



AULA 2

TOLERÂNCIA DIMENSIONAL

Disciplina

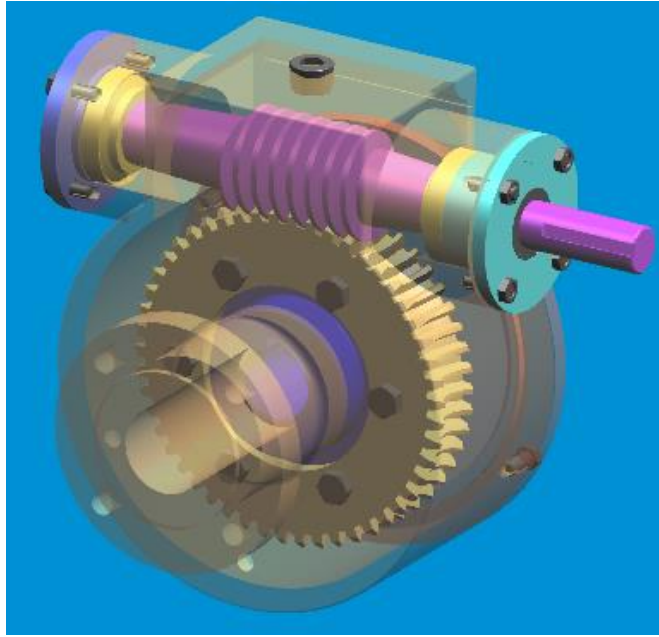
SEM 0560 - Fabricação Mecânica por Usinagem

Professores

Alessandro Roger Rodrigues

Renato Goulart Jasinevicius

Conjunto Mecânico



Intercambiabilidade: É a possibilidade de, quando se monta um conjunto mecânico, tomar-se ao acaso, de um lote de peças semelhantes, prontas e verificadas, uma peça qualquer que, montada ao conjunto em questão, sem nenhum ajuste ou usinagem posterior, dará condições para que o sistema mecânico cumpra as funções para as quais foi projetado.

Definições

DIMENSÕES LIMITES: São os valores máximo e mínimo admissíveis para a dimensão efetiva.

DIMENSÃO MÁXIMA: É o valor máximo admissível para a dimensão efetiva (Fig.1)
Símbolo: $D^{\text{máx}}$ para furos e $d^{\text{máx}}$ para eixos

DIMENSÃO MINIMA: É o valor mínimo admissível para a dimensão efetiva (Fig.)
Símbolo: $D^{\text{mín}}$ para furos e $d^{\text{mín}}$ para eixos

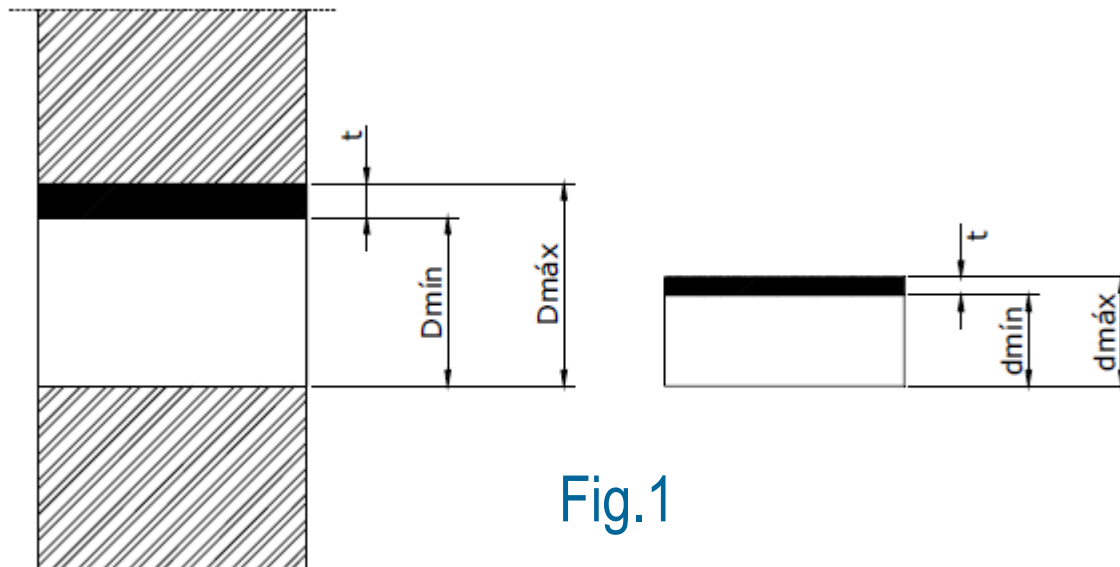


Fig.1

Definições

AFASTAMENTOS: É a diferença entre as dimensões limites e a dimensão nominal

AFASTAMENTO INFERIOR: É a diferença entre a dimensão mínima e a dimensão nominal.
Símbolos: A^i para furos e a^i para eixos (Fig. 2).

AFASTAMENTO SUPERIOR: É a diferença entre a dimensão máxima e a dimensão nominal.
Símbolos: A^s para furos e a^s para eixos (Fig. 2)

AFASTAMENTO REAL: É a diferença entre a dimensão efetiva e a dimensão nominal do componente.

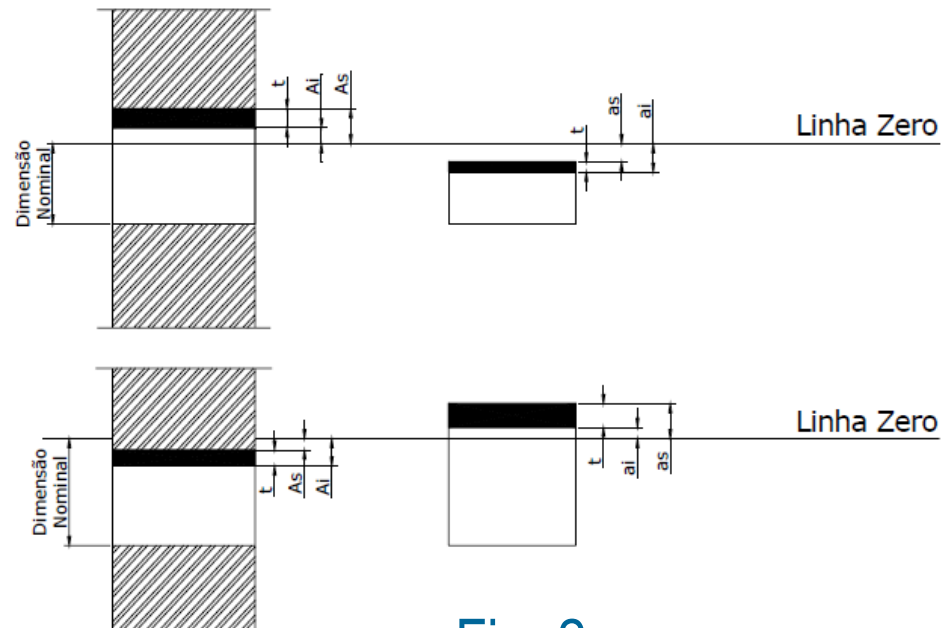


Fig. 2

Definições

TOLERÂNCIA: É a variação admissível da dimensão da peça. Símbolo: t (Fig. 1 e 2). A tolerância indica uma faixa de valores compreendidos entre as dimensões limites. Também denominada de Zona de Tolerância ou Campo de tolerância.

$t = D^{\text{máx}} - D^{\text{mín}}$ (Furos) e $t = d^{\text{máx}} - d^{\text{mín}}$ (Eixos) ou

$t = A^s - A^i$ (Furos) e $t = a^s - a^i$ (Eixos)

LINHA ZERO: É a linha que indica a posição da dimensão nominal em um desenho. Ela serve de referência para os afastamentos.

- Afastamentos acima da linha zero são positivos
- Afastamentos abaixo da linha zero são negativos

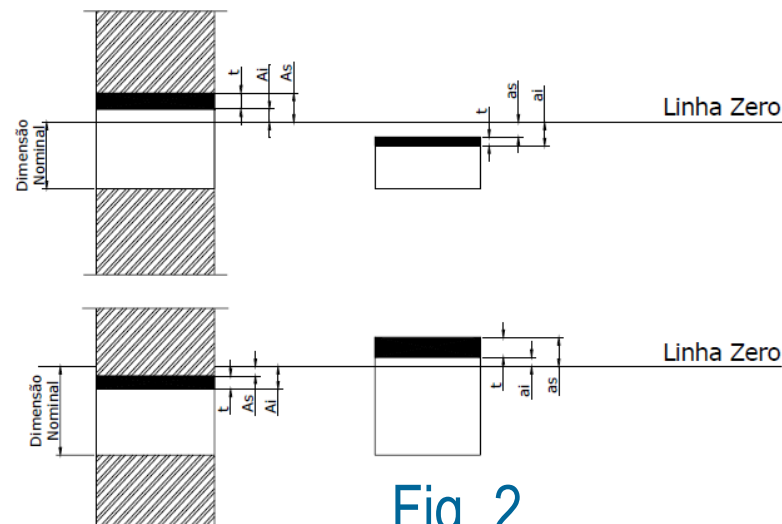
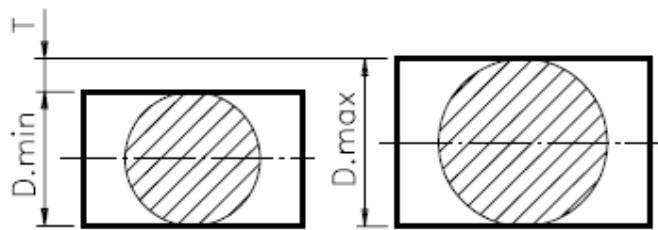


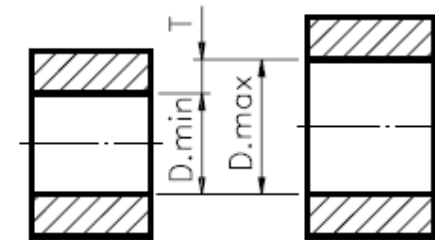
Fig. 2

DEFINIÇÕES

Tolerância: variação entre as dimensões máxima e mínima de uma peça

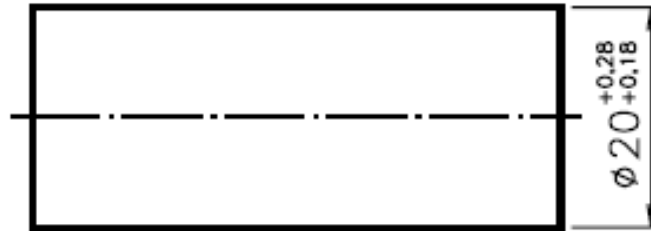


(Eixo)



(Furo)

Afastamentos: desvios aceitáveis da dimensão nominal, para mais e para menos



Medida nominal: 20 mm

Afastamento superior: 0,28 mm

Afastamento inferior: 0,18 mm

Dimensão máxima: 20,28 mm

Dimensão mínima: 20,18 mm

Tolerância: 0,10 mm

DEFINIÇÕES

FOLGA: Folga (ou jogo) é a diferença, em um acoplamento, entre as dimensões do furo e do eixo, quando o eixo é menor que o furo. Símbolo F . (Fig. 3)

FOLGA MÁXIMA: É a diferença entre as dimensões máxima do furo e mínima do eixo, quando o eixo é menor que o furo. Símbolo $F^{\text{máx}}$. (Fig. 3).

$F^{\text{máx}} = D^{\text{máx}} - d^{\text{mín}}$. Através desta equação $F^{\text{máx}}$ será sempre positiva.

FOLGA MÍNIMA: É a diferença entre as dimensões mínima do furo e máxima do eixo, quando o eixo é menor que o furo. Símbolo $F^{\text{mín}}$. (Fig. 3).

$F^{\text{mín}} = D^{\text{mín}} - d^{\text{máx}}$. Através desta equação $F^{\text{mín}}$ será sempre positiva.

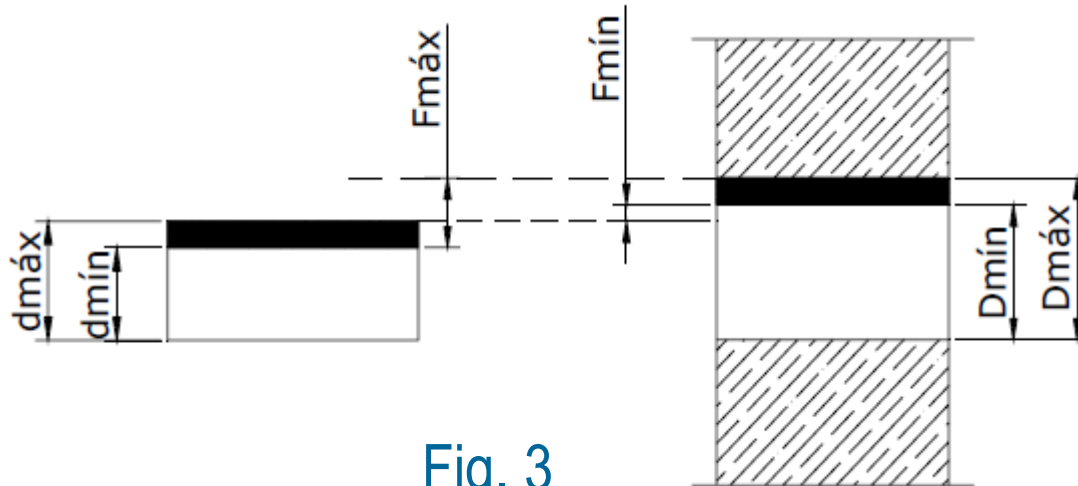


Fig. 3

DEFINIÇÕES

INTERFERÊNCIA: É a diferença, em um acoplamento, entre as dimensões do furo e do eixo, quando o eixo é maior que o furo. Símbolo I . (Fig. 4)

INTERFERÊNCIA MÁXIMA: É a diferença entre as dimensões mínima do furo e máxima do eixo, quando o eixo é maior que o furo. (Símbolo $I^{\text{máx}}$).

$I^{\text{máx}} = D^{\text{mín}} - d^{\text{máx}}$. Através desta equação, $I^{\text{máx}}$ será sempre negativa. (Fig. 4)

INTERFERÊNCIA MÍNIMA: É a diferença entre as dimensões máxima do furo e mínima do eixo, quando o eixo é maior que o furo. Símbolo $I^{\text{mín}}$.

$I^{\text{mín}} = D^{\text{máx}} - d^{\text{mín}}$. Através desta equação, $I^{\text{mín}}$ será sempre negativa. (Fig. 4)

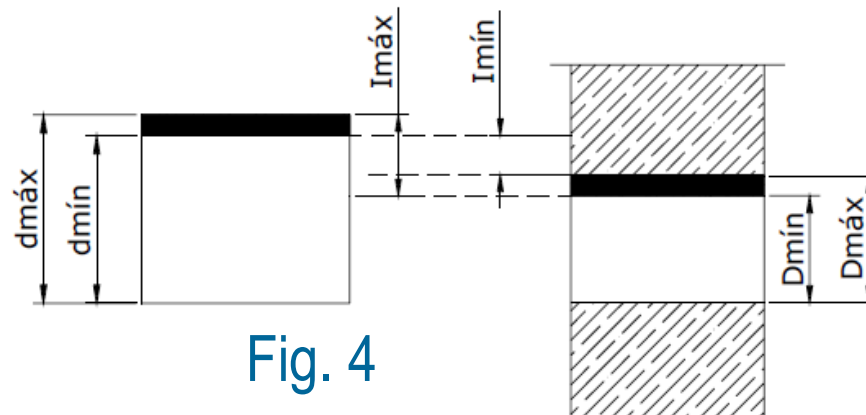


Fig. 4

DEFINIÇÕES

AJUSTE COM FOLGA: É aquele em que existe folga, ou jogo. Inclui-se o caso em que $F_{\min}$ ou $I_{\max} = 0$. Nestes ajustes tem-se: $a^s \leq A^i$. (Fig. 3).

AJUSTE COM INTERFERÊNCIA: É o ajuste em que o diâmetro do eixo é sempre maior que o diâmetro do furo. Nestes ajustes tem-se:

$A^s < a^i$. (Fig. 4).

AJUSTE INCERTO: É o ajuste que pode ser com folga ou com interferência. Neste tipo de ajuste não pode ser previsto de antemão se haverá folga ou interferência. Somente após o conhecimento das dimensões efetivas é que estes valores poderão ser determinados. Nestes ajustes tem-se: $a^s \geq A^i$ e $A^s \geq a^i$.

(Fig. 5).

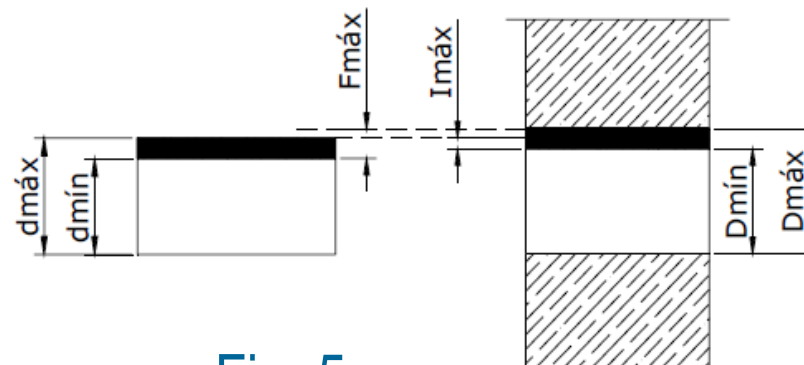
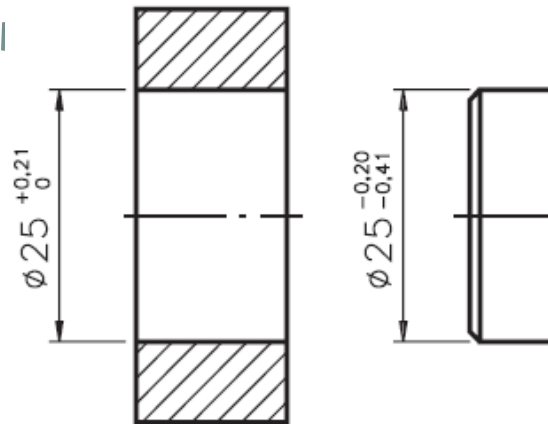


Fig. 5

TIPOS DE AJUSTE

Ajuste com Folga



Furo

Dmax: 25,21

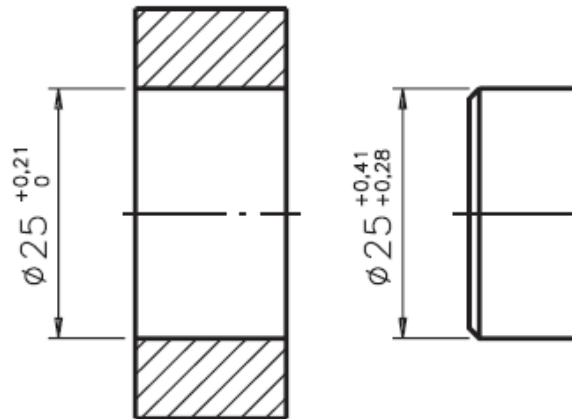
Dmin: 25,00

Eixo

Dmax eixo: 24,80

Dmin eixo: 24,59

Ajuste com Interferência



Furo

Dmax: 25,21

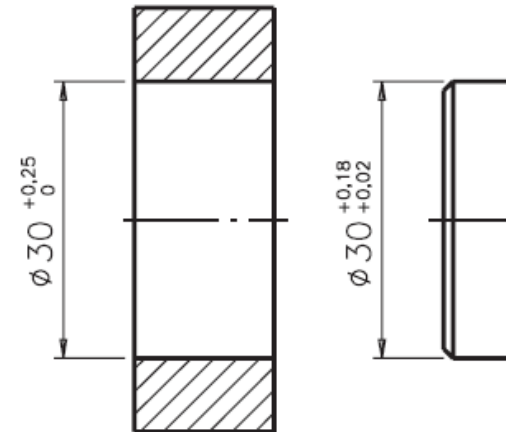
Dmin: 25,00

Eixo

Dmax eixo: 25,41

Dmin eixo: 25,28

Ajuste Incerto



Furo

Dmax: 30,25 (F)

Dmin: 30,00 (I)

Eixo

Dmax eixo: 30,18 (I/F)

Dmin eixo: 30,02 (I/F)

APLICAÇÕES DOS AJUSTES

Ajuste com Folga

Eixos, Polias, Pinos
Engrenagens



Eixo Estriado



Engrenagem

Ajuste com Interferência

Buchas a pressão
Peças de travamento



Bucha a pressão

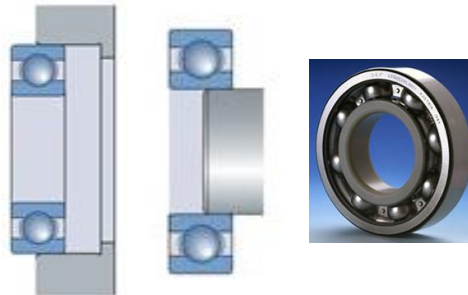


Ajuste Incerto

Assentos de rolamentos
Pinhões em eixo-árvore



Caixa de Rolamento



Rolamento



Coroa-Pinhão

a	b	c	cd	d	e
m	n	p	r	s	t

(Eixo)

(Furo)

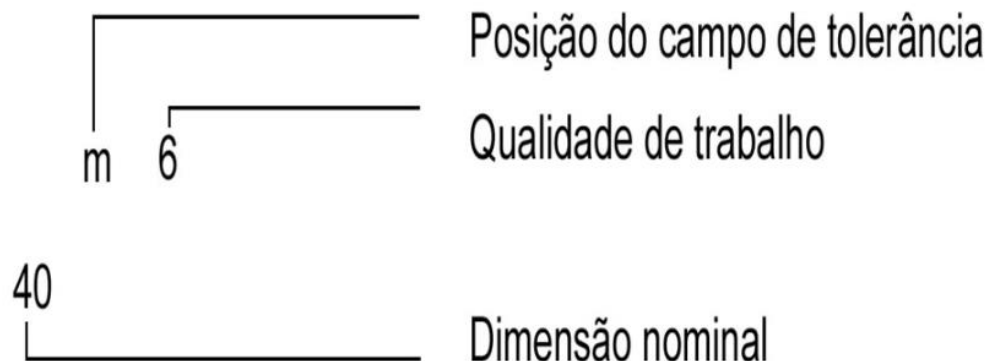
Qualidade de trabalho: precisão da peça ou tamanho do intervalo

		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																			

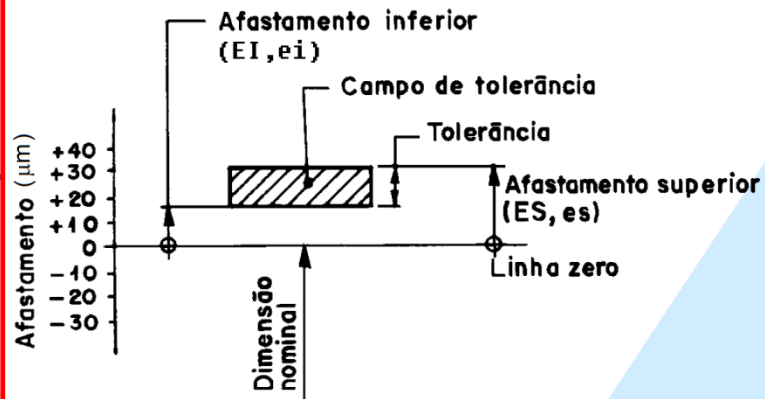


SISTEMA DE TOLERÂNCIA E AJUSTES (ABNT/ISO)

TOLERÂNCIA ISO



Exemplo/Definições

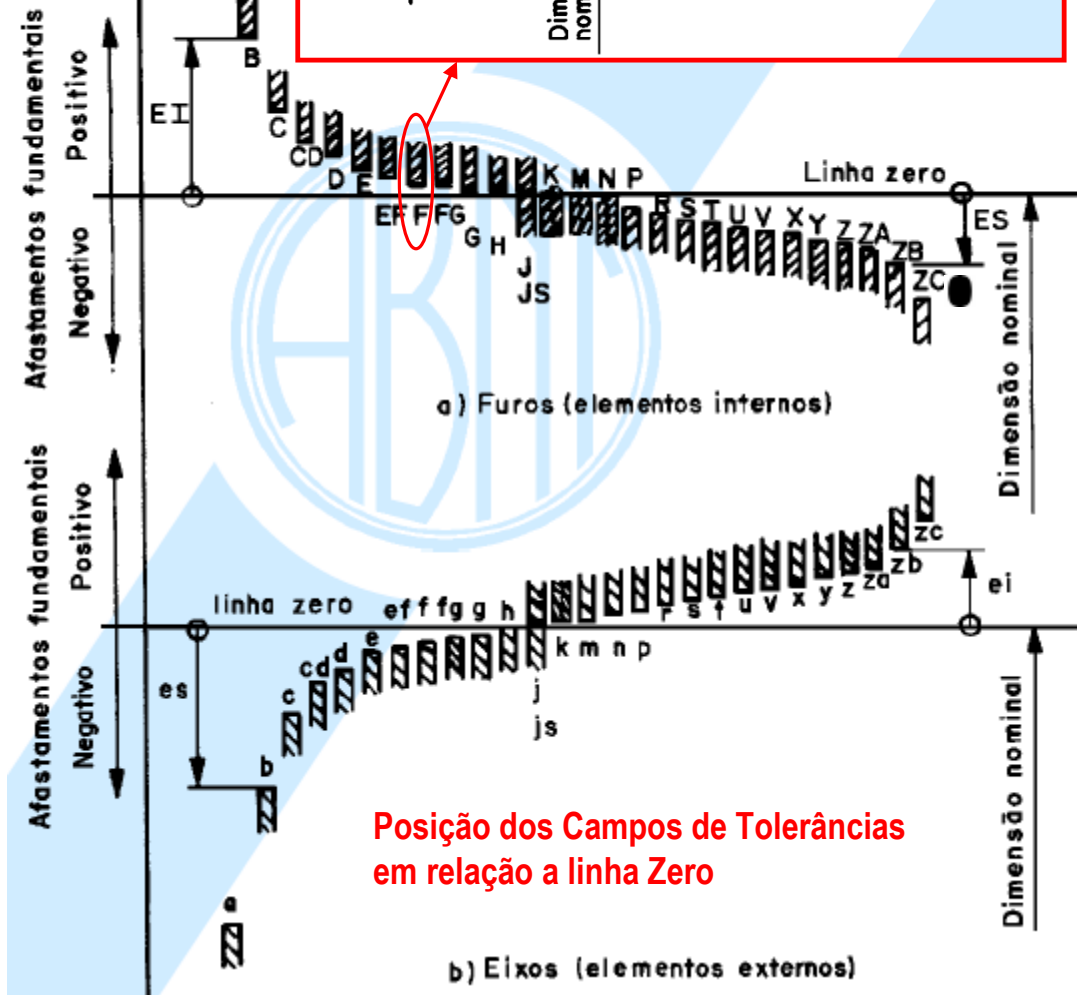


POSIÇÕES DOS AFASTAMENTOS FUNDAMENTAIS

Dimensão nominal (mm)		Afastamento inferior EI										
		Todos os graus de tolerância-padrão										
Acima	Até e inclusive	A ^(A)	B ^(A)	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H
-	3 ^(A) (E)	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0
10	14											
14	18	+290	+150	+95		+50	+32		+16		+6	0

Qualidade de trabalho: tamanho do intervalo

Dimensão nominal (mm)		IT1 ^(B)	IT2 ^(B)	IT3 ^(B)	T4 ^(B)	T5 ^(B)	IT6	IT7
Acima	Até e inclusive	(μm)						
-	3 ^(C)	0,8	1,2	2	3	4	6	10
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18



Posição dos Campos de Tolerâncias em relação a linha Zero



PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E QUALIDADE DE TRABALHO

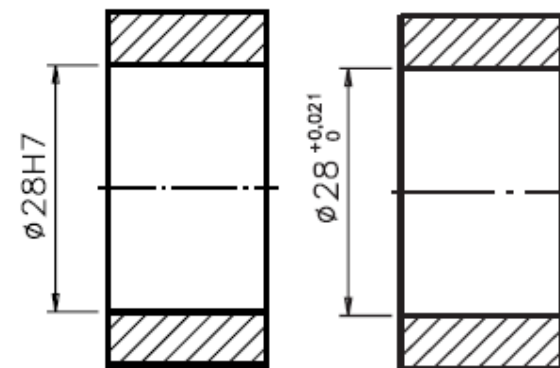
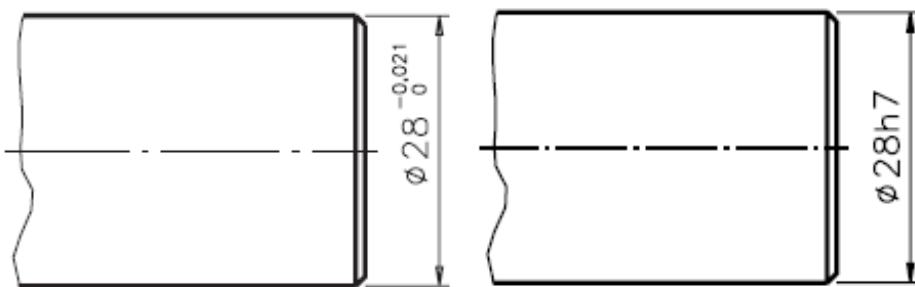
Processo	Qualidade IT							
	4	5	6	7	8	9	10	11
Polimento	■							
Rasqueteamento		■						
Torneamento para acabamento		■						
Retificação		■						
Brochamento		■						
Mandrilamento			■					
Torneamento				■				
Aplainamento				■				
Fresamento							■	
Furação							■	

PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E QUALIDADE DE TRABALHO

Tabela 1 - Valores numéricos de graus de tolerância-padrão IT para dimensões nominais até 3150 mm^(A)

Dimensão nominal (mm)		Graus de tolerância-padrão																	
		IT1 ^(B)	IT2 ^(B)	IT3 ^(B)	IT4 ^(B)	IT5 ^(B)	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14 ^(C)	IT15 ^(C)	IT16 ^(C)	IT17 ^(C)	IT18 ^(C)
Acima	Até e inclusive	Tolerância																	
		(μm)												(mm)					
-	3 ^(C)	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4

REPRESENTAÇÃO E SISTEMAS DE TOLERÂNCIA



Eixo

Furo

Dimensão máxima:

28,000

28,021

Dimensão mínima:

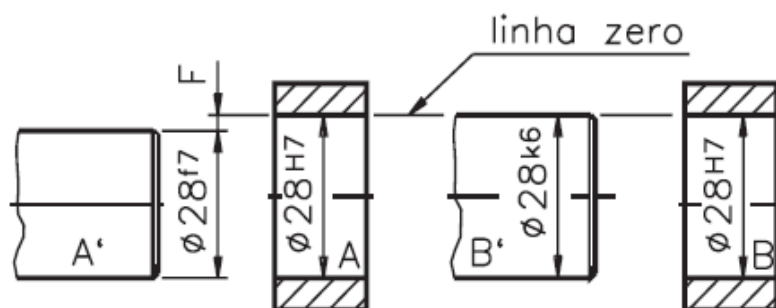
- $\underline{27,979}$

- $\underline{28,000}$

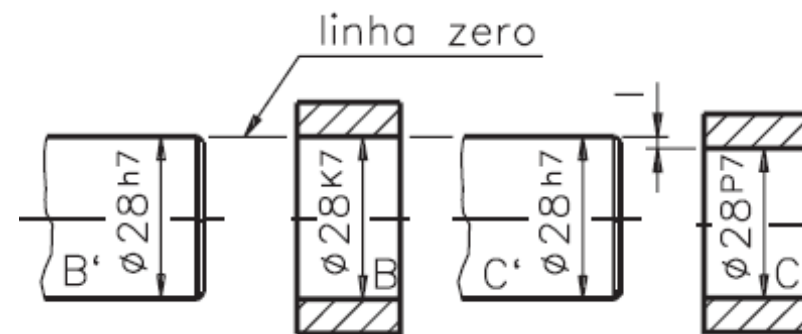
Tolerância:

0,021

0,021



Sistema Furo-Base

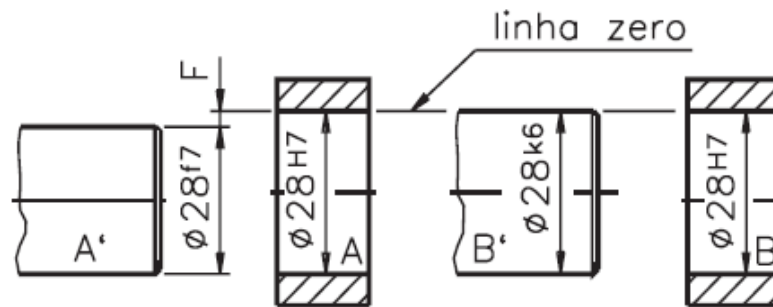


Sistema Eixo-Base

REPRESENTAÇÃO E SISTEMAS DE TOLERÂNCIA

SISTEMA FURO-BASE: É um sistema de ajuste no qual a dimensão mínima dos furos é igual à dimensão nominal. A linha zero constitui o limite inferior da tolerância. Os eixos são maiores ou menores conforme o tipo de ajuste desejado. Este sistema é usado em ajustes entre eixos, polias, engrenagens.

Sistema Furo-Base



Eixo 28f7 : $28_{-0,021}^{+0}$

Furo 28H7 : $28_0^{+0,021}$

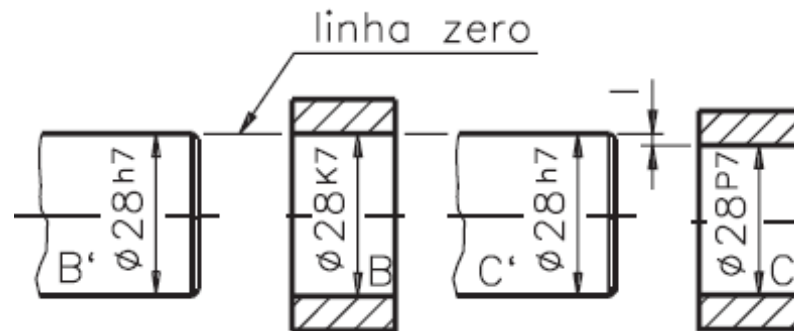
Eixo 28k6 : $28_0^{+0,013}$

Furo 28H7 : $28_0^{+0,021}$

REPRESENTAÇÃO E SISTEMAS DE TOLERÂNCIA

SISTEMA EIXO-BASE: É um sistema de ajuste no qual as dimensões máximas dos eixos são iguais à dimensão nominal. A linha zero constitui o limite superior da tolerância. Os furos são maiores ou menores conforme o tipo de ajuste desejado. Este sistema é usado em ajustes da capa externa de rolamentos com carcaça, buchas pré-usinadas (compradas prontas) com furo de polia.

Sistema Eixo-Base



Furo maior

Eixo 28h7 : $28_{-0,021}^{+0}$

Furo 28K7 : $28_0^{+0,021}$

Furo menor

Eixo 28h7 : $28_{-0,021}^{+0}$

Furo 28P7 : $28_{0-0,021}^{+0}$

AJUSTES NORMALIZADOS (SISTEMA FURO-BASE H7)

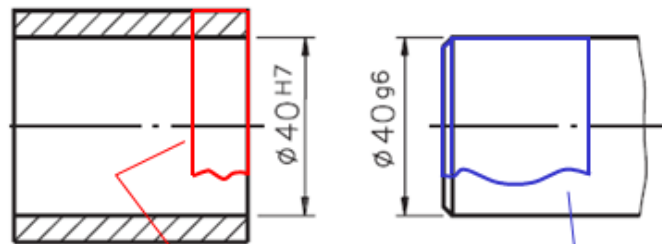
Tolerância em milésimos de milímetros (μm)

Dimensão nominal mm		Furo ^{af. inf.} ^{af. sup.}	EIXOS								
			afastamento superior afastamento inferior								
acima de	até	H7	f7	g6	h6	j6	k6	m6	n6	p6	r6
0	1	0	- 6	- 2	0	+ 4	+ 6		+ 10	+ 12	+ 16
1	3	+ 10	- 16	- 8	- 6	- 2	0	-	+ 4	+ 6	+ 10
3	6	0	- 10	- 4	0	+ 6	+ 9	+ 12	+ 16	+ 20	+ 23
		+ 12	- 22	- 12	- 8	- 2	+ 1	+ 4	+ 8	+ 12	+ 15
6	10	0	- 13	- 5	0	+ 7	+ 10	+ 15	+ 19	+ 24	+ 28
		+ 15	- 28	- 14	- 9	- 2	+ 1	+ 6	+ 10	+ 15	+ 19
10	14	0	- 16	- 6	0	+ 8	+ 12	+ 18	+ 23	+ 29	+ 34
14	18	+ 18	- 34	- 17	- 11	- 3	+ 1	+ 7	+ 12	+ 18	+ 23
18	24	0	- 20	- 7	0	+ 9	+ 15	+ 21	+ 28	+ 35	+ 41
24	30	+ 21	- 41	- 20	- 13	- 4	+ 2	+ 8	+ 15	+ 22	+ 28
30	40	0	- 25	- 9	0	+ 11	+ 18	+ 25	+ 33	+ 42	+ 50
40	50	+ 25	- 50	- 25	- 16	- 5	+ 2	+ 9	+ 17	+ 26	+ 34
50	65	0	- 30	- 10	0	+ 12	+ 21	+ 30	+ 39	+ 51	+ 60
											+ 41
65	80	+ 30	- 60	- 29	- 19	- 7	+ 2	+ 1	+ 20	+ 32	+ 62
											+ 43
80	100	0	- 36	- 12	0	+ 13	+ 25	+ 35	+ 45	+ 59	+ 73
100	120	+ 35	- 71	- 34	- 22	- 9	+ 3	+ 13	+ 23	+ 37	+ 76
											+ 54
120	140	0	- 43	- 14	0	+ 14	+ 28	+ 40	+ 52	+ 68	+ 88
140	160										+ 63
											+ 90
											+ 65

SISTEMA FURO-BASE: É um sistema de ajuste no qual a dimensão mínima dos furos é igual à dimensão nominal

Até 3150 mm

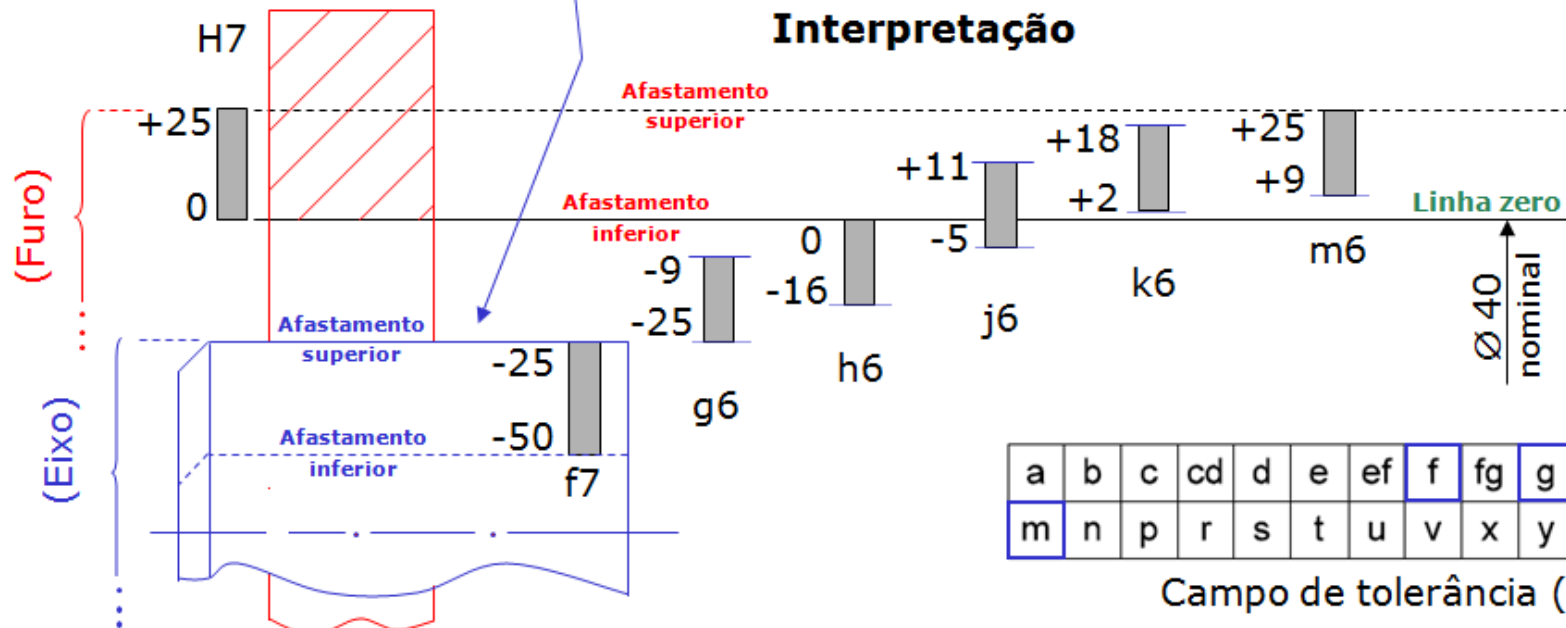
EXEMPLO DE APLICAÇÃO



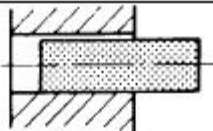
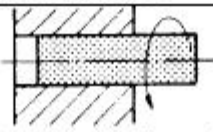
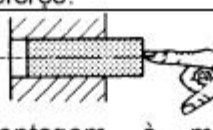
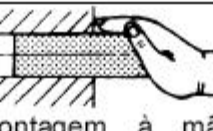
Dimensão nominal mm		Furo af. inf. af. sup.	EIXOS										afastamento superior	afastamento inferior
acima de	até	H7	f7	g6	h6	j6	k6	m6	n6	p6	r6			
30	40	0 +25	-25 -50	-9 -25	0 -16	+11 -5	+18 +2	+25 +9	+33 +17	+42 +26	+50 +34			

Campo de Tolerância e Qualidade de Trabalho

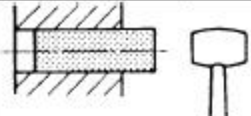
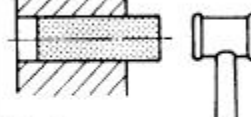
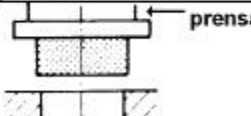
Interpretação



RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS

TIPO DE AJUSTE	EXEMPLO DE AJUSTE	EXTRA PRECISO	MECÂNICA PRECISA	MECÂNICA MÉDIA	MECÂNICA ORDINÁRIA	EXEMPLO DE APLICAÇÃO
LIVRE	 Montagem à mão, com facilidade.	$H_6 e_7$	$H_7 e_7$ $H_7 e_8$	$H_8 e_9$	$H_{11} a_{11}$	Peças cujos funcionamentos necessitam de folga por força de dilatação, mau alinhamento, etc.
ROTATIVO	 Montagem à mão podendo girar sem esforço.	$H_6 f_6$	$H_7 f_7$	$H_8 f_8$	$H_{10} d_{10}$ $H_{11} d_{11}$	Peças que giram ou deslizam com boa lubrificação. Ex.: eixos, mancais, etc.
DESLIZANTE	 Montagem à mão com leve pressão.	$H_6 g_5$	$H_7 g_6$	$H_8 g_8$ $H_8 h_8$	$H_{10} h_{10}$ $H_{11} h_{11}$	Peças que deslizam ou giram com grande precisão. Ex.: anéis de rolamentos, corredeiras, etc.
DESLIZANTE JUSTO	 Montagem à mão, porém, necessitando de algum esforço.	$H_6 h_5$	$H_7 h_6$			Encaixes fixos de precisão, órgãos lubrificados deslocáveis à mão. Ex.: punções, guias, etc.

RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS

TIPO DE AJUSTE	EXEMPLO DE AJUSTE	EXTRA PRECISO	MECÂNICA PRECISA	MECÂNICA MÉDIA	MECÂNICA ORDINÁRIA	EXEMPLO DE APLICAÇÃO
ADERENTE FORÇADO LEVE	 Montagem com auxílio de martelo.	$H_6 j_5$	$H_7 j_6$			Órgãos que necessitam de freqüentes desmontagens. Ex.: polias, engrenagens, rolamentos, etc.
FORÇADO DURO	 Montagem com auxílio de martelo pesado.	$H_6 m_5$	$H_7 m_6$			Órgãos possíveis de montagens e desmontagens sem deformação das peças.
À PRESSÃO COM ESFORÇO	 Montagem com auxílio de balancim ou por dilatação	$H_6 p_5$	$H_7 p_6$			Peças impossíveis de serem desmontadas sem deformação. Ex.: buchas à pressão, etc.

EXEMPLOS



SÍMBOLO DE ACABAMENTO SUPERFICIAL	SÍMBOLO INDICATIVO DE RUGOSIDADE
	de N 10 a N 12
	de N 7 a N 9
	de N 4 a N 6

PARA OS EXEMPLOS ABAIXO EM DESTAQUE

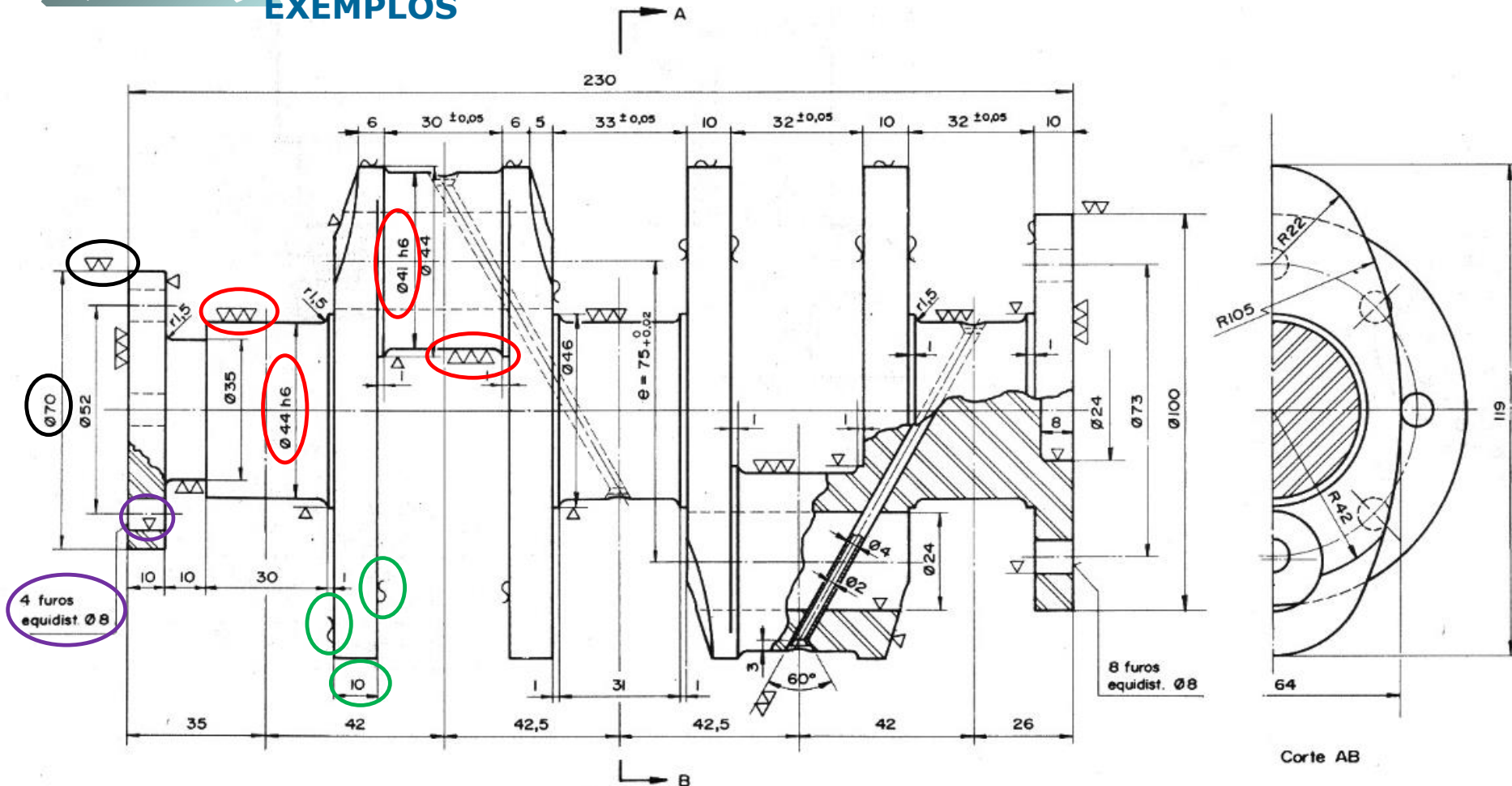
Acabamento do processo anterior (fundição)

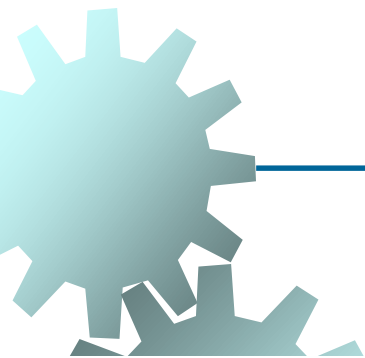
Desbastado (furação)

Alisado (torneamento externo)

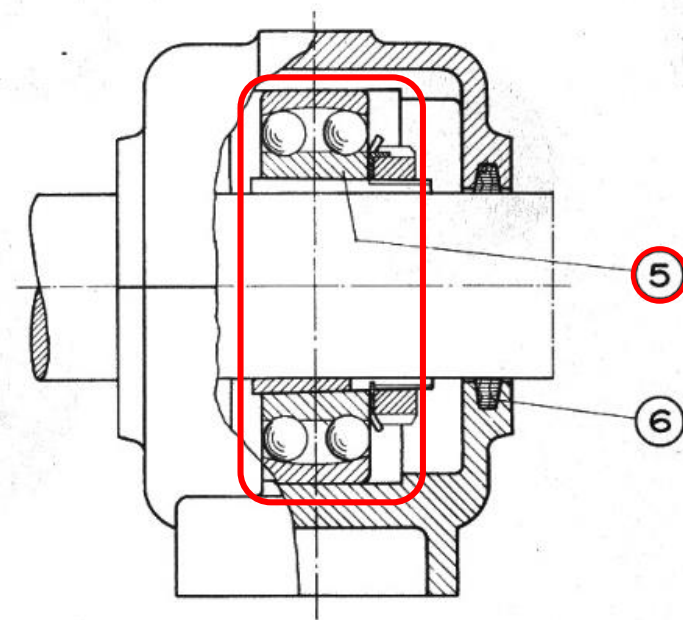
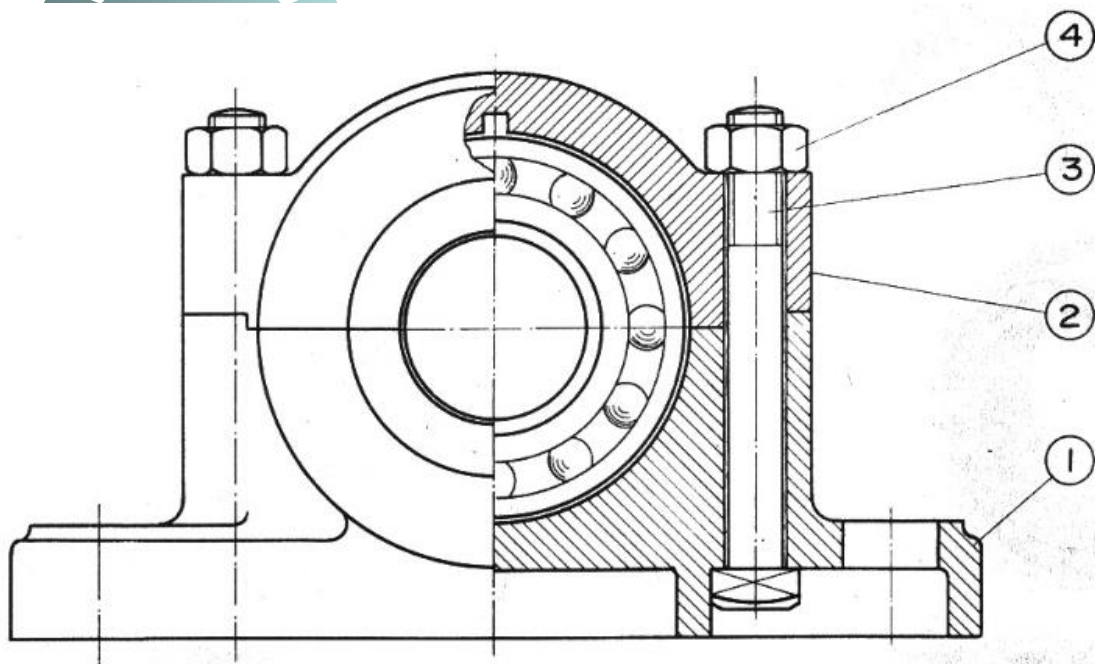
Retificado (retificação cilíndrica externa)

EXEMPLOS

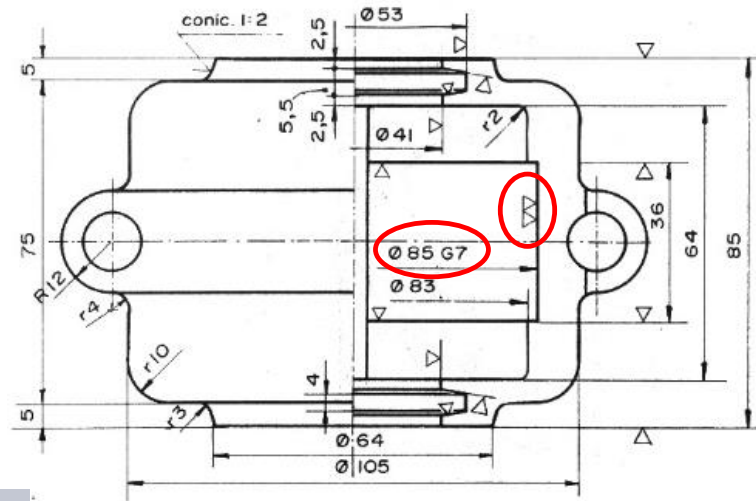




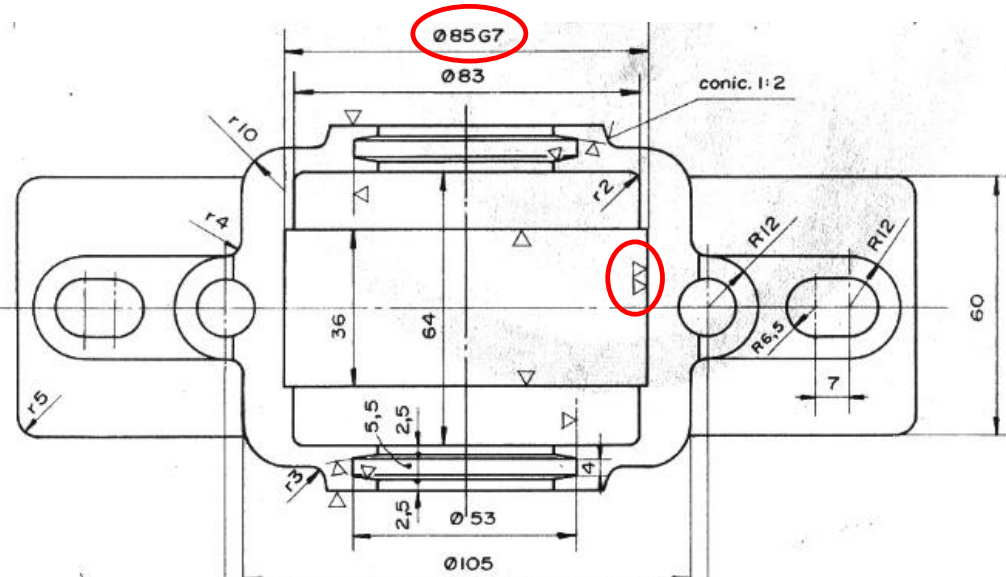
EXEMPLOS



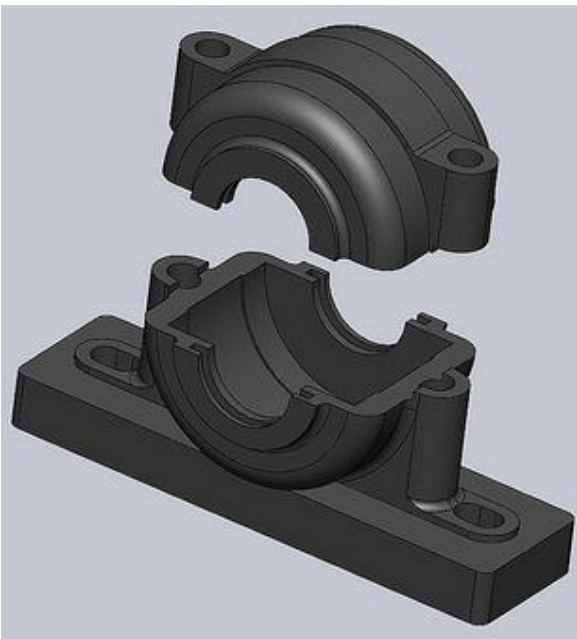
EXEMPLOS



Tampa



Base





Instrumentos de Medição

Toda vez que precisamos medir alguma grandeza, fazemos uso de instrumentos apropriados para essa operação.

Para Eixos: Paquímetros e Micrometros Externos

Para Furos: Paquímetros, Micrometro interno e Micrometros tipo paquímetro

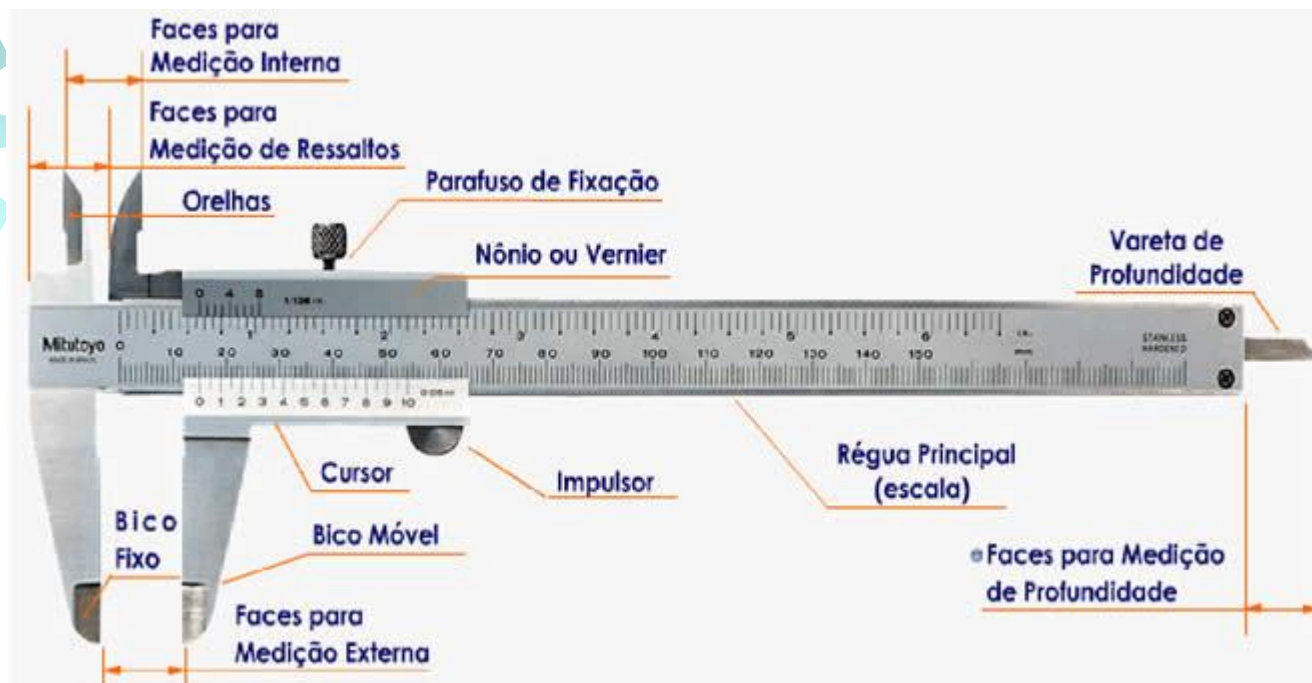


Paquímetro



Micrometro

Paquímetro



Paquímetro

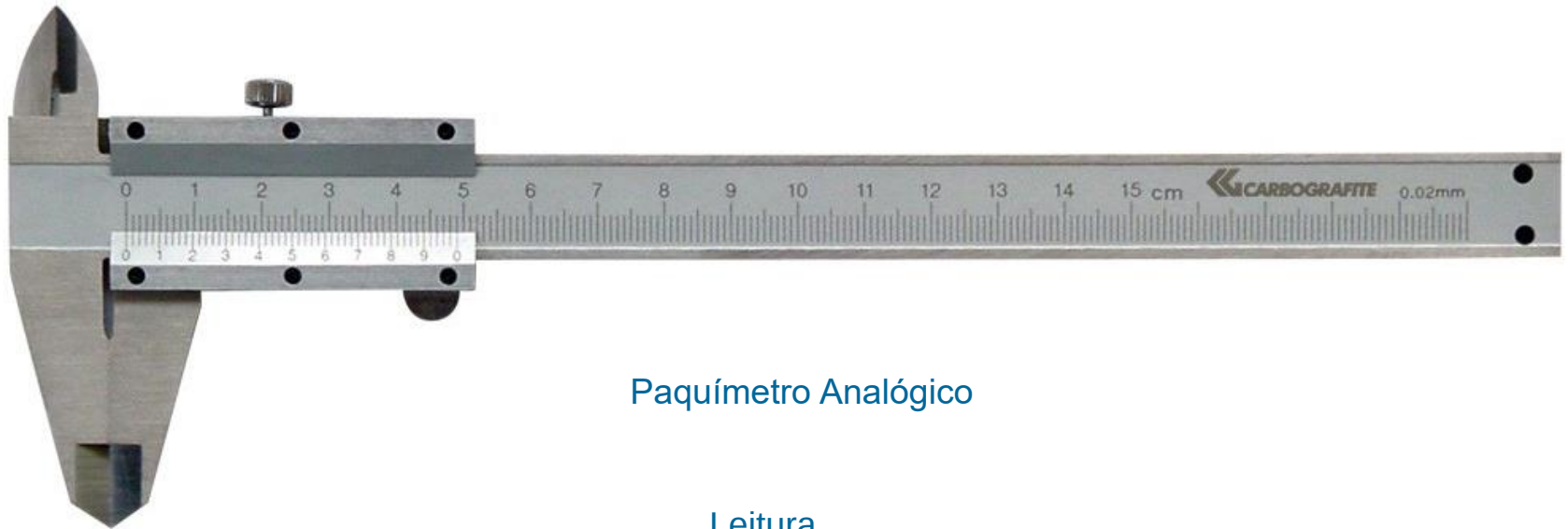


Paquímetro Analógico



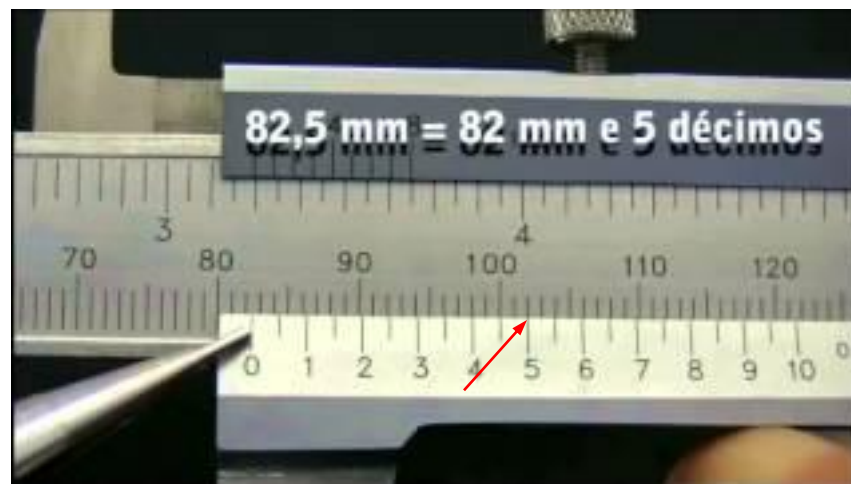
Paquímetro Digital

Paquímetro

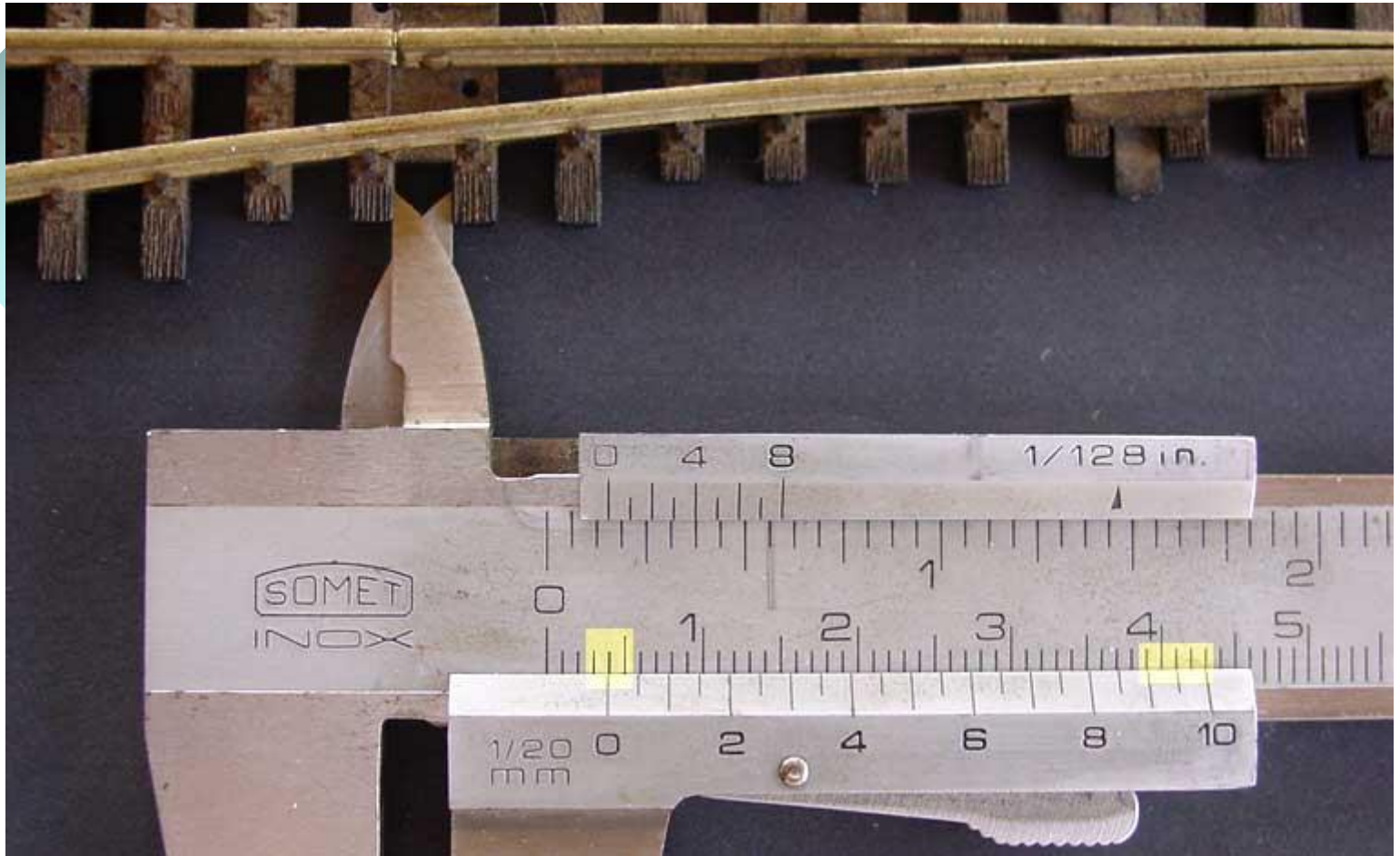


Paquímetro Analógico

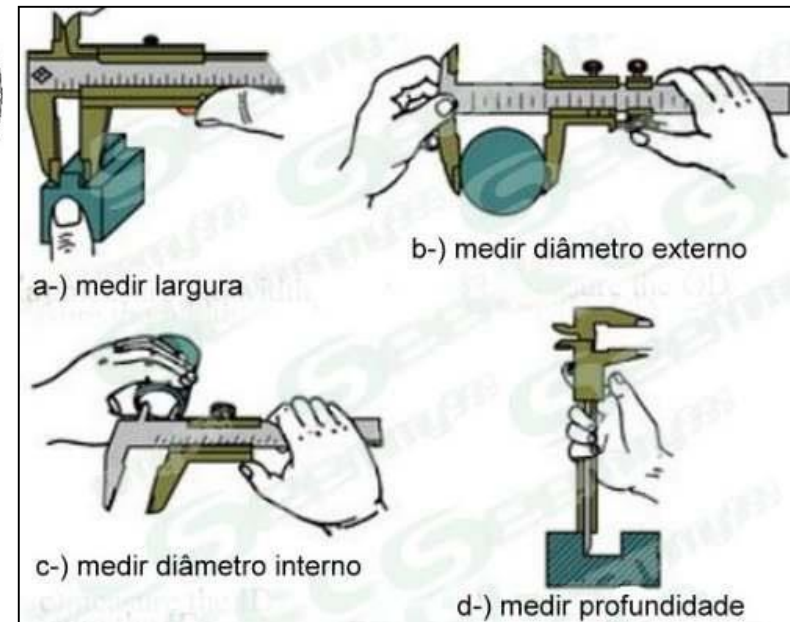
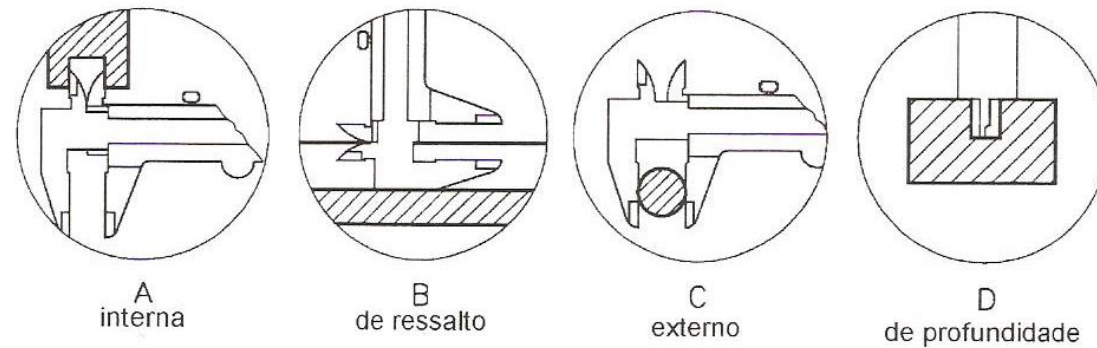
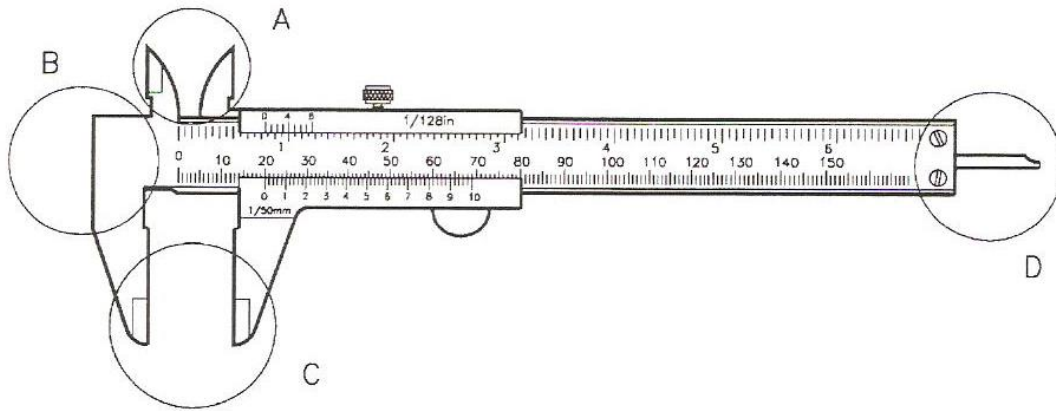
Leitura



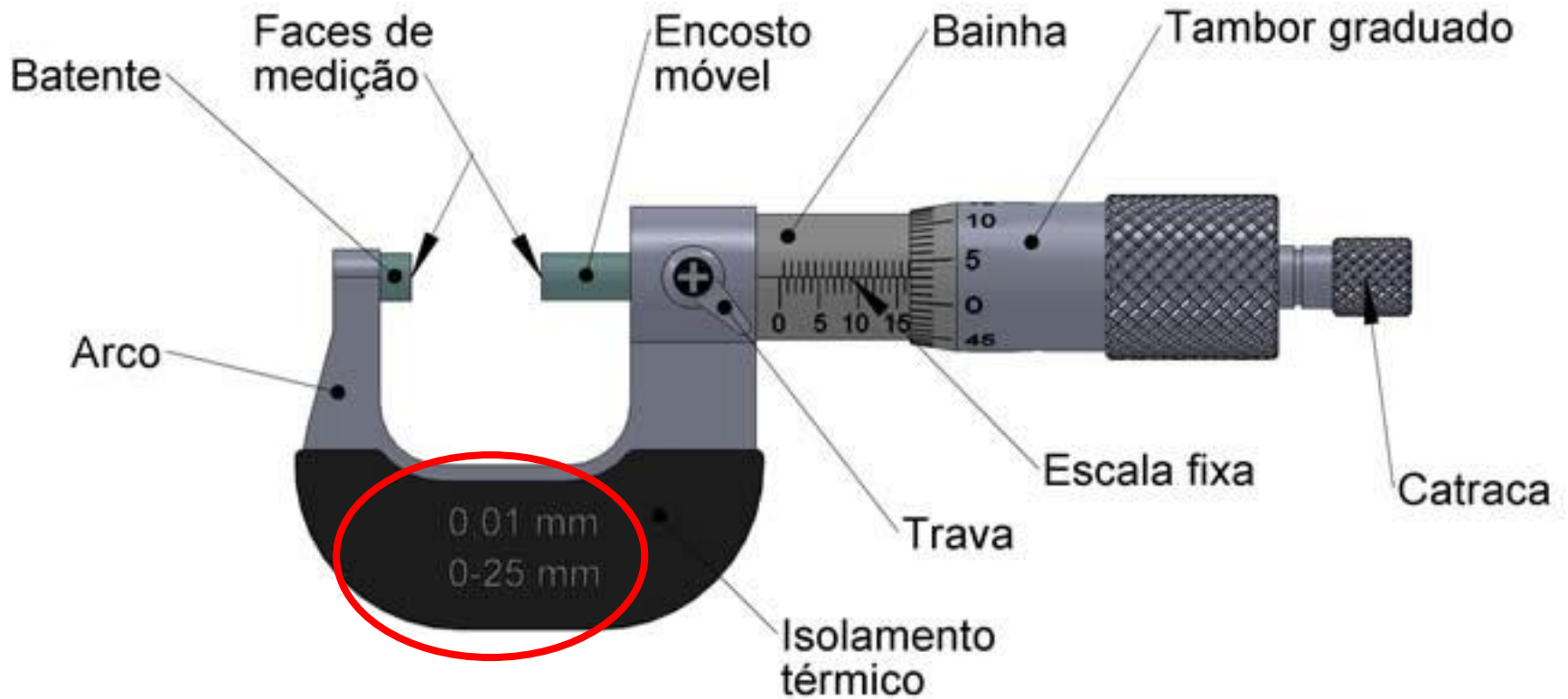
Paquímetro



Exemplos de medidas com Paquímetro



Micrometro



Micrometro para diâmetro interno



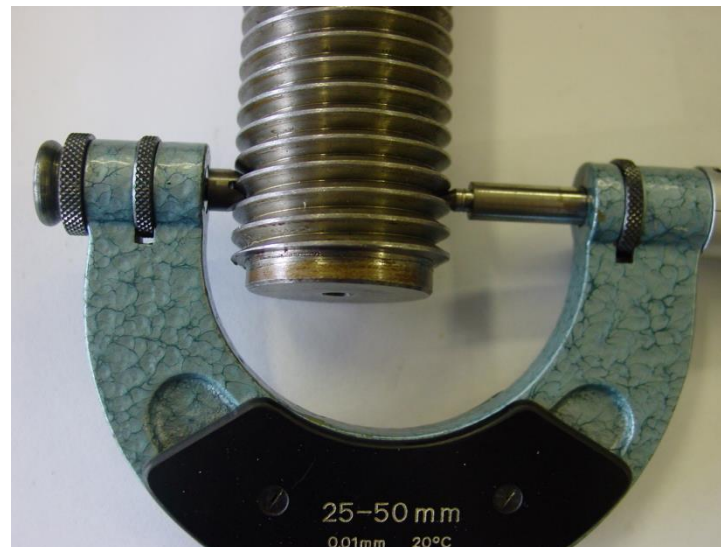
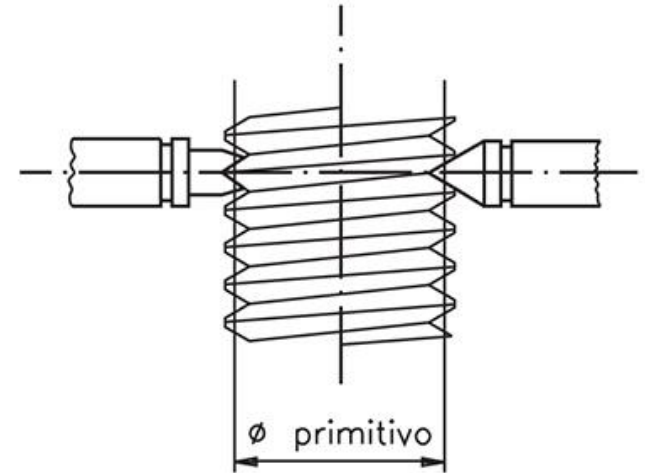
Micrometro para diâmetro interno



Micrometro para profundidade



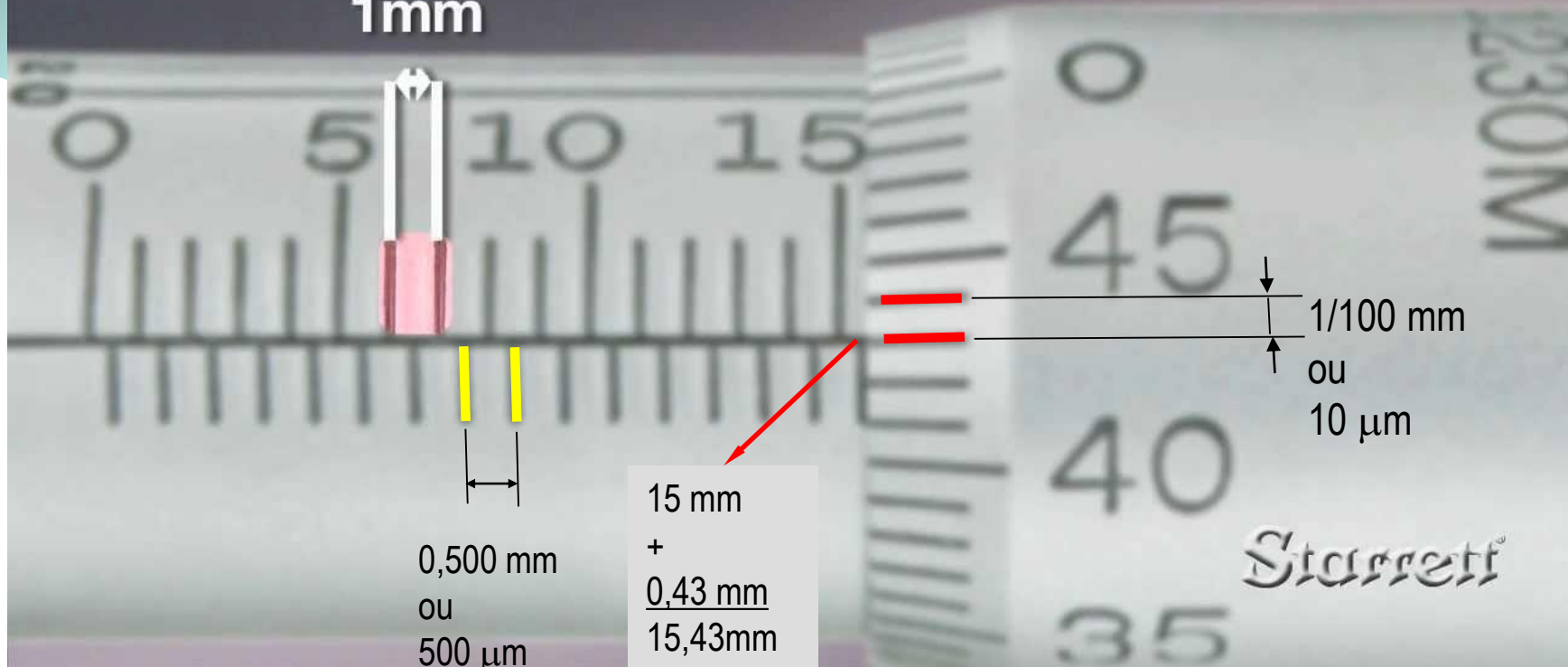
Micrometro para Rosca



Leitura no Micrometro Centesimal

- marcação na linha superior = 1 mm
- marcação na linha inferior = 0,5 mm

1mm



Leitura no Micrometro Centesimal



Leitura

12 mm lidos na escala retilínea

+

0,5 mm na escala retilínea dos meios

+

10/100 mm na escala móvel do tambor = 0,10 mm

Resultado = 12,60 mm

1 Divisão na escala retilínea = 1 mm

1 subdivisão na escala retilínea dos meios = 0,5 mm

1/100 na escala móvel do tambor = 0,01 mm



Leitura no Micrometro Centesimal



Leitura

5,0 mm lidos na escala retilínea

+

0,5 mm na escala retilínea dos meios

+

28/100 mm na escala móvel do tambor = 0,28 mm

+

3/1000 mm na escala vertical = 0,003 mm

Resultado = 5,783 mm

Exemplos de Leitura no Micrometro



+

+



REFERÊNCIAS

Silva, A., Ribeiro, C. T., Dias, J., Souza, L. **Desenho Técnico Moderno**. Ed. LTC, 4ª ed., 475p. 2006.

Agostinho, O., Rodrigues, A. C. S., Lirani, J. **Tolerâncias, Ajustes, Desvios e Análise de Dimensões**. Ed. Edgard Blücher, 43ª ed., 295p. 1977.

Novaski, O. **Introdução à Engenharia de Fabricação Mecânica**. Ed. Edgard Blücher, 1ª ed., 120p., 1994.

ABNT NBR ISO 2768-1:2001. Tolerâncias gerais - Parte 1: Tolerâncias para dimensões lineares e angulares sem indicação de tolerância individual.

ABNT NBR 6158:1995. Sistemas de tolerâncias e ajustes.