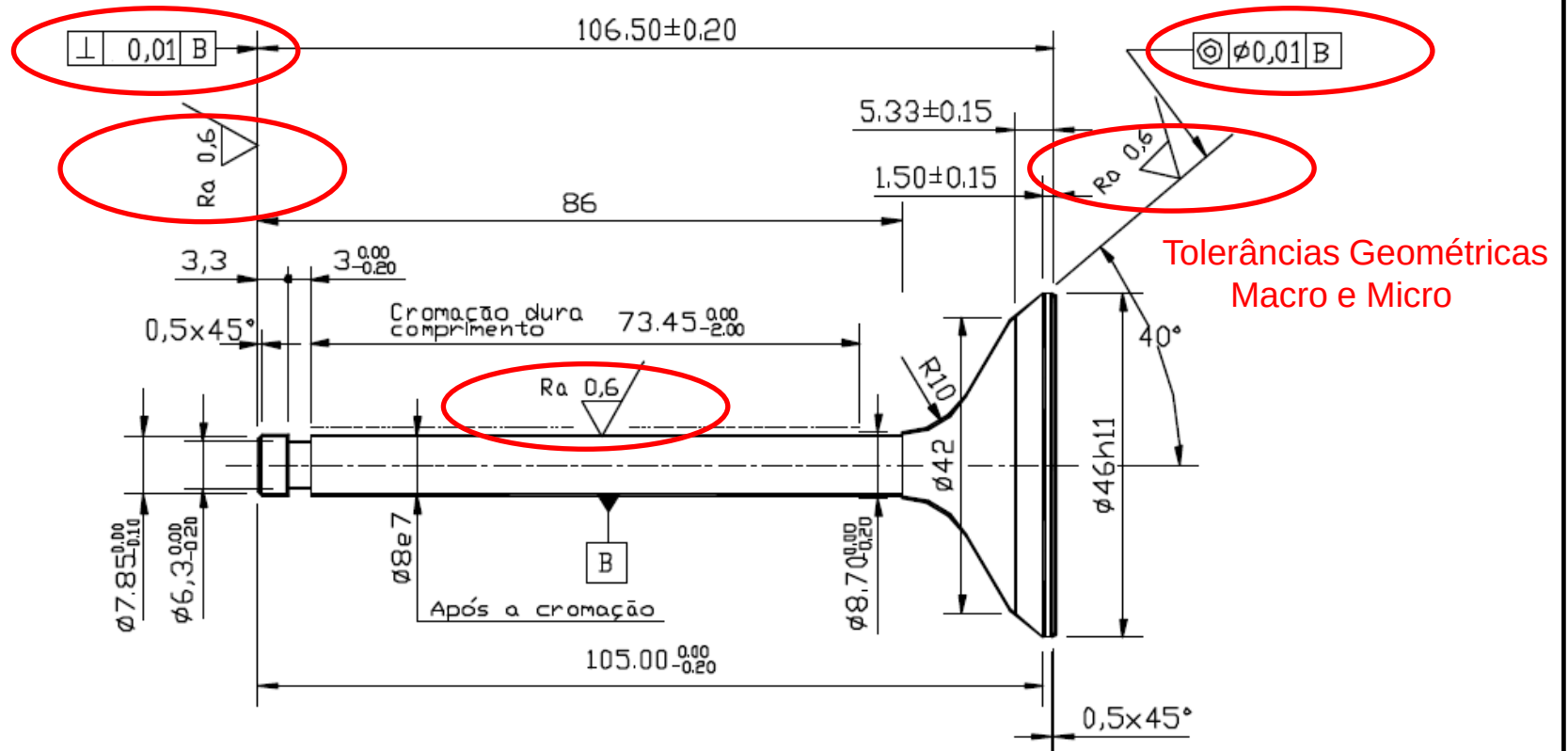
Tolerâncias Geométricas

Tolerâncias Geométricas

As tolerâncias dimensionais de peças, normalmente garantem variações geométricas suficientemente pequenas, de forma a não afetar a funcionalidade das mesmas dentro do conjunto mecânico da qual fazem parte.

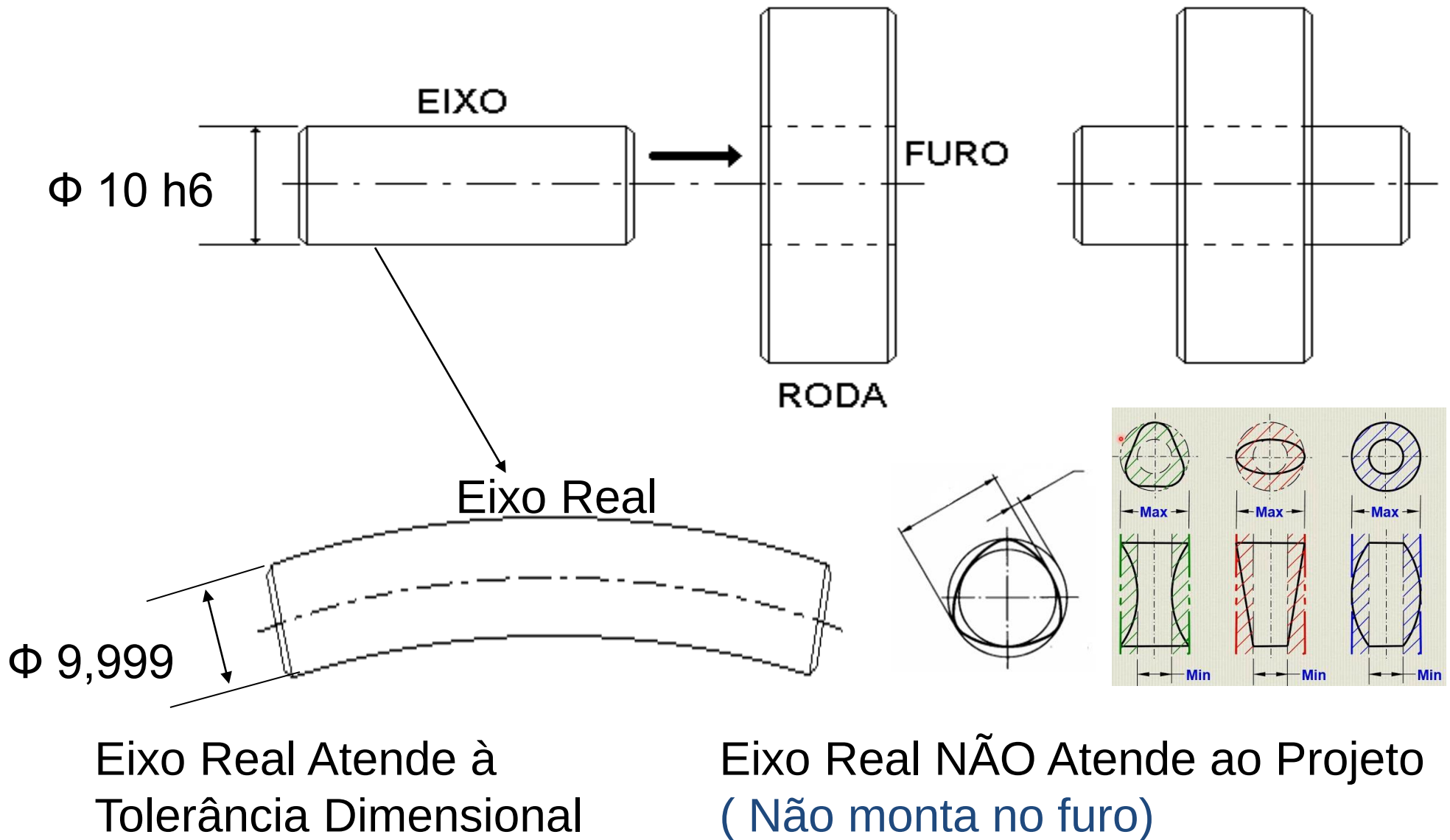
Em algumas situações, a **tolerância dimensional não é suficiente** para se determinar com exatidão a geometria desejada para a peça. Para o controle desta geometria , lança-se mão de especificações adicionais no projeto da peça, denominadas de **TOLERÂNCIAS GEOMÉTRICAS**

Desenho de fabricação de válvula de motor de combustão interna



Item	Quant.	Nº Desenho	Título/Descrição	Material/Especificação
LISTA DE MATERIAIS				
I Departamento de Mecatrônica e Sistemas Mecânicos- POLI- USP		Tipo Documento Desenho de Fabricação		Tamanho Folha A3
		Título Válvula de Admissão		
Criado por		PMR 3202		Nº Desenho 58
Aprovado por		PMR 3202		
		Data 29/08/2022	Rev. 0	Escala 1:1
		Nº da Folha 1		

NECESSIDADE DA TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA



- Exemplo de Aplicação de Tolerâncias Geométricas
Indústria Aeronáutica, Indústria Automobilística



1. Introdução

- Na maioria dos casos as **peças são compostas por corpos geométricos ligados entre si por superfícies** de formatos simples, tais como **superfícies planas, cilíndricas ou cônicas.**

Tendo em vista esta simplificação, as tolerâncias geométricas tem por objetivo impor condições relativas ao **controle da forma destas superfícies** ou do **posicionamento entre as mesmas.**

DESVIOS GEOMÉTRICOS

Os desvios geométricos podem ser classificadas em dois grupos:

I) **Desvios de Forma**, que estão relacionados ao grau de variação das superfícies reais com relação aos sólidos geométricos que as definem. As tolerâncias geométricas que visam controlar estas variações são:

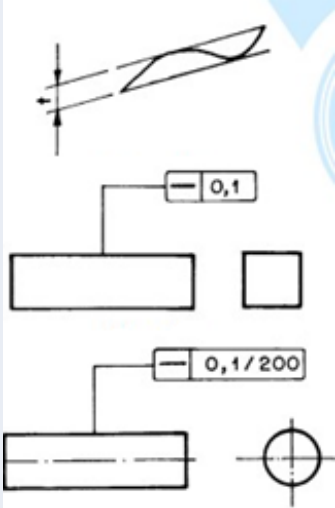
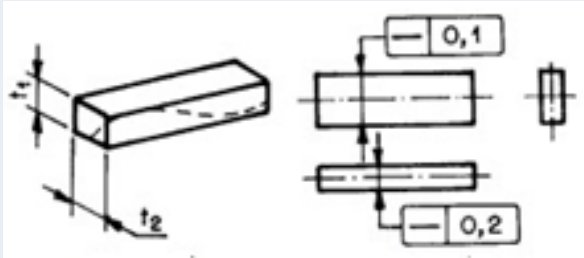
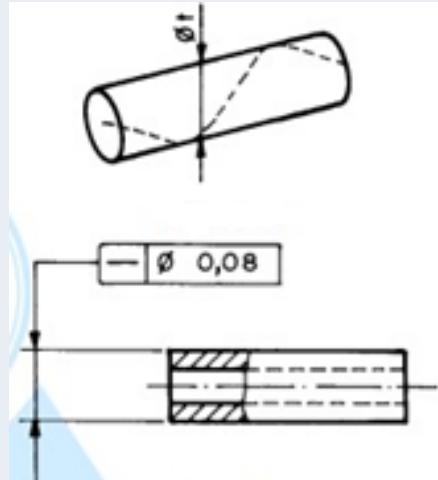
- **retitude**
- **planeza**(“planicidade”)
- **circularidade**
- **cilindricidade**

II) **Desvios de Posição**, que estão relacionados à diferença entre a posição de uma aresta ou superfície e a posição teórica da mesma, definida no projeto da peça. As tolerâncias geométricas que tem por objetivo controlar estas variações são:

- **paralelismo**
- **perpendicularidade**
- **localização**
- **concentricidade e coaxialidade**
- **simetria**
- **inclinação**

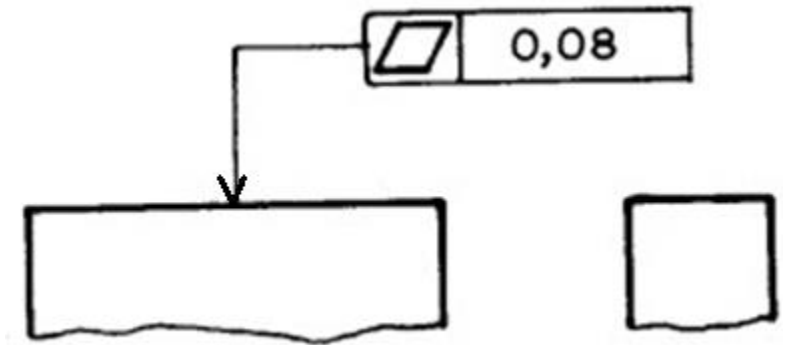
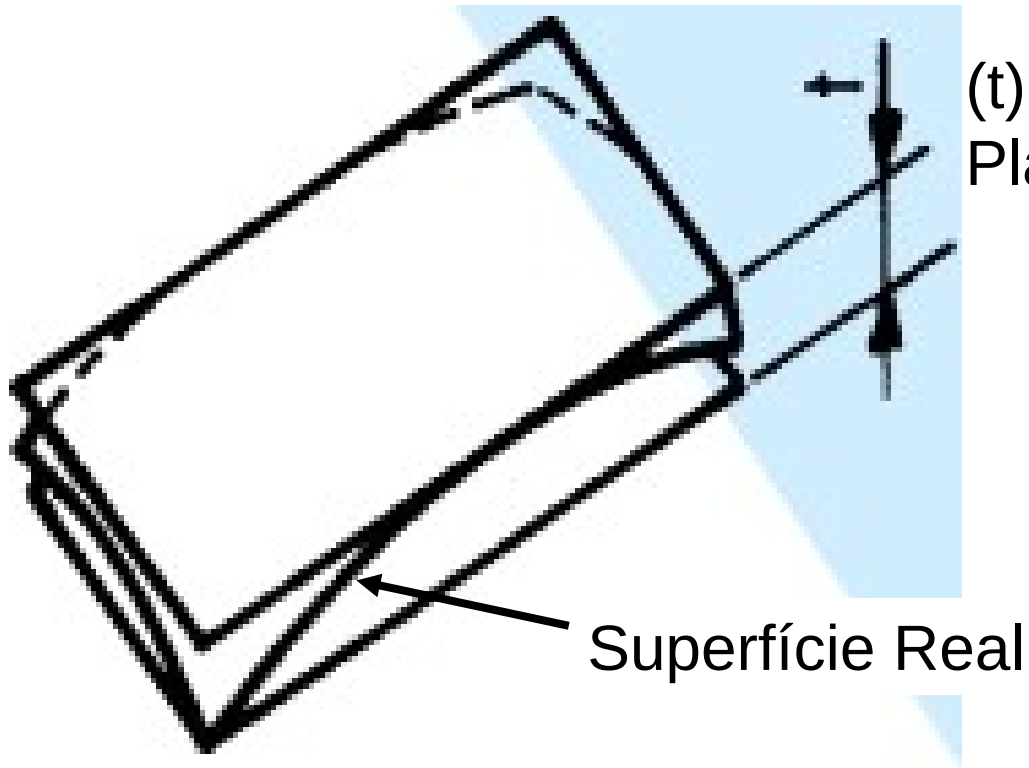
2. Definição das Tolerâncias de Forma

- **Retitude:** a reta real deve estar contida entre duas retas paralelas ou no interior de um cilindro, sendo a distância entre as retas ou o diâmetro do cilindro o valor numérico da tolerância (t)

No plano	Em dois planos ortogonais	No espaço
O campo de tolerância é limitado por duas linhas paralelas afastadas de uma distância "t", se a tolerância for especificada somente em um plano	O campo de tolerância é limitado por um paralelepípedo de seção transversal "$t_1 \times t_2$", se a tolerância for especificada em dois planos perpendiculares entre si	O campo de tolerância é limitado por um cilindro com diâmetro "t", se o valor da tolerância for precedido pelo símbolo $\varnothing$
		

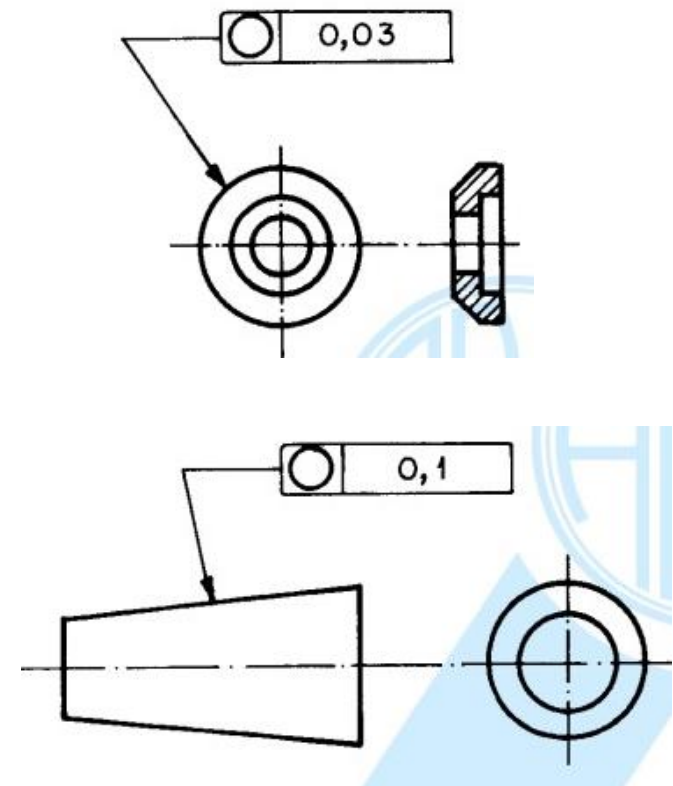
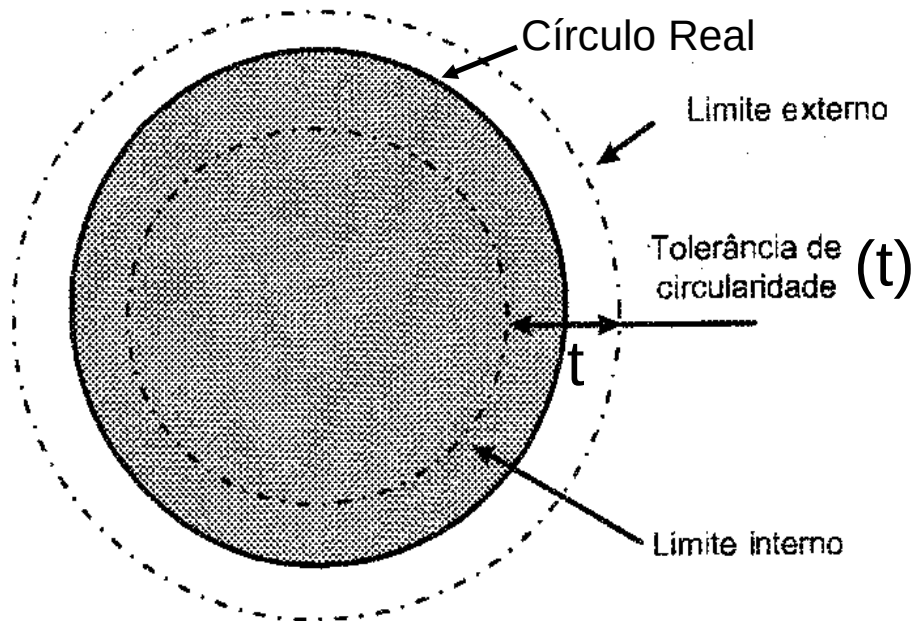
Definição das Tolerâncias de Forma

- **Planeza:** a superfície real deve situar-se entre dois planos paralelos e distantes entre si de um valor que corresponde ao valor numérico da tolerância (t).



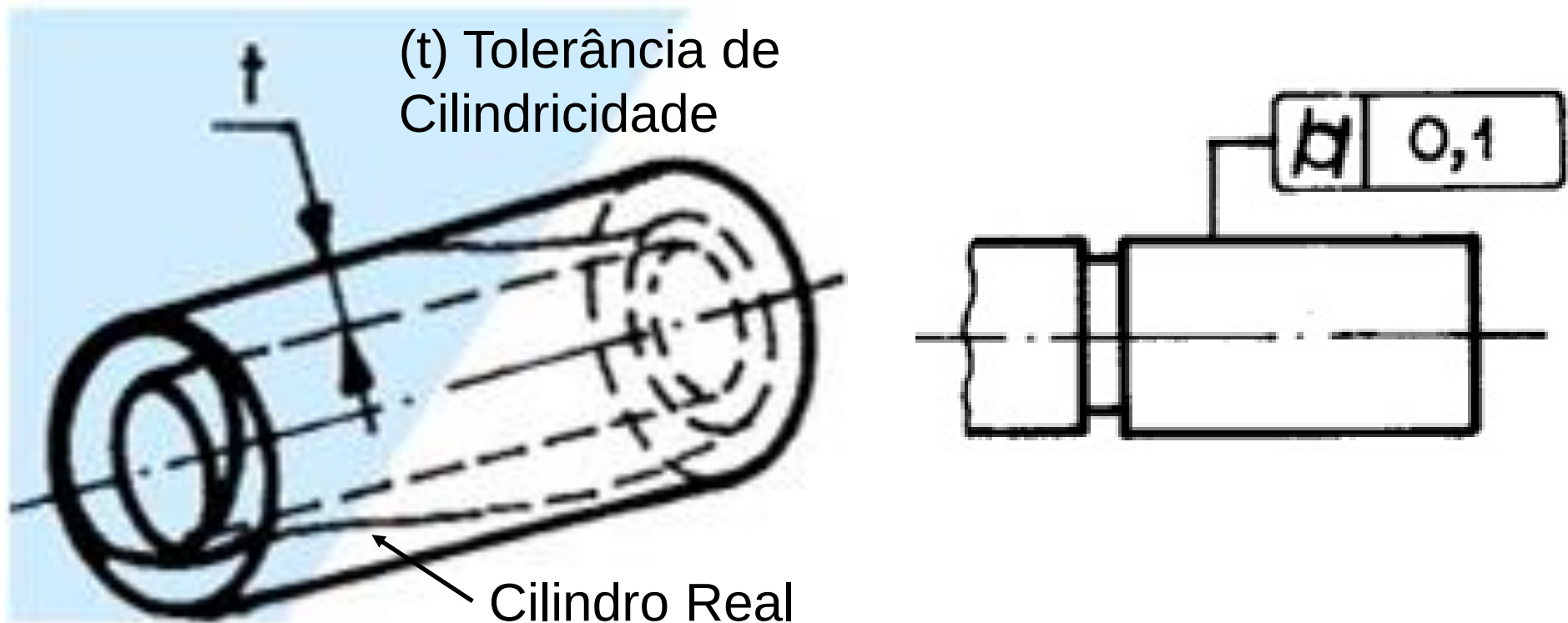
Definição das Tolerâncias de Forma

- **Circularidade:** na seção de medição o círculo real deve estar contido no interior de uma coroa circular, definida por duas circunferências concêntricas, de referência, sendo que a diferença entre os raios destas circunferências corresponde ao valor numérico da tolerância.



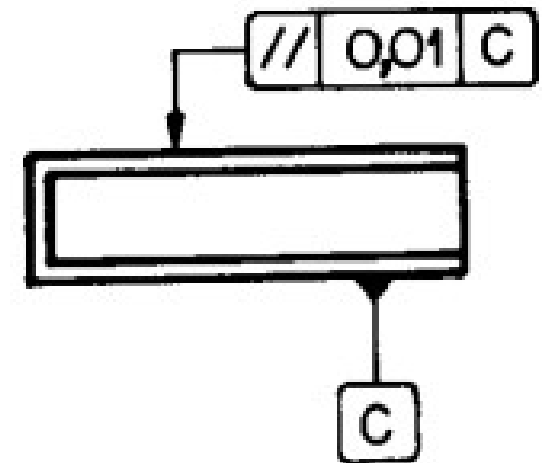
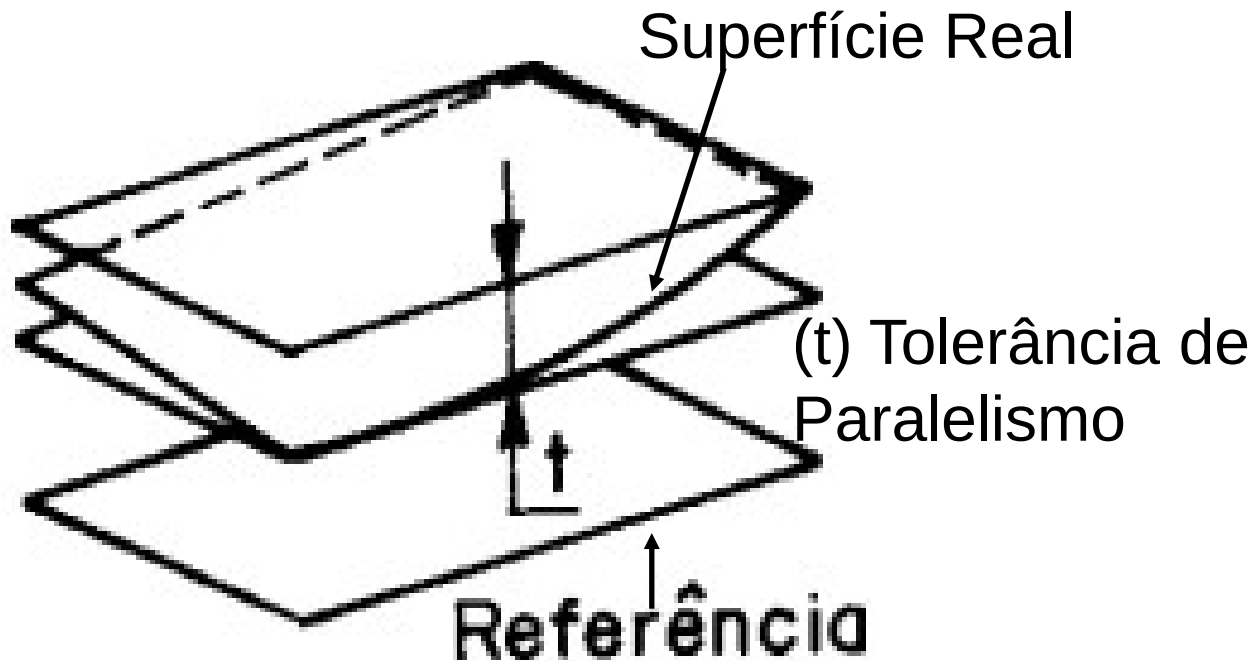
Definição das Tolerâncias de Forma

- **Cilindricidade:** o cilindro real deve estar contido no interior do sólido definido por dois cilindros de referência coaxiais, sendo que a diferença entre os raios dos mesmos corresponde ao valor numérico da tolerância (t).



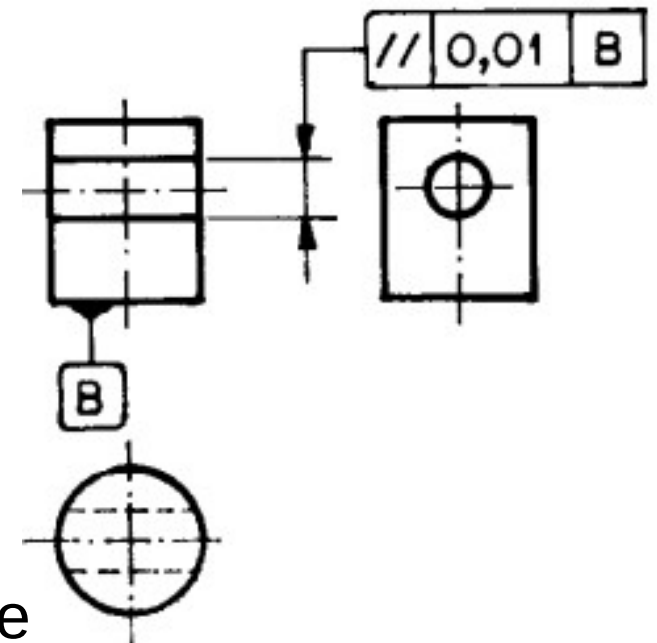
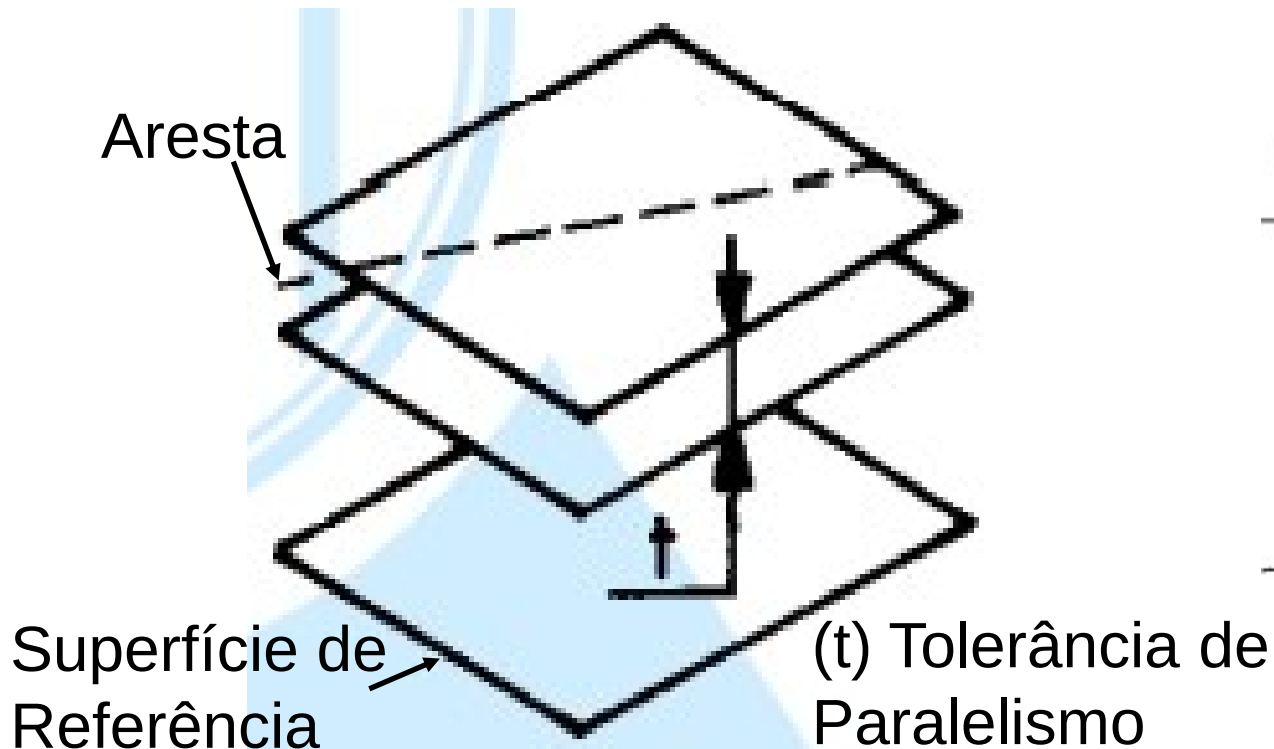
3. Definição das Tolerâncias de Posição

- **Paralelismo entre uma superfície e uma superfície de referência:** a superfície real deve estar contida no espaço limitado por dois planos ideais, paralelos à superfície de referência, sendo que a distância entre estes planos ideais corresponde ao valor numérico da tolerância (t).



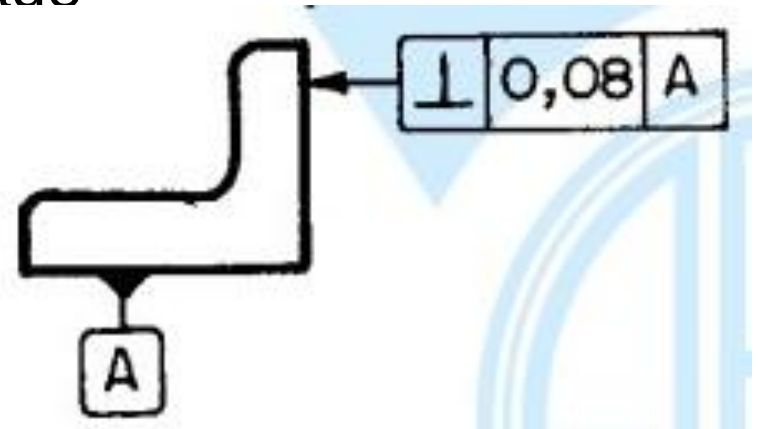
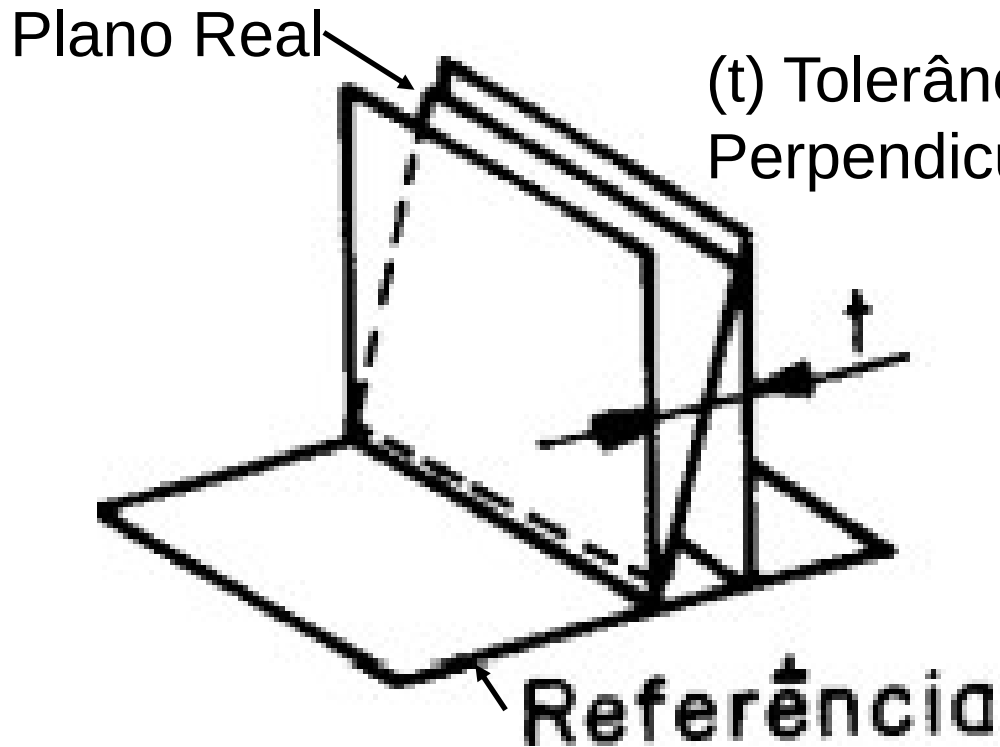
Definição das Tolerâncias de Posição

- **Paralelismo entre aresta e superfície de referência:** a aresta real deve estar contida no espaço limitado por dois planos ideais, paralelos à superfície de referência, sendo que a distância entre estes planos corresponde ao valor numérico da tolerância (t).

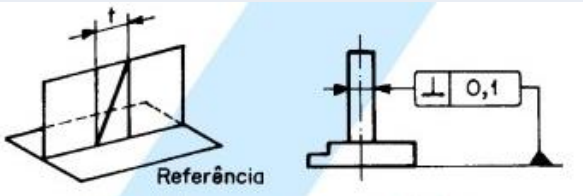
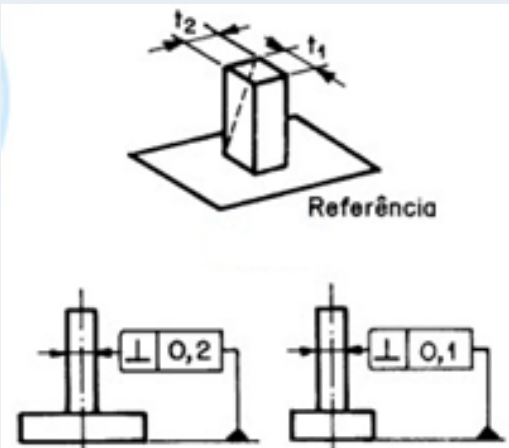
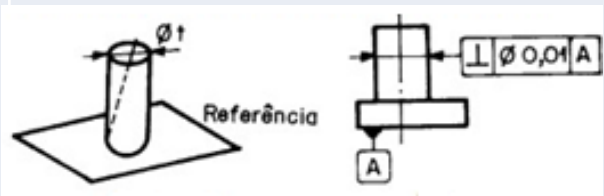


Definição das Tolerâncias de Posição

- **Perpendicularidade entre dois planos:** o plano real deve estar contido no espaço limitado por dois planos ideais, perpendiculares ao plano de referência, sendo que a distância entre os planos ideais corresponde ao valor numérico da tolerância (t).

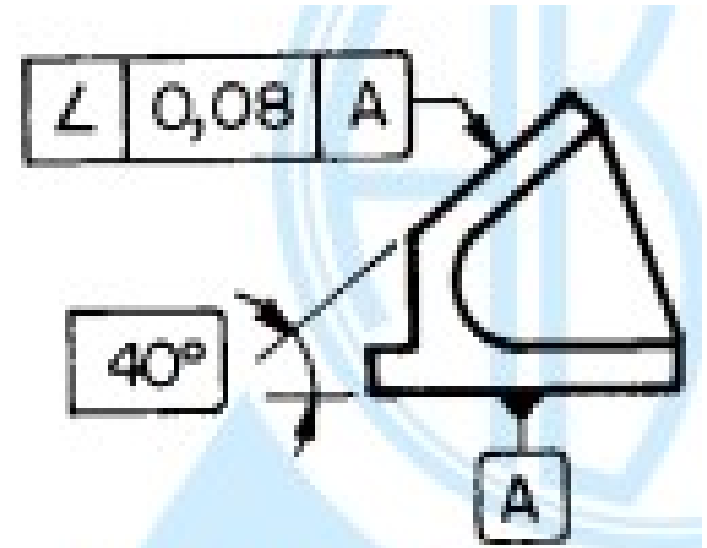


- **Perpendicularidade entre uma aresta e um plano:** a aresta real deve estar contida entre duas retas paralelas ou no interior de um cilindro ideal, perpendiculares ao plano de referência, sendo que a distância entre as retas ou o diâmetro do cilindro corresponde ao valor numérico da tolerância.(t)

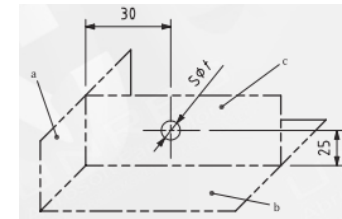
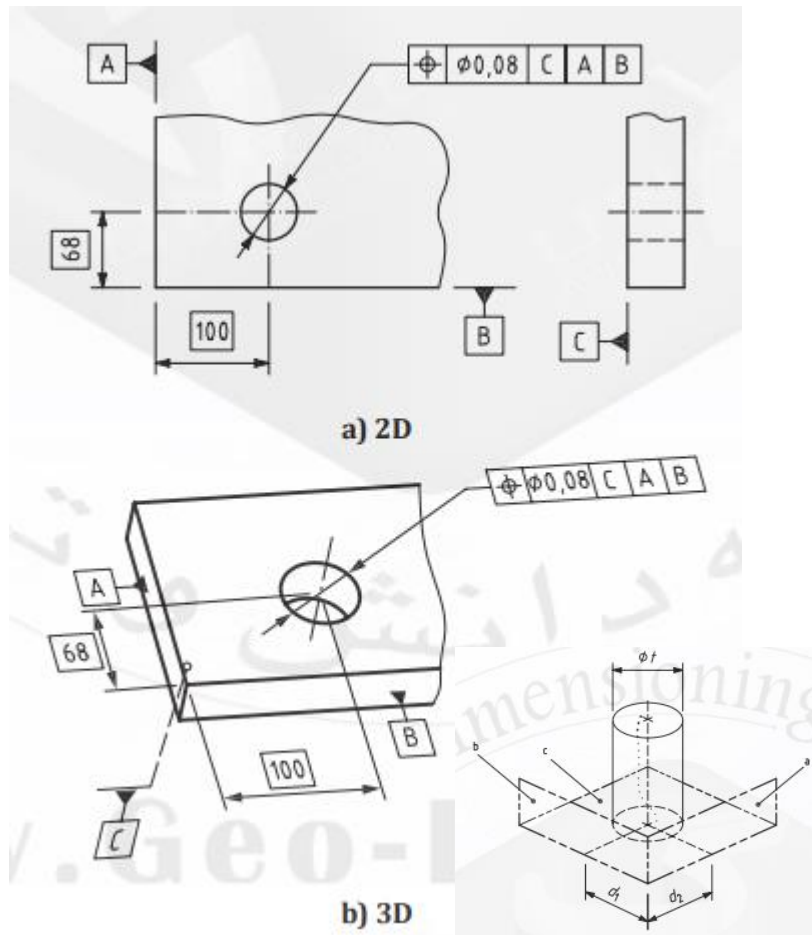
No plano	Em dois planos ortogonais	No espaço
O campo de tolerância, quando projetado em um plano é limitado por duas retas paralelas, afastadas de uma distância "t" e perpendiculares à superfície de referência, se a tolerância for especificada somente em uma direção 	O campo de tolerância é limitado por um paralelepípedo de seção transversal $t_1 \times t_2$ e perpendicular ao plano de referência, se a tolerância for especificada em duas direções perpendiculares entre si 	O campo de tolerância é limitado por um cilindro de diâmetro "t" perpendicular à superfície de referência, se o valor da tolerância for precedido pelo símbolo $\varnothing$ 

Definição das Tolerâncias de Posição

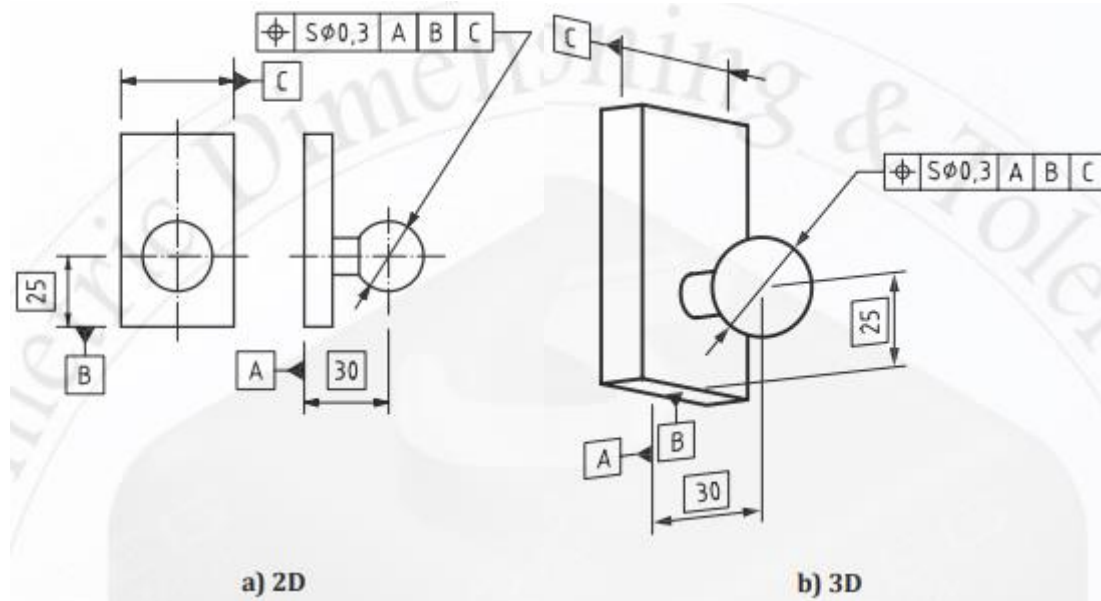
- **Inclinação:** o plano real deve estar contido entre dois planos, paralelos entre si e inclinados com um ângulo igual ao valor nominal, tomado em relação a um plano de referência, sendo que a distância entre estes planos corresponde ao valor numérico da tolerância (t)



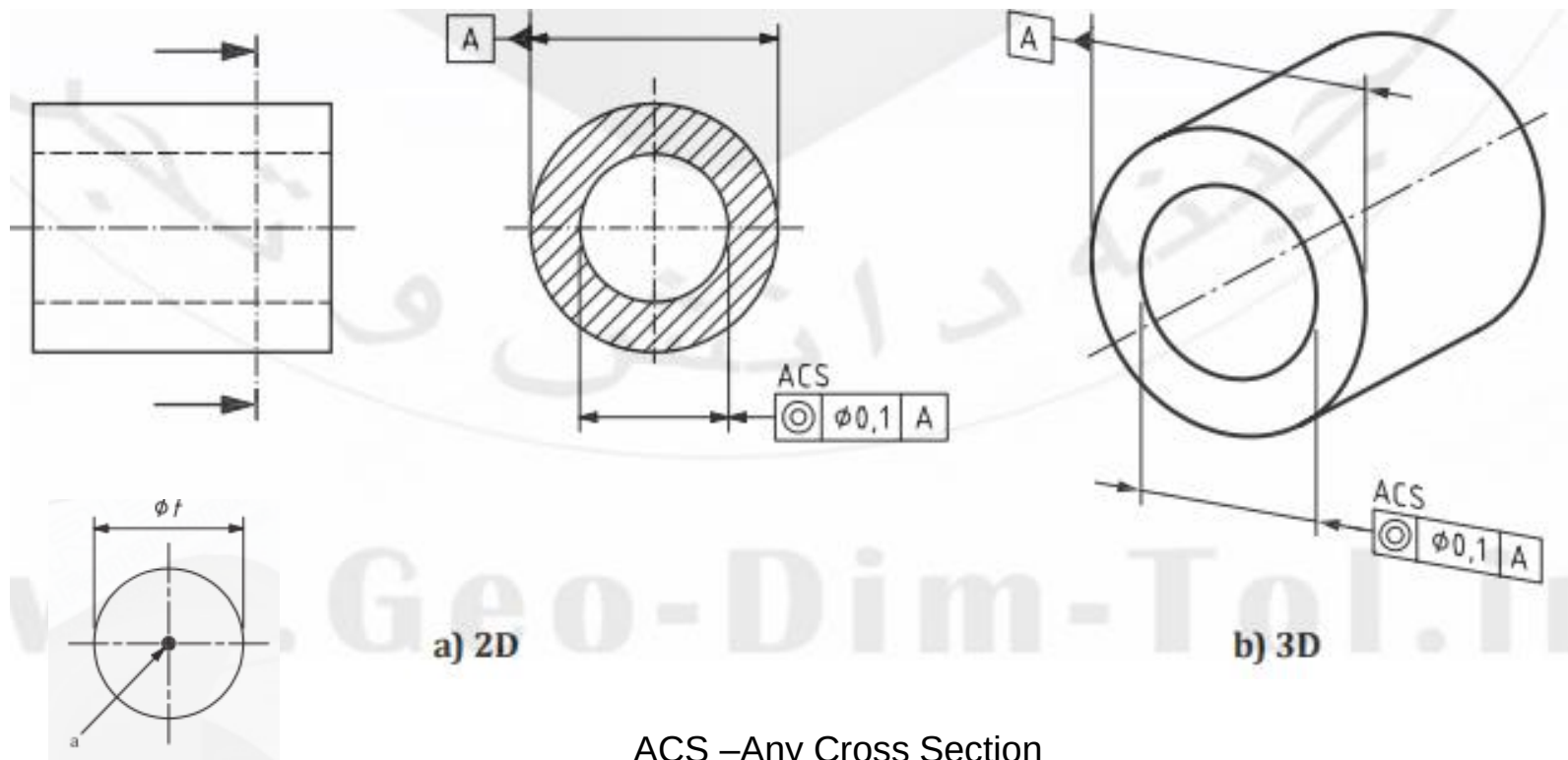
- **Localização:** a linha de centro de um furo deve estar contida no interior de um cilindro ideal, cuja linha de centro coincide com a localização teórica do furo em estudo, sendo que o diâmetro deste cilindro corresponde ao valor numérico da tolerância (t).



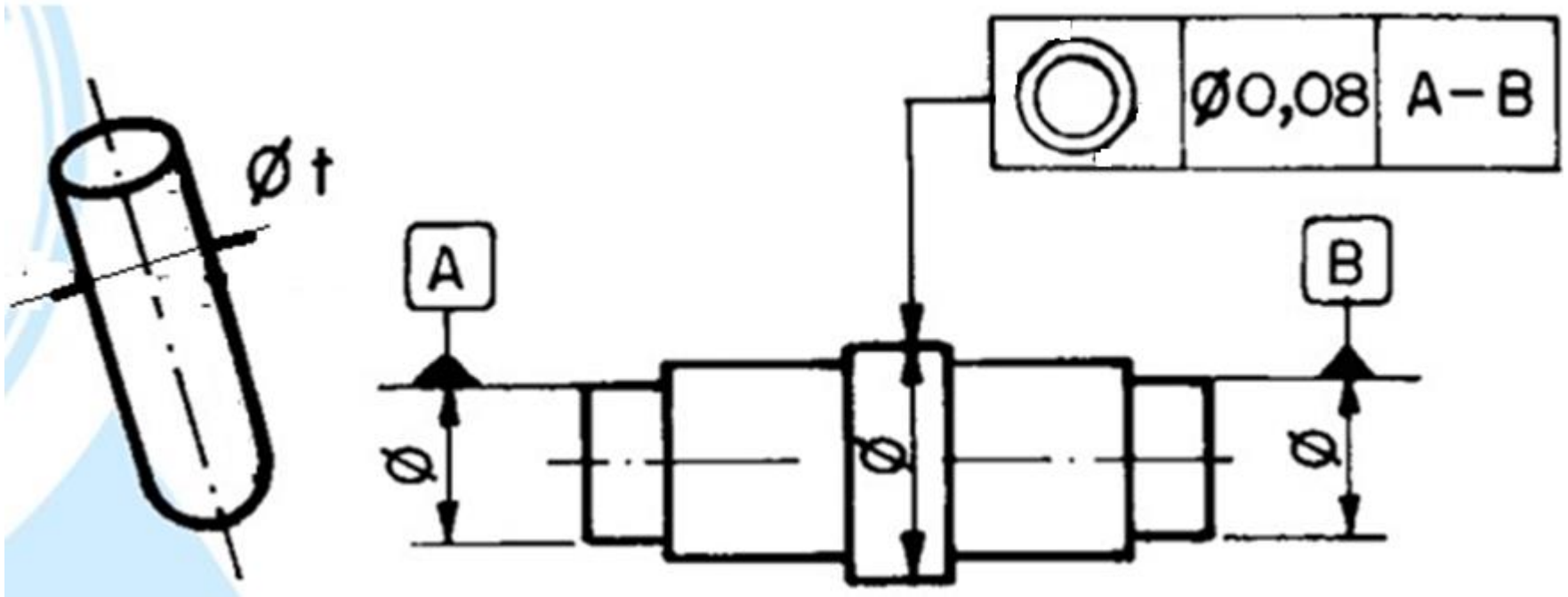
Localização de um Ponto (S)



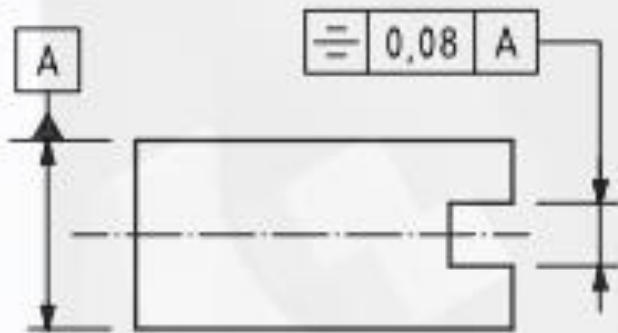
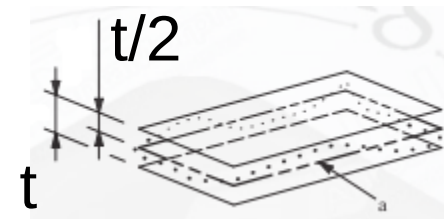
- **Concentricidade:** o centro do círculo em qualquer secção deve estar contido no interior de um círculo ideal, cujo centro coincide com a posição teórica do centro da secção, sendo que o diâmetro do círculo ideal corresponde ao valor numérico da tolerância (t)



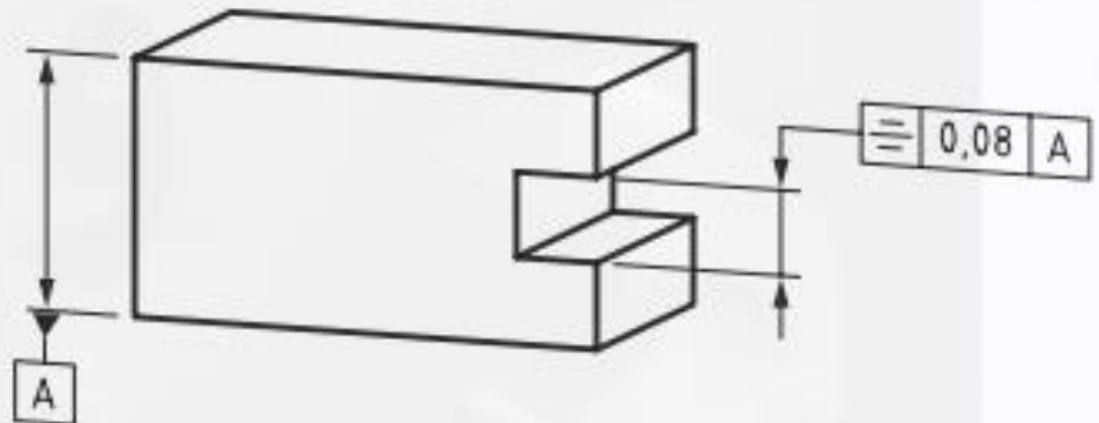
- **Coaxialidade:** a linha de centro do sólido real deve estar contida no interior de um cilindro, cuja linha de centro coincide com a posição ideal da linha de centro do sólido de referência, sendo que o diâmetro do cilindro corresponde ao valor numérico da tolerância (t)



- **Simetria:** o plano médio de simetria real deve estar contido no espaço limitado por dois planos ideais, paralelos e equidistantes do plano médio de simetria ideal, sendo que a distância entre os planos ideais corresponde ao valor numérico da tolerância (t)



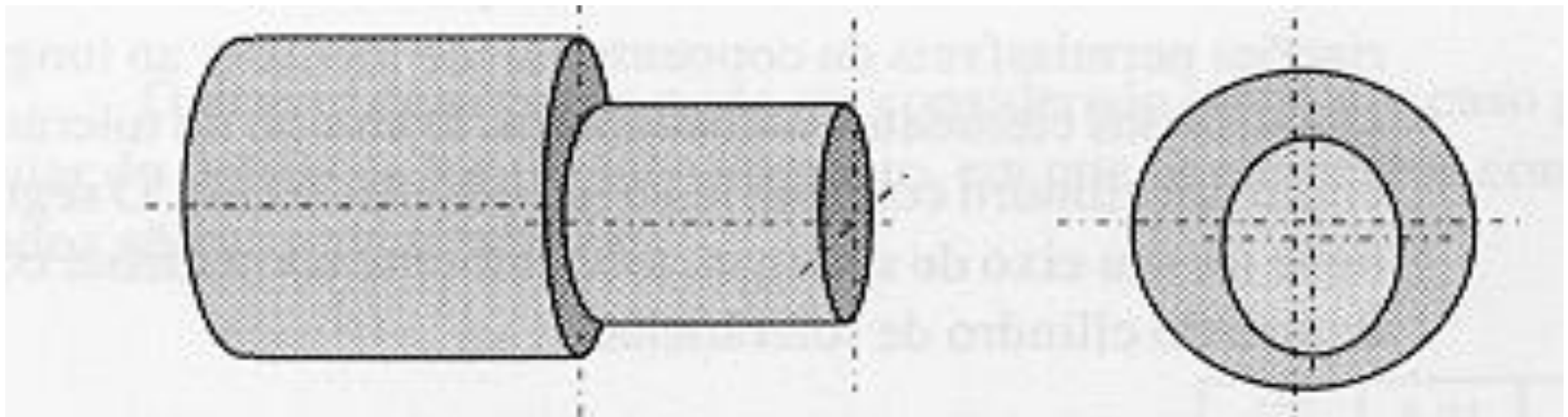
a) 2D



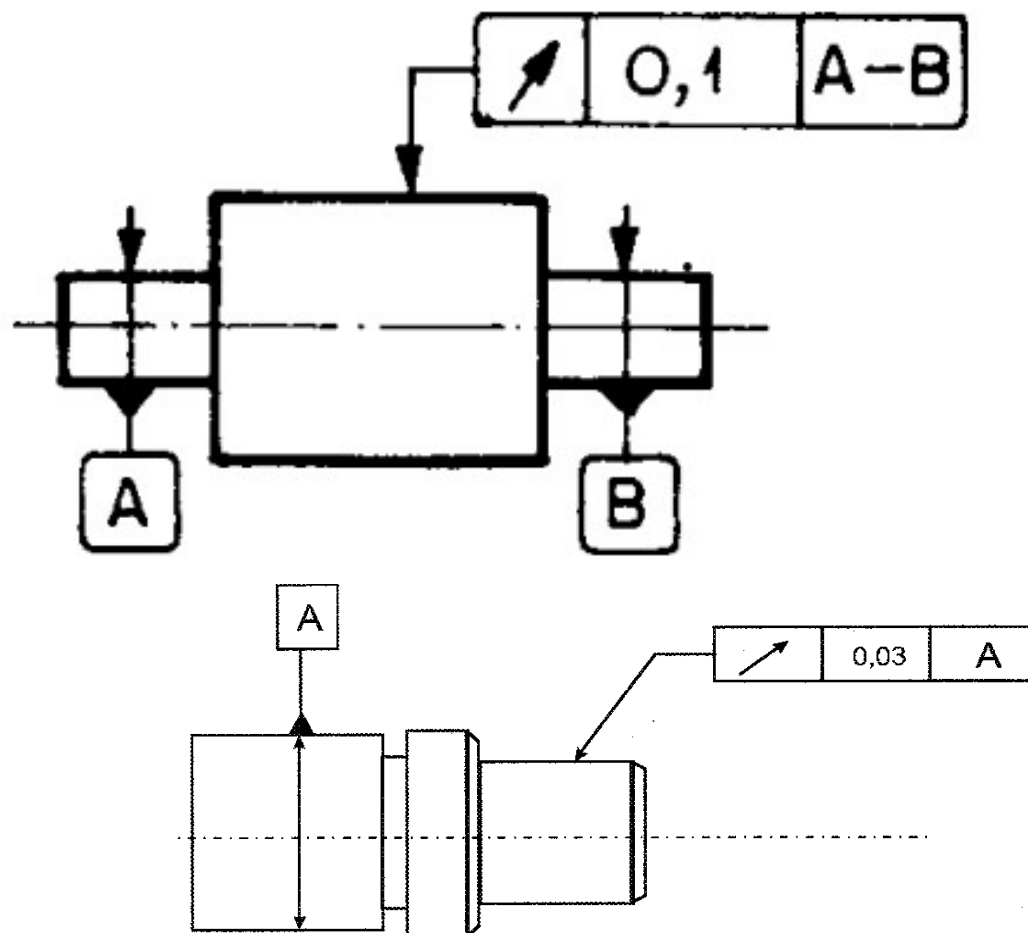
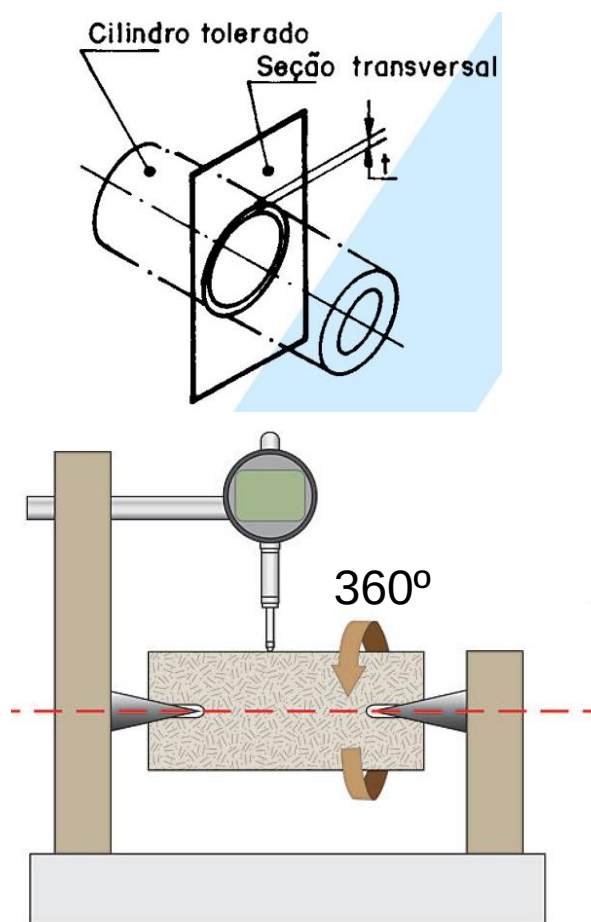
b) 3D

4. Definição das Tolerâncias Compostas de Forma e Posição

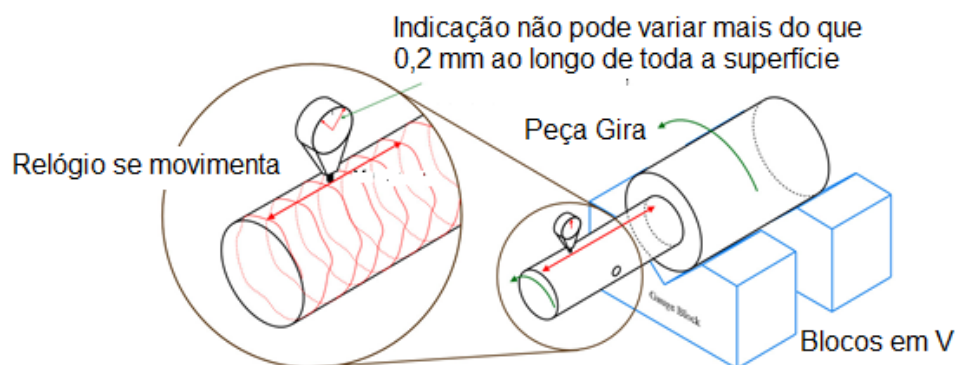
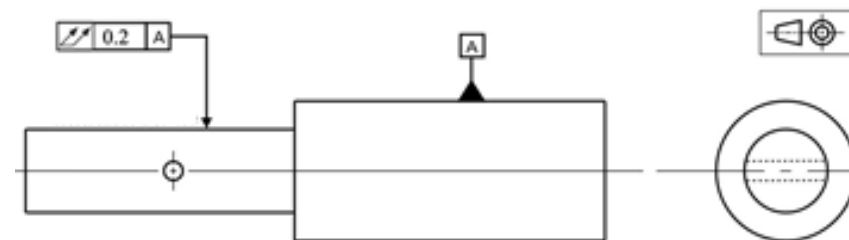
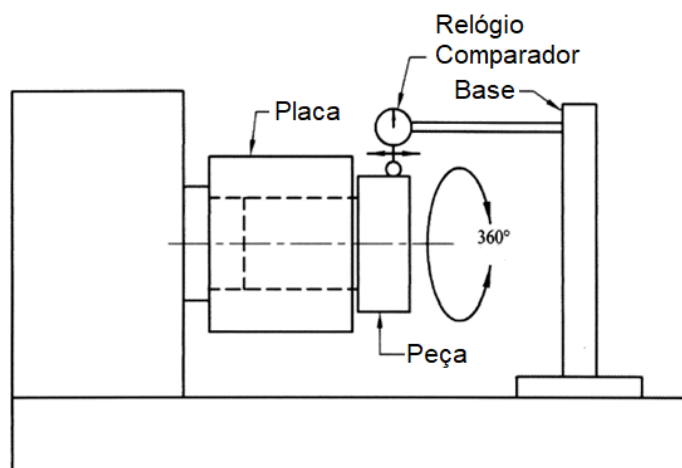
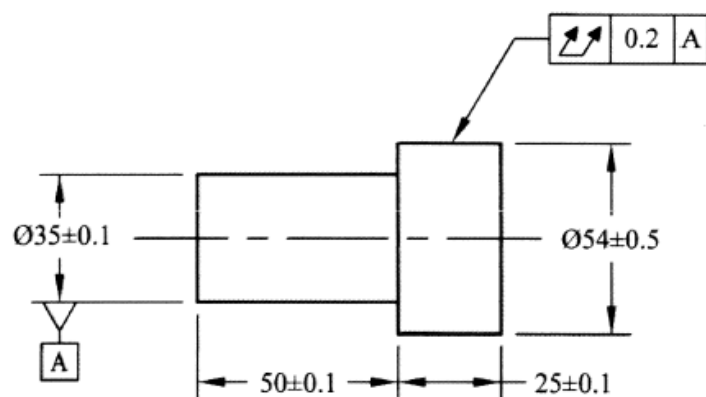
- Os sólidos reais normalmente apresentam tanto desvios de forma quanto desvios de posição.
- Quando não for possível separar os desvios de forma dos desvios de posição durante a fase de inspeção, utilizam-se, na especificação da peça, os desvios compostos de forma e posição.



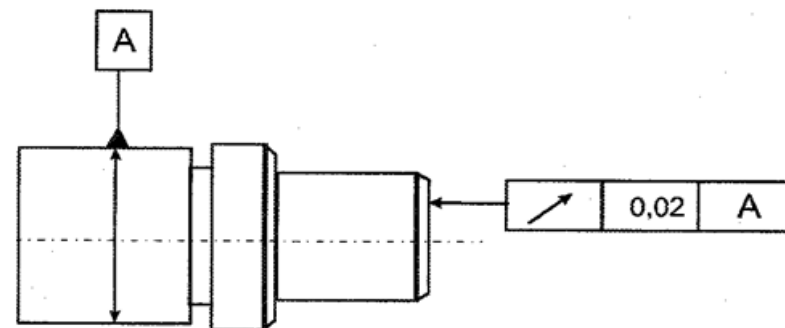
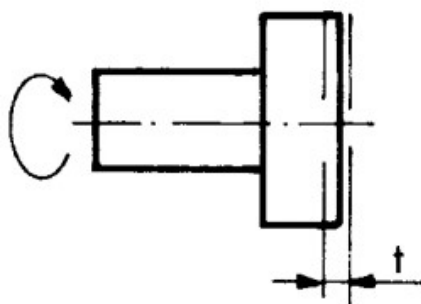
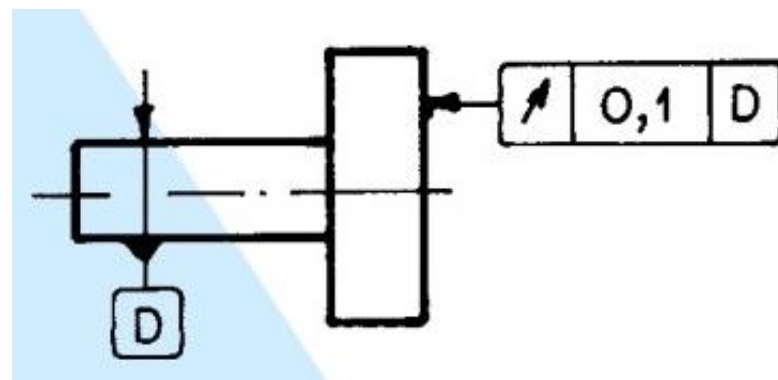
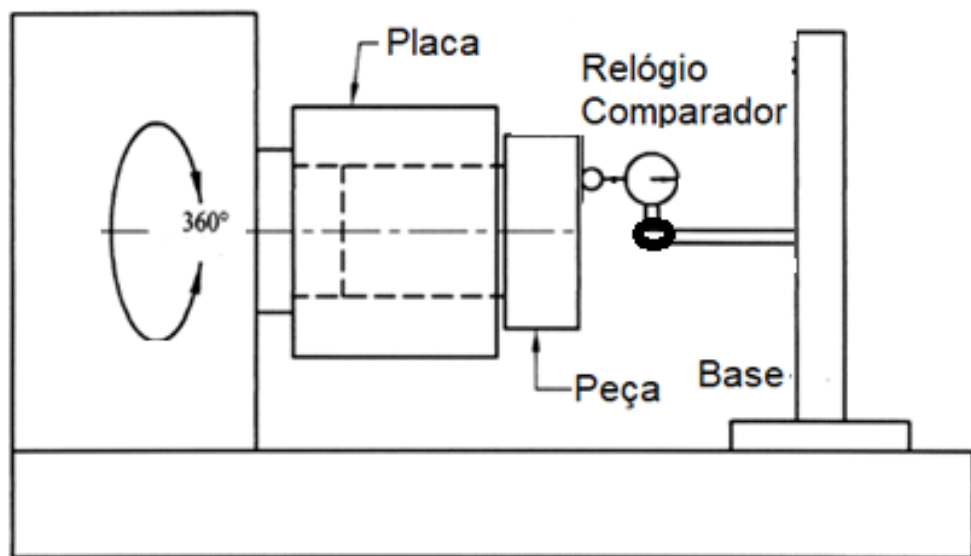
- **Batida circular radial:** é a variação máxima (t) da posição do elemento real, medida no sentido radial numa seção perpendicular ao eixo de rotação, considerando uma rotação completa com o elemento girando em torno de um eixo de referência, sem se deslocar axialmente.



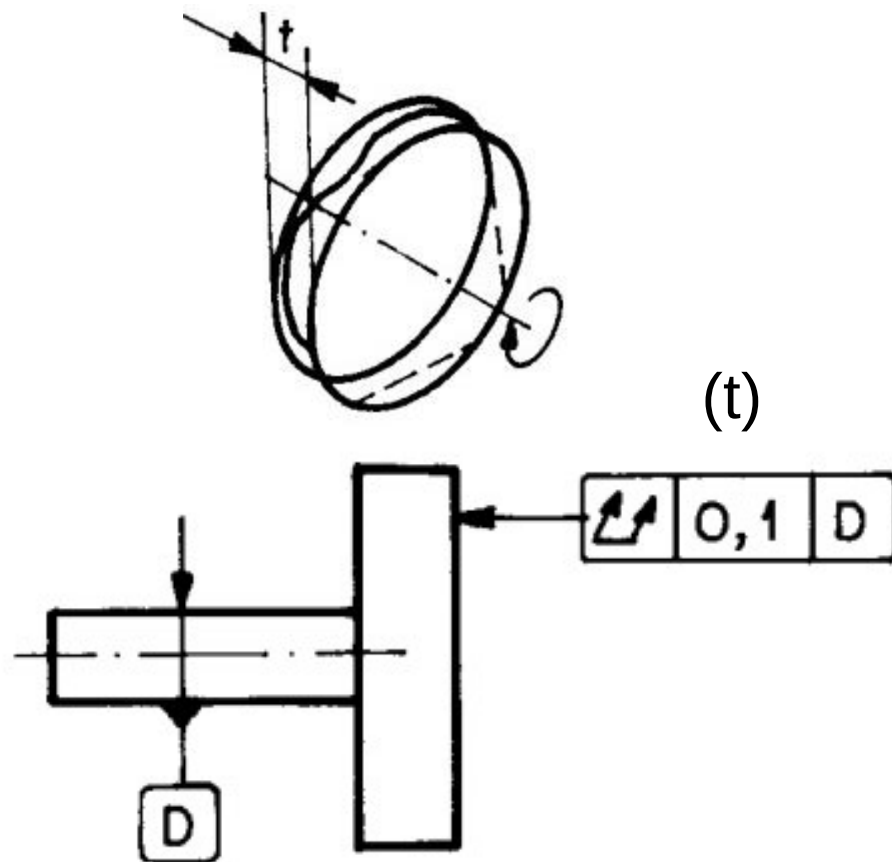
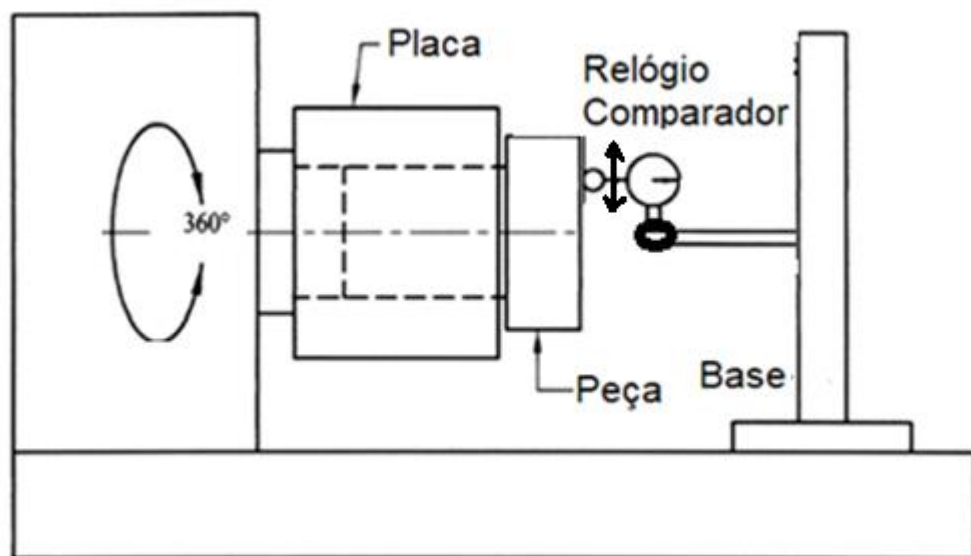
- **Batida circular radial total:** é a variação máxima (t) da posição do elemento real, medida no sentido radial em seções perpendiculares ao eixo de rotação, com o elemento girando em torno de um eixo de referência e havendo deslocamento axial ao longo da superfície tolerada.



- **Batida circular axial:** é a variação máxima da posição do elemento real (t), medida no sentido axial ao eixo de rotação, considerando uma rotação completa, e o elemento girando em torno de um eixo de referência, sem se deslocar axialmente.



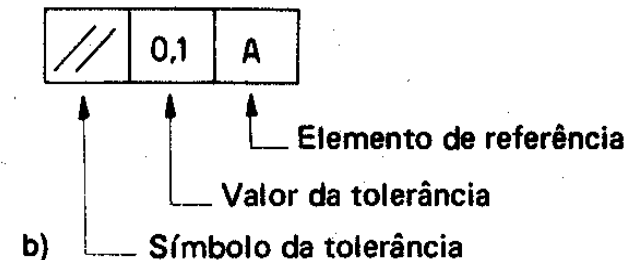
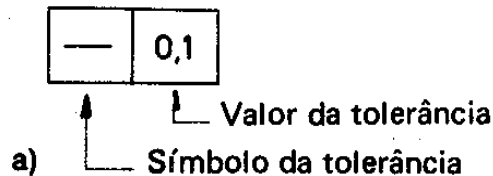
- **Batida circular axial total:** é a variação máxima da posição do elemento real considerando toda a superfície, medida no sentido axial ao eixo de rotação, considerando rotações completas do elemento girando em torno de um eixo de referência, sem se deslocar axialmente.



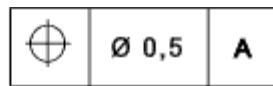
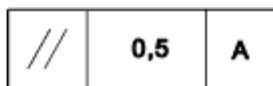
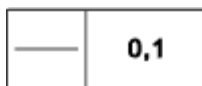
5. Indicação de Tolerância Geométrica em Desenho

- A indicação de tolerâncias geométricas é feita com o auxílio de dois ou mais retângulos, onde se indicam o tipo de desvio a ser verificado e o valor numérico da tolerância.

Para a indicação dos desvios de posição, é necessária a definição de elementos de referência.



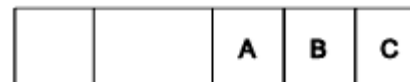
As tolerâncias de forma, de orientação e de posição são indicadas em quadros adequados e na ordem indicada em a) e em b). Note-se que em a) falta o elemento de referência pois se trata de indicação de tolerância de forma (retilidade) que, como tal, não é associada a nenhum outro elemento.



Referência comum formada por dois elementos de referência

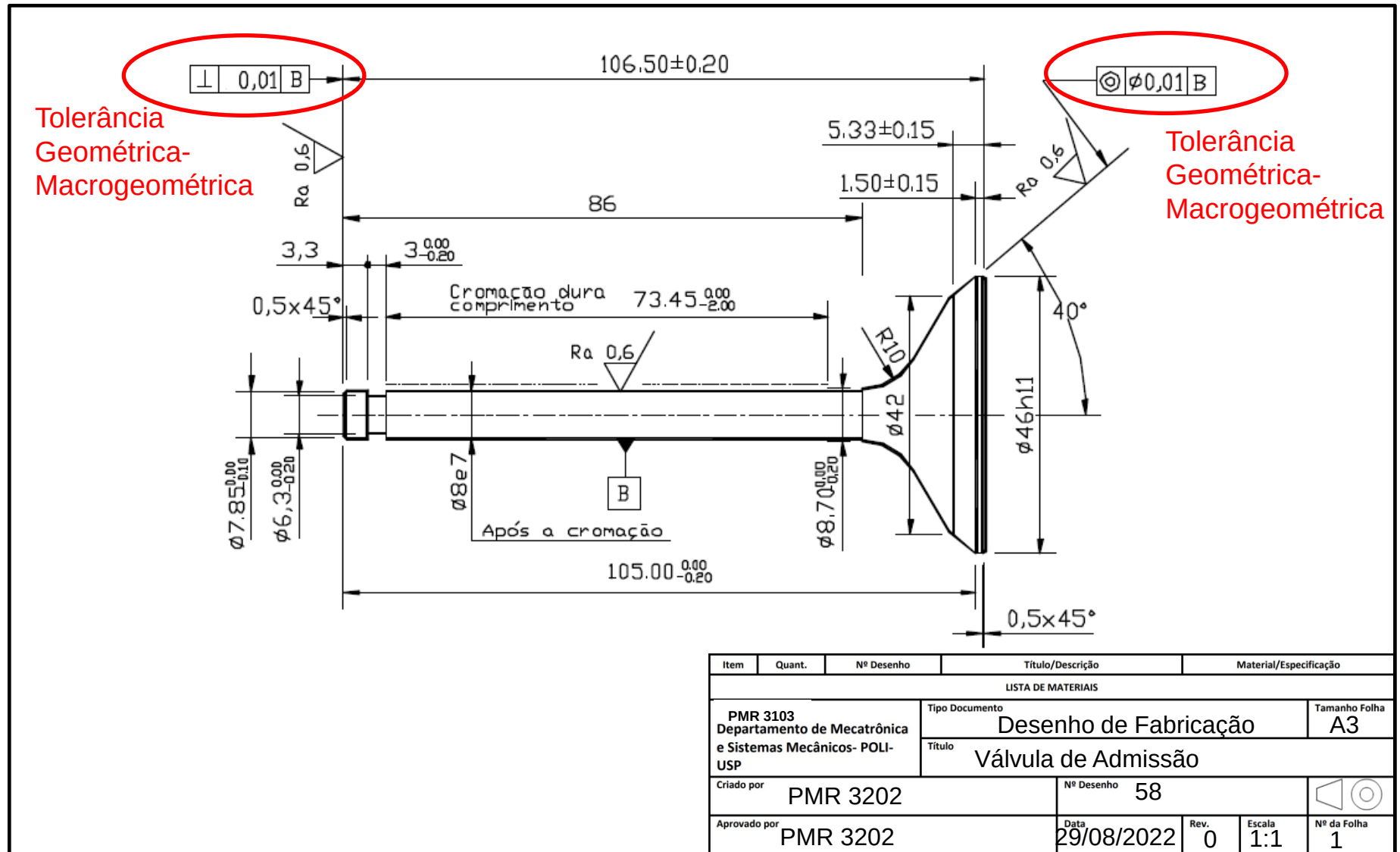


Múltiplos elementos de referência sendo a ordem não importante



Múltiplos elementos de referência sendo a ordem importante

Desenho de fabricação de válvula de motor de combustão interna

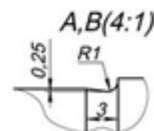
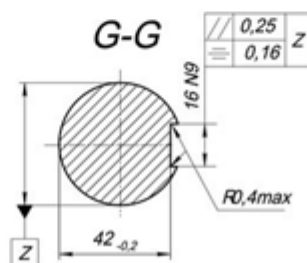
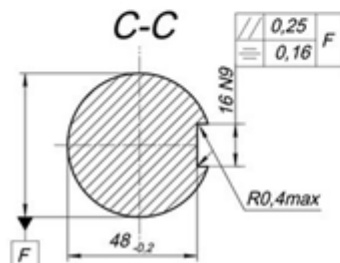
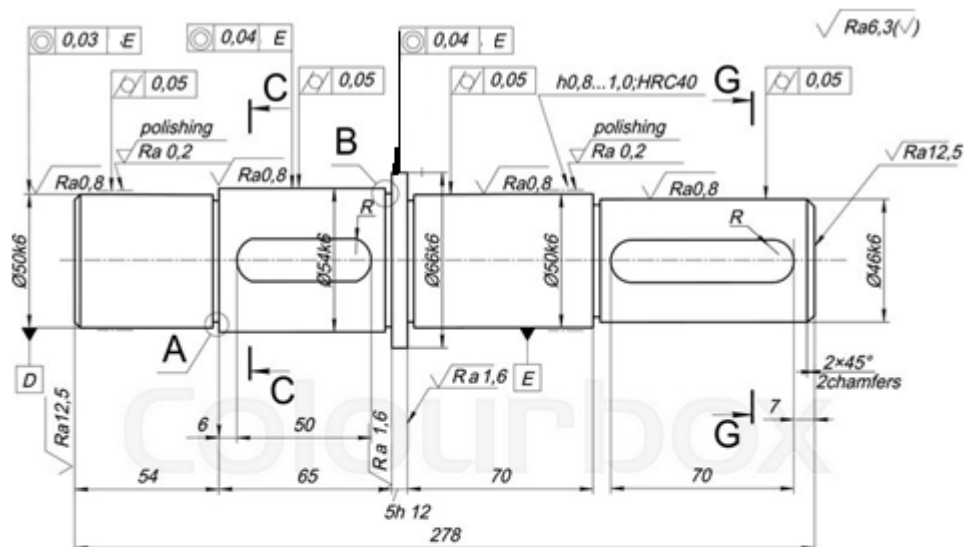


Technical drawing of a conical adapter shaft (Eixo Adaptador Cônicos). The drawing includes the following dimensions and specifications:

- Overall length: 316
- Section 1 (Left): Diameter $\varnothing 75(n5)$, length 63, keyway $\varnothing 72(n12)$, fillet R2.
- Section 2: Diameter $\varnothing 88,5$, length 117,5, keyway $\varnothing 90(m7)$, fillet R2, taper 15° .
- Section 3: Diameter $\varnothing 90$, length 40, taper $1:10$.
- Section 4: Diameter $\varnothing 90$, length 37,5, hole $\varnothing 10$, fillet R2, chamfer $2 \times 45^\circ$.
- Section 5: Diameter $\varnothing 50$, length 190, hole $\varnothing 10$, fillet R2, chamfer 45° , end chamfer 60° .
- End: Diameter $\varnothing 60$, thread M60.
- Surface finish: $\sqrt{\text{ }} +0,014 \text{ C}$ (circled in red).
- Surface finish: $\sqrt{\text{ }} +0,040 \text{ C}$ (circled in red).
- Surface finish: $\sqrt{\text{ }} +0,014 \text{ C}$ (circled in red).

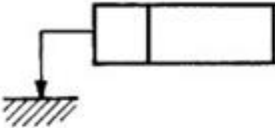
Item	Quant.	Nº Desenho	Título/Descrição	Material/Especificação
LISTA DE MATERIAIS				
PMR 3103 Departamento de Mecatrônica e Sistemas Mecânicos- POLI- USP		Tipo Documento Desenho de Fabricação		Tamanho Folha A3
Título Eixo Adaptador Cônicos				
Criado por PMR 3202		Nº Desenho 3		
Aprovado por PMR 3202		Data 29/08/2022	Rev. 0	Escala 1:1
		Nº da Folha 1		

Desenho de Fabricação de Eixo Principal



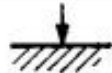
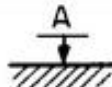
Item	Quant.	Nº Desenho	Título/Descrição		Material/Especiação	
LISTA DE MATERIAIS						
PMR 3103 Departamento de Mecatrônica e Sistemas Mecânicos- POLI-USP			Tipo Documento			Tamanho Folha
			Desenho de Fabricação			A3
			Título			
			Eixo Principal			
Criado por			PMR 3202		Nº Desenho	3
						 
Aprovado por			PMR 3202		Data	22/08/2022
					Rev.	0
					Escala	1:1
					Nº da Folha	1

Simbologia Tolerância Geométrica

Característica tolerada			Símbolo
Para elementos isolados 	Forma	Retitude	
		Planeza	
		Circularidade	
		Cilindricidade	
Para elementos isolados ou associados		Perfil de linha qualquer	
		Perfil de superfície qualquer	
Para elementos associados	Orientação	Paralelismo	
		Perpendicularidade	
		Inclinação	
	Posição	Posição	
		Concentricidade	
		Coaxialidade (para Linhas Médias)	
		Simetria	
	Batimento	Circular	
		Total	

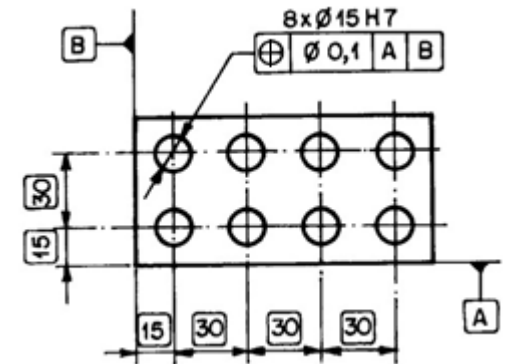
Simbologia Norma NBR 6409

Tabela 2 - Símbolos para indicação de referência e modificadores

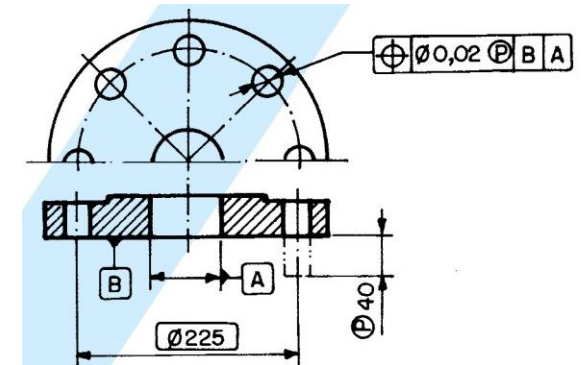
Indicação em desenho		Símbolo	Item Norma	
Elemento tolerado	Direto		5.3.2	
	Indireto		5.4.1	
Elemento de referência	Direto	 	5.5.5	
	Indireto	 	5.5.3	
Dimensão teoricamente correta (cota básica)		Modificadores		5.7.1
Tolerância projetada				5.7.2
Condição de máximo material				5.7.3

Modificadores de Tolerância (NBR 6409)

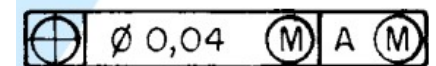
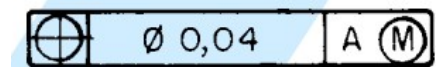
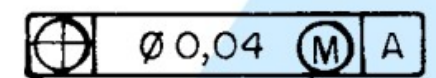
Cota básica (Dimensão Teoricamente Correta) - Se uma tolerância de posição, forma ou inclinação for especificada para um elemento, as cotas básicas que definem a posição, a forma ou a inclinação não devem ser toleradas. As cotas básicas são emolduradas. As cotas ou dimensões reais da peça estão sujeitas às tolerâncias de posição, forma ou inclinação especificadas no quadro de tolerâncias.



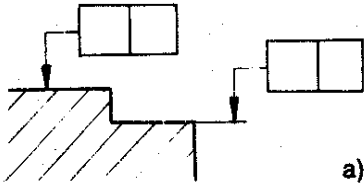
Campo de Tolerância Projetado - A tolerância de orientação e localização não deve ser aplicada ao próprio elemento, mas ao seu prolongamento. Tal campo, denominado campo de tolerância projetado, deve ser indicado pelo símbolo P



Condição de Máximo Material - A indicação da condição de máximo material é dada pelo símbolo M , colocado após: - o valor da tolerância; o valor da referência; o valor da tolerância e o valor da referência.



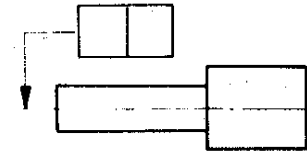
Indicação de Referência



a)

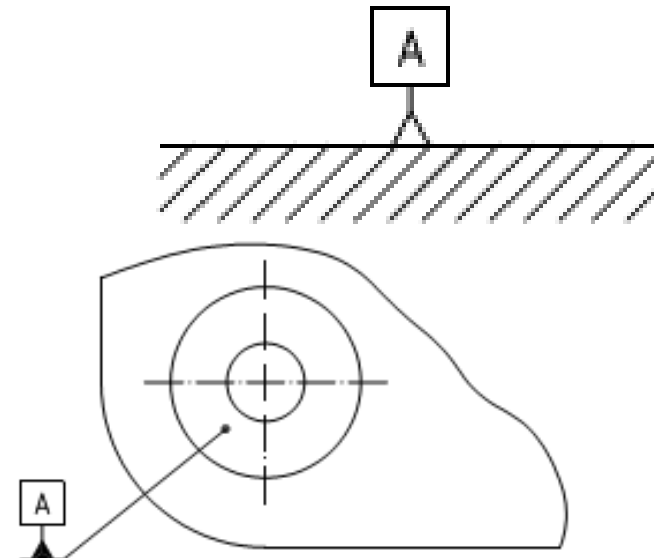
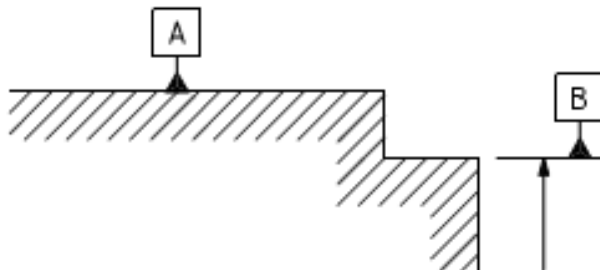
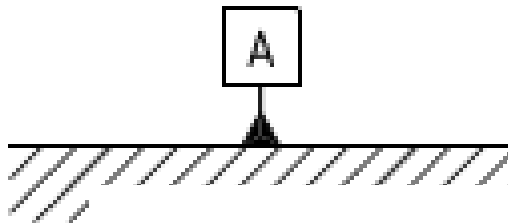
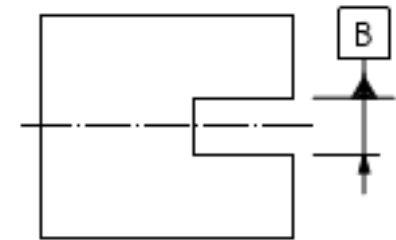
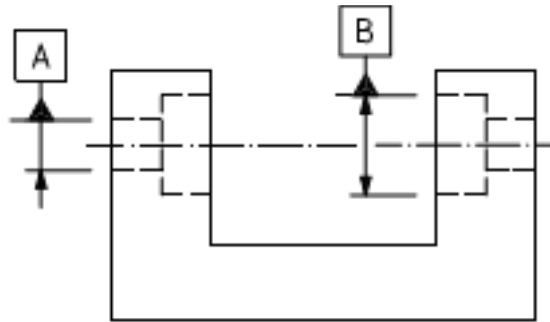
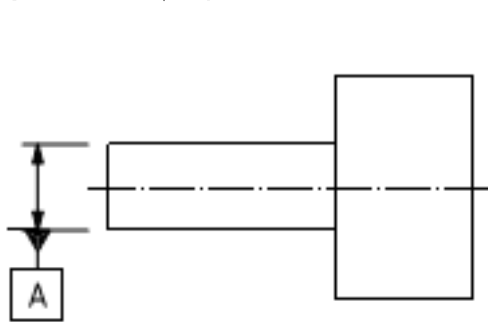


b)

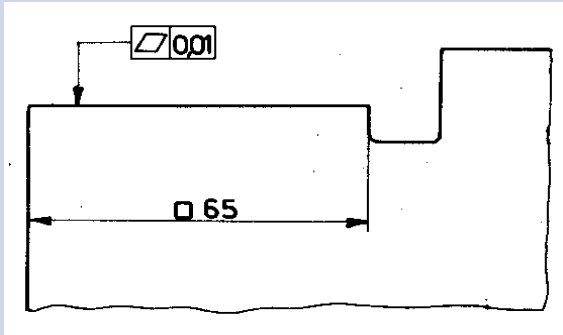
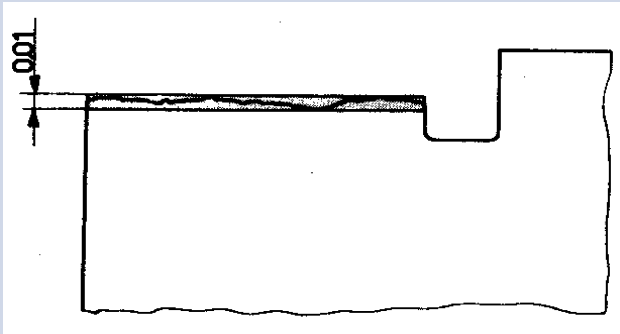
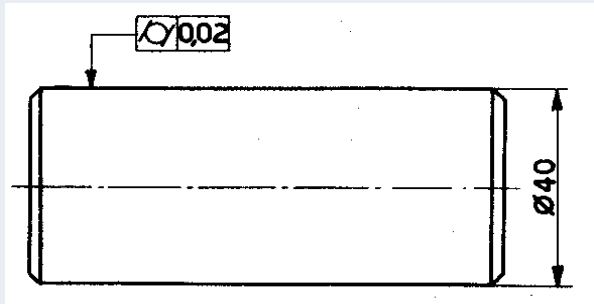
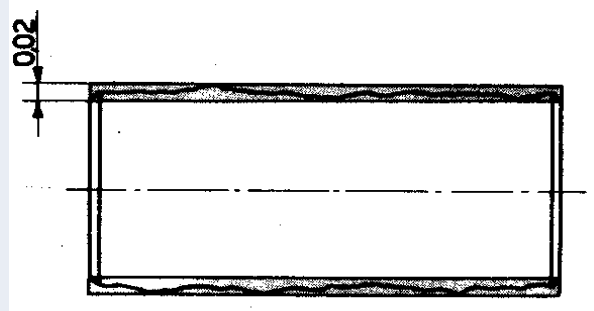


c)

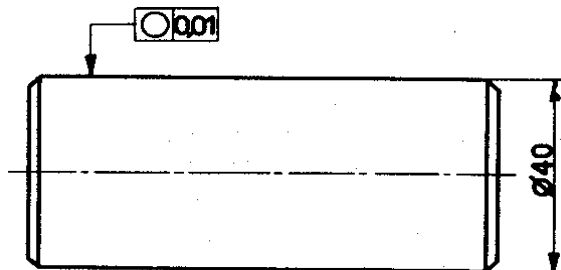
O quadradinho da tolerância é ligado ao elemento tolerado com uma flecha que termina: a) no contorno do elemento considerado; b) e c) na linha de referência, no prolongamento da linha de cota, ou no eixo quando a tolerância se aplica ao eixo ou ao plano médio da parte cotada.



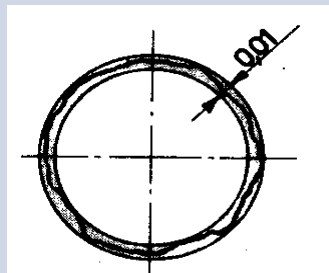
6. Exemplos de Indicação de Tolerâncias Geométricas

Indicação no Desenho	Representação Gráfica	Definição e Interpretação
		Planeza a superfície real deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes no máximo, por exemplo, 0,01 mm entre si.
		Cilindricidade a superfície do cilindro real deve estar compreendida entre dois cilindros cujos raios diferem, por exemplo, de 0,02 mm.

Indicação no Desenho



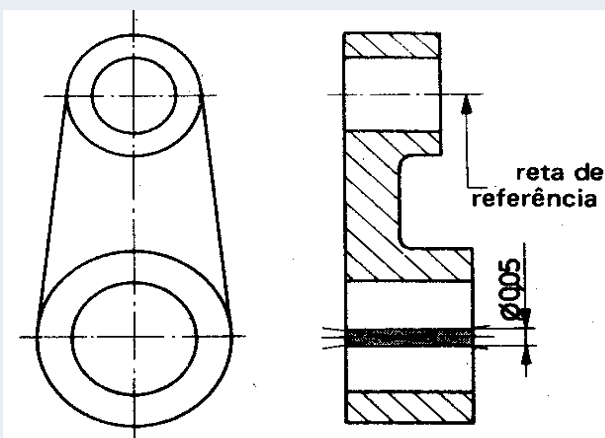
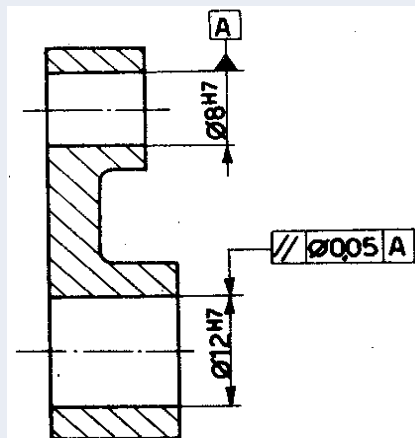
Representação Gráfica



Definição e Interpretação

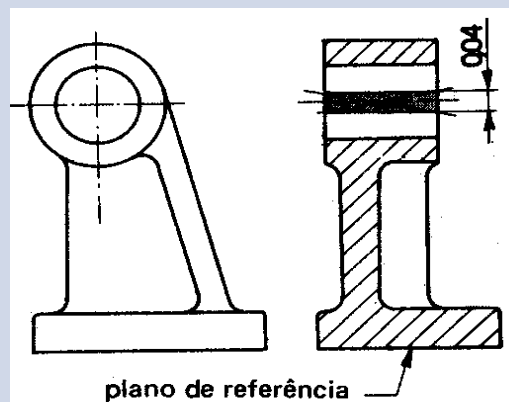
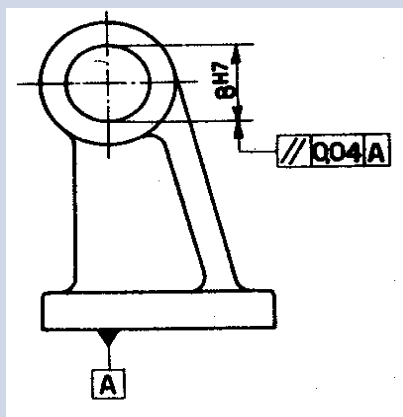
Circularidade

toda secção reta deve ter o contorno situado no interior de uma coroa circular de largura, por exemplo, 0,01 mm.



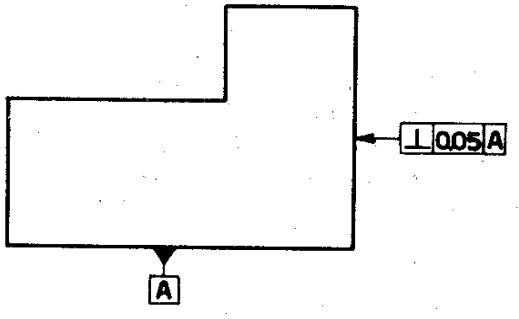
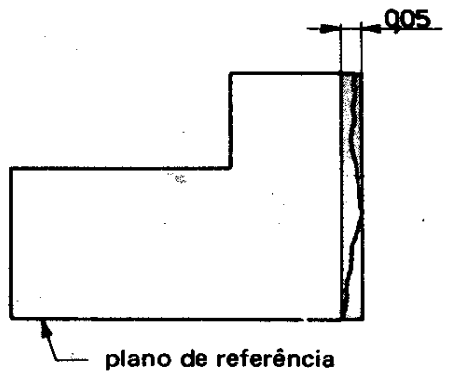
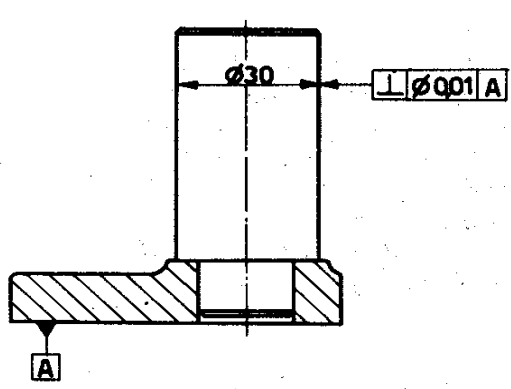
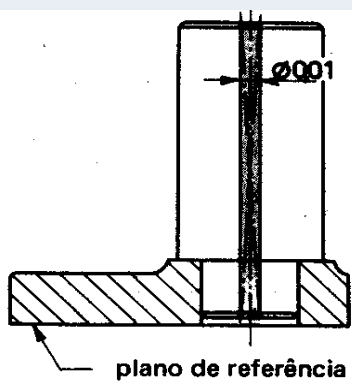
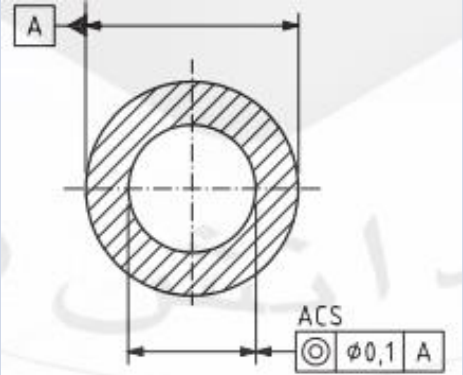
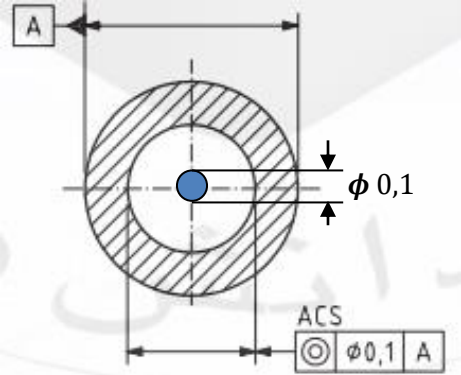
Paralelismo

o eixo do furo inferior deve estar compreendido em uma zona cilíndrica tendo diâmetro, por exemplo, de 0,05 mm paralela ao eixo superior A (que constitui a reta de referência).

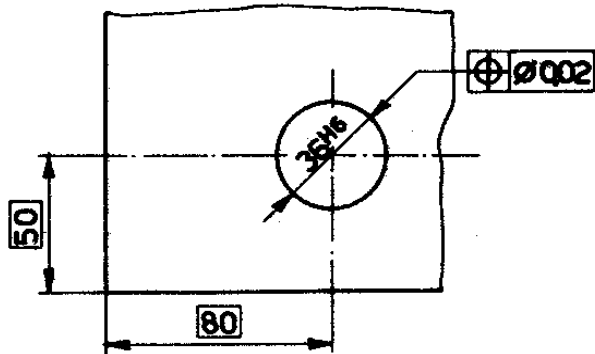


Paralelismo

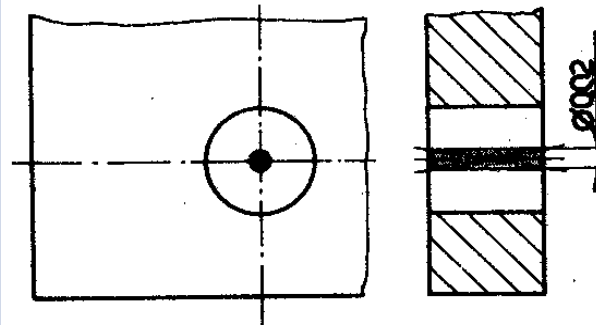
o eixo do furo deve estar compreendido entre dois planos distantes, por exemplo, 0,04 mm e paralelos ao plano de referência A.

Indicação no Desenho	Representação Gráfica	Definição e Interpretação
		Perpendicularidade a superfície vertical deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes entre si, por exemplo, de 0,05 mm e perpendiculares à superfície horizontal de referência A.
		Perpendicularidade o eixo do cilindro em cujo diâmetro é indicada a tolerância de orientação deve estar compreendido em uma zona cilíndrica de diâmetro, por exemplo, 0,01 mm perpendicular à superfície de referência A.
		Concentricidade o centro do círculo em qualquer secção deve estar estar contido no interior de um círculo ideal, cujo centro coincide com a posição teórica do centro da secção, sendo que o diâmetro do círculo ideal, por exemplo, é igual a 0,1 mm

Indicação no Desenho



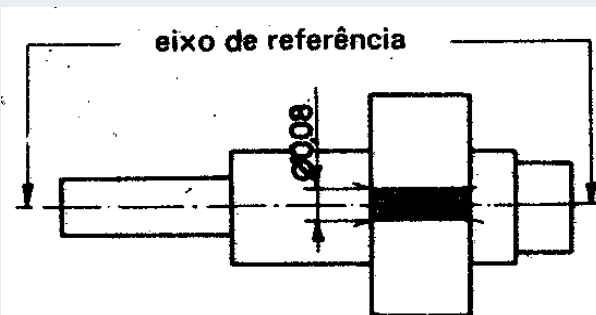
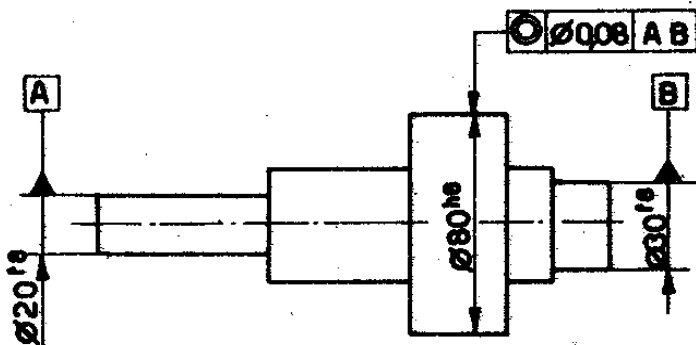
Representação Gráfica



Definição e Interpretação

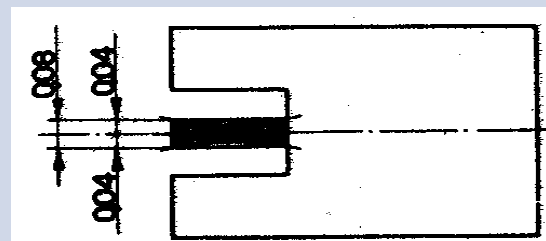
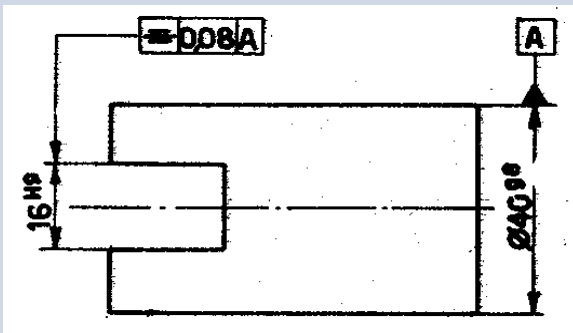
Localização de um Eixo

o eixo do furo deve estar compreendido em uma zona cilíndrica tendo diâmetro por exemplo 0,02 mm, cujo eixo coincide com a posição teórica individualizada pelas cotas enquadradas.



Coaxialidade

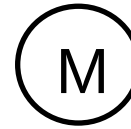
o eixo do cilindro cujo diâmetro leva a indicação da tolerância deve estar compreendido em uma zona cilíndrica tendo diâmetro de, por exemplo, 0,08 mm e coaxial ao eixo de referência AB.



Simetria

o plano de simetria da canaleta deve estar compreendido entre dois planos paralelos distantes de, por exemplo, 0,08 mm e dispostos simetricamente em relação ao plano médio do elemento de referência A.

Condição de Máximo Material- Modificador



Norma NBR 14646

A montagem de peças depende da relação entre a dimensão real e os erros geométricos reais dos elementos a serem montados, tais como os furos de montagem em dois flanges e os respectivos parafusos de fixação.

A folga mínima de montagem ocorre quando cada um dos elementos está na dimensão de máximo material (isto é, maior parafuso menor furo) e quando seus erros geométricos (isto é, os erros de posição) estão no seu máximo.

A folga de montagem cresce para o máximo quando as dimensões reais dos elementos de montagem estão mais afastados das suas dimensões de máximo material (isto é, menor eixo e maior furo) e quando os erros geométricos (isto é, erros de posição) são zero.

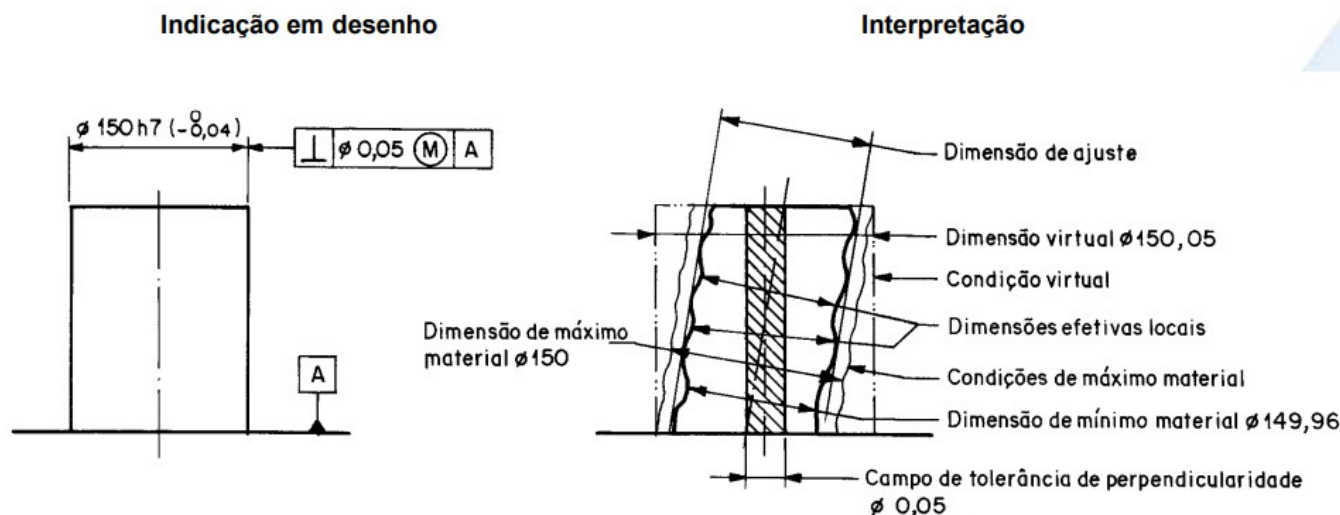
Assim tem-se que, se as dimensões reais de um elemento de montagem não atingirem a dimensão de máximo material, a tolerância geométrica indicada pode ser aumentada sem comprometer a montagem da outra parte.

Isto é chamado:

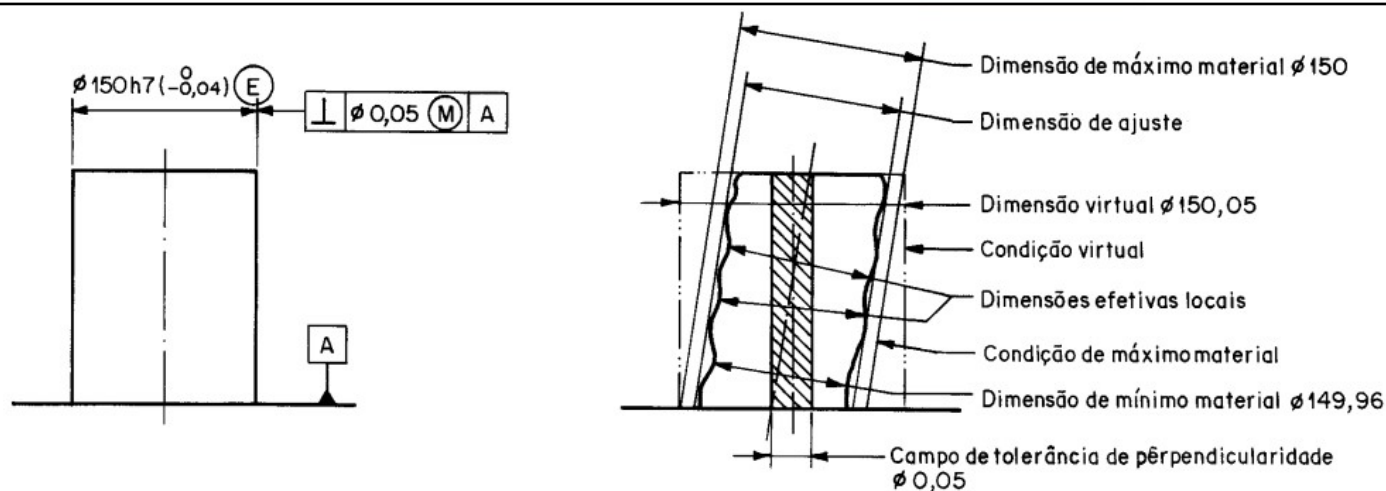
"Princípio de Máximo Material" e é indicado em desenho pelo símbolo



O princípio de máximo material é mais comumente usado em tolerâncias de posição

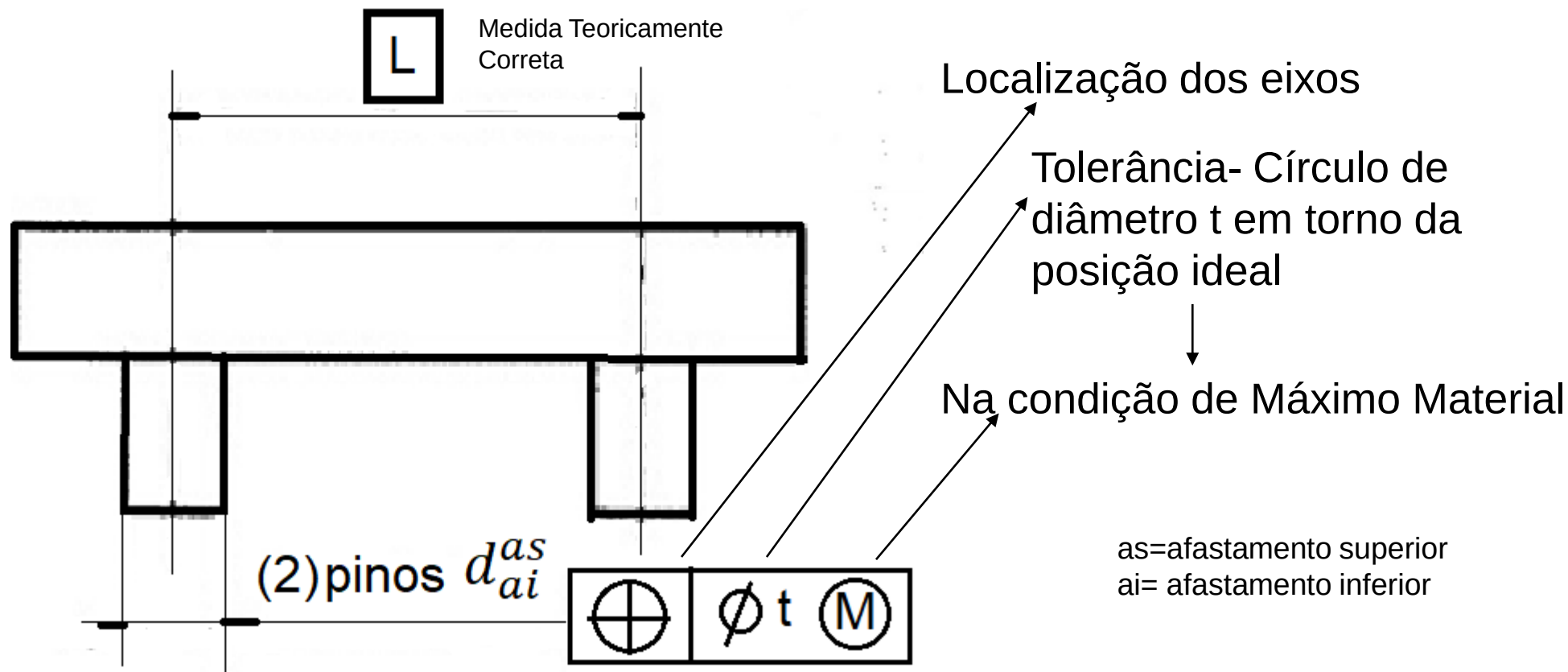


a) Dimensionamento conforme o princípio da independência



b) Dimensionamento conforme o princípio da envoltória

Exemplo de Uso do Modificador M - Condição de Máximo Material

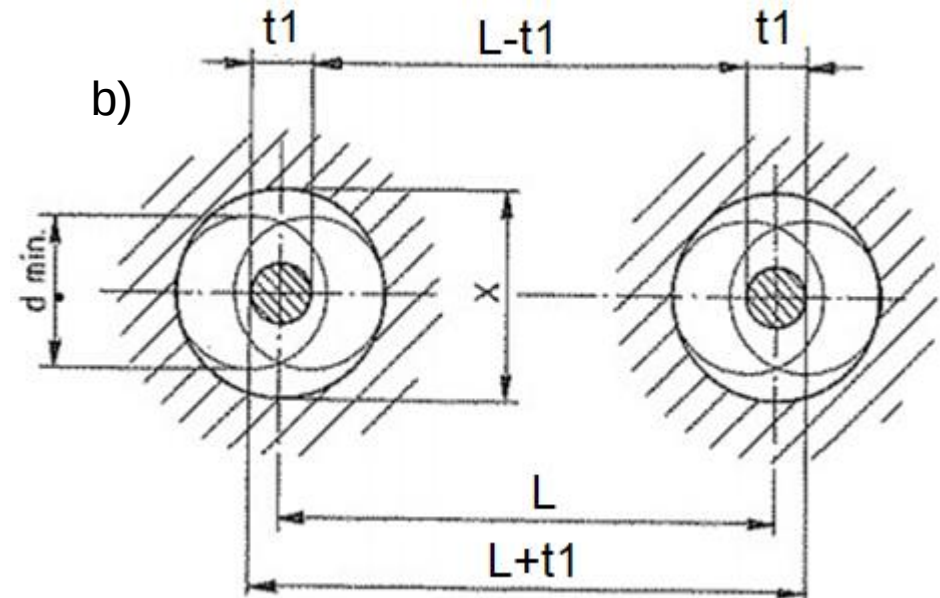
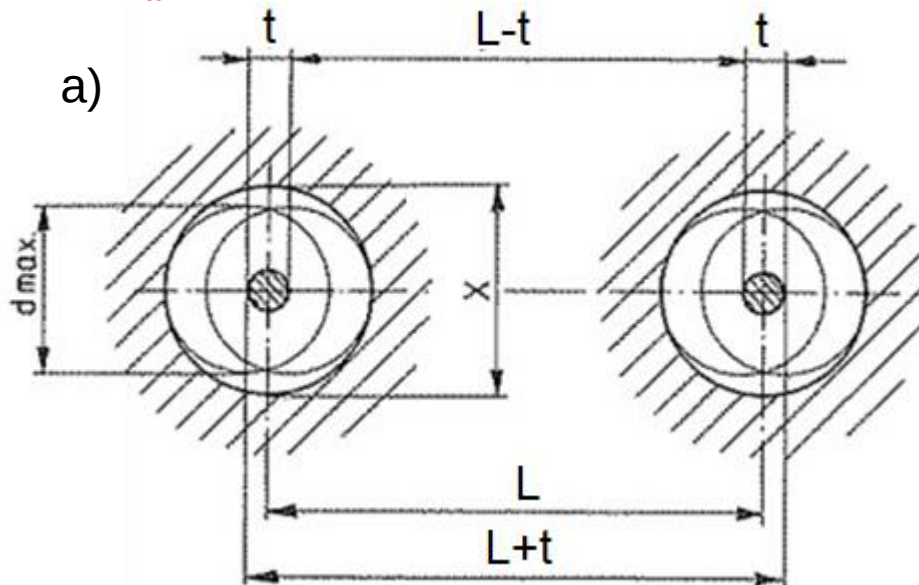
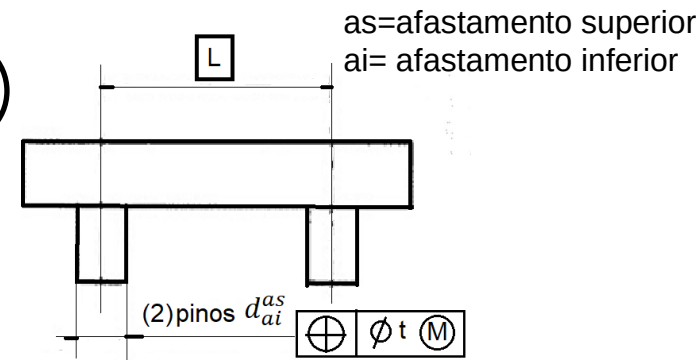


A condição de máximo material M adicionada à tolerância de posicionamento indica que a tolerância é determinada supondo o eixo (ou o furo) na condição de máximo material (maior eixo ou menor furo). **Isso autoriza a aceitação, na inspeção, de tolerância de localização $t_1 > t$ quando o eixo (ou o furo) se afasta desta condição (eixo menor ou furo maior)**

Análise da Condição de Máximo Material (M)

A condição de máximo material diz respeito ao pino na sua maior dimensão ($d_{\max} = d + as$). Neste caso o diâmetro do furo para um calibrador de inspeção teria diâmetro

$X = d_{\max} + t$, conforme Figura a).



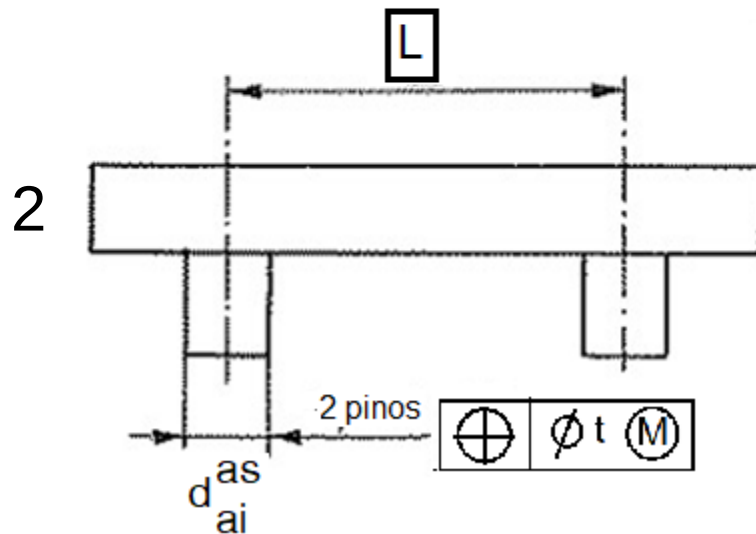
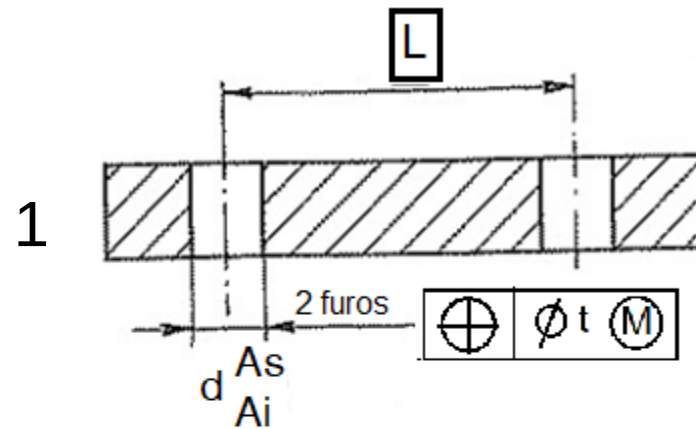
Diminuindo o diâmetro do pino, conforme Figura b), pode ser aceitável admitir um aumento da tolerância de localização sem que isto prejudique a intercambiabilidade. Se o pino estiver na dimensão mínima, a zona de tolerância de localização pode superar aquela indicada no desenho.

Aplicando a condição de Máximo Material a tolerância de localização t , indicada, pode ser aumentada para até t_1 sendo $t_1 = X - d_{\min} = d_{\max} + t - d_{\min} = d_{\max} - d_{\min} + t = t_d + t$ assim

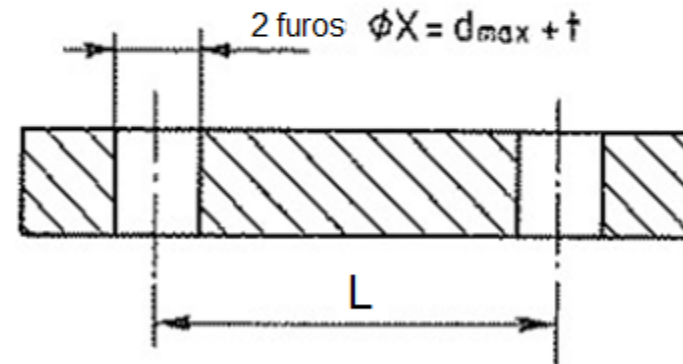
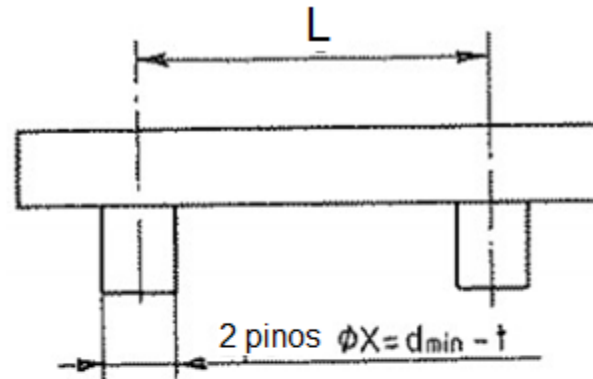
$t_1 = t_d + t$ onde t_d (tolerância do pino) = $as - ai$

Inspeção em Condição de Máximo Material (M) - Exemplo

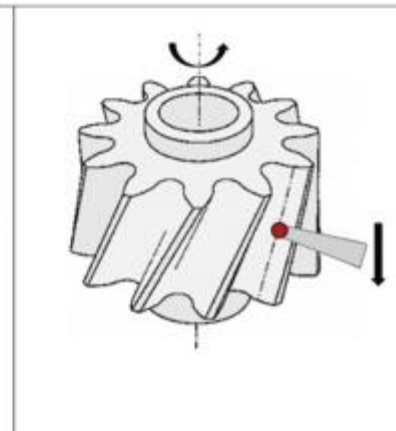
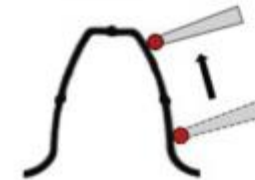
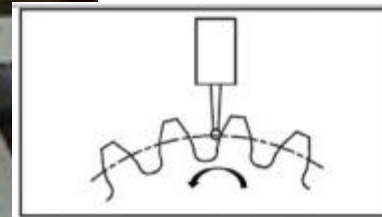
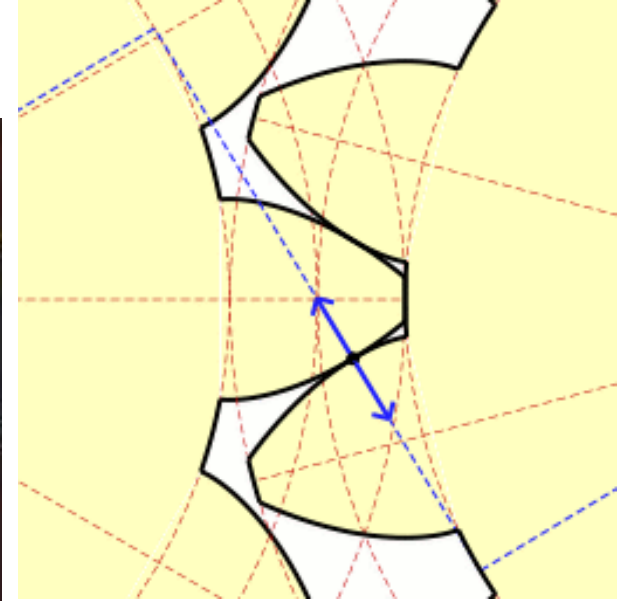
Peça



Calibrador de Inspeção



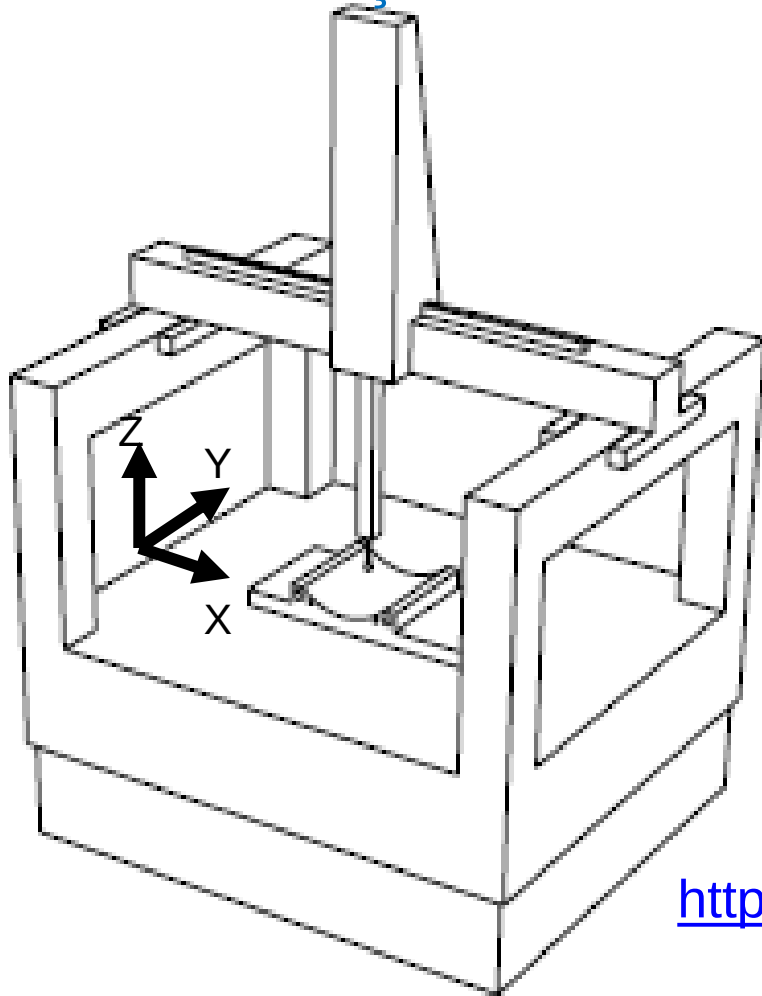
7. Medição das Tolerâncias Geométricas



7. Medição das Tolerâncias Geométricas

CMM- Coordinate Measuring Machine-

Máquina de Medição de Coordenadas



<https://www.youtube.com/watch?v=syul-crYLvk>

8. Recomendações para Utilização de Tolerâncias Geométricas

- As tolerâncias geométricas não devem ser indicadas a menos que sejam indispensáveis para assegurar o funcionamento do conjunto e a intercambiabilidade da peça;
- As tolerâncias geométricas não devem ser indicadas caso os desvios de geometria já estejam limitados pelas tolerâncias dimensionais, isto é, as superfícies reais podem escapar da forma geométrica especificada, desde que obedecidas as tolerâncias dimensionais;
- O fato de se indicar uma tolerância de forma ou posição não implica, necessariamente, no emprego de um processo particular de fabricação, medição ou verificação.

9. Referências Bibliográficas

Manfé G. et alii, “Desenho Técnico Mecânico”
Editora Hemus, 3 vols, 1993.

Senai, “Telecurso 2000 – Mecânica”, Editora
Globo, 1996

Norma ABNT NBR 6409-1997 Norma ISO 1101 2017

Norma EN ISO 2692 2014

ASME Y14.5 2018

Virtual (Internet)

<http://www.bibvirt.futuro.usp.br/index.html>

Desenho Técnico Mecânico

Metrologia

<http://www.infometro.hpg.ig.com.br>