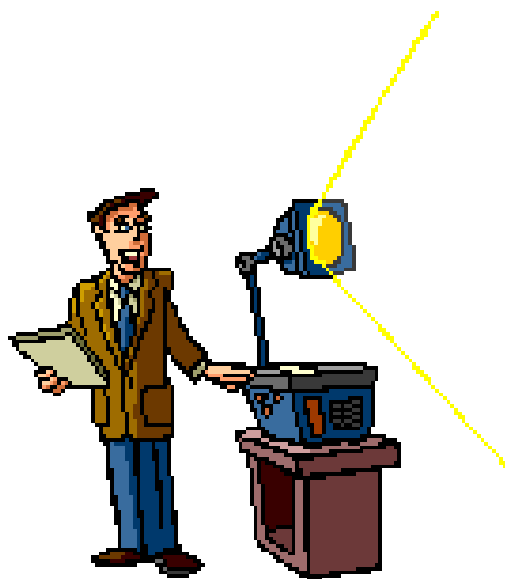


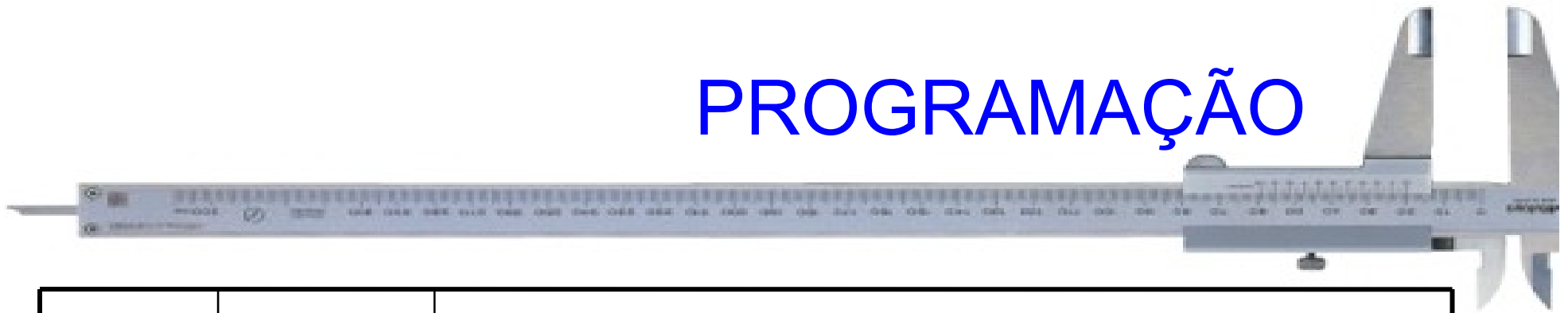
TÉCNICO EM ELETROMECAÂNICA



METROLOGIA

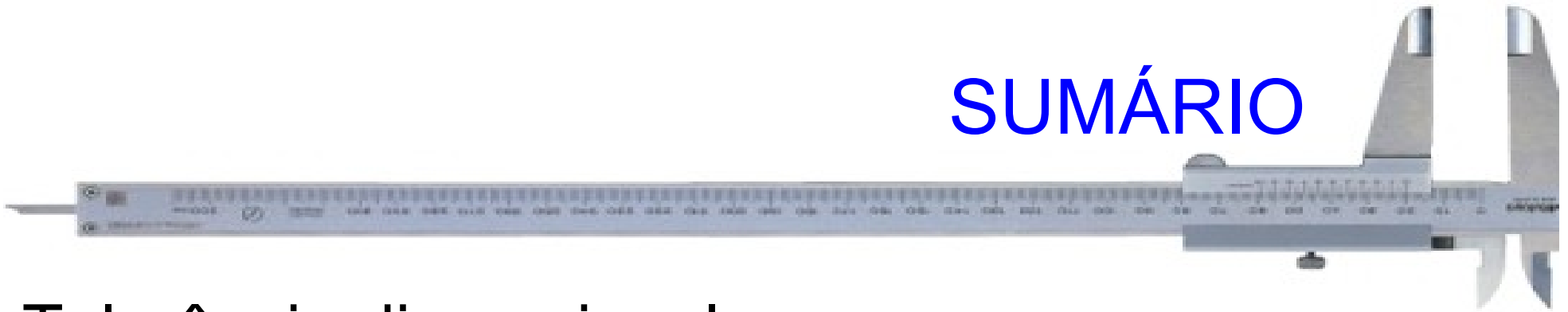
Prof. Fábio Evangelista Santana, MSc. Eng.
fsantana@cefetsc.edu.br

PROGRAMAÇÃO



Aula	Data	Conteúdo
1	05/11	Correção da avaliação, blocos-padrão, calibradores, verificadores, goniômetro
2	07/11	Relógio comparador, rugosidade
3	14/11	Tolerância (dimensional e geométrica)
4	28/11	GT: blocos-padrão, relógio comparador, rugosímetro
5	05/12	Trabalhos práticos
6	12/12	Apresentação dos trabalhos práticos
7	19/12	Recuperação

SUMÁRIO



- Tolerância dimensional

- *Conceitos*
- *Sistema de tolerâncias e ajustes*
- *Afastamentos de referência*
- *Exemplos de cálculo*
- *Sistema prático*
- *Exercícios*

- Tolerância geométrica

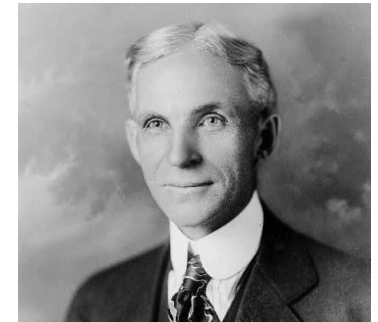
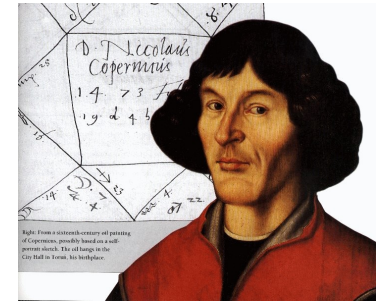
- *Forma*
- *Posição*
- *Orientação*
- *Batimento*
- *Exercício resolvido*

TOLERÂNCIA DIMENSIONAL



Introdução

- 1ª Revolução científica (1540):
 - *Kepler, Galileo, Torricelli, Pascal, Descartes, Newton, Copérnico*
 - *Metodologia científica para estudar os fenômenos naturais*
- 1ª Revolução industrial (XVIII):
 - *Indústrias baseadas em novas ciências como a química e a eletricidade*
- 2ª Revolução industrial (XVIII e XIX):
 - *Morse, Edison, Pasteur, Bayer, Ford*
 - *Novo impacto da aplicação da ciência na indústria*
 - *Ex.: linha de montagem Ford*
 - *Em 1920: 2 milhões de veículos iguais num ano*
(A Embraco produz 25 milhões/ ano)
 - *conceito fundamental = intercambiabilidade: substituição de peças sem reparos e ajustes*

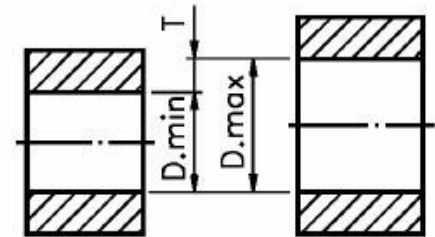


TOLERÂNCIA DIMENSIONAL



Conceito

- A prática tem demonstrado que as medidas das peças podem variar, dentro de certos limites, para mais ou para menos, sem que isso prejudique a qualidade
- Tolerância:
 - *Variação permissível da dimensão da peça, dada pela diferença entre dimensões máxima e mínima*
- Outros conceitos:
 - *Dimensão nominal (D): indicadas nos desenhos técnicos*
 - *Afastamento superior (As/ as): diferença entre a dimensão máxima e a nominal*
 - *Afastamento inferior (Ai/ ai): diferença entre a dimensão mínima e a nominal*
 - *Campo de tolerância (IT): valor entre o afastamento superior e o inferior*
 - *Dimensão efetiva: valor obtido medindo a peça*
 - *Dimensão máxima (D_{max}): valor máximo admissível para a dimensão efetiva*
 - *Dimensão mínima (D_{min}): valor mínimo admissível para a dimensão efetiva*
- Exemplo de aplicação: *F-extended*



TOLERÂNCIA DIMENSIONAL

Sistema de tolerâncias e ajustes

- Normalizado pela ABNT (NB-86)
- Temperatura de referência = 20° C
- Conjunto de princípios, regras e tabelas que possibilita a escolha racional de tolerâncias e ajustes de modo a tornar mais econômica a produção de peças mecânicas intercambiáveis
- Sistema de tolerâncias
 - *Qualidade de trabalho*: 18 “graus de tolerância” previstas pela norma
 - *IT = ISO Tolerance*

		Qualidade de Trabalho																	
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
Eixos		mecânica extra-precisa					mecânica corrente							mecânica grosseira					
Furos		mecânica extra-precisa					mecânica corrente							mecânica grosseira					

TOLERÂNCIA DIMENSIONAL



Sistema de tolerâncias e ajustes

- Sistema de tolerâncias (cont.)
- *Tolerâncias fundamentais: sistema estudado inicialmente para a produção de peças mecânicas com até 500 mm de diâmetro; depois foi ampliado para peças com até 3150 mm de diâmetro*

Tolerâncias fundamentais ISO até 500 mm														
Grupo de dimensões em mm (milímetros) – valores da tabela em µm (microns)														
qualidade	Até 1	> 1 ≤ 3	> 3 ≤ 6	> 6 ≤ 10	> 10 ≤ 18	> 18 ≤ 30	> 30 ≤ 50	> 50 ≤ 80	> 80 ≤ 120	> 120 ≤ 180	> 180 ≤ 250	> 250 ≤ 315	> 315 ≤ 400	> 400 ≤ 500
IT 01	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1,2	2	2,5	3	4
IT 0	0,5	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1	1,2	1,5	2	3	4	5	6
IT 1	0,8	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8
IT 2	1,2	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
IT 3	2	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
IT 4	3	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
IT 5	4	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
IT 6	6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
IT 7	10	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
IT 8	14	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
IT 9	25	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
IT 10	40	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
IT 11	60	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
IT 12	-	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
IT 13	-	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
IT 14	-	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
IT 15	-	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850	2100	2300	2500
IT 16	-	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900	3200	3600	4000

TOLERÂNCIA DIMENSIONAL



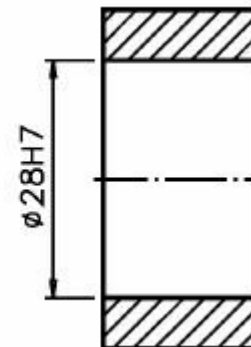
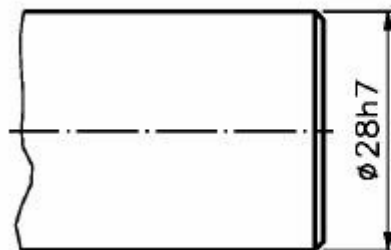
Sistema de tolerâncias e ajustes

- Sistema de tolerâncias (cont.)
- *Campos de tolerância*: posições em relação à linha zero designada por uma ou duas letras, as maiúsculas para furos e as minúsculas para eixos

A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	J	JS	K
M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC

a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	j	js	k
m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc

- *Representação simbólica*: letra do campo + número indicativo da qualidade
 - Ex.: H7, m6
 - Obs.: quando indicados simultaneamente, os símbolos do furo e do eixo correspondente, deve aparecer em primeiro lugar o símbolo do furo.
 - Ex.: H7/ m6



TOLERÂNCIA DIMENSIONAL

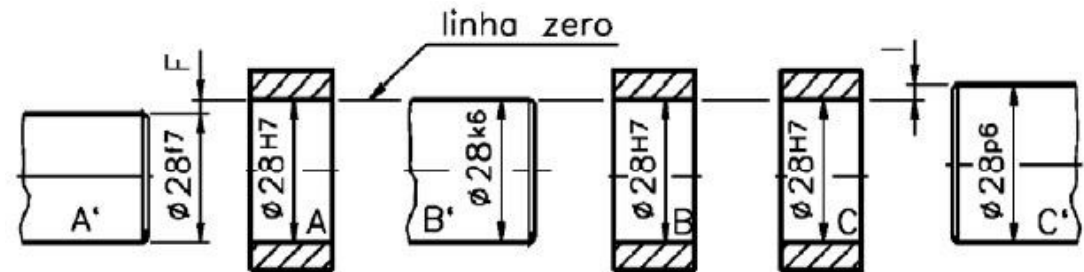


Sistema de tolerâncias e ajustes

- Sistema de ajustes

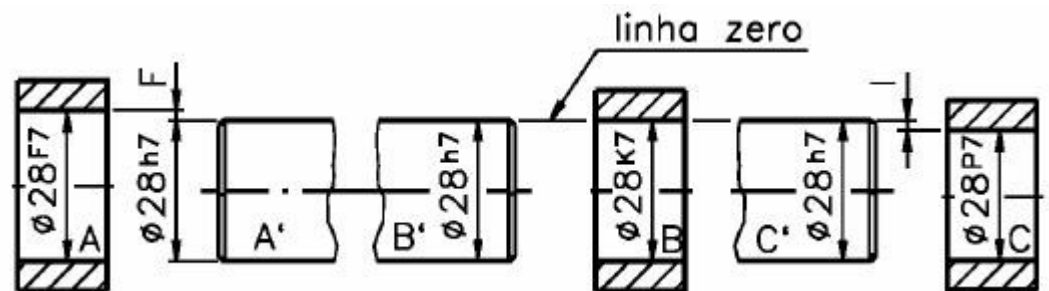
- i. *furo base (“furo padrão”)*

- a linha zero constitui o limite inferior da tolerância do furo
 - os furos H são os elementos básicos deste sistema



- v. *eixo base (“eixo padrão”)*

- a linha zero constitui o limite superior da tolerância do eixo
 - os eixos h são elementos básicos deste sistema



TOLERÂNCIA DIMENSIONAL



Afastamentos de referência

- Ver tabela de valores dos afastamentos de referência para eixos
 1. *Conhecido um dos afastamentos (o de referência), o outro é calculado pela adição ou subtração da tolerância:*

$$as - t = ai$$

$$ai + t = as$$

2. *Para os afastamentos inferiores (A_i) dos furos de A até H, $A_i = as$ do eixo da mesma letra com sinal +*
3. *Para os furos:*
 - *N9 e qualidade menos finas: $As = 0$*
 - *J a N até qualidade 8 (inclusive) e P a ZC até qualidade 7 (inclusive):*
 - *$As =$ afastamento inferior ai do eixo da mesma letra e da qualidade imediatamente mais fina, aumentada da diferença entre as tolerâncias das duas qualidades, com o sinal trocado*

TOLERÂNCIA DIMENSIONAL



Exemplos de cálculo

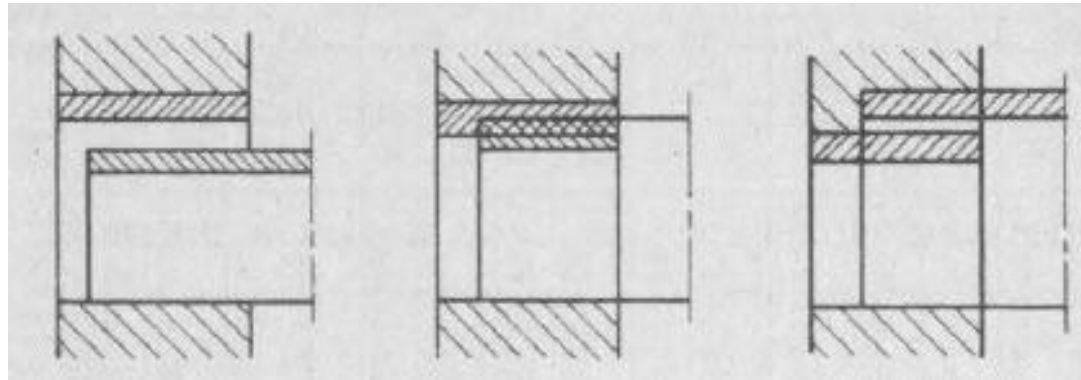
- Determinar os afastamentos do eixo g6, de $\varnothing 40$ mm.
 - *Afastamento superior do eixo: $a_s = -9 \mu\text{m}$ (Tabela 2a)*
 - *IT6 ($\varnothing 40$ mm) = $16 \mu\text{m}$ (Tabela 1)*
 - *Afastamento inferior do eixo: $a_i = -9 - 16 = -25 \mu\text{m}$*
- Determinar os afastamentos do furo G7, de $\varnothing 40$ mm.
 - *Afastamento superior do eixo g: $a_s = -9 \mu\text{m}$ (Tabela 2a)*
 - *Afastamento inferior do furo G: $A_i = +9 \mu\text{m}$ (sinal trocado)*
 - *IT7 ($\varnothing 40$ mm) = $25 \mu\text{m}$ (Tabela 1)*
 - *Afastamento superior do furo G7: $A_s = +9 + 25 = +34 \mu\text{m}$*
- Determinar os afastamentos do furo N6, de $\varnothing 40$ mm.
 - *Afastamento inferior do eixo n: $a_i = +17 \mu\text{m}$ (Tabela 2b)*
 - *IT6 ($\varnothing 40$ mm) = $16 \mu\text{m}$ IT5 ($\varnothing 40$ mm) = $11 \mu\text{m}$ (Tabela 1)*
 - *Afastamento superior do furo N6: $A_s = -17 + (16 - 11) = -12 \mu\text{m}$ (regra para furos)*
 - *Afastamento inferior do furo N6: $A_i = -12 - 16 = -28 \mu\text{m}$*

TOLERÂNCIA DIMENSIONAL



Sistema prático

- Na prática são usados três classes de acoplamentos:
 - *Com folga*
 - *Incerto*
 - *Com interferência*



folga

incerto

interferência

EXEMPLOS:

1 - Estudar os ajustes: F7/h6 e H7/h6 p/Ø 55 mm.

Eixo h6:

Qualidade de trabalho: 6 - preciso
Posição da tolerância: h
Dimensão nominal: 55,000 mm
Afastamento superior: +0,000 mm
Afastamento inferior: -0,019 mm
Campo de tolerância: $0,000 - (-0,019) = 0,019$ mm
Dimensão máxima: $55,000 + 0,000 = 55,000$ mm
Dimensão mínima: $55,000 - 0,019 = 54,981$ mm

Indicação: Ø 55 h6 ou Ø 55 $\begin{smallmatrix} +0,000 \\ -0,019 \end{smallmatrix}$

Furo F7:

Qualidade de trabalho: 7 - preciso
Posição da tolerância: F
Dimensão nominal: 55,000 mm
Afastamento superior: +0,060 mm
Afastamento inferior: +0,030 mm
Campo de tolerância: $0,060 - 0,030 = 0,030$ mm
Dimensão máxima: $55,000 + 0,060 = 55,060$ mm
Dimensão mínima: $55,000 + 0,030 = 55,030$ mm

Indicação: Ø 55 F7 ou Ø 55 $\begin{smallmatrix} +0,060 \\ +0,030 \end{smallmatrix}$

Ajuste	Livre normal
F7/h6:	Folga máxima: $55,060 - 54,981 = 0,079$ mm
	Folga mínima: $55,030 - 55,000 = 0,030$ mm

2 - Estudar os ajustes: H7/j6 e H7/r6 para Ø 55 mm.

Furo H7:

Qualidade de trabalho: 7 - preciso
Posição da tolerância: H
Dimensão nominal: 55,000 mm
Afastamento superior: +0,030 mm
Afastamento inferior: -0,000 mm
Campo de tolerância: $0,030 - 0,000 = 0,030$ mm
Dimensão máxima: $55,000 + 0,030 = 55,030$ mm
Dimensão mínima: $55,000 - 0,000 = 55,000$ mm

Indicação: Ø 55 H7 ou Ø 55 $\begin{smallmatrix} +0,030 \\ -0,000 \end{smallmatrix}$

Eixo j6:

Qualidade de trabalho: 6 - preciso
Posição da tolerância: j
Dimensão nominal: 55,000 mm
Afastamento superior: +0,012 mm
Afastamento inferior: -0,007 mm
Campo de tolerância: $0,012 - (-0,007) = 0,019$ mm
Dimensão máxima: $55,000 + 0,012 = 55,012$ mm
Dimensão mínima: $55,000 - 0,007 = 54,993$ mm

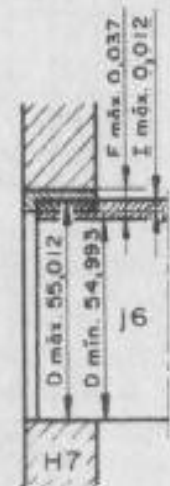
Indicação: Ø 55 j6 ou Ø 55 $\begin{smallmatrix} +0,012 \\ -0,007 \end{smallmatrix}$

Ajuste H7/j6:

Aderente

Folga máxima:
 $55,030 - 54,993 = 0,037$ mm

Interferência máxima:
 $55,012 - 55,000 = 0,012$ mm



... e o ajuste H7/ h6???

... e o ajuste H7/ r6???

TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA



Tolerância geométrica: forma, orientação e posição

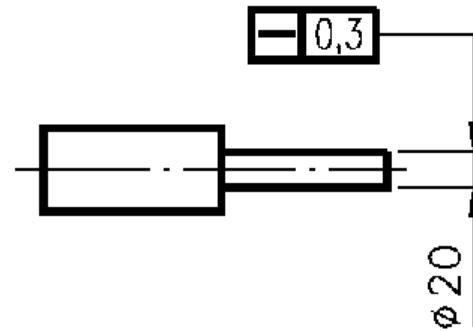
Características afetadas pelas tolerâncias		
FORMA para elementos isolados	Retilidade	—
	Planeza	▱
	Circularidade	○
	Cilindricidade	⊘
	Forma de uma linha qualquer	⌒
	Forma de uma superfície qualquer	Ⓓ
ORIENTAÇÃO para elementos associados	Paralelismo	//
	Perpendicularidade	⊥
	Inclinação	∕
POSIÇÃO para elementos associados	Posição de um elemento	⊕
	Concentricidade	⊙
	Simetria	≡
Batimento		↗

TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA



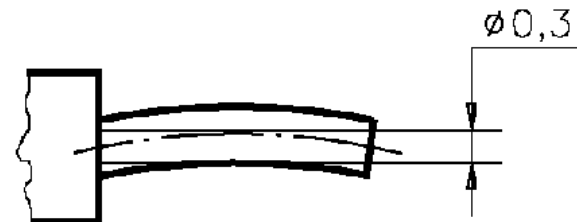
Tolerância de forma: Retilidade

- Especificação do desenho

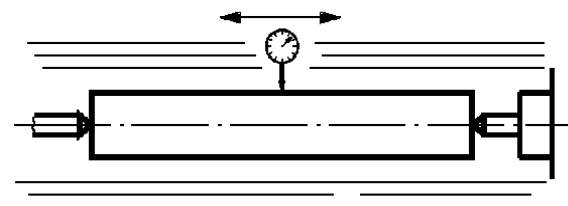


- Interpretação:

- O eixo do cilindro de 20mm de diâmetro deverá estar compreendido em uma zona cilíndrica de 0,3mm de diâmetro



- Método de medição

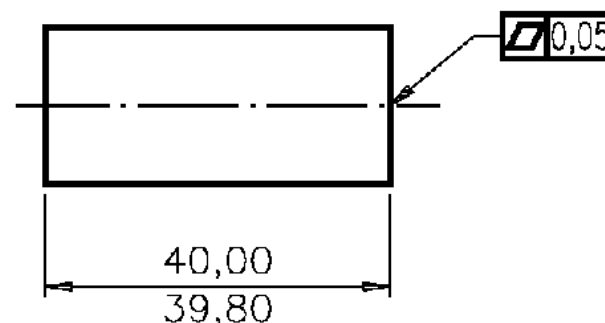


TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA



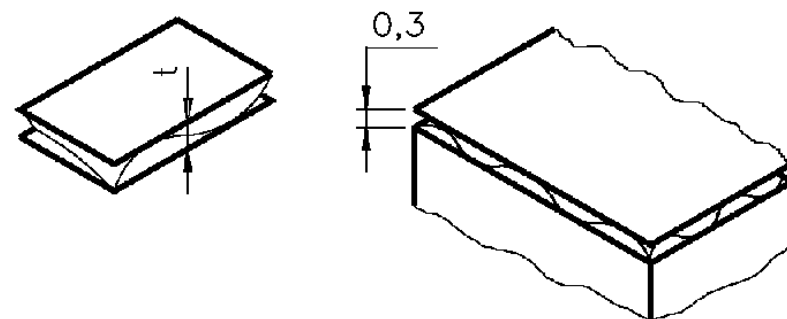
Tolerância de forma: Planeza

- Especificação do desenho



- Interpretação

➤ *toda superfície deve estar limitada pela zona de tolerância "t", compreendida entre dois planos paralelos, distantes de "t"*

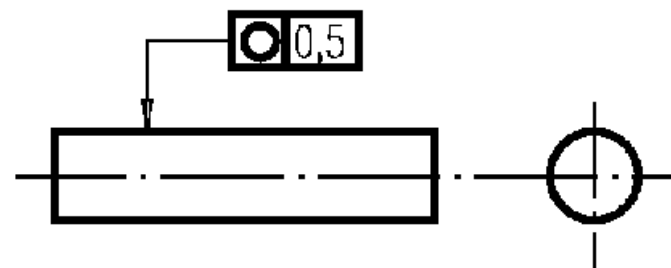


TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA



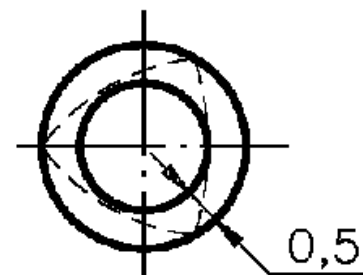
Tolerância de forma: Circularidade

- Especificação do desenho



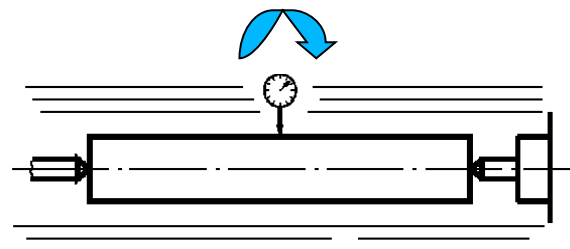
- Interpretação:

- *O campo de tolerância em qualquer seção transversal é limitado por dois círculos concêntricos e distantes 0,5mm*

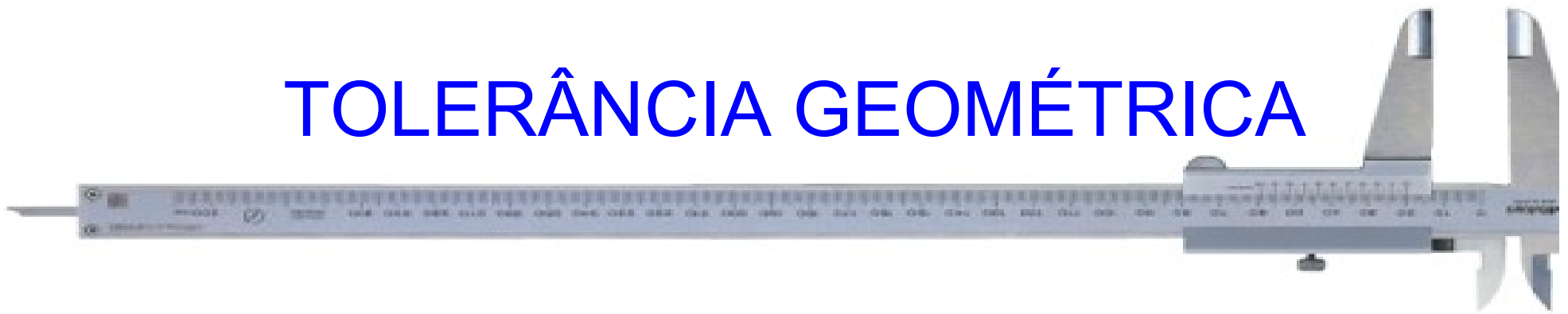


- Método de medição:

- *dispositivo de medição entre centros*

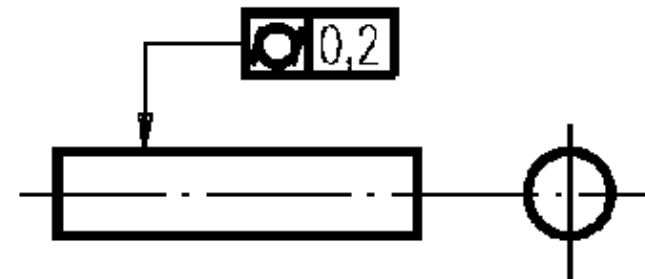


TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA



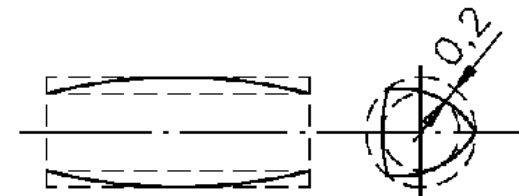
Tolerância de forma: Cilindricidade

- Especificação do desenho

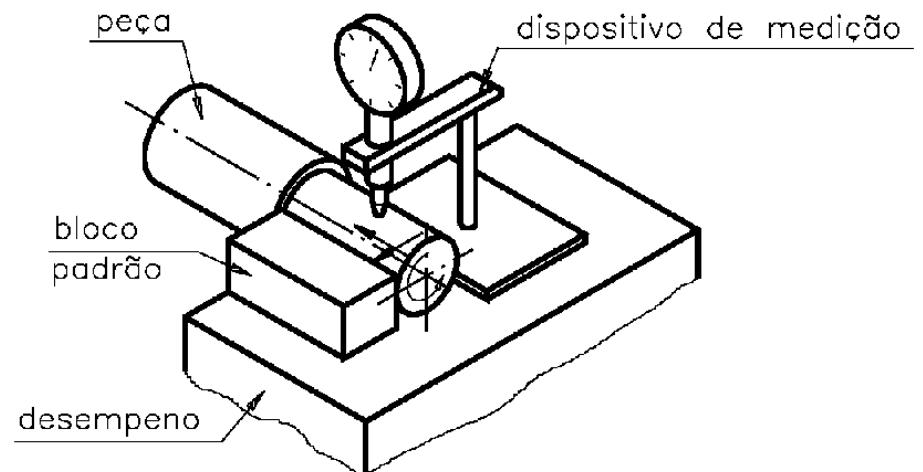


- Interpretação:

➤ *A superfície considerada deve estar compreendida entre dois cilindros coaxiais cujos raios diferem 0,2mm*



- Método de medição

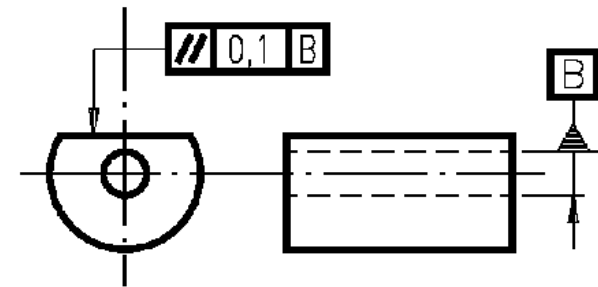


TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA



Tolerância de orientação: Paralelismo

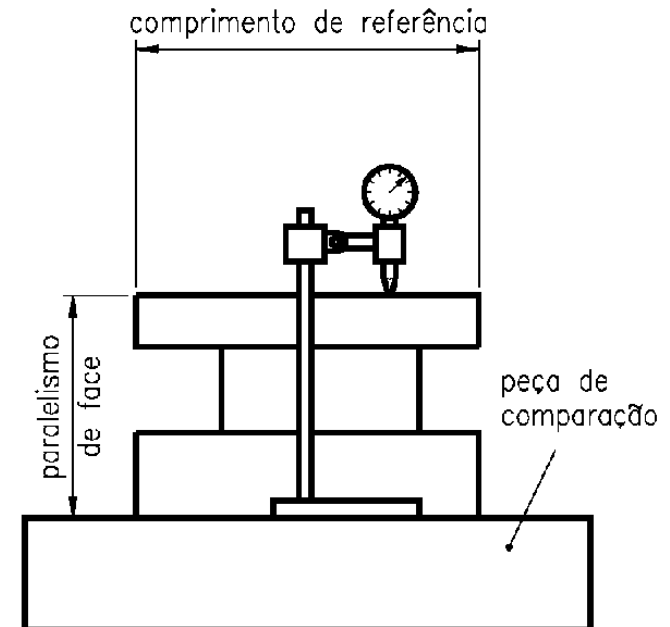
- Especificação do desenho



- Interpretação:

➤ *A superfície superior deve estar compreendida entre dois planos distantes 0,1mm e paralelos ao eixo do furo de referência “B”.*

- Método de medição

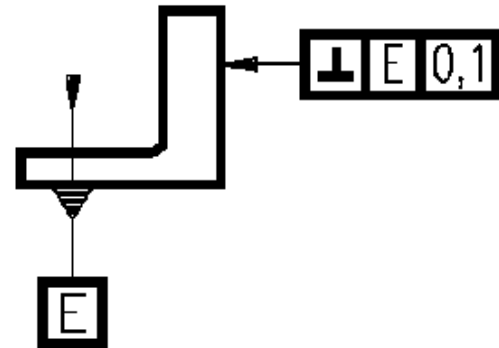


TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA



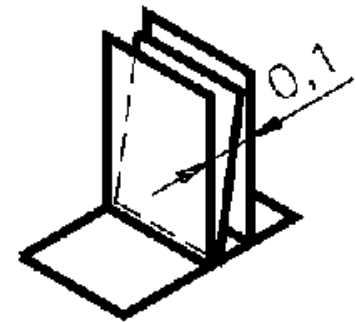
Tolerância de orientação: Perpendicularidade

- Especificação do desenho



- Interpretação:

- A face à direita da peça deve estar compreendida entre dois planos paralelos e distantes 0,1mm, perpendiculares à superfície de referência “E”.



- Método de medição

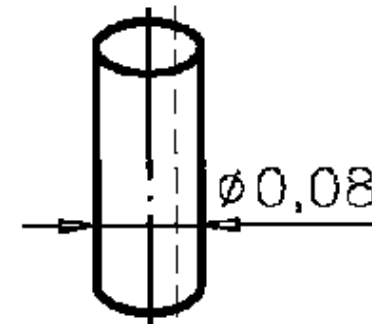
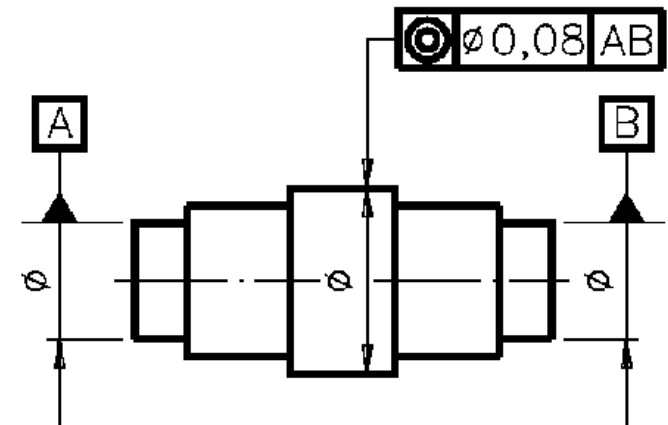
- Relógio comparador com traçador de altura

TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA



Tolerância de posição: Concentricidade/
Coaxialidade

- Especificação do desenho
- Interpretação:
 - O eixo do diâmetro central deve estar contido em uma zona cilíndrica de 0,08 mm de diâmetro, coaxial ao eixo de referência AB
- Método de medição
 - Equipamento entre pontas

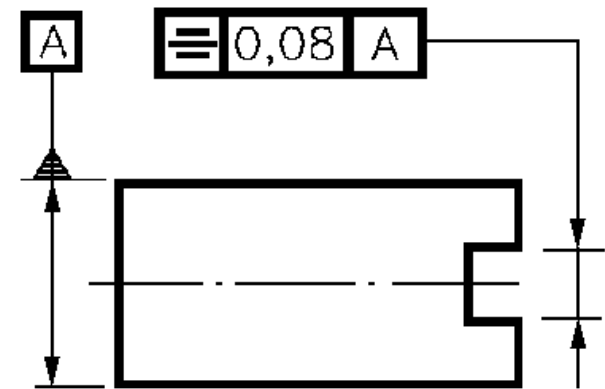


TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA



Tolerância de posição: Simetria

- Especificação do desenho
- Interpretação:
 - O plano médio do rasgo deve estar compreendido entre dois planos paralelos, distantes 0,08 mm, e dispostos simetricamente em relação ao plano médio do elemento de referência A
- Método de medição
 - Medição direta

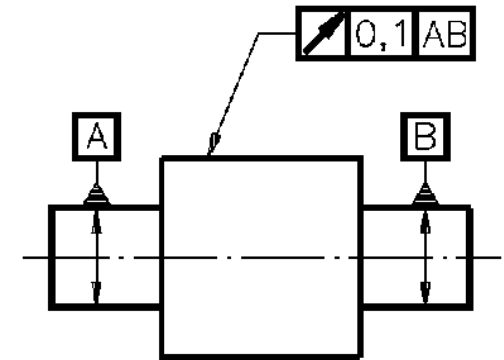


TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA



Tolerância de batimento

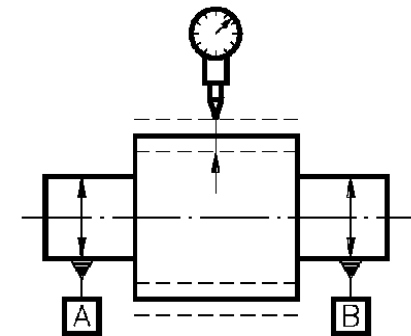
- O batimento pode delimitar erros de circularidade, coaxialidade, excentricidade, perpendicularidade e planicidade, desde que seu valor, que representa a soma de todos os erros acumulados, esteja contido na tolerância especificada



- Especificação do desenho

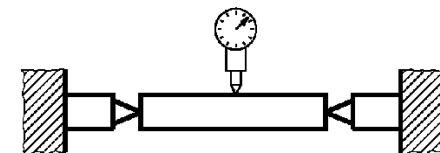
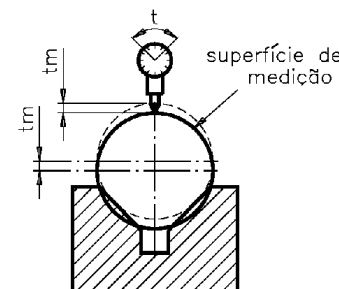
- Interpretação:

- A peça, girando apoiada em dois prismas, não deverá apresentar a LTI (Leitura Total do Indicador) superior a 0,1mm



- Método de medição

- Peça apoiada em prisma ou entre centros

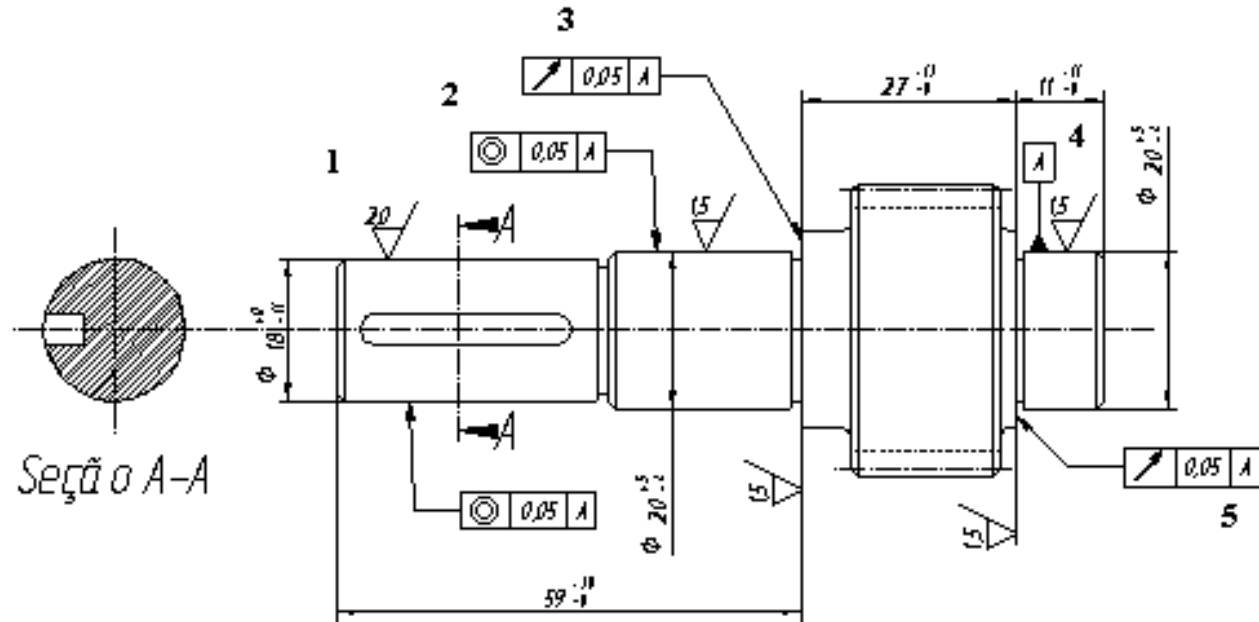


$$t_{\text{radial}} = 2 \cdot t_{\text{m}}(\text{LTI})$$

TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA

Exercício resolvido:

Para a peça apresentada na figura (reductor), descreva e justifique as tolerâncias geométricas e as rugosidades assinaladas



Resposta:

- Rugosidade Ra com valor máximo de 2 μm obtida com necessariamente com remoção de material. Justifica-se por se tratar de uma superfície para assento de um outro componente com transmissão por chaveta.
- Coaxialidade da superfície em relação à referência A com tolerância de 0,05 mm. Deve ser controlada para garantir a montagem do eixo e seu perfeito funcionamento pois as duas superfícies são assentos de mancais de rolamento.
- Batimento axial em relação à referência A com tolerância de 0,05 mm. Deve ser controlada pois a superfície cotada serve como apoio para o mancal de rolamento.
- Referência A, base para as tolerâncias geométricas de posição de outras superfícies do eixo.
- Idêntica à tolerância (3)