

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE SANTA CATARINA**  
**UNIDADE DE CHAPECÓ**  
**COORDENAÇÃO GERAL DE CURSOS TÉCNICOS**  
**CURSO TÉCNICO EM MECÂNICA INDUSTRIAL**



**MÓDULO I: METROLOGIA**

**MECÂNICA**

**CHAPECÓ**

**FEVEREIRO – 2007**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE SANTA CATARINA**  
**UNIDADE DE CHAPECÓ**  
**COORDENAÇÃO GERAL DE CURSOS TÉCNICOS**  
**CURSO TÉCNICO EM MECÂNICA**

# **Mecânica**

Material instrucional especialmente elaborado pelo Prof.  
Jeferson Ferreira Mocrosky, e Joel Brasil Borges, para  
uso exclusivo do CEFET/SC, Unidade de Chapecó.

Fevereiro

2007

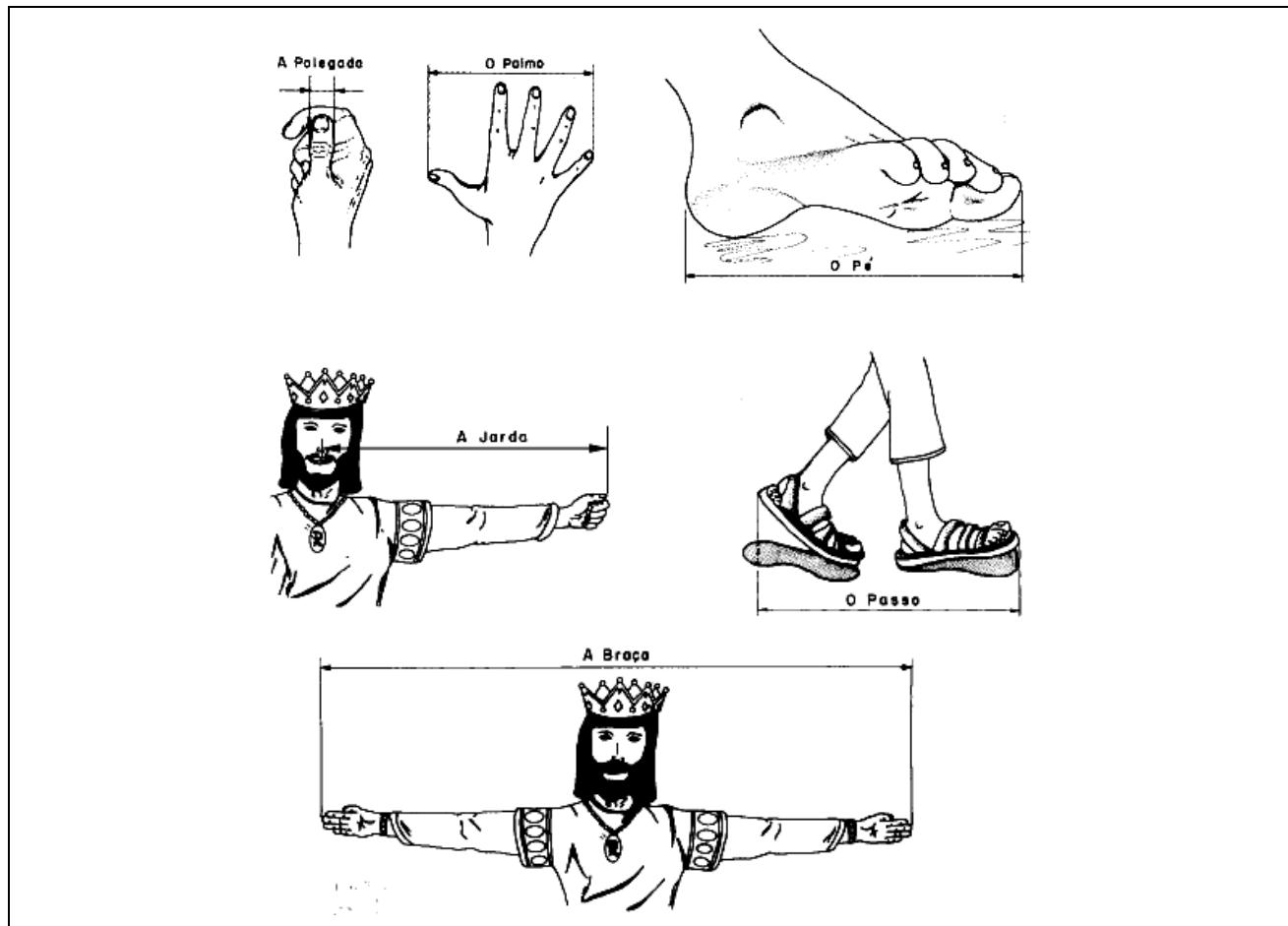
## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO A METROLOGIA	4
2	MEDIDAS E CONVERSÕES	17
2.1	Sistema inglês	17
3	INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO SIMPLES	21
3.1	Régua Graduada	21
3.2	Metro Articulado	21
3.3	Trena	22
4	PAQUÍMETRO	23
4.1	Paquímetro universal	23
4.2	Paquímetro de profundidade	24
4.3	Paquímetro duplo	25
4.4	Paquímetro digital	25
4.5	Traçador de altura	25
4.6	Princípio do nônio	26
4.7	Cálculo da resolução	27
4.8	Paquímetro no sistema métrico	27
4.9	Paquímetro no sistema inglês	28
4.10	Conservação do paquímetro	32
5	MICRÔMETRO	35
5.1	Micrometro no sistema métrico	39
5.2	Micrometro no sistema inglês	41
5.3	Micrometro interno	44
6	cALIBRADORES	45
7	VERIFICADORES	48
8	RELÓGIO COMPARADOR	50
9	GONIÔMETRO	53
10	TOLERÂNCIAS GEOMÉTRICAS E DE FORMA	55
10.1	Retilineidade	55
10.2	Planeza	56
10.3	Circularidade	57
10.4	Cilindricidade	58
10.5	Forma de uma linha qualquer	59
10.6	Forma de uma superfície qualquer	59
11	TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA DE ORIENTAÇÃO	61
11.1	Paralelismo	61
11.2	Perpendicularidade	61
11.3	Inclinação	63
12	TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA DE POSIÇÃO	65
12.1	Posição de um elemento	65
12.2	Concentricidade	66
12.3	Coaxialidade	67
12.4	Simetria	67
12.5	Tolerância de batimento	68
	REFERÊNCIAS	72

## 1 INTRODUÇÃO A METROLOGIA

Como fazia o homem, cerca de 4.000 anos atrás, para medir comprimentos?

As unidades de medição primitivas estavam baseadas em partes do corpo humano, que eram referências universais, pois ficava fácil chegar-se a uma medida que podia ser verificada por qualquer pessoa. Foi assim que surgiram medidas padrão como a polegada, o palmo, o pé, a jarda, a braça e o passo.



Algumas dessas medidas-padrão continuam sendo empregadas até hoje.

Veja os seus correspondentes em centímetros:

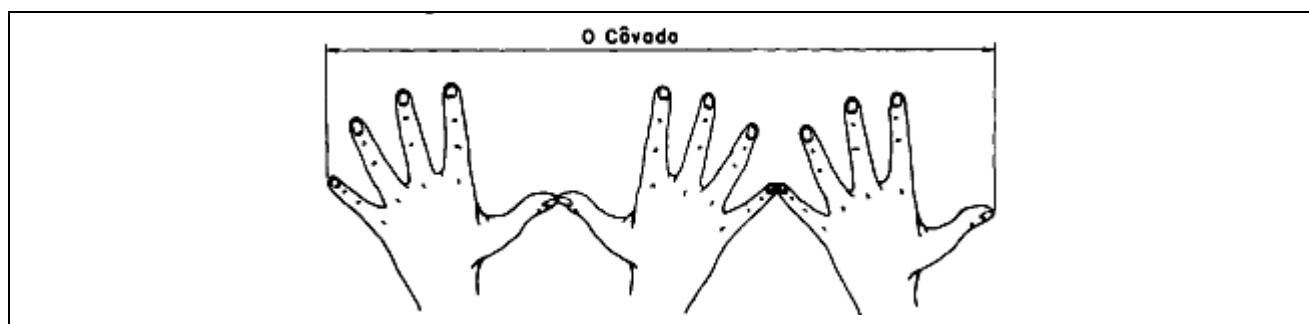
1 polegada = 2,54 cm

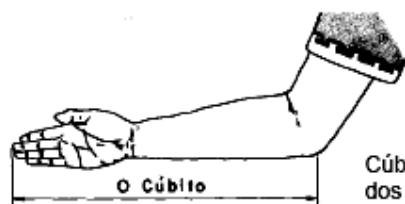
1 pé = 30,48 cm

1 jarda = 91,44 cm

O Antigo Testamento da Bíblia é um dos registros mais antigos da história da humanidade. E lá, no Gênesis, lê-se que o Criador mandou Noé construir uma arca com dimensões muito específicas, medidas em côvados.

O côvado era uma medida-padrão da região onde morava Noé, e é equivalente a três palmos, aproximadamente, 66 cm.





Cúbito é o nome de um dos ossos do antebraço

Em geral, essas unidades eram baseadas nas medidas do corpo do rei, sendo que tais padrões deveriam ser respeitados por todas as pessoas que, naquele reino, fizessem as medições.

Há cerca de 4.000 anos, os egípcios usavam, como padrão de medida de comprimento, o cíbito: distância do cotovelo à ponta do dedo médio.

Como as pessoas têm tamanhos diferentes, o cíbito variava de uma pessoa para outra, ocasionando as maiores confusões nos resultados nas medidas. Para serem úteis, era necessário que os padrões fossem iguais para todos.

Dante desse problema, os egípcios resolveram criar um padrão único: em lugar do próprio corpo, eles passaram a usar, em suas medições, barras de pedra com o mesmo comprimento. Foi assim que surgiu o cíbito-padrão. Com o tempo, as barras passaram a ser construídas de madeira, para facilitar o transporte. Como a madeira logo se gastava, foram gravados comprimentos equivalentes a um cíbito-padrão nas paredes dos principais templos. Desse modo, cada um podia conferir periodicamente sua barra ou mesmo fazer outras, quando necessário.

Nos séculos XV e XVI, os padrões mais usados na Inglaterra para medir comprimentos eram a polegada, o pé, a jarda e a milha. Na França, no século XVII, ocorreu um avanço importante na questão de medidas. A Toesa, que era então utilizada como unidade de medida linear, foi padronizada em uma barra de ferro com dois pinos nas extremidades e, em seguida, chumbada na parede externa do Grand Chatelet, nas proximidades de Paris. Dessa forma, assim como o cíbito-padrão, cada interessado poderia conferir seus próprios instrumentos. **Uma toesa é equivalente a seis pés, aproximadamente, 182,9 cm.**

Entretanto, esse padrão também foi se desgastando com o tempo e teve que ser refeito. Surgiu, então, um movimento no sentido de estabelecer uma unidade natural, isto é, que pudesse ser encontrada na natureza e, assim, ser facilmente copiada, constituindo um padrão de medida.

Havia também outra exigência para essa unidade: ela deveria ter seus submúltiplos estabelecidos segundo o sistema decimal. O sistema decimal já havia sido inventado na Índia, quatro séculos antes de Cristo.

Finalmente, um sistema com essas características foi apresentado por Talleyrand, na França, num projeto que se transformou em lei naquele país, sendo aprovada em 8 de maio de 1790. Estabelecia-se, então, que a nova unidade deveria ser igual à décima milionésima parte de um quarto do meridiano terrestre.



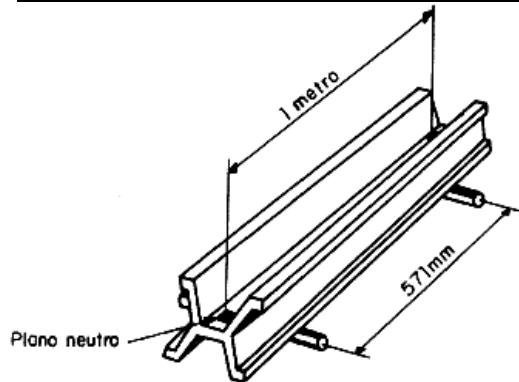
Finalmente, um sistema com essas características foi apresentado por Talleyrand, na França, num projeto que se transformou em lei naquele país, sendo aprovada em 8 de maio de 1790. Estabelecia-se, então, que a nova unidade deveria ser igual à décima milionésima parte de um quarto do meridiano terrestre.

Essa nova unidade passou a ser chamada metro (o termo grego *metron* significa medir). Os astrônomos franceses Delambre e Mechain foram incumbidos de medir o meridiano. Utilizando a toesa como unidade, mediram a distância entre Dunkerque (França) e Montjuich (Espanha).

Feitos os cálculos, chegou-se a uma distância que foi materializada numa barra de platina de secção retangular de 4,05 x 25 mm.

O comprimento dessa barra era equivalente ao comprimento da unidade padrão metro, que assim foi definido:

**Metro é a décima milionésima parte de um quarto do meridiano terrestre.**



Foi esse metro transformado em barra de platina que passou a ser denominado metro dos arquivos. Com o desenvolvimento da ciência, verificou-se que uma medição mais precisa do meridiano fatalmente daria um metro um pouco diferente. Assim, a primeira definição foi substituída por uma segunda:

**Metro é a distância entre os dois extremos da barra de platina depositada nos Arquivos da França e apoiada nos pontos de mínima flexão na temperatura de zero grau Celsius.**

Escolheu-se a temperatura de zero grau Celsius por ser, na época, a mais facilmente obtida com o gelo fundente.

No século XIX, vários países já haviam adotado o sistema métrico. No Brasil, o sistema métrico foi implantado pela Lei Imperial nº 1157, de 26 de junho de 1862. Estabeleceu-se, então, um prazo de dez anos para que padrões antigos fossem inteiramente substituídos.

Com exigências tecnológicas maiores, decorrentes do avanço científico, notou-se que o metro dos arquivos apresentava certos inconvenientes. Por exemplo, o paralelismo das faces não era assim tão perfeito. O material, relativamente mole, poderia se desgastar, e a barra também não era suficientemente rígida.

Para aperfeiçoar o sistema, fez-se um outro padrão, que recebeu:

- seção transversal em X, para ter maior estabilidade;
- uma adição de 10% de íridio, para tornar seu material mais durável;
- dois traços em seu plano neutro, de forma a tornar a medida mais perfeita.

Assim, em 1889, surgiu a terceira definição:

**Metro é a distância entre os eixos de dois traços principais marcados na superfície neutra do padrão internacional depositado no B.I.P.M. (Bureau International des Poids et Mesures), na temperatura de zero grau Celsius e sob uma pressão atmosférica de 760 mmHg e apoiado sobre seus pontos de mínima flexão.**

Atualmente, a temperatura de referência para calibração é de 20°C. É nessa temperatura que o metro, utilizado em laboratório de metrologia, tem o mesmo comprimento do padrão que se encontra na França, na temperatura de zero grau Celsius.

Ocorreram, ainda, outras modificações. Hoje, o padrão do metro em vigor no Brasil é recomendado pelo INMETRO, baseado na velocidade da luz, de acordo com decisão da 17ª Conferência Geral dos Pesos e Medidas de 1983. O INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial), em sua resolução 3/84, assim definiu o metro:

**Metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo, durante o intervalo de tempo de do segundo.**

$$\frac{1}{299.792.458}$$

É importante observar que todas essas definições somente estabeleceram com maior exatidão o valor da mesma unidade: **o metro**.

## MEDIDAS INGLESES

A Inglaterra e todos os territórios dominados há séculos por ela utilizavam um sistema de medidas próprio, facilitando as transações comerciais ou outras atividades de sua sociedade.

Acontece que o sistema inglês difere totalmente do sistema métrico que passou a ser o mais usado em todo o mundo. Em 1959, a jarda foi definida em função do metro, valendo 0,91440 m. As divisões da jarda (3 pés; cada pé com 12 polegadas) passaram, então, a ter seus valores expressos no sistema métrico:

- 1 yd (uma jarda) = 0,91440 m
- 1 ft (um pé) = 304,8 mm
- 1 inch (uma polegada) = 25,4 mm

## PADRÕES DO METRO NO BRASIL

Em 1826, foram feitas 32 barras-padrão na França. Em 1889, determinou-se que a barra nº 6 seria o metro dos Arquivos e a de nº 26 foi destinada ao Brasil. Este metro-padrão encontra-se no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas).

## **MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS DO METRO**

A tabela 1 apresenta os múltiplos e submúltiplos do metro, baseado no Sistema Internacional de Medidas (**SI**).

**Tabela 1 Multiplos e submultiplos do metro.**

Nome	Símbolo	Fator pelo qual a unidade é multiplicada
Exametro	Em	$10^{18} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ m$
Peptometro	Pm	$10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ m$
Terametro	Tm	$10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ m$
Gigametro	Gm	$10^9 = 1\ 000\ 000\ 000\ m$
Megametro	Mm	$10^6 = 1\ 000\ 000\ m$
Quilômetro	km	$10^3 = 1\ 000\ m$
Hectômetro	hm	$10^2 = 100\ m$
Decâmetro	dam	$10^1 = 10\ m$
Metro	m	$1 = 1m$
Decímetro	dm	$10^{-1} = 0,1\ m$
Centímetro	cm	$10^{-2} = 0,01\ m$
Milímetro	mm	$10^{-3} = 0,001\ m$
Micrometro	µm	$10^{-6} = 0,000\ 001\ m$
Nanometro	nm	$10^{-9} = 0,000\ 000\ 001\ m$
Picometro	pm	$10^{-12} = 0,000\ 000\ 000\ 001\ m$
Fentometro	fm	$10^{-15} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 001\ m$
Attometro	am	$10^{-18} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001\ m$

# **1.1. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES**

É um sistema coerente, pois as unidades derivadas são obtidas por um processo de multiplicação e divisão das unidades de base, sem utilização de fatores numéricos, exceto o número.

### **Exemplos:**

- Área	Distância x Distância	$\text{m}^2$
- Velocidade	Distância/Tempo	$\text{m/s}$
- Aceleração	Velocidade/Tempo	$\text{m/s}^2$
- Força	Massa x Aceleração	$1\text{N}$ $1\text{kgf}\cdot\text{m/s}^2$
- Pressão	Força/Área	$1\text{Pa}$ $1\text{N/m}^2$
- Energia	Força x Distância	$1\text{J}$ $1\text{N/m}^2$
- Potência	Energia/Tempo	$1\text{W}$ $1\text{J/s}$

## UNIDADES DE BASE

UNIDADES DE BASE	Unidade	Símbolo
Grandeza		
Comprimento	Metro	m
Massa	Quilograma	kg
Tempo	Segundo	s
Corrente elétrica	Ampére	A
Temperatura termodinâmica	Kelvin	K
Quantidade de matéria	Mol	mol
Intensidade luminosa	Candela	cd

## DEFINIÇÃO DAS UNIDADES DE BASE

**METRO:** é o comprimento do caminho percorrido pela luz no vácuo, no intervalo de tempo de  $1/299\ 792\ 458$  s. O valor exato da velocidade da luz é  $299\ 792\ 458$  m/s (constante física fundamental);

- **QUILOGRAMA:** massa de um cilindro de platina iridiada mantido pelo BIPM em Paris. É a única unidade ainda definida por um artefato:

- **SEGUNDO:** duração de 9.192.631.770 ciclos de radiação proveniente da transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133;
- **AMPÈRE:** corrente que produz uma força de  $2.10^{-7}$  newtons por metro de comprimento entre dois longos condutores afastados de um metro entre si;
- **KELVIN:** 1/273,16 da temperatura do ponto tríplice da água;
- **CANDELA:** intensidade luminosa em uma dada direção de uma fonte de radiação monocromática de freqüência  $540.10^{12}$  Hz e cuja intensidade radiante nesta direção é de 1/683 watts/esterradiano;
- MOL:** quantidade de substância de um sistema que contém tantos itens elementares quantos são os átomos em 0,012 kg de carbono 12.

#### UNIDADES SUPLEMENTARES

Grandezas	Unidade	Símbolo
Ângulo plano	Radiano	rad
Ângulo sólido	esterradiano	sr

#### UNIDADES DERIVADAS

Grandezas	Unidade	Símbolo
Área	Metro quadrado	$m^2$
Volume	Metro cúbico	$m^3$
Velocidade	Metro por segundo	$m/s$
Densidade de corrente	Ampére por metro quadrado	$A/m^2$
Luminânciā	Candela por metro quadrado	$cd/m^2$
Frequênciā	hertz	$Hz$ $s^{-1}$
Força	newton	$N$ $m.kg/s^2$
Pressão	pascal	$Pa$ $N/m^2$
Energia, trabalho	joule	$J$ $N.m$
Potênciā, fluxo radiante	watt	$W$ $J/s$
Carga elétrica	coulomb	$C$ $s.A$
Potencial elétrico, f.e.m.	volt	$V$ $W/A$
Resistênciā elétrica	ohm	$\Omega$ $V/A$
Condutânciā elétrica	siemens	$S$ $A/V$
Fluxo magnético	weber	$Wb$ $V.s$
Densidade de fluxo magnético	tesla	$T$ $Wb/m^2$ $N/(A.m)$
Temperatura	Grau Celsius	$^{\circ}C$
Fluxo luminoso	lumens	$lm$ $cd.sr$
Iluminânciā	lux	$Lx$ $lm/m^2$

#### Prefixos SI

Fator	Nome	Símbolo
$10^{18}$	Exa	E
$10^{15}$	peta	P
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	quilo	k
$10^2$	hecto	h
$10^1$	deca	da

Fator	Nome	Símbolo
$10^{-3}$	milí	m
$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	P

#### OBSERAÇÕES:

- Por motivos históricos, o nome da unidade SI de massa contém o prefixo quilo. Por convenção, os múltiplos e submúltiplos dessa unidade são formados pela adjunção de outros prefixos SI à palavra grama e ao símbolo g;
- Os prefixos desta tabela podem ser também empregados com unidades que não pertencem ao SI;

#### OUTRAS UNIDADES ACEITAS NO SI

Grandezas	Unidade	Símbolo	Equivalência
Ângulo plano	litro	L ou l	$0,001 m^3$
	grau	°	$\pi/180 rad$
	minuto	'	$\pi/10800 rad$
	segundo	"	$\pi/648000 rad$
Massa	tonelada	t	1000 kg
	minuto	min	60 s
	hora	h	3600 s
Tempo	dia	d	86400 s
	frequênciā	rotação por minuto	rpm

#### GRAFIA DAS UNIDADES

##### Grafia dos nomes de unidades

- Quando escritos por extenso, os nomes de unidades começam por letra minúscula, exceto o grau Celsius.  
Ex.: ampére, kelvin, newton;

- A unidade pode ser escrita por extenso ou representada pelo seu símbolo, não sendo admitidas combinações de partes escritas por extenso com partes expressas por símbolo.

Ex.: quilovolts por milímetro ou kV/mm.  
Assim sendo, é inadequado escrever quilovolts/mm.

### Plural dos nomes de unidades

Quando os nomes de unidades são escritos ou pronunciados por extenso, a formação do plural obedece às regras básicas:

- ⇒ Os prefixos são invariáveis;
- ⇒ Os nomes de unidades recebem a letra “s” quando:
  - São palavras simples. Ex: ampéres, candelas, joules, volts, mols, pascals, decibels;
  - São palavras compostas sem hífen. Ex: ampéres-horas, newtons-metros, pascals-segundos;

⇒ Os nomes ou partes dos nomes de unidades não recebem a letra “s” no final quando:

- Terminam pelas letras s, x, ou z. Ex: siemens, lux, hertz;
- Correspondem ao denominador de unidades compostas por divisão. Ex: quilômetros por hora, watts por esterradiano;
- Em palavras compostas, são elementos complementares de nomes de unidades ligados a estes por hífen ou preposição. Ex: anos-luz, elétron-luz, quilogramas-força.

### Grafia dos símbolos de unidades

- Os símbolos são invariáveis, não sendo admitido colocar, após o símbolo, seja ponto de abreviatura, seja “s” de plural, sejam sinais, letras ou índices;
- Os prefixos SI nunca são justapostos no mesmo símbolo. Ex.: **mµm** (milímicrometro) ao invés de **nm** (nanômetro);
- Os prefixos SI podem coexistir num símbolo composto por multiplicação ou divisão. Ex.: kN.cm, kV/mm;
- Os símbolos de uma mesma unidade podem coexistir num símbolo composto por divisão. Ex.: kWh/h;
- O símbolo é escrito no mesmo alinhamento do número a que se refere, e não como expoente ou índice. São exceções os símbolos das unidades não SI de ângulo plano ( $^{\circ}$  ‘ ‘), os expoentes dos símbolos que têm expoente, o sinal  $^{\circ}$  do símbolo do grau Celsius e os símbolos que têm divisão indicada por traço de fração horizontal;
- O símbolo de uma unidade composta por multiplicação pode ser formado pela justaposição dos símbolos componentes e que não cause ambigüidade ou mediante a colocação de um ponto entre os símbolos componentes, na base da linha ou a meia altura. Ex.: VA, kWh, N.m, m.s<sup>-1</sup>;

### Grafia dos números

As prescrições desta seção não se aplicam aos números que não representam quantidades por exemplo, numeração de elementos em seqüência, códigos de identificação, datas, números de telefones, etc.).

Para separar a parte inteira de parte decimal de um número, é empregada sempre uma vírgula;

quando o valor absoluto do número é menor que 1, coloca-se 0 à esquerda da vírgula;

Os números que representam quantias em dinheiro, ou quantidades de mercadorias, bens ou serviços em documentos para efeito fiscal, jurídico e/ou comercial, devem ser escritos com os algarismos separados em grupos de três, a contar da vírgula para a esquerda e para a direita, com pontos separando esses grupos entre si.

Nos demais casos são recomendados que os algarismos da parte inteira e os da parte decimal dos números sejam separados em grupos de três a contar da vírgula para a esquerda e para a direita, com pequenos espaços entre esses grupos (por exemplo, em trabalhos de caráter técnico ou científico), mas é também admitido que os algarismos da parte inteira e os da parte decimal sejam escritos seguidamente (isto é, sem separação em grupos);

Para exprimir números sem escrever ou pronunciar todos os seus algarismos:

- Para os números que representam quantias em dinheiro, ou quantidades de mercadorias, bens ou serviços, são empregadas, de uma maneira geral, as palavras:

Mil	= $10^3$	= 1000
Milhão	= $10^6$	= 1000 000
Bilhão	= $10^9$	= 1000 000 000
Trilhão	= $10^{12}$	= 1000 000 000 000

- Para trabalhos de caráter técnico ou científico, é recomendado o emprego dos prefixos SI ou fatores decimais.

### Espaçamento entre número e símbolo

O espaçamento entre o número e o símbolo da unidade correspondente deve atender à conveniência de cada caso, assim, por exemplo:

- Em frases de texto correntes, é dado normalmente o espaçamento correspondente a uma ou meia letra, mas não se deve dar espaçamento quando há possibilidade de fraude;
- Em colunas de tabelas, é facultado utilizar espaçamentos diversos entre os números e os símbolos das unidades correspondentes.

### Pronúncia dos múltiplos e submúltiplos decimais das unidades

Na forma oral, os nomes dos múltiplos e submúltiplos decimais das unidades são pronunciados por extenso, prevalecendo a sílaba tônica da unidade.

As palavras quilômetro, decímetro, centímetro e milímetro, consagradas pelo uso com o acento tônico deslocado para o prefixo, são as únicas exceções a esta regra.

Assim sendo, os outros múltiplos e submúltiplos decimais do metro devem ser pronunciados com o acento tônico na penúltima sílaba (me).

**Exemplos:** magametro, micrômetro (distinto de micrômetro instrumento de medição), nanômetro, etc.

## ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS

### Quantidade de algarismos significativos

Algarismos significativos são todos aqueles que possuem um significado físico e fornecem a informação real do valor de uma grandeza.

Ex.: 4,7 cm; 4,65 cm.

Os algarismos significativos do valor de uma grandeza são todos aqueles necessários na notação científica, exceto os expoentes de dez.

Ex.:  $1,20 \times 10^3$  (três algarismos significativos).

$2,450 \times 10^2$  (quatro algarismos significativos).

Os zeros que apenas indicam a ordem de grandeza do valor medido não são considerados algarismos significativos.

Ex.: 0,00350 (três algarismos significativos)

0,1 (um algarismo significativo)

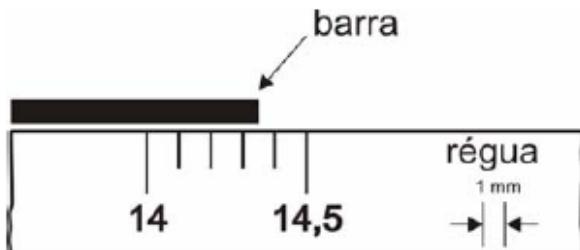
### Algarismos corretos e avaliados (interpolação)

Imagine que você esteja realizando a medida de um comprimento de uma barra com uma régua cuja menor divisão é de 1 mm.

Ao tentar expressar o resultado desta medida, você percebe que ela está compreendida entre 14,3 cm e 14,4 cm. A fração de milímetro que deverá ser acrescentada a 14,3 cm terá que ser avaliada, pois a régua não apresenta divisões inferiores a 1 mm.

Para fazer esta avaliação, você deverá imaginar o intervalo entre 14,3 e 14,4 cm subdividido em dez partes iguais, e, com isto, a fração de milímetro que deverá ser acrescentada a 14,3 cm poderá ser obtida com razoável aproximação.

Podemos avaliar a fração mencionada como sendo cinco décimos de milímetro e o resultado da medida poderá ser expresso como 14,35 cm.



Observe que estamos seguros com relação aos algarismos 1, 4 e 3, pois eles foram obtidos através de divisões inteiras da régua, ou seja, eles são algarismos corretos.

Entretanto, o algarismo 5 foi avaliado, isto é, você não tem muita certeza sobre o seu valor e outra pessoa poderia avaliá-lo como sendo 4 ou 6,

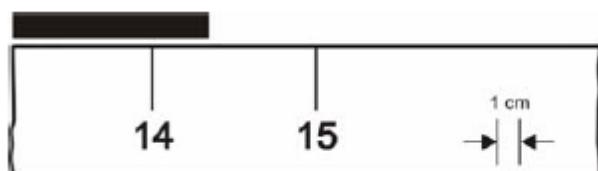
por exemplo. Por isto, este algarismo avaliado é chamado algarismo duvidoso ou algarismo incerto.

É óbvio que não haveria sentido em tentar descobrir qual algarismo deveria ser escrito na medida após o algarismo 5.

Para isto, seria necessário imaginar o intervalo de 1 mm dividido mentalmente em 100 partes iguais, o que evidentemente seria impossível. Portanto, se o resultado da medida fosse apresentado como 14,357 cm, por exemplo, poderíamos afirmar que a avaliação do algarismo 7 (segundo algarismo avaliado), não tem nenhum significado e assim, ele não deveria figurar no resultado.

Pelo que vimos acima, no resultado de uma medida devem figurar somente os algarismos corretos (exatos) e o primeiro algarismo avaliado. Esta maneira de proceder é adotada convenientemente na apresentação de resultados de medidas e são denominados **algarismos significativos**.

Desta maneira, o resultado da medida da figura anterior deve ser expresso como 14,35 cm. Se cada divisão de 1 mm da régua da figura anterior fosse realmente subdividida em 10 partes iguais, ao efetuarmos a leitura do comprimento da barra (usando, por exemplo, um microscópio), o algarismo 5 passaria a ser correto, pois iria corresponder a uma divisão inteira da régua. Neste caso, o algarismo seguinte seria o primeiro avaliado e passaria a ser, portanto um algarismo significativo. Se nesta avaliação fosse encontrado o algarismo 7, por exemplo, o resultado da medida poderia ser escrito como 14,357 cm, sendo todos estes algarismos significativos. Por outro lado, se a régua da figura não possuísse as divisões de milímetros, apenas os algarismos 1 e 4 seriam corretos.



O 3 seria o primeiro algarismo avaliado e o resultado da medida seria expresso por 14,3 cm, com apenas 3 algarismos significativos.

Observamos, portanto, que o número de algarismos significativos a serem apresentados, como resultado da medida de uma determinada grandeza, dependerá do instrumento utilizado.

A convenção de se apresentar o resultado de uma medida, contemplando apenas algarismos significativos, é adotada de maneira geral, não só em medições de comprimentos, mas também na medida de massas, temperaturas, forças etc.

Esta convenção é usada também ao se apresentar resultados de cálculos envolvendo medidas das grandezas. Quando alguém informar que mediou ou calculou a temperatura de um objeto e encontrou o valor de  $37,82^\circ\text{C}$ , você deverá entender que a medida ou cálculo foi feita de tal modo que os algarismos 3, 7 e 8 são corretos e o 2 é duvidoso.

A partir deste momento, podemos então compreender que 2 medidas expressas por 42 cm e 42,0 cm, não representam exatamente a mesma coisa. Na primeira o algarismo 2 é avaliado e não se tem certeza sobre o seu valor.

Na segunda, o algarismo 2 é correto sendo o zero duvidoso. Do mesmo modo, resultados como 7,65 kg e 7,67 kg, por exemplo, não são fundamentalmente diferentes, pois diferem apenas no algarismo duvidoso.

### REGRAS DE ARREDONDAMENTO

**Quando o algarismo seguinte ao último algarismo a ser conservado for inferior a 5, o último algarismo a ser conservado permanecerá sem modificação:**

1,333 arredondando para a primeira decimal resultam 1,3.

**Quando o algarismo seguinte ao último algarismo a ser conservado for superior ou igual a 5, o último algarismo a ser conservado deverá ser aumentado de uma unidade:**

1,666 arredondando para a primeira casa decimal resultam 1,7;

4,8505 arredondando para a primeira casa decimal resultam 4,9.

### Operações de adição e subtração

Suponha que se deseje adicionar ou subtrair as seguintes parcelas:

$$2807,5 + 0,0648 + 83,645 + 525,35$$

Para que o resultado da adição contenha apenas algarismos significativos, deveremos inicialmente observar qual das parcelas possui o menor número de casas decimais. No exemplo acima, é a parcela 2807,5 com apenas uma casa decimal.

Esta parcela será mantida como está e as demais parcelas deverão ser arredondadas de modo a ficar com o mesmo número de casas decimais que ela.

Utilizando-se as regras para arredondamento descritas anteriormente, as parcelas agora arredondadas para uma casa decimal ficarão:

$$2807,5 + 0,1 + 83,6 + 525,4 = 3416,6$$

$$2807,5 - 0,1 - 83,6 - 525,4 = 1898,4$$

### Operações de multiplicação e divisão

Multiplica-se e divide-se normalmente, conservando no resultado a quantidade de casas decimais do termo que as tiver em menor quantidade.

$$\text{Ex.: } 6,1 \times 4,9 = 29,89 \rightarrow 29,9$$

### Observações:

- Quando realizamos mudanças de unidades, devemos tomar cuidado para não escrever zeros que não são significativos. Por exemplo, suponha que ao expressar em gramas uma medida de 7,3 kg = 7300 g, estaríamos dando

a idéia errônea de que o três é um algarismo correto, sendo o último zero um algarismo duvidoso. Para evitar este erro de interpretação, lançamos mão da notação científica e escrevemos  $7,3 \text{ kg} = 7,3 \cdot 10^3 \text{ g}$ . Desta forma, a mudança de unidade foi feita e continuamos a indicar que o três é o algarismo duvidoso;

- Quando se tratar de operações com números inteiros, por exemplo, os termos de um número fracionário, não se aplicam as regras aqui expostas.

$$\text{Ex.: } 7/16'' = 0,4375''$$

$$3/8'' = 0,375''$$

- Quando se tratar de operações de raiz quadrada de um número com  $n$  algarismos, o resultado deverá conter no máximo  $n$  algarismos significativos e no mínimo  $n-1$  algarismos significativos.

### ANOTAÇÕES

Verificando o entendimento:

Exercícios:

Efetuar as operações abaixo.

1) Expressar:

- A) Área =
- B) Velocidade =
- C) Aceleração =
- D) Força =
- E) Joule =
- F) Potência =

G)

Grandezas	Unidade	Símbolo
Comprimento		
Massa		
Tempo		
Corrente elétrica		
Temperatura termodinâmica		
Quantidade de matéria		
Intensidade luminosa		
Ângulo plano		
Ângulo sólido		
Área		
Volume		
Velocidade		
Densidade de corrente		
Luminância		
Frequência		
Força		
Pressão		
Energia, trabalho		
Potência		
Potencial elétrico, f.e.m.		
Resistência elétrica		
Temperatura		

2) **DEFINA:**  
a) **Metro:**

b) **Quilograma:**

c) **Segundo:**

d) **Kelvin:**

e) **MOL:**

3) Relacione os fatores e prefixos do SI, aos respectivos nomes e símbolos

Fator	Nome	Símbolo
$10^{18}$		
$10^{15}$		
$10^{12}$		
$10^9$		
$10^6$		
$10^3$		
$10^2$		
$10^1$		

Fator	Nome	Símbolo
$10^{-3}$		
$10^{-6}$		
$10^{-9}$		
$10^{-12}$		

### ARQUIMEDES: ☺

Foi um dos poucos pensadores gregos que realizaram experiências para provar suas teorias. Inventou diversos dispositivos mecânicos, como a alavaca, a roldana, o parafuso e a roda dentada.

#### **Arquimedes disse:**

“Dá-me um ponto de apoio que levantarei o mundo”.

⇒ Algumas leis da física sobre corpos flutuantes estabelecidas por Arquimedes são aceitas até hoje.

4) Muitos padrões de medidas de grandezas foram criados por povos diversos em diferentes épocas. Em 1948 o Comitê internacional de Pesos e Medidas começou a estudar uma regulamentação completa, cujo trabalho foi concluído seis anos depois. Em 1969 foi criado o Sistema Internacional de Unidades (SI), cujas unidades de comprimento, massa e tempo foram regulamentadas. (PARANÁ, 1993). Diante deste contexto, analise as afirmativas abaixo.

- I) Quando escritos por extenso, os nomes de unidades começam por letra minúscula, exceto o grau Celsius.
  - II) Os prefixos SI podem coexistir num símbolo composto por multiplicação ou divisão, com por exemplo  $kN.cm$ , que significa quilo newton vezes centímetro.
  - III) Um grau possui 3660 segundos.

Agora, marque a alternativa correta.

a) Somente a I está correta.  
b) Somente a II está correta  
c) Somente a III está correta  
d) I e II estão corretas  
e) I e III estão corretas.

- 5) Calcule quantos gramas estão contidos em:

$75 \text{ kg} =$	$1,5 \text{ ton} =$
$10^{-5} \text{ kg} =$	$0,8 \text{ mg} =$

- 6) Calcule quantos metros estão contidos em:

$108 \text{ km} =$	$10^3 \text{ cm} =$
$10^{-2} \text{ mm} =$	$1 \text{ km} =$

- 7) Um recipiente de 2 ℥ está cheio de bolinhas de isopor, de volume aproximadamente igual a  $4 \cdot 10^{-3}$   $\text{cm}^3$  cada uma. Sabendo que 1 ℥ =  $1000 \text{ cm}^3$ , quantas bolinhas de isopor há no recipiente?

- 8) No S.I, a unidade de comprimento é:



- 9) Se colocados, um em seguida ao outro, os cigarros de 100mm consumidos durante dez anos por um fumante que, sistematicamente, fumassem vinte cigarros por dia, seria possível cobrir uma distância, em metros de:

- a)  $5.7 \cdot 10^3$       b)  $7.3 \cdot 10^3$       c)  $8.2 \cdot 10^3$       d)  $9.6 \cdot 10^3$       e)  $15 \cdot 10^3$

- 10) O volume de uma placa retangular com lados iguais a 40 cm e 1,2m e espessura de 2mm

**FORÇA:** ⇒ Agente capaz de modificar a forma ou o estado de movimento de um corpo e, às vezes, ambos:

Exemplo: Deformação = Elástica ou

QUILOGRAMA FORÇA (kgf) – Relaciona-se com Newton:

**1 kgf = 9,8 N** ⇒ podendo-se usar de forma aproximada **1 kgf = 10 N.**

## PESO x MASSA

De acordo com Isaac Newton, a matéria (massa) atrai a matéria (massa). Como a atração é função direta da massa em questão, quanto maior forem elas, maior será a atração e vice-versa.

### Diferenças entre pesos e massas

1<sup>a</sup> Diferença

Peso: Grandeza vetorial - Massa: Grandeza escalar.

2<sup>a</sup> Diferença

*Instrumento de medida* – Peso: Dinamômetro ou balança de mola - Massa: Balança.

3<sup>a</sup> Diferença ( Sistema MKS)

Peso: (N) - Massa: (kg)

*Formula do Peso:  $P = m \cdot g \Rightarrow g = \text{gravidade} = 9,8 \text{ m/s}^2 \approx 10 \text{ ms}^{-2}$*

## GRANDEZAS FUNDAMENTAIS DA MECÂNICA

Velocidade → Grandeza (porque se mede) - km/h (m/s)	Massa → Grandeza (porque se mede) – Quilograma	Tempo → Grandeza (porque se mede) minuto, segundo.
---	--	--

**Exemplos e aplicações**

1. No dimensionamento de circuitos automáticos e em outras aplicações na engenharia, utilizada a unidade de pressão bar =  $10^5$  N/m<sup>2</sup> (pascal). Expressar bar em:

- a) kgf/m<sup>2</sup>      b)Kgf/cm<sup>2</sup>      c)Kgf/mm<sup>2</sup>

Dados                    Kgf =                    9,80665N

**a)      bar para kgf/m<sup>2</sup>**

**b)      bar para kgf/cm<sup>2</sup>**

c)      bar para kgf/mm<sup>2</sup>

2. A produção de petróleo no Brasil, em 1994, foi de 500.000 barris/dia. Essa produção equivale a:

- a) Quantos litros de petróleo/dia;
- b) Quantos metros cúbicos de petróleo/dia;

## 2 MEDIDAS E CONVERSÕES

### 2.1 Sistema inglês

O sistema inglês tem como padrão a jarda. A jarda também tem sua história. Esse termo vem da palavra inglesa yard que significa “vara”, em referência a uso de varas nas medições. Esse padrão foi criado por alfaiates ingleses.

No século XII, em consequência da sua grande utilização, esse padrão foi oficializado pelo rei Henrique I. A jarda teria sido definida, então, como a distância entre a ponta do nariz do rei e a de seu polegar, com o braço esticado.

A exemplo dos antigos bastões de um cíbito, foram construídas e distribuídas barras metálicas para facilitar as medições. Apesar da tentativa de uniformização da jarda na vida prática, não se conseguiu evitar que o padrão sofresse modificações.

As relações existentes entre a jarda, o pé e a polegada também foram instituídas por leis, nas quais os reis da Inglaterra fixaram que:

1 pé	= 12 polegadas
1 jarda	= 3 pés
1 milha terrestre	= 1.760 jardas

#### Leitura de medidas em polegadas

$\frac{1}{2}''$	= Meia polegada
$\frac{1}{4}''$	= um quarto de polegada
$\frac{1}{8}''$	= um oitavo de polegada
$\frac{1}{16}''$	= um desesseis avos de polegada
$\frac{1}{32}''$	= um trinta e dois avos de polegada.
$\frac{1}{64}''$	= um sessenta e quatro avos de polegada.
$\frac{1}{128}''$	= um cento e vinte e oito avos de polegada.

Os numeradores das frações devem ser números ímpares;

$\frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{5}{8}, \frac{15}{16}, \dots$

Quando o numerador for par, deve-se proceder à simplificação da fração:

$$\frac{6}{8}'' \div \frac{2}{2}'' \Rightarrow \frac{3}{4}''$$

$$\frac{8}{64}'' \div \frac{8}{8}'' \Rightarrow \frac{1}{8}''$$

#### Sistema inglês – Fração decimal

A divisão da polegada em submúltiplos de  $\frac{1}{2}''$ ,  $\frac{1}{4}''$ ,  $\frac{1}{8}''$ , em vez de facilitar, complica os cálculos na indústria. Por essa razão, criou-se a divisão decimal da polegada. Na prática, a polegada subdivide-se em milésimo e décimos de milésimo.

Por exemplo:

- a)  $1.003'' = 1$  polegada e 3 milésimos
- b)  $1.1247'' = 1$  polegada e 1 247 décimos de milésimos
- c)  $.725'' = 725$  milésimos de polegada

Note que, no sistema inglês, o ponto indica separação de decimais. Nas medições em que se requer maior exatidão, utiliza-se a divisão de milionésimos de polegada, também chamada de micropolegada. Em inglês, “micro inch”. É representado por  $m\text{ inch}$ .

Exemplo:

$$.000\ 001'' = 1\text{ m inch}$$

#### Conversões

Sempre que uma medida estiver em uma unidade diferente da dos equipamentos utilizados, deve-se convertê-la (ou seja, mudar a unidade de medida). Para converter polegada fracionária em milímetro, deve-se multiplicar valor em polegada fracionária por 25,4.

Exemplos:

a)  $2'' = 2 \times 25,4 = 50,8\text{ mm}$

b)  $\frac{3}{8}'' \div \frac{3 \times 25,4}{8} = \frac{76,2}{8} = 9,525$

#### Exercícios.

Faça a conversão de polegada fracionada em milímetros

a)	$\frac{5}{32}''$	=
b)	$\frac{5}{16}''$	=
c)	$\frac{1}{128}''$	=
d)	$5''$	=
e)	$1\frac{5}{8}''$	=
f)	$\frac{3}{4}''$	=
g)	$\frac{27}{64}''$	=
h)	$\frac{33}{128}''$	=
i)	$2\frac{1}{8}''$	=

j)  $3\frac{5}{8}'' =$

A conversão de milímetro em polegada fracionária é feita dividindo-se o valor em milímetro por 25,4 e multiplicando-o por 128. O resultado deve ser escrito como numerador de uma fração cujo denominador é 128. Caso o numerador não dê um número inteiro, deve-se arredondá-lo para o número inteiro mais próximo.

Exemplos:

a) 12,7 mm

$$12,7 = \frac{\left(\frac{12,7}{25,4}\right) \times 128}{128} = \frac{0,5 \times 128}{128} = \frac{64''}{128}$$

Simplificando:

$$\frac{64''}{128} = \frac{32}{64} = \frac{16}{32} = \frac{8}{16} = \frac{4}{8} = \frac{2}{4} = \frac{1''}{2}$$

b) 19,8";

$$19,8 = \frac{\left(\frac{19,8}{25,4}\right) \times 128}{128} = \frac{99''}{128}, \text{ arredondando;}$$

$$\frac{100''}{128} \text{ Simplificando } \frac{100}{128} = \frac{50}{64} = \frac{25}{32}''$$

Regra prática - Para converter milímetro em polegada ordinária, basta multiplicar o valor em milímetro por 5,04, mantendo-se 128 como denominador. Arredondar, se necessário.

Exemplos:

a)  $\frac{12,7 \times 5,04}{128}'' = \frac{64,008}{128} \rightarrow \text{arredondando } \frac{64}{128}''$

simplificando:

$$\frac{64}{128}'' = \frac{1}{2}''$$

b) arredondando  $\frac{100}{128}''$

simplificando;

$$\frac{100}{128}'' = \frac{25}{32}''$$

Observação: O valor 5,04 foi encontrado pela relação  $\frac{128}{25,4}'' = 5,03937$  que arredondada é igual a 5,04.

### Exercícios

a) 1,5875 mm	
b) 19,05 mm	
c) 25,00 mm	
d) 31,750 mm	
e) 127,00 mm	
f) 9,9219 mm	
g) 4,3656 mm	
h) 10,319 mm	
i) 14,684 mm	
j) 18,256 mm	
l) 88,900 mm	
m) 133,350 mm	

A polegada milesimal é convertida em polegada fracionária quando se multiplica a medida expressa em milésimo por uma das divisões da polegada, que passa a ser o denominador da polegada fracionária resultante.

Exemplo:

Escolhendo a divisão 128 da polegada, usaremos esse número para:

- multiplicar a medida em polegada milesimal:  $.125'' \times 128 = 16''$ ;
- figurar como denominador (e o resultado anterior como numerador):

Exemplo:

a)  $\frac{16}{128}'' = \frac{8}{64}'' \dots \frac{1}{8}''$

b) Converter 0,750" em polegada fracionária;

$$\frac{.750}{128}'' \times 128 = \frac{96}{128}'' \dots = \frac{3}{4}''$$

### Exercícios

Converter polegada milesimal em polegada fracionária:

a) .625"	
b) .1563"	
c) .3125"	
d) .9688"	
e) 1.5625"	
f) 4.750"	

Para converter polegada fracionária em polegada milesimal, divide-se o numerador da fração pelo seu denominador.

Exemplos;

$$a) \frac{5}{8} = \frac{5}{8} = .375"$$

$$b) \frac{5}{16} = \frac{5}{16} = .3125"$$

Exercícios

Converter polegada fracionária em polegada milesimal:

a) $\frac{5}{8}$	
b) $\frac{17}{32}$	
c) $1\frac{1}{8}$	
d) $2\frac{9}{16}$	

Para converter polegada milesimal em milímetro, basta multiplicar o valor por 25,4.

Exemplo:

Converter .375" em milímetro:  $.375" \times 25,4 = 9,525$  mm

Exercícios

a) .6875"	
b) .3906"	
c) 1.250"	
d) 2.7344"	

Para converter milímetro em polegada milesimal, basta dividir o valor em milímetro por 25,4.

Exemplos:

$$a) 5,08 \text{ mm} = \frac{5,08}{25,4} = .200"$$

$$b) 18 \text{ mm} = \frac{18}{25,4} = .7086" \text{ arredondando} = .709"$$

Exercícios

Converter milímetro em polegada milesimal.

$$a) 12,7 \text{ mm} =$$

$$b) 1.588 \text{ mm} =$$

$$c) 17 \text{ mm} =$$

$$d) 20,240 \text{ mm} =$$

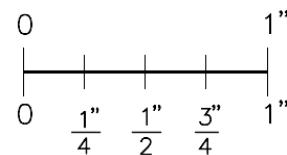
$$e) 57,15 \text{ mm} =$$

$$f) 139,70 \text{ mm} =$$

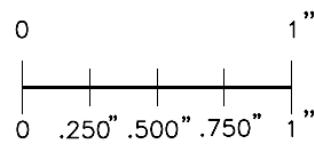
### Representação gráfica

A equivalência entre os diversos sistemas de medidas, vistos até agora, pode ser melhor compreendida graficamente.

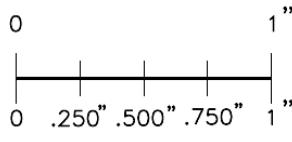
#### Sistema inglês de polegada fracionária



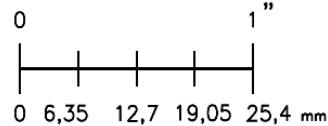
#### Sistema inglês de polegada milesimal



#### Sistema inglês de polegada milesimal



#### Sistema métrico



Marque com um X a resposta correta.

**Exercício 1**

A Inglaterra e os Estados Unidos adotam como medida-padrão:

- a) (  ) a jarda;
- b) (  ) o côvado;
- c) (  ) o passo;
- d) (  ) o pé.

**Exercício 2**

Um quarto de polegada pode ser escrito do seguinte modo:

- a) (  )  $1 \cdot 4$
- b) (  )  $1 \times 4$
- c) (  )  $\frac{1}{4}$ "
- d) (  )  $1 - 4$

**Exercício 3**

2" convertidas em milímetro correspondem a:

- a) (  ) 9,52 mm;
- b) (  ) 25,52 mm;
- c) (  ) 45,8 mm;
- d) (  ) 50,8 mm.

**Exercício 4**

12,7 mm convertidos em polegada correspondem a:

- a) (  )  $\frac{1}{4}$ "
- b) (  )  $\frac{1}{2}$ "
- c) (  )  $\frac{1}{8}$ "
- d) (  )  $\frac{9}{16}$ "

### 3 INSTRUMENTOS DE MEDAÇÃO SIMPLES

#### 3.1 Régua Graduada

A régua graduada, o metro articulado e a trena são os mais simples entre os instrumentos de medida linear. A régua apresenta-se, normalmente, em forma de lâmina de aço-carbono ou de aço inoxidável, conforme figura 1. Nessa lâmina estão gravadas as medidas em centímetro (cm) e milímetro (mm), conforme o sistema métrico, ou em polegada e suas frações, conforme o sistema inglês.



Figura 1 Foto de um exemplo de régua graduada.

Fonte: TELECURSO 2000 Profissionalizante: metrologia – aula 3

Utiliza-se a régua graduada nas medições com erro admissível superior à menor graduação. Normalmente, essa graduação equivale a 0,5 mm ou  $\frac{1}{32}$ ". As réguas graduadas apresentam-se nas dimensões de 150, 200, 250, 300, 500, 600, 1000, 1500, 2000 e 3000 mm. As mais usadas na oficina são as de 150 mm (6") e 300 mm (12").

#### TIPOS E USOS

A figura 2 mostra um desenho representativo de régua graduada, onde em (A) a régua é sem encosto e em (B) a régua graduada com encosto, destinada a medição de comprimento a partir de uma face externa, a qual é utilizada como encosto.

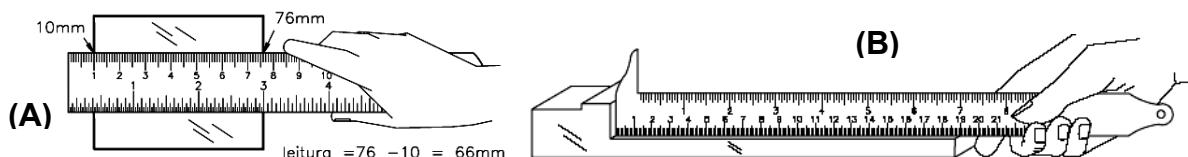


Figura 2 Foto de um exemplo de régua graduada.

Fonte: TELECURSO 2000 Profissionalizante: metrologia – aula 3

#### CARACTERÍSTICAS

De modo geral, uma escala de qualidade deve apresentar bom acabamento, bordas retas e bem definidas, e faces polidas.

As réguas de manuseio constante devem ser de aço inoxidável ou de metais tratados termicamente. É necessário que os traços da escala sejam gravados, bem definidos, uniformes, equidistantes e finos.

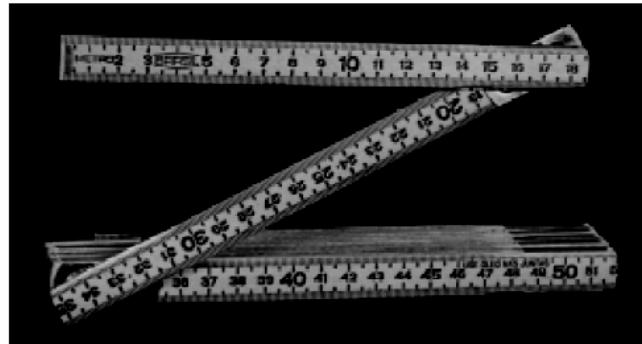
A retitude e o erro máximo admissível das divisões obedecem a normas internacionais.

#### CONSERVAÇÃO

- Evitar que a régua caia ou a escala fique em contato com as ferramentas comuns de trabalho;
- Evitar riscos ou entalhes que possam prejudicar a leitura da graduação;
- Não flexionar a régua: isso pode empená-la ou quebrá-la;
- Não utilizá-la para bater em outros objetos;
- Limpá-la após o uso, removendo a sujeira. Aplicar uma leve camada de óleo fino, antes de guardar a régua graduada.

#### 3.2 Metro Articulado

A figura 3 mostra um exemplo de metro articulado, usado para medições lineares. Pode ser fabricado em madeira, alumínio ou fibra.



**Figura 3** Foto de um metro articulado e das faces graduadas.

Fonte: TELECURSO 2000 Profissionalizante: metrologia – aula 3

No comércio o metro articulado é encontrado nas versões de 1 m e 2 m.

A leitura das escalas de um metro articulado é bastante simples: faz-se coincidir o zero da escala, isto é, o topo do instrumento, com uma das extremidades do comprimento a medir. O traço da escala que coincidir com a outra extremidade indicará a medida.

### CONSERVAÇÃO

- Abrir o metro articulado de maneira correta;
- Evitar que ele sofra quedas e choques;
- Lubrificar suas articulações.

### 3.3 Trena

A figura 4 mostra exemplos de trena, que Trata-se de um instrumento de medição constituído por uma fita de aço, fibra ou tecido, graduada em uma ou em ambas as faces, no sistema métrico e/ou no sistema inglês, ao longo de seu comprimento, com traços transversais.

Em geral, a fita está acoplada a um estojo ou suporte dotado de um mecanismo que permite recolher a fita de modo manual ou automático. Tal mecanismo, por sua vez, pode ou não ser dotado de trava.



**Figura 4** Foto de um metro articulado e das faces graduadas.

Fonte: TELECURSO 2000 Profissionalizante: metrologia – aula 3

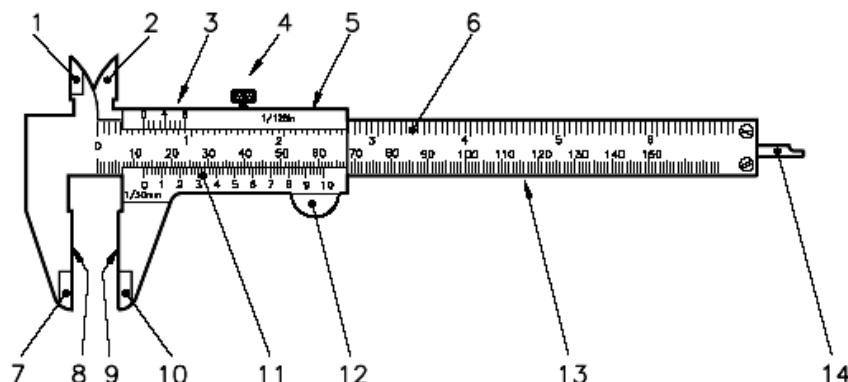
A fita das trenas de bolso são de aço fosfatizado ou esmaltado e apresentam largura de 12,7 mm e comprimento entre 2 m e 5 m.

Quanto à geometria, as fitas das trenas podem ser planas ou curvas. As de geometria plana permitem medir perímetros de cilindros, por exemplo.

**Resolver o exercício 1 IMS.**

#### 4 PAQUÍMETRO

O paquímetro (fig 5) é um instrumento usado para medir as dimensões lineares internas, externas e de profundidade de uma peça. Consiste em uma régua graduada, com encosto fixo, sobre a qual desliza um cursor.



- Figura 5 Representação esquemática de um paquímetro e identificação de suas partes.**
- Fonte: TELECURSO 2000 Profissionalizante: metrologia – aula 4

O cursor ajusta-se à régua e permite sua livre movimentação, com um mínimo de folga. Ele é dotado de uma escala auxiliar, chamada nônia ou vernier.

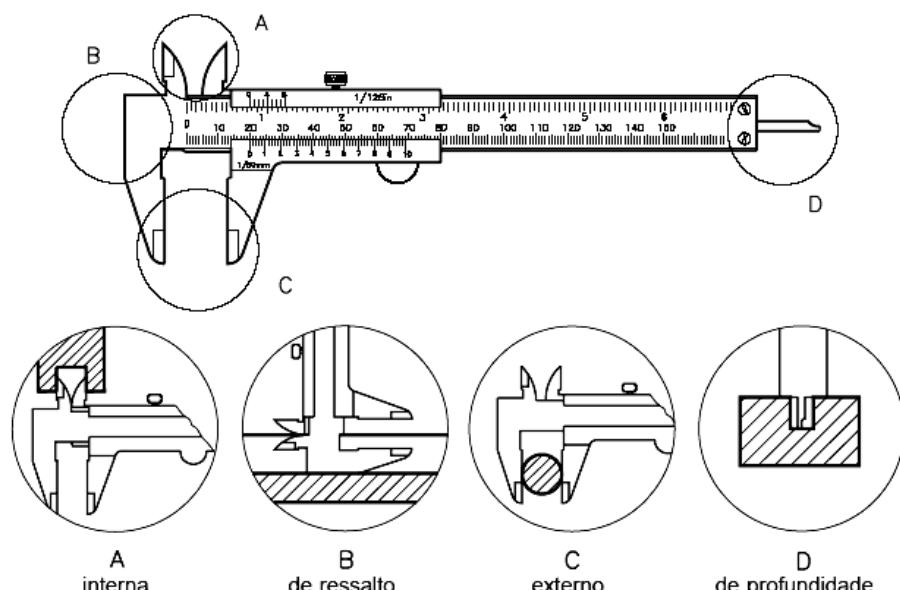
Essa escala permite a leitura de frações da menor divisão da escala fixa. O paquímetro é usado quando a quantidade de peças que se quer medir é pequena. Os instrumentos mais utilizados apresentam uma resolução de:

$0,05 \text{ mm}, 0,02 \text{ mm}, \frac{1}{128}'' \text{ ou } .001''$

As superfícies do paquímetro são planas e polidas, e o instrumento geralmente é feito de aço inoxidável. Suas graduações são calibradas a 20°C.

#### 4.1 Paquímetro universal

O paquímetro universal (fig. 6) é utilizado em medições internas, externas, de profundidade e de ressaltos. Trata-se do tipo mais usado.



**Figura 6 Desenho representativo de um paquímetro universal e quatro vistas em detalhes de medição.**

Fonte: TELECURSO 2000 Profissionalizante: metrologia – aula 4

O paquímetro universal pode possuir um relógio acoplado ao cursor, como mostra a figura 5, que facilita a leitura agilizando a medição.

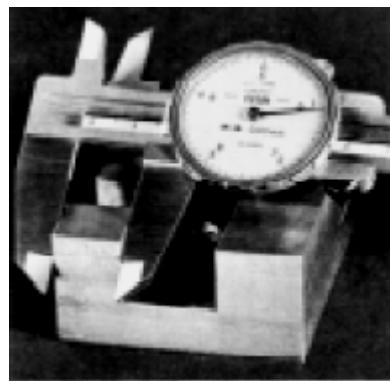


Figura 7 Foto de um paquímetro universal com medidor de ponteiros acoplado ao cursor.

Fonte: TELECURSO 2000 Profissionalizante: metrologia – aula 4

Outra versão do paquímetro universal é apresentada na figura 5. O paquímetro com bico móvel, também conhecido com basculante é empregado para medir peças cônicas ou peças com rebaixos de diâmetros diferentes.



Figura 8 Foto de uma operação de medição com paquímetro universal de bico móvel.

Fonte: TELECURSO 2000 Profissionalizante: metrologia – aula 4

#### 4.2 Paquímetro de profundidade

O paquímetro de profundidade (fig. 9) serve para medir a profundidade de furos não vazados, rasgos, rebaixos etc. Esse tipo de paquímetro pode apresentar haste simples ou haste com gancho.

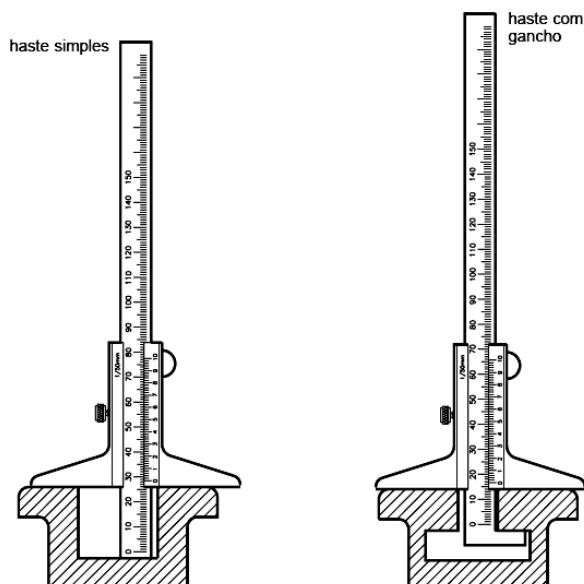


Figura 9 Desenho representativo de dois paquímetros de profundidade, com haste simples e com haste gancho.

Fonte: TELECURSO 2000 Profissionalizante: metrologia – aula 4

#### 4.3 Paquímetro duplo

O paquímetro duplo (fig. 10) é usado para medir dentes de engrenagens.

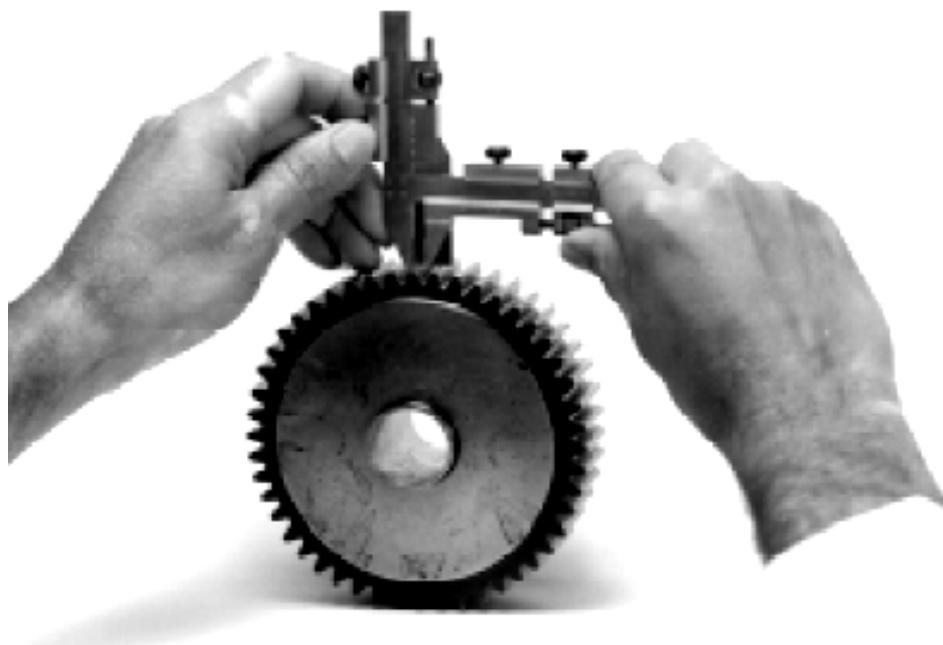


Figura 10 Foto de uma operação de medição usando um paquímetro duplo.

Fonte: TELECURSO 2000 Profissionalizante: metrologia – aula 4

#### 4.4 Paquímetro digital

O paquímetro digital mostrado na figura 11 é utilizado para leitura rápida, livre de erro de paralaxe, e ideal para controle estatístico.



Figura 11 Foto de dois paquímetros digitais.

Fonte: TELECURSO 2000 Profissionalizante: metrologia – aula 4

#### 4.5 Traçador de altura

O traçador de altura, figura 12, Esse instrumento baseia-se no mesmo princípio de funcionamento do paquímetro, apresentando a escala fixa com cursor na vertical. É empregado na traçagem de peças, para facilitar o processo de fabricação e, com auxílio de acessórios, no controle dimensional.



Figura 12 Foto de dois paquímetros digitais.

Fonte: TELECURSO 2000 Profissionalizante: metrologia – aula 4

#### 4.6 Princípio do nônio

A escala do cursor, mostrada na figura 13, é chamada de nônio ou vernier, em homenagem ao português Pedro Nunes e ao francês Pierre Vernier, considerados seus inventores. O nônio possui uma divisão a mais que a unidade usada na escala fixa.

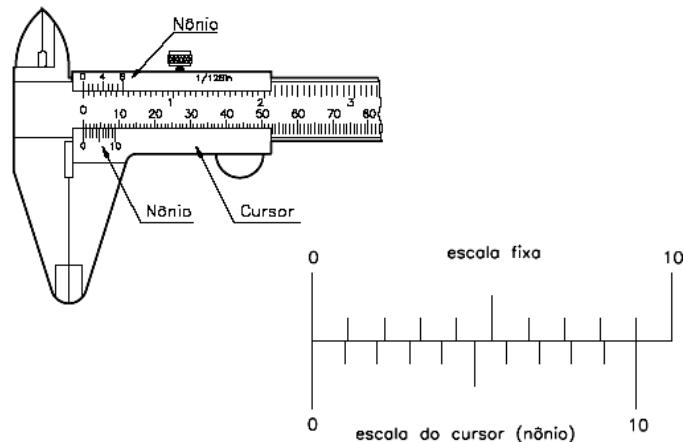


Figura 13 Desenho esquemático de um paquímetro mostrando o nônio em detalhe e a escala fixa.

Fonte: TELECURSO 2000 Profissionalizante: metrologia – aula 4

No sistema métrico, existem paquímetros em que o nônio possui dez divisões equivalentes a nove milímetros (9 mm). Há, portanto, uma diferença de 0,1 mm entre o primeiro traço da escala fixa e o primeiro traço da escala móvel, como mostra a figura 14.

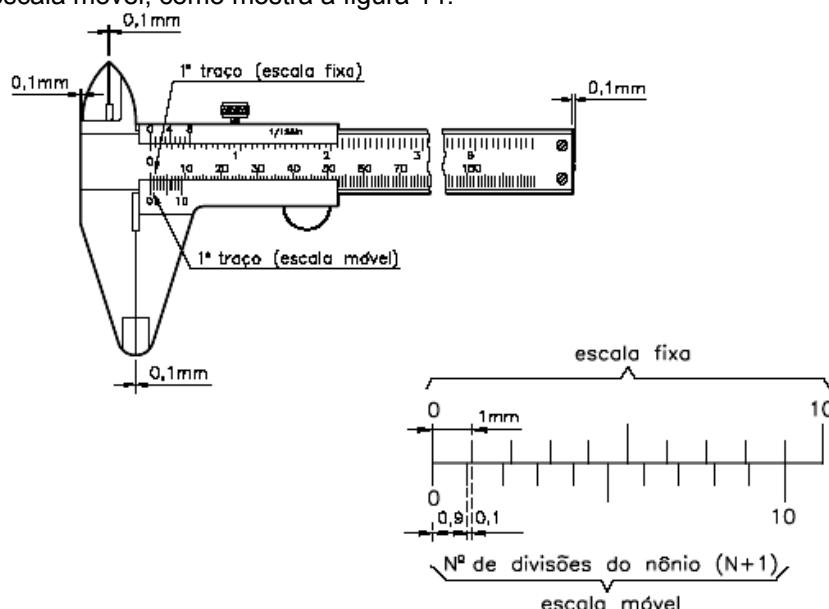


Figura 14 Desenho esquemático de um paquímetro mostrando o nônio em detalhe e a escala fixa, com a diferença de 0,1mm.

Fonte: TELECURSO 2000 Profissionalizante: metrologia – aula 4

A diferença tende a aumentar de 0,2 mm entre o segundo traço de cada escala; de 0,3 mm entre o terceiros traços e assim por diante, conforme mostrado na figura 15.

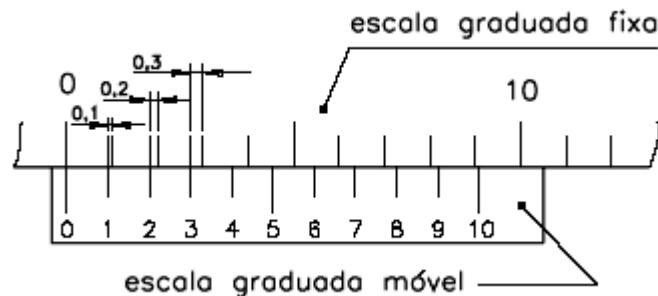


Figura 15 Foto de dois paquímetros digitais.

Fonte: TELECURSO 2000 Profissionalizante: metrologia – aula 4

#### 4.7 Cálculo da resolução

As diferenças entre a escala fixa e a escala móvel de um paquímetro podem ser calculadas pela sua resolução.

A resolução é a menor medida que o instrumento oferece. Ela é calculada utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\text{Resolução} = \frac{UEF}{UDN}$$

UEF = unidade da escala fixa

NDN = número de divisões do nônio

$$\text{Resolução} = \frac{1\text{mm}}{20\text{divisões}} = 0,05\text{mm}$$

*Exemplo:*

- Nônio com 10 divisões

$$\text{Resolução} = \frac{1\text{mm}}{10\text{divisões}} = 0,1\text{mm}$$

- Nônio com 50 divisões

$$\text{Resolução} = \frac{1\text{mm}}{50\text{divisões}} = 0,02\text{mm}$$

#### 4.8 Paquímetro no sistema métrico

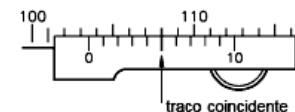
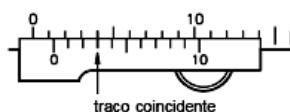
Na escala fixa ou principal do paquímetro, a leitura feita antes do zero do nônio corresponde à leitura em milímetro.

Em seguida, você deve contar os traços do nônio até o ponto em que um deles coincidir com um traço da escala fixa.

Depois, você soma o número que leu na escala fixa ao número que leu no nônio. Para você entender o processo de leitura no paquímetro, é apresentado, a seguir, dois exemplos de leitura.

- Escala em milímetro e nônio com 10 divisões;

$$\text{Resolução} = \frac{UEF}{UDN} = \frac{1\text{mm}}{10\text{divisões}} = 0,1\text{mm};$$



##### Leitura

1,0 mm → escala fixa

0,3 mm → nônio (traço coincidente: 3º)

1,3 mm → total (leitura final)

##### Leitura

103,0 mm → escala fixa

0,5 mm → nônio (traço coincidente: 5º)

103,5 mm → total (leitura final)

#### 4.9 Paquímetro no sistema inglês

##### *Leitura em polegada milesimal*

No paquímetro em que se adota o sistema inglês, cada polegada da escala fixa divide-se em 40 partes iguais. Cada divisão corresponde a:

$$\frac{1}{40}'' \text{ (que é igual a } .025'')$$

O procedimento para leitura é o mesmo que para a escala em milímetro. Contam-se as unidades  $.025''$  que estão à esquerda do zero (0) do nônio e, a seguir, somam-se os milésimos de polegada indicados pelo ponto em que um dos traços do nônio coincide com o traço da escala fixa. Veja a figura 16.

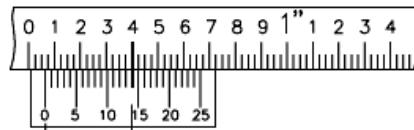
⇒

Como o nônio tem 25 divisões, a resolução desse paquímetro é:

$$\text{Resolução} = \frac{UEF}{NDN} = \frac{0,25''}{25} = 0,01''$$

Leitura:

$$\begin{aligned} &.050'' \rightarrow \text{escala fixa} \\ &+ .014'' \rightarrow \text{nônio} \\ &.064'' \rightarrow \text{total} \end{aligned}$$



Leitura:

$$\begin{aligned} &1.700'' \rightarrow \text{escala fixa} \\ &+ .021'' \rightarrow \text{nônio} \\ &1.721'' \rightarrow \text{total} \end{aligned}$$

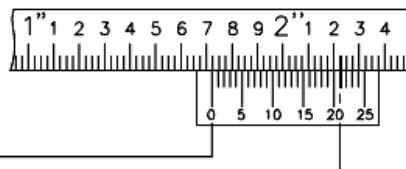
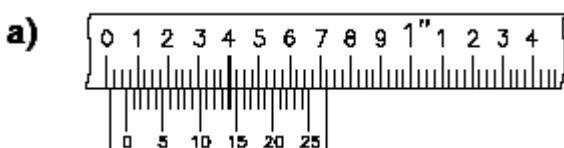


Figura 16 Representação esquemática de paquímetro no sistema inglês e dois exemplos de leituras.

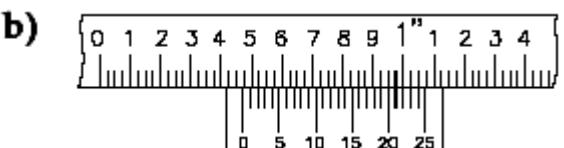
Fonte: TELECURSO 2000 Profissionalizante: metrologia – aula 6

#### EXERCÍCIOS

Com base no exemplo, tente fazer as três leituras a seguir. Escreva a medida lida em cada uma das linhas pontilhadas;



Leitura: .....



Leitura: .....



Leitura: .....

##### *Leitura em polegada fracionada*

No sistema inglês, a escala fixa do paquímetro é graduada em polegada e frações de polegada. Esses valores fracionários da polegada são complementados com o uso do nônio.

Para utilizar o nônio, precisamos saber calcular sua resolução:

$$\text{Resolução} = \frac{UEF}{NDN} = \frac{\frac{1}{16}''}{8} = \frac{1}{16} \div 8 = \frac{1}{16} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{128}''$$

Assim, cada divisão do nônio vale  $\frac{1}{128}''$ ;

Duas divisões corresponderão a  $\frac{2}{128}''$  ou  $\frac{1}{64}''$  e assim por diante. Veja a figura 17.

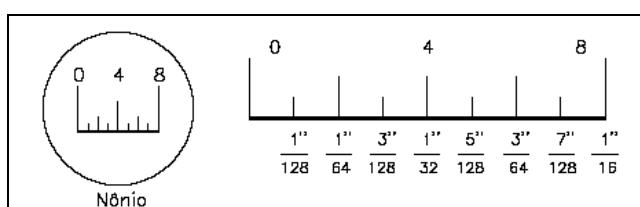


Figura 17 Representação esquemática do nônio de um paquímetro em polegada fracionada.

A partir daí, vale a explicação dada no item anterior: adicionar à leitura da escala fixa a do nônio.

A figura 18 mostra um exemplo de como pode-se ler  $\frac{3}{4}$ " na escala fixa e  $\frac{3}{128}$ " no nônio.

A medida total equivale à soma dessas duas leituras.

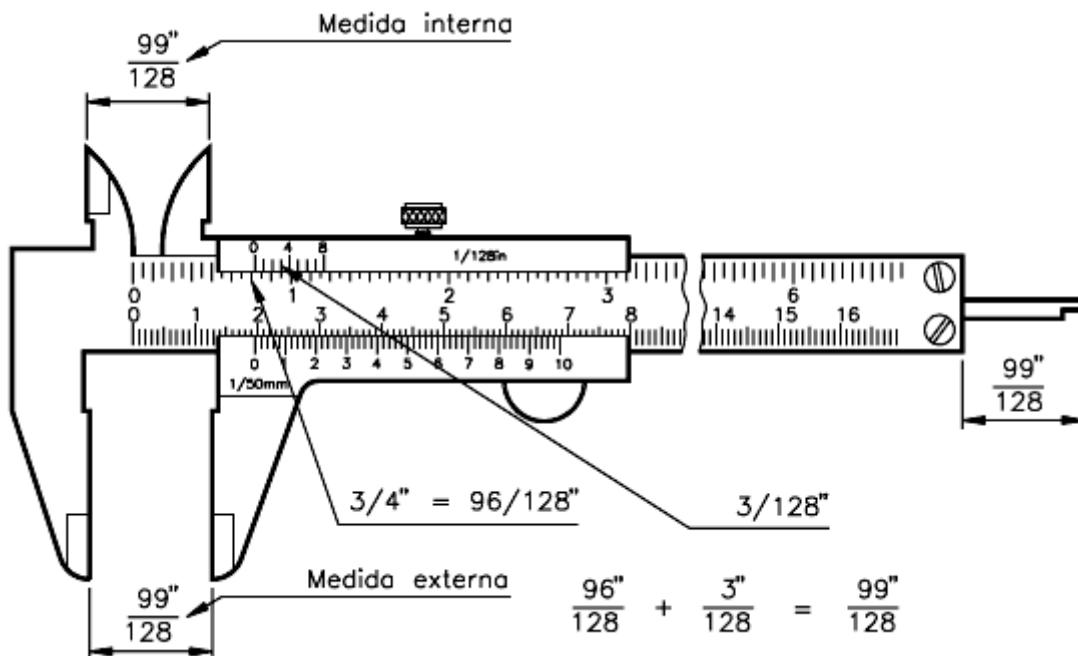
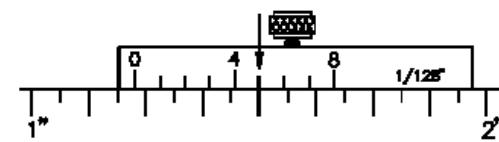


Figura 18 Representação esquemática de um paquímetro em polegada fracionada e um exemplo de leitura.

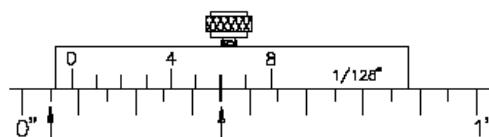
### Exemplo 2



$$\text{Escala fixa} \rightarrow 1\frac{3}{16} \text{ nônio} \rightarrow \frac{5}{128}$$

$$\text{Portanto: } 1\frac{3}{16} + \frac{5}{128} \Rightarrow 1\frac{24}{128} + \frac{5}{128}$$

$$\text{Total: } 1\frac{29}{128}$$



$$\text{Escala fixa} \rightarrow \frac{1}{16} \text{ nônio} \rightarrow \frac{6}{128}$$

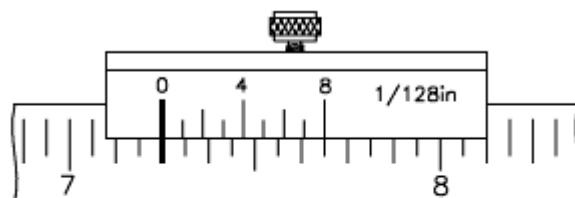
$$\text{Portanto: } \frac{1}{16} + \frac{6}{128} \Rightarrow \frac{8}{128} + \frac{6}{128} = \frac{14}{128}$$

$$\text{Total: } \frac{7}{64}$$

**Observações:** As frações sempre devem ser simplificadas.

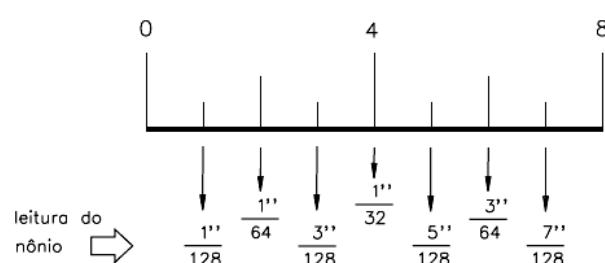
Pode-se perceber que medir em polegada fracionária exige operações mentais. Para facilitar a leitura desse tipo de medida, veja os seguintes procedimentos:

**1º passo** - Verifique se o zero (0) do nônio coincide com um dos traços da escala fixa. Se coincidir, faça a leitura somente na escala fixa.



$$\text{Leitura} = 7 \frac{1}{4}''$$

**2º passo** - Quando o zero (0) do nônio não coincidir, verifique qual dos traços do nônio está nessa situação e faça a leitura do nônio.



**3º passo** - Verifique na escala fixa quantas divisões existem antes do zero (0) do nônio.

**4º passo** - Sabendo que cada divisão da escala fixa equivale a:  $\frac{1}{16} = \frac{2}{32} = \frac{4}{64} = \frac{8}{128}$  e com base

na leitura do nônio, escolhemos uma fração da escala fixa de mesmo denominador. Por exemplo:

Leitura do nônio:  $\frac{3}{64}$ , fração escolhida da escala

fixa  $\frac{4}{64}$ ;

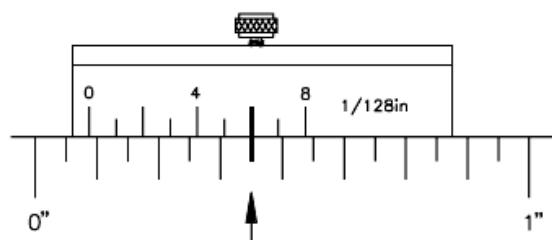
Leitura do nônio:  $\frac{7}{128}$ , fração escolhida da escala

fixa  $\frac{8}{128}$ ;

**5º passo** - Multiplique o número de divisões da escala fixa (**3º passo**) pelo numerador da fração escolhida (**4º passo**). Some com a fração do nônio (**2º passo**) e faça a leitura final.

Exemplos de leitura utilizando os passos;

a)



$$2^{\text{o}} \text{ passo} \Rightarrow \frac{3}{64}''$$

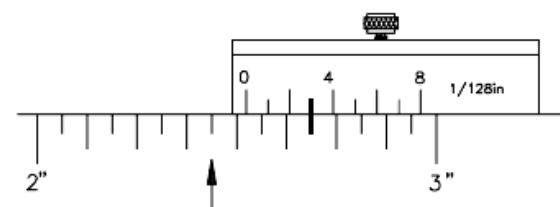
3º passo  $\Rightarrow 1$  divisão

$$4^{\text{o}} \text{ passo} \Rightarrow \frac{3}{64}'' \text{ fração escolhida } \frac{4}{64}''$$

$$5^{\text{o}} \text{ passo} \Rightarrow 1 \times \frac{4}{64} + \frac{3}{64} = \frac{7}{64}''$$

$$\text{Leitura final: } \frac{7}{64}''$$

b)



$$2^{\text{o}} \text{ passo} \Rightarrow \frac{3}{128}''$$

3º passo  $\Rightarrow 2'' + 8$  divisões

$$4^{\text{o}} \text{ passo} \Rightarrow \frac{3}{28}'' \text{ fração escolhida } \frac{8}{128}''$$

$$5^{\text{o}} \text{ passo} \Rightarrow 2'' + 8 \times \frac{8}{128} + \frac{3}{128}'' = 2\frac{67}{128}''$$

$$\text{Leitura final: } 2\frac{67}{128}''$$

Colocação de medida no paquímetro em polegada fracionada.

Para abrir um paquímetro em uma medida dada em polegada fracionária, devemos:

**1º passo** - Verificar se a fração tem denominador 128. Se não tiver, deve-se substituí-la pela sua equivalente, com denominador 128.

### *Exemplo:*

$\frac{9}{64}$  não tem denominador 128.

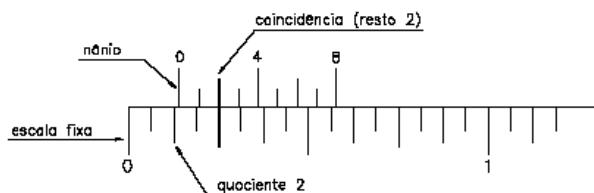
$\frac{9}{64} \Rightarrow \frac{18}{128}$  é uma fração equivalente, com denominador 128.

**Observação:** o numerador é dividido por 8, pois 8 é o número de divisões do nônio.

**2º passo** - Dividir o numerador por 8.  
Utilizando o exemplo acima:

$$\begin{array}{r} 18 \\ 2 \\ \hline \text{resto} \end{array} \qquad \begin{array}{r} 8 \\ 2 \\ \hline \text{quociente} \end{array}$$

**3º passo** - O quociente indica a medida na escala fixa; o resto mostra o número do traço do nônia que coincide com um traço da escala fixa.



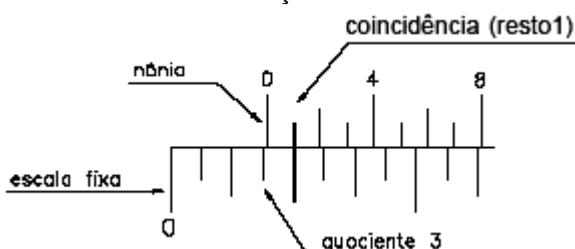
### **Outro exemplo:**

Abrir o paquímetro na medida  $\frac{25}{128}$ "

A fração já está com denominador 128.

$$\begin{array}{r} 25 \\ \quad 1 \\ \hline \text{resto} \end{array} \qquad \begin{array}{r} 8 \\ \quad 3 \\ \hline \text{quociente} \end{array}$$

O paquímetro deverá indicar o 3º traço da escala fixa e apresentar o 1º traço do nônio coincidindo com um traco da escala fixa.



#### Resolver exercícios 4 – PQSI.

**ANOTAÇÕES**

#### 4.10 Conservação do paquímetro

Todos devem aprender a usar corretamente o paquímetro, quais os possíveis erros de leitura e quais os cuidados que se deve ter para conservá-lo.

##### **Eros de leitura**

Além da falta de habilidade do operador, outros fatores podem provocar erros de leitura no paquímetro, como, por exemplo, a paralaxe e a pressão de medição.

##### **Paralaxe**

Dependendo do ângulo de visão do operador, pode ocorrer o erro por paralaxe, pois devido a esse ângulo, aparentemente há coincidência entre um traço da escala fixa com outro da móvel.

O cursor onde é gravado o nônia, figura 19, por razões técnicas de construção, normalmente tem uma espessura mínima ( $a$ ), e é posicionado sobre a escala principal. Assim, os traços do nônia ( $TN$ ) são mais elevados que os traços da escala fixa ( $TM$ ).

Colocando o instrumento em posição não perpendicular à vista e estando sobrepostos os traços  $TN$  e  $TM$ , cada um dos olhos projeta o traço  $TN$  em posição oposta, o que ocasiona um erro de leitura.

Para não cometer o erro de paralaxe, é aconselhável que se faça a leitura situando o paquímetro em uma posição perpendicular aos olhos.

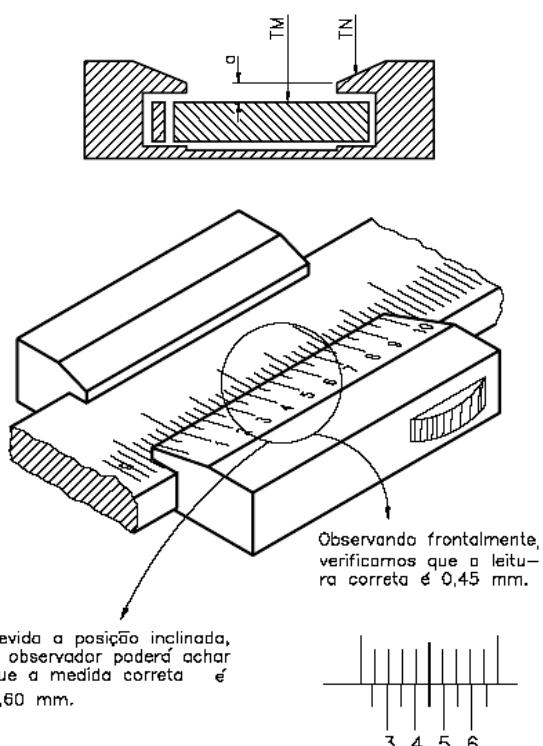


Figura 19 Representação esquemática de parte de um paquímetro em corte com vista frontal e detalhe trimensional.

##### **Pressão de medição**

Já o erro de pressão de medição origina-se no jogo do cursor, controlado por uma mola. Veja na figura 20, que neste tipo de erro pode ocorrer uma inclinação do cursor em relação à régua, o que altera a medida.

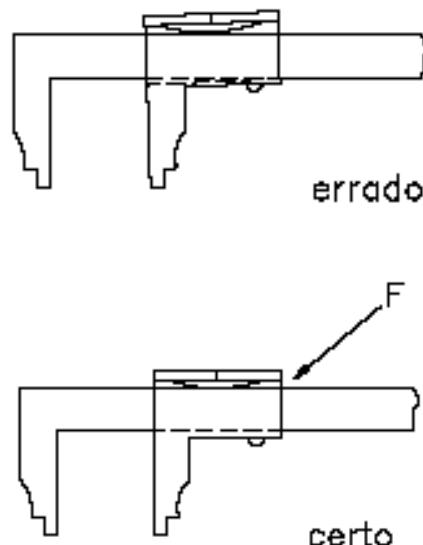


Figura 20 Representação esquemática de parte de um paquímetro em corte com vista frontal e detalhe trimensional.

Para se deslocar com facilidade sobre a régua, o cursor deve estar bem regulado: nem muito preso, nem muito solto. O operador deve, portanto, regular a mola, adaptando o instrumento à sua mão. Caso exista uma folga anormal, os parafusos de regulagem da mola, figura 21, devem ser ajustados, girando-os até encostar no fundo e, em seguida, retornando  $\frac{1}{8}$  de volta aproximadamente.

Após esse ajuste, o movimento do cursor deve ser suave, porém sem folga.

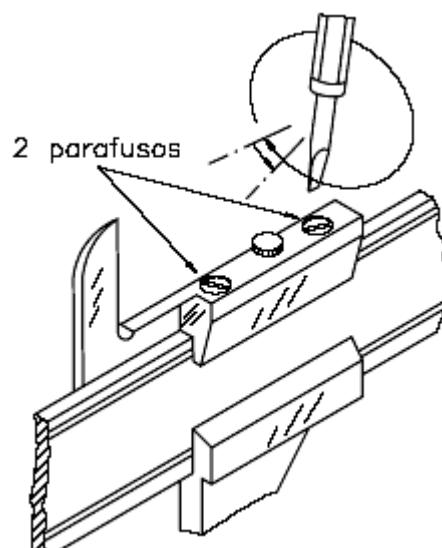


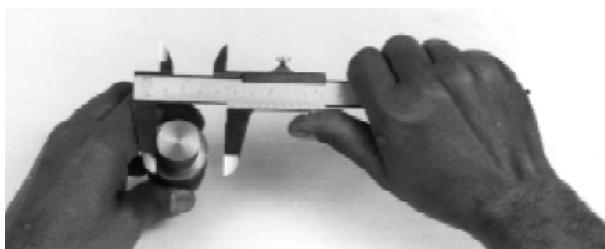
Figura 21 Representação esquemática de parte de um paquímetro em corte com vista trimensional.

### Técnica de utilização do paquímetro

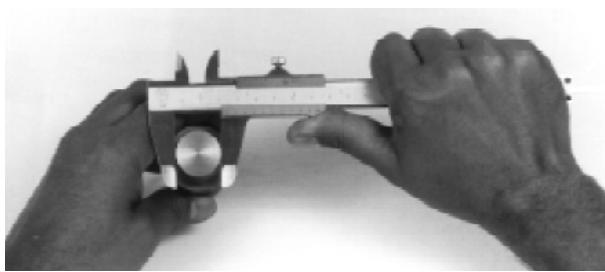
Para ser usado corretamente, o paquímetro precisa ter:

- seus encostos limpos;
- a peça a ser medida deve estar posicionada corretamente entre os encostos.

A figura 22 (a) mostra como abrir o paquímetro com uma distância maior que a dimensão do objeto a ser medido. O centro do encosto fixo deve ser encostado em uma das extremidades da peça. Convém que o paquímetro seja fechado suavemente até que o encosto móvel toque a outra extremidade, como mostrado na figura 22 (b).



(a)



(b)

Figura 22 Foto de uma operação de medição com paquímetro em duas posições.

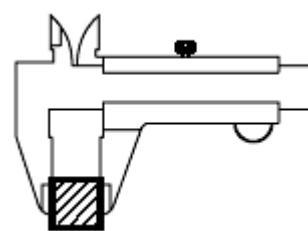
Feita a leitura da medida, o paquímetro deve ser aberto e a peça retirada, sem que os encostos a toquem.

As recomendações seguintes referem-se à utilização do paquímetro para determinar medidas:

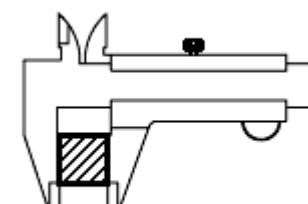
- externas;
- internas;
- de profundidade;
- de ressaltos.

Nas medidas externas, mostradas na figura 23, a peça a ser medida deve ser colocada o mais profundamente possível entre os bicos de medição para evitar qualquer desgaste na ponta dos bicos.

A figura 24 mostra que para maior segurança nas medições, as superfícies de medição dos bicos e da peça devem estar bem apoiadas. Nas medidas internas, as orelhas precisam ser colocadas o mais profundamente possível. O paquímetro deve estar sempre paralelo à peça que está sendo medida.

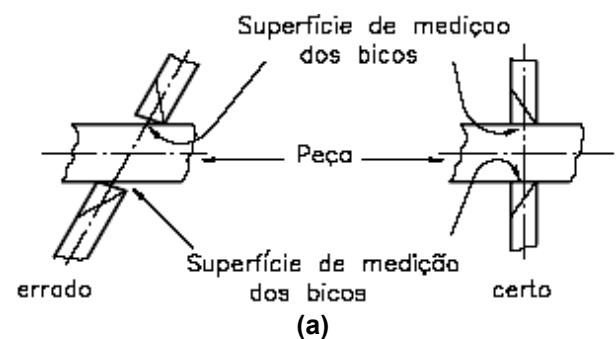


errado



certo

Figura 23 Desenho esquemático mostrando o modo certo e errado para medição de superfície de superfícies externas.

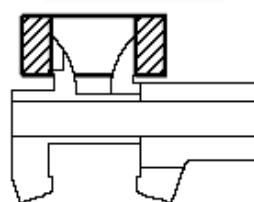


errado

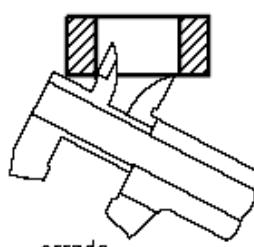
certo



errado



certo

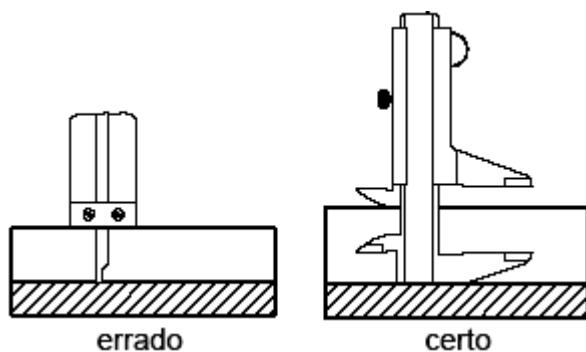


errado

(b)

Figura 24 Desenho esquemático de operações de medição com paquímetro, mostrando condições certas e erradas.

Nas medidas de ressaltos, figura 25, coloca-se a parte do paquímetro apropriada para ressaltos perpendicularmente à superfície de referência da peça. Não se deve usar a haste de profundidade para esse tipo de medição, porque ela não permite um apoio firme.



**Figura 25 Representação esquemática da medição de ressaltos com paquímetro.**

## **Conservação**

- Manejar o paquímetro sempre com todo cuidado, evitando choques.
  - Não deixar o paquímetro em contato com outras ferramentas, o que pode lhe causar danos.
  - Evitar arranhaduras ou entalhes, pois isso prejudica a graduação.
  - Ao realizar a medição, não pressionar o cursor além do necessário.
  - Limpar e guardar o paquímetro em local apropriado, após sua utilização.

## **Testes**

Marque com um X a resposta correta.

## *Exercício 1*

Quando o cursor tem uma espessura muito grossa, pode ocorrer erro de leitura por:

- a) ( ) pressão;
  - b) ( ) paralaxe;
  - c) ( ) desvio;
  - d) ( ) desregulagem.

## *Exercício 2*

No caso de erro de leitura devido à pressão de medida, é necessário:

- a) ( ) fixar o cursor;
  - b) ( ) controlar o encosto;
  - c) ( ) regular a mola;
  - d) ( ) inclinar o encosto.

---

### **Exercício 3**

Ao medir uma peça, ela deve ficar bem colocada entre os bicos de medição para evitar:

- a) ( ) erro de paralaxe;
  - b) ( ) erros de medidas dos bicos;
  - c) ( ) pressão das pontas dos bicos;
  - d) ( ) desgaste das pontas dos bicos.

### *Exercício 4*

Ao medir o furo de uma peça, o paquímetro deve ficar sempre na posição:

- a) ( ) inclinada;
  - b) ( ) perpendicular;
  - c) ( ) vertical;
  - d) ( ) paralela.

## **ANOTAÇÕES**

## 5 MICRÔMETRO

Jean Louis Palmer apresentou, pela primeira vez, um micrômetro para requerer sua patente. O instrumento permitia a leitura de centésimos de milímetro, de maneira simples.

Com o decorrer do tempo, o micrômetro foi aperfeiçoado e possibilitou medições mais rigorosas e exatas do que o paquímetro.

De modo geral, o instrumento é conhecido como micrômetro. Na França, entretanto, em homenagem ao seu inventor, o micrômetro é denominado *Palmer*.

### Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento do micrômetro assemelha-se ao do sistema parafuso e porca como mostrados na figura 26. Assim, há uma porca fixa e um parafuso móvel que, se der uma volta completa, provocará um descolamento igual ao seu passo.

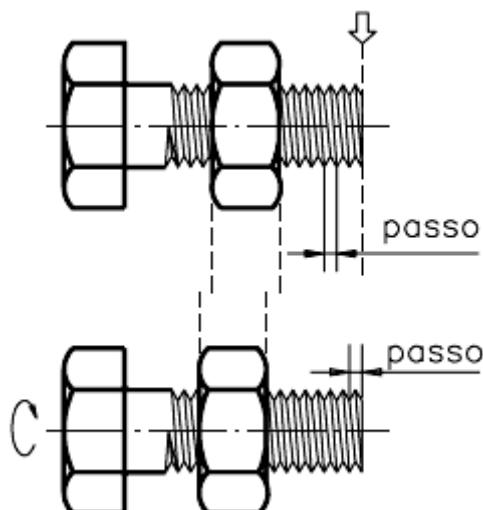


Figura 26 Desenho representativo do parafuso com a porca, o movimento e o passo da rosca.

Desse modo, dividindo-se a cabeça do parafuso, podem-se avaliar frações menores que uma volta e, com isso, medir comprimentos menores do que o passo do parafuso.

### Nomenclatura

A figura 27 mostra os componentes de um micrômetro.

Os principais componentes de um micrômetro são:

- O arco é constituído de aço especial ou fundido, tratado termicamente para eliminar as tensões internas.
- O isolante térmico, fixado ao arco, evita sua dilatação porque isola a transmissão de calor das mãos para o instrumento.
- O fuso micrométrico é construído de aço especial temperado e retificado para garantir exatidão do passo da rosca.
- As faces de medição tocam a peça a ser medida e, para isso, apresentam-se rigorosamente planos e paralelos. Em alguns instrumentos, os contatos são de metal duro, de alta resistência ao desgaste.
- A porca de ajuste permite o ajuste da folga do fuso micrométrico, quando isso é necessário.
- O tambor é onde se localiza a escala centesimal. Ele gira ligado ao fuso micrométrico. Portanto, a cada volta, seu deslocamento é igual ao passo do fuso micrométrico.
- A catraca ou fricção assegura uma pressão de medição constante.
- A trava permite immobilizar o fuso numa medida predeterminada.



Figura 27 Representação esquemática de um paquímetro, mostrando e identificando as partes.

### Características

Os micrômetros caracterizam-se pela:

- capacidade;
- resolução;
- aplicação.

A capacidade de medição dos micrômetros normalmente é de 25 mm (ou 1"), variando o tamanho do arco de 25 em 25 mm (ou 1 em 1"). Podem chegar a 2000 mm (ou 80").

A resolução nos micrômetros pode ser de 0,01 mm; 0,001 mm; .001" ou .0001".

No micrômetro de 0 a 25 mm ou de 0 a 1", quando as faces dos contatos estão juntas, a borda do tambor coincide com o traço zero (0) da bainha. A linha longitudinal, gravada na bainha, coincide com o zero (0) da escala do tambor, conforme mostra o exemplo da figura 28.

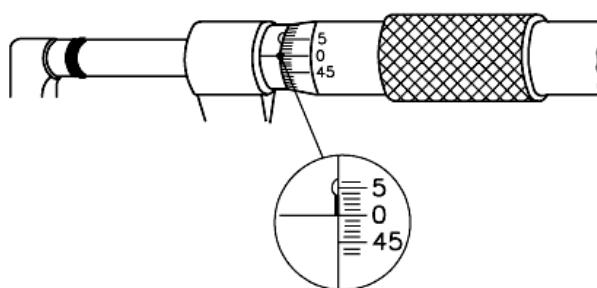


Figura 28 Desenho representativo da bainha e do tambor, com destaque para a leitura.

Para diferentes aplicações, temos os seguintes tipos de micrômetro.

De profundidade, figura 29. Conforme a profundidade a ser medida, utilizam-se hastes de extensão, que são fornecidas juntamente com o micrômetro.



Figura 29 Foto de um modelo de micrometro de profundidade.

A figura 30 mostra um exemplo de micrômetro com arco profundo, que serve para medições de espessuras de bordas ou de partes salientes das peças.

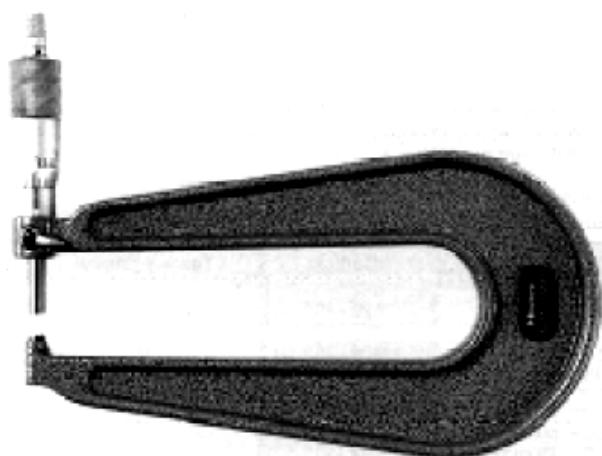
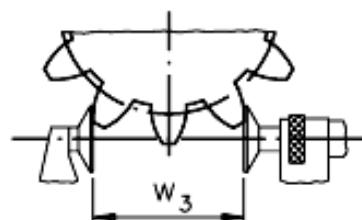
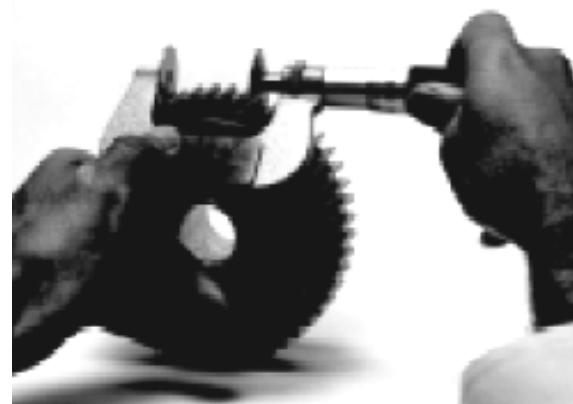


Figura 30 Foto de um modelo de micrometro com arco profundo.

A figura 31 mostra um micrômetro com disco nas hastes. O disco aumenta a área de contato possibilitando a medição de papel, cartolina, couro, borracha, pano etc. Também é empregado para medir dentes de engrenagens.



$w$  = valor de wildhaber  
(inventor do método)

Figura 31 Foto de uma operação com micrometro de discos nas hastes.

A figura 32 mostra um micrômetro usado para medição de roscas. Especialmente construído para medir roscas triangulares, este micrômetro possui as hastes furadas para que se possam encaixar as pontas intercambiáveis, conforme o passo para o tipo da rosca a medir.

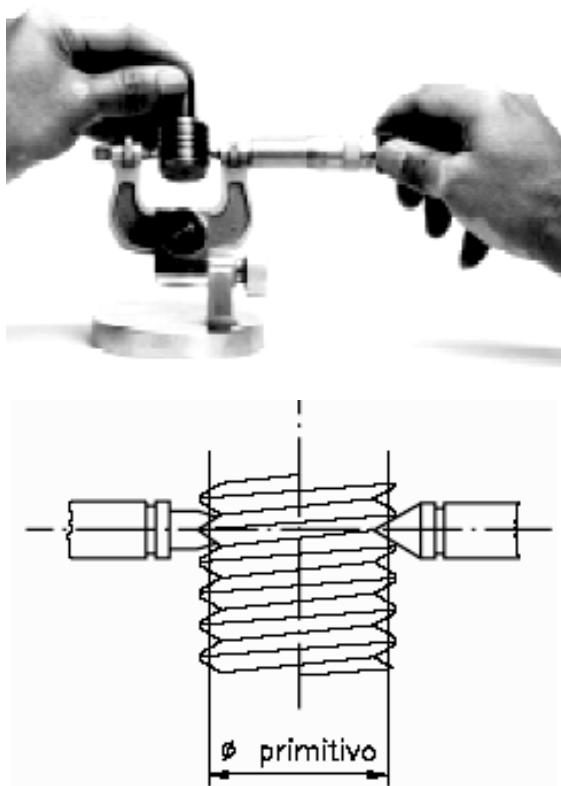


Figura 32 Foto de uma operação de medição de rosca com micrometro de medição de roscas triangulares.

Outro tipo característico é o micrômetro com contato em forma de “V”, figura 33. É especialmente construído para medição de ferramentas de corte que possuem número ímpar de cortes (fresas de topo, macho, alargadores etc.). Os ângulos em “V” dos micrômetros para medição de ferramentas de 3 cortes é de 60°; 5 cortes, 108° e 7 cortes, 128°34'17".

Para medir parede de tubos é usado o modelo de micrometro apresentado na figura 34.

Este micrômetro é dotado de arco especial e possui o contato a 90° com a haste móvel, o que permite a introdução do contato fixo no furo do tubo.

O micrometro da figura 35 é para uso comum, porém sua leitura pode ser efetuada no tambor ou no contador mecânico. Facilita a leitura independentemente da posição de observação (erro de paralaxe).



Figura 33 Foto do micrometro em forma de “V”.

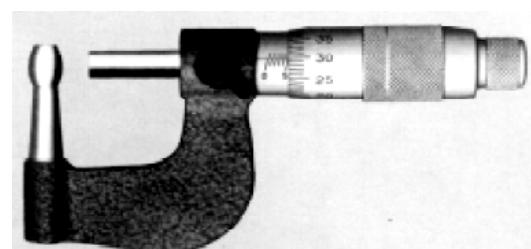


Figura 34 Desenho representativo da bainha e do tambor, com destaque para a leitura.



Figura 35 Foto de um micrômetro contador mecânico.

Para leitura rápida e livre de erros de paralaxe, é usado o micrômetro digital, figura 36. próprio para uso em controle estatístico de processos, juntamente com microprocessadores.

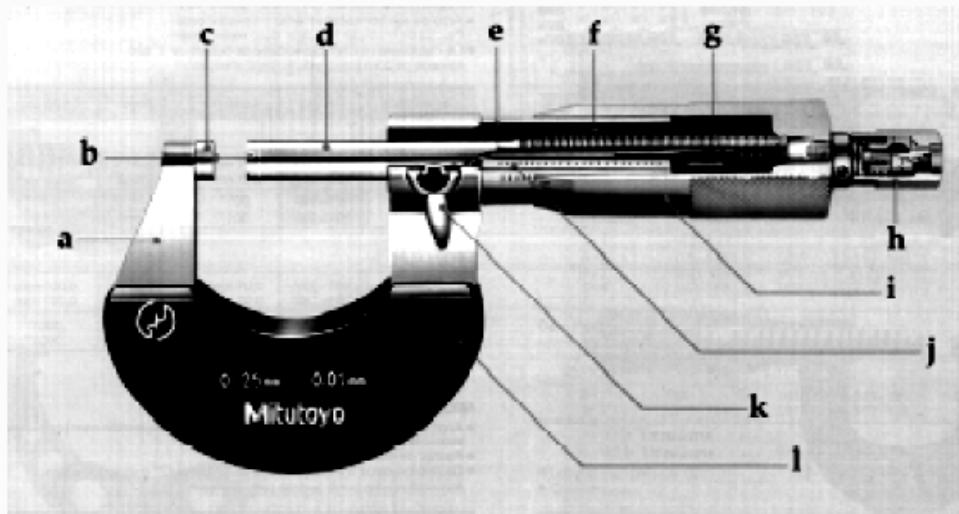


Figura 36 Foto de um micrômetro digital.

### Testes

#### Exercício 1

Identifique as partes principais do micrômetro abaixo:



- |          |          |
|----------|----------|
| a) ..... | g) ..... |
| b) ..... | h) ..... |
| c) ..... | i) ..... |
| d) ..... | j) ..... |
| e) ..... | k) ..... |
| f) ..... | l) ..... |

Assinale com um X a resposta correta.

#### Exercício 2

O micrômetro centesimal foi inventado por:

- a) ( ) Carl Edwards Johanson;
- b) ( ) Pierre Vernier;
- c) ( ) Jean Louis Palmer;
- d) ( ) Pedro Nunes.

#### Exercício 3

Os micrômetros têm as seguintes características:

- |     |  |
|-----|--|
| (a) | capacidade, graduação do tambor, aplicação     |
| (b) | tamanho da haste, arco, parafuso micrométrico; |
| (c) | aplicação, capacidade, resolução;              |
| (d) | tambor, catraca, resolução;                    |

#### Exercício 4

Para medir uma peça com  $\varnothing 32,75$ , usa-se micrômetro com a seguinte capacidade de medição:

- a) ( ) 30 a 50;
- b) ( ) 25 a 50;
- c) ( ) 0 a 25;
- d) ( ) 50 a 75.

#### Exercício 5

O micrômetro mais adequado para controle estatístico de processo é o:

- a) ( ) contador mecânico;
- b) ( ) digital eletrônico;
- c) ( ) com contatos em forma de V;
- d) ( ) com disco nas hastas.

### 5.1 Micrometro no sistema métrico

Como se faz o cálculo de leitura em um micrômetro? A cada volta do tambor, o fuso micrométrico avança uma distância chamada passo.

A resolução de uma medida tomada em um micrômetro corresponde ao menor deslocamento do seu fuso. Para obter a medida, divide-se o passo pelo número de divisões do tambor.

$$\text{Resolução} = \frac{\text{passo da rosca do fuso micrométrico}}{\text{número de divisões do tambor}}$$

Se o passo da rosca é de 0,5 mm e o tambor tem 50 divisões, a resolução será:

$$\text{Resolução} = \frac{0,5\text{mm}}{50} = 0,01\text{mm}$$

Na figura 37 pode-se notar que, girando o tambor, cada divisão provocará um deslocamento de 0,01 mm no fuso.

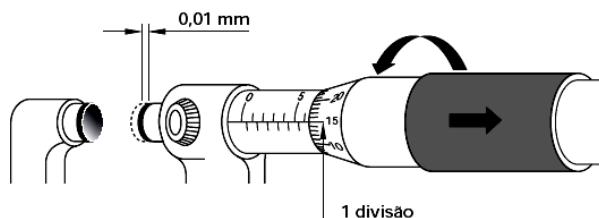


Figura 37 Desenho representativo do tambor e suas divisões.

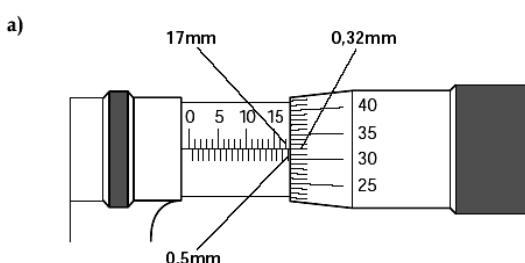
Leitura no micrômetro com resolução de 0,01 mm.

**1º passo** - leitura dos milímetros inteiros na escala da bainha.

**2º passo** - leitura dos meios milímetros, também na escala da bainha.

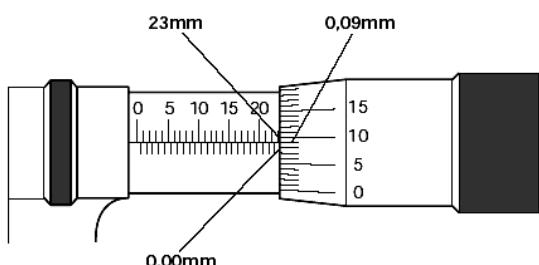
**3º passo** - leitura dos centésimos de milímetro na escala do tambor.

#### Exemplos



$$\begin{aligned} & 17,00\text{mm} (\text{escala dos mm da bainha}) \\ & + 0,50\text{mm} (\text{escala dos meios mm da bainha}) \\ & + 0,32\text{mm} (\text{escala centesimal do tambor}) \\ \hline & 17,82\text{mm Leitura total} \end{aligned}$$

b)

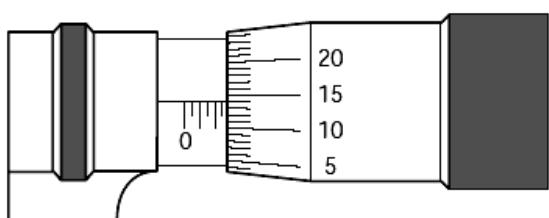


$$\begin{aligned} & 23,00\text{mm} (\text{escala dos mm da bainha}) \\ & + 0,00\text{mm} (\text{escala dos meios mm da bainha}) \\ & + 0,09\text{mm} (\text{escala centesimal do tambor}) \\ \hline & 23,09\text{mm Leitura total} \end{aligned}$$

#### Exercício 1

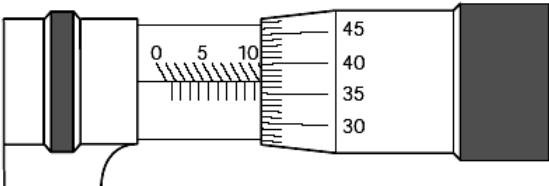
Faça a leitura e escreva a medida na linha.

a)



Leitura: .....

b)



Leitura: .....

Veja se acertou. As respostas corretas são:

- a) 2,64 mm
- b) 10,37 mm

#### Micrômetro com resolução de 0,001mm

Quando no micrômetro houver nônio, ele indica o valor a ser acrescentado à leitura obtida na bainha e no tambor. A medida indicada pelo nônio é igual à leitura do tambor, dividida pelo número de divisões do nônio.

Se o nônio tiver dez divisões marcadas na bainha, sua resolução será:

$$R = \frac{0,01}{10} = 0,001 \text{ mm}$$

Leitura no micrômetro com resolução de 0,001mm.

**1º passo** - leitura dos milímetros inteiros na escala da bainha.

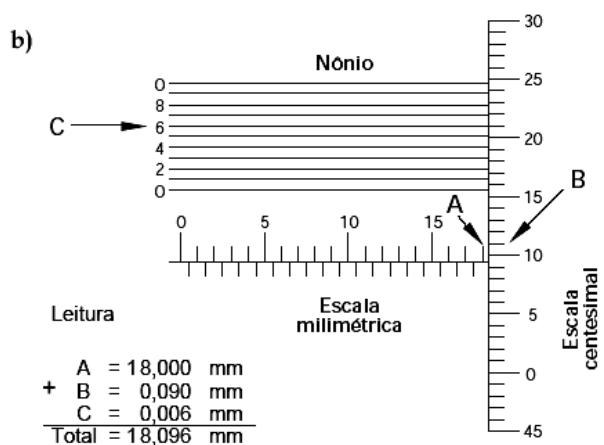
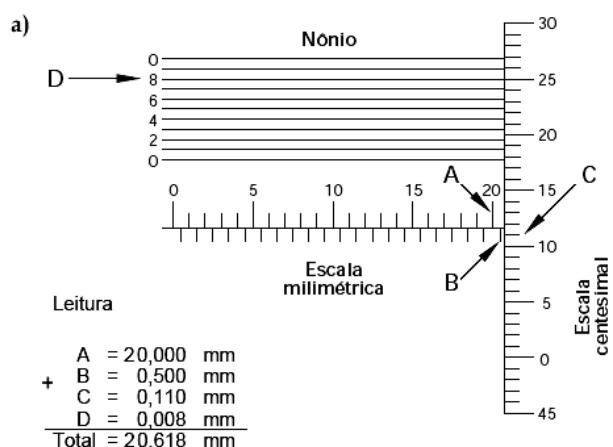
**2º passo** - leitura dos meios milímetros na mesma escala.

**3º passo** - leitura dos centésimos na escala do tambor.

**4º passo** -leitura dos milésimos com o auxílio do nônia da bainha, verificando qual dos traços do nônia coincide com o traco do tambor.

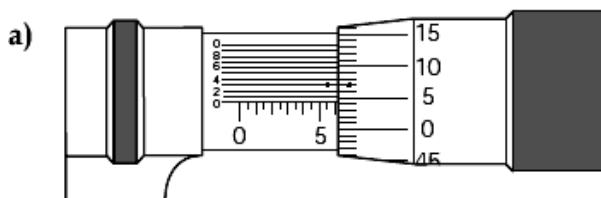
A leitura final será a soma dessas quatro leituras parciais.

## Exemplos:

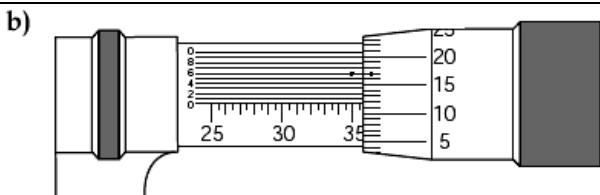


## Exercícios

Faça a leitura e escreva na linha pontilhada



**Leitura:**



**Leitura:** .....

## **ANOTAÇÕES**

*Resolver o exercício 5 MQSM*

## 5.2 Micrometro no sistema inglês

Embora o sistema métrico seja oficial no Brasil, muitas empresas trabalham com o sistema inglês. É por isso que existem instrumentos de medição nesse sistema, inclusive micrômetros, cujo uso depende de conhecimentos específicos.

### Leitura no sistema inglês

No sistema inglês, o micrômetro apresenta as seguintes características:

- na bainha está gravado o comprimento de uma polegada, dividido em 40 partes iguais. Desse modo, cada divisão equivale a  $1" : 40 = .025"$ ;
- o tambor do micrômetro, com resolução de  $.001"$ , possui 25 divisões.

A figura 38 apresenta um desenho esquemático do micrômetro no sistema inglês, destacando as divisões do tambor e da bainha.

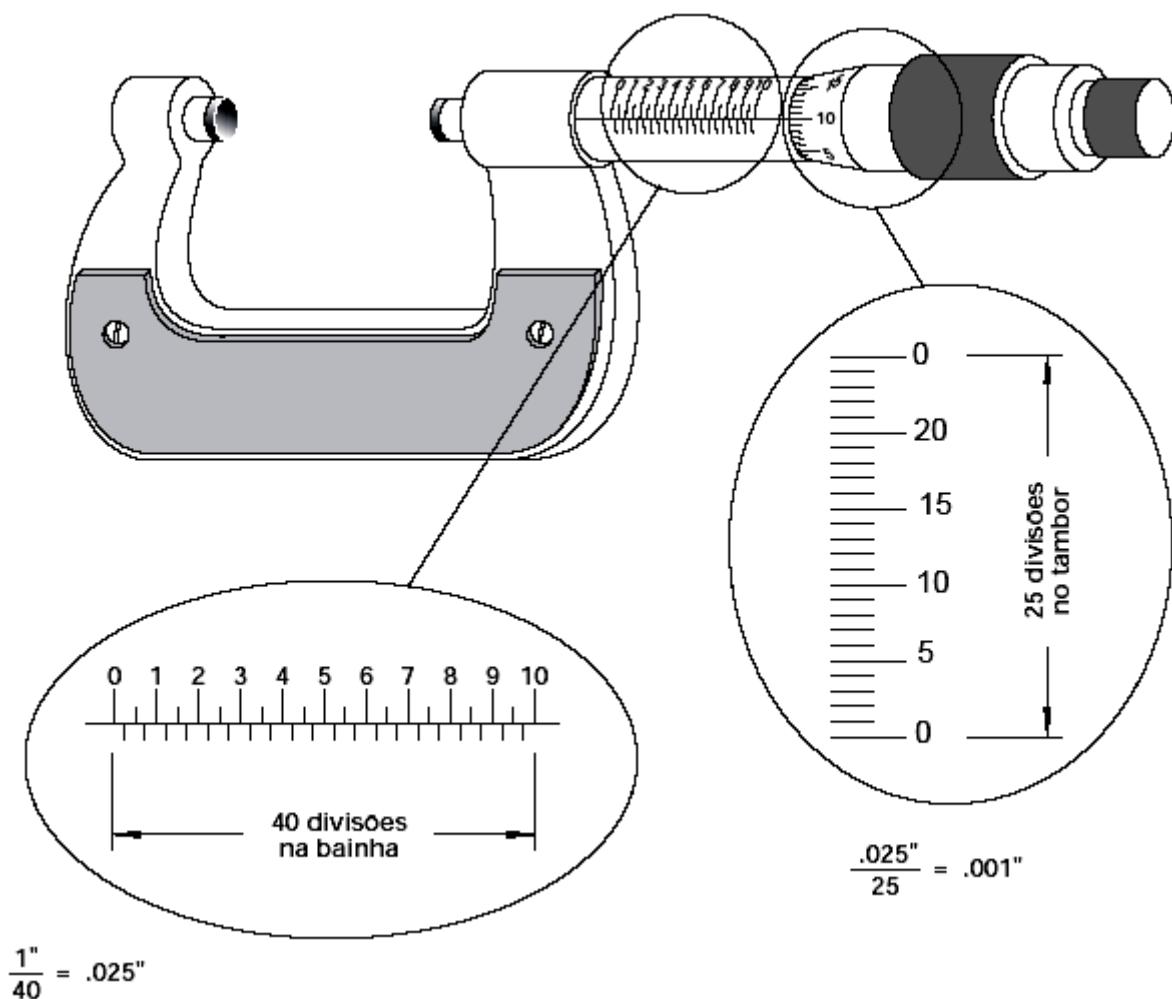


Figura 38 Representação esquemática do micrômetro no sistema métrico e das divisões da bainha e do tambor.

Para medir com o micrômetro de resolução  $.001"$  como mostrado na figura 39, lê-se primeiro a indicação da bainha. Depois, soma-se essa medida ao ponto de leitura do tambor que coincide com o traço de referência da bainha.

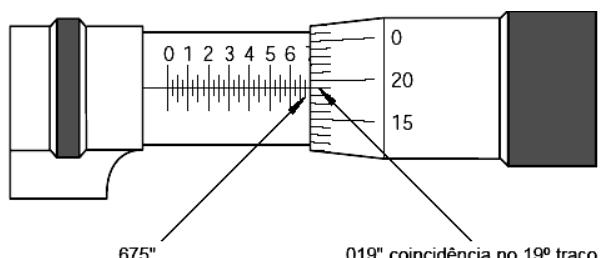


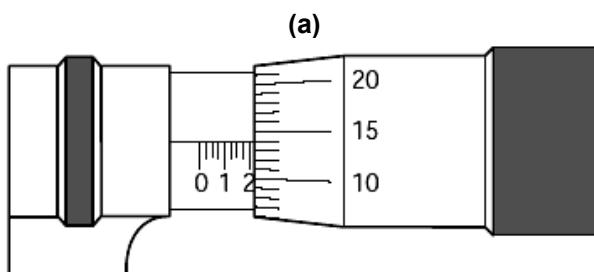
Figura 39 Desenho representativo do tambor e suas divisões.

Bainha → 0,675"

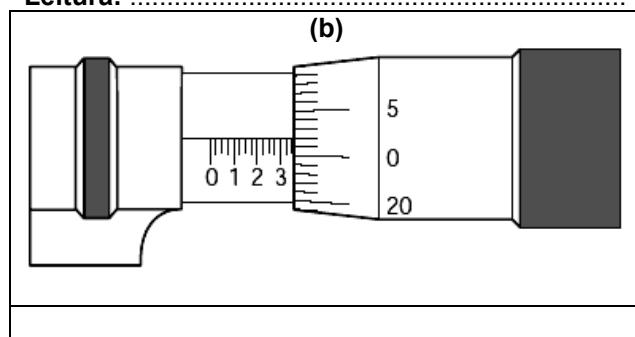
Tambor → 0,019"

Leitura → 0,694"

### Exercícios



**Leitura:** .....



**Leitura:** .....

Veja se acertou. As respostas corretas são:

a) .214"

b) .352"

### Micrômetro com resolução 0,0001"

Para a leitura no micrômetro de 0,0001", além das graduações normais que existem na bainha (25 divisões), há um nônio com dez divisões. O tambor divide-se, então, em 250 partes iguais.

A leitura do micrômetro é:

- Sem nônio

$$\text{resolução} = \frac{\text{passo da rosca}}{\text{número de divisões do tambor}} = \frac{.025''}{25} = .001''$$

- Com nônio

$$\text{resolução} = \frac{\text{resolução do tambor}}{\text{número de divisões do nônio}} = \frac{.001''}{10} = .0001''$$

Para medir, basta adicionar as leituras da bainha, do tambor e do nônio. Veja o exemplo da figura 40.

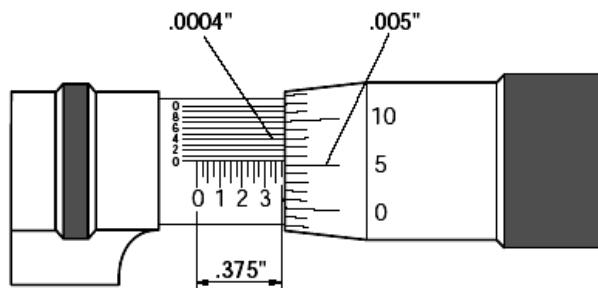


Figura 40 Desenho representativo da bainha e do tambor de um micrômetro no sistema inglês.

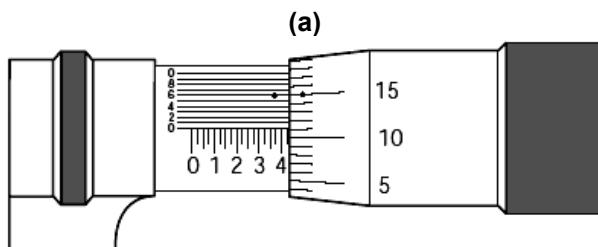
Bainha → 0,375"

+ tambor → 0,005"

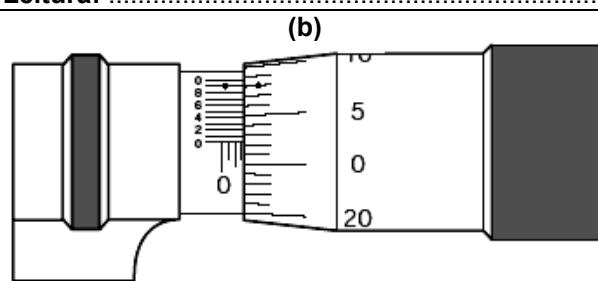
nônio → 0,0004

Leitura total → 0,3804

### Exercícios



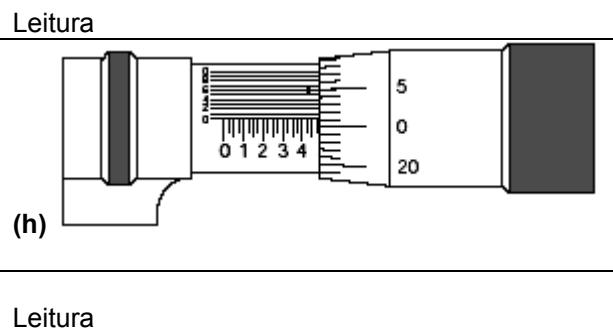
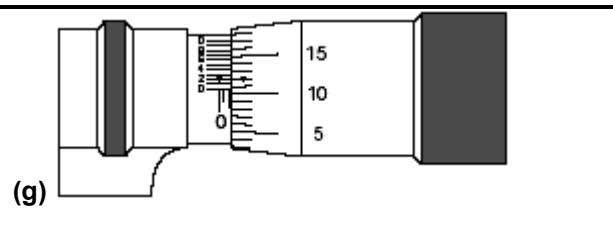
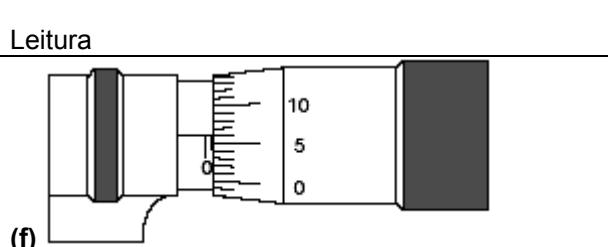
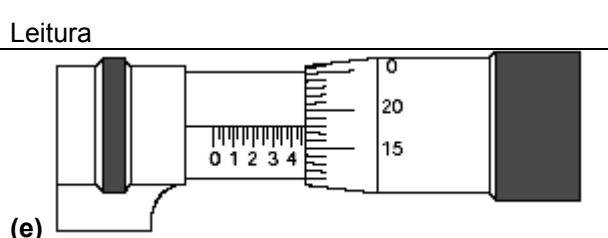
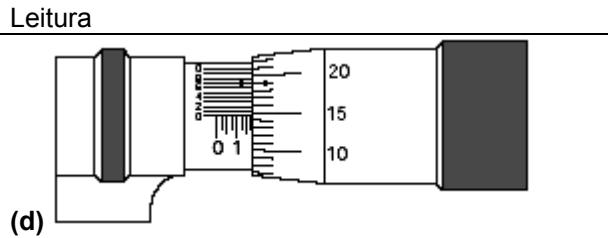
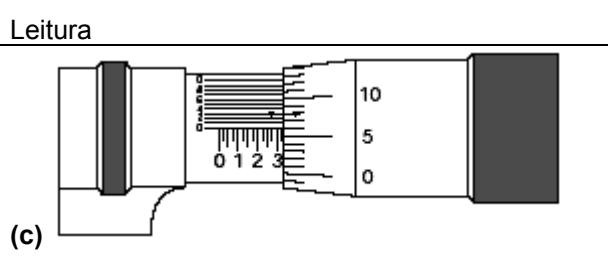
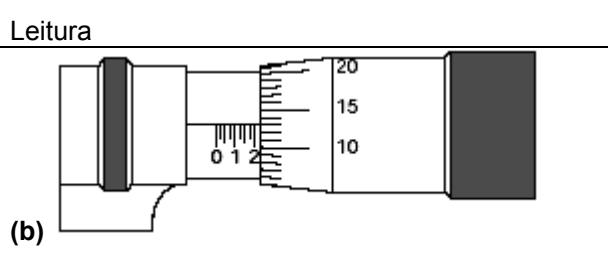
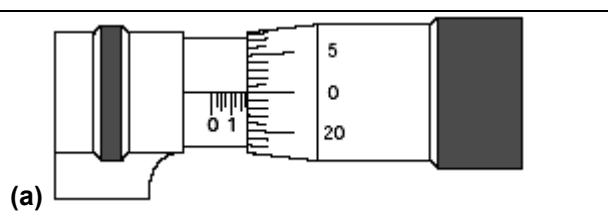
**Leitura:** .....



**Leitura:** .....

### Conservação

- Limpar o micrômetro, secando-o com um pano limpo e macio (flanela).
- Untar o micrômetro com vaselina líquida, utilizando um pincel.
- Guardar o micrômetro em armário ou estojo apropriado, para não deixá-lo exposto à sujeira e à umidade.
- Evitar contatos e quedas que possam riscar ou danificar o micrômetro e sua escala.

**Testes**

## **5.3 Micrometro interno**

Para medição de partes internas empregam-se dois tipos de micrômetros: micrômetro interno de três contatos, micrômetro interno de dois contatos (tubular e tipo paquímetro).

O micrômetro interno, figura 41, é usado exclusivamente para realizar medidas em superfícies cilíndricas internas, permitindo leitura rápida e direta. Sua característica principal é a de ser auto-centrante, devido à forma e à disposição de suas pontas de contato, que formam, entre si, um ângulo de 120°.



**Figura 41** Foto de um micrômetro interno e exemplo de sua aplicação.

A figura 42 apresenta o micrometro interno tubular, empregado para medições internas acima de 30 mm.

Devido ao uso em grande escala do micrômetro interno de três contatos pela sua versatilidade, o micrômetro tubular atende quase que somente a casos especiais, principalmente as grandes dimensões.



**Figura 42 Foto de um micrômetro interno tubular.**

A figura 43 mostra um exemplo de micrômetro do tipo paquímetro erve para medidas acima de 5 mm e, a partir daí, varia de 25 em 25mm.



**Figura 43 Foto de um micrômetro interno tubular.**

A leitura em micrômetro tubular e micrômetro tipo paquímetro é igual à leitura em micrômetro externo.

## **ANOTAÇÕES**

## 6 CALIBRADORES

A medida indireta por comparação consiste em confrontar a peça que se quer medir com aquela de padrão ou dimensão aproximada. Assim, um eixo pode ser medido indiretamente, utilizando-se um calibrador para eixos, e o furo de uma peça pode ser comparado com um calibrador tampão.

Calibradores são instrumentos que estabelecem os limites máximo e mínimo das dimensões que desejamos comparar. Podem ter formatos especiais, dependendo das aplicações, como, por exemplo, as medidas de roscas, furos e eixos.

Geralmente fabricados de aço-carbono e com as faces de contato temperadas e retificadas, os calibradores são empregados nos trabalhos de produção em série de peças intercambiáveis, isto é, peças que podem ser trocadas entre si, por constituírem conjuntos praticamente idênticos.

Quando isso acontece, as peças estão dentro dos limites de tolerância, isto é, entre o limite máximo e o limite mínimo, quer dizer: passa/não-passa.

### Tipos de calibrador

#### *Calibrador tampão (para furos).*

O funcionamento do calibrador tampão é bem simples: o furo que será medido deve permitir a entrada da extremidade mais longa do tampão (lado passa), mas não da outra extremidade (lado não-passa). Por exemplo, no calibrador tampão 50H7, a extremidade cilíndrica da esquerda (50 mm + 0,000 mm, ou seja, 50 mm) deve passar pelo furo. O diâmetro da direita (50 mm + 0,030 mm) não deve passar pelo furo. O lado não-passa tem uma marca vermelha, como mostrada na figura 44. Esse tipo de calibrador é normalmente utilizado em furos e ranhuras de até 100 mm.

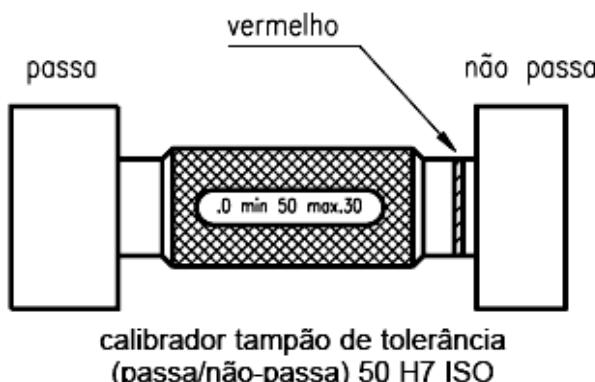


Figura 44 Desenho representativo de um calibrador do tipo tampão, passa/não-passa.

A figura 45 mostra um calibrador de boca. Esse calibrador tem duas bocas para controle: uma passa, com a medida máxima, e a outra não-passa, com a medida mínima.



Figura 45 Desenho representativo de um calibrador de boca.

Para dimensões muito grandes, são utilizados dois calibradores de bocas separadas: um passa e o outro não-passa.

Os calibradores de bocas separadas, figura 46, são usados para dimensões compreendidas entre 100 mm e 500 mm.

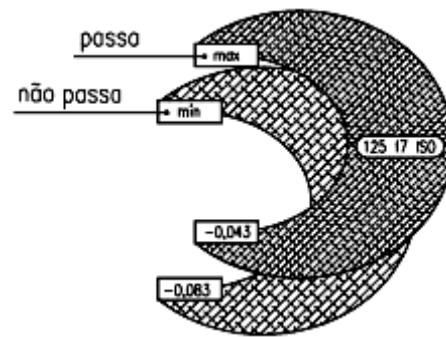


Figura 46 Desenho representativo de um calibrador de boca separada.

Para verificações com maior rapidez, foram projetados calibradores de bocas escalonadas ou de bocas progressivas, mostrado na figura 47. O eixo deve passar no diâmetro máximo ( $D_{máx.}$ ) e não passar no diâmetro mínimo ( $D_{mín.}$ ). Sua utilização compreende dimensões de até 500 mm.

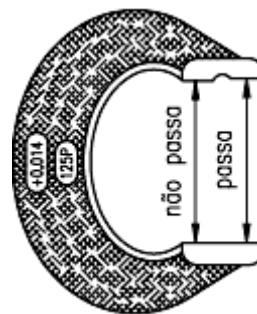


Figura 47 Desenho representativo de um calibrador de boca escalonada.

Para dimensões internas, na faixa de 80 a 260 mm, tendo em vista a redução de seu peso, usa-se o calibrador chato ou calibrador de contato parcial, figura 48.

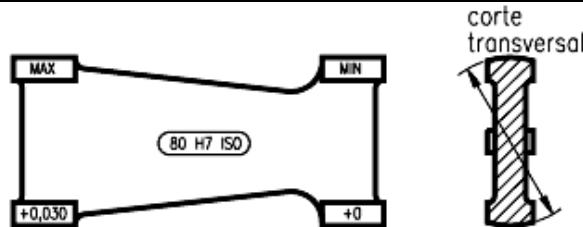


Figura 48 Desenho representativo em duas vistas de um calibrador chato.

Para dimensões internas entre 100 e 260 mm, usa-se o calibrador escalonado representado na figura 49.

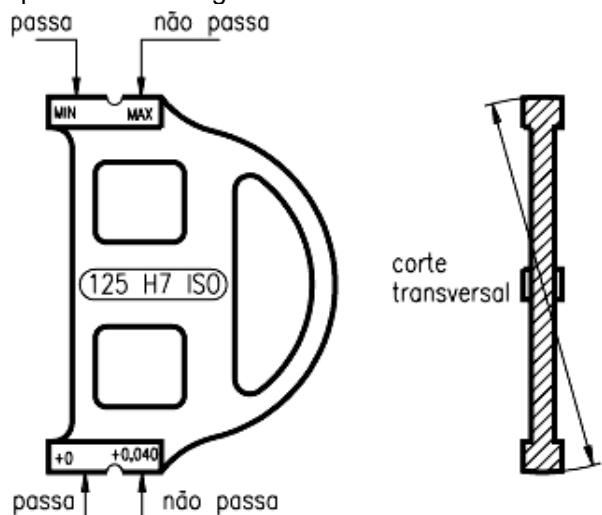


Figura 49 Desenho representativo em duas vistas de um calibrador escalonado para medidas entre 100 e 260 mm.

Para dimensões acima de 260 mm, usa-se o calibrador tipo vareta, mostrado na figura 50, onde as varetas são hastas metálicas com as pontas em forma de calota esférica.

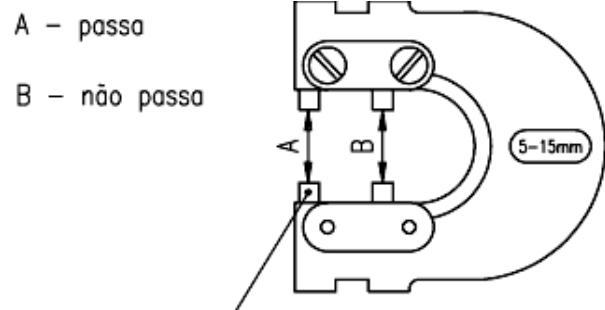
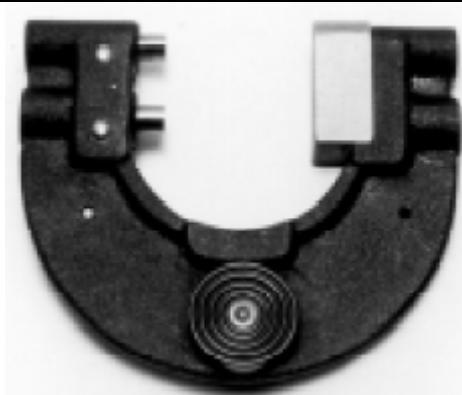


Figura 50 Desenho representativo de um calibrador do tipo vareta.

O calibrador de boca ajustável, figura 51, resolve o problema das indústrias médias e pequenas pela redução do investimento inicial na compra desses equipamentos.

Um modelo é o calibrador ajustável para eixo tem dois ou quatro parafusos de fixação e pinos de aço temperado e retificado. É confeccionado de ferro fundido, em forma de ferradura.

A dimensão máxima pode ser ajustada entre os dois pinos anteriores, enquanto a dimensão mínima é ajustada entre os dois pinos posteriores.



os pinos cilíndricos podem ser  
ajustados a várias tolerâncias

Figura 51 Foto e desenho representativo de um calibrador ajustável.

**Nota:** Esse calibrador normalmente é ajustado com auxílio de blocos-padrão.

As duas peças de um conjunto cônicos podem ser verificadas por meio de um calibrador tampão côncico e de um anel côncico, mostrados na figura 52.

Para a verificação simples do cone, tenta-se uma movimentação transversal do padrão. Quando o cone é exato, o movimento é nulo. Em seguida, procede-se à verificação por atrito, depois de ter estendido sobre a superfície do cone padrão uma camada muito fina de corante, que deixará traços nas partes em contato. Por fim, verifica-se o diâmetro pela posição de penetração do calibrador. Esse método é muito sensível na calibragão de pequenas inclinações.

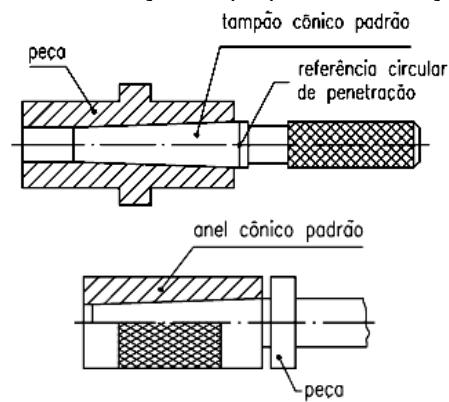


Figura 52 Desenho representativo de dois modelos de calibradores, um calibrador tampão côncico e um calibrador anel côncico padrão.

O calibrador cônico morse possibilita ajustes com aperto enérgico entre peças que serão montadas ou desmontadas com freqüência. Sua conicidade é padronizada, podendo ser macho ou fêmea, conforme mostra a figura 53.



Figura 53 Desenho representativo de um calibrador do tipo cone morse.

Um processo usual e rápido de verificar rosas consiste no uso dos calibradores de rosca. São peças de aço, temperadas e retificadas, obedecendo a dimensões e condições de execução para cada tipo de rosca. O calibrador de rosca da figura 54 é um tipo usual de calibrador de anel, composto por dois anéis, sendo que um lado passa e o outro não passa, para a verificação da rosca externa.

O outro calibrador da figura 55 é o modelo comum do tampão de rosca, servindo a verificação de rosca interna.

A extremidade de rosca mais longa do calibrador tampão verifica o limite mínimo: ela deve penetrar suavemente, sem ser forçada, na rosca interna da peça que está sendo verificada. Diz-se lado passa. A extremidade de rosca mais curta não-passa, verifica o limite máximo.

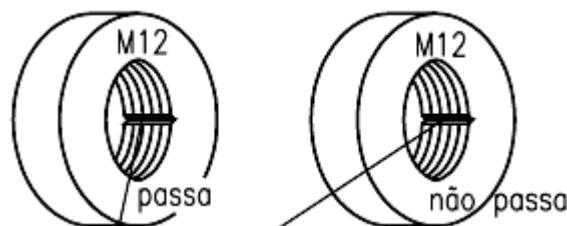


Figura 54 Desenho representativo de um calibrador de rosca.

**Nota:** As ranhuras servem para coletar os cavacos ou sujeiras que estejam aderidos aos filetes das rosas. É conveniente limpar cuidadosamente as rosas antes de fazer a verificação

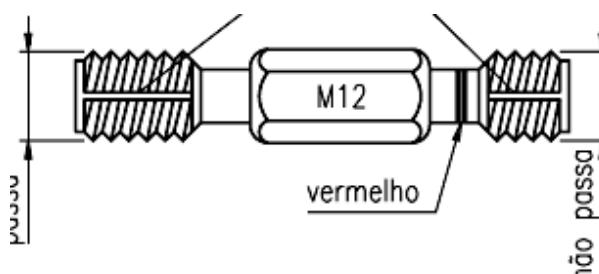


Figura 55 Desenho representativo de um calibrador tampão.

### Conservação

- Evitar choques e quedas.
- Limpar e passar um pouco de óleo fino, após o uso.
- Guardar em estojo e em local apropriado.

### Testes

Marque com X a resposta correta.

#### Exercício 1

Medição indireta é feita com:

- ( ) paquímetro;
- ( ) micrômetro;
- ( ) calibradores;
- ( ) escala.

#### Exercício 2

As dimensões de furo cilíndrico estarão dentro das tolerâncias quando o calibrador tampão (passa/não-passa):

- ( ) passar o diâmetro menor e não passar o diâmetro maior;
- ( ) não passar o diâmetro menor;
- ( ) não passar os dois diâmetros;
- ( ) passar os dois diâmetros.

#### Exercício 3

As dimensões de um eixo estarão dentro das tolerâncias quando o calibrador de bocas (passa/não-passa):

- ( ) passar na boca menor e não passar na boca maior;
- ( ) passar na boca maior e não passar a boca menor;
- ( ) passar na boca maior e na boca menor;
- ( ) não passar a boca menor e na boca maior.

#### Exercício 4

Para comparar o diâmetro interno de um furo cilíndrico e o diâmetro médio de uma rosca externa, usam-se os calibradores:

- ( ) de boca ajustável e regulável;
- ( ) tampão e regulável;
- ( ) de boca escalonada e chata;
- ( ) tampão e chato.

#### Exercício 5

Para comparar dimensões internas acima de 260 mm, usa-se:

- ( ) calibrador tampão;
- ( ) calibrador chato;
- ( ) calibrador cônico morse;
- ( ) calibrador de varetas.

## 7 VERIFICADORES

### Esquadro

É um instrumento em forma de ângulo reto, construído de aço, ou granito. Usa-se para verificação de superfícies em ângulo de 90°.

Um dos mais usados é o esquadro com lâmina biselada, figura 56, utilizado para se obter melhor visualização, em virtude da pequena superfície de contato.

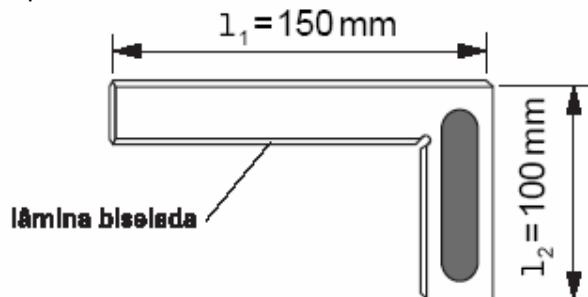


Figura 56 Desenho representativo de um esquadro com lâmina biselada.

### Conservação

- Manter os esquadros livres de batidas.
- Conservá-los sem rebarbas, limpos.
- Lubrificá-los e guardá-los em lugar onde não haja atrito com outras ferramentas (o esquadro de granito não deve ser lubrificado).

Em determinados trabalhos em série, há necessidade de se lidar com perfis complexos, com furações, suportes e montagens. Nesse caso, utilizam-se gabaritos para verificação e controle, ou para facilitar certas operações. A figura 57 apresenta um exemplo de aplicação dos gabaritos.

Os gabaritos são instrumentos relativamente simples, confeccionados de aço-carbono, podendo ser fabricado pelo próprio mecânico. Suas formas, tipos e tamanhos variam de acordo com o trabalho a ser realizado.

Os gabaritos comerciais são encontrados em formatos padronizados.

Temos, assim, verificadores de raios, de ângulo fixo para ferramentas de corte, escantilhões para rosca métrica e whithworth etc.

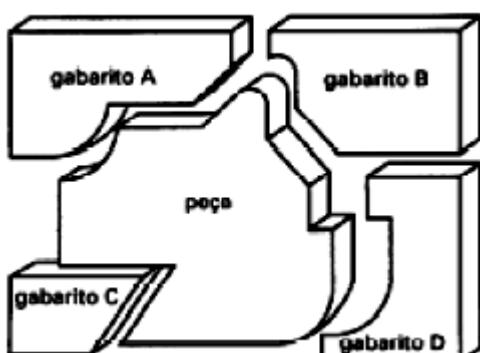


Figura 57 Desenho representativo de um esquadro com lâmina biselada.

Outro instrumento de verificação é o verificador de raios, mostrado na figura 57, que serve para verificar raios internos e externos. Em cada lâmina é estampada a medida do raio. Suas dimensões variam, geralmente, de 1 a 15 mm ou de  $\frac{1}{32}$ " a  $\frac{1}{2}$ ".



Figura 58 Foto de um modelo de verificador de raios.

Para medir ângulos usa-se o verificador de superfícies em ângulos, mostrado na figura 59. Em cada lâmina vem gravado o ângulo, que varia de  $1^\circ$  a  $45^\circ$ .

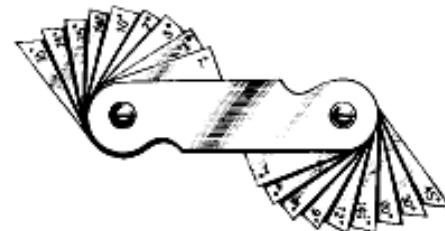


Figura 59 Desenho representativo de um medidor de ângulos.

Para verificar a posição de ferramentas para roscar, em tornos mecânicos, pode-se usar o escantilhão mostrado na figura 60.

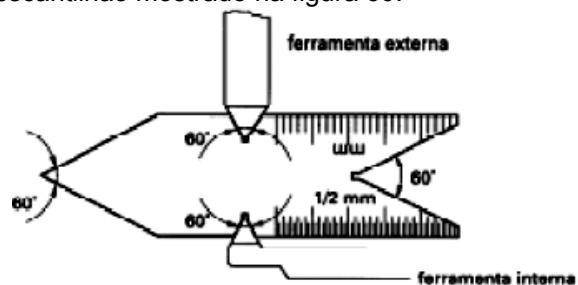


Figura 60 Desenho representativo de um escantilhão.

Para verificar roscas em todos os sistemas, utiliza-se o verificador de rosca. Em suas lâminas está gravado o número de fios por polegada ou o passo da rosca em milímetros. A figura 60 mostra um verificador de roscas em mm.

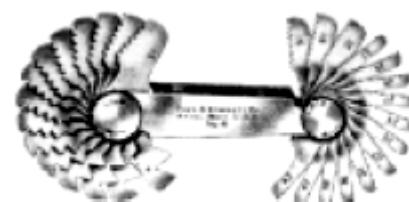


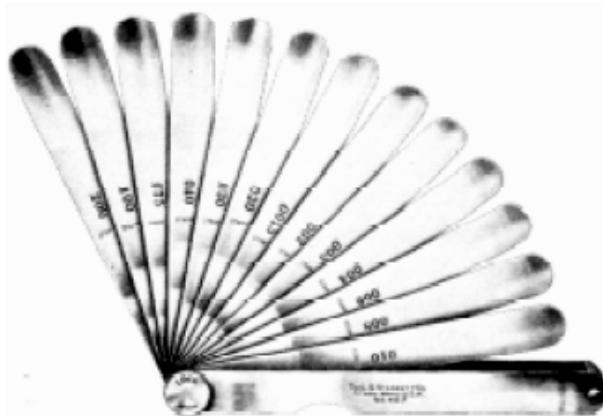
Figura 61 Foto de um verificador de roscas em mm.

Para verificar ângulos de brocas, usa-se o verificador de ângulos de brocas, mostrados na figura 61. Serve para a verificação do ângulo de 59° e para a medição da aresta de corte de brocas.



**Figura 62** Foto de um verificador de ângulo de broca, mostrando uma operação de medição.

O verificador de folga, mostrado na figura 63 é confeccionado de lâminas de aço temperado, rigorosamente calibradas em diversas espessuras. As lâminas são móveis e podem ser trocadas. São usadas para medir folgas nos mecanismos ou conjuntos.



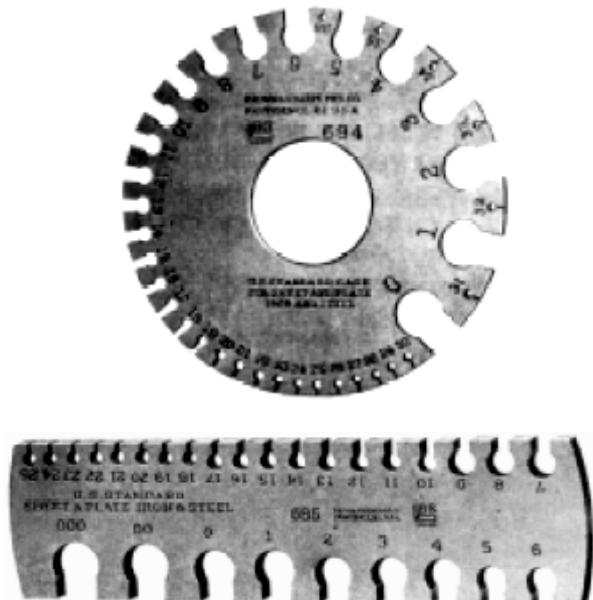
**Figura 63** Foto de um verificador de folgas para componentes mecânicos.

De modo geral, os verificadores de folga se apresentam em forma de canivete. Em ferramentaria, entretanto, utilizam-se calibradores de folga em rolos.

**Obs.:** Não exercer esforço excessivo, o que pode danificar suas lâminas

A fieira, ou verificador de chapas e fios, destina-se à verificação de espessuras e diâmetros. A figura 64 mostra dois exemplos de fieiras. Os dois modelos são de aço temperado. Caracterizam-se por uma série de entalhes. Cada entalhe corresponde, rigorosamente, a uma medida de diâmetro de fios ou espessuras de chapas, conforme a fieira adotada.

A verificação é feita por tentativas, procurando o entalhe que se ajusta ao fio ou à chapa que se quer verificar.



**Figura 64** Foto de dois modelos de verificadores de espessura.

## *Exercício 2*

O esquadro é utilizado para verificar superfícies em ângulos:

- a) ( ) menor que  $90^\circ$ ;  
b) ( ) maior que  $90^\circ$ ;  
c) ( ) igual a  $90^\circ$ ;  
d) ( ) igual a  $100^\circ$ .

### *Exercício 3*

Os calibradores escantilhão, ângulo de 59° e folga servem, respectivamente, para:

- servi, respectivamente, para:

  - a) ( ) calibrar roscas, afiação de broca, medir espessura;
  - b) ( ) posicionar ferramentas, calibrar superfície em ângulo, calibrar;
  - c) ( ) calibrar roscas, afiação de broca, medição de folga;
  - d) ( ) posicionar ferramentas, afiação de broca, medição de folga.

### *Exercício 4*

O instrumento destinado à verificação de espessura e diâmetro é:

- a) ( ) verificador de folga;
  - b) ( ) verificador de raios;
  - c) ( ) fieira;
  - d) ( ) verificador de diâmetro;

## 8 RELÓGIO COMPARADOR

Medir a grandeza de uma peça por comparação é determinar a diferença da grandeza existente entre ela e um padrão de dimensão predeterminado. Daí originou-se o termo medição indireta.

O relógio comparador é um instrumento de medição por comparação, dotado de uma escala e um ponteiro, ligados por mecanismos diversos a uma ponta de contato.

O comparador centesimal é um instrumento comum de medição por comparação. As diferenças percebidas nele pela ponta de contato são amplificadas mecanicamente e irão movimentar o ponteiro rotativo diante da escala.

Quando a ponta de contato sofre uma pressão e o ponteiro gira em sentido horário, a diferença é positiva. Isso significa que a peça apresenta maior dimensão que a estabelecida. Se o ponteiro girar em sentido anti-horário, a diferença será negativa, ou seja, a peça apresenta menor dimensão que a estabelecida.

Existem vários modelos de relógios comparadores. Os mais utilizados possuem resolução de 0,01 mm. O curso do relógio também varia de acordo com o modelo, porém os mais comuns são de 1 mm, 10 mm, .250" ou 1". A figura 65 mostra um modelo de relógio comparador, com identificação dos seus principais componentes.

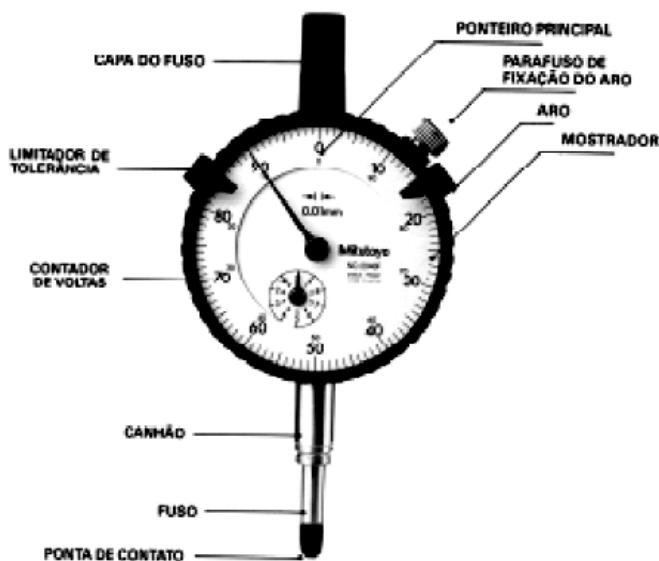


Figura 65 Foto de um modelo de relógio comparador e identificação de seus principais componentes.

Alguns relógios trazem limitadores de tolerância. Esses limitadores são móveis, podendo ser ajustados nos valores máximo e mínimo permitidos para a peça que será medida.

Existem ainda os acessórios especiais que se adaptam aos relógios comparadores. Sua finalidade é possibilitar controle em série de peças, medições especiais de superfícies verticais, de profundidade, de espessuras de chapas etc.

As próximas figuras mostram esses dispositivos destinados à medição de profundidade e de espessuras de chapas.

Os relógios comparadores também podem ser utilizados para furos. Uma das vantagens de seu emprego é a constatação, rápida e em qualquer ponto, da dimensão do diâmetro ou de defeitos, como conicidade, ovalização etc.

Consiste basicamente num mecanismo que transforma o deslocamento radial de uma ponta de contato em movimento axial transmitido a um relógio comparador, no qual pode-se obter a leitura da dimensão. O instrumento deve ser previamente calibrado em relação a uma medida padrão de referência.

Esse dispositivo é conhecido como medidor interno com relógio comparador ou súbito.

### Condições de uso

Antes de medir uma peça, devemos nos certificar de que o relógio se encontra em boas condições de uso.

A verificação de possíveis erros é feita da seguinte maneira: com o auxílio de um suporte de relógio, tomam-se as diversas medidas nos blocos-padrão. Em seguida, deve-se observar se as medidas obtidas no relógio correspondem às dos blocos. São encontrados também calibradores específicos para relógios comparadores. Veja o exemplo da figura 66.

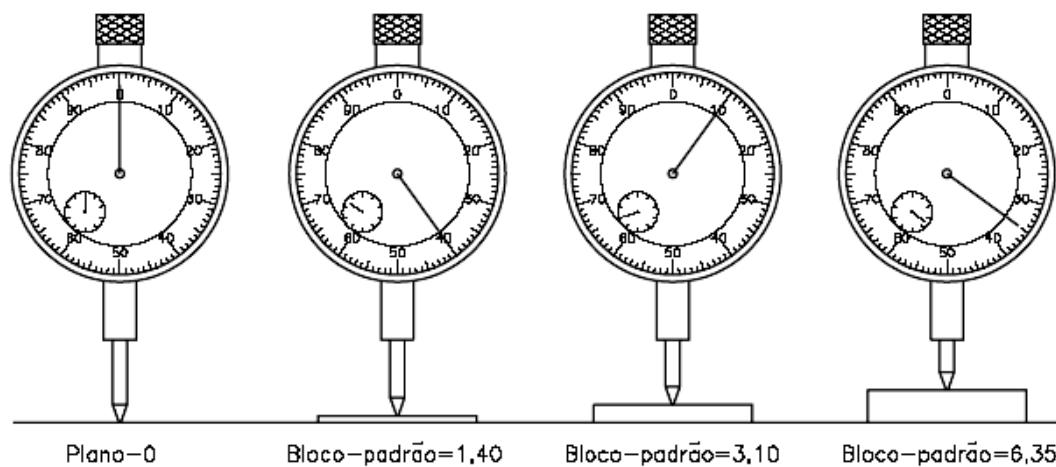
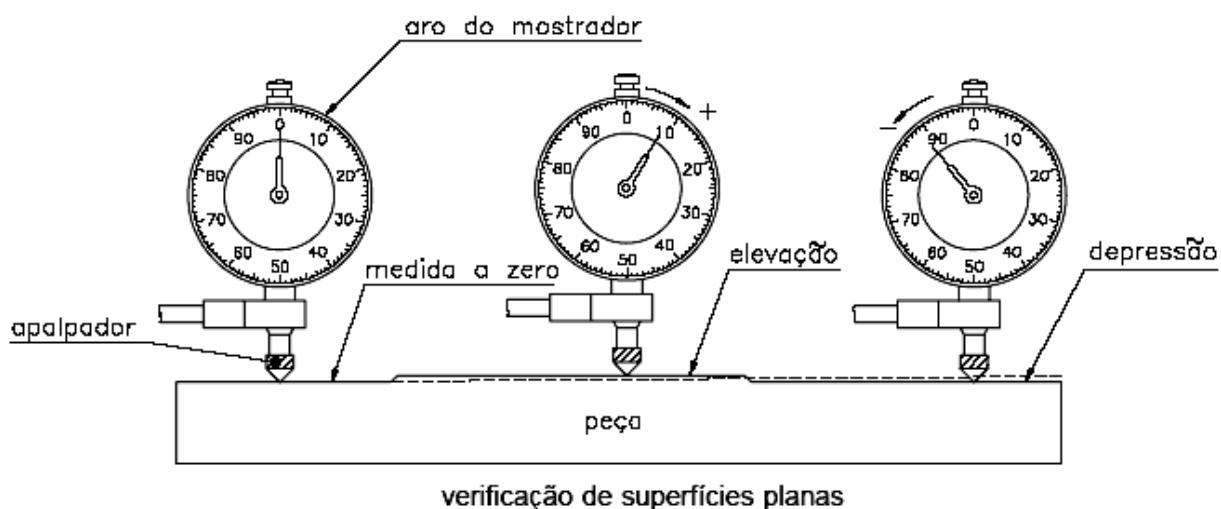
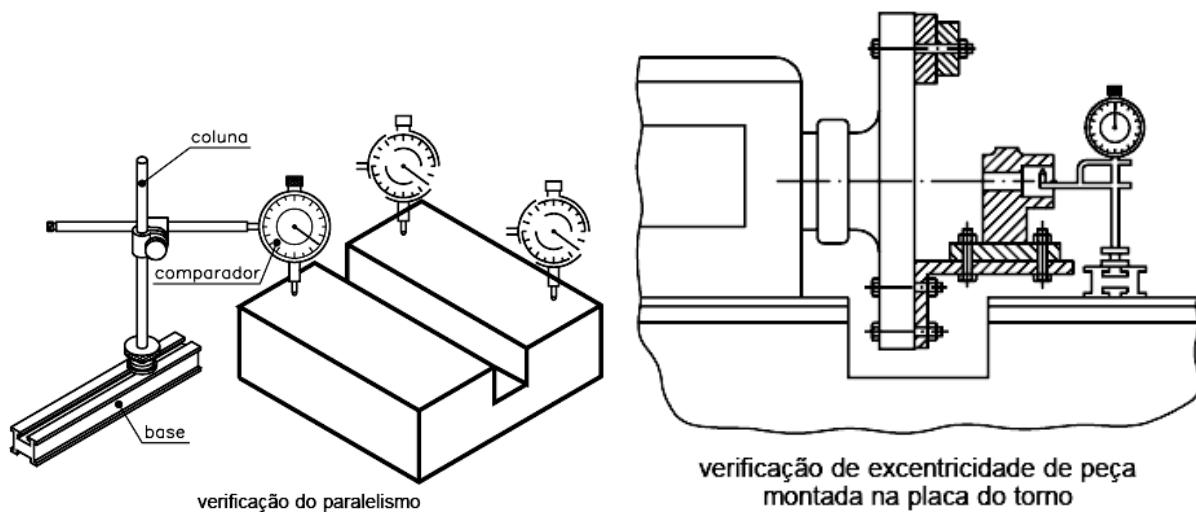
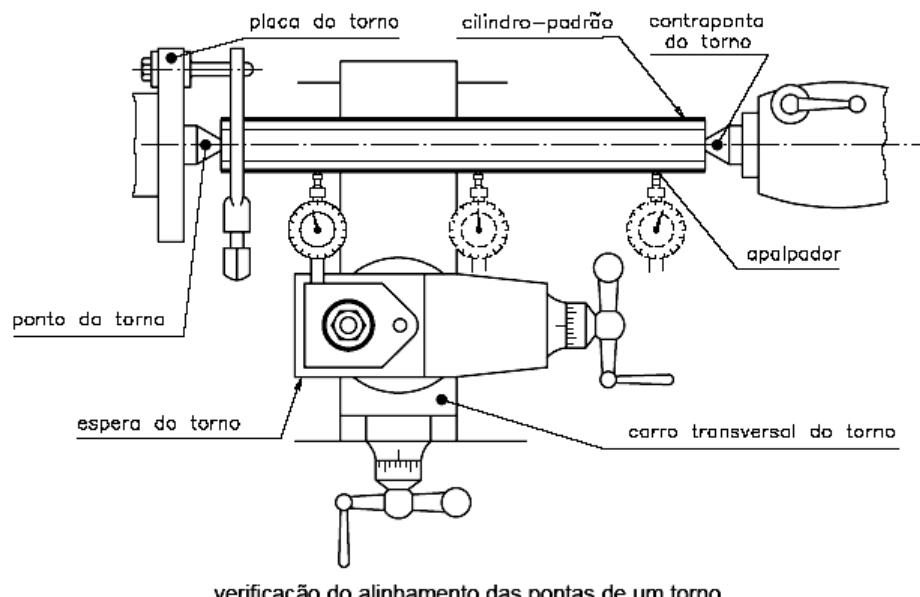
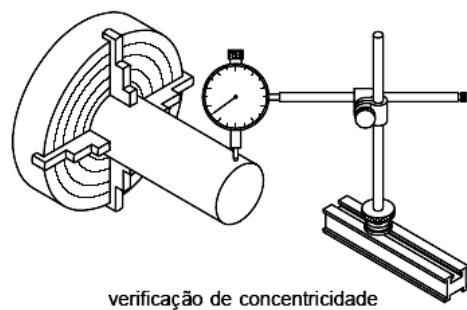


Figura 66 Desenho representativo de um procedimento de medição com relógio comparador.

**Observação:** Antes de tocar na peça, o ponteiro do relógio comparador fica em uma posição anterior a zero. Assim, ao iniciar uma medida, deve-se dar uma pré-carga para o ajuste do zero. Colocar o relógio sempre numa posição perpendicular em relação à peça, para não incorrer em erros de medida.

#### Aplicações dos relógios comparadores





### Conservação

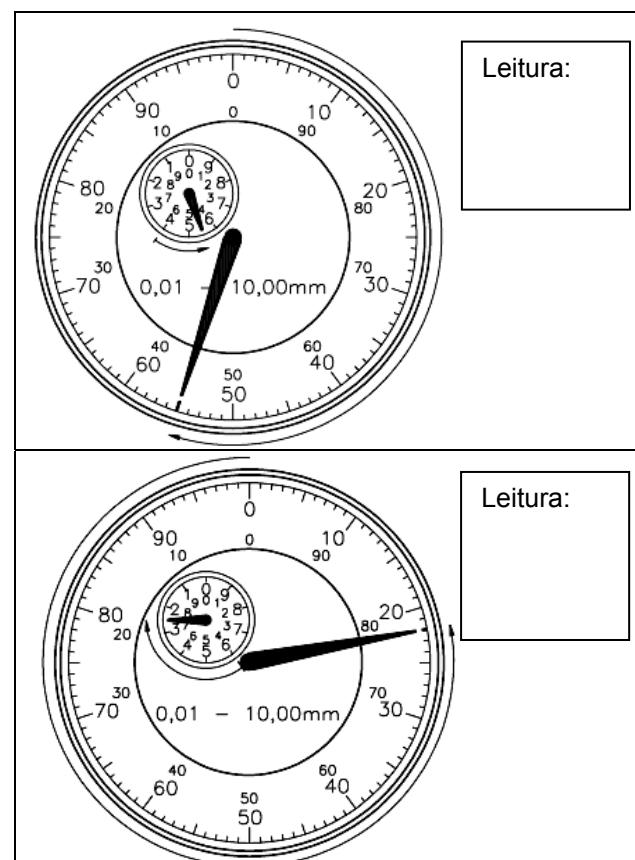
- Descer suavemente a ponta de contato sobre a peça.
- Levantar um pouco a ponta de contato ao retirar a peça.
- Evitar choques, arranhões e sujeira.
- Manter o relógio guardado no seu estojo.
- Os relógios devem ser lubrificados internamente nos mancais das engrenagens.

### Exercícios

A posição inicial do ponteiro pequeno mostra a carga inicial ou de medição.

- Deve ser registrado se a variação é negativa ou positiva.
- Leitura de relógio comparador (milímetro)

### Resolver o exercício - RC



## 9 GONIÔMETRO

O goniômetro é um instrumento de medição ou de verificação de medidas angulares.

O goniômetro simples, também conhecido como transferidor de grau, é utilizado em medidas angulares que não necessitam extremo rigor. Sua menor divisão é de  $1^\circ$  (um grau). Há diversos modelos de goniômetro. A figura 67 mostra um tipo bastante usado, em que se podem observar as medidas de um ângulo agudo e de um ângulo obtuso.

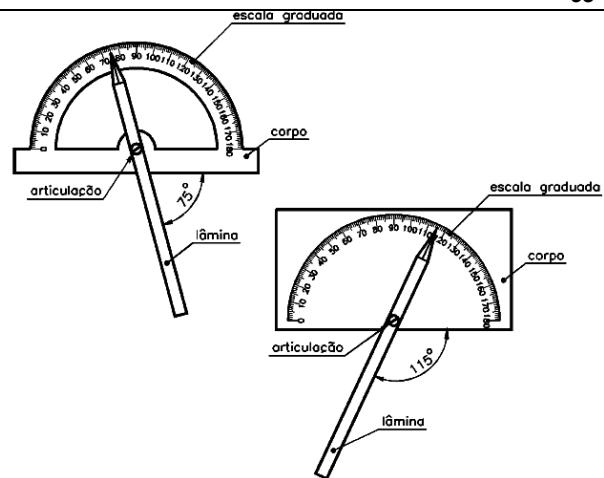


Figura 67 Desenho representativo de dois modelos de goniômetro, com identificação de seus principais componentes.

Na figura 68, é apresentado um goniômetro de precisão. O disco graduado apresenta quatro graduações de 0 a  $90^\circ$ . O articulador gira com o disco do vernier e, em sua extremidade, há um ressalto adaptável à régua.

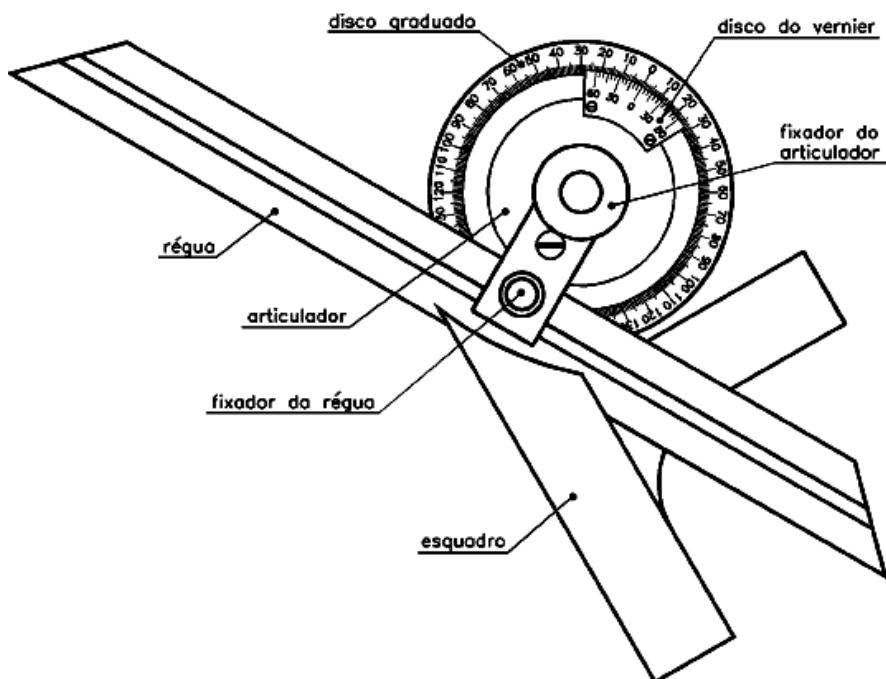
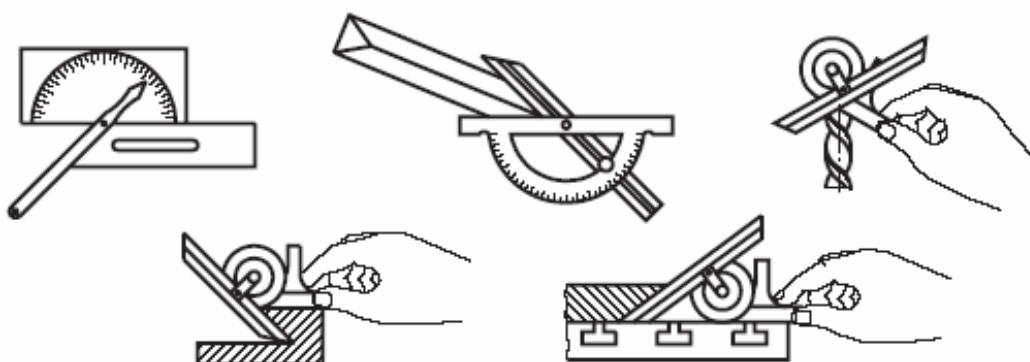


Figura 68 Desenho representativo de um goniômetro de precisão com identificação de seus principais componentes.

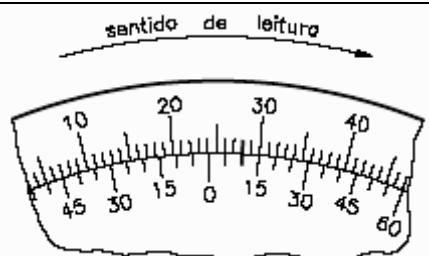


Exemplos de aplicação do goniômetro

Conservacão

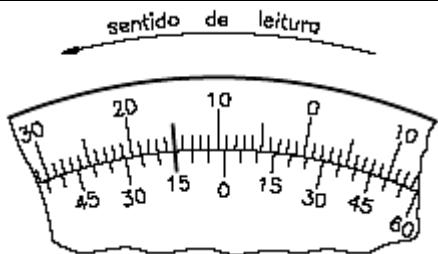
- Evitar quedas e contato com ferramentas de oficina.
  - Guardar o instrumento em local apropriado, sem expô-lo ao pó ou à umidade.

## **Exercícios**



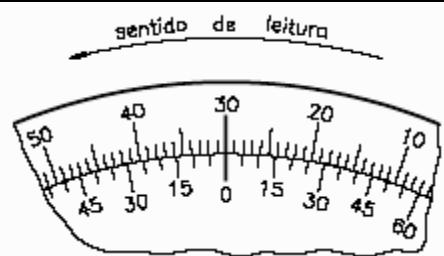
(a)

## Leitura



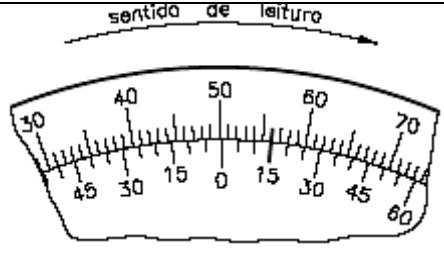
(b)

## Leitura



(c)

Leitura



(d)

Leitura

## **ANOTAÇÕES**

## 10 TOLERÂNCIAS GEOMÉTRICAS E DE FORMA

Apesar do alto nível de desenvolvimento tecnológico, ainda é impossível obter superfícies perfeitamente exatas. Por isso, sempre se mantém um limite de tolerância nas medições. Mesmo assim, é comum aparecerem peças com superfícies fora dos limites de tolerância, devido a várias falhas no processo de usinagem, nos instrumentos ou nos procedimentos de medição. Nesse caso, a peça apresenta erros de forma.

### Conceito de erro de forma

Um erro de forma corresponde à diferença entre a superfície real da peça e a forma geométrica teórica.

A forma de um elemento será correta quando cada um dos seus pontos for igual ou inferior ao valor da tolerância dada.

A diferença de forma deve ser medida perpendicularmente à forma geométrica teórica, tomando-se cuidado para que a peça esteja apoiada corretamente no dispositivo de inspeção, para não se obter um falso valor.

### Causas

Os erros de forma são ocasionados por vibrações, imperfeições na geometria da máquina, defeito nos mancais e nas árvores etc.

Tais erros podem ser detectados e medidos com instrumentos convencionais e de verificação, tais como régulas, micrômetros, comparadores ou aparelhos específicos para quantificar esses desvios.

### Conceitos básicos

#### **Definições, conforme NBR 6405/1988.**

Superfície real: superfície que separa o corpo do ambiente.

- *Superfície geométrica:* superfície ideal prescrita nos desenhos e isenta de erros. Exemplos: superfícies plana, cilíndrica, esférica.
- *Superfície efetiva:* superfície levantada pelo instrumento de medição. É a superfície real, deformada pelo instrumento.

Com instrumentos, não é possível o exame de toda uma superfície de uma só vez. Por isso, examina-se um corte dessa superfície de cada vez.

Assim, define-se:

- Perfil real: corte da superfície real.
- Perfil geométrico: corte da superfície geométrica.
- Perfil efetivo: corte da superfície efetiva.

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

superfície em exame e são genericamente classificados em dois grupos:

- *Erros macrogeométricos:* detectáveis por instrumentos convencionais. Exemplos: ondulações acentuadas, conicidade, ovalização etc.
- *Erros microgeométricos:* detectáveis somente por rugosímetros, perfiloscópios etc. São também definidos como rugosidade.

**Tabela 2 Classificação e simbologia das condições geométricas .**

Características afetadas pelas tolerâncias		
FORMA para elementos isolados	Retilineidade	—
	Planeza	□
	Circularidade	○
	Cilindricidade	◎
	Forma de uma linha qualquer	△
	Forma de uma superfície qualquer	○
ORIENTAÇÃO para elementos associados	Paralelismo	//
	Perpendicularidade	⊥
	Inclinação	↙ ↘ ↙ ↘
	Posição de um elemento	⊕
	Concentricidade	◎
	Simetria	≡
POSIÇÃO para elementos associados	Batimento	↙

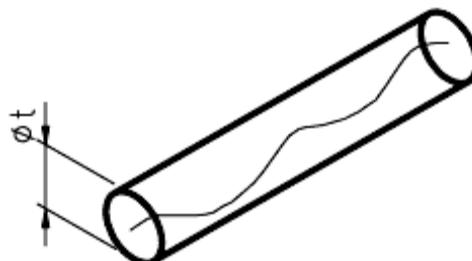
### Tolerância de forma (para elemento isolado)

#### 10.1 Retilineidade

##### **Símbolo —**

É a condição pela qual cada linha deve estar limitada dentro do valor de tolerância especificada.

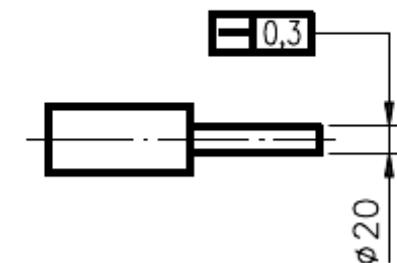
Se o valor da tolerância ( $t$ ) for precedido pelo símbolo  $\text{AE}$ , o campo de tolerância será limitado por um cilindro “ $t$ ”, conforme figura 68.



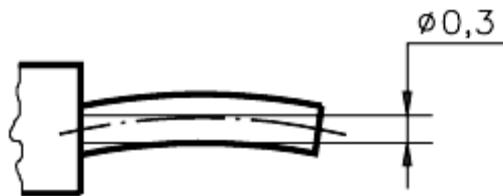
**Figura 69 Desenho representativo de um cilindro com diâmetro “ $t$ ” , que limita o campo de tolerância da retilineidade.**

A figura 70 (a) apresenta a especificação do desenho, com a simbologia de tolerância. A figura 70 (b) mostra um exemplo de interpretação da especificação do desenho, onde o eixo do cilindro de 20 mm de diâmetro deverá estar compreendido em uma zona cilíndrica de 0,3 mm de diâmetro.

(a)  
**Especificação do desenho**

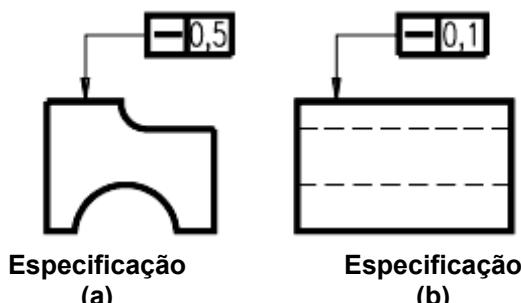


(b)  
**Interpretação**



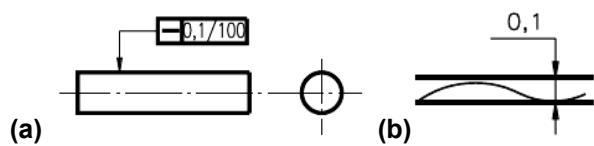
**Figura 70** Especificação e interpretação de retilíneidade para um cilindro com diâmetro 20 mm e tolerância de retilíneidade 0,3 mm

A figura 71 apresenta o exemplo de aplicação de retilíneidade para tolerância de retilíneidade em duas direções de um mesmo plano, o campo de tolerância daquela superfície é de 0,5mm na direção da figura 71 (a), e de 0,1mm na direção da figura 71(b).



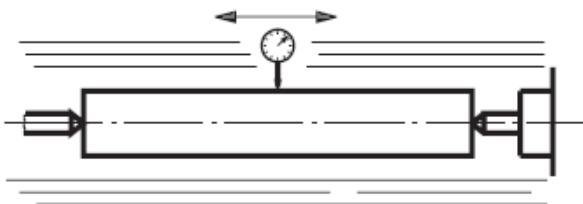
**Figura 71** Especificação de tolerância para retilíneidade em duas direções.

Uma parte qualquer da geratriz do cilindro com comprimento igual a 100 mm deve ficar entre duas retas paralelas, distantes 0,1 mm. A figura 72 (a) mostra a especificação do desenho e a figura 72 (b) a interpretação.



**Figura 72** Especificação de tolerância para retilíneidade em uma parte qualquer da geratriz, com interpretação.

A figura 73 mostra o método de medição para retilíneidade, com relógio comparador.

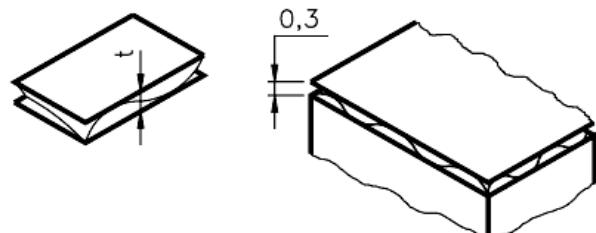


**Figura 73** Desenho representativo do método de medição.

## 10.2 Planeza

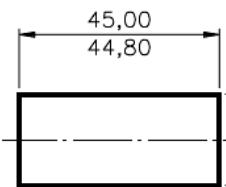
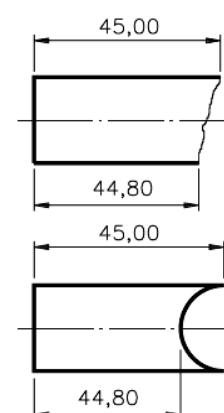
Símbolo:

É a condição pela qual toda superfície deve estar limitada pela zona de tolerância “ $t$ ”, compreendida entre dois planos paralelos, distantes de “ $t$ ”, conforme mostra a figura 74.

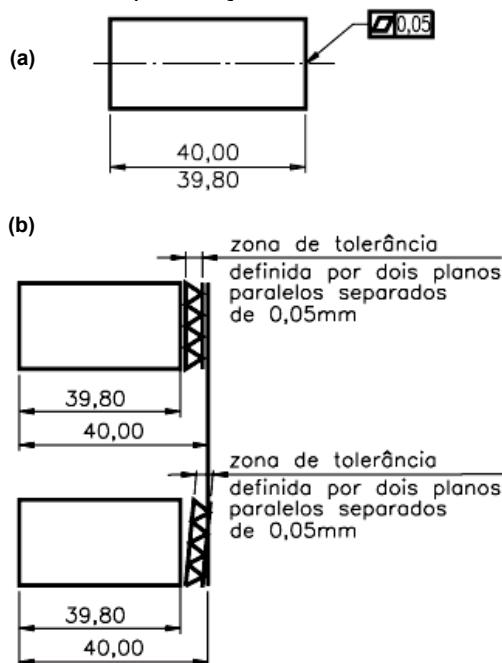


**Figura 74** Desenho representativo da condição de planeza.

*Tolerância dimensional e planeza:* Quando, no desenho do produto, não se especifica a tolerância de planeza, admite-se que ela possa variar, desde que não ultrapasse a tolerância dimensional, como mostrado na figura 75.

**Especificação do desenho****Interpretação****Figura 75 Desenho representativo da condição de planeza.**

Pode-se observar na figura 76 (b), pela que a tolerância de planeza é independente da tolerância dimensional especificada pelos limites de medida. Conclui-se que a zona de tolerância de forma (planeza) poderá variar de qualquer maneira, dentro dos limites dimensionais. Mesmo assim, satisfará às especificações da tolerância.

**Figura 76 Desenho representativo da condição de planeza, com tolerância de planeza (a) e tolerância dimensional (b).**

A tolerância de planeza tem uma importante aplicação na construção de máquinas-ferramenta, principalmente guias de assento de carros, cabeçote etc.

Geralmente, os erros de planicidade ocorrem devido aos fatores:

- Variação de dureza da peça ao longo do plano de usinagem.
- Desgaste prematuro do fio de corte.

- Deficiência de fixação da peça, provocando movimentos indesejáveis durante a usinagem.
- Má escolha dos pontos de locação e fixação da peça, ocasionando deformação.
- Folga nas guias da máquina.
- Tensões internas decorrentes da usinagem, deformando a superfície.

As tolerâncias admissíveis de planeza mais aceitas são:

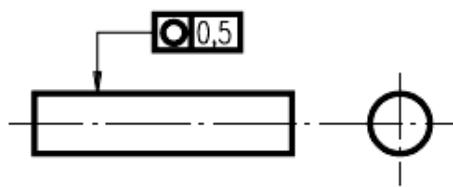
- Torneamento: 0,01 a 0,03 mm;
- Fresamento: 0,02 a 0,05 mm;
- Retífica: 0,005 a 0,01 mm.

**10.3 Circularidade**

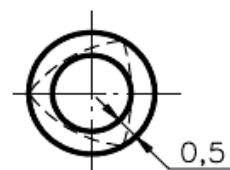
**Símbolo:**

É a condição pela qual qualquer círculo deve estar dentro de uma faixa definida por dois círculos concêntricos, distantes no valor da tolerância especificada. A figura 77(a) mostra a especificação do desenho e a figura 77(b) a interpretação. O campo de tolerância em qualquer seção transversal é limitado por dois círculos concêntricos e distantes 0,5 mm.

(a)

**Especificação do desenho**

(b)

**Figura 77 . Desenho de uma peça cilíndrica mostrando em (a) a especificação do desenho e em (b) a interpretação.**

A figura 78 apresenta o desenho do contorno de cada seção transversal que deve estar compreendido numa coroa circular de 0,1mm de largura.

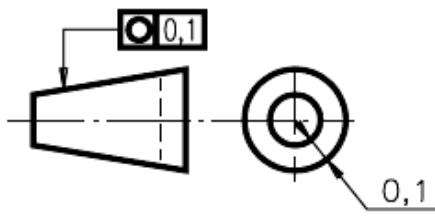


Figura 78 Desenho representativo de uma peça cilíndrica cônica e sua especificação.

Normalmente, não será necessário especificar tolerâncias de circularidade, pois, se os erros de forma estiverem dentro das tolerâncias dimensionais, eles serão suficientemente pequenos para se obter a montagem e o funcionamento adequados da peça.

Entretanto, há casos em que os erros permitíveis, devido a razões funcionais, são tão pequenos que a tolerância apenas dimensional não atenderia à garantia funcional.

Se isso ocorrer, será necessário especificar tolerâncias de circularidade. É o caso típico de cilindros dos motores de combustão interna, nos quais a tolerância dimensional pode ser aberta (H11), porém a tolerância de circularidade tem de ser estreita, para evitar vazamentos.

#### *Circularidade*

métodos de medição - O erro de circularidade é verificado na produção com um dispositivo de medição entre centros. Se a peça não puder ser medida entre centros, essa tolerância será difícil de ser verificada, devido à infinita variedade de erros de forma que podem ocorrer em virtude da dificuldade de se estabelecer uma superfície padrão, com a qual a superfície pudesse ser comparada. Em geral, adota-se um prisma em "V" e um relógio comparador, ou um relógio comparador que possa fazer medidas em três pontos, como mostrado nos exemplos da figura 79.

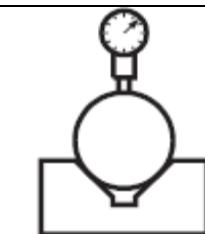
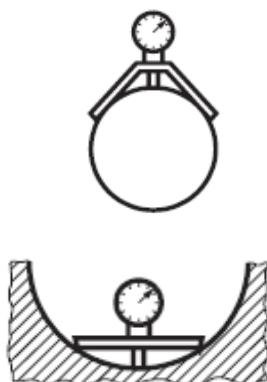


Figura 79 Desenho representativo dos sistemas de verificação de circularidade em peças sem centros.

A medição mais adequada de circularidade é feita por aparelhos especiais de medida de circularidade utilizados em metrologia, cujo esquema é mostrado na figura 80.

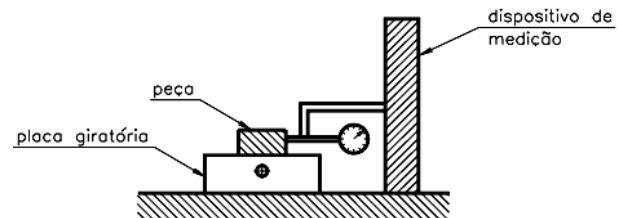


Figura 80 Desenho representativo da medição de tolerância de circularidade.

A linha de centro de giro é perpendicular à face da peça, e passa pelo centro determinado por dois diâmetros perpendiculares da peça (considerada no seu plano da face).

Na usinagem em produção, podem-se adotar os valores de circularidade:

- Torneamento: até 0,01 mm;
- Mandrilamento: 0,01 a 0,015 mm;
- Retificação: 0,005 a 0,015 mm.

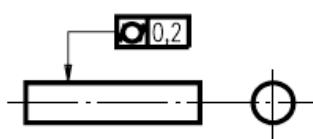
#### 10.4 Cilindricidade

Símbolo:



É a condição pela qual a zona de tolerância especificada é a distância radial entre dois cilindros coaxiais, conforme mostrado na figura 81.

### Especificação do desenho



### Interpretação

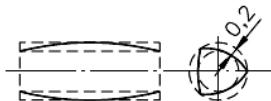


Figura 81 desenho representativo da medição de tolerância de circularidade.

Na interpretação da figura 80, a superfície considerada deve estar compreendida entre dois cilindros coaxiais, cujos raios diferem 0,2 mm.

A circularidade é um caso particular de cilindricidade, quando se considera uma seção do cilindro perpendicular à sua geratriz.

A tolerância de cilindricidade engloba:

- Tolerâncias admissíveis na seção longitudinal do cilindro, que compreende conicidade, concavidade e convexidade.
- Tolerância admissível na seção transversal do cilindro, que corresponde à circularidade.

*Cilindricidade:* método de medição;

- Para se medir a tolerância de cilindricidade, utiliza-se o dispositivo representado na figura 82.



Figura 82 desenho representativo do dispositivo de medição para tolerância de circularidade.

A peça é medida nos diversos planos de medida, e em todo o comprimento. A diferença entre as indicações máxima e mínima não deve ultrapassar, em nenhum ponto do cilindro, a tolerância especificada.

### 10.5 Forma de uma linha qualquer

Símbolo:



O campo de tolerância é limitado por duas linhas envolvendo círculos cujos diâmetros sejam iguais à tolerância especificada e cujos centros estejam situados sobre o perfil geométrico correto da linha. A figura 83 mostra a especificação do desenho e a interpretação.

Em cada seção paralela ao plano de projeção, o perfil deve estar compreendido entre duas linhas envolvendo círculos de 0,4 mm de diâmetro, centrados sobre o perfil geométrico correto.

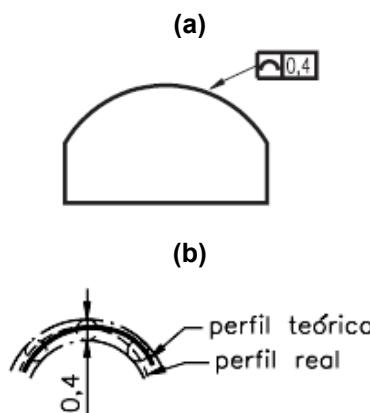


Figura 83 Desenho representativo do dispositivo de medição para tolerância de circularidade.

### 10.6 Forma de uma superfície qualquer

Símbolo:

O campo de tolerância é limitado por duas superfícies envolvendo esferas de diâmetro igual à tolerância especificada e cujos centros estão situados sobre uma superfície que tem a forma geométrica correta. A figura 84 mostra a especificação do desenho e a interpretação.

Na figura 84 (b) a superfície considerada deve estar compreendida entre duas superfícies envolvendo esferas de 0,2 mm de diâmetro, centradas sobre o perfil geométrico correto.

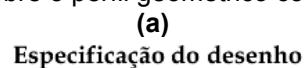


Figura 84 Desenho representativo de uma superfície qualquer, com especificação do desenho e interpretação.

**Testes**

Marque com X a resposta correta.

**Exercício 1**

Um erro de forma corresponde à diferença entre a superfície real da peça e a forma:

- a) ( ) planejada;
- b) ( ) geométrica teórica;
- c) ( ) calculada;
- d) ( ) projetada.

**Exercício 2**

Quando cada um dos pontos de uma peça for igual ou inferior ao valor da tolerância, diz-se que a forma da peça está:

- a) ( ) incorreta;
- b) ( ) aceitável;
- c) ( ) inaceitável;
- d) ( ) correta.

**Exercício 3**

Por meio da régua, micrômetro, comparador, os erros de forma podem ser:

- a) ( ) detectados e corrigidos;
- b) ( ) detectados e eliminados;
- c) ( ) detectados e medidos;
- d) ( ) detectados e reduzidos.

**Exercício 4**

Erros como ondulações acentuadas, conicidade, ovalização denominam-se erros:

- a) ( ) microgeométricos;
- b) ( ) de rugosidade;
- c) ( ) macrogeométricos;
- d) ( ) de circularidade.

**Exercício 5**

Erros microgeométricos podem ser definidos como:

- a) ( ) ondulação;
- b) ( ) circularidade;
- c) ( ) rugosidade;
- d) ( ) planeza.

**Exercício 6**

Desenhe os símbolos de:

Planeza;  
Circularidade;  
Cilindricidade;  
Retilineidade.

**Exercício 7**

O desgaste prematuro do fio de corte pode causar erro de:

- a) ( ) planicidade;
- b) ( ) retilineidade;
- c) ( ) circularidade;
- d) ( ) forma.

## 11 TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA DE ORIENTAÇÃO

A tolerância de posição estuda a relação entre dois ou mais elementos. Essa tolerância estabelece o valor permitível de variação de um elemento da peça em relação à sua posição teórica, estabelecida no desenho do produto. No estudo das diferenças de posição será suposto que as diferenças de forma dos elementos associados são desprezíveis em relação às suas diferenças de posição.

Se isso não acontecer, será necessária uma separação entre o tipo de medição, para que se faça a detecção de um ou outro desvio. As diferenças de posição, de acordo com a norma ISO R-1101, são classificadas em orientação para dois elementos associados e posição dos elementos associados. A tabela 3 apresenta de forma resumida as tolerâncias de posição por orientação.

Tabela 3 Resumo das tolerâncias por orientação .

Tolerância de posição	Orientação para elementos associados
	//
	⊥
	<

### 11.1 Paralelismo

Símbolo: //

Paralelismo é a condição de uma linha ou superfície ser equidistante em todos os seus pontos de um eixo ou plano de referência. A figura 85 apresenta especificações de desenhos para três situações.

Em (A), O eixo superior deve estar compreendido em uma zona cilíndrica de 0,03 mm de diâmetro, paralelo ao eixo inferior "A", se o valor da tolerância for precedido pelo símbolo  $\text{AE}$ .

Em (B), a superfície superior deve estar compreendida entre dois planos distantes 0,1 mm e paralelos ao eixo do furo de referência "B".

Em (C), O eixo do furo deve estar compreendido entre dois planos distantes 0,2 mm e paralelos ao plano de referência "C".

O paralelismo é sempre relacionado a um comprimento de referência. Na figura 86, está esquematizada a forma correta para se medir o paralelismo das faces. Supõe-se, para rigor da medição, que a superfície tomada como referência seja suficientemente plana.

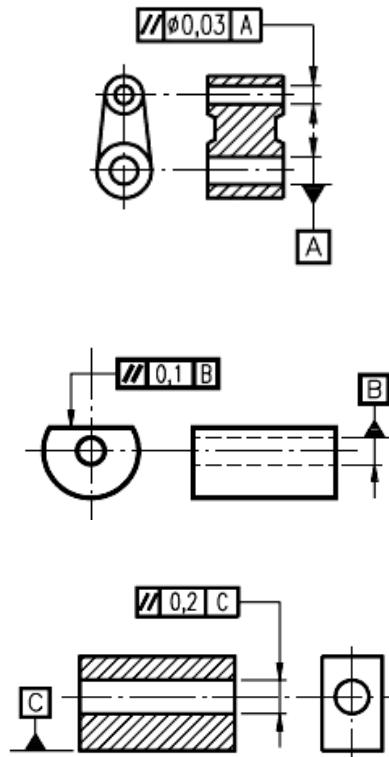


Figura 85 Desenho representativo de um eixo superior (A), superfície superior (B) e em (C) do furo do eixo.

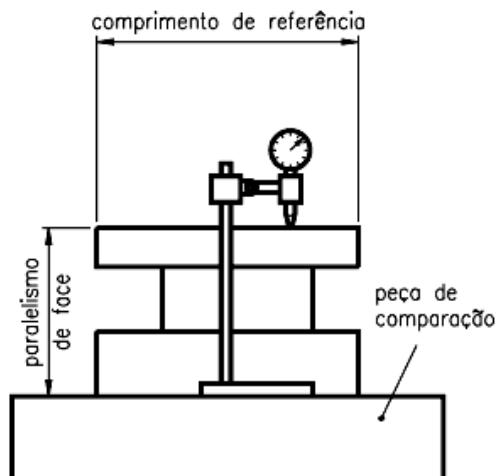


Figura 86 Desenho representativo da forma correta de medir o paralelismo.

### 11.2 Perpendicularidade

Símbolo: ⊥

É a condição pela qual o elemento deve estar dentro do desvio angular, tomado como referência o ângulo reto entre uma superfície, ou

uma reta, e tendo como elemento de referência uma superfície ou uma reta, respectivamente.

Assim, podem-se considerar os seguintes casos de perpendicularidade:

#### Tolerância de perpendicularidade entre duas retas

O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, distantes no valor especificado “ $t$ ”, e perpendiculares à reta de referência, conforme exemplo da figura 87.

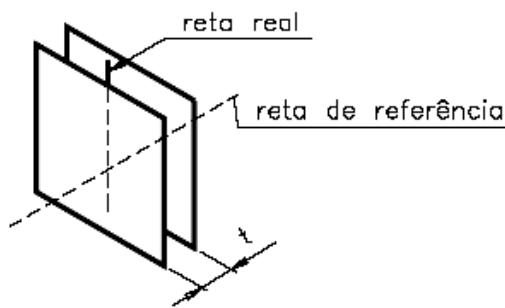
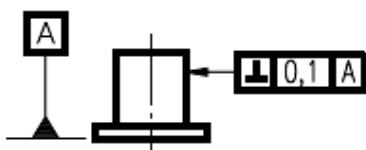


Figura 87 Desenho esquemático de dois planos paralelos entre si, das retas de referência e real.

A figura 88 mostra a especificação do desenho e a interpretação para um eixo cilíndrico que deve estar compreendido em um campo cilíndrico de 0,1 mm de diâmetro, perpendicular à superfície de referência “A”.

#### Especificação do desenho



#### Interpretação

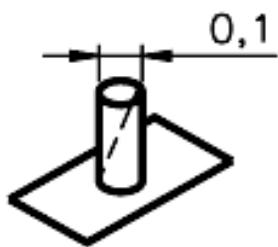
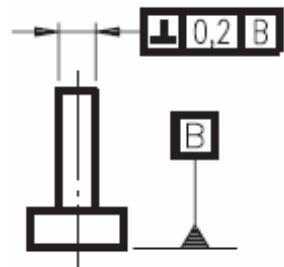


Figura 88 Desenho esquemático de dois planos paralelos entre si, das retas de referência e real.

Na figura 88, o eixo do cilindro deve estar compreendido entre duas retas paralelas, distantes 0,2 mm e perpendiculares à superfície de referência “B”. A direção do plano das retas paralelas é a indicada na interpretação.

#### Especificação do desenho



#### Interpretação

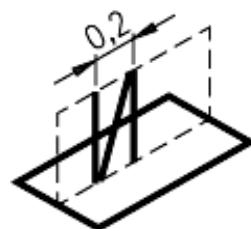


Figura 89 Desenho esquemático da especificação de um eixo e a interpretação da perpendicularidade.

#### Tolerância de perpendicularidade entre um plano e uma reta

O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, distantes no valor especificado e perpendicular à reta de referência, conforme exemplo da figura 90.

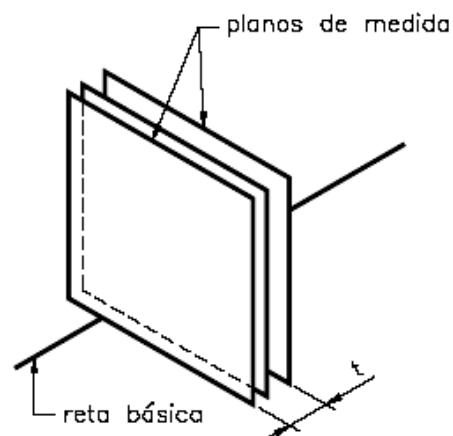
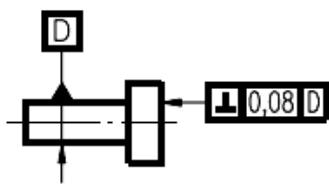


Figura 90 Desenho esquemático de dois planos paralelos entre si, das retas de referência e básica.

Tolerância de perpendicularidade entre uma superfície e uma reta. A figura 91 mostra a especificação do desenho e a interpretação.

A face à direita da peça deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes 0,08 mm e perpendiculares ao eixo “D”.

### Especificação do desenho



### Interpretação

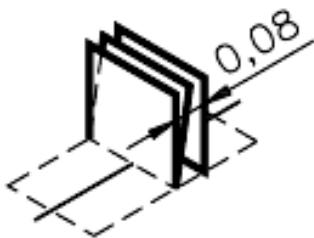


Figura 91 Desenho esquemático da especificação do desenho e interpretação, para tolerância de perpendicularidade.

### Tolerância de perpendicularidade entre dois planos:

A tolerância de perpendicularidade entre uma superfície e um plano tomado como referência é determinada por dois planos paralelos, distanciados da tolerância especificada e respectivamente perpendiculares ao plano referencial, conforme mostra a figura 92.

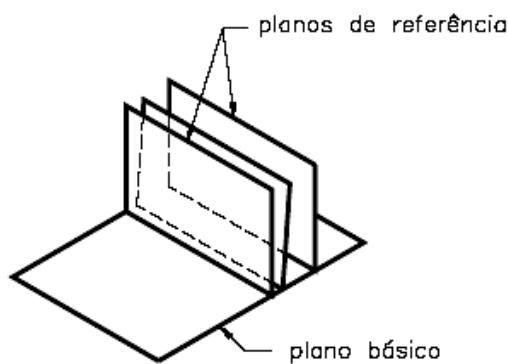
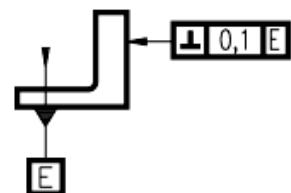


Figura 92 Desenho esquemático dos planos de referência e a perpendicularidade com o plano básico.

A figura 93 mostra a especificação do desenho e a interpretação.

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

### Especificação do desenho



### Interpretação

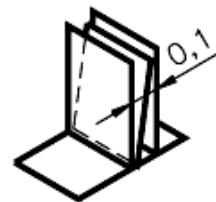


Figura 93 Representação da especificação do desenho e da interpretação para dois planos paralelos, perpendicular a superfície de referência.

### 11.3 Inclinação

Símbolo:

Existem dois métodos para especificar tolerância angular:

- Pela variação angular, especificando o ângulo máximo e o ângulo mínimo. A figura 94 mostra a especificação do desenho.

A indicação  $75^\circ \pm 1^\circ$  significa que entre as duas superfícies, em nenhuma medição angular, deve-se achar um ângulo menor que  $74^\circ$  ou maior que  $76^\circ$ .

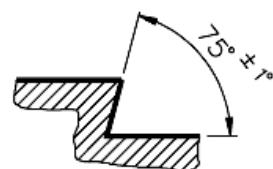


Figura 94 Especificação do desenho com a indicação da tolerância de inclinação.

- Pela indicação de tolerância de orientação, especificando o elemento que será medido e sua referência.

### Tolerância de inclinação de uma linha em relação a uma reta de referência;

O campo de tolerância é limitado por duas retas paralelas, cuja distância é a tolerância, e inclinadas em relação à reta de referência do ângulo especificado. A figura 95 mostra a especificação do desenho e a interpretação.

O eixo do furo deve estar compreendido entre duas retas paralelas com distância de 0,09 mm e inclinação de  $60^\circ$  em relação ao eixo de referência "A".



#### Interpretação

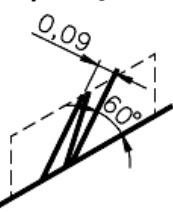


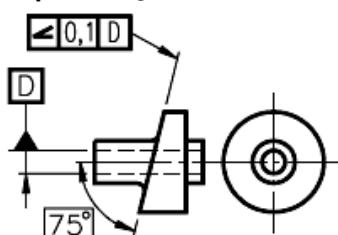
Figura 95 Especificação do desenho com a indicação da tolerância de inclinação e interpretação.

*Tolerância de inclinação de uma superfície em relação a uma reta de base;*

O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, de distância igual ao valor da tolerância, e inclinados do ângulo especificado em relação à reta de referência. A figura 96 mostra a especificação do desenho e a interpretação.

O plano inclinado deve estar compreendido entre dois planos distantes 0,1 mm e inclinados  $75^\circ$  em relação ao eixo de referência "D".

#### Especificação do desenho



#### Interpretação

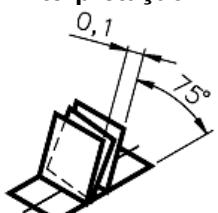
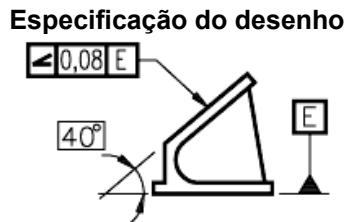


Figura 96 Especificação do desenho e interpretação para tolerância limitada por dois planos paralelos.

*Tolerância de inclinação de uma superfície em relação a um plano de referência;*

O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, cuja distância é o valor da tolerância, e inclinados em relação à superfície de referência do ângulo especificado. A figura 97 mostra a especificação do desenho e a interpretação.

O plano inclinado deve estar entre dois planos paralelos, com distância de 0,08 mm e inclinados  $40^\circ$  em relação à superfície de referência "E".



#### Interpretação

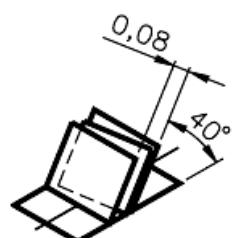


Figura 97 Especificação do desenho e interpretação para tolerância entre dois planos paralelos.

#### Testes

Marque com X a resposta correta.

##### Exercício 1

O estudo da relação entre dois ou mais elementos é feito por meio da tolerância de:

- a) ( ) tamanho;
- b) ( ) forma;
- c) ( ) posição;
- d) ( ) direção.

##### Exercício 2

Paralelismo, perpendicularidade e inclinação relacionam-se com tolerância de posição por:

- a) ( ) forma;
- b) ( ) tamanho;
- c) ( ) orientação;
- d) ( ) direção.

## 12 TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA DE POSIÇÃO

Como se determina a tolerância de posição de peças conjugadas para que a montagem possa ser feita sem a necessidade de ajustes?

As tolerâncias de posição para elementos associados estão resumidas na tabela 4.

Tabela 4 Resumo das tolerâncias de posição .

Tolerância de posição	Posição para elementos associados
	Posição de um elemento
	Concentricidade e coaxialidade
	Simetria

### 12.1 Posição de um elemento

Símbolo:

A tolerância de posição pode ser definida, de modo geral, como desvio tolerado de um determinado elemento (ponto, reta, plano) em relação a sua posição teórica.

É importante a aplicação dessa tolerância de posição para especificar as posições relativas, por exemplo, de furos em uma carcaça para que ela possa ser montada sem nenhuma necessidade de ajuste.

Vamos considerar as seguintes tolerâncias de posição de um elemento:

- *Tolerância de posição do ponto*: É a tolerância determinada por uma superfície esférica ou um círculo, cujo diâmetro mede a tolerância especificada. O centro do círculo deve coincidir com a posição teórica do ponto considerado (medidas nominais). A figura 98 mostra a especificação do desenho.

Para a interpretação, o ponto de intersecção deve estar contido em um círculo de 0,3 mm de diâmetro, cujo centro coincide com a posição teórica do ponto considerado.

#### Especificação do desenho

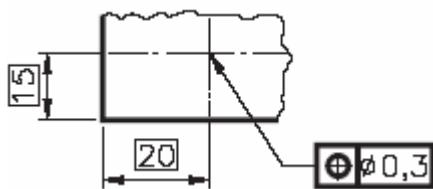


Figura 98 Desenho representativo da especificação para tolerância de posição do ponto.

- *Tolerância de posição da reta*: A tolerância de posição de uma reta é determinada por um cilindro com diâmetro "t", cuja linha de centro é a reta na

sua posição nominal, no caso de sua indicação numérica ser precedida pelo símbolo  $\text{AE}$ . A figura 99 mostra esquematicamente a representação da tolerância de localização da reta.

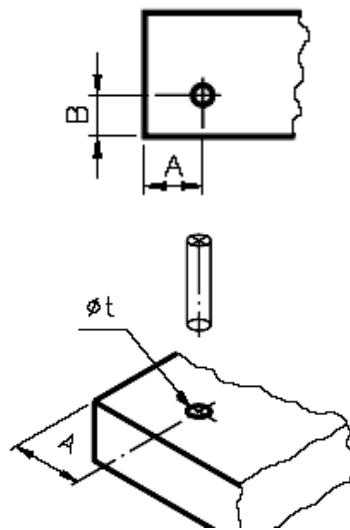
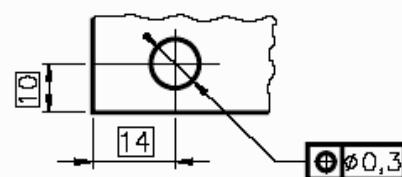


Figura 99 Desenho representativo da tolerância de localização da reta.

Quando o desenho do produto indicar posicionamento de linhas que entre si não podem variar além de certos limites em relação às suas cotas nominais, a tolerância de localização será determinada pela distância de duas retas paralelas, dispostas simetricamente à reta considerada nominal. A figura 100 mostra a especificação do desenho e a interpretação.

Na interpretação, o eixo do furo deve situar-se dentro da zona cilíndrica de diâmetro 0,3mm, cujo eixo se encontra na posição teórica da linha considerada.

#### Especificação do desenho



#### Interpretação

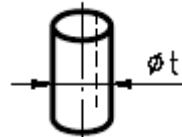


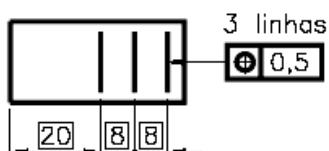
Figura 100 Desenho representativo da tolerância determinada pela distância de duas retas paralelas.

A figura 101 mostra outro exemplo de especificação do desenho e interpretação para tolerância de localização, determinada pela distância de três linhas.

Neste caso, cada linha deve estar compreendida entre duas retas paralelas,

distantes 0,5 mm, e dispostas simetricamente em relação à posição teórica da linha considerada.

### Especificação do desenho



tolerância de posição de uma reta em um plano

### Interpretação

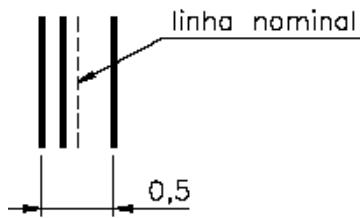
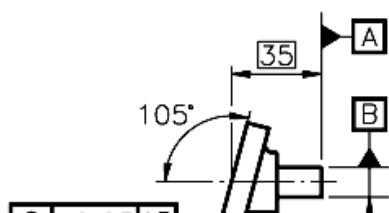


Figura 101 Desenho representativo da tolerância determinada pela distância de três linhas.

- *Tolerância de posição de um plano:* A tolerância de posição de um plano é determinada por dois planos paralelos distanciados, de tolerância especificada e dispostos simetricamente em relação ao plano considerado normal. A figura 102 mostra a especificação do desenho e a interpretação.

Para a interpretação deve-se observar que, a superfície inclinada deve estar contida entre dois planos paralelos, distantes 0,05mm, dispostos simetricamente em relação à posição teórica especificada do plano considerado, com relação ao plano de referência A e ao eixo de referência B.

### Especificação do desenho



### Interpretação

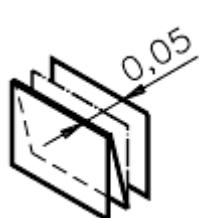


Figura 102 Desenho representativo da tolerância de posição de um plano.

As tolerâncias de posição, consideradas isoladamente como desvio de posições puras, não podem ser adotadas na grande maioria dos casos práticos, pois não se pode separá-las dos desvios de forma dos respectivos elementos.

## 12.2 Concentricidade

Define-se concentricidade como a condição segundo a qual os eixos de duas ou mais figuras geométricas, tais como cilindros, cones etc., são coincidentes.

Na realidade não existe essa coincidência teórica. Há sempre uma variação do eixo de simetria de uma das figuras em relação a um outro eixo tomado como referência, caracterizando uma excentricidade. Pode-se definir como tolerância de concentricidade a excentricidade te considerada em um plano perpendicular ao eixo tomado como referência.

Na figura 103 pode-se notar que nesse plano, têm-se dois pontos que são a intersecção do eixo de referência e do eixo que se quer saber a excentricidade. O segundo ponto deverá estar contido em círculo de raio  $t_e$ , tendo como centro o ponto considerado do eixo de referência.

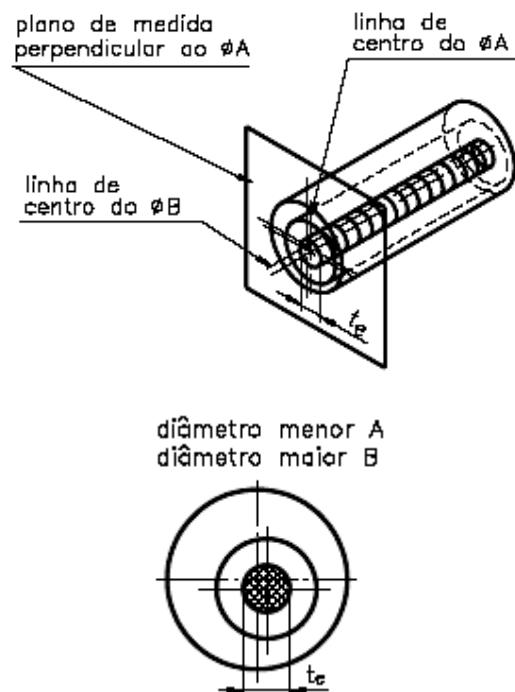


Figura 103 Desenho representativo da tolerância de concentricidade.

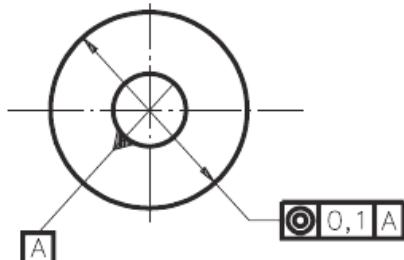
O diâmetro B deve ser concêntrico com o diâmetro A, quando a linha de centro do diâmetro B estiver dentro do círculo de diâmetro  $t_e$ , cujo centro está na linha de centro do diâmetro A.

A tolerância de excentricidade poderá variar de ponto para ponto, ao se deslocar o plano de medida paralelo a si mesmo e perpendicular à linha de centro de referência. Conclui-se, portanto,

que os desvios de excentricidade constituem um caso particular dos desvios de coaxialidade. A figura 104 mostra a especificação do desenho e a interpretação.

O centro do círculo maior deve estar contido em um círculo com diâmetro de 0,1 mm, concêntrico em relação ao círculo de referência A.

#### Especificação do desenho



#### Interpretação

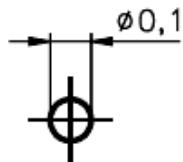


Figura 104 Desenho representativo da tolerância de concentricidade para desvios de coaxialidade.

### 12.3 Coaxialidade

Símbolo:

A tolerância de coaxialidade de uma reta em relação a outra, tomada como referência, é definida por um cilindro de raio  $t_c$ , tendo como geratriz a reta de referência, dentro do qual deverá se encontrar a outra reta.

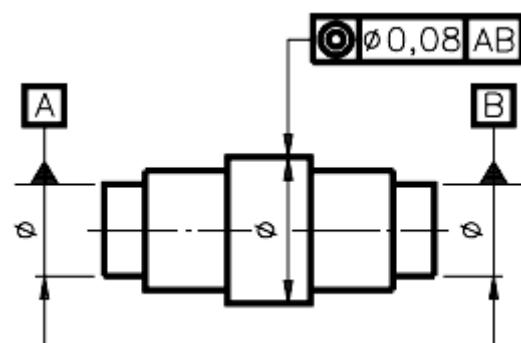
A tolerância de coaxialidade deve sempre estar referida a um comprimento de referência.

O desvio de coaxialidade pode ser verificado pela medição do desvio de concentricidade em alguns pontos. A figura 105 mostra a especificação do desenho e a 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.

Na figura 106 é apresentado outro exemplo de especificação do desenho, onde se pode interpretar que o eixo do diâmetro menor deve estar contido em uma zona cilíndrica de 0,1mm de diâmetro, coaxial ao eixo de referência B.

#### Especificação do desenho



#### Interpretação

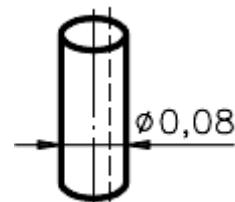


Figura 105 Desenho representativo da tolerância de coaxialidade.

#### Especificação do desenho

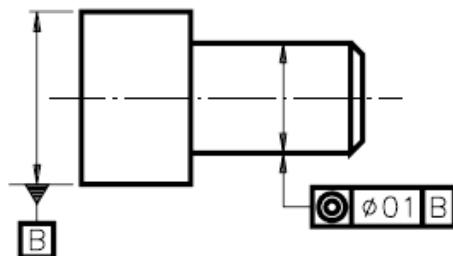


Figura 106 Desenho representativo da tolerância de coaxialidade para um eixo com dois diâmetros diferentes.

### 12.4 Simetria

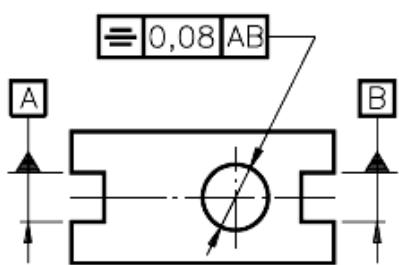
Símbolo:

A tolerância de simetria é semelhante à de posição de um elemento, porém utilizada em condição independente, isto é, não se leva em conta a grandeza do elemento. O campo de tolerância é limitado por duas retas paralelas, ou por dois planos paralelos, distantes no valor especificado e disposto simetricamente em relação ao eixo (ou plano) de referência. A figura 107 mostra a especificação do desenho e a interpretação.

O eixo do furo deve estar compreendido entre dois planos paralelos, distantes 0,08 mm, e

dispostos simetricamente em relação ao plano de referência AB.

#### Especificação do desenho



#### Interpretação

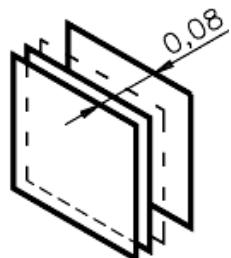


Figura 107 Desenho representativo da tolerância de simetria.

A figura 108 mostra outro exemplo de especificação do desenho, onde aparece o plano médio do rasgo deve estar compreendido entre dois planos paralelos, distantes 0,08mm, e dispostos simetricamente em relação ao plano médio do elemento de referência A.

#### Especificação do desenho

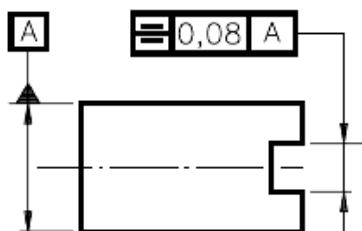


Figura 108 Desenho representativo da tolerância de simetria.

### 12.5 Tolerância de batimento

Símbolo:

Na usinagem de elementos de revolução, tais como cilindros ou furos, ocorrem variações em suas formas e posições, o que provoca erros de ovalização, conicidade, excentricidade etc. em relação a seus eixos. Tais erros são aceitáveis até certos limites, desde que não comprometam seu funcionamento. Daí a necessidade de se estabelecer um dimensionamento conveniente para os elementos.

Além desses desvios, fica difícil determinar na peça o seu verdadeiro eixo de revolução. Nesse caso, a medição ou inspeção deve ser feita a partir de outras referências que estejam relacionadas ao eixo de simetria. Essa variação de referencial geralmente leva a uma composição de erros, envolvendo a superfície medida, a superfície de referência e a linha de centro teórica.

Para que se possa fazer uma conceituação desses erros compostos, são definidos os desvios de batimento, que nada mais são do que desvios compostos de forma e posição de superfície de revolução, quando medidos a partir de um eixo ou superfície de referência.

O batimento representa a variação máxima admissível da posição de um elemento, considerado ao girar a peça de uma rotação em torno de um eixo de referência, sem que haja deslocamento axial. A tolerância de batimento é aplicada separadamente para cada posição medida.

Se não houver indicação em contrário, a variação máxima permitida deverá ser verificada a partir do ponto indicado pela seta no desenho.

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. O eixo de referência deverá ser assumido sem erros de retilineidade ou de angularidade.

*A tolerância de batimento pode ser dividida em dois grupos principais:*

- Batimento radial - A tolerância de batimento radial é definida como um campo de distância  $t$  entre dois círculos concêntricos, medidos em um plano perpendicular ao eixo considerado.

A figura 109 mostra o desenho esquemático da representação de tolerância de batimento radial.

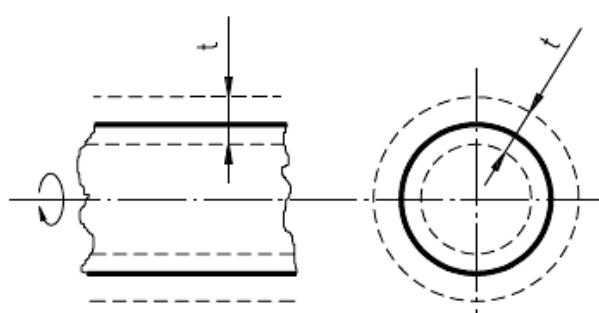
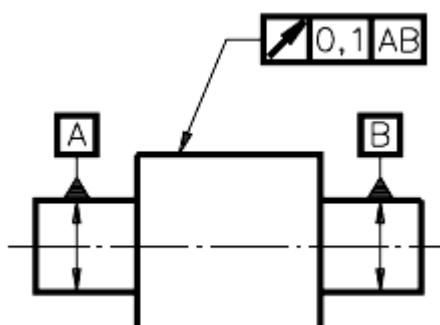


Figura 109 Desenho representativo da tolerância de batimento radial.

A figura 110 mostra a especificação do desenho e a interpretação.

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

#### Especificação do desenho



#### Interpretação

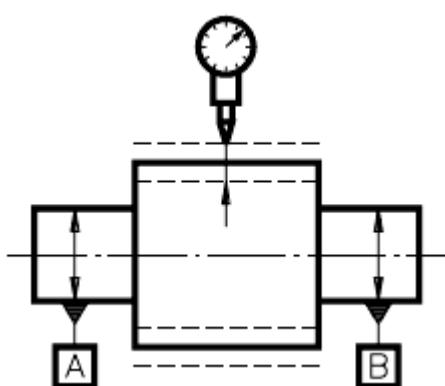


Figura 110 Desenho representativo da tolerância de simetria.

#### Métodos de medição do batimento radial

- a) A peça é apoiada em prismas.

A figura 111 mostra uma seção reta de um eixo no qual se quer medir o desvio de batimento. A LTI indicará um erro composto, constituído do desvio de batimento radial, adicionado ao erro decorrente da variação de posição do centro.

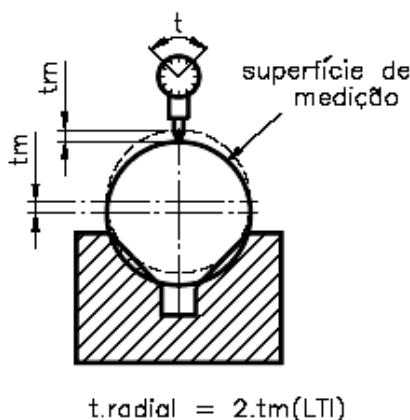


Figura 111 Desenho representativo da medição do batimento radial.

- b) A peça é apoiada entre centros.

Quando se faz a medição da peça locada entre centros, tem-se o posicionamento correto da linha de centro e, portanto, a LTI é realmente o desvio de batimento radial, conforme figura 112.

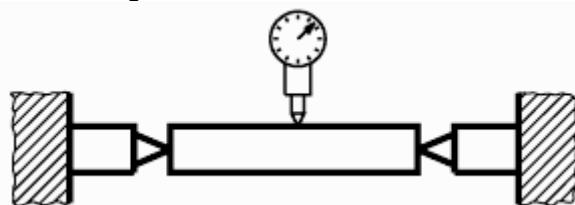


Figura 112 Desenho representativo da medição do batimento radial, com a peça apoiada entre centros.

A medição, assim executada, independe das dimensões da peça, não importando se ela esteja na condição de máximo material (diâmetro maior) ou de mínimo material (diâmetro menor, em se tratando de eixo).

- Batimento axial - A tolerância de batimento axial é definida como o campo de tolerância determinado por duas superfícies, paralelas entre si e perpendiculares ao eixo de rotação da peça, dentro do qual deverá estar a superfície real quando a peça efetuar uma volta, sempre referida a seu eixo de rotação, conforme mostra a figura 113.

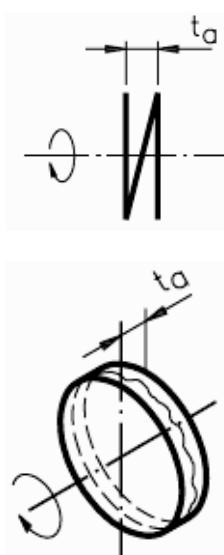


Figura 113 Desenho representativo da medição do batimento axial.

Na tolerância de batimento axial estão incluídos os erros compostos de forma (planicidade) e de posição (perpendicularidade das faces em relação à linha de centro).

#### Métodos de medição de batimento axial;

- Para se medir a tolerância de batimento axial: faz-se girar a peça em torno de um eixo perpendicular à superfície que será medida,

bloqueando seu deslocamento no sentido axial, conforme mostrado na figura 114.

Caso não haja indicação da região em que deve ser efetuada a medição, ela valerá para toda a superfície.

A diferença entre as indicações  $A_{\text{máx.}} - A_{\text{min.}}$  (obtida a partir da leitura de um relógio comparador) determinará o desvio de batimento axial, que deverá ser menor ou igual à tolerância  $t_a$ .

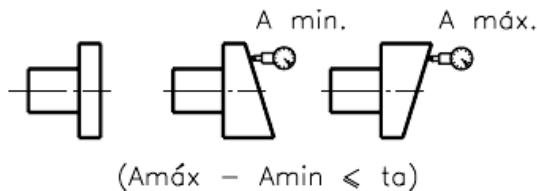


Figura 114 Desenho representativo da medição do batimento axial usando relógio comparador.

Normalmente, o desvio de batimento axial é obtido por meio das montagens indicadas nas figuras 115 (a) e (b). Na figura b, a superfície de referência está apoiada em um prisma em V.

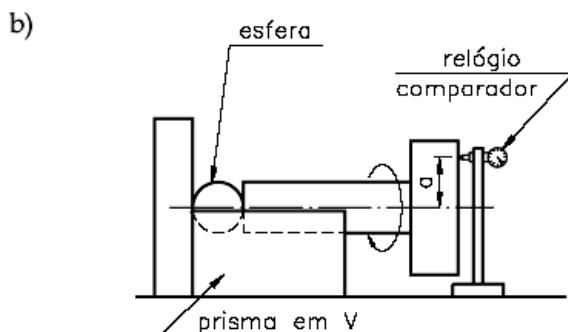
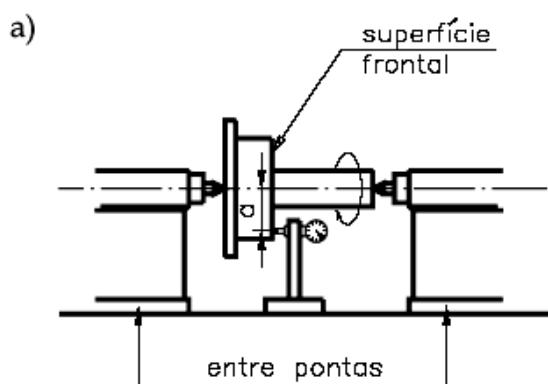


Figura 115 Desenho representativo do sistema de medição do desvio do batimento axial.

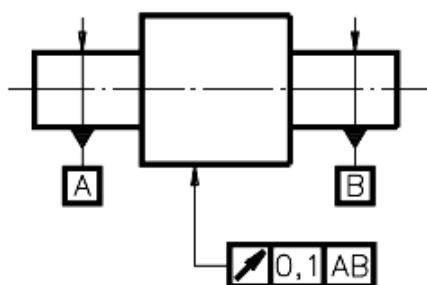
A figura 116 mostra a especificação do desenho e a interpretação.

O desvio radial não deve ultrapassar 0,1 mm em cada ponto de medida, durante uma rotação completa em torno do eixo AB.

Na figura 117 é apresentado outro exemplo de especificação do desenho, onde o desvio radial não deve ultrapassar 0,1 mm em

cada ponto de medida, durante uma rotação completa em torno do eixo AB.

#### Especificação do desenho



#### Interpretação

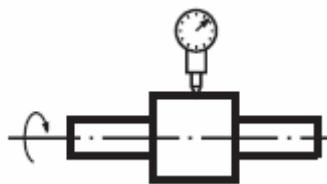


Figura 116 Desenho representativo da tolerância de desvio de batimento radial.

#### Especificação do desenho

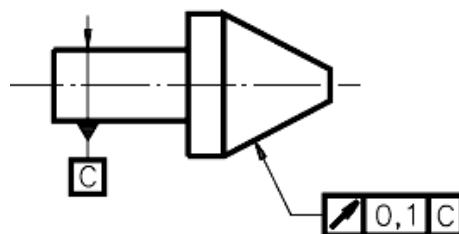


Figura 117 Desenho representativo da tolerância de desvio de batimento radial.

**Testes**

Marque com X a resposta correta.

**Exercício 1**

Para especificar as posições relativas de furos em uma carcaça é necessário estabelecer:

- a) ( ) tamanho dos furos;
- b) ( ) posição dos furos;
- c) ( ) forma de ajuste;
- d) ( ) tolerância de posição.

**Exercício 2**

Na tolerância de posição do ponto, o centro de um círculo deve coincidir com:

- a) ( ) a posição teórica do ponto considerado;
- b) ( ) o tamanho do ponto considerado;
- c) ( ) a forma do ponto considerado;
- d) ( ) a medida do ponto considerado.

**Exercício 3**

Na tolerância de posição da reta, a linha de centro é:

- a) ( ) o ponto, na sua dimensão normal;
- b) ( ) a reta, na sua posição nominal;
- c) ( ) o círculo, na sua posição teórica;
- d) ( ) o diâmetro, na sua localização normal.

**Exercício 4**

A tolerância de posição de um plano é determinada por:

- a) ( ) dois planos inclinados;
- b) ( ) dois planos paralelos;
- c) ( ) dois planos perpendiculares;
- d) ( ) dois planos sobrepostos.

**Exercício 5**

A coincidência entre os eixos de duas ou mais figuras geométricas denomina-se:

- a) ( ) equivalência;
- b) ( ) intercambialidade;
- c) ( ) justaposição;
- d) ( ) concentricidade.

**Exercício 6**

Na tolerância de simetria, o campo de tolerância é limitado por:

- a) ( ) duas linhas de referência;
- b) ( ) duas retas paralelas;
- c) ( ) três retas paralelas;
- d) ( ) três linhas de referência.

**Exercício 6**

Faça uma tabela contendo as classes de tolerâncias e os respectivos símbolos.

## REFERÊNCIAS

MELCONIAN, Sarkis. **Mecânica técnica e resistência dos materiais.** 9 ed. São Paulo: Érica, 1998.

PARANÁ, Djalma Nunes. **Física:** Volume 1 – Mecânica. São Paulo: Ática, 1993.

TELECURSO 2000 PROFISSIONALIZANTE. Metrologia.