

Apresentação

O módulo **Metrologia** faz parte do conjunto de **Módulos Instrumentais**. Ele foi preparado para que você estude os principais instrumentos e procedimentos de medição. Dessa forma, você vai saber como um profissional da área de Mecânica trabalha com medidas.

O módulo se compõe de trinta aulas. A primeira aula apresenta uma descrição do desenvolvimento dos instrumentos de medição, desde a época em que o homem usava partes de seu corpo (pé, braços, mãos etc) para medir, até os dias atuais em que contamos com instrumentos de medição mais exatos, baseados em normas nacionais e internacionais.

Na segunda aula, você vai conhecer medidas e conversões, tendo como base o sistema inglês de medidas (em polegadas). Um profissional de mecânica deve saber como converter polegadas em milímetros e vice-versa.

As demais aulas apresentam informações sobre diversos instrumentos de medição, como régua graduada, metro, trena, paquímetro, micrômetro, verificadores, relógio comparador etc. Ao mesmo tempo, são apresentados exercícios de leitura de medida e conversão para você fixar bem as noções básicas.

Ao final de cada aula, você tem oportunidade de avaliar sua aprendizagem, fazendo os exercícios e conferindo suas respostas com as do **gabarito**, apresentado no final do livro.

Se você estudar bastante as aulas deste módulo, ficará mais preparado para ser um bom mecânico. Boa sorte!

Autoria

Adriano Ruiz Secco
Edmur Vieira
Nívia Gordo

Leitura Técnica

Pedro Nakashima e Afonso Simões Paradinha (Mitutoyo do Brasil Ind. e Com. Ltda.)

Metrologia

Um problema

Um comerciante foi multado porque sua balança não pesava corretamente as mercadorias vendidas. Como já era a terceira multa, o comerciante resolveu ajustar sua balança. Nervoso, disse ao homem do conserto:

- Não sei por que essa perseguição. Uns gramas a menos ou a mais, que diferença faz?

Imagine se todos pensassem assim. Como ficaria o consumidor?

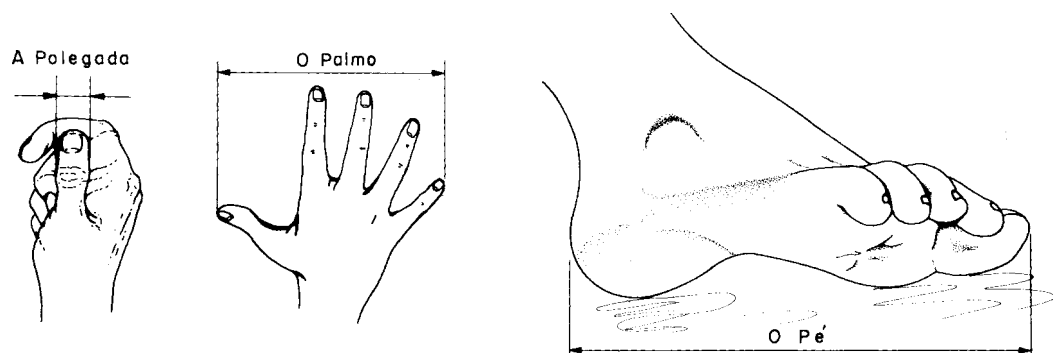
E, no caso da indústria mecânica que fabrica peças com medidas exatas, como conseguir essas peças sem um aparelho ou instrumento de medidas?

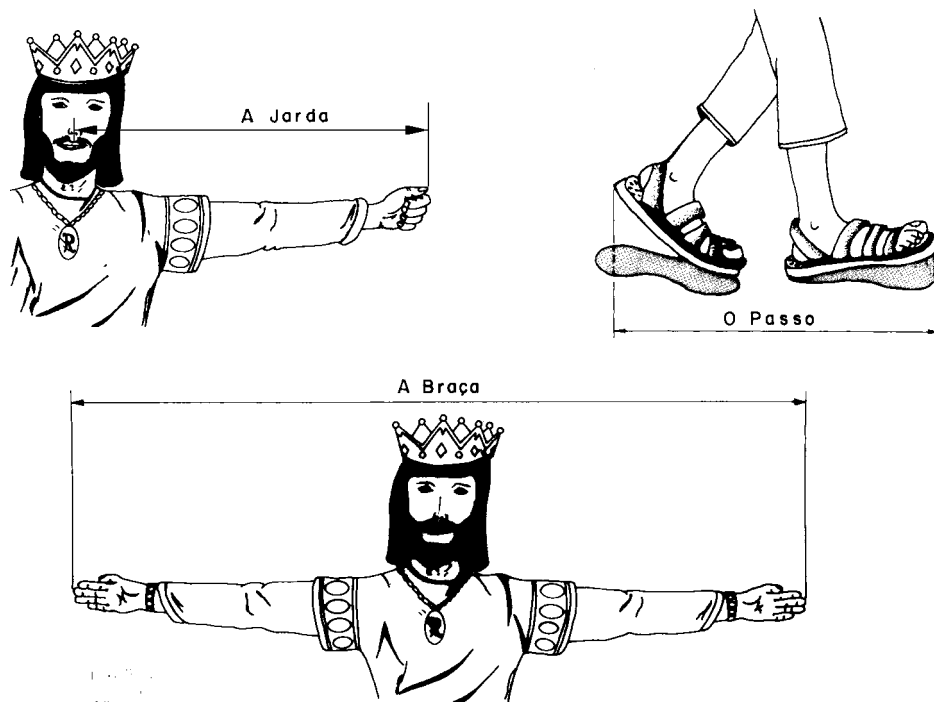
Neste módulo você vai entender a importância das medidas em mecânica. Por isso o título do livro é **Metrologia**, que é a ciência das medidas e das medições.

Antes de iniciarmos o estudo de metrologia, vamos mostrar como se desenvolveu a necessidade de medir, e os instrumentos de medição. Você vai perceber que esses instrumentos evoluíram com o tempo e com as novas necessidades.

Um breve histórico das medidas

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.



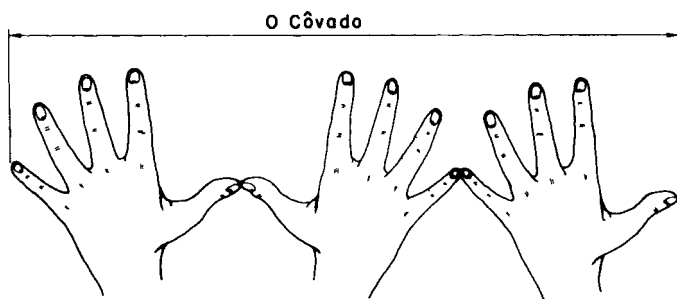


Algumas dessas medidas-padrão continuam sendo empregadas até hoje. Veja os seus correspondentes em centímetros:

1 polegada = 2,54 cm
 1 pé = 30,48 cm
 1 jarda = 91,44 cm

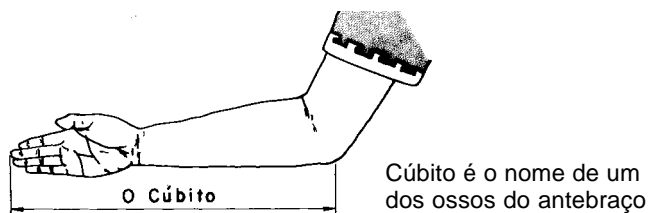
O Antigo Testamento da Bíblia é um dos registros mais antigos da história da humanidade. E lá, no Gênesis, lê-se que o Criador mandou Noé construir uma arca com dimensões muito específicas, medidas em **côvados**.

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



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 **cúbito**: distância do cotovelo à ponta do dedo médio.



Como as pessoas têm tamanhos diferentes, o cúbito 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. Diante 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 cúbito-padrão.

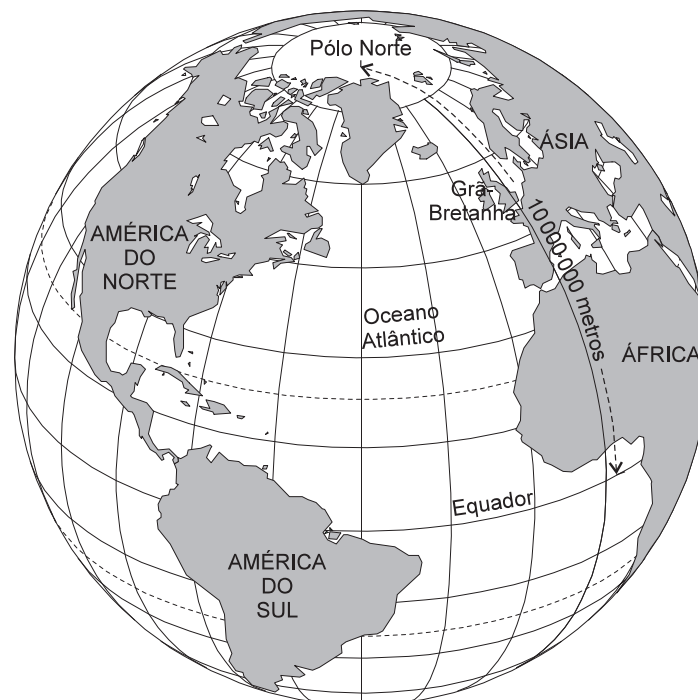
Com o tempo, as barras passaram a ser construídas de madeira, para facilitar o transporte. Como a **madeira** logo se gastava, foram gravados comprimentos equivalentes a um cúbito-padrão nas paredes dos principais templos. Desse modo, cada um podia conferir periodicamente sua barra ou mesmo fazer outras, 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 cúbito-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.



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.

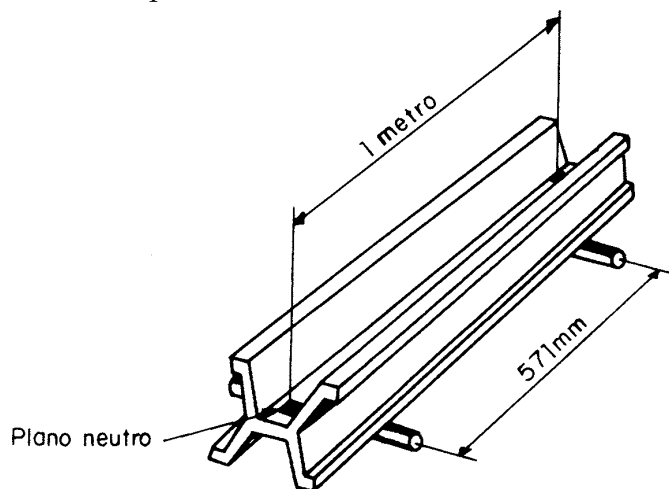
Escolheu-se a temperatura de zero grau Celsius por ser, na época, a mais facilmente obtida com o gelo fundente.

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 irídio, 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 Mésures), 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 $\frac{1}{299.792.458}$ do segundo.

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

Medidas inglesas

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:

$$1 \text{ yd (uma jarda)} = 0,91440 \text{ m}$$

$$1 \text{ ft (um pé)} = 304,8 \text{ mm}$$

$$1 \text{ inch (uma polegada)} = 25,4 \text{ mm}$$

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 abaixo é baseada no Sistema Internacional de Medidas (SI).

MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS DO METRO		
Nome	Símbolo	Fator pelo qual a unidade é multiplicada
Exametro	Em	$10^{18} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ m$
Peptametro	Pm	$10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ m$
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	$10^{-18} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001\ m$

Procure avaliar o que você aprendeu até agora, fazendo os exercícios, a seguir. Depois confira suas respostas com as do gabarito.

Exercícios

Marque com um X a resposta correta.

Exercício 1

A ciência das medidas e das medições denomina-se:

- a) () simbologia;
- b) () fisiologia;
- c) () metrologia;
- d) () numerologia.

Exercício 2

A polegada, o palmo, o pé, a jarda, a braça e o passo são unidades de medição:

- a) () estatísticas;
- b) () recentes;
- c) () inadequadas;
- d) () primitivas.

Exercício 3

Os egípcios e os franceses usaram como unidade de medida, respectivamente:

- a) () passo e toesa;
- b) () toesa e pé;
- c) () cúbito e toesa;
- d) () cúbito e passo.

Exercício 4

O padrão do metro em vigor no Brasil é recomendado pelo:

- a) () INMETRO;
- b) () IPT;
- c) () BIPM;
- d) () INT.

Exercício 5

Os múltiplos e submúltiplos do metro estão entre:

- a) () metro e micrometro;
- b) () exametro e attometro;
- c) () quilômetro e decâmetro;
- d) () metro e milímetro.

Exercício 6

Um sistema totalmente diferente do sistema métrico é o:

- a) () japonês;
- b) () francês;
- c) () americano;
- d) () inglês.

Introdução

Apesar de se chegar ao metro como unidade de medida, ainda são usadas outras unidades. Na Mecânica, por exemplo, é comum usar o milímetro e a polegada.

O sistema inglês ainda é muito utilizado na Inglaterra e nos Estados Unidos, e é também no Brasil devido ao grande número de empresas procedentes desses países. Porém esse sistema está, aos poucos, sendo substituído pelo sistema métrico. Mas ainda permanece a necessidade de se converter o sistema inglês em sistema métrico e vice-versa.

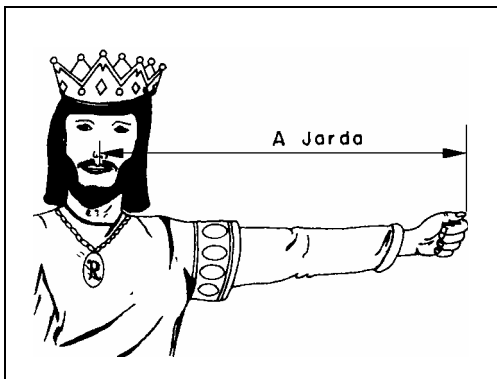
Vamos ver mais de perto o sistema inglês? Depois passaremos às conversões.

O 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 cúbito, foram construídas e distribuídas barras metálicas para facilitar as medições. Apesar da tentativa de uniformiza-

ção 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:

$$1 \text{ pé} = 12 \text{ polegadas}$$

$$1 \text{ jarda} = 3 \text{ pés}$$

$$1 \text{ milha terrestre} = 1.760 \text{ jardas}$$

Leitura de medida em polegada

A polegada divide-se em frações ordinárias de denominadores iguais a: 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128... Temos, então, as seguintes divisões da polegada:

$$\frac{1''}{2} \quad (\text{meia polegada})$$

$$\frac{1''}{4} \quad (\text{um quarto de polegada})$$

$$\frac{1''}{8} \quad (\text{um oitavo de polegada})$$

$$\frac{1''}{16} \quad (\text{um dezesseis avos de polegada})$$

$$\frac{1''}{32} \quad (\text{um trinta e dois avos de polegada})$$

$$\frac{1''}{64} \quad (\text{um sessenta e quatro avos de polegada})$$

$$\frac{1''}{128} \quad (\text{um cento e vinte e oito avos de polegada})$$

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:

$$\frac{6''}{8} : 2 \rightarrow \frac{3''}{4}$$

$$\frac{8''}{64} : 8 \rightarrow \frac{1''}{8}$$

Sistema inglês – fração decimal

A divisão da polegada em submúltiplos de $\frac{1''}{2}$, $\frac{1''}{4}$, ... $\frac{1''}{128}$ 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.

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 μ inch.

Exemplo

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

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 o valor em polegada fracionária por 25,4.

Exemplos

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

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

Para você fixar melhor a conversão de polegadas em milímetros (mm), faça os exercícios a seguir.

Verificando o entendimento

Converter polegada fracionária em milímetro:

a) $\frac{5''}{32} =$

b) $\frac{5''}{16} =$

c) $\frac{1''}{128} =$

d) $5'' =$

e) $1\frac{5''}{8} =$

f) $\frac{3''}{4} =$

g) $\frac{27''}{64} =$

$$\text{h)} \quad \frac{33''}{128} =$$

$$\text{i)} \quad 2\frac{1''}{8} =$$

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

Veja se acertou. As respostas corretas são:

a) 3,969mm

b) 7,937mm

c) 0,198mm

d) 127,00mm

e) 41,275mm

f) 19,050mm

g) 10,716mm

h) 6,548mm

i) 53,975mm

j) 92,075mm

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

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

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 mm

$$19,8\text{mm} = \frac{\left(\frac{19,8}{25,4}\right) \times 128}{128} = \frac{99,77}{128} \quad \text{arredondando: } \frac{100''}{128}$$

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

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

$$\text{a) } \frac{12,7 \times 5,04}{128} = \frac{64,008}{128} \quad \text{arredondando: } \frac{64''}{128}, \text{ simplificando: } \frac{1''}{2}$$

$$\text{b) } \frac{19,8 \times 5,04}{128} = \frac{99,792}{128} \quad \text{arredondando: } \frac{100''}{128}, \text{ simplificando: } \frac{25''}{32}$$

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

Verificando o entendimento

Faça, agora, estes exercícios:

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

Agora, veja se acertou. As respostas corretas são:

- | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| a) $\frac{1''}{16}$ | e) $5''$ | i) $\frac{37''}{64}$ |
| b) $\frac{3''}{4}$ | f) $\frac{25''}{64}$ | j) $\frac{23''}{32}$ |
| c) $\frac{63''}{64}$ | g) $\frac{11''}{64}$ | l) $3\frac{1''}{2}$ |
| d) $1\frac{1''}{4}$ | h) $\frac{13''}{32}$ | m) $5\frac{1''}{4}$ |

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

Outro exemplo

Converter $.750''$ em polegada fracionária

$$\frac{.750'' \times 8}{8} = \frac{6''}{8} = \frac{3''}{4}$$

Verificando o entendimento

Faça, agora, os exercícios. Converter polegada milesimal em polegada fracionária:

- a) $.625'' = \dots\dots\dots$
- b) $.1563'' = \dots\dots\dots$
- c) $.3125'' = \dots\dots\dots$
- d) $.9688'' = \dots\dots\dots$
- e) $1.5625'' = \dots\dots\dots$
- f) $4.750'' = \dots\dots\dots$

Veja se acertou. As respostas corretas são:

a) $\frac{5''}{8}$

d) $\frac{31''}{32}$

b) $\frac{5''}{32}$

e) $1\frac{9''}{16}$

c) $\frac{5''}{16}$

f) $4\frac{3''}{4}$

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

Exemplos

a) $\frac{3''}{8} = \frac{3}{8} = .375''$

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

Verificando o entendimento

Converter polegada fracionária em polegada milesimal:

a) $\frac{5''}{8} = \dots\dots\dots$

b) $\frac{17''}{32} = \dots\dots\dots$

c) $1\frac{1''}{8} = \dots\dots\dots$

d) $2\frac{9''}{16} = \dots\dots\dots$

Veja se acertou. As respostas corretas são:

a) .625''

b) .5313''

c) 1.125''

d) 2.5625''

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

Exemplo

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

Verificando o entendimento

Converter polegada milesimal em milímetro:

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

Veja se acertou. As respostas corretas são:

- a) 17,462 mm
- b) 9,922 mm
- c) 31.750 mm
- d) 69,453 mm

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

Exemplos

- a) 5,08mm

$$\frac{5,08}{25,4} = .200"$$

- b) 18 mm

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

Verificando o entendimento

Converter milímetro em polegada milesimal:

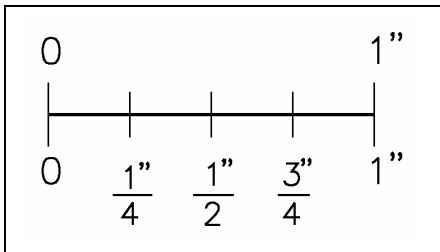
- a) 12,7mm =
- b) 1,588mm =
- c) 17mm =
- d) 20,240mm =
- e) 57,15mm =
- f) 139,70mm =

Veja se acertou. As respostas corretas são:

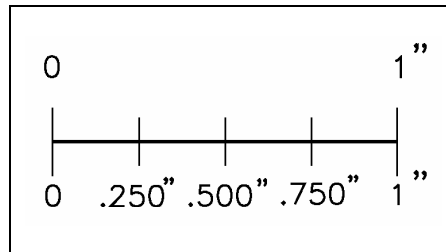
- a) .500"
- b) .0625"
- c) .669"
- d) .7969"
- e) 2.250"
- f) 5.500"

Representação gráfica

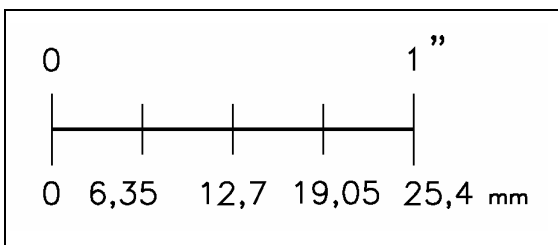
A equivalência entre os diversos sistemas de medidas, vistos até agora, pode ser melhor compreendida graficamente.



sistema inglês de polegada fracionária



sistema inglês de polegada milesimal



sistema métrico

Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Exercícios

Marque com um **X** a resposta correta.

1. A Inglaterra e os Estados Unidos adotam como medida-padrão:
 - a) a jarda;
 - b) o côvado;
 - c) o passo;
 - d) o pé.
2. Um quarto de polegada pode ser escrito do seguinte modo:
 - a) 1 . 4
 - b) 1 x 4
 - c) $\frac{1''}{4}$
 - d) 1 - 4
3. 2" convertidas em milímetro correspondem a:
 - a) 9,52 mm;
 - b) 25,52 mm;
 - c) 45,8 mm;
 - d) 50,8 mm.
4. 12,7 mm convertidos em polegada correspondem a:
 - a) $\frac{1''}{4}$
 - b) $\frac{1''}{2}$
 - c) $\frac{1''}{8}$
 - d) $\frac{9''}{16}$

Gabarito

1. a 2. c 3. d 4. b

Régua graduada, metro e trena

Um problema

Silva verificou, contrariado, que os instrumentos de medição, há pouco adquiridos pela empresa, não estavam sendo bem cuidados pelos funcionários. Os instrumentos estavam expostos à sujeira e a outros agentes agressivos e, além disso, não haviam sido guardados corretamente.

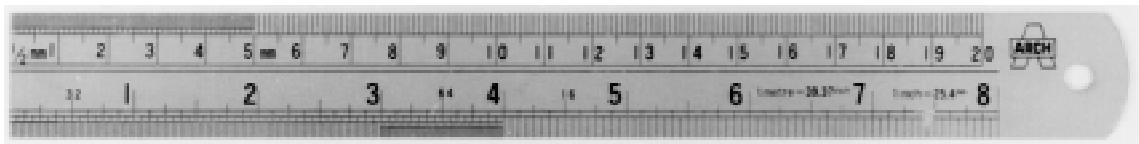
Diante disso, Silva expôs o fato em uma reunião e pôde constatar que os funcionários não conheciam bem os instrumentos de medição nem sabiam como conservá-los. Ficou decidido que todos teriam treinamento para solucionar o problema.

Vamos acompanhar as explicações? Se você já conhece a régua graduada, vai ampliar seus conhecimentos. Caso contrário, será necessário você ter esse conhecimento, uma vez que a régua graduada, assim como o metro articulado e a trena, é muito usada em mecânica.

Introdução

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. 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.

Régua graduada

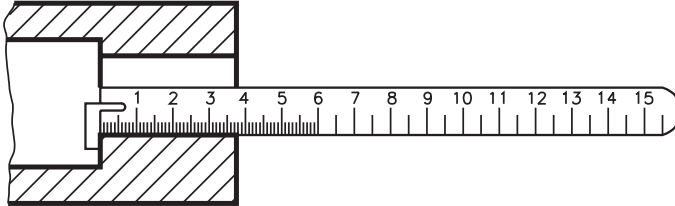


Utiliza-se a régua graduada nas medições com “erro admissível” superior à menor graduação. Normalmente, essa graduação equivale a 0,5 mm ou $\frac{1}{32}$ ”.

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”).

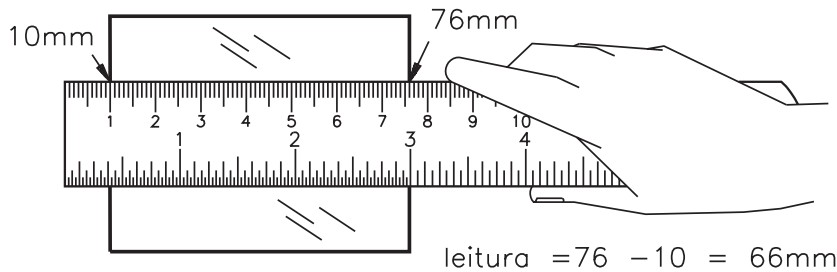
Régua de encosto interno

Destinada a medições que apresentem faces internas de referência.



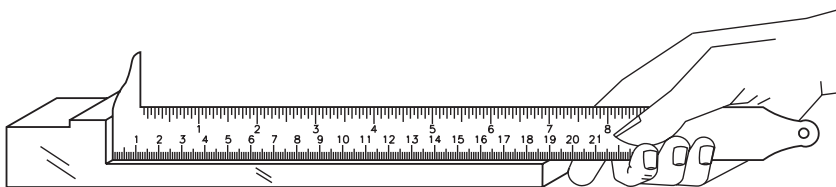
Régua sem encosto

Nesse caso, devemos subtrair do resultado o valor do ponto de referência.



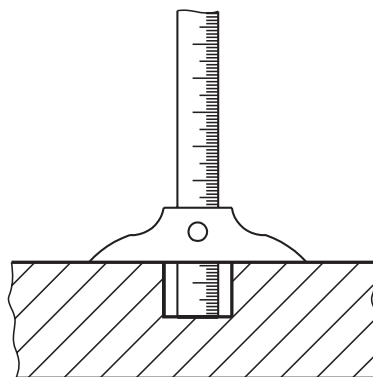
Régua com encosto

Destinada à medição de comprimento a partir de uma face externa, a qual é utilizada como encosto.



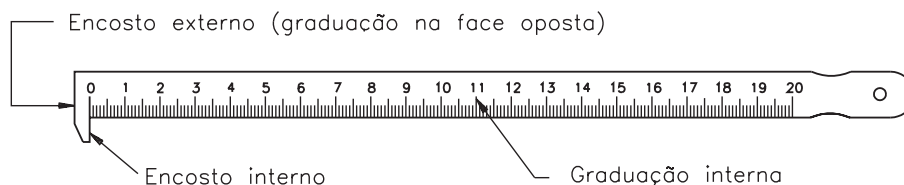
Régua de profundidade

Utilizada nas medições de canais ou rebaixos internos.



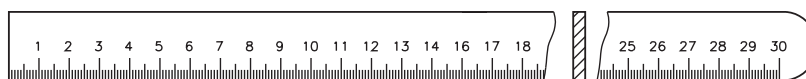
Régua de dois encostos

Dotada de duas escalas: uma com referência interna e outra com referência externa. É utilizada principalmente pelos ferreiros.



Régua rígida de aço-carbono com seção retangular

Utilizada para medição de deslocamentos em máquinas-ferramenta, controle de dimensões lineares, traçagem etc.



Características

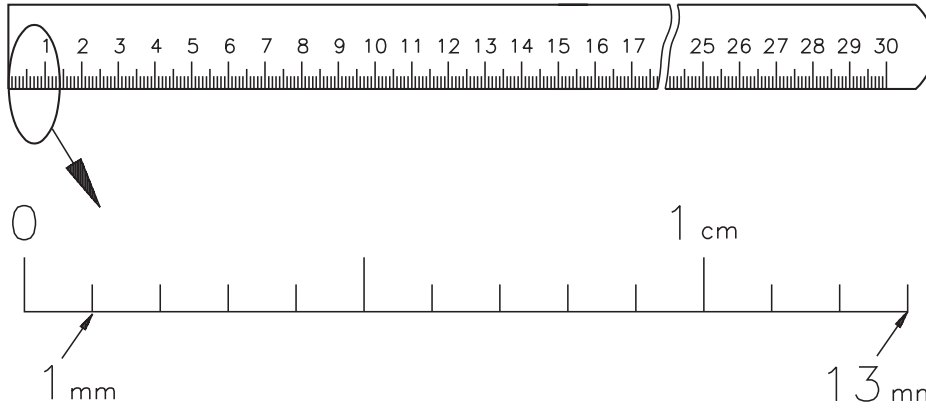
De modo geral, uma escala de qualidade deve apresentar bom acabamento, bordas retas e bem definidas, e faces polidas.

As régua 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.

Cada centímetro na escala encontra-se dividido em 10 partes iguais e cada parte equivale a 1 mm.

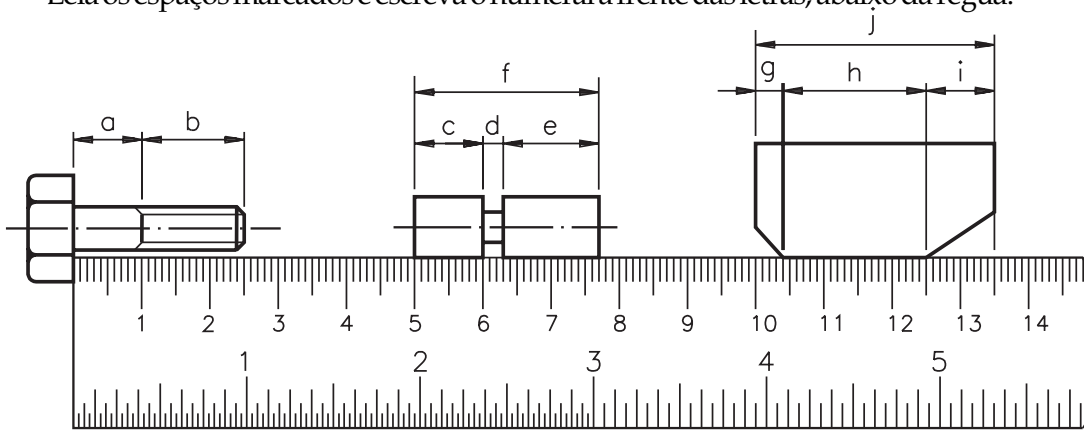
Assim, a leitura pode ser feita em milímetro. A ilustração a seguir mostra, de forma ampliada, como se faz isso.



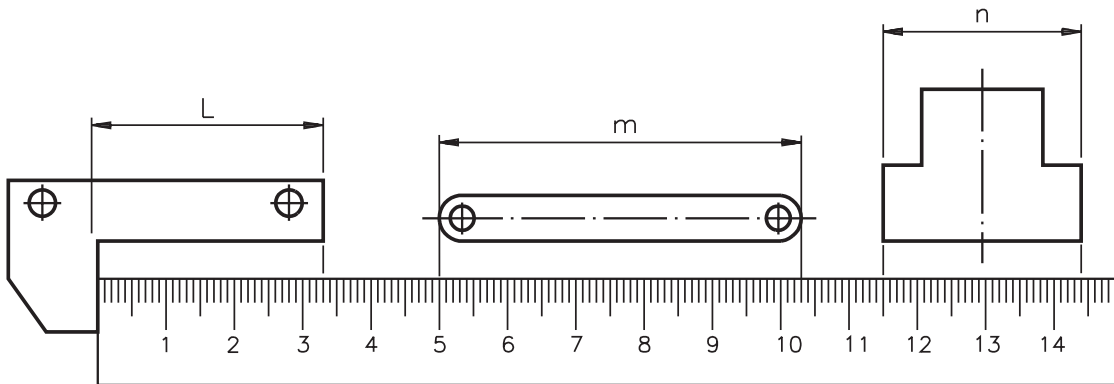
Verificando o entendimento

Leitura de milímetro em régua graduada.

Leia os espaços marcados e escreva o numeral à frente das letras, abaixo da régua.

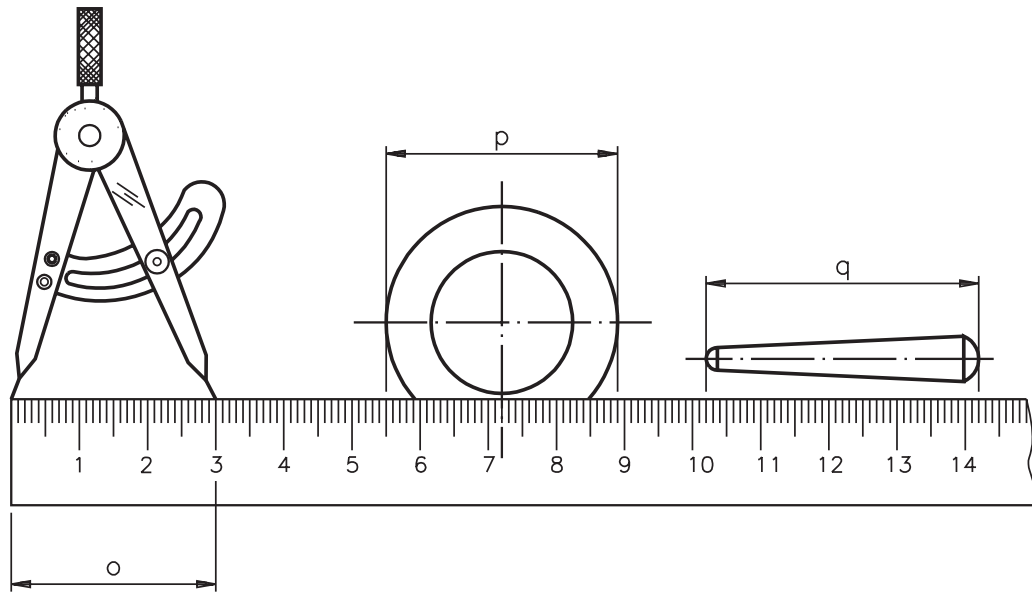


a) b) c) d) e) f) g) h) i) j)



l) m) n)

(cont.)



o) p) q)

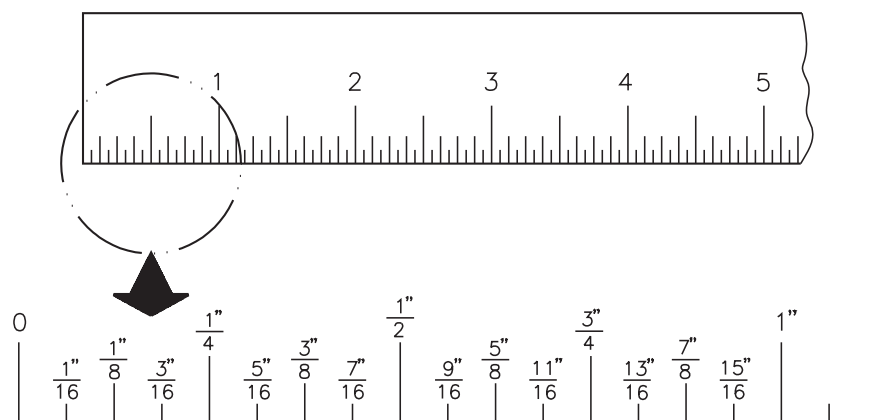
Veja se acertou. As respostas corretas são:

- | | | | | |
|----------|----------|----------|-----------|----------|
| a) 10 mm | b) 15 mm | c) 10 mm | d) 3,0 mm | e) 14 mm |
| f) 27 mm | g) 4 mm | h) 21 mm | i) 10 mm | j) 35 mm |
| l) 33 mm | m) 53 mm | n) 29 mm | o) 30 mm | p) 34 mm |
| q) 40 mm | | | | |

Leitura no sistema inglês de polegada fracionária

Nesse sistema, a polegada divide-se em 2, 4, 8, 16... partes iguais. As escalas de precisão chegam a apresentar 32 divisões por polegada, enquanto as demais só apresentam frações de $\frac{1}{16}$.

A a ilustração a seguir mostra essa divisão, representando a polegada em tamanho ampliado.



Observe que, na ilustração anterior, estão indicadas somente frações de numerador ímpar. Isso acontece porque, sempre que houver numeradores pares, a fração é simplificada.

Exemplo:

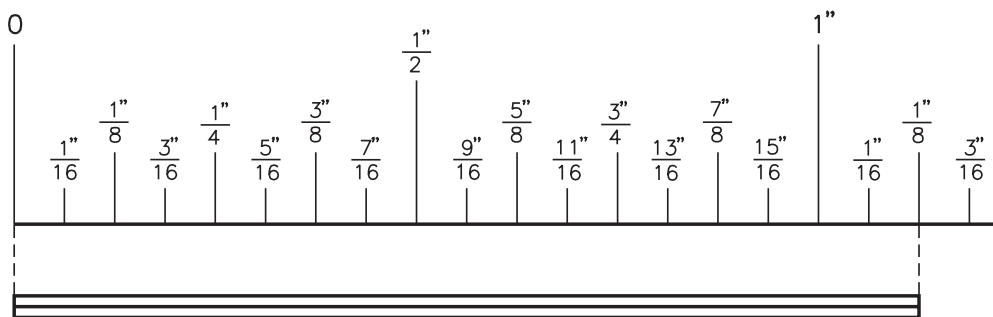
$$\frac{1''}{16} \Rightarrow \frac{1''}{16}$$

$$\frac{1''}{16} + \frac{1''}{16} = \frac{2''}{16} \Rightarrow \frac{1''}{8} \quad (\text{para simplificar, basta dividir por 2})$$

$$\frac{1''}{16} + \frac{1''}{16} + \frac{1''}{16} + \frac{1''}{16} + \frac{1''}{16} + \frac{1''}{16} = \frac{6''}{16} \quad \text{E} \quad \frac{3''}{8}$$

e assim por diante...

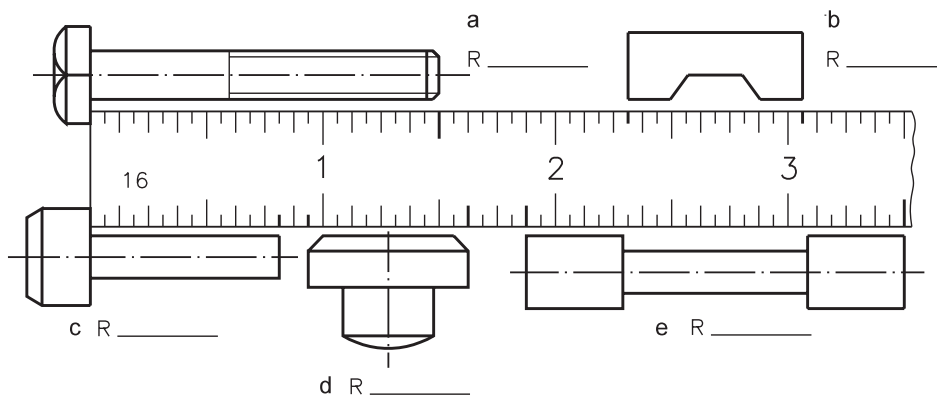
A leitura na escala consiste em observar qual traço coincide com a extremidade do objeto. Na leitura, deve-se observar sempre a altura do traço, porque ele facilita a identificação das partes em que a polegada foi dividida.



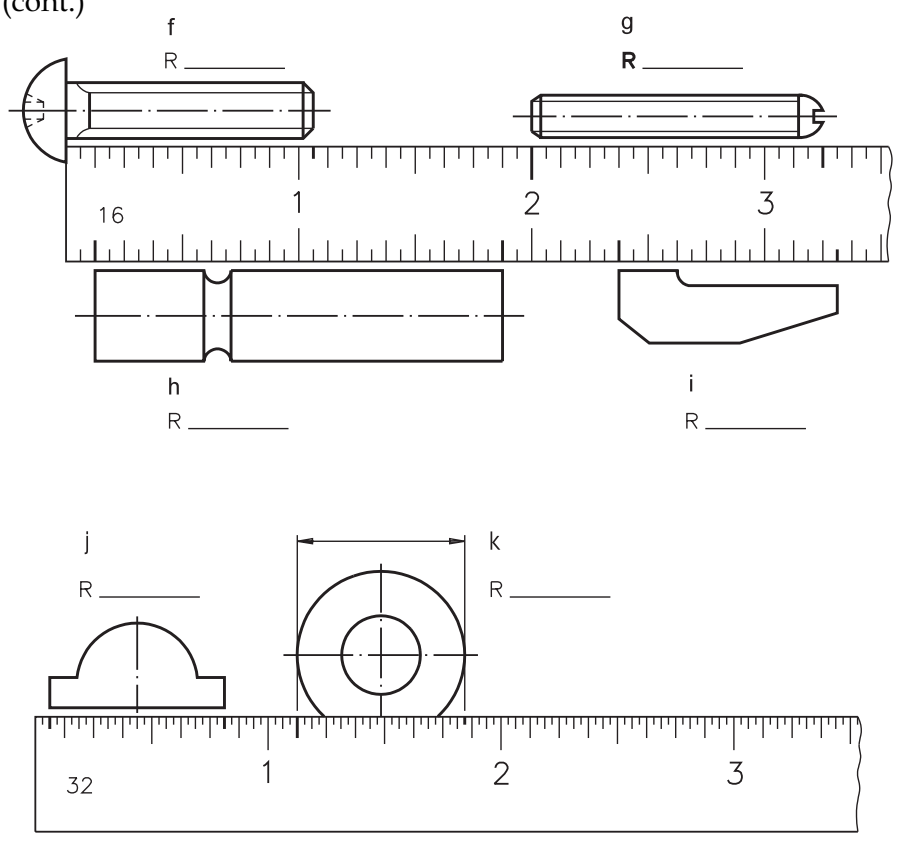
Assim, o objeto na ilustração acima tem $1\frac{1''}{8}$ (uma polegada e um oitavo de polegada) de comprimento.

Verificando o entendimento

Faça a leitura de frações de polegada em régua graduada.



(cont.)



Veja se acertou. As respostas corretas são:

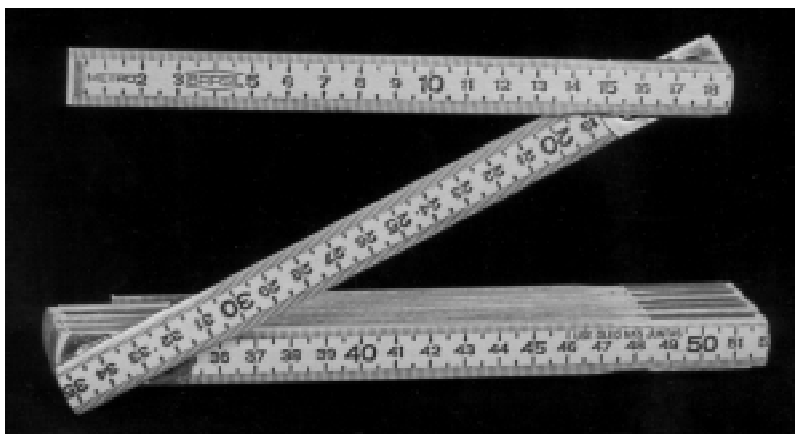
- | | |
|----------------------|----------------------|
| a) $1\frac{1}{2}$ " | g) $1\frac{1}{4}$ " |
| b) $\frac{3}{4}$ " | h) $1\frac{3}{4}$ " |
| c) $\frac{13}{16}$ " | i) $\frac{15}{16}$ " |
| d) $\frac{11}{16}$ " | j) $\frac{3}{4}$ " |
| e) $1\frac{5}{8}$ " | k) $\frac{23}{32}$ " |
| f) $1\frac{1}{6}$ " | |

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.

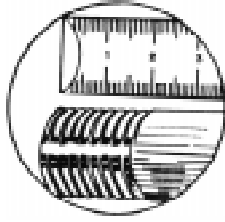
Metro articulado

O metro articulado é um instrumento de medição linear, fabricado de madeira, alumínio ou fibra.

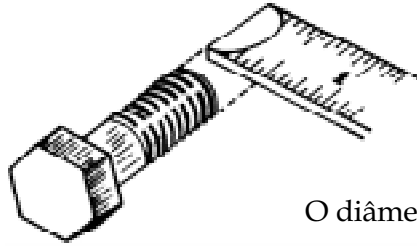


No comércio o metro articulado é encontrado nas versões de 1 m e 2 m.

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.

Exemplo:

O comprimento da rosca, segundo a ilustração, mede 2 cm, ou seja, 0,02 m.



O diâmetro do parafuso, segundo a ilustração, é de $\frac{1}{2}$ "

Conservação

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

Trena

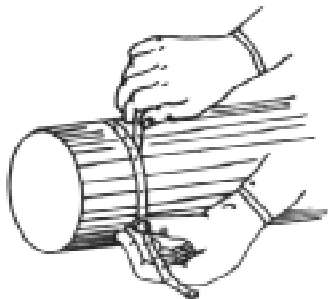
Trata-se de um instrumento de medição constituído por uma fita de aço, fibra ou tecido, graduada em uma ou em ambas as faces, no sistema métrico e/ou no sistema inglês, ao longo de seu comprimento, com traços transversais.

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.



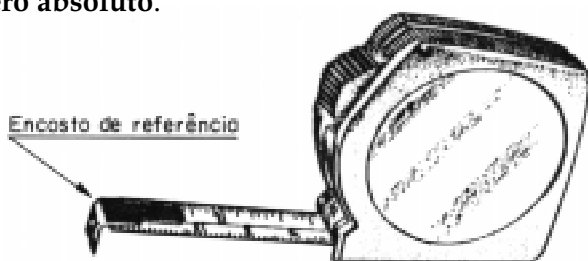
A fita das trenas de bolso são de aço fosfatizado ou esmaltado e apresentam largura de 12,7 mm e comprimento entre 2 m e 5 m.

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



Não se recomenda medir perímetros com trenas de bolso cujas fitas sejam curvas.

As trenas apresentam, na extremidade livre, uma pequenina chapa metálica dobrada em ângulo de 90° . Essa chapa é chamada **encosto de referência** ou **gancho de zero absoluto**.



Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Marque com um X a resposta correta.

Exercício 1

Os instrumentos mais comuns de medidas linear são:

- a) paquímetro, régua graduada, altímetro;
- b) régua graduada, metro articulado, trena;
- c) torquímetro, trena, paquímetro;
- d) esquadro, compasso, metro articulado.

Exercício 2

A régua graduada mais usada em oficina é a de:

- a) 200 mm (7") e 500 mm (9");
- b) 250 mm (8") e 500 mm (11");
- c) 100 mm (68") e 350 mm (13");
- d) 150 mm (6") e 300 mm (12").

Exercício 3

Para medir canais ou rebaixos internos, usa-se régua:

- a) rígida;
- b) com encosto;
- c) de profundidade;
- d) sem encosto.

Exercício 4

No sistema métrico, cada centímetro na escala é dividido em:

- a) () 10 partes iguais;
- b) () 1 mm;
- c) () 10 mm;
- d) () 100 partes iguais.

Exercício 5

O metro articulado é, também, um instrumento de medição:

- a) () vertical;
- b) () linear;
- c) () circular;
- d) () horizontal.

Exercício 6

No comércio, o metro articulado é encontrado nas versões de:

- a) () 3 mm e 5 mm;
- b) () 1 m e 2 m;
- c) () 2 mm e 3 mm;
- d) () 0,10 mm e 0,20 mm.

Exercício 7

A trena é um instrumento de medição linear e se apresenta na forma de fita de:

- a) () madeira, alumínio ou plástico
- b) () couro, plástico ou aço
- c) () aço, fibra de vidro ou tecido
- d) () tecido, madeira ou fibra de vidro

Exercício 8

Quanto à geometria, as fitas das trenas podem ser :

- a) () circulares
- b) () lineares
- c) () planas ou curvas
- d) () elípticas

Exercício 9

Para medir perímetro de cilindro usa-se trena de fita:

- a) () articulada
- b) () circular
- c) () curva
- d) () plana

Exercício 10

As fitas de trenas de bolso são feitas de:

- a) () aço rígido
- b) () tecido ou fibra de vidro
- c) () plástico
- d) () aço fosfatizado ou esmaltado

Paquímetro: tipos e usos

Como a empresa fabricou muitas peças fora das dimensões, o supervisor suspendeu o trabalho e analisou a causa do problema. Concluiu que a maioria dos profissionais tinha dificuldade em utilizar o paquímetro.

Novamente o supervisor da empresa se viu em apuros, pois ninguém tinha conhecimentos suficientes sobre paquímetro.

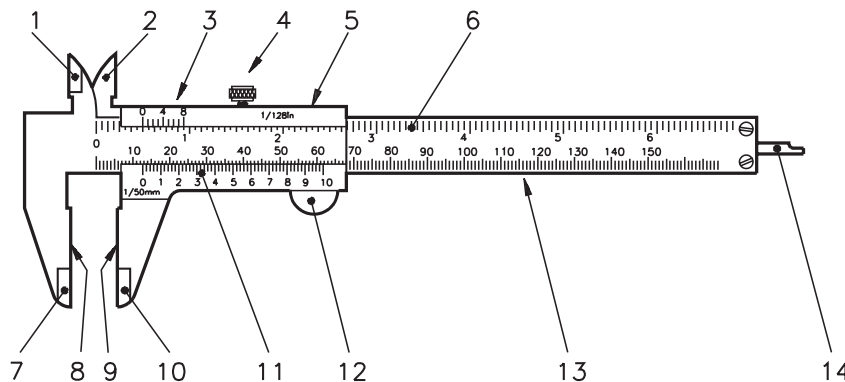
Diante da situação, o supervisor decidiu, com o grupo, contratar um especialista para uma explicação sobre paquímetro.

Vamos acompanhar as explicações do especialista?

Um problema

Paquímetro

O paquímetro 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.



- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1. orelha fixa | 8. encosto fixo |
| 2. orelha móvel | 9. encosto móvel |
| 3. nônio ou vernier (polegada) | 10. bico móvel |
| 4. parafuso de trava | 11. nônio ou vernier (milímetro) |
| 5. cursor | 12. impulsor |
| 6. escala fixa de polegadas | 13. escala fixa de milímetros |
| 7. bico fixo | 14. haste de profundidade |

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

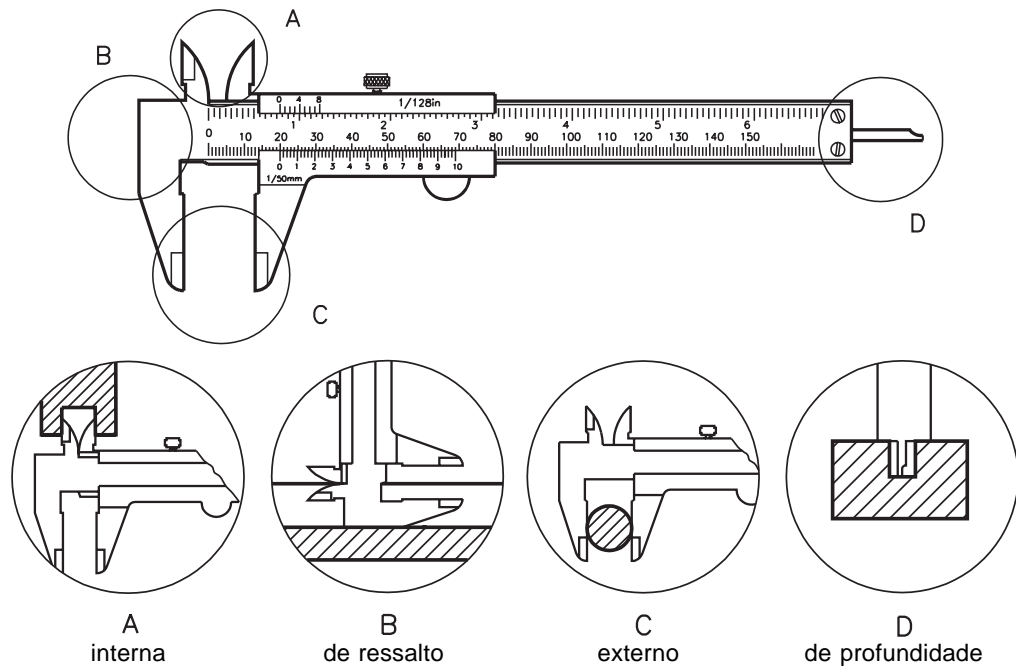
$$0,05 \text{ mm}, 0,02 \text{ mm}, \frac{1}{128}'' \text{ ou } .001''$$

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

Tipos e usos

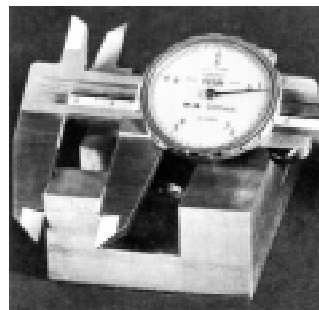
Paquímetro universal

É utilizado em medições internas, externas, de profundidade e de ressalto. Trata-se do tipo mais usado.



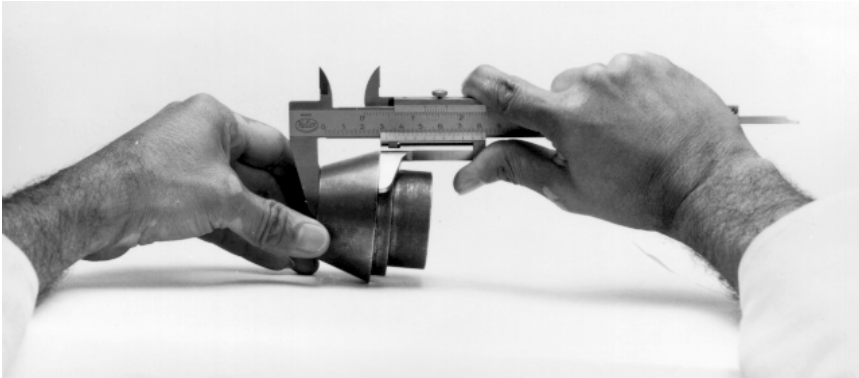
Paquímetro universal com relógio

O relógio acoplado ao cursor facilita a leitura, agilizando a medição.



Paquímetro com bico móvel (basculante)

Empregado para medir peças cônicas ou peças com rebaixos de diâmetros diferentes.

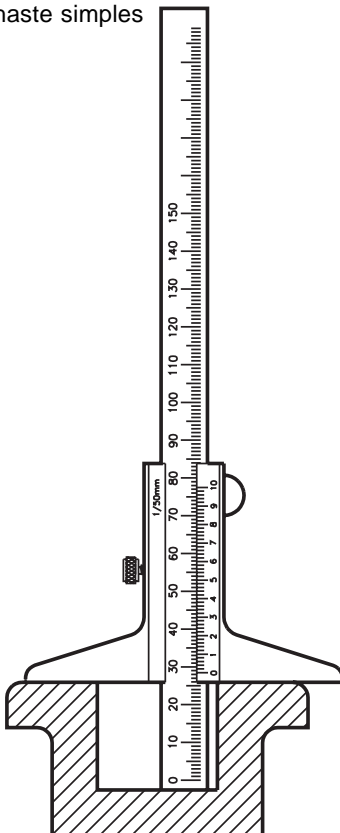


Paquímetro de profundidade

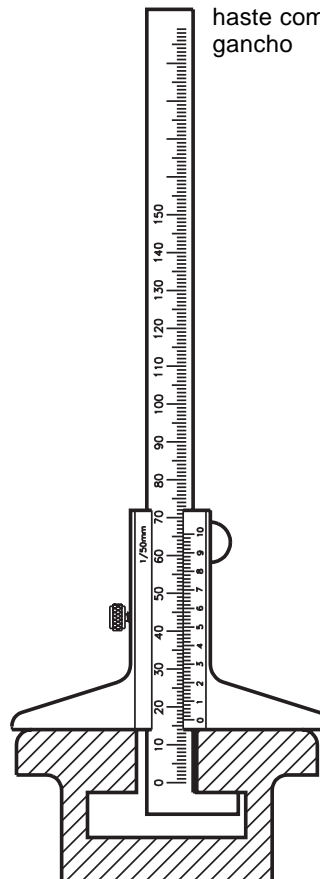
Serve para medir a profundidade de furos não vazados, rasgos, rebaixos etc. Esse tipo de paquímetro pode apresentar **haste simples** ou **haste com gancho**.

Veja a seguir duas situações de uso do paquímetro de profundidade.

haste simples

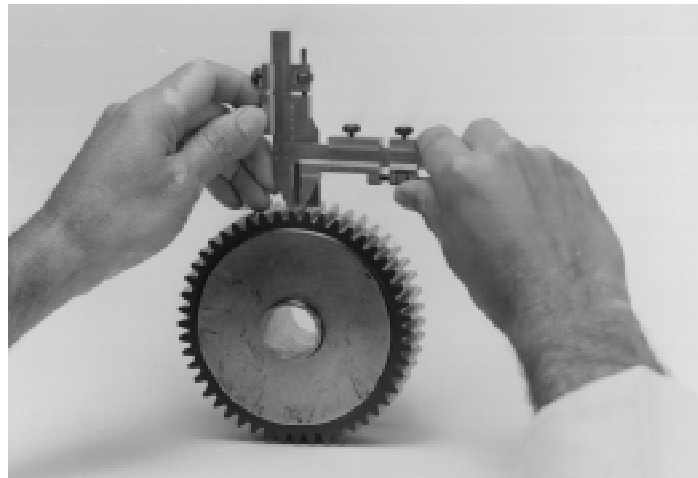


haste com gancho



Paquímetro duplo

Serve para medir dentes de engrenagens.



Paquímetro digital

Utilizado para leitura rápida, livre de erro de paralaxe, e ideal para controle estatístico.



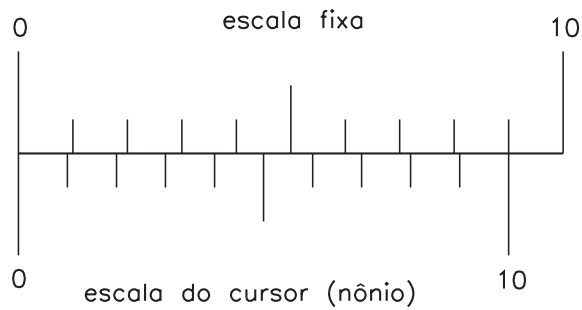
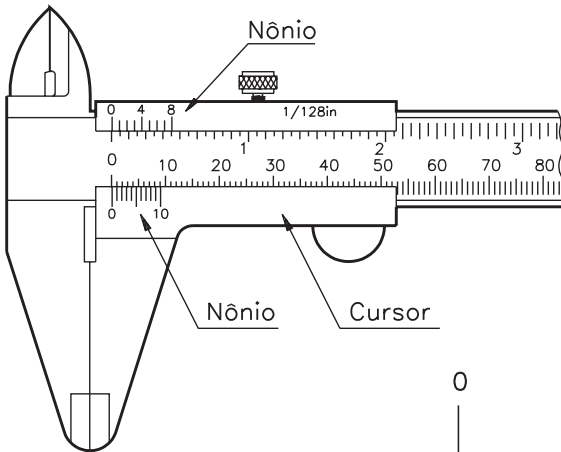
Traçador de altura

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.



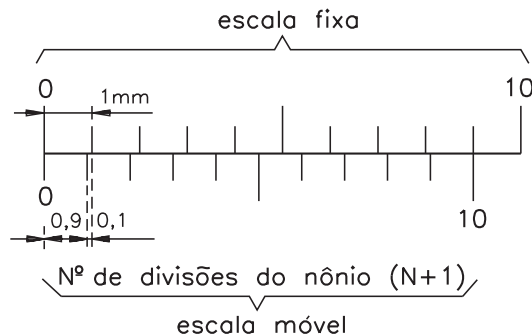
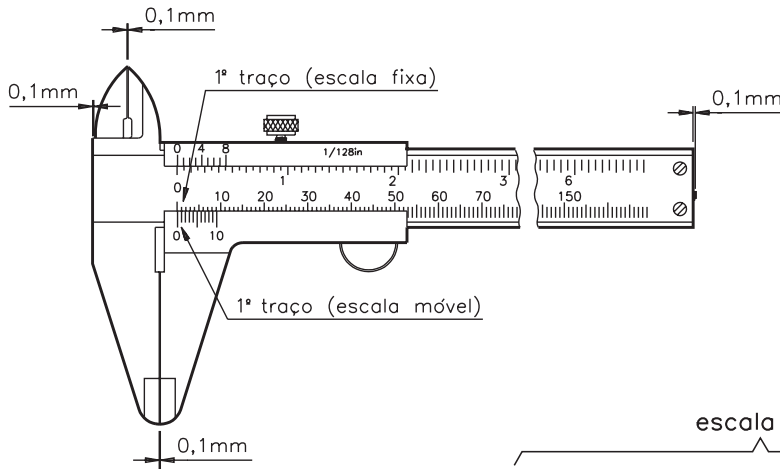
Princípio do nônio

A escala do cursor 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.

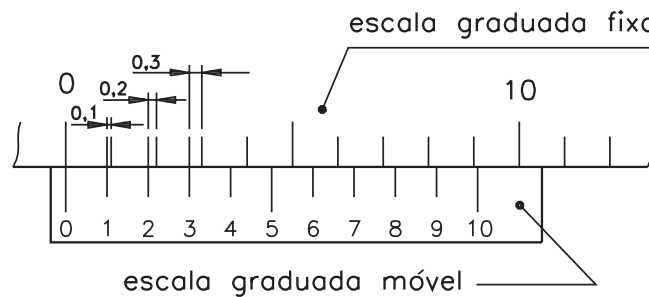


No sistema métrico, existem paquímetros em que o nônio possui dez divisões equivalentes a nove milímetros (9 mm).

Há, portanto, uma diferença de 0,1 mm entre o primeiro traço da escala fixa e o primeiro traço da escala móvel.



Essa diferença é de 0,2 mm entre o segundo traço de cada escala; de 0,3 mm entre o terceiros traços e assim por diante.



Cálculo de 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:

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

UEF = unidade da escala fixa

NDN = número de divisões do nônio

Exemplo:

- Nônio com 10 divisões

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

- Nônio com 20 divisões

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

- Nônio com 50 divisões

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

Teste sua aprendizagem, fazendo os exercícios a seguir. Confira suas respostas com as do gabarito.

Marque com um X a resposta correta.

Exercícios

Exercício 1

Para medir dimensões lineares internas, externas, de profundidade e de ressaltos, usa-se o seguinte instrumento:

- a) () graminho;
- b) () régua graduada;
- c) () compasso;
- d) () paquímetro.

Exercício 2

Quando é necessário grande número de medidas com rapidez, usa-se o paquímetro:

- a) () universal, com relógio indicador;
- b) () com bico móvel;
- c) () de profundidade;
- d) () duplo.

Exercício 3

Para medir peças cônicas ou com rebaixos, que apresentam diâmetros diferentes, usa-se paquímetro:

- a) () de profundidade;
- b) () com bico móvel (basculante);
- c) () com relógio indicador;
- d) () universal com relógio.

Exercício 4

Com o paquímetro duplo mede-se:

- a) () passo de engrenagem;
- b) () coroa de engrenagem;
- c) () dentes de engrenagem;
- d) () pinhão de engrenagem.

Exercício 5

A escala do cursor do paquímetro chama-se:

- a) () escala fixa;
- b) () escala de milímetros;
- c) () escala de polegadas;
- d) () nônio ou vernier.

Paquímetro: sistema métrico

Um problema

O pessoal da empresa continua recebendo explicações sobre o paquímetro. Todos passaram a conhecer melhor as funções, os componentes e os tipos de paquímetro.

Mas esse conhecimento só estaria completo se o pessoal soubesse ler medidas no paquímetro. Por isso o treinamento continuou.

Você sabe ler e interpretar medidas num paquímetro? É o que vai ser estudado nesta aula.

Leitura no sistema métrico

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

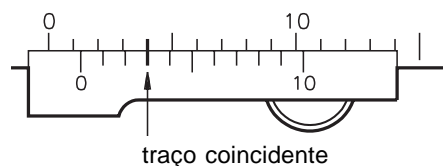
Em seguida, você deve contar os traços do nônio até o ponto em que um deles coincidir com um traço da escala fixa.

Depois, você soma o número que leu na escala fixa ao número que leu no nônio.

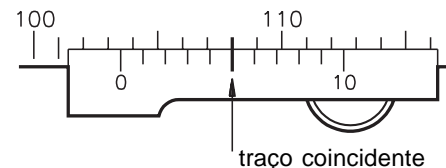
Para você entender o processo de leitura no paquímetro, são apresentados, a seguir, dois exemplos de leitura.

- Escala em milímetro e nônio com 10 divisões

$$\text{Resolução: } \frac{\text{UEF}}{\text{NDN}} = \frac{1 \text{ mm}}{10 \text{ div.}} = 0,1 \text{ mm}$$



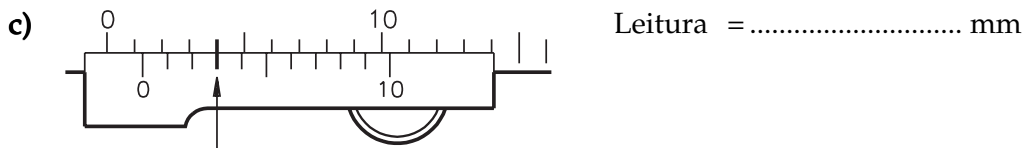
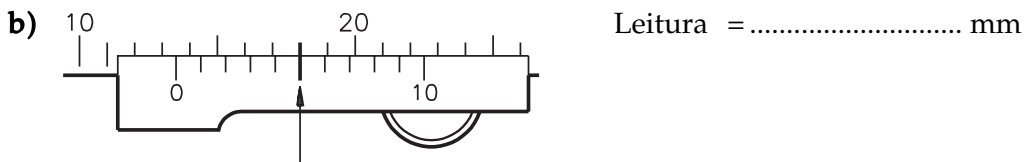
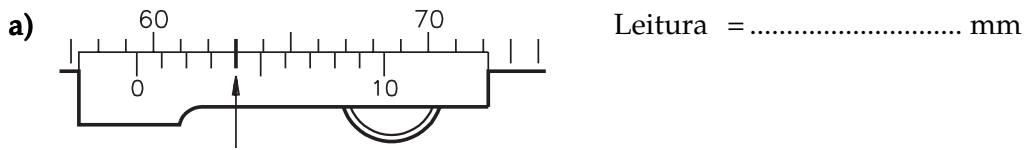
Leitura
 1,0 mm → escala fixa
0,3 mm → nônio (traço coincidente: 3º)
 1,3 mm → total (leitura final)



Leitura
 103,0 mm → escala fixa
0,5 mm → nônio (traço coincidente: 5º)
 103,5 mm → total (leitura final)

Verificando o entendimento

Faça a leitura e escreva a medida nas linhas pontilhadas.

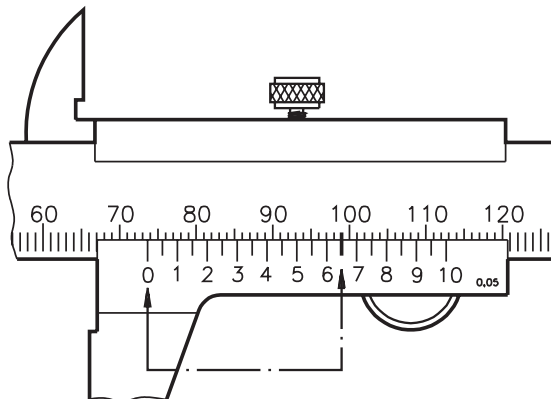


Verifique se acertou:

- a) 59,4 mm
- b) 13,5 mm
- c) 1,3 mm

- Escala em milímetro e nônio com 20 divisões

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



Leitura

73,00 mm → escala fixa

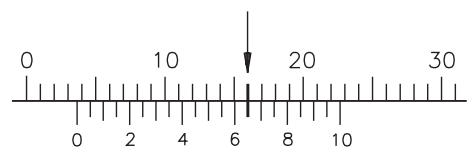
0,65 mm → nônio

73,65 mm → total

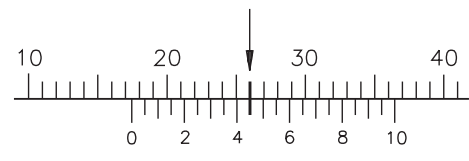
Verificando o entendimento

Faça a leitura e escreva a medida nas linhas pontilhadas

a) Leitura = mm



b) Leitura = mm



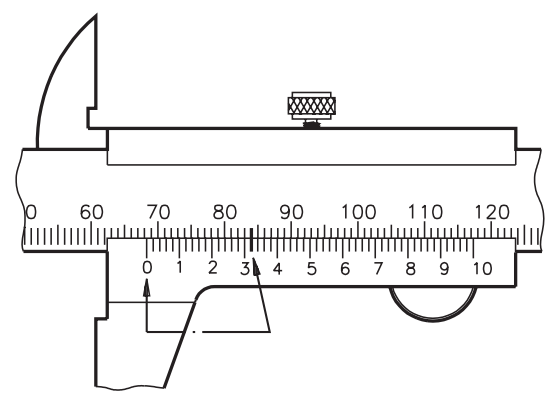
Verifique se acertou:

- a) 3,65 mm
- b) 17,45 mm

- Escala em milímetro e nônio com 50 divisões

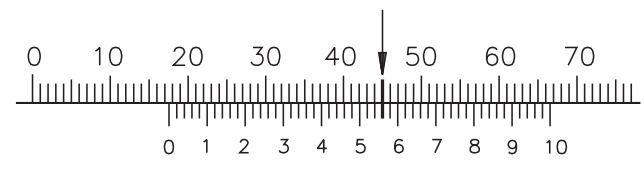
$$\text{Resolução} = \frac{1 \text{ mm}}{50} = 0,02 \text{ mm}$$

Leitura
 68,00 mm → escala fixa
 0,32 mm → nônio
 68,32 mm → total

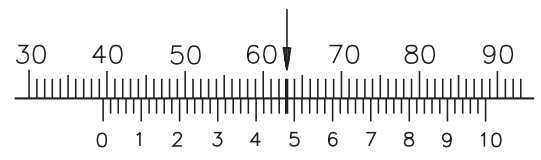


Verificando o entendimento

a) Leitura = mm



b) Leitura = mm



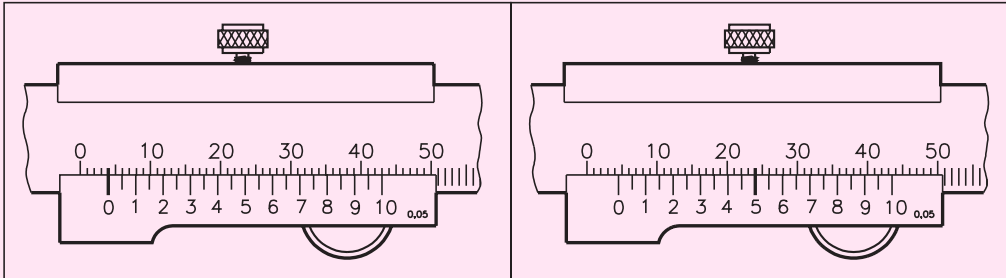
Verifique se acertou:

- a) 17,56 mm
- b) 39,48 mm

Agora, teste o que aprendeu nesta aula. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

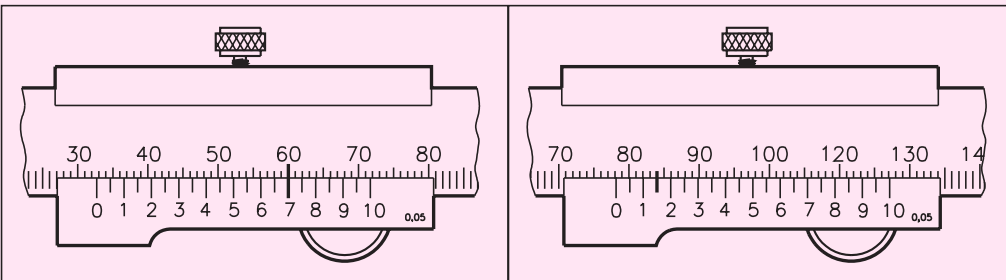
Exercícios

Não esqueça de calcular a resolução do paquímetro. Faça a leitura e escreva as medidas.



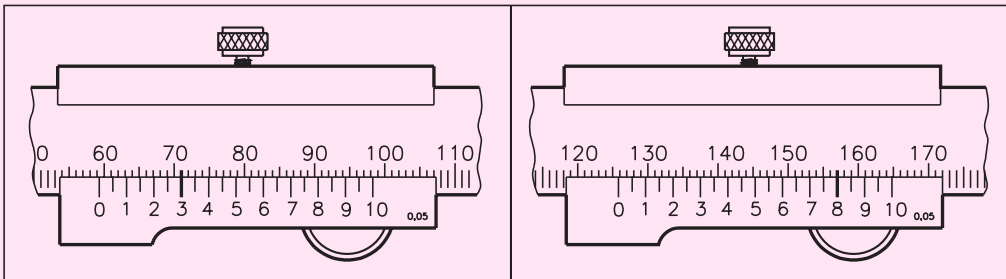
a) Leitura:

b) Leitura:



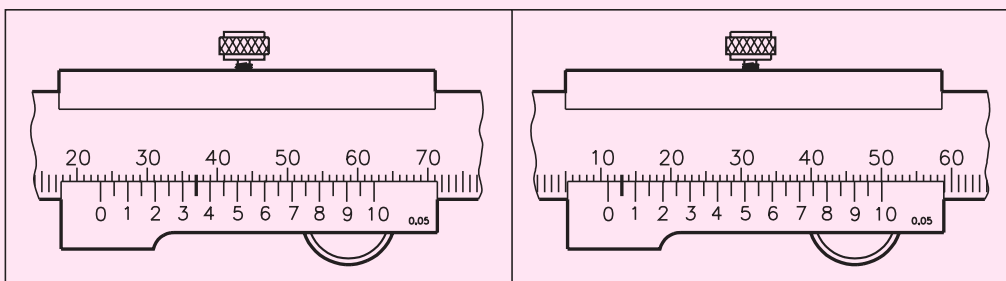
c) Leitura:

d) Leitura:



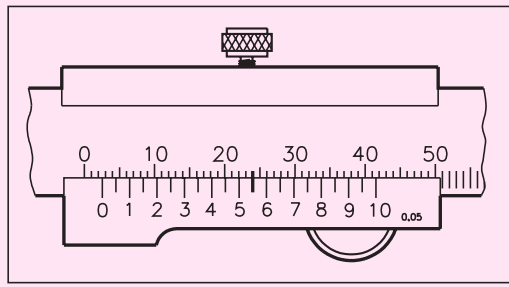
e) Leitura:

f) Leitura:

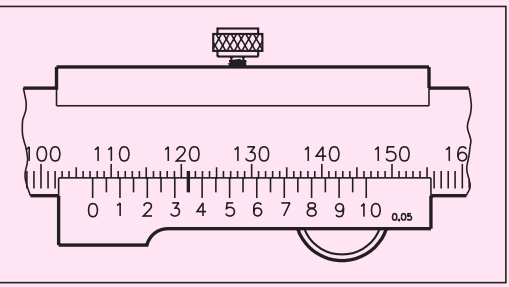


g) Leitura:

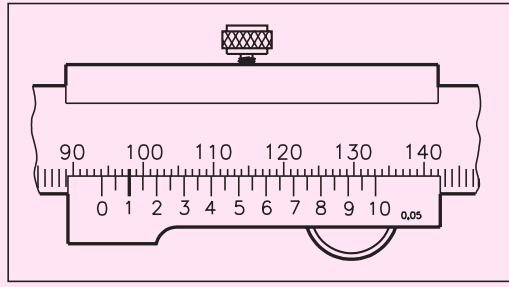
h) Leitura:



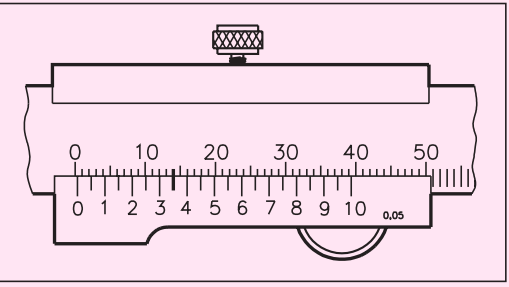
i) Leitura:



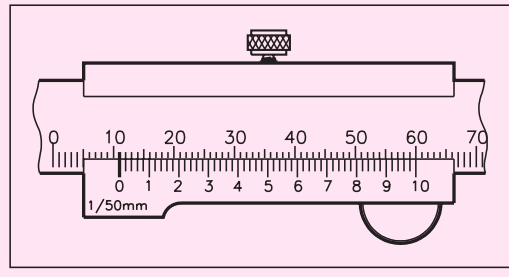
j) Leitura:



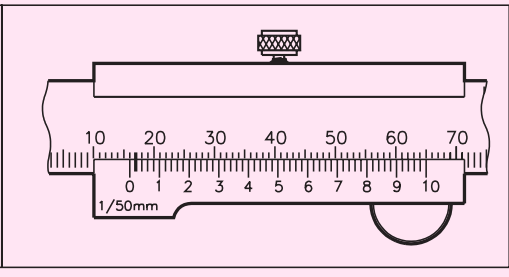
k) Leitura:



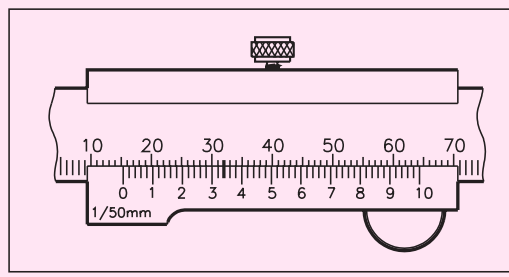
l) Leitura:



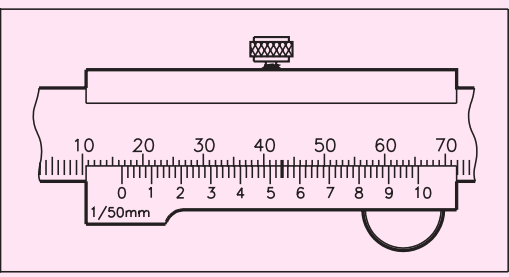
m) Leitura:



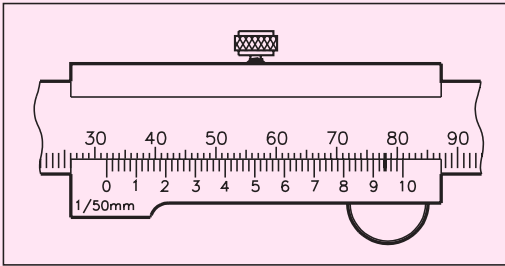
n) Leitura:



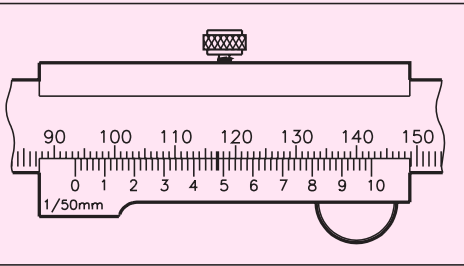
o) Leitura:



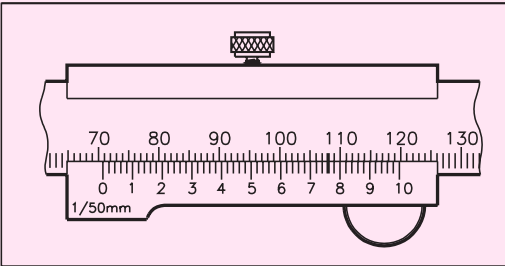
p) Leitura:



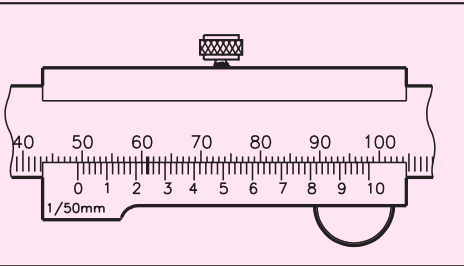
q) Leitura:



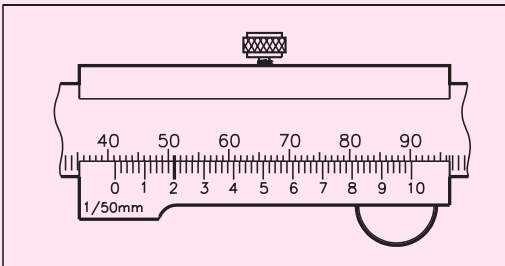
r) Leitura:



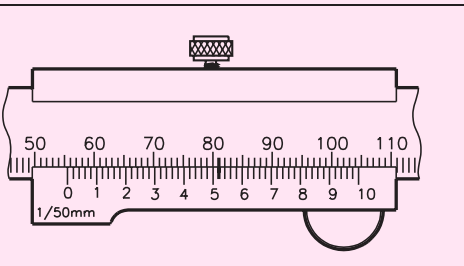
s) Leitura:



t) Leitura:



u) Leitura:



v) Leitura:



Paquímetro: sistema inglês

Um problema

Agora que o pessoal da empresa aprendeu a leitura de paquímetros no sistema métrico, é necessário aprender a ler no sistema inglês.

Este é o assunto a ser estudado nesta aula.

Leitura de 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:

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

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

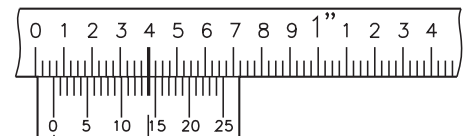
$$\text{Resolução} = \frac{\text{UEF}}{\text{NDN}} \quad R = \frac{.025''}{25} = .001''$$

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.

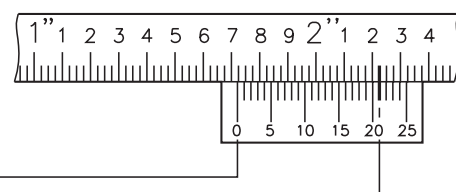
Leitura:

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



Leitura:

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



Verificando o entendimento

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

a)  Leitura =

b)  Leitura =

c)  Leitura =

Veja se acertou:

- a) .064"
- b) .471"
- c) 1.721"

Leitura de polegada fracionária

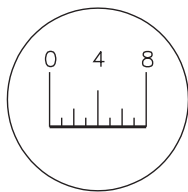
No sistema inglês, a escala fixa do paquímetro é graduada em polegada e frações de polegada. Esses valores fracionários da polegada são complementados com o uso do nônio.

Para utilizar o nônio, precisamos saber calcular sua resolução:

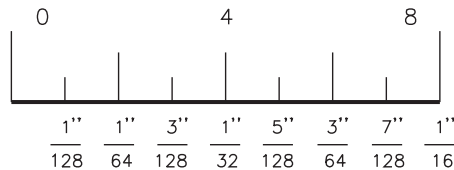
$$\text{Resolução} = \frac{\text{UEF}}{\text{NDN}} = \frac{\frac{1}{16}''}{8} \quad R = \frac{1}{16} \div 8 = \frac{1}{16} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{128}$$

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

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



Nônio

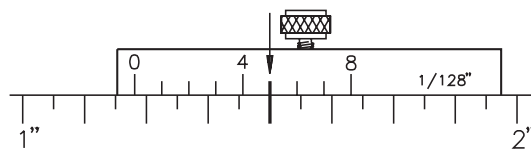
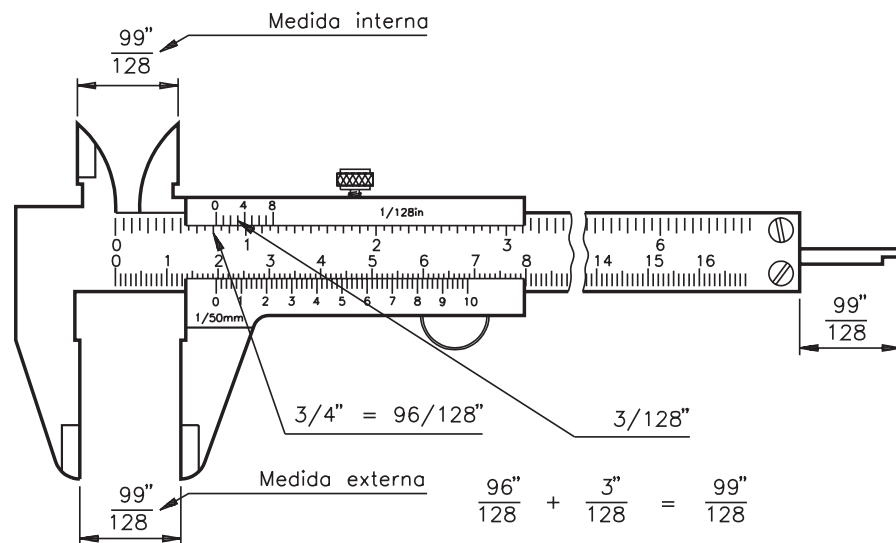


A partir daí, vale a explicação dada no item anterior: adicionar à leitura da escala fixa a do nônio.

Exemplo:

Na figura a seguir, podemos ler $\frac{3}{4}$ " na escala fixa e $\frac{3}{128}$ " no nônio.

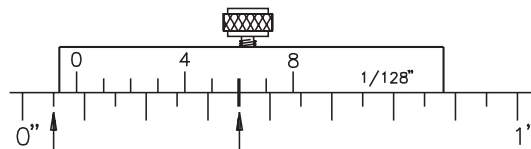
A medida total equivale à soma dessas duas leituras.



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

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

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



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

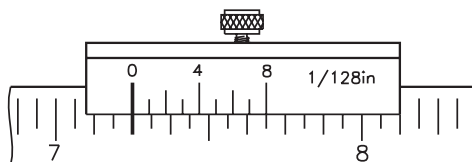
Portanto: $\frac{1}{16} + \frac{6}{128} \Rightarrow \frac{8}{128} + \frac{6}{128} = \frac{14}{128}$

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

Observação: As frações sempre devem ser simplificadas.

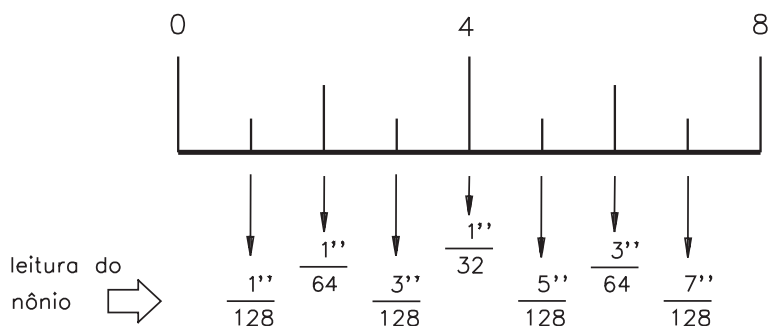
Você deve ter percebido que medir em polegada fracionária exige operações mentais. Para facilitar a leitura desse tipo de medida, recomendamos os seguintes procedimentos:

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:

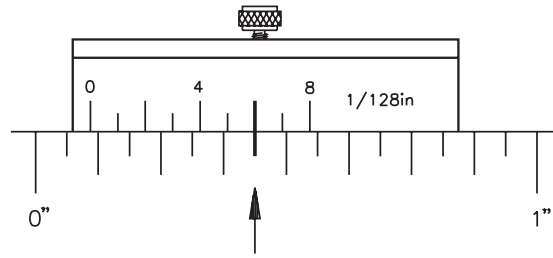
$$\text{Leitura do nônio } \frac{3}{64}'' \Rightarrow \text{fração escolhida da escala fixa } \frac{4}{64}''$$

$$\text{Leitura do nônio } \frac{7}{128}'' \Rightarrow \text{fração escolhida da escala fixa } \frac{8}{128}''$$

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)



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

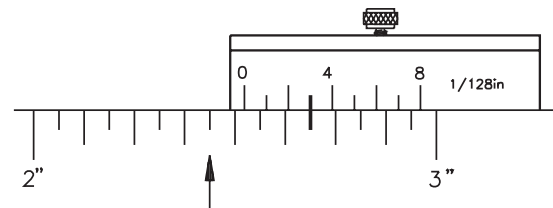
$$3^{\circ} \text{ passo} \Rightarrow 1 \text{ divisão}$$

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

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

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

b)



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

$$3^{\circ} \text{ passo} \Rightarrow 2'' + 8 \text{ divisões}$$

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

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

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

Colocação de medida no paquímetro em polegada fracionária

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.

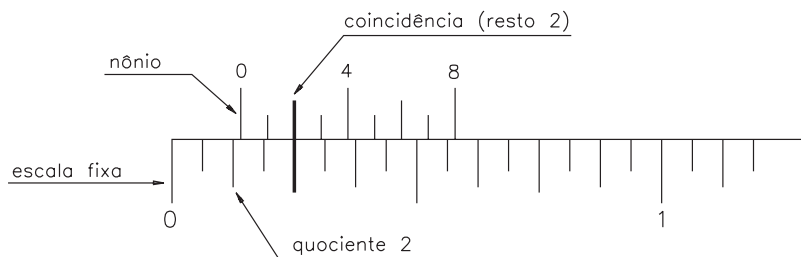
$\frac{9}{64} \Rightarrow \frac{18}{128}$ é uma fração equivalente, com denominador 128.

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:

$$\begin{array}{r} 18 \\ 2 \end{array} \quad \begin{array}{r} \underline{8} \\ 2 \\ \text{resto} \end{array} \quad \begin{array}{r} \text{quociente} \end{array}$$

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

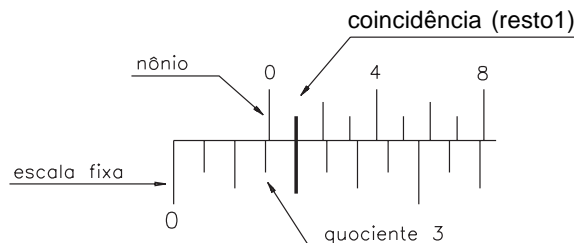


Outro exemplo: abrir o paquímetro na medida $\frac{25}{128}$

A fração já está com denominador 128.

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

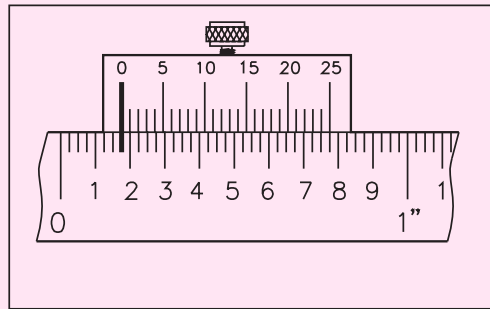
O paquímetro deverá indicar o 3º traço da escala fixa e apresentar o 1º traço do nônio coincidindo com um traço da escala fixa.



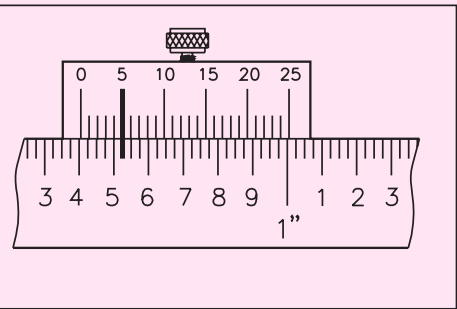
Exercícios

Teste sua aprendizagem fazendo os exercícios de leitura a seguir. Confira suas respostas com as do gabarito.

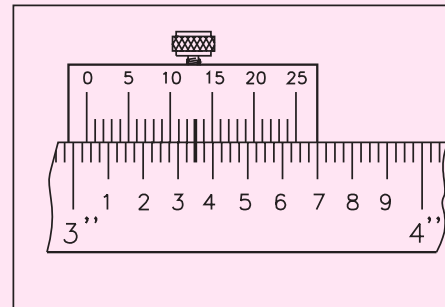
Leia cada uma das medidas em polegada milesimal e escreva a medida na linha abaixo de cada desenho.



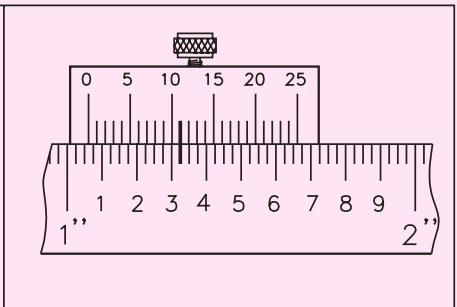
a) Leitura:



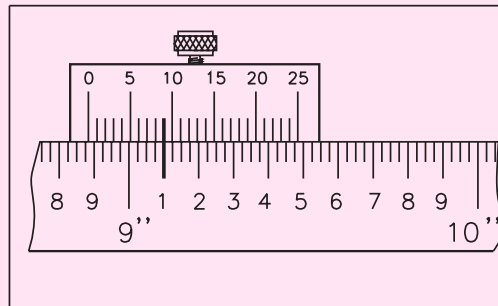
b) Leitura:



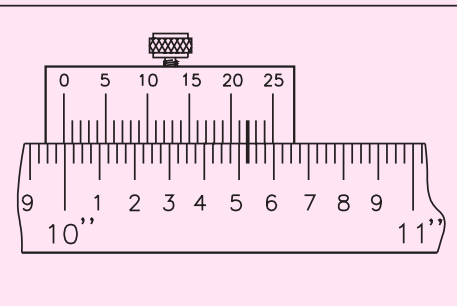
c) Leitura:



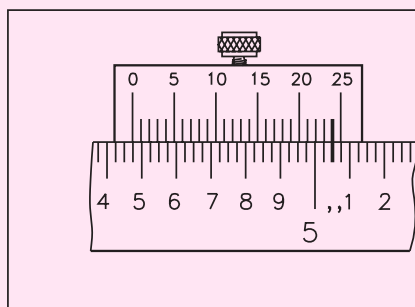
d) Leitura:



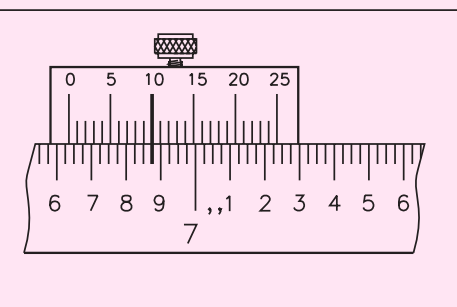
e) Leitura:



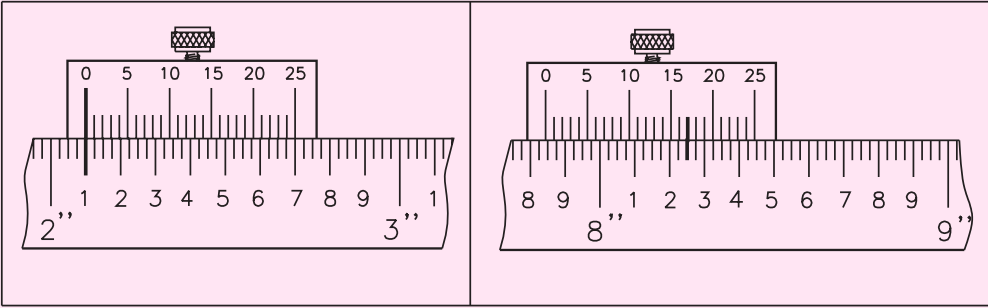
f) Leitura:



g) Leitura:

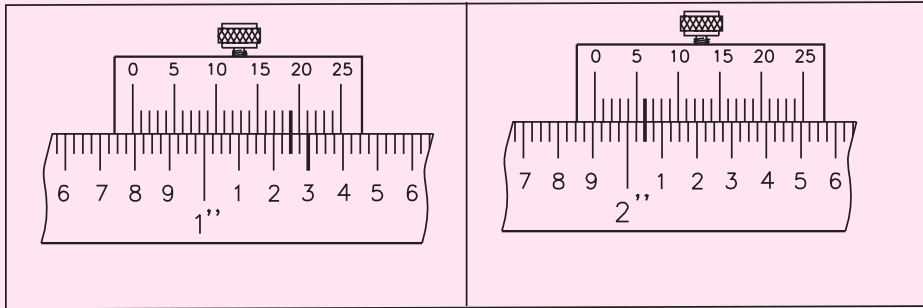


h) Leitura:



i) Leitura:

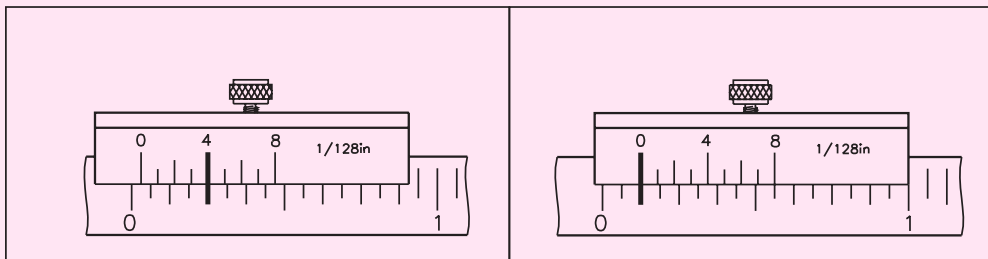
j) Leitura:



k) Leitura:

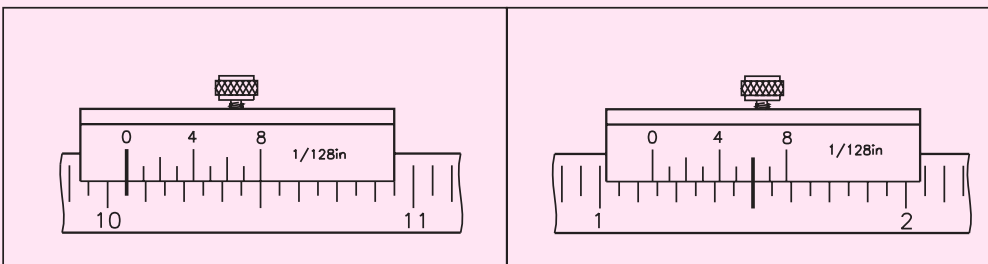
l) Leitura:

Leia cada uma das medidas em polegada fracionária e escreva a medida na linha abaixo de cada desenho.



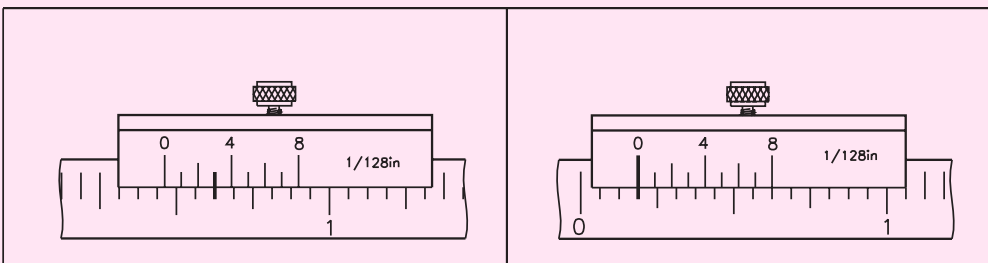
a) Leitura:

b) Leitura:



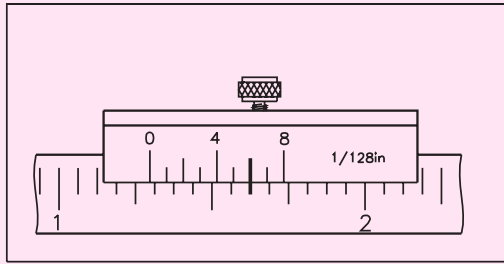
c) Leitura:

d) Leitura:

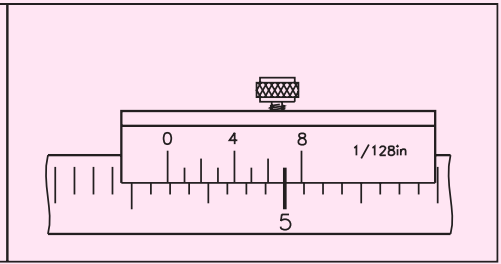


e) Leitura:

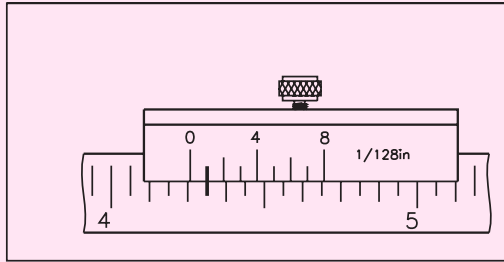
f) Leitura:



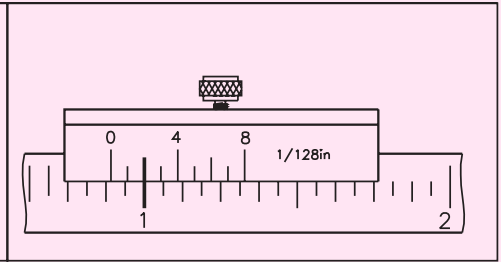
g) Leitura:



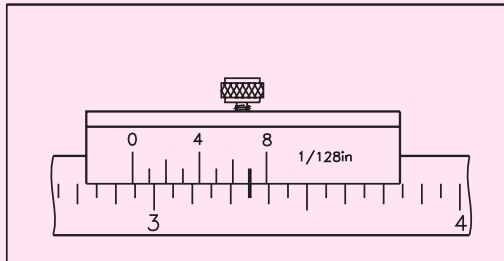
h) Leitura:



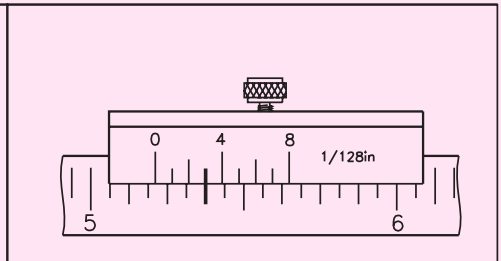
i) Leitura:



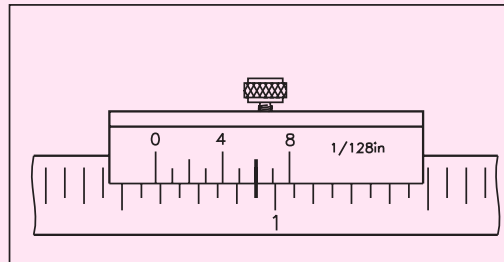
j) Leitura:



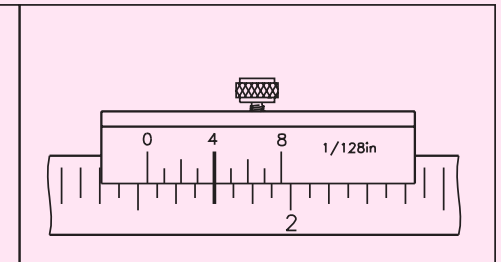
k) Leitura:



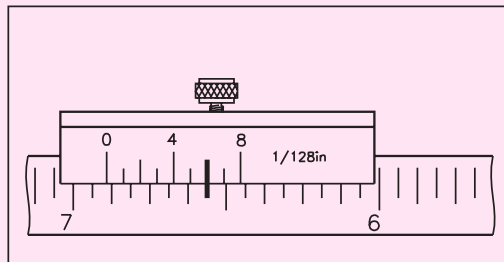
l) Leitura:



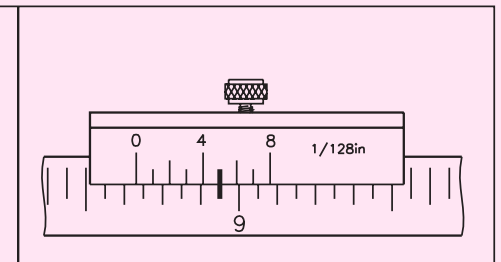
m) Leitura:



n) Leitura:



o) Leitura:



p) Leitura:

Paquímetro: conservação

O pessoal da empresa está chegando à quarta aula sobre paquímetro. Nesta aula, todos vão aprender a usar corretamente o paquímetro, quais os possíveis erros de leitura e quais os cuidados que se deve ter para conservá-lo. Vamos lá?

Um problema

Erros 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**.

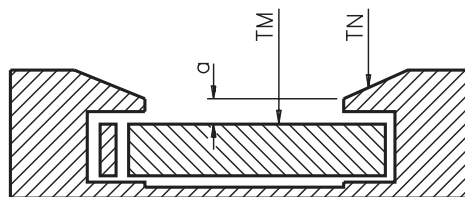
Paralaxe

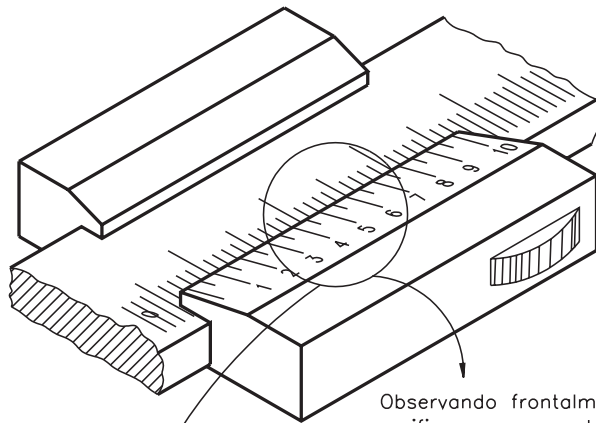
Dependendo do ângulo de visão do operador, pode ocorrer o erro por **paralaxe**, pois devido a esse ângulo, aparentemente há coincidência entre um traço da escala fixa com outro da móvel.

O cursor onde é gravado o nônio, por razões técnicas de construção, normalmente tem uma espessura mínima (a), e é posicionado sobre a escala principal. Assim, os traços do nônio (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.

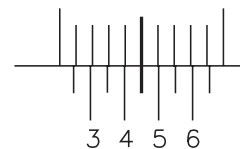
Para não cometer o erro de paralaxe, é aconselhável que se faça a leitura situando o paquímetro em uma posição perpendicular aos olhos.





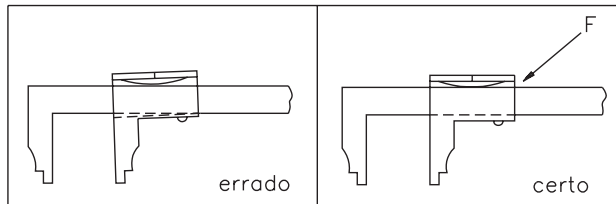
Observando frontalmente, verificamos que a leitura correta é 0,45 mm.

Devido a posição inclinada, o observador poderá achar que a medida correta é 0,60 mm.

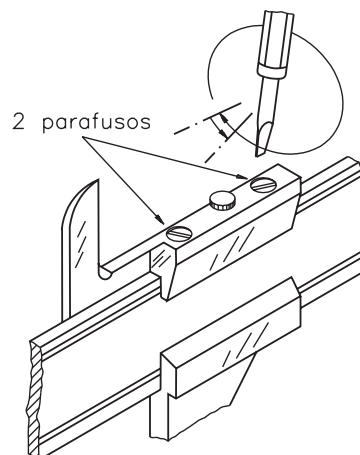


Pressão de medição

Já o erro de **pressão de medição** origina-se no jogo do cursor, controlado por uma mola. Pode ocorrer uma inclinação do cursor em relação à régua, o que altera a medida.



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 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.



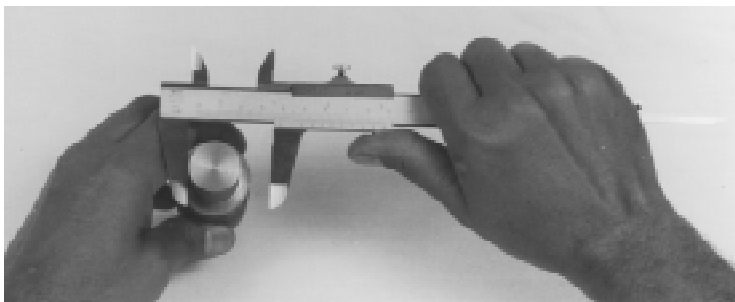
Técnica de utilização do paquímetro

Para ser usado corretamente, o paquímetro precisa ter:

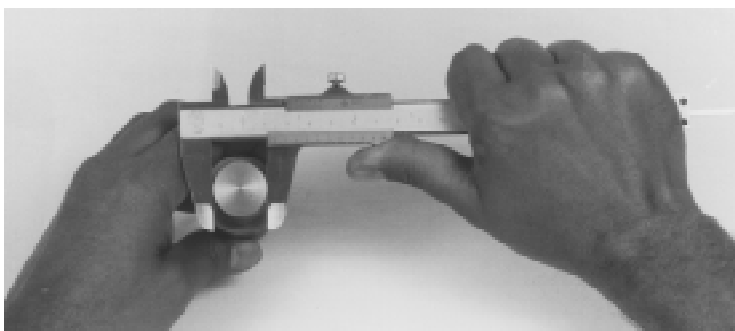
- seus encostos limpos;
- a peça a ser medida deve estar posicionada corretamente entre os encostos.

É importante 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.

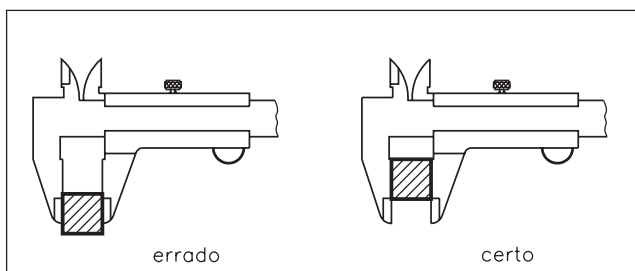


Feita a leitura da medida, o paquímetro deve ser aberto e a peça retirada, sem que os encostos a toquem.

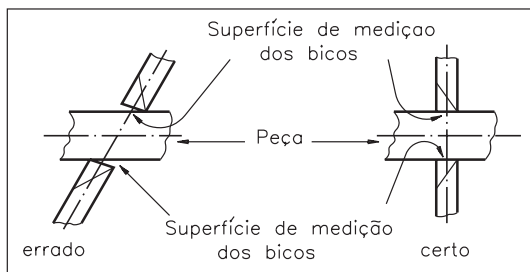
As recomendações seguintes referem-se à utilização do paquímetro para determinar medidas:

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

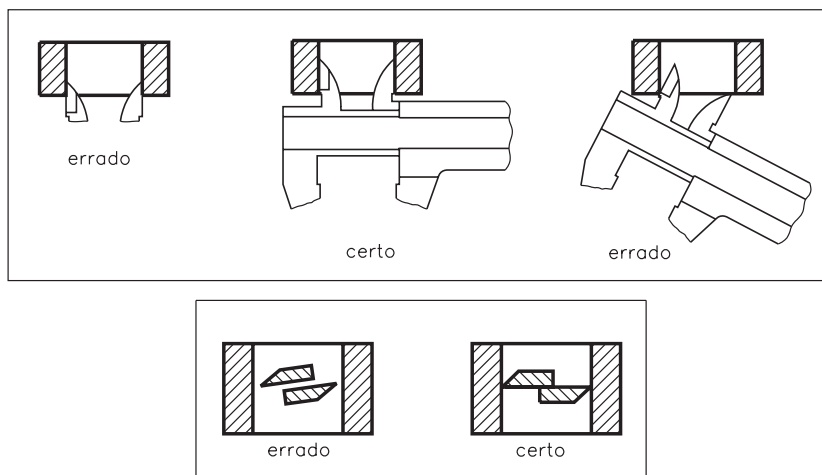
Nas **medidas externas**, a peça a ser medida deve ser colocada o mais profundamente possível entre os bicos de medição para evitar qualquer desgaste na ponta dos bicos.



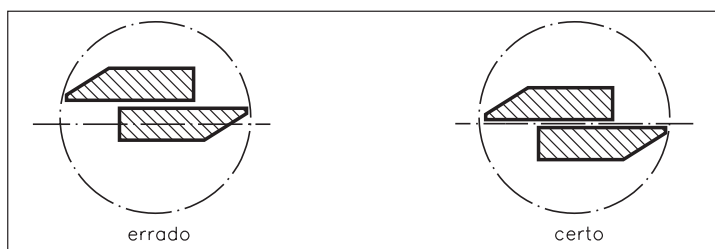
Para maior segurança nas medições, as superfícies de medição dos bicos e da peça devem estar bem apoiadas.



Nas **medidas internas**, as orelhas precisam ser colocadas o mais profundamente possível. O paquímetro deve estar sempre paralelo à peça que está sendo medida.

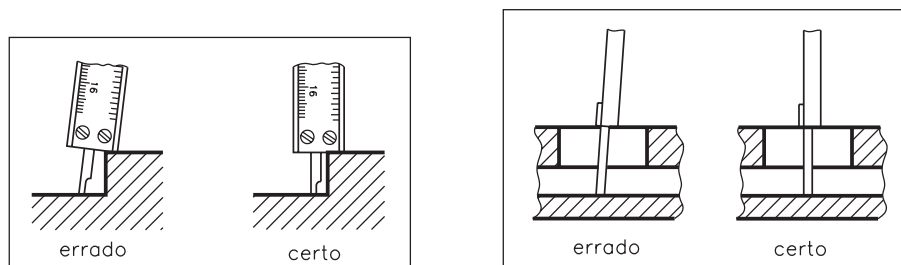


Para maior segurança nas medições de diâmetros internos, as superfícies de medição das orelhas devem coincidir com a linha de centro do furo.



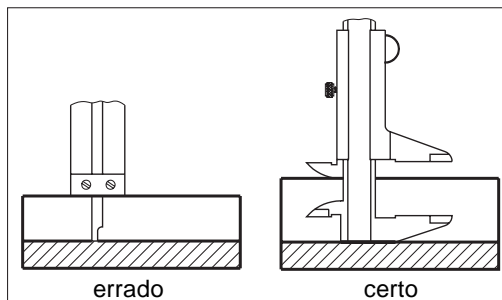
Toma-se, então, a máxima leitura para diâmetros internos e a mínima leitura para faces planas internas.

No caso de **medidas de profundidade**, apóia-se o paquímetro corretamente sobre a peça, evitando que ele fique inclinado.



Nas **medidas de ressaltos**, 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.



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.

Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

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.

Exercícios

Micrômetro: tipos e usos

Um problema

Um mecânico precisava medir um eixo da maneira mais exata possível. Tentou a medição com paquímetro mas logo desistiu, pois esse instrumento não tinha resolução adequada.

Pedi orientação a um colega do setor de metrologia. O colega resolveu o problema oferecendo-lhe um micrômetro que, no caso, era o instrumento mais adequado à medição desejada.

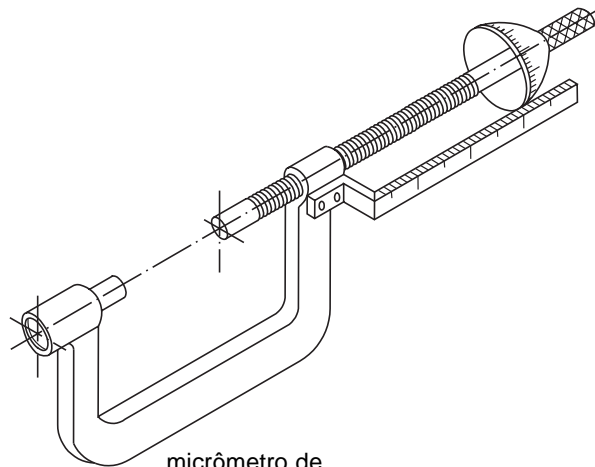
Você sabe o que é um micrômetro? Este é o assunto desta aula. Se você já conhece esse instrumento, terá a oportunidade de conhecê-lo mais profundamente. Trata-se de conhecimento necessário a quem trabalha ou deseja trabalhar na área da mecânica.

Origem e função do 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.

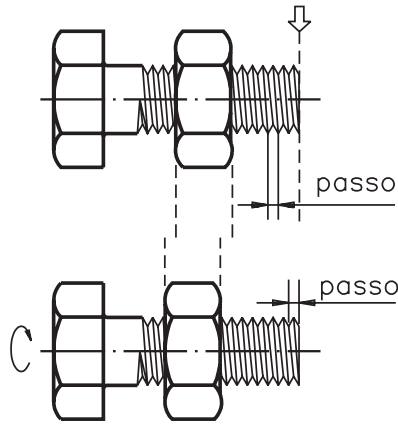
De modo geral, o instrumento é conhecido como micrômetro. Na França, entretanto, em homenagem ao seu inventor, o micrômetro é denominado **palmer**.



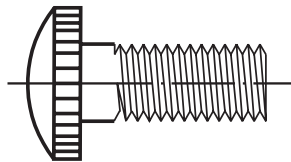
micrômetro de Palmer (1848)

Princípio de funcionamento

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

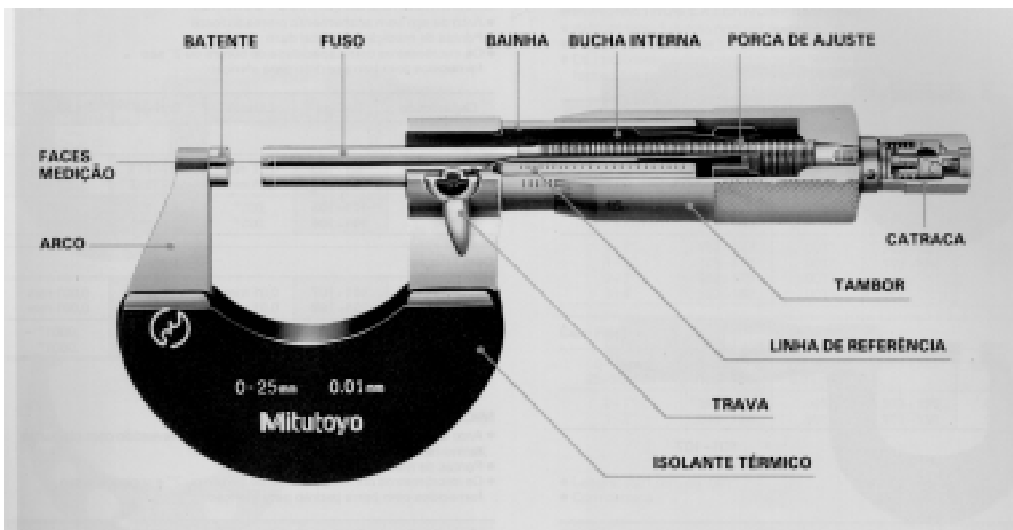


Desse modo, dividindo-se a “cabeça” do parafuso, pode-se avaliar frações menores que uma volta e, com isso, medir comprimentos menores do que o passo do parafuso.



Nomenclatura

A figura seguinte mostra os componentes de um micrômetro.



Vamos ver os principais componentes de um micrômetro.

- 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 constituído 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 imobilizar o fuso numa medida predeterminada.

Características

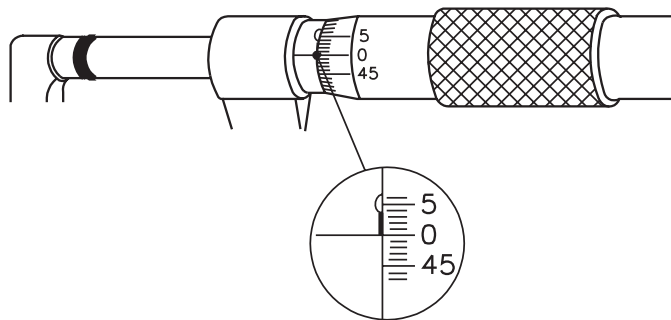
Os micrômetros caracterizam-se pela:

- 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".

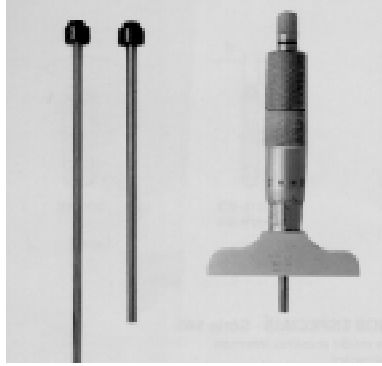
No micrômetro de 0 a 25 mm ou de 0 a 1", quando as faces dos contatos estão juntas, a borda do tambor coincide com o traço zero (0) da bainha. A linha longitudinal, gravada na bainha, coincide com o zero (0) da escala do tambor.



Para diferentes **aplicações**, temos os seguintes tipos de micrômetro.

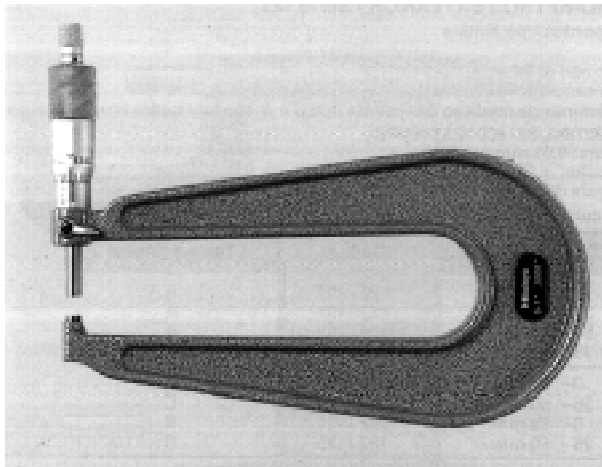
De profundidade

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



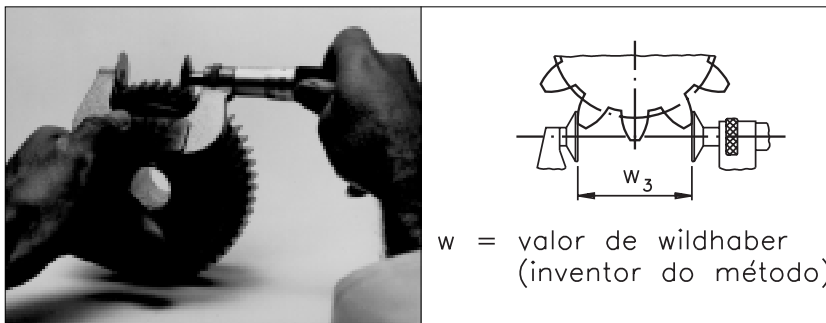
Com arco profundo

Serve para medições de espessuras de bordas ou de partes salientes das peças.



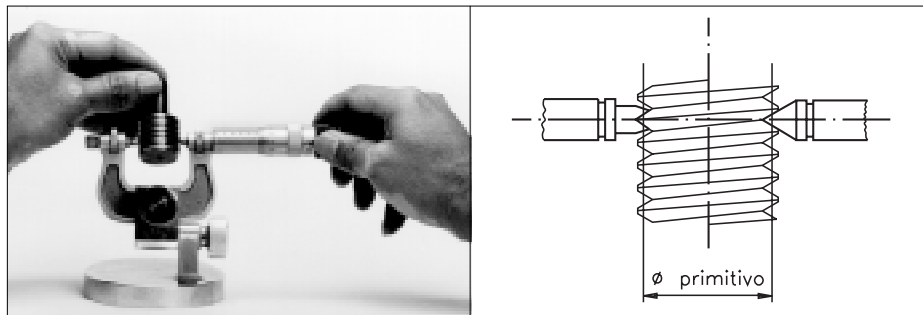
Com disco nas hastes

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.



Para medição de roscas

Especialmente construído para medir roscas triangulares, este micrômetro possui as hastes furadas para que se possa encaixar as pontas intercambiáveis, conforme o passo para o tipo da rosca a medir.

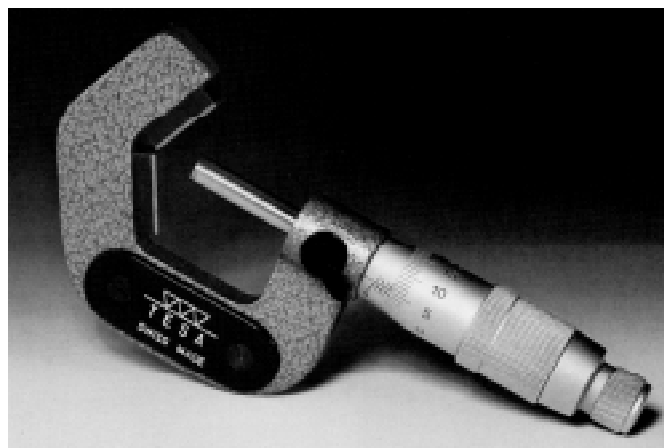


Com contato em forma de V

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, $128^\circ 34' 17''$.



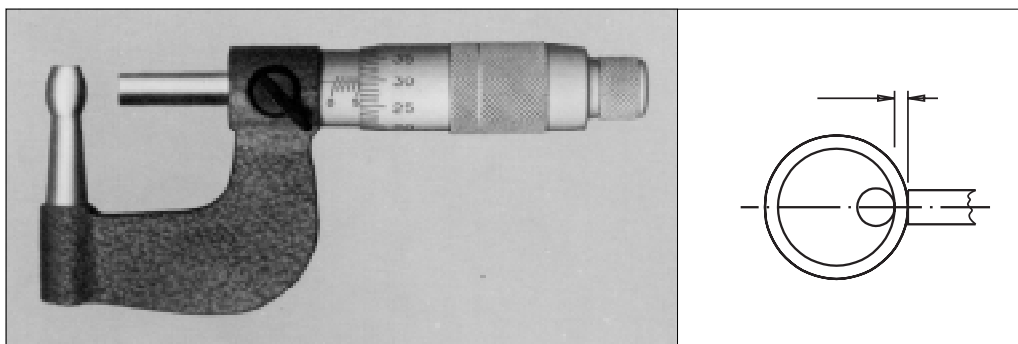
3 cortes, 60°



5 cortes, 108°

Para medir parede de tubos

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.



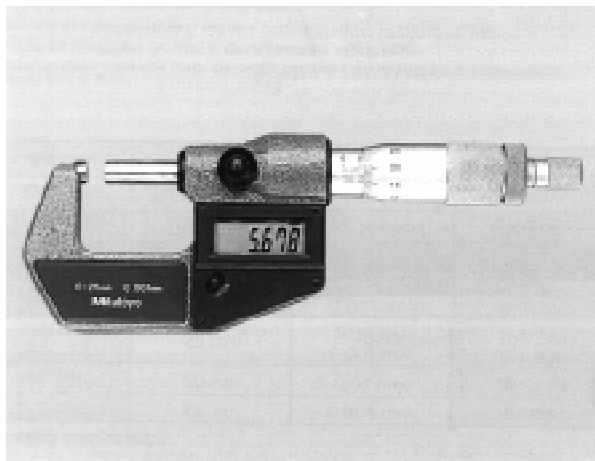
Contador mecânico

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).



Digital eletrônico

Ideal para leitura rápida, livre de erros de paralaxe, próprio para uso em controle estatístico de processos, juntamente com microprocessadores.

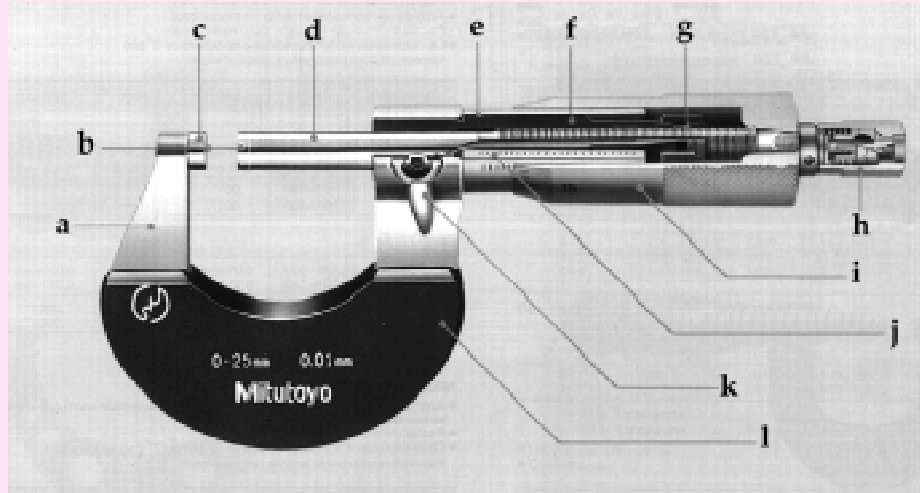


Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Exercícios

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 hastes.

Micrômetro: sistema métrico

Um problema

Um mecânico precisava medir uma peça com micrômetro mas não sabia fazer a leitura. Como havia sido admitido há pouco tempo, não quis que os colegas - e muito menos o supervisor - soubessem do seu desconhecimento. Por isso, decidiu estudar sozinho para poder fazer o seu trabalho.

Por sorte, o mecânico encontrou um livro que continha informações sobre o assunto. Vamos acompanhar seu estudo?

Micrômetro com resolução de 0,01 mm

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

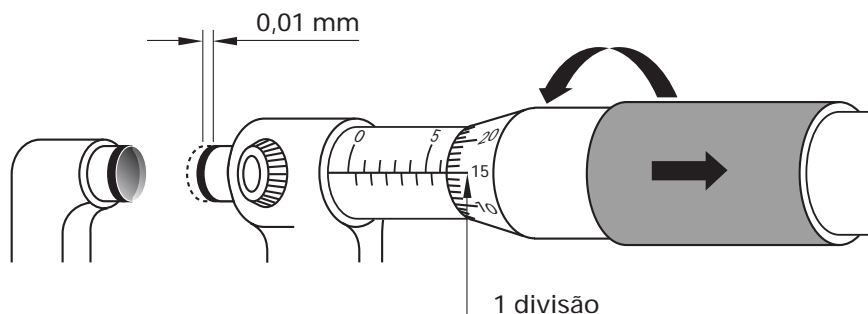
A resolução de uma medida tomada em um micrômetro corresponde ao menor deslocamento do seu fuso. Para obter a medida, divide-se o passo pelo número de divisões do tambor.

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

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

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

Assim, girando o tambor, cada divisão provocará um deslocamento de 0,01 mm no fuso.



Leitura no micrômetro com resolução de 0,01 mm.

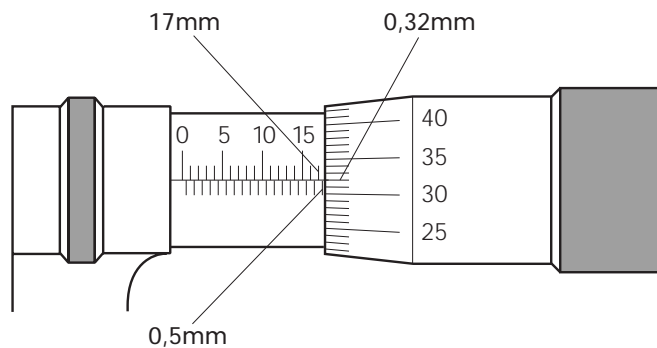
1º passo - leitura dos milímetros inteiros na escala da bainha.

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

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

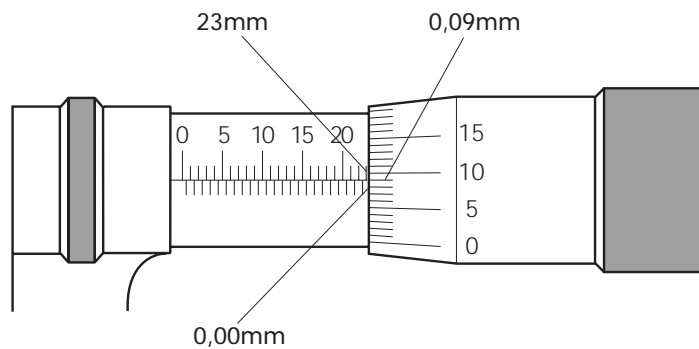
Exemplos:

a)



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

b)

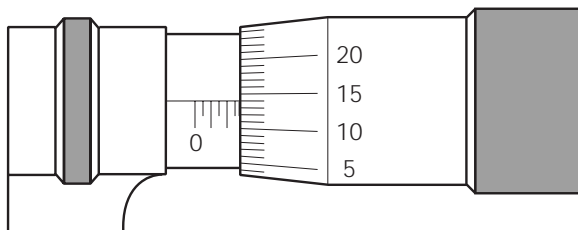


$$\begin{array}{r}
 23,00\text{mm (escala dos mm da bainha)} \\
 + 0,00\text{mm (escala dos meios mm da bainha)} \\
 \hline
 0,09\text{mm (escala centesimal do tambor)} \\
 \hline
 23,09\text{mm Leitura total}
 \end{array}$$

Verificando o entendimento

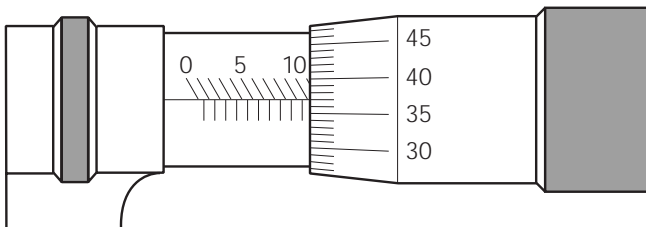
Faça a leitura e escreva a medida na linha.

a)



Leitura:

b)



Leitura:

Veja se acertou. As respostas corretas são:

a) 2,64 mm

b) 10,37 mm

Micrômetro com resolução de 0,001 mm

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 0,001 mm.

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

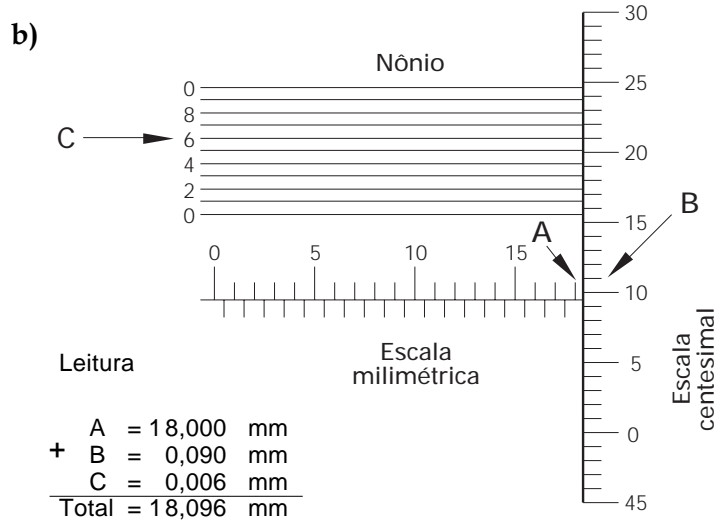
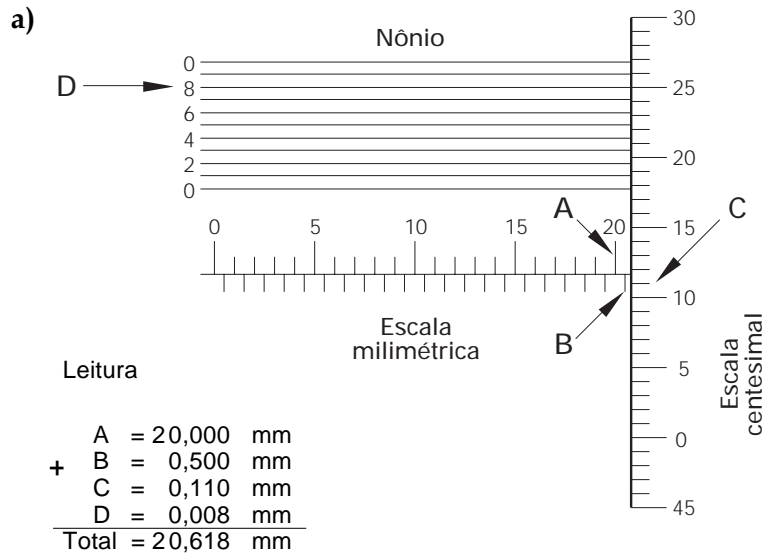
2º passo - leitura dos meios milímetros na mesma escala.

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

4º passo - leitura dos milésimos com o auxílio do nônio da bainha, verificando qual dos traços do nônio coincide com o traço do tambor.

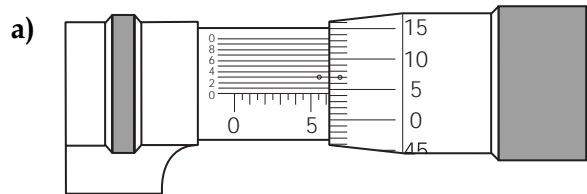
A leitura final será a soma dessas quatro leituras parciais.

Exemplos:



Verificando o entendimento

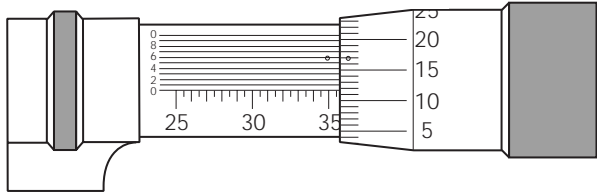
Faça a leitura e escreva a medida na linha.



Leitura:

(cont.)

b)



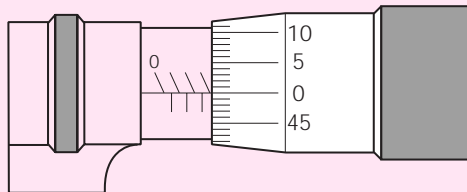
Leitura:

Veja se acertou. As respostas corretas são:

- a) 6,043 mm
- b) 35,616 mm

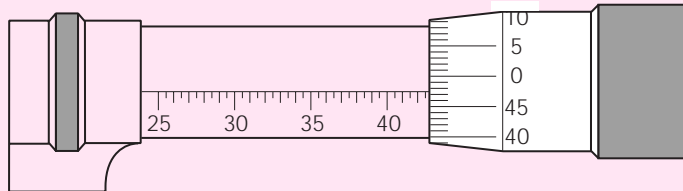
É importante que você aprenda a medir com o micrômetro. Para isso, leia as medidas indicadas nas figuras. As respostas corretas são apresentadas no gabarito.

a)



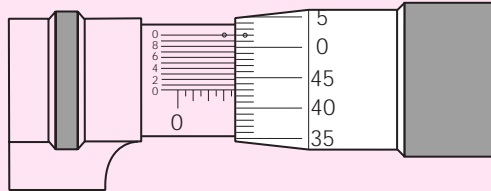
Leitura:

b)



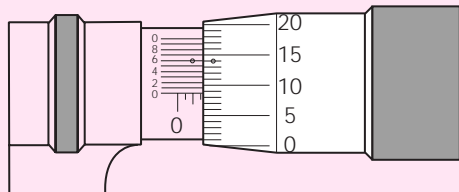
Leitura:

c)



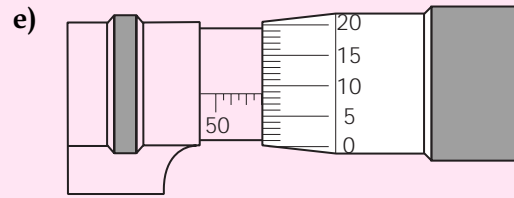
Leitura:

d)

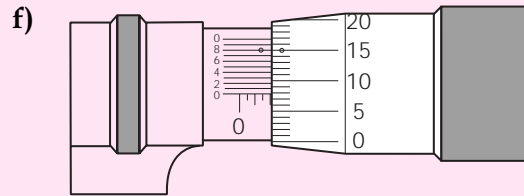


Leitura:

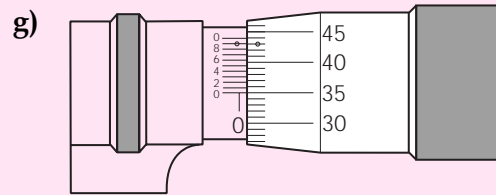
Exercícios



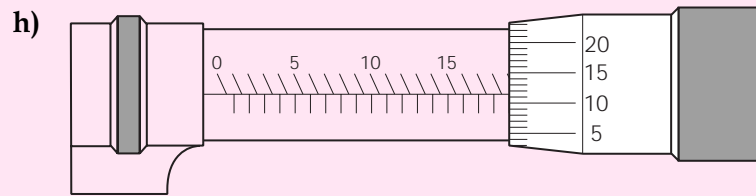
Leitura:



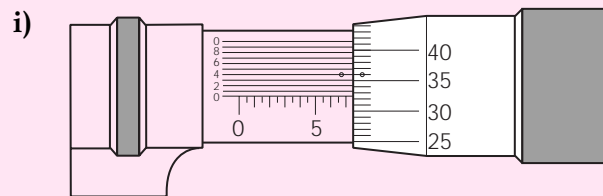
Leitura:



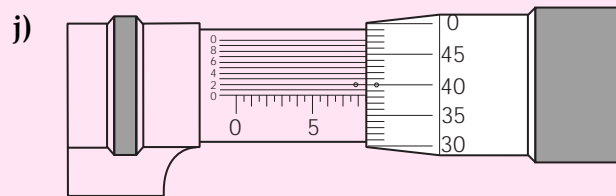
Leitura:



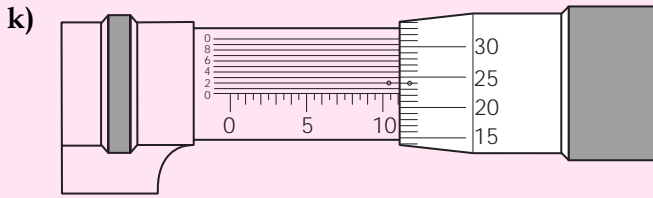
Leitura:



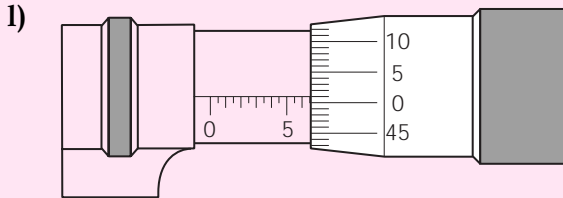
Leitura:



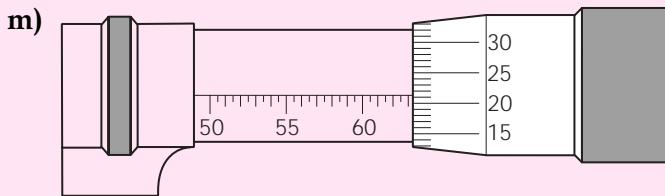
Leitura:



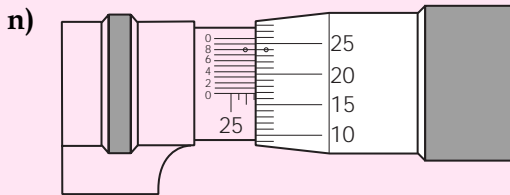
Leitura:



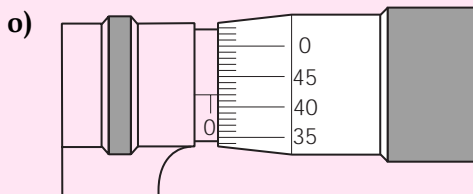
Leitura:



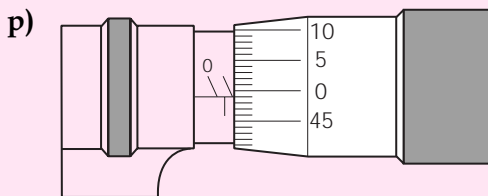
Leitura:



Leitura:



Leitura:



Leitura:

Micrômetro: sistema inglês

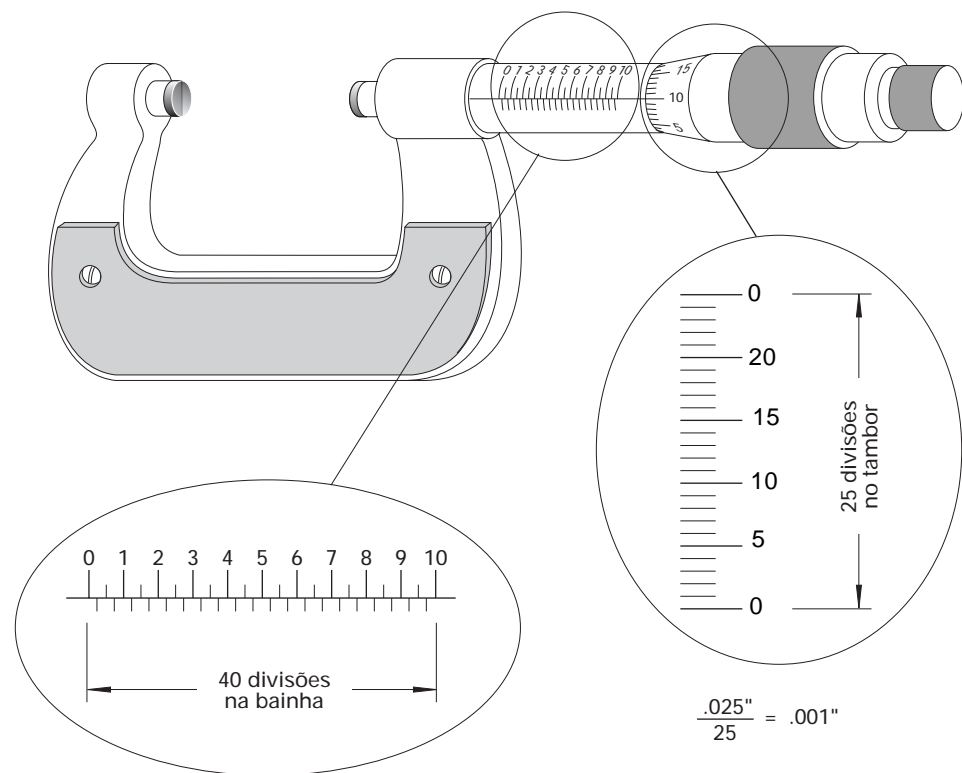
Um problema

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.

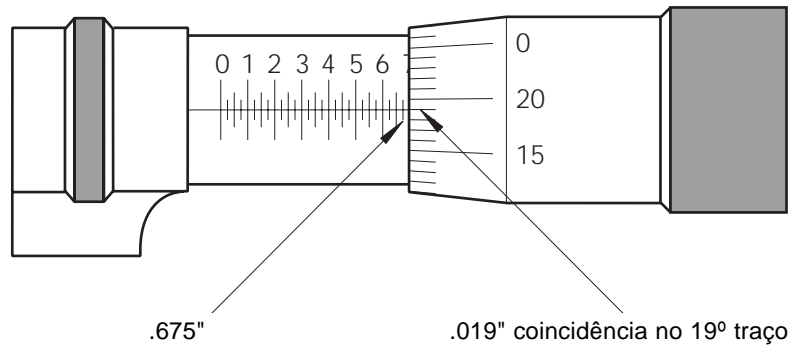


$$\frac{1''}{40} = .025''$$

$$\frac{.025''}{25} = .001''$$

Para medir com o micrômetro de resolução $.001''$, 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.

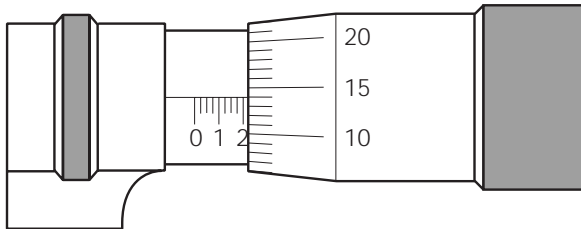
Exemplo:



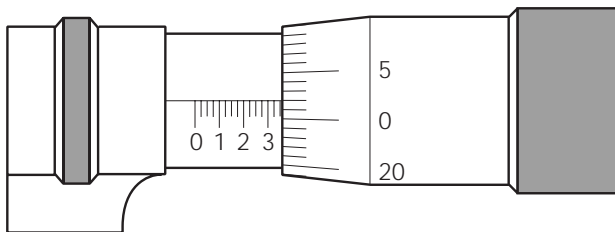
bainha → .675"
 + tambor → .019"
 leitura → .694"

Verificando o entendimento

Leia as medidas e escreva-as nas linhas abaixo de cada desenho.



a) Leitura



b) Leitura

Veja se acertou. As respostas corretas são:

- a) $.214''$
 b) $.352''$

Micrômetro com resolução $.0001''$

Para a leitura no micrômetro de $.0001''$, 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.

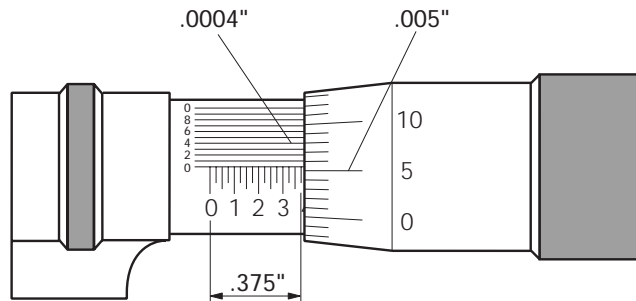
A leitura do micrômetro é:

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

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

Para medir, basta adicionar as leituras da bainha, do tambor e do nônio.

Exemplo:

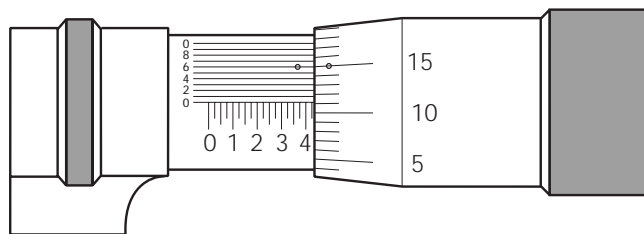


bainha → .375"
 + tambor → .005"
nônio → .0004"
 leitura total → .3804"

Verificando o entendimento

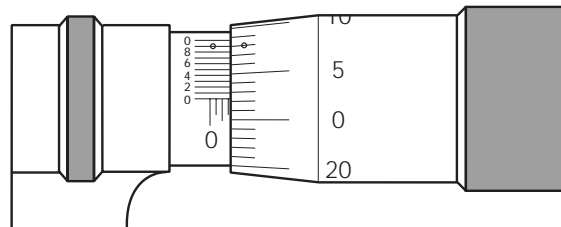
Leia as medidas e escreva-as nas linhas correspondentes.

a)



Leitura

b)



Leitura

Veja se acertou. As respostas corretas são:

- a) .4366
- b) .0779

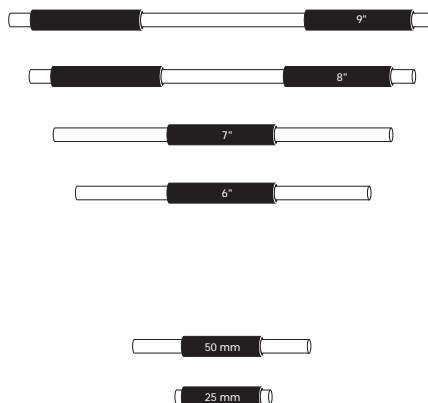
Calibração (regulagem da bainha)

Antes de iniciar a medição de uma peça, devemos calibrar o instrumento de acordo com a sua capacidade.

Para os micrômetros cuja capacidade é de 0 a 25 mm, ou de 0 a 1", precisamos tomar os seguintes cuidados:

- limpe cuidadosamente as partes móveis eliminando poeiras e sujeiras, com pano macio e limpo;
- antes do uso, limpe as faces de medição; use somente uma folha de papel macio;
- encoste suavemente as faces de medição usando apenas a catraca; em seguida, verifique a coincidência das linhas de referência da bainha com o zero do tambor; se estas não coincidirem, faça o ajuste movimentando a bainha com a chave de micrômetro, que normalmente acompanha o instrumento.

Para calibrar micrômetros de maior capacidade, ou seja, de 25 a 50 mm, de 50 a 75 mm etc. ou de 1" a 2", de 2" a 3" etc., deve-se ter o mesmo cuidado e utilizar os mesmos procedimentos para os micrômetros citados anteriormente, porém com a utilização de barra-padrão para calibração.



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.

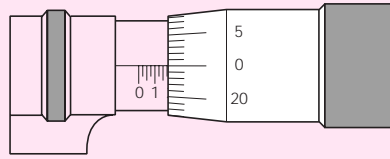
Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Exercícios

Exercício 1

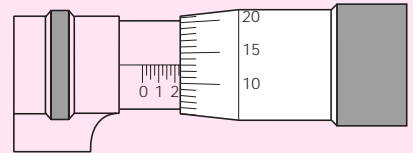
Escreva as medidas abaixo de cada ilustração.

a)



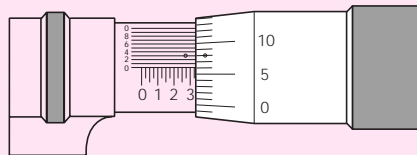
Leitura:

b)



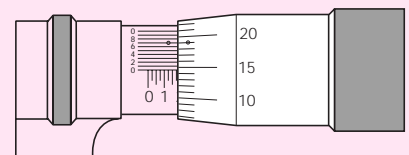
Leitura:

c)



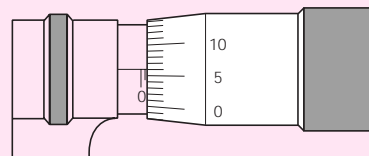
Leitura:

d)



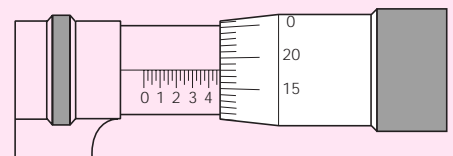
Leitura:

e)



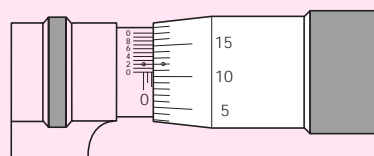
Leitura:

f)



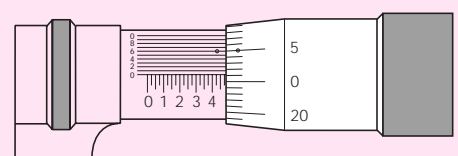
Leitura:

g)



Leitura:

h)



Leitura:

Micrômetro interno

O mecânico recém-admitido foi encarregado de fazer medições de diâmetros internos de algumas peças. Entretanto, ele não sabia como lidar com micrômetros internos. Decidiu resolver o problema consultando livros técnicos que apresentam informações sobre o assunto.

E você, sabe medir com micrômetro interno? Esse é o assunto desta aula. Você poderá conhecer ou ampliar seus conhecimentos relativos a micrômetro, tornando-se mais habilitado para trabalhar na área da mecânica.

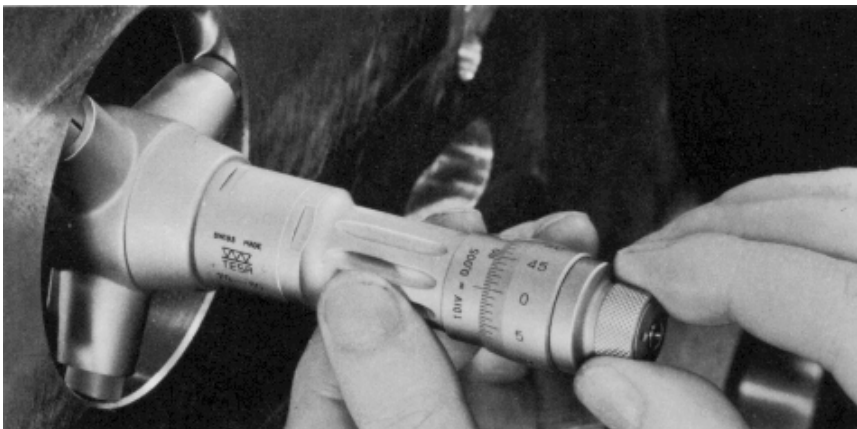
Um problema

Tipos de micrômetro 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).

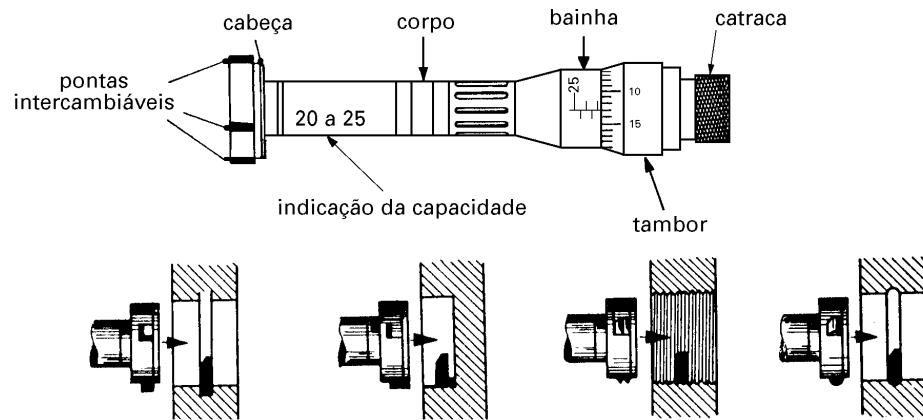
Micrômetro interno de três contatos

Este tipo de micrômetro 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° .



Micrômetro interno de três contatos com pontas intercambiáveis

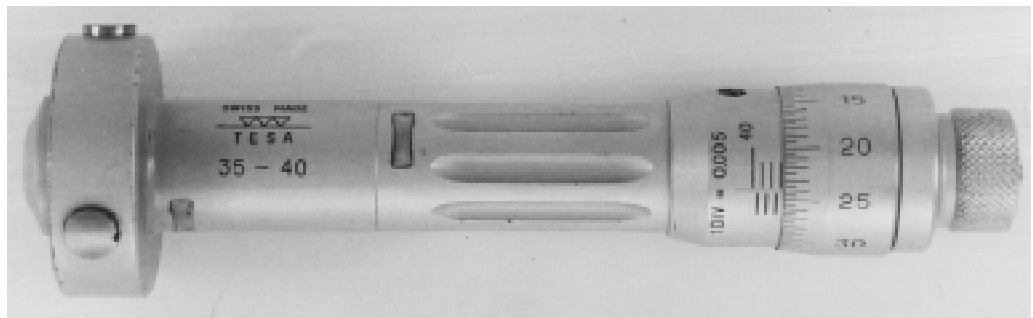
Esse micrômetro é apropriado para medir furos roscados, canais e furos sem saída, pois suas pontas de contato podem ser trocadas de acordo com a peça que será medida.



Para obter a resolução, basta dividir o passo do fuso micrométrico pelo número de divisões do tambor.

$$\text{Resolução} = \frac{\text{passo do fuso micrométrico}}{\text{número de divisões do tambor}} = 0,005 \text{ mm}$$

Sua leitura é feita no sentido contrário à do micrômetro externo.



A leitura em micrômetros internos de três contatos é realizada da seguinte maneira:

- o tambor encobre a divisão da bainha correspondente a 36,5 mm;
- a esse valor deve-se somar aquele fornecido pelo tambor: 0,240 mm;
- o valor total da medida será, portanto: 36,740 mm.

Precaução: devem-se respeitar, rigorosamente, os limites mínimo e máximo da capacidade de medição, para evitar danos irreparáveis ao instrumento.

Micrômetros internos de dois contatos

Os micrômetros internos de dois contatos são o tubular e o tipo paquímetro.

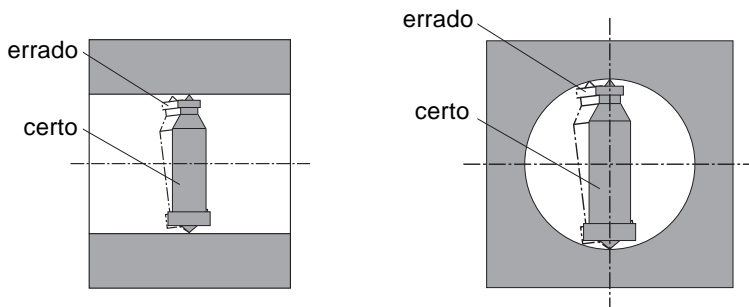
Micrômetro interno tubular

O micrômetro tubular é 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.



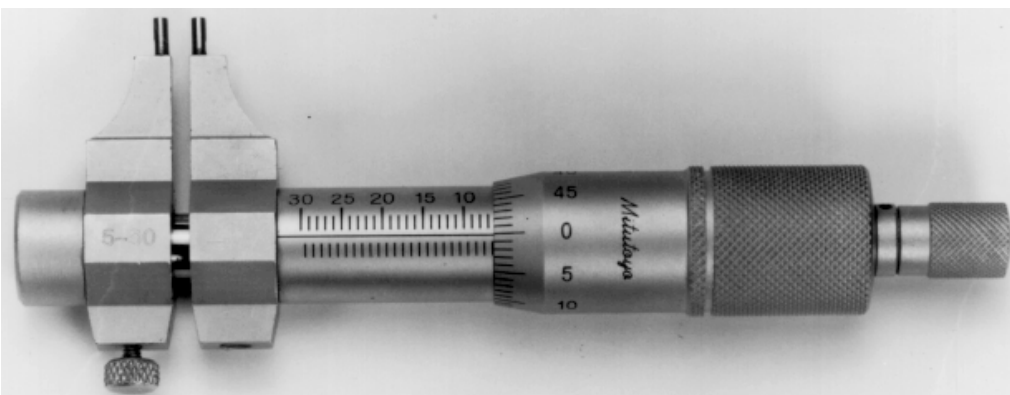
O micrômetro tubular utiliza hastes de extensão com dimensões de 25 a 2.000 mm. As hastes podem ser acopladas umas às outras. Nesse caso, há uma variação de 25 mm em relação a cada haste acoplada.

As figuras a seguir ilustram o posicionamento para a medição.



Micrômetro tipo paquímetro

Esse micrômetro serve para medidas acima de 5 mm e, a partir daí, varia de 25 em 25 mm.



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

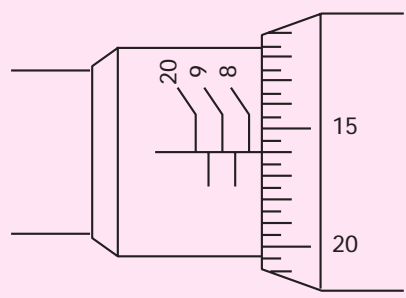
Observação: A calibração dos micrômetros internos tipo paquímetro e tubular é feita por meio de anéis de referência, dispositivos com blocos-padrão ou com micrômetro externo. Os micrômetros internos de três contatos são calibrados com anéis de referência.

Faça os exercícios de leitura a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

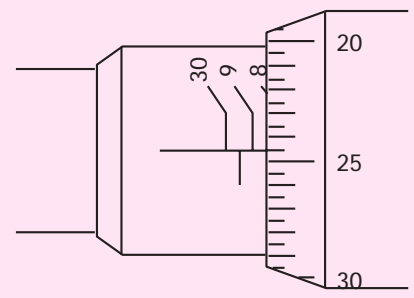
Exercícios

Exercício 1

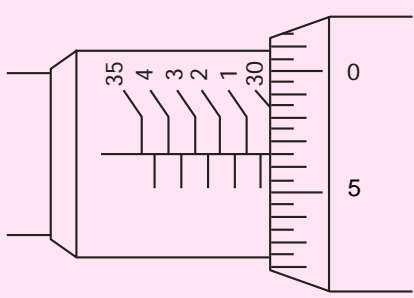
Faça a leitura e escreva a medida abaixo de cada figura.



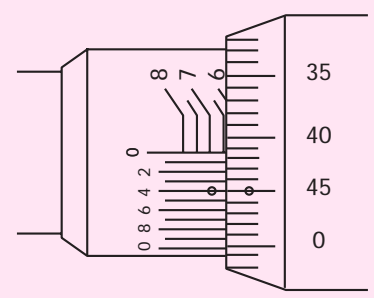
a) Leitura:



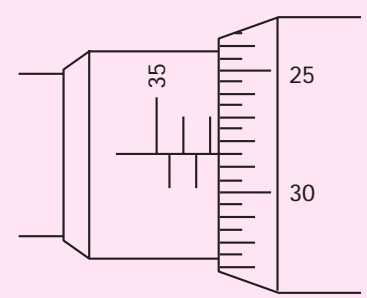
b) Leitura:



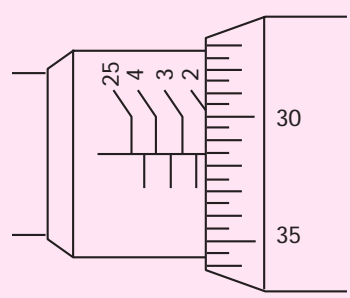
c) Leitura:



d) Leitura:



e) Leitura:



f) Leitura:

Blocos-padrão

Uma empresa admitiu três operários para o setor de ferramentaria. Os operários eram mecânicos com experiência. Mas, de Metrologia, só conheciam o paquímetro e o micrômetro. Por isso, eles foram submetidos a um treinamento.

O primeiro estudo do treinamento foi sobre blocos-padrão. Vamos, também, conhecer esses blocos mais de perto?

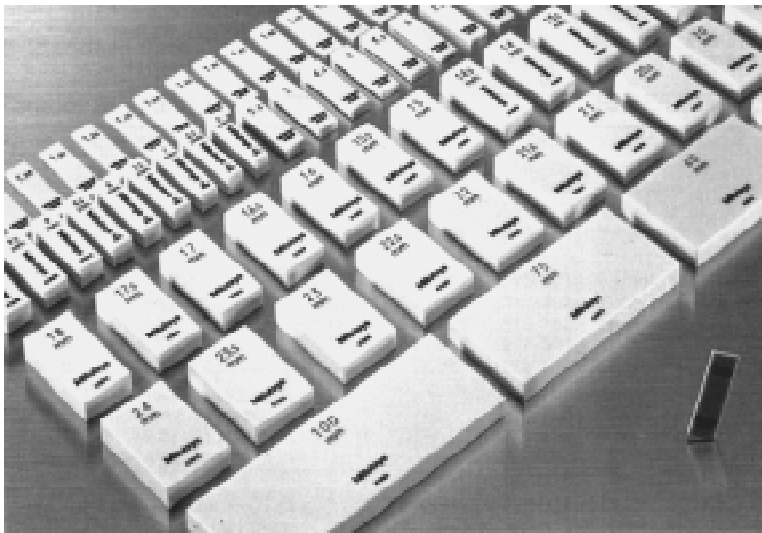
Um problema

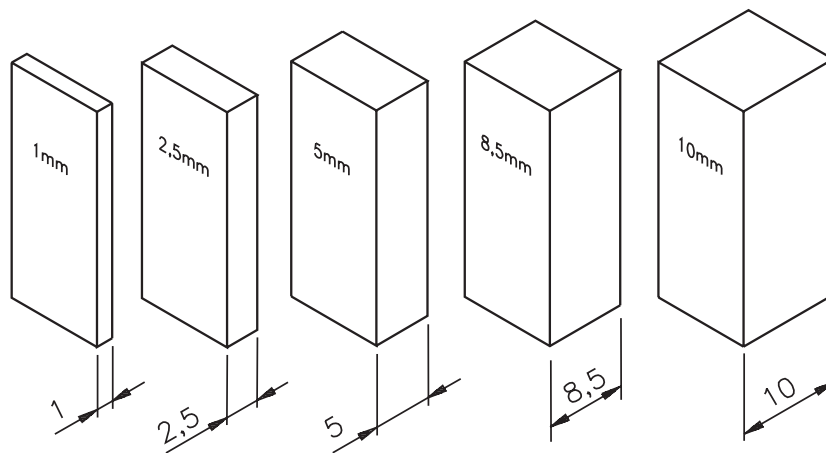
Blocos-padrão

Para realizar qualquer medida, é necessário estabelecer previamente um **padrão de referência**.

Ao longo do tempo, diversos padrões foram adotados: o pé, o braço etc. Mais tarde, no século XVIII, foi introduzido, na França, o sistema métrico.

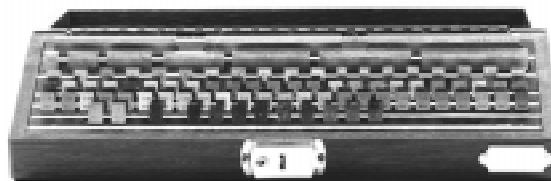
Em 1898, C. E. Johanson solicitou a patente de blocos-padrão: peças em forma de pequenos paralelepípedos, padronizados nas dimensões de 30 ou 35 mm x 9 mm, variando de espessura a partir de 0,5 mm. Atualmente, nas indústrias são encontrados blocos-padrões em milímetro e em polegada.





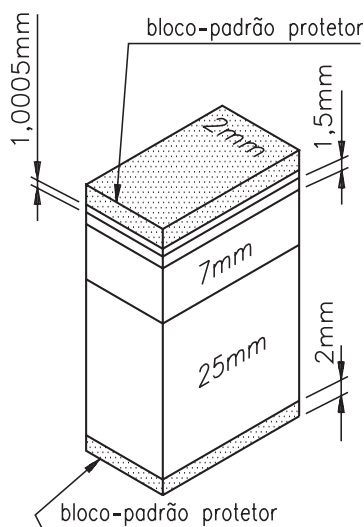
Muito utilizados como padrão de referência na indústria moderna, desde o laboratório até a oficina, são de grande utilidade nos dispositivos de medição, nas traçagens de peças e nas próprias máquinas operatrizes.

Existem jogos de blocos-padrão com diferentes quantidades de peças. Não devemos, porém, adotá-los apenas por sua quantidade de peças, mas pela variação de valores existentes em seus blocos fracionários.



As dimensões dos blocos-padrão são extremamente exatas, mas o uso constante pode interferir nessa exatidão. Por isso, são usados os blocos-protetores, mais resistentes, com a finalidade de impedir que os blocos-padrão entrem em contato direto com instrumentos ou ferramentas.

Bloco-padrão protetor



A fabricação dos protetores obedece às mesmas normas utilizadas na construção dos blocos-padrão normais. Entretanto, empregase material que permite a obtenção de maior dureza.

Geralmente são fornecidos em jogos de dois blocos, e suas espessuras normalmente são de 1, 2 ou 2,5 mm, podendo variar em situações especiais.

Os blocos protetores têm como finalidade proteger os blocos-padrão no momento de sua utilização.

Exemplo da composição de um jogo de blocos-padrão, contendo 114 peças, já incluídos dois blocos protetores:

- 2 – blocos-padrão protetores de 2,00 mm de espessura;
- 1 – bloco-padrão de 1,0005 mm;
- 9 – blocos-padrão de 1,001; 1,002; 1,003 1,009 mm;
- 49 – blocos-padrão de 1,01; 1,02; 1,03 1,49 mm;
- 49 – blocos-padrão de 0,50; 1,00; 1,50; 2,00 24,5 mm;
- 4 – blocos-padrão de 25; 50; 75 e 100 mm.

De acordo com o trabalho, os blocos-padrão são encontrados em quatro classes.

DIN./ISO/JIS	BS	FS	APLICAÇÃO
00	00	1	Para aplicação científica ou calibração de blocos-padrão.
0	0	2	Calibração de blocos-padrão destinados a operação de inspeção, e calibração de instrumentos.
1	I	3	Para inspeção e ajuste de instrumentos de medição nas áreas de inspeção.
2	II	B	Para uso em oficinas e ferramentarias.

Normas: DIN. 861
FS. (Federal Standard) GCG-G-15C
SB (British Standard) 4311
ISO 3650
JIS B-7506

Nota

É encontrado também numa classe denominada K, que é classificada entre as classes 00 e 0, porque apresenta as características de desvio dimensional dos blocos-padrão classe 0, porém com desvio de paralelismo das faces similar aos blocos-padrão da classe 00. É normalmente utilizado para a calibração de blocos-padrão nos laboratórios de referência, devido ao custo reduzido em relação ao bloco de classe 00.

Os materiais mais utilizados para a fabricação dos blocos-padrão são:

Aço

Atualmente é o mais utilizado nas indústrias. O aço é tratado termicamente para garantir a estabilidade dimensional, além de assegurar dureza acima de 800 HV.

Metal duro

São blocos geralmente fabricados em carbureto de tungstênio. Hoje, este tipo de bloco-padrão é mais utilizado como bloco protetor. A dureza deste tipo de bloco padrão situa-se acima de 1.500 HV.

Cerâmica

O material básico utilizado é o zircônio. A utilização deste material ainda é recente, e suas principais vantagens são a excepcional estabilidade dimensional e a resistência à corrosão. A dureza obtida nos blocos-padrão de cerâmica situa-se acima de 1400 HV.

Erros admissíveis

As normas internacionais estabelecem os erros dimensionais e de planeza nas superfícies dos blocos-padrão. Segue abaixo uma tabela com os erros permissíveis para os blocos-padrão (norma DIN./ISO/JIS), e orientação de como determinar o erro permissível do bloco-padrão, conforme sua dimensão e sua classe.

DIMENSÃO (mm)	EXATIDÃO A 20°C (μm)			
	CLASSE 00	CLASSE 0	CLASSE 1	CLASSE 2
até 10	± 0.06	± 0.12	± 0.20	± 0.45
10 – 25	± 0.07	± 0.14	± 0.30	± 0.60
25 – 50	± 0.10	± 0.20	± 0.40	± 0.80
50 – 75	± 0.12	± 0.25	± 0.50	± 1.00
75 – 100	± 0.14	± 0.30	± 0.60	± 1.20
100 – 150	± 0.20	± 0.40	± 0.80	± 1.60
150 – 200	± 0.25	± 0.50	± 1.00	± 2.00
200 – 250	± 0.30	± 0.60	± 1.20	± 2.40
250 – 300	± 0.35	± 0.70	± 1.40	± 2.80
300 – 400	± 0.45	± 0.90	± 1.80	± 3.60
400 – 500	± 0.50	± 1.10	± 2.20	± 4.40
500 – 600	± 0.60	± 1.30	± 2.60	± 5.00
600 – 700	± 0.70	± 1.50	± 3.00	± 6.00
700 – 800	± 0.80	± 1.70	± 3.40	± 6.50
800 – 900	± 0.90	± 1.90	± 3.80	± 7.50
900 – 1000	± 1.00	± 2.00	± 4.20	± 8.00

DIN./ISO/JIS

Exemplo: Para saber a tolerância de um bloco padrão de 30 mm na classe 0 (DIN), basta descer a coluna **Dimensão**, localizar a faixa em que se situa o bloco-padrão (no caso 30 mm), e seguir horizontalmente a linha até encontrar a coluna correspondente à classe desejada (classe 0).

DIMENSÃO	CLASSE 00	CLASSE 0	CLASSE 1	CLASSE 2
Até 10 mm ↓				
10 a 25 mm ↓				
25 a 50 mm →	→ →	±0,20		
50 a 75 mm				

No caso do exemplo, um bloco-padrão de 30 mm na classe 0 pode apresentar desvio de até ±0,20 μm.

Técnica de empilhamento

Os blocos deverão ser, inicialmente, limpos com algodão embebido em benzina ou em algum tipo de solvente.

Depois, retira-se toda impureza e umidade, com um pedaço de camurça, papel ou algo similar, que não solte fiapos.

Os blocos são colocados de forma cruzada, um sobre o outro. Isso deve ser feito de modo que as superfícies fiquem em contato.



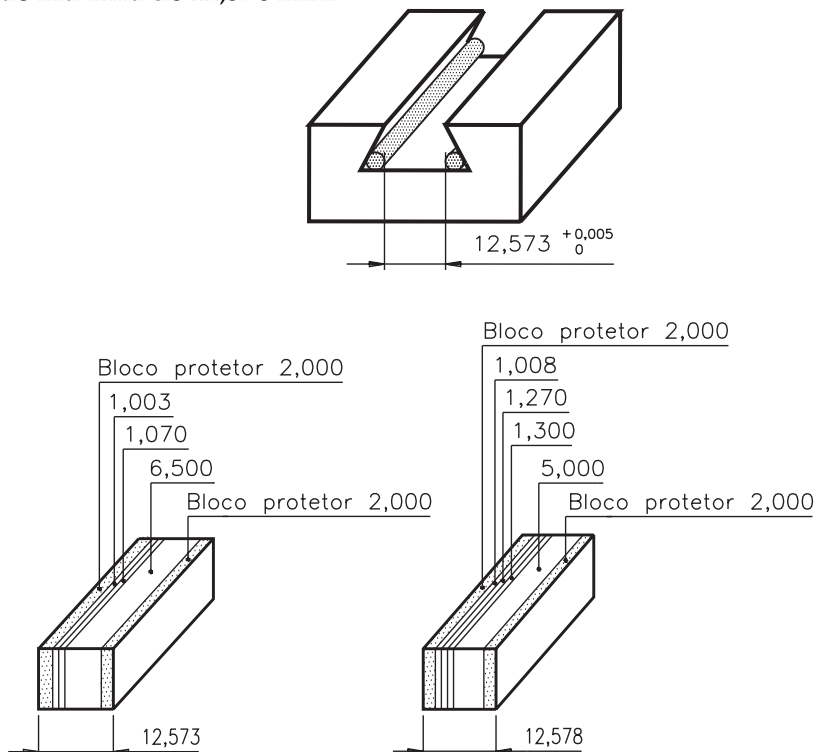
Em seguida, devem ser girados lentamente, exercendo-se uma pressão moderada até que suas faces fiquem alinhadas e haja perfeita aderência, de modo a expulsar a lâmina de ar que as separa. A aderência assim obtida parece ser consequência do fenômeno físico conhecido como **atração molecular** (com valor de aproximadamente $500\text{N}/\text{cm}^2$), e que produz a aderência de dois corpos metálicos que tenham superfície de contato finamente polidas.



Para a montagem dos demais blocos, procede-se da mesma forma, até atingir a medida desejada. Em geral, são feitas duas montagens para se estabelecer os limites máximo e mínimo da dimensão que se deseja calibrar, ou de acordo com a qualidade prevista para o trabalho (IT).

Exemplo:

Os blocos-padrão podem ser usados para verificar um rasgo em forma de rabo de andorinha com roletes, no valor de $12,573 + 0,005$. Devemos fazer duas montagens de blocos-padrão, uma na dimensão mínima de $12,573$ mm e outra na dimensão máxima de $12,578$ mm.



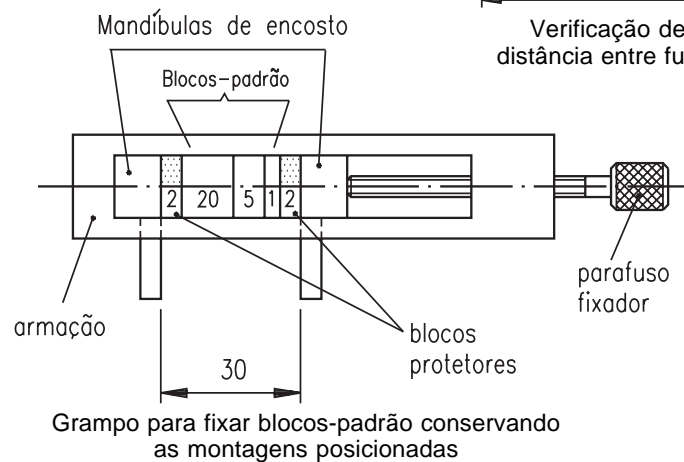
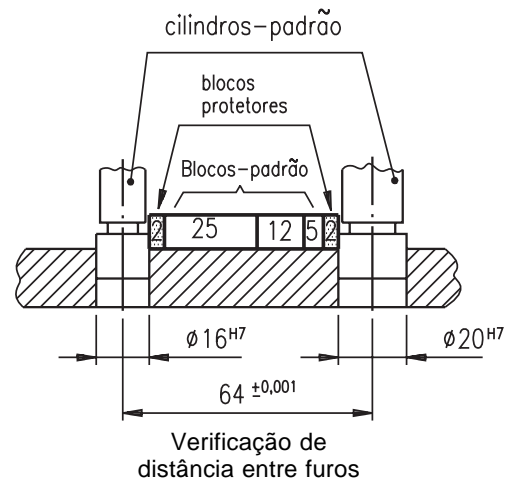
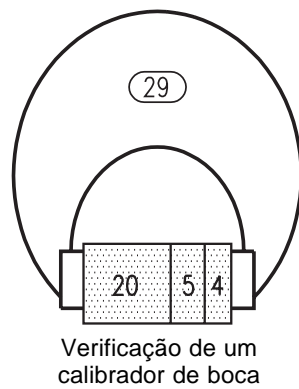
Faz-se a combinação por blocos de forma regressiva, procurando utilizar o menor número possível de blocos. A técnica consiste em eliminar as últimas casas decimais, subtraindo da dimensão a medida dos blocos existentes no jogo.

Exemplo:

DIMENSÃO MÁXIMA		DIMENSÃO MÍNIMA	
12,578		12,573	
DIM	12,578	DIM	12,573
BLOCO	- 4,000 → 2 blocos protetores	BLOCO	- 4,000 → 2 blocos protetores
DIM	8,578	DIM	8,573
BLOCO	- 1,008 → 1	BLOCO	- 1,003 → 1
DIM	7,570	DIM	7,570
BLOCO	- 1,270 → 1	BLOCO	- 1,070 → 1
DIM	6,300	DIM	6,500
BLOCO	- 1,300 → 1	BLOCO	- 6,500 → 1
DIM	5,000		0 5 blocos
BLOCO	- 5,000 → 1		
	0 6 blocos		

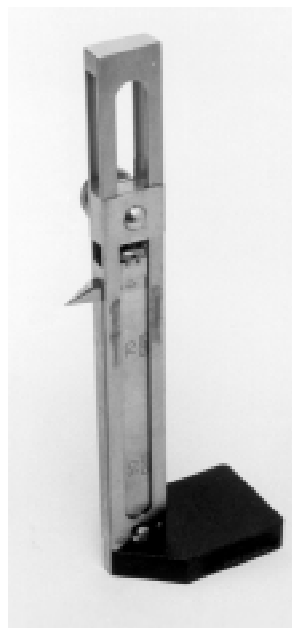
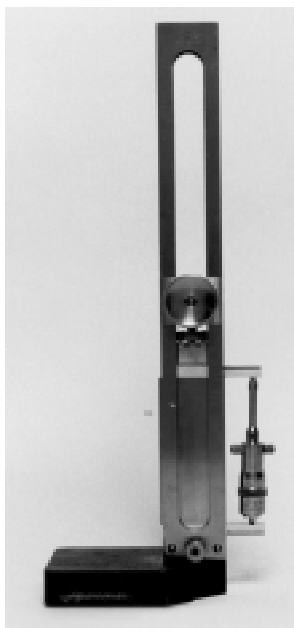
Blocos e acessórios

Há acessórios de diversos formatos que, juntamente com os blocos-padrão, permitem que se façam vários tipos de controle.



Observação: No jogo consta um só padrão de cada medida, não podendo haver repetição de blocos.

Existe um suporte, acoplado a uma base, que serve para calibrar o micrômetro interno de dois contatos.



Nele, pode-se montar uma ponta para traçar, com exatidão, linhas paralelas à base.

Geralmente, os acessórios são fornecidos em jogos acondicionados em estojos protetores.

Conservação

- Evitar a oxidação pela umidade, marcas dos dedos ou aquecimento utilizando luvas sempre que possível.
- Evitar quedas de objetos sobre os blocos e não deixá-los cair.
- Limpar os blocos após sua utilização com benzina pura, enxugando-os com camurça ou pano. Antes de guardá-los, é necessário passar uma leve camada de vaselina (os blocos de cerâmica não devem ser lubrificados).
- Evitar contato dos blocos-padrão com desempenho, sem o uso dos blocos protetores.

Teste sua aprendizagem, fazendo os exercícios a seguir. Confira suas respostas com as do gabarito.

Exercícios

Marque V para as questões verdadeiras e F para as falsas.

Exercício 1

- a) () Para fazer uma medida é necessário estabelecer um padrão de referência.
- b) () Na mecânica, o pé, o braço, o palmo são utilizados como padrão de referência.
- c) () Os blocos-padrão são padronizados nas dimensões de 30 ou 35mm x 9mm, variando somente a espessura.
- d) () As dimensões dos blocos-padrão são encontrados somente em mm.
- e) () Os blocos-padrão são usados somente em laboratórios.
- f) () Os blocos-padrão protetores são mais resistentes, mas não seguem as normas de tolerância dos blocos-padrão comum.
- g) () A espessura dos blocos-padrão protetores são, normalmente, 1, 2 ou 2,5 mm.
- h) () Os blocos-padrão são distribuídos em quatro classes.
- i) () Os blocos-padrão utilizados em laboratório são os de classe OO.
- j) () Os blocos-padrão são constituídos em aço, carboneto de tungstênio, e cerâmica.
- l) () Em geral são feitas duas montagens de blocos-padrão: uma na cota máxima e outra na cota mínima.
- m) () Faz-se a combinação de blocos-padrão de forma progressiva, utilizando o maior número possível de blocos.
- n) () Os acessórios diversificam a utilização dos blocos-padrão.
- o) () Os blocos não se oxidam devido ao acabamento lapidado.

Marque com X a resposta correta.

Exercício 2

Dois corpos metálicos com superfície de contato lapidadas podem apresentar aderência devido a:

- a) () atração magnética
- b) () ausência de impureza e umidade
- c) () atração molecular
- d) () pressão demasiada

Exercício 3

Monte blocos-padrão em mm para comparar as dimensões abaixo. Use o menor número possível de blocos. A espessura do bloco protetor é 2.000mm.

- a) 14,578 ± 0,001
- b) 23,245 $\begin{matrix} + 0,005 \\ 0 \end{matrix}$
- c) 23,245 $\begin{matrix} + 0,002 \\ - 0,003 \end{matrix}$
- d) 23.282 ± 0,001
- e) 102,323 ± 0,005

Calibrador

Um problema

Seguindo as diretrizes da empresa para implantar um programa de qualidade e produtividade, um dos funcionários alertou o supervisor sobre a perda de tempo em medir um grande lote de peças semelhantes com paquímetro e micrômetro (medição direta).

Diante dessa situação, o supervisor sentiu a necessidade de treinar e conscientizar seu pessoal sobre as vantagens da medição indireta, utilizando-se calibradores. Vamos acompanhar as explicações.

Medição indireta

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

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.

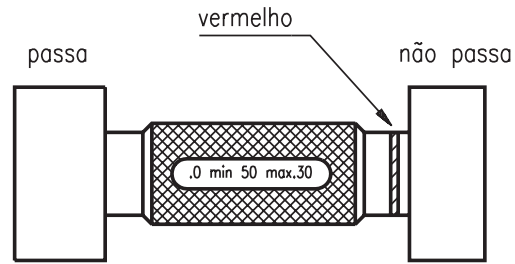
Tipos de calibrador

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.

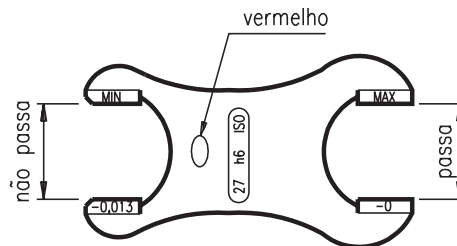
O lado não-passa tem uma marca vermelha. Esse tipo de calibrador é normalmente utilizado em furos e ranhuras de até 100 mm.



calibrador tampão de tolerância
(passa/não-passa) 50 H7 ISO

Calibrador de boca

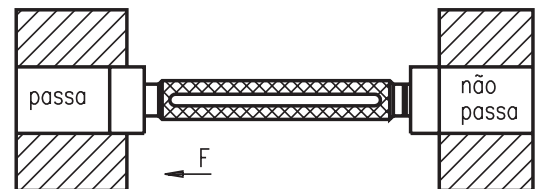
Esse calibrador tem duas bocas para controle: uma passa, com a medida máxima, e a outra não-passa, com a medida mínima.



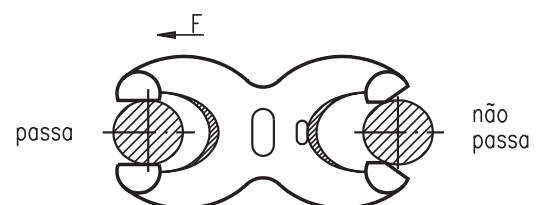
calibrador de boca 27 h6 ISO

O lado não-passa tem chanfros e uma marca vermelha. É normalmente utilizado para eixos e materiais planos de até 100 mm.

O calibrador deve entrar no furo ou passar sobre o eixo por seu próprio peso, sem pressão.



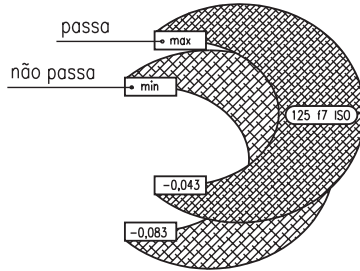
força de medição $F =$ peso do próprio calibrador



Calibrador de boca separada

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

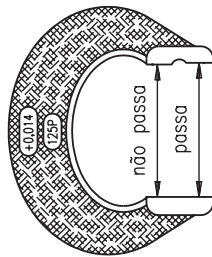
Os calibradores de bocas separadas são usados para dimensões compreendidas entre 100 mm e 500 mm.



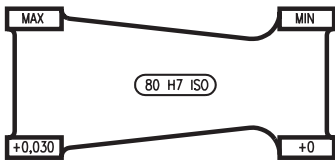
Calibrador de boca escalonada

Para verificações com maior rapidez, foram projetados calibradores de bocas escalonadas ou de bocas progressivas.

O eixo deve passar no diâmetro máximo ($D_{m\acute{a}x.}$) e não passar no diâmetro mínimo ($D_{m\acute{i}n.}$). Sua utilização compreende dimensões de até 500 mm.

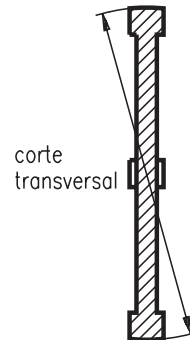
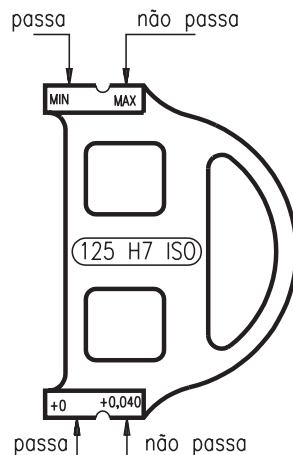


Calibrador chato

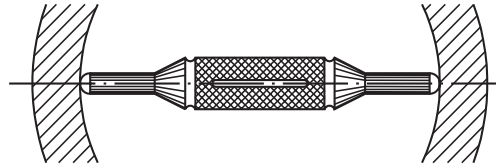


Para dimensões internas, na faixa de 80 a 260 mm, tendo em vista a redução de seu peso, usa-se o calibrador chato ou calibrador de contato parcial.

Para dimensões internas entre 100 e 260 mm, usa-se o calibrador escalonado representado ao lado.



Para dimensões acima de 260 mm, usa-se o calibrador tipo vareta, que são hastes metálicas com as pontas em forma de calota esférica.

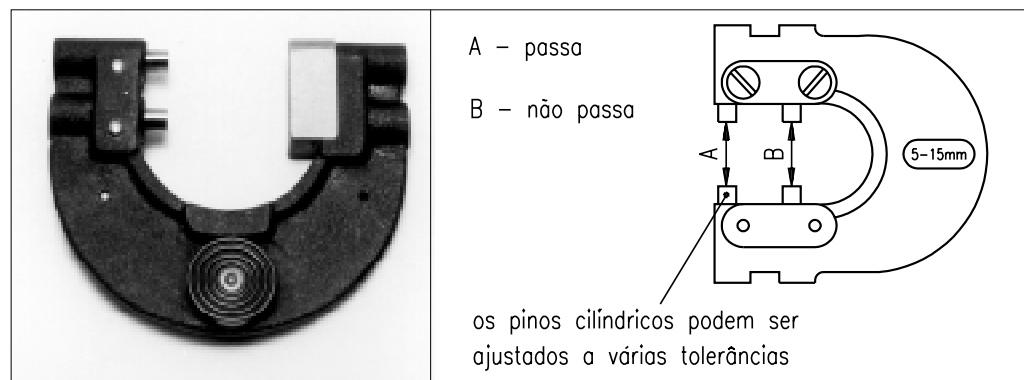


Calibrador de bocas ajustável

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

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.

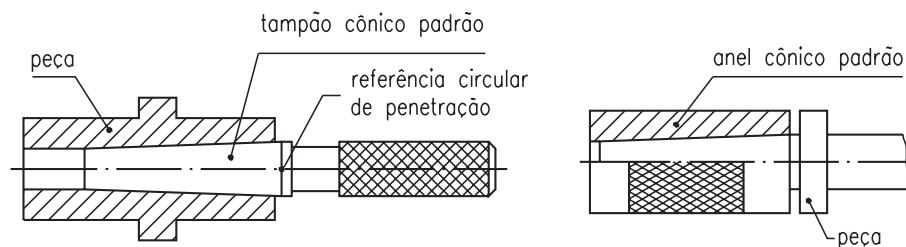


Esse calibrador normalmente é ajustado com auxílio de blocos-padrão.

Calibrador tampão e anéis cônicos

As duas peças de um conjunto cônico podem ser verificadas por meio de um calibrador tampão cônico e de um anel cônico.

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 calibração de pequenas inclinações.



verificação de uma extremidade de árvore

Calibrador cônico morse

O calibrador cônico morse possibilita ajustes com aperto enérgico entre peças que serão montadas ou desmontadas com frequência. Sua conicidade é padronizada, podendo ser macho ou fêmea.

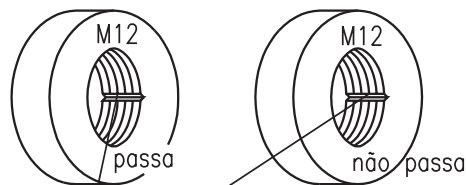


Calibrador de rosca

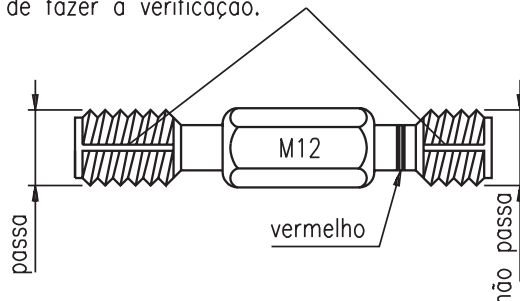
Um processo usual e rápido de verificar roscas consiste no uso dos calibradores de rosca. São peças de aço, temperadas e retificadas, obedecendo a dimensões e condições de execução para cada tipo de rosca. O calibrador de rosca da figura a seguir é um tipo usual de calibrador de anel, composto por dois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

O outro calibrador da figura 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.



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



Calibrador regulável de rosca

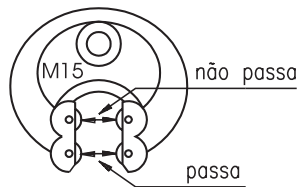
O calibrador de boca de roletes é geralmente de boca progressiva, o que torna a operação muito rápida, não só porque é desnecessário virar o calibrador, como porque o calibrador não se aparafusa à peça.

O calibrador em forma de ferradura pode ter quatro roletes cilíndricos ou quatro segmentos de cilindro.

Os roletes cilíndricos podem ter rosca ou sulcos circulares, cujo perfil e passo são iguais aos do parafuso que se vai verificar.

As vantagens sobre o calibrador de anéis são: verificação mais rápida; desgaste menor, pois os roletes giram; regulagem exata; uso de um só calibrador para vários diâmetros.

São ajustados às dimensões máxima e mínima do diâmetro médio dos flancos.



Conservação

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

Teste sua aprendizagem, fazendo os exercícios a seguir. Confira suas respostas com as do gabarito.

Marque com X a resposta correta.

Exercícios

Exercício 1

Medição indireta é feita com:

- a) () paquímetro;
- b) () micrômetro;
- c) () calibradores;
- d) () escala.

Exercício 2

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

- a) () passar o diâmetro menor e não passar o diâmetro maior;
- b) () não passar o diâmetro menor;
- c) () não passar os dois diâmetros;
- d) () passar os dois diâmetros.

Exercício 3

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

- a) () passar na boca menor e não passar na boca maior;
- b) () passar na boca maior e não passar a boca menor;
- c) () passar na boca maior e na boca menor;
- d) () 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:

- a) () de boca ajustável e regulável;
- b) () tampão e regulável;
- c) () de boca escalonada e chata;
- d) () tampão e chato.

Exercício 5

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

- a) () calibrador tampão;
- b) () calibrador chato;
- c) () calibrador cônico morse;
- d) () calibrador de varetas.

Verificadores

Um problema

O supervisor treinou o pessoal para medição indireta com calibradores. Falta treiná-lo no uso de **verificadores**.

Os verificadores também são usados para medição indireta. Nesta aula, são estudados os seguintes verificadores: régua de controle, esquadro de precisão, gabarito, escantilhão e fieiras.

Régua de controle

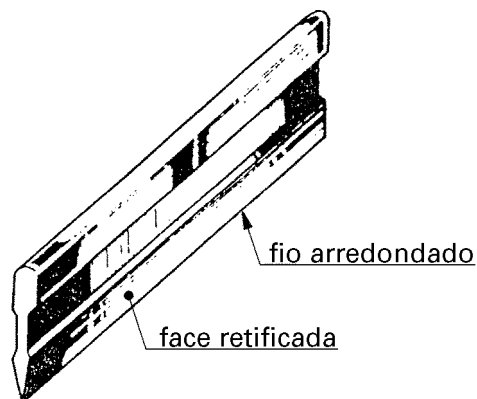
Réguas de controle são instrumentos para a verificação de superfícies planas, construídas de aço, ferro fundido ou de granito. Apresentam diversas formas e tamanhos, e classificam-se em dois grupos:

- réguas de fios retificados;
- réguas de faces lapidadas, retificadas ou rasqueteadas.

Réguas de fio retificado (biselada)

Construída de aço-carbono, em forma de faca (biselada), temperada e retificada, com o fio ligeiramente arredondado.

É utilizada na verificação de superfícies planas.

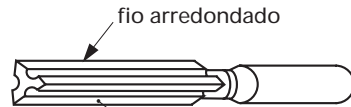


Régua biselada

Para verificar a planicidade de uma superfície, coloca-se a régua com o fio retificado em contato suave sobre essa superfície, verificando se há passagem de luz. Repete-se essa operação em diversas posições.

Régua triangular – Construída de aço-carbono, em forma de triângulo, com canais côncavos no centro e em todo o comprimento de cada face temperada, retificada e com fios arredondados.

É utilizada na verificação de superfícies planas, onde não se pode utilizar a biselada.



Réguas de faces retificadas ou rasqueteadas

Existem três tipos de régua com faces retificadas ou rasqueteadas:

- de superfície plana;
- paralela plana;
- triangular plana.

Régua de superfície plana – Confeccionada de ferro fundido, é usada para determinar as partes altas de superfícies planas que vão ser rasqueteadas. É o caso, por exemplo, das superfícies de barramento de torno.



Régua paralela plana – Confeccionada de granito negro, é utilizada na verificação do alinhamento ou retilineidade de máquinas ou dispositivos. Possui duas faces lapidadas.

Régua triangular plana – Feita de ferro fundido, é utilizada para verificar a planeza de duas superfícies em ângulo agudo ou o empenamento do bloco do motor. Pode ter ângulo de 45° ou de 60° .



Uso da régua de controle de faces retificadas ou rasqueteadas

Coloca-se uma substância sobre a face que entrará em contato com a superfície. No caso de peças de ferro fundido, usa-se uma camada de zarcão ou azul da prússia. Para peças de aço, utiliza-se negro de fumo. Ao deslizá-la em vários sentidos, sem pressioná-la, a tinta indicará os pontos altos da superfície.

Dimensões

Sempre que for possível, a régua deve ter um comprimento maior que o da superfície que será verificada.

As dimensões das réguas encontradas no comércio estão indicadas nos catálogos dos fabricantes.

Condições de uso

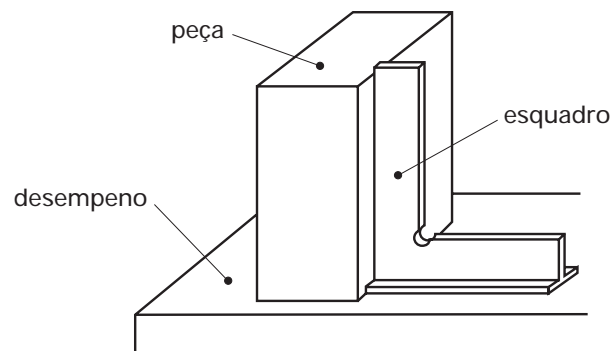
Verifique se as arestas ou faces de controle estão em perfeitas condições, antes de usar as régua.

Conservação

- Não pressionar nem atritar a régua de fios retificados contra a superfície.
- Evitar choques.
- Não manter a régua de controle em contato com outros instrumentos.
- Após o uso, limpá-la e lubrificá-la adequadamente (a régua de granito não deve ser lubrificada).
- Guardar a régua de controle em estojo.
- Em caso de oxidação (ferrugem) nas superfícies da régua de aço ou ferro fundido, limpá-las com pedra-pomes e óleo. Não usar lixa.

Esquadro de precisão

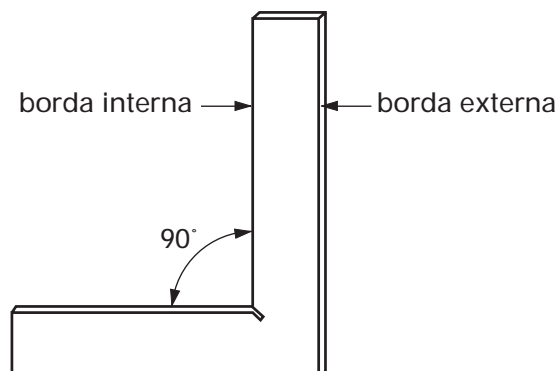
É um instrumento em forma de ângulo reto, construído de aço, ou granito. Usa-se para verificação de superfícies em ângulo de 90°.



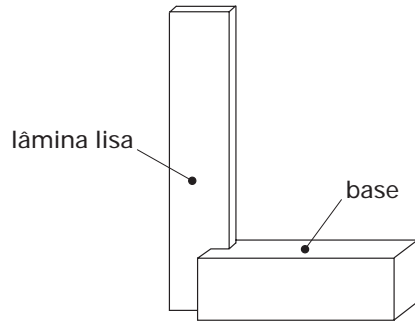
Os esquadros são classificados quanto à forma e ao tamanho.

Forma

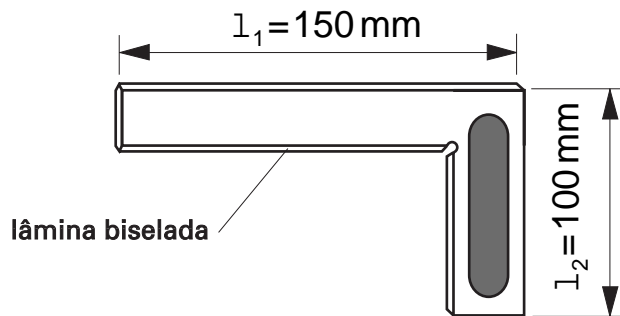
Esquadro simples ou plano de uma só peça.



Esquadro de base com lâmina lisa, utilizado também para traçar.



Esquadro com lâmina biselada, utilizado para se obter melhor visualização, em virtude da pequena superfície de contato.



Tamanho

Os tamanhos são dados pelo comprimento da lâmina e da base: l_1 e l_2 .
Exemplo: esquadro de 150 x 100 mm (ver figura anterior).

$l_1 \pm 1$	50	75	100	150	200	250	300	500	750	1000	1500
$l_2 \pm 1$	40	50	70	100	130	165	200	330	500	660	1000

Conservação

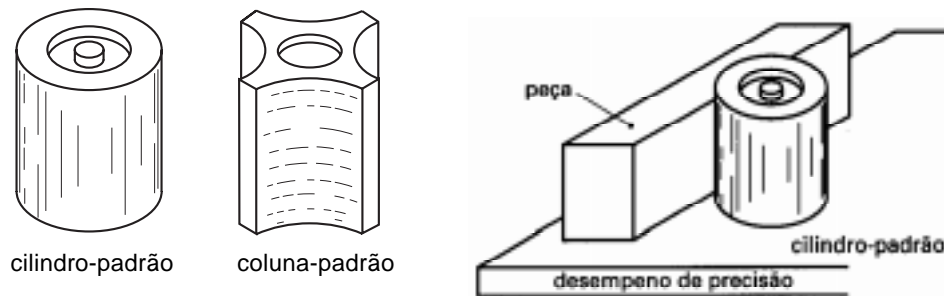
- Manter os esquadros livres de batidas.
- Conservá-los sem rebarbas, limpos.
- Lubrificá-los e guardá-los em lugar onde não haja atrito com outras ferramentas (o esquadro de granito não deve ser lubrificado).

Cilindro-padrão e coluna-padrão

É um esquadro de forma cilíndrica, fabricado de aço-carbono temperado e retificado.

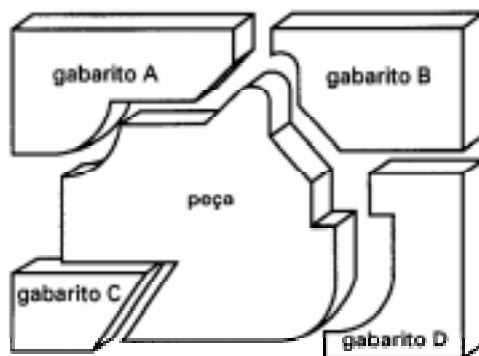
Usa-se para verificação de superfícies em ângulo de 90°, quando a face de referência é suficientemente ampla para oferecer bom apoio.

O cilindro-padrão tem sua base rigorosamente perpendicular a qualquer geratriz da sua superfície cilíndrica. Também a coluna-padrão possui as duas bases rigorosamente perpendiculares a qualquer dos quatro planos estreitos talhados nas suas arestas longitudinais e cuidadosamente retificados. A figura abaixo à direita indica o modo de se fazer a verificação.



Gabaritos

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.



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.

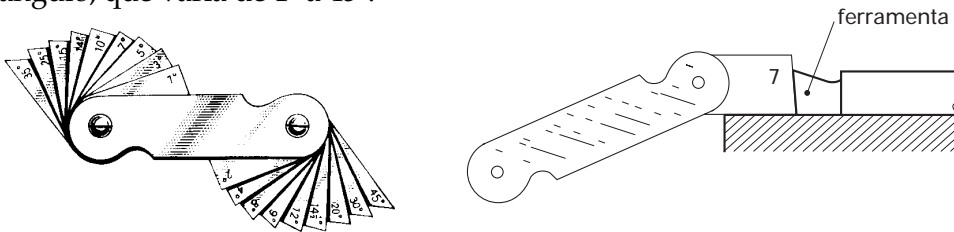
Verificador de raio

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 $\frac{1}{2}$.



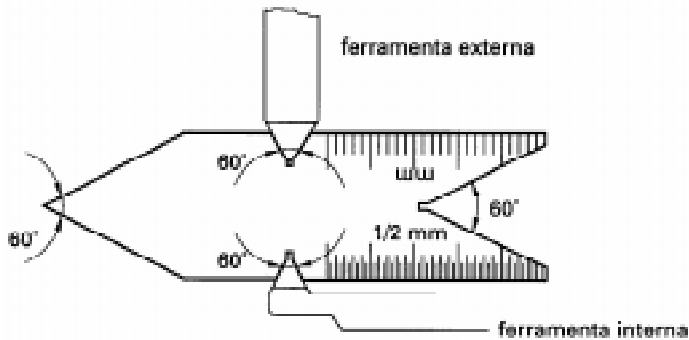
Verificador de ângulos

Usa-se para verificar superfícies em ângulos. Em cada lâmina vem gravado o ângulo, que varia de 1° a 45° .



Escantilhões para roscas métrica e whitworth

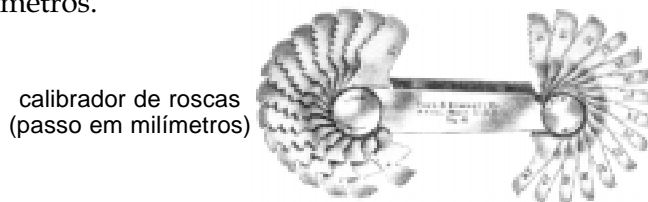
Servem para verificar e posicionar ferramentas para roscar em torno mecânico.



Verificador de rosca

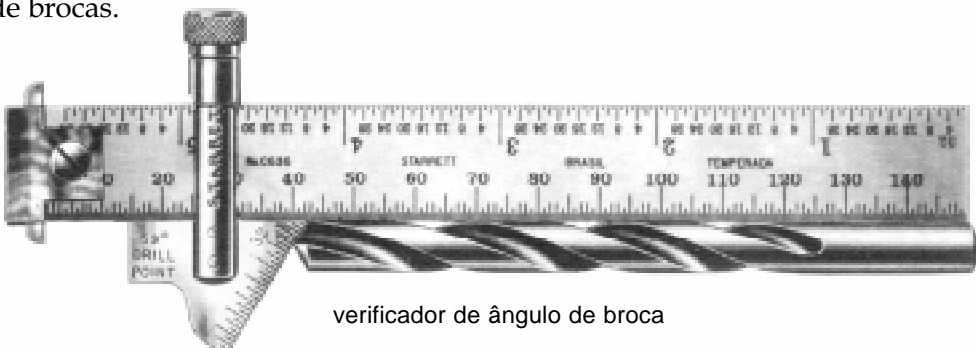
Usa-se para verificar roscas em todos os sistemas.

Em suas lâminas está gravado o número de fios por polegada ou o passo da rosca em milímetros.



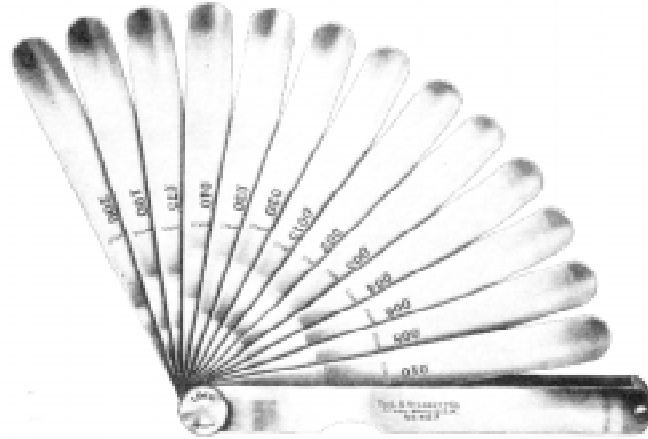
Verificador de ângulo de broca

Serve para a verificação do ângulo de 59° e para a medição da aresta de corte de brocas.



Verificador de folga

O verificador de folga 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.



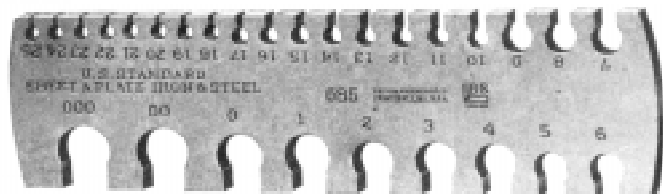
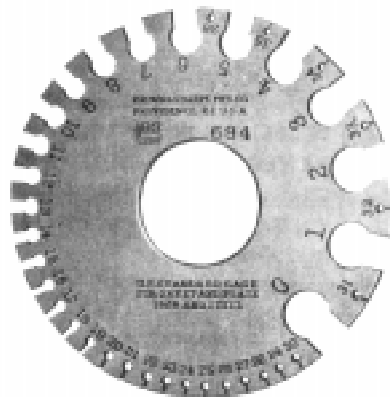
De modo geral, os verificadores de folga se apresentam em forma de canivete.

Em ferramentaria, entretanto, utilizam-se calibradores de folga em rolos.

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

Fieira

A fieira, ou verificador de chapas e fios, destina-se à verificação de espessuras e diâmetros.



Os dois modelos acima 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.

No Brasil, adotam-se as fieiras mais comumente usadas nos Estados Unidos e na Inglaterra. A comparação de uma medida com outra é feita por meio de tabelas apropriadas.

Essas tabelas, em geral, compreendem números de fieiras de seis zeros (000000) até fieira 50. A tabela a seguir compara, com as medidas americanas e inglesas, os números de fieiras de 10 a 30. Essa comparação é feita em milímetros.

Nº da fieira	FIEIRAS AMERICANAS			FIEIRAS INGLESAS			FIEIRA
	W&M (mm)	USG (mm)	AWG/B&S (mm)	BWG (mm)	BG (mm)	SWG (mm)	MSG (mm)
10	3,429	3,571	2,588	3,404	3,175	3,251	3,42
11	3,061	3,175	2,304	3,048	2,827	2,946	3,04
12	2,680	2,779	2,052	2,769	2,517	2,642	2,66
13	2,324	2,380	1,829	2,413	2,240	2,337	2,28
14	2,032	1,984	1,628	2,108	1,994	2,032	1,90
15	1,829	1,786	1,450	1,829	1,775	1,829	1,71
16	1,588	1,588	1,290	1,651	1,588	1,626	1,52
17	1,372	1,429	1,148	1,473	1,412	1,422	1,37
18	1,207	1,270	1,024	1,245	1,257	1,219	1,21
19	1,041	1,111	0,912	1,067	1,118	1,016	1,06
20	0,884	0,953	0,813	0,889	0,996	0,914	0,91
21	0,805	0,873	0,724	0,813	0,886	0,813	0,84
22	0,726	0,794	0,643	0,711	0,794	0,7511	0,76
23	0,655	0,714	0,574	0,635	0,707	0,610	0,68
24	0,584	0,635	0,511	0,559	0,629	0,559	0,61
25	0,518	0,555	0,455	0,508	0,560	0,508	0,53
26	0,460	0,476	0,404	0,457	0,498	0,457	0,46
27	0,439	0,436	0,361	0,406	0,443	0,417	0,42
28	0,411	0,397	0,320	0,356	0,396	0,378	0,38
29	0,381	0,357	0,287	0,330	0,353	0,345	0,34
30	0,356	0,318	0,254	0,305	0,312	0,315	0,31

Observação: Existe norma brasileira para fios, estabelecendo suas bitolas pela medida da seção em milímetros quadrados.

No Brasil, usa-se o sistema milimétrico para especificar fios. A tabela seguinte compara esse sistema com os AWG e MCM.

Série métrica (mm)	AWG / MCM
1000	2000
800	1750
630	1500
500	1250
400	1000
	900
	800
300	750
	700
	600
240	500
	400
185	350
150	300
120	250
95	4/0
70	3/0
50	2/0
35	1/0
25	1
16	2
10	4
6	6
4	8
2,5	10
1,5	12
1	14
0,75	16
0,5	18
	20

(escala logarítmica)

Conservação

- Evitar choques ou batidas nas faces de contato dos gabaritos, o que pode danificá-los irremediavelmente.
- Após o uso, limpá-los e guardá-los em local apropriado.

Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Marque com X a resposta correta.

Exercício 1

As réguas de controle destinam-se à verificação de superfície:

- a) plana-padrão;
- b) plana;
- c) perpendicular;
- d) circular;

Exercício 2

O esquadro é utilizado para verificar superfícies em ângulos:

- a) menor que 90° ;
- b) maior que 90° ;
- c) igual a 90° ;
- d) igual a 100° .

Exercício 3

Os calibradores escantilhão, ângulo de 59° e folga servem, 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;

Exercícios

Relógio comparador

Um problema

Como vocês podem perceber, o programa de qualidade da empresa envolve todo o pessoal. Na busca constante de melhoria, são necessários instrumentos de controle mais sofisticados e de grande versatilidade. Vamos ver, nesta aula, as explicações sobre um destes instrumentos: o relógio comparador.

Introdução

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**.

$$\text{Dimensão da peça} = \text{Dimensão do padrão} \pm \text{diferença}$$

Também se pode tomar como padrão uma peça original, de dimensões conhecidas, que é utilizada como referência.

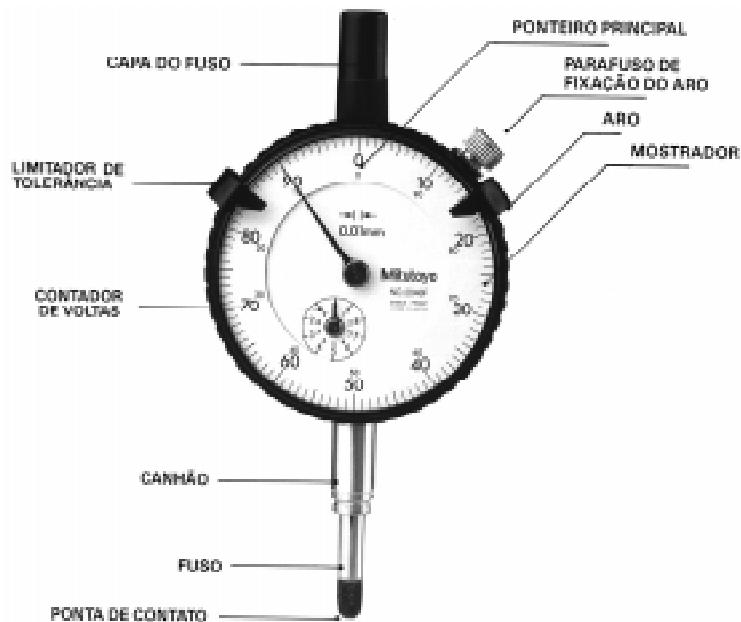
O relógio comparador

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 o 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".



Em alguns modelos, a escala dos relógios se apresenta perpendicularmente em relação a ponta de contato (vertical). E, caso apresentem um curso que implique mais de uma volta, os relógios comparadores possuem, além do ponteiro normal, outro menor, denominado contador de voltas do ponteiro principal.

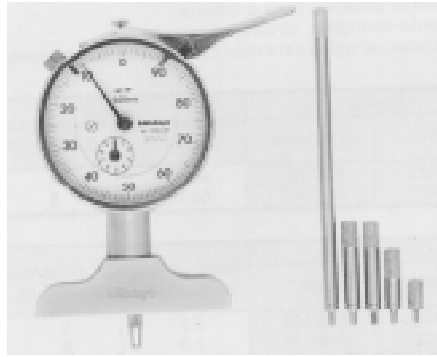


relógio vertical

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.



medidores de profundidade

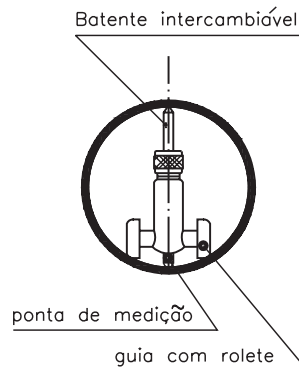


medidores de espessura

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.

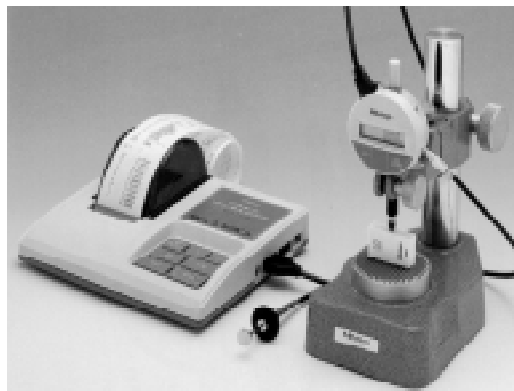
Consiste basicamente num mecanismo que transforma o deslocamento radial de uma ponta de contato em movimento axial transmitido a um relógio comparador, no qual pode-se obter a leitura da dimensão. O instrumento deve ser previamente calibrado em relação a uma medida padrão de referência.

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



Relógio comparador eletrônico

Este relógio possibilita uma leitura rápida, indicando instantaneamente a medida no display em milímetros, com conversão para polegada, zeragem em qualquer ponto e com saída para miniprocessadores estatísticos.



A aplicação é semelhante à de um relógio comparador comum, além das vantagens apresentadas acima.

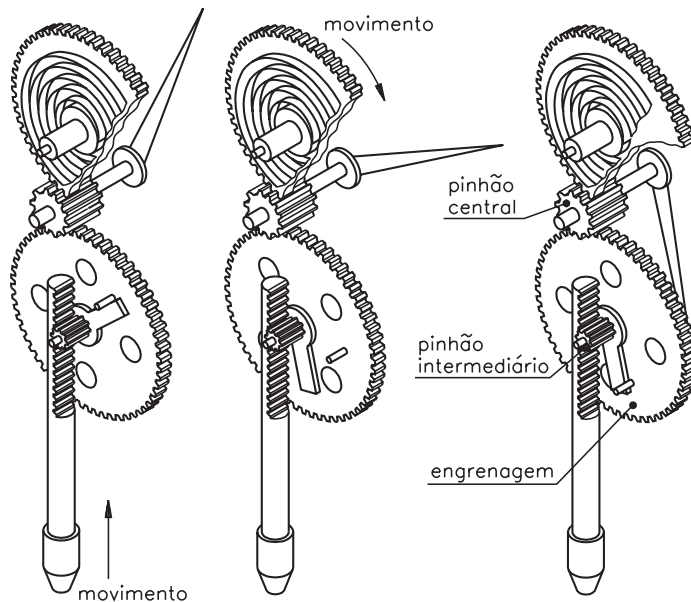
Os sistemas usados nos mecanismos de amplificação são por engrenagem, por alavanca e mista.

- **Amplificação por engrenagem**

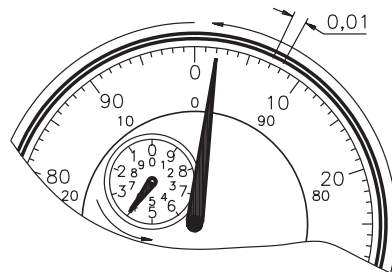
Os instrumentos mais comuns para medição por comparação possuem sistema de amplificação por engrenagens.

As diferenças de grandeza que acionam o ponto de contato são amplificadas mecanicamente.

A ponta de contato move o fuso que possui uma cremalheira, que aciona um trem de engrenagens que, por sua vez, aciona um ponteiro indicador no mostrador.



Nos comparadores mais utilizados, uma volta completa do ponteiro corresponde a um deslocamento de 1 mm da ponta de contato. Como o mostrador contém 100 divisões, cada divisão equivale a 0,01 mm.



- **Amplificação por alavanca**

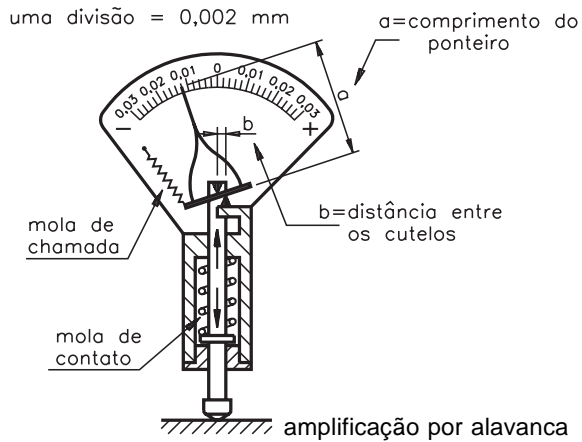
O princípio da alavanca aplica-se a aparelhos simples, chamados indicadores com alavancas, cuja capacidade de medição é limitada pela pequena amplitude do sistema basculante.

Assim, temos:

$$\text{relação de amplificação} = \frac{\text{comprimento do ponteiro (a)}}{\text{distância entre os cutelos (b)}}$$

Durante a medição, a haste que suporta o cutelo móvel desliza, a despeito do esforço em contrário produzido pela mola de contato. O ponteiro-alavanca, mantido em contato com os dois cutelos pela mola de chamada, gira em frente à graduação.

A figura abaixo representa a montagem clássica de um aparelho com capacidade de $\pm 0,06$ mm e leitura de 0,002 mm por divisão.



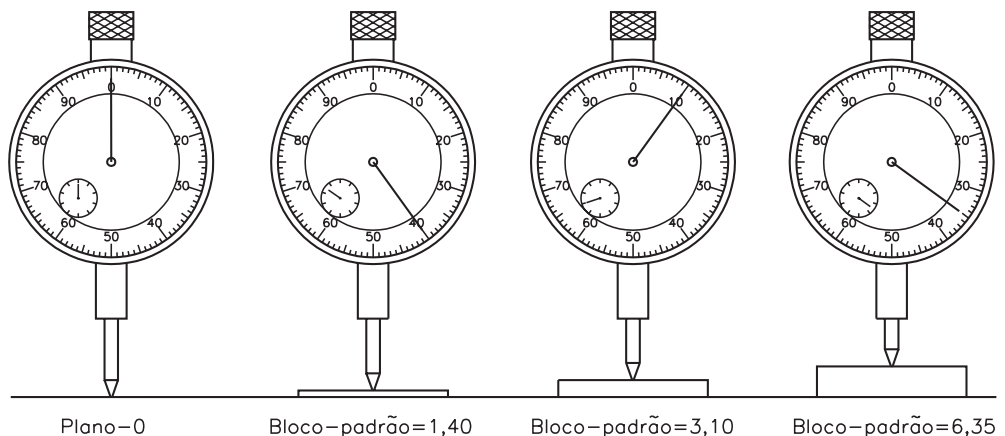
• **Amplificação mista**

É o resultado da combinação entre alavanca e engrenagem. Permite levar a sensibilidade até 0,001 mm, sem reduzir a capacidade de medição.

Condições de uso

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

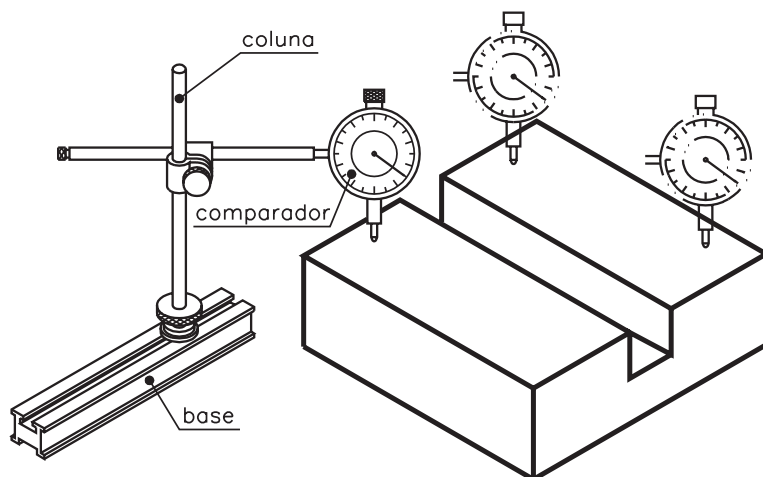
A verificação de possíveis erros é feita da seguinte maneira: com o auxílio de um suporte de relógio, tomam-se as diversas medidas nos blocos-padrão. Em seguida, deve-se observar se as medidas obtidas no relógio correspondem às dos blocos. São encontrados também calibradores específicos para relógios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



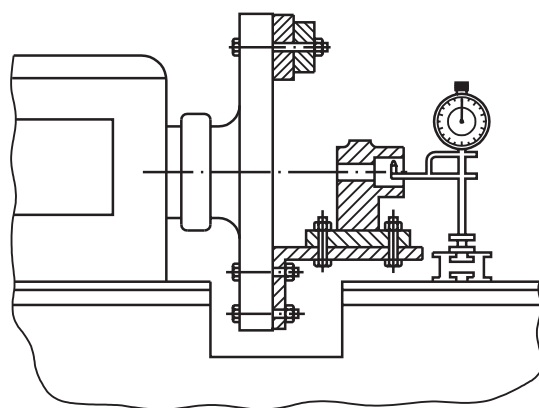
Observação: Antes de tocar na peça, o ponteiro do relógio comparador fica em uma posição anterior a zero. Assim, ao iniciar uma medida, deve-se dar uma pré-carga para o ajuste do zero.

Colocar o relógio sempre numa posição perpendicular em relação à peça, para não incorrer em erros de medida.

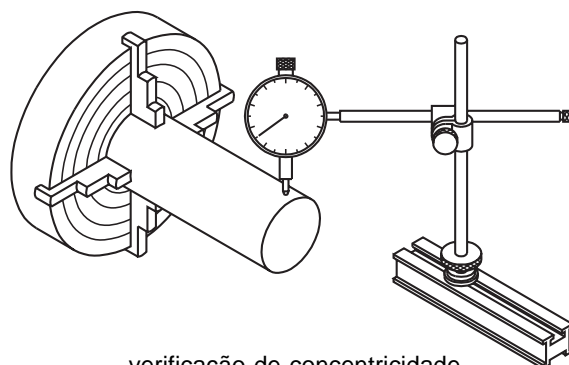
Aplicações dos relógios comparadores



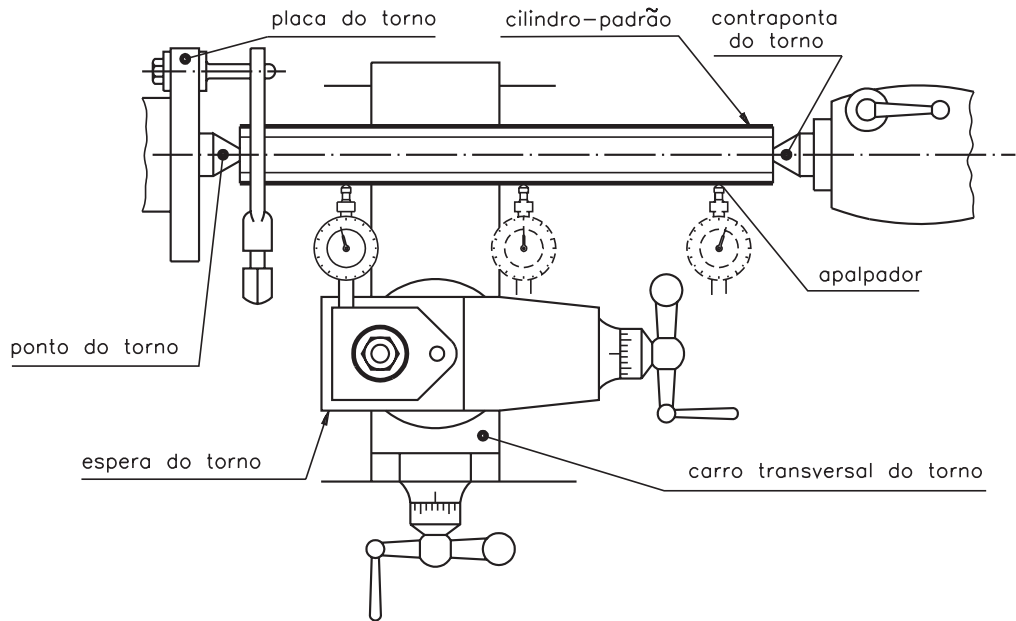
verificação do paralelismo



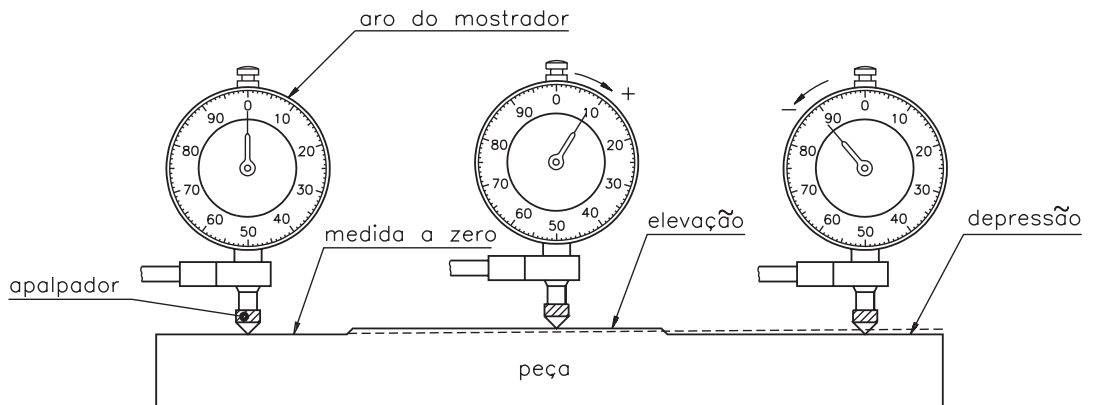
verificação de excentricidade de peça montada na placa do torno



verificação de concentricidade



verificação do alinhamento das pontas de um torno



verificação de superfícies planas

Conservação

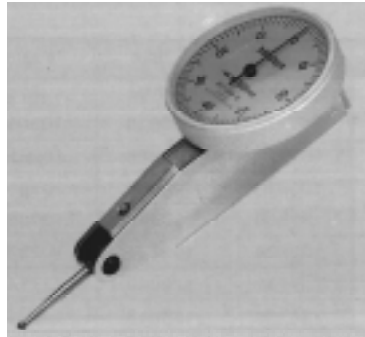
- Descer suavemente a ponta de contato sobre a peça.
- Levantar um pouco a ponta de contato ao retirar a peça.
- Evitar choques, arranhões e sujeira.
- Manter o relógio guardado no seu estojo.
- Os relógios devem ser lubrificados internamente nos mancais das engrenagens.

Relógio com ponta de contato de alavanca (apalpador)

É um dos relógios mais versáteis que se usa na mecânica. Seu corpo monobloco possui três guias que facilitam a fixação em diversas posições.

Existem dois tipos de relógios apalpadores. Um deles possui reversão automática do movimento da ponta de medição; outro tem alavanca inversora, a qual seleciona a direção do movimento de medição ascendente ou descendente.

O mostrador é giratório com resolução de 0.01 mm, 0.002 mm, .001" ou .0001".



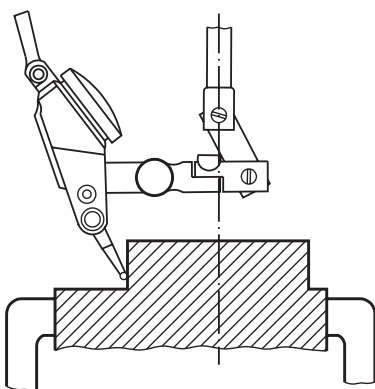
relógio apalpador

Por sua enorme versatilidade, pode ser usado para grande variedade de aplicações, tanto na produção como na inspeção final.

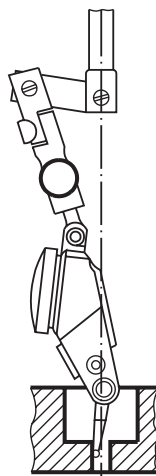
Exemplos:

- Excentricidade de peças.
- Alinhamento e centragem de peças nas máquinas.
- Paralelismos entre faces.
- Medições internas.
- Medições de detalhes de difícil acesso.

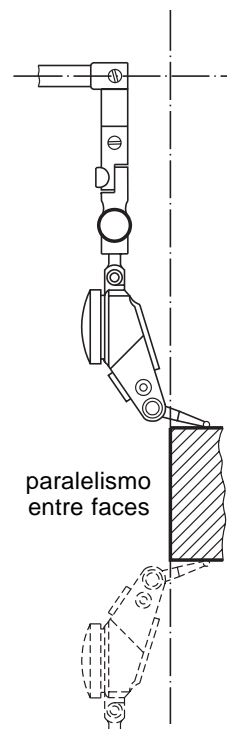
Exemplos de aplicação



alinhamento e centragem de peças nas máquinas



verificação de difícil acesso



paralelismo entre faces

Conservação

- Evitar choques, arranhões e sujeira.
- Guardá-lo em estojo apropriado.
- Montá-lo rigidamente em seu suporte.
- Descer suavemente o ponta de contato sobre a peça.
- Verificar se o relógio é anti-magnético antes de colocá-lo em contato com a mesa magnética.

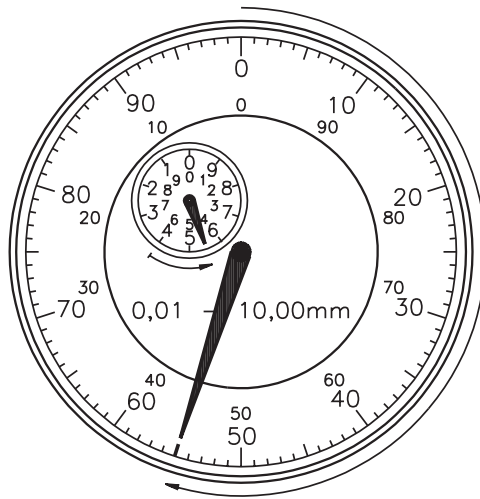
Verificando o entendimento

Observações

- A posição inicial do ponteiro pequeno mostra a carga inicial ou de medição.
- Deve ser registrado se a variação é negativa ou positiva.

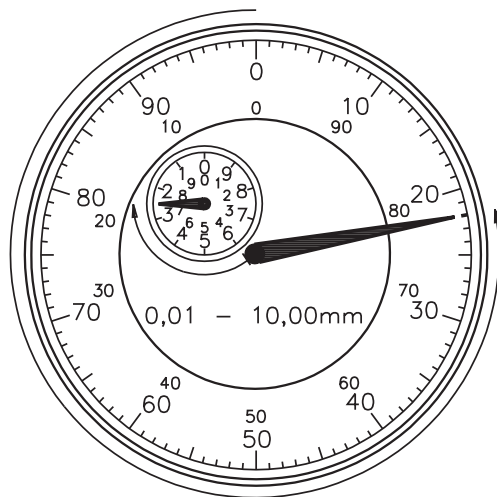
Leitura de relógio comparador (milímetro)

a)



Leitura:

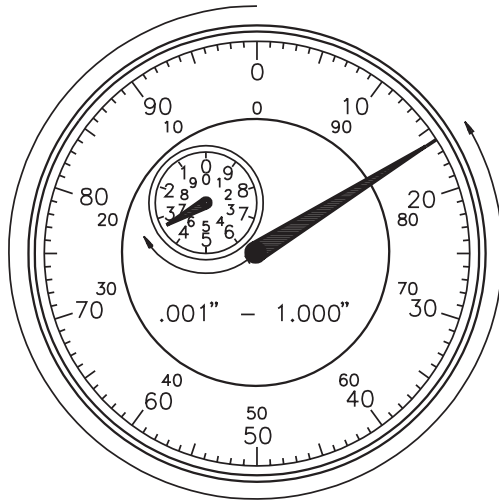
b)



Leitura:

(cont.)

c)



Leitura:

Veja se acertou:

- a) 1,55 mm
- b) -3,78 mm
- c) -.284"

Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

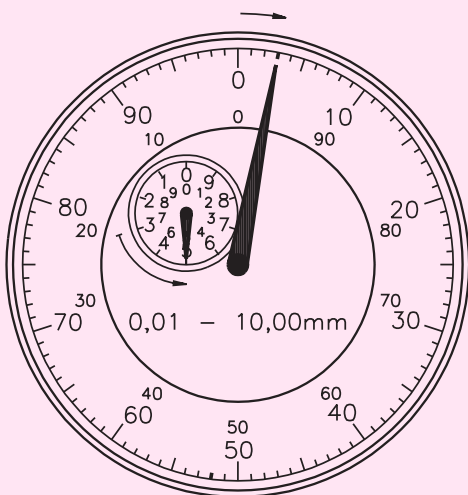
Exercício 1

Faça a leitura e a escreva abaixo da figura.

Observações

- A posição inicial do ponteiro pequeno mostra a carga inicial ou de medição.
- Deve ser registrado se a variação é negativa ou positiva.

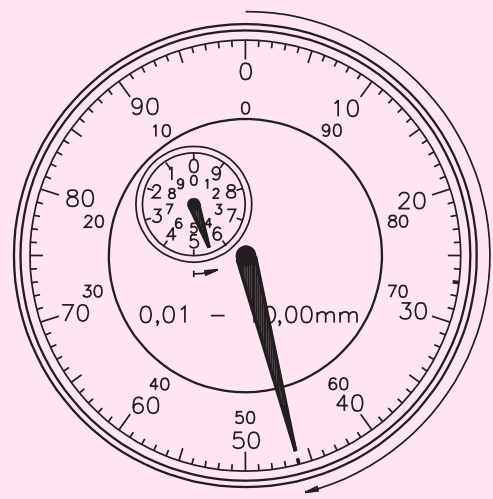
a)



Leitura:

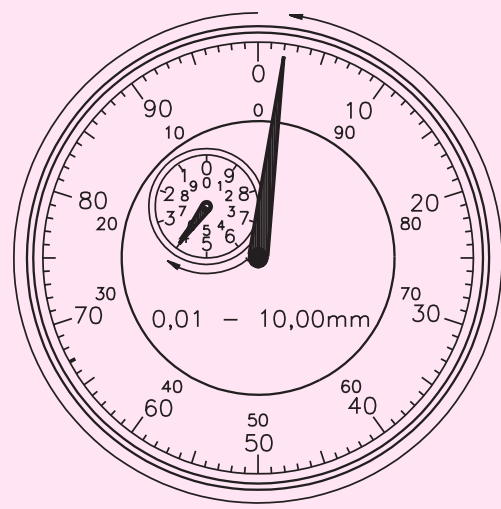
Exercícios

b)



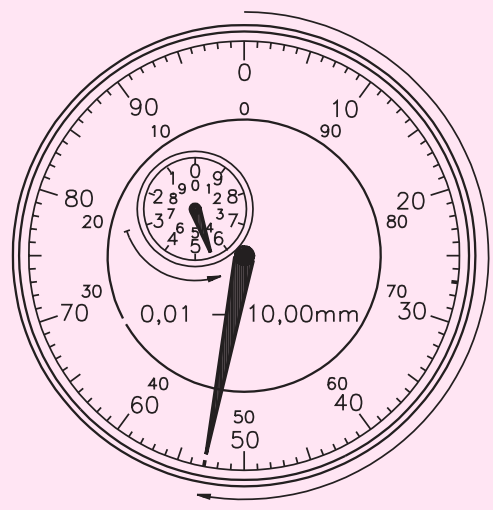
Leitura:

c)



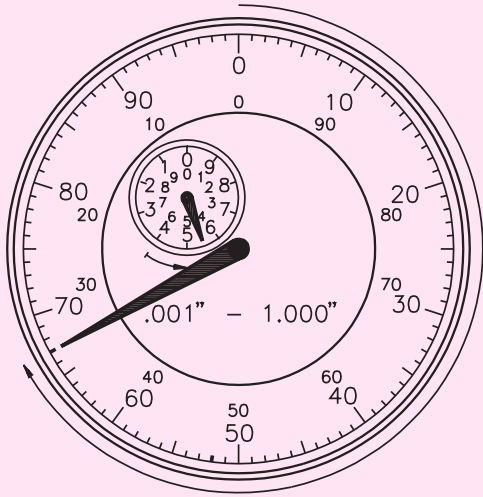
Leitura:

d)



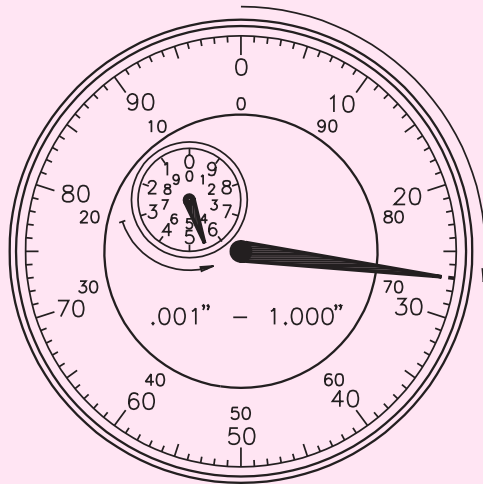
Leitura:

e)



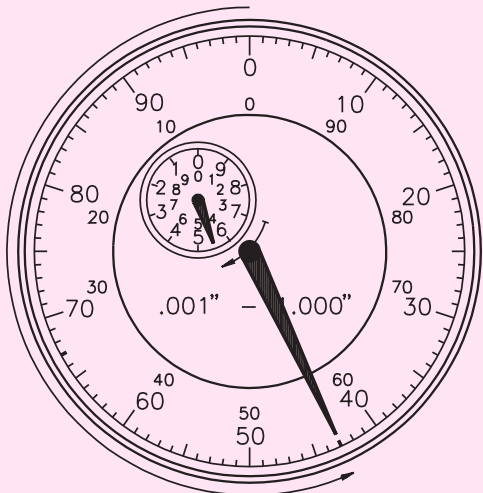
Leitura:

f)



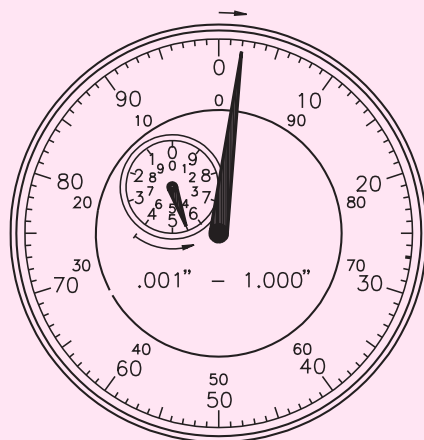
Leitura:

g)



Leitura:

h)



Leitura:

Marque com X a resposta correta.

Exercício 2

O relógio comparador é um instrumento de medição que verifica:

- a) () medidas, superfícies planas, concentricidade e paralelismo, com leitura direta;
- b) () medidas, superfícies planas, concentricidade e paralelismo, com leitura indireta;
- c) () medidas, superfícies planas, concentricidade e paralelismo, somente para peças de grandes dimensões;
- d) () medidas, superfícies planas, concentricidade e paralelismo, apenas para peças de pequenas dimensões.

Exercício 3

O ponteiro do relógio comparador é ajustado ao zero da escala por meio de:

- a) () limitador de tolerância;
- b) () aro giratório;
- c) () ponta de contato;
- d) () alavanca.

Exercício 4

Nos relógios comparadores comuns, cada volta completa do ponteiro equivale a 1 mm. Como o mostrador tem 100 divisões, cada divisão vale em mm:

- a) () 0,01;
- b) () 0,002;
- c) () 0,001;
- d) () 0,1.

Exercício 5

Para elevar a sensibilidade do relógio em 0,001 mm, usa-se o seguinte tipo de amplificação:

- a) () por engrenagem;
- b) () por alavanca;
- c) () mista (alavanca/engrenagem);
- d) () por alavanca de revisão.

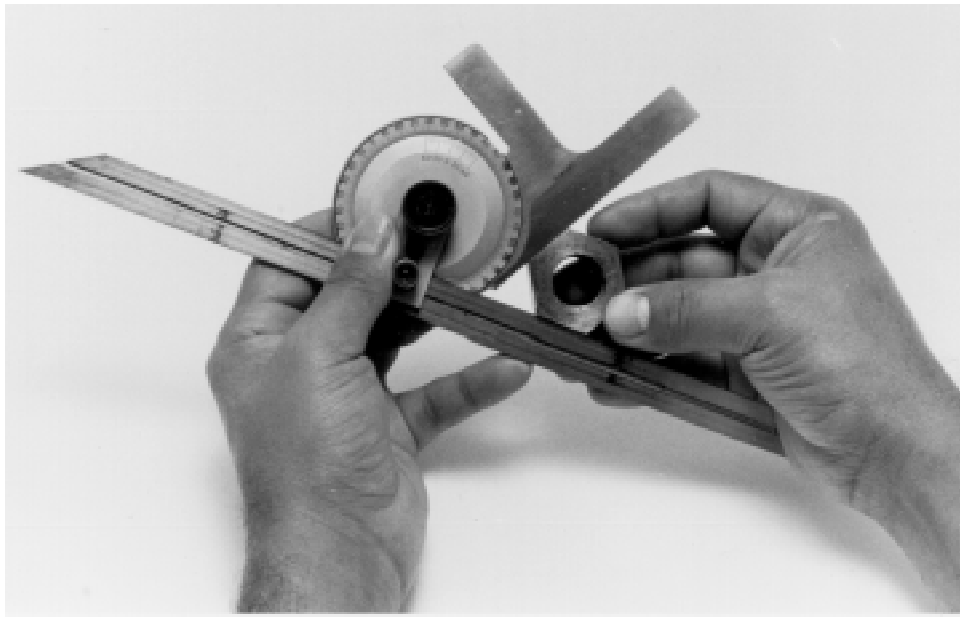
Goniômetro

Até agora, foram estudados instrumentos de medidas lineares. Mas os funcionários não conheciam instrumentos de verificação de medidas angulares, muito usados em mecânica. Um desses instrumentos - o **goniômetro** - será estudado nesta aula.

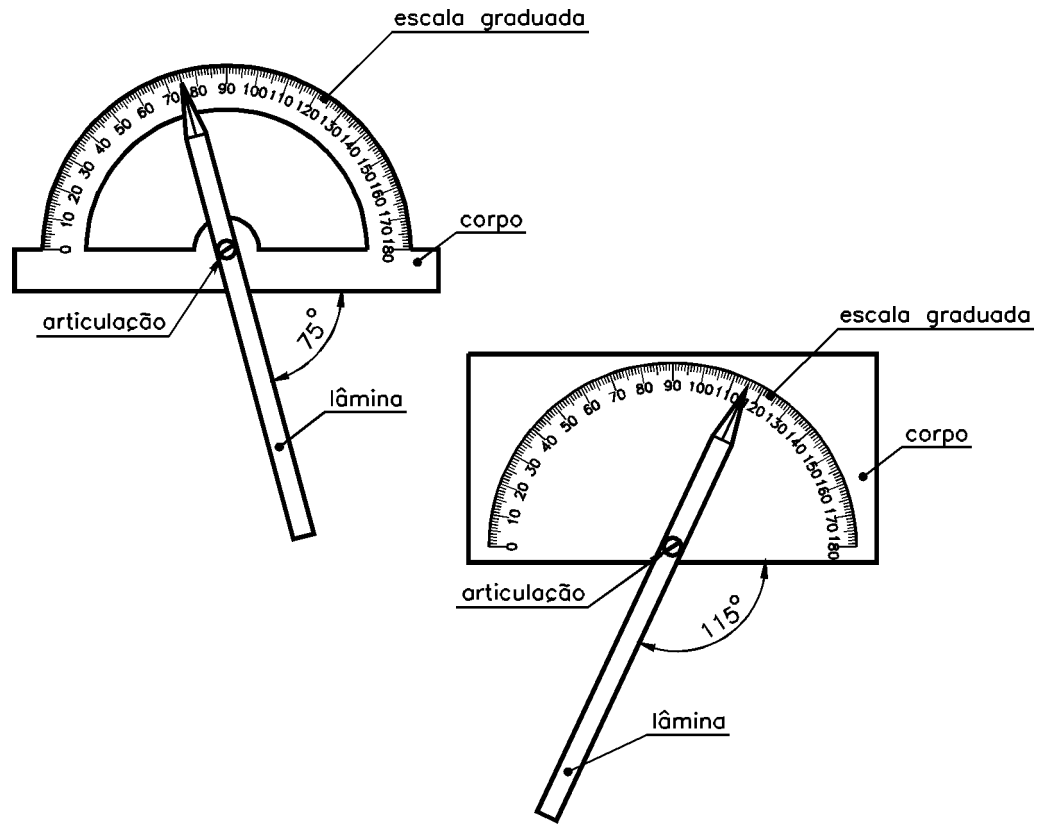
Um problema

Introdução

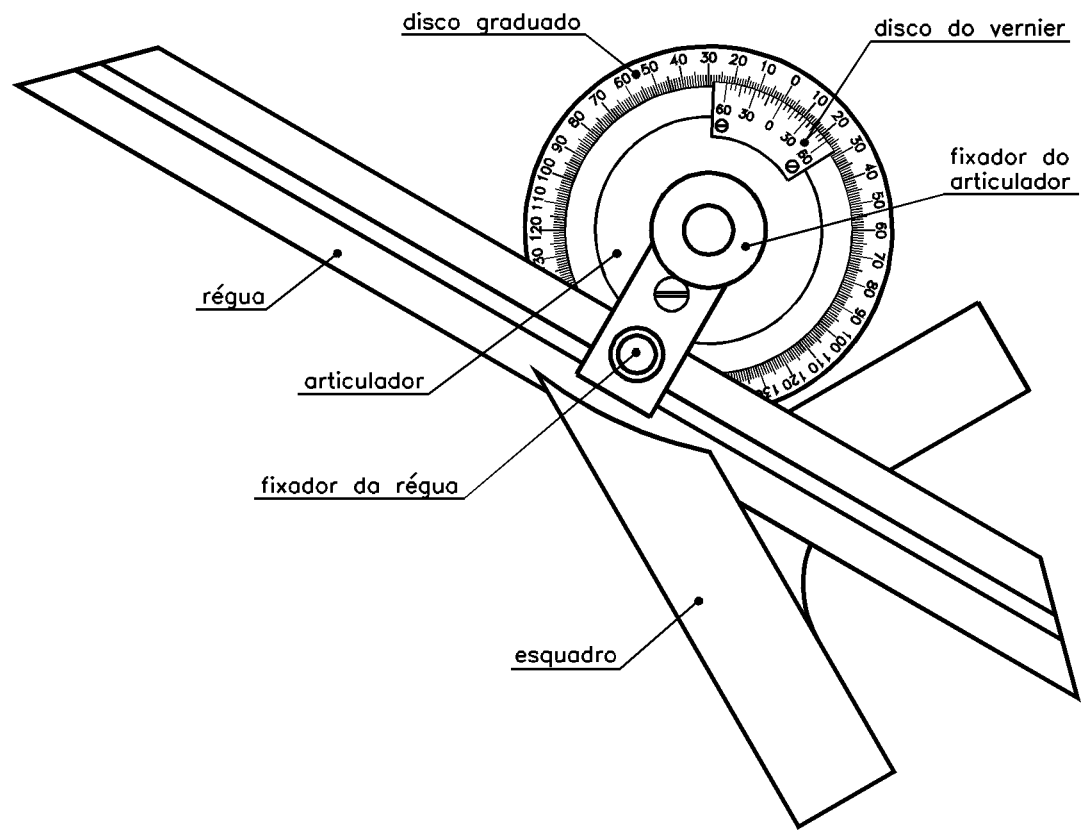
O goniômetro é um instrumento de medição ou de verificação de medidas angulares.

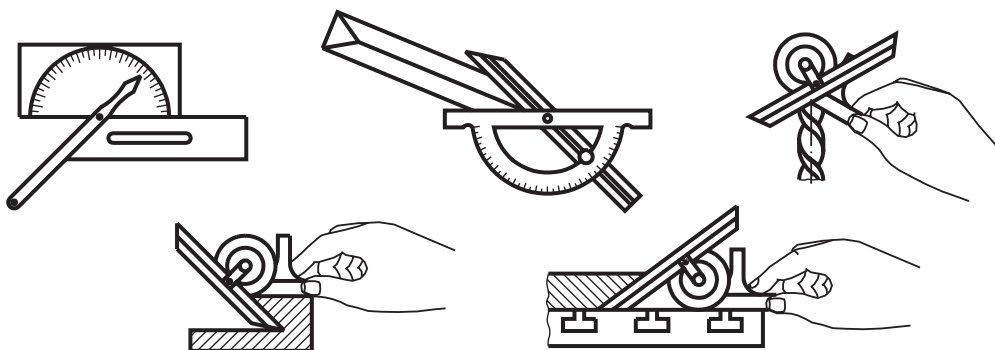


O goniômetro simples, também conhecido como transferidor de grau, é utilizado em medidas angulares que não necessitam extremo rigor. Sua menor divisão é de 1° (um grau). Há diversos modelos de goniômetro. A seguir, mostramos um tipo bastante usado, em que podemos observar as medidas de um ângulo agudo e de um ângulo obtuso.



Na figura que segue, temos um goniômetro de precisão. O disco graduado apresenta quatro graduações de 0 a 90°. O articulador gira com o disco do vernier e, em sua extremidade, há um ressalto adaptável à régua.





Exemplos de aplicação do goniômetro

Cálculo da resolução

Na leitura do nônio, utilizamos o valor de 5' (5 minutos) para cada traço do nônio. Dessa forma, se é o 2º traço no nônio que coincide com um traço da escala fixa, adicionamos 10' aos graus lidos na escala fixa; se é o 3º traço, adicionamos 15'; se o 4º, 20' etc.

A resolução do nônio é dada pela fórmula geral, a mesma utilizada em outros instrumentos de medida com nônio, ou seja: divide-se a menor divisão do disco graduado pelo número de divisões do nônio.

$$\text{Resolução} = \frac{\text{menor divisão do disco graduado}}{\text{número de divisões do nônio}}$$

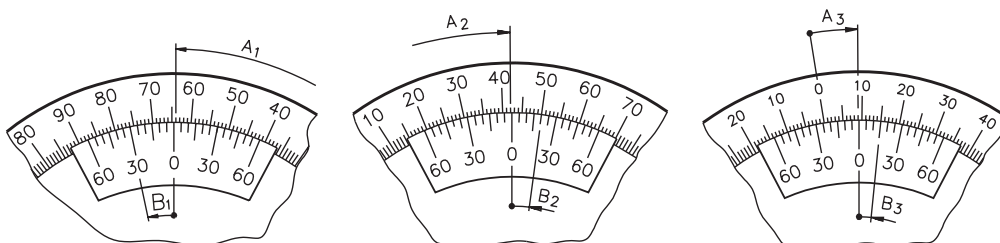
ou seja:

$$\text{Resolução} = \frac{1^\circ}{12} = \frac{60'}{12} = 5'$$

Leitura do goniômetro

Os **graus inteiros** são lidos na graduação do disco, com o traço zero do nônio. Na escala fixa, a leitura pode ser feita tanto no sentido horário quanto no sentido anti-horário.

A leitura dos **minutos**, por sua vez, é realizada a partir do zero nônio, seguindo a mesma direção da leitura dos graus.



Assim, nas figuras acima, as medidas são, respectivamente:

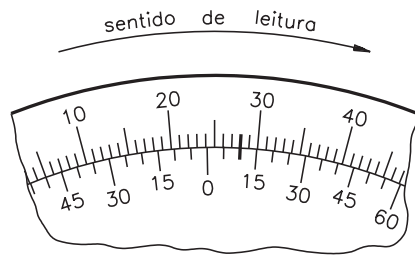
$A_1 = 64^\circ$	$B_1 = 30'$	leitura completa $64^\circ 30'$
$A_2 = 42^\circ$	$B_2 = 20'$	leitura completa $42^\circ 20'$
$A_3 = 9^\circ$	$B_3 = 15'$	leitura completa $9^\circ 15'$

Conservação

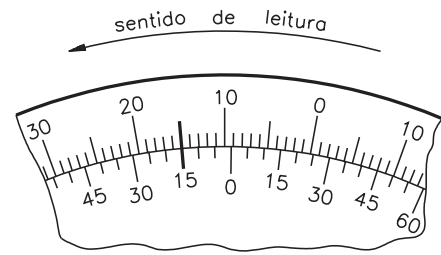
- Evitar quedas e contato com ferramentas de oficina.
- Guardar o instrumento em local apropriado, sem expô-lo ao pó ou à umidade.

Verificando o entendimento

Leia e escreva sua leitura nas linhas.



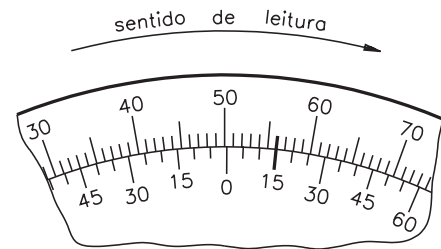
a) Leitura =°'



b) Leitura =°'



c) Leitura =°'



d) Leitura =°'

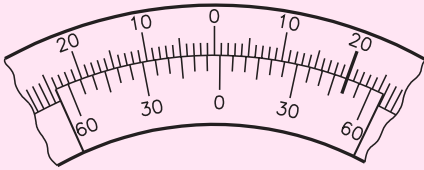
Veja se acertou:

- a) 24°10'
- b) 9°15'
- c) 30°
- d) 50°15'

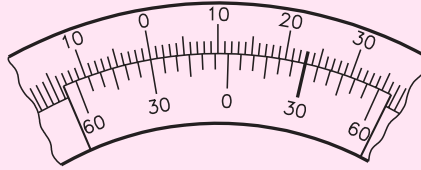
Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Exercício 1

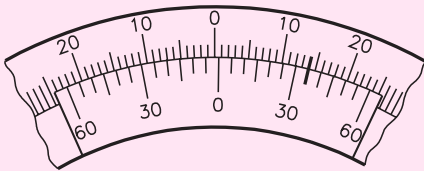
Leia e escreva as medidas abaixo dos desenhos.



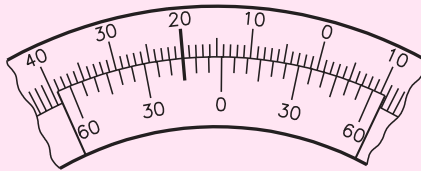
a) Leitura =



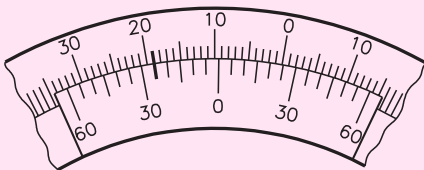
b) Leitura =



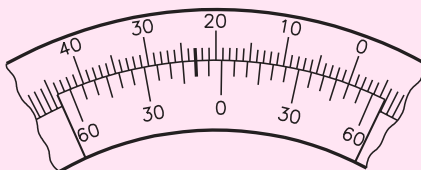
c) Leitura =



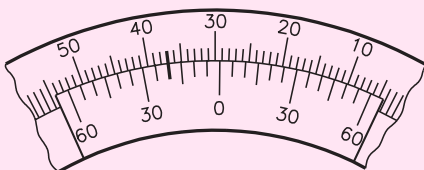
d) Leitura =



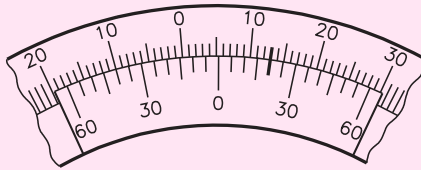
e) Leitura =



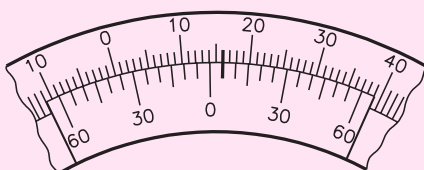
f) Leitura =



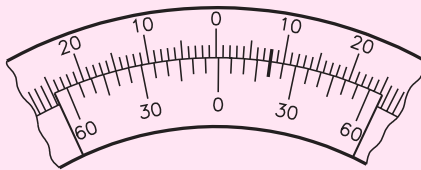
g) Leitura =



h) Leitura =



i) Leitura =



j) Leitura =

Régua e mesa de seno

Um problema

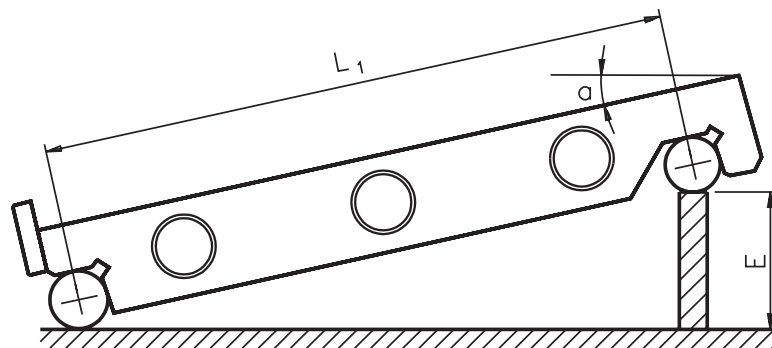
A empresa precisava medir ângulos de peças com maior exatidão. O uso de goniômetro não satisfazia porque a medição era feita com resolução de 5 minutos.

Para resolver a situação, o supervisor sugeriu a **mesa de seno**, que permite medições com resolução de segundos. Seu uso, entretanto, dependia de aprendizagem pelos operadores. Por isso eles foram submetidos a um treinamento rápido. Vamos acompanhá-lo?

Régua de seno

A **régua de seno** é constituída de uma barra de aço temperado e retificado.

Com formato retangular, possui dois rebaixos: um numa extremidade e outro próximo à extremidade oposta. Nesses rebaixos é que se encaixam os dois cilindros que servem de apoio à régua.

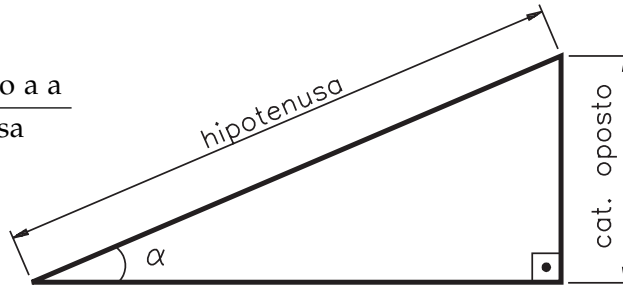


Os furos existentes no corpo da régua reduzem seu peso e possibilitam a fixação das peças que serão medidas.

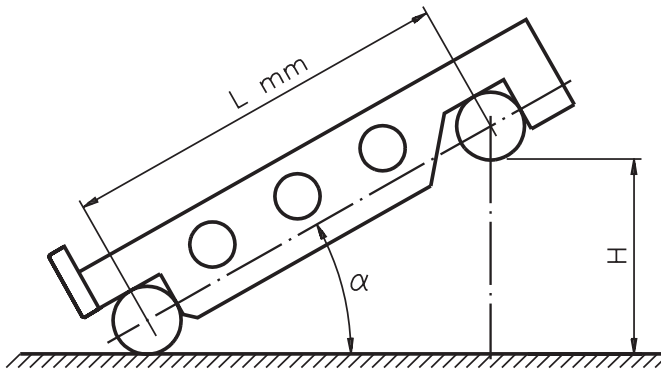
A distância entre os centros dos cilindros da régua de seno varia de acordo com o fabricante.

Recordando a trigonometria:

$$\text{sen } a = \frac{\text{cateto oposto a } a}{\text{hipotenusa}}$$



Então:



$$\text{seno } \alpha = \frac{H}{L}$$

O fabricante garante a exatidão da distância (L). A altura (H) é conseguida com a utilização de blocos-padrão.

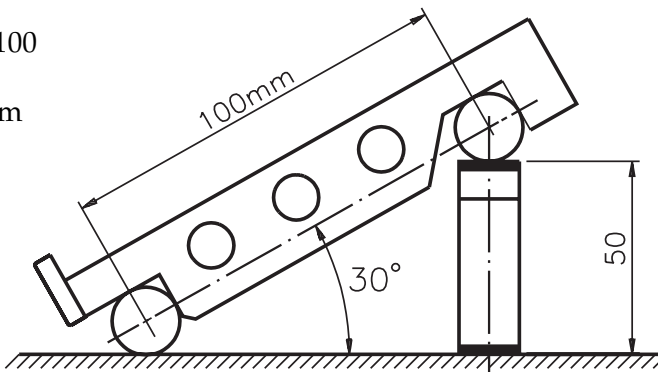
Por exemplo: deseja-se inclinar a régua de seno 30° (a), sabendo que a distância entre os cilindros é igual a 100 mm (L). Qual é a altura (H) dos blocos-padrão?

$$\text{seno } a = \frac{H}{L} \Rightarrow H = \text{seno } a \cdot L$$

$$H = \text{seno } 30^\circ \cdot 100$$

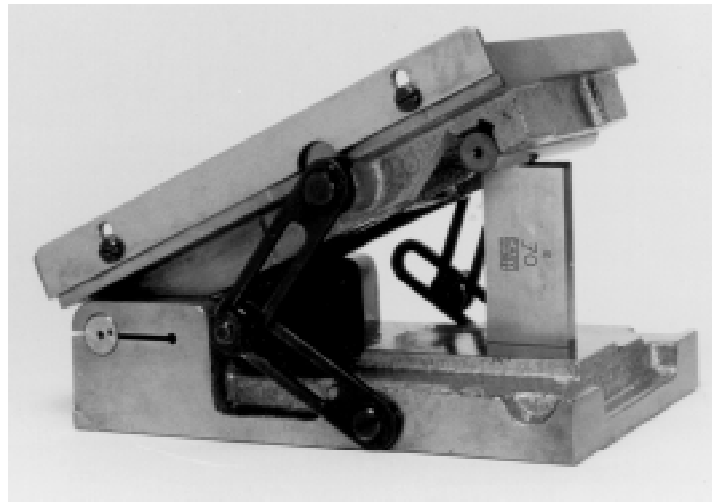
$$H = 0,5 \cdot 100$$

$$H = 50 \text{ mm}$$

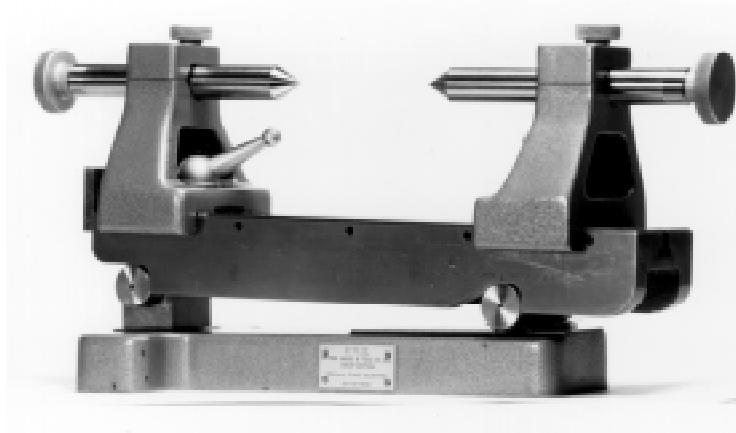


Mesa de seno

A **mesa de seno** é semelhante à régua de seno. Suas proporções, entretanto, são maiores. Possui também uma base, na qual se encaixa um dos cilindros, o que facilita sua inclinação.

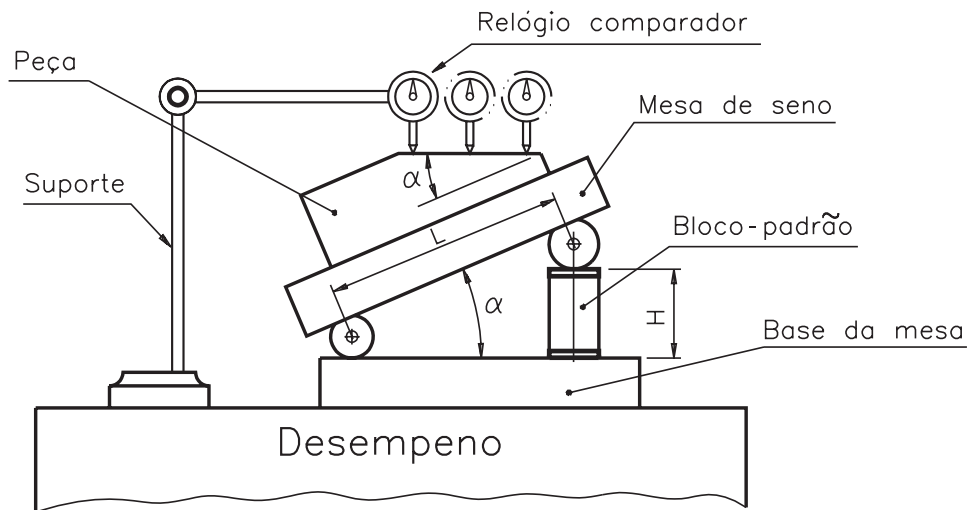


A **mesa de seno com contrapontas** permite medição de peças cilíndricas com furos de centro.



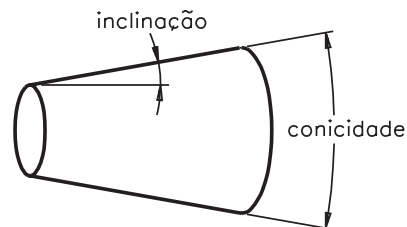
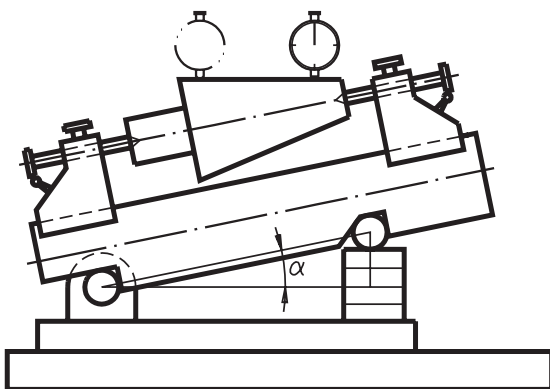
Técnica de utilização

Para medir o ângulo de uma peça com a mesa de seno, é necessário que a mesa esteja sobre o desempeno e que tenha como referência de comparação o relógio comparador.



Se o relógio, ao se deslocar sobre a superfície a ser verificada, não alterar sua indicação, significa que o ângulo da peça é semelhante ao da mesa.

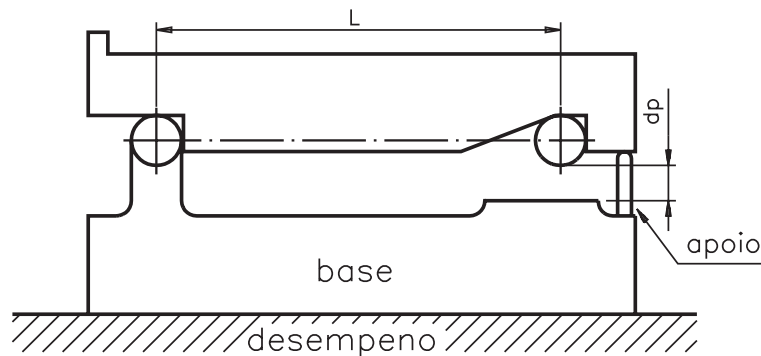
Com a mesa de seno com contrapontas, podemos medir ângulos de peças cônicas. Para isso, basta inclinar a mesa, até a superfície superior da peça ficar paralela à base da mesa. Dessa forma, a inclinação da mesa será igual à da peça fixada entre as contrapontas.



Obs: A inclinação é igual à metade da conicidade

Medição de pequenos ângulos

Nessa medição, a mesa de seno e a mesa de seno com contrapontas possuem uma diferença de plano (dp). Essa diferença de plano varia de acordo com os fabricantes, sendo que as alturas mais comuns são de 5, 10 e 12,5 mm.



Para obter a igualdade de plano colocam-se blocos-padrão que correspondam à diferença de altura entre a base e o cilindro. Com esse recurso podemos fazer qualquer inclinação, por menor que seja, e ainda usar blocos-padrão protetores.

Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Exercícios

Marque com X a resposta correta.

Exercício 1

A régua e a mesa de seno são utilizadas para verificar dimensões:

- a) lineares;
- b) de seno;
- c) angulares;
- d) milímetros.

Exercício 2

O princípio de medição da mesa é baseado em:

- a) blocos-padrão;
- b) conicidade;
- c) diferença de plano (dp);
- d) regra do seno.

Exercício 3

A diferença de plano (dp) na mesa de seno serve para:

- a) fazer pequenas inclinações e usar blocos protetores;
- b) facilitar o uso do relógio comparador;
- c) obter exatidão nas peças cônicas;
- d) fixar peças entre pontas.

Exercício 4

Para inclinar 30° numa mesa de seno, com distância entre os cilindros de 200 mm e $dp = 5$, a altura dos blocos-padrão será:

Dado: $\text{seno } 30^\circ = 0,5$

- a) 100;
- b) 105;
- c) 10;
- d) 15.

Rugosidade

Um problema

O supervisor de uma empresa verificou que os trabalhos de usinagem não estavam em condições de atender aos requisitos do projeto. Por isso, contratou um técnico para explicar ao seu pessoal as normas e aparelhos utilizados para a verificação do acabamento superficial das peças. Vamos acompanhar as explicações?

Rugosidade das superfícies

As superfícies dos componentes mecânicos devem ser adequadas ao tipo de função que exercem.

Por esse motivo, a importância do estudo do acabamento superficial aumenta à medida que crescem as exigências do projeto.

As superfícies dos componentes deslizantes, como o eixo de um mancal, devem ser lisas para que o atrito seja o menor possível. Já as exigências de acabamento das superfícies externas da tampa e da base do mancal são menores.

A produção das superfícies lisas exige, em geral, custo de fabricação mais elevado.

Os diferentes processos de fabricação de componentes mecânicos determinam acabamentos diversos nas suas superfícies.

As superfícies, por mais perfeitas que sejam, apresentam irregularidades. E essas irregularidades compreendem dois grupos de erros: erros macrogeométricos e erros microgeométricos.

Erros macrogeométricos são os erros de forma, verificáveis por meio de instrumentos convencionais de medição, como micrômetros, relógios comparadores, projetores de perfil etc.

Entre esses erros, incluem-se divergências de ondulações, ovalização, retilidade, planicidade, circularidade etc.

Durante a usinagem, as principais causas dos erros macrogeométricos são:

- defeitos em guias de máquinas-ferramenta;
- desvios da máquina ou da peça;
- fixação errada da peça;
- distorção devida ao tratamento térmico.

Erros microgeométricos são os erros conhecidos como rugosidade.

Rugosidade

É o conjunto de irregularidades, isto é, pequenas saliências e reentrâncias que caracterizam uma superfície. Essas irregularidades podem ser avaliadas com aparelhos eletrônicos, a exemplo do rugosímetro. A rugosidade desempenha um papel importante no comportamento dos componentes mecânicos. Ela influi na:

- qualidade de deslizamento;
- resistência ao desgaste;
- possibilidade de ajuste do acoplamento forçado;
- resistência oferecida pela superfície ao escoamento de fluidos e lubrificantes;
- qualidade de aderência que a estrutura oferece às camadas protetoras;
- resistência à corrosão e à fadiga;
- vedação;
- aparência.

A grandeza, a orientação e o grau de irregularidade da rugosidade podem indicar suas causas que, entre outras, são:

- imperfeições nos mecanismos das máquinas-ferramenta;
- vibrações no sistema peça-ferramenta;
- desgaste das ferramentas;
- o próprio método de conformação da peça.

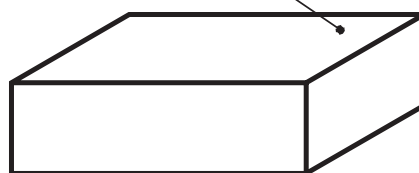
Conceitos básicos

Para estudar e criar sistemas de avaliação do estado da superfície, é necessário definir previamente diversos termos e conceitos que possam criar uma linguagem apropriada. Com essa finalidade utilizaremos as definições da norma NBR 6405/1988.

Superfície geométrica

Superfície ideal prescrita no projeto, na qual não existem erros de forma e acabamento. Por exemplo: superfícies plana, cilíndrica etc., que sejam, por definição, perfeitas. Na realidade, isso não existe; trata-se apenas de uma referência.

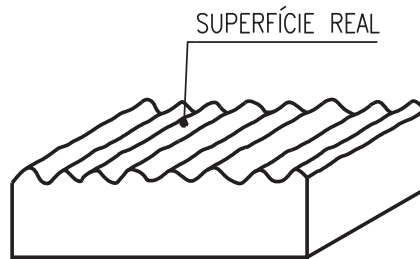
SUPERFÍCIE GEOMÉTRICA



A superfície geométrica é, por definição, perfeita.

Superfície real

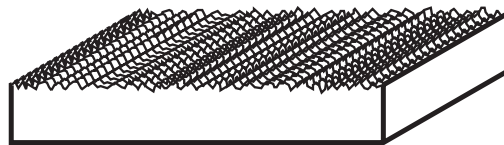
Superfície que limita o corpo e o separa do meio que o envolve. É a superfície que resulta do método empregado na sua produção. Por exemplo: torneamento, retífica, ataque químico etc. Superfície que podemos ver e tocar.



Superfície real, uma herança do método empregado na usinagem.

Superfície efetiva

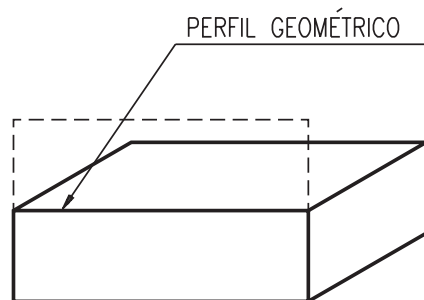
Superfície avaliada pela técnica de medição, com forma aproximada da superfície real de uma peça. É a superfície apresentada e analisada pelo aparelho de medição. É importante esclarecer que existem diferentes sistemas e condições de medição que apresentam diferentes superfícies efetivas.



Superfície efetiva apresentada com ampliação por uma impressora.

Perfil geométrico

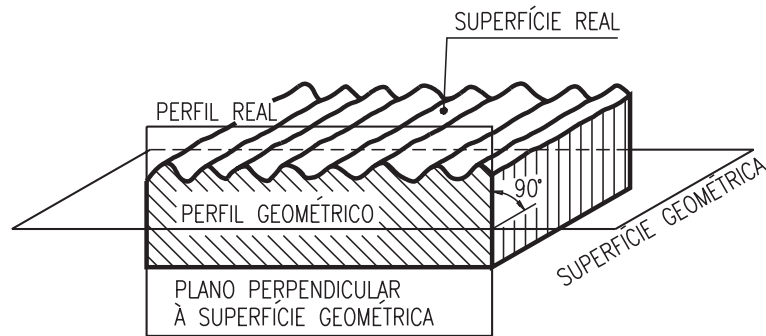
Interseção da superfície geométrica com um plano perpendicular. Por exemplo: uma superfície plana perfeita, cortada por um plano perpendicular, originará um perfil geométrico que será uma linha reta.



O perfil geométrico é, por definição, perfeito.

Perfil real

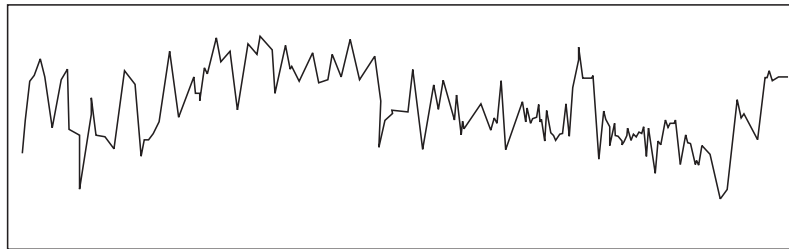
Intersecção da superfície real com um plano perpendicular. Neste caso, o plano perpendicular (imaginário) cortará a superfície que resultou do método de usinagem e originará uma linha irregular.



Perfil real, cortado por um plano perpendicular.

Perfil efetivo

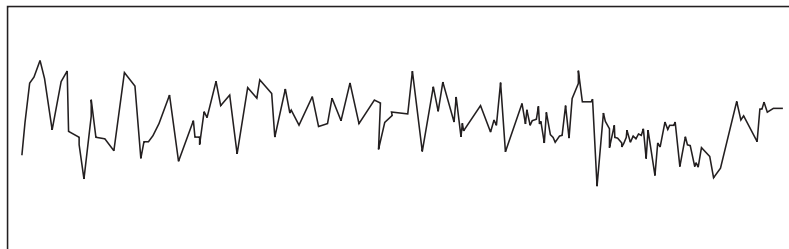
Imagem aproximada do perfil real, obtido por um meio de avaliação ou medição. Por exemplo: o perfil apresentado por um registro gráfico, sem qualquer filtragem e com as limitações atuais da eletrônica.



Perfil efetivo, obtido com impressora de rugosímetro (sem filtrar ondulações).

Perfil de rugosidade

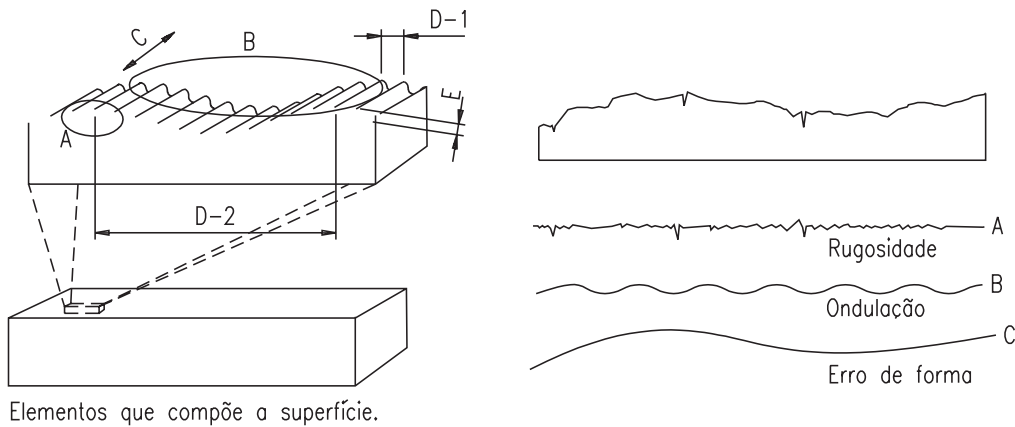
Obtido a partir do perfil efetivo, por um instrumento de avaliação, após filtragem. É o perfil apresentado por um registro gráfico, depois de uma filtragem para eliminar a ondulação à qual se sobrepõe geralmente a rugosidade.



Perfil de rugosidade (após filtragem da ondulação).

Composição da superfície

Tomando-se uma pequena porção da superfície, observam-se certos elementos que a compõem.



A figura representa um perfil efetivo de uma superfície, e servirá de exemplo para salientar os elementos que compõem a textura superficial, decompondo o perfil.

A) Rugosidade ou textura primária é o conjunto das irregularidades causadas pelo processo de produção, que são as impressões deixadas pela ferramenta (fresa, pastilha, rolo laminador etc.).
Lembrete: a rugosidade é também chamada de erro microgeométrico.

B) Ondulação ou textura secundária é o conjunto das irregularidades causadas por vibrações ou deflexões do sistema de produção ou do tratamento térmico.

C) Orientação das irregularidades é a direção geral dos componentes da textura, e são classificados como:

- orientação ou perfil periódico - quando os sulcos têm direções definidas;
- orientação ou perfil aperiódico - quando os sulcos não têm direções definidas.

D) Passo das irregularidades é a média das distâncias entre as saliências.

D1: passo das irregularidades da textura primária;
D2: passo das irregularidades da textura secundária.
O passo pode ser designado pela frequência das irregularidades.

E) Altura das irregularidades ou amplitude das irregularidades.
Examinamos somente as irregularidades da textura primária.

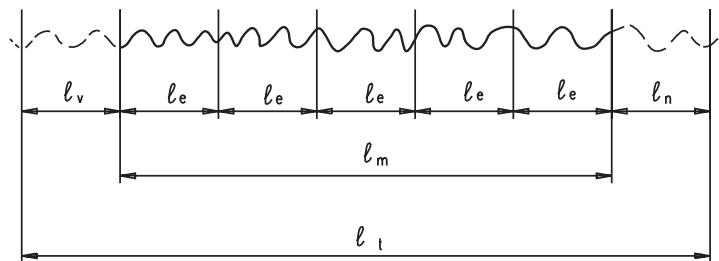
Crêterios para avaliar a rugosidade

Comprimento de amostragem (*Cut off*)

Toma-se o perfil efetivo de uma superfície num comprimento l_m , comprimento total de avalia o. Chama-se o comprimento l_e de comprimento de amostragem (NBR 6405/1988).

O comprimento de amostragem nos aparelhos eletrônicos, chamado de *cut-off* (l_e), não deve ser confundido com a distância total (l_t) percorrida pelo apalpador sobre a superfície.

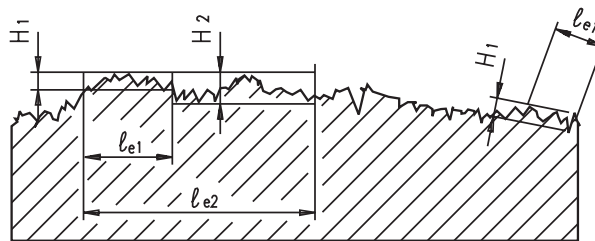
  recomendado pela norma ISO que os rugosímetros devam medir 5 comprimentos de amostragem e devem indicar o valor médio.



Comprimentos para avalia o de rugosidade.

A distância percorrida pelo apalpador deverá ser igual a $5l_e$ mais a distância para atingir a velocidade de medi o l_v e para a parada do apalpador l_n .

Como o perfil apresenta rugosidade e ondula o, o comprimento de amostragem filtra a ondula o.



Rugosidade e ondula o

A rugosidade H_2   maior, pois l_{e2} incorpora ondula o.

A rugosidade H_1   menor, pois, como o comprimento l_{e1}   menor, ele filtra a ondula o.

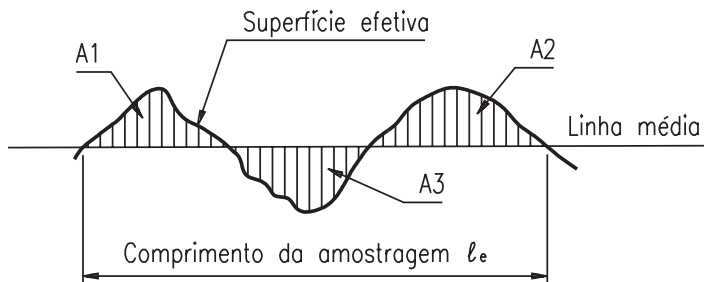
Sistemas de medi o da rugosidade superficial

São usados dois sistemas básicos de medida: o da linha média M e o da envolvente E. O sistema da linha média   o mais utilizado. Alguns países adotam ambos os sistemas. No Brasil - pelas Normas ABNT NBR 6405/1988 e NBR 8404/1984 -,   adotado o sistema M.

Sistema M

No sistema da linha média, ou sistema M, todas as grandezas da medição da rugosidade são definidas a partir do seguinte conceito de linha média:

Linha média é a linha paralela à direção geral do perfil, no comprimento da amostragem, de tal modo que a soma das áreas superiores, compreendidas entre ela e o perfil efetivo, seja igual à soma das áreas inferiores, no comprimento da amostragem (ℓ_e).



A1 e A2 áreas acima da linha média = A3 área abaixo da linha média.

$$A1 + A2 = A3$$

Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Marque com X a resposta correta.

Exercício 1

Erros microgeométricos são verificáveis por:

- a) () rugosímetro;
- b) () projetor de perfil;
- c) () micrômetro;
- d) () relógio comparador.

Exercício 2

A rugosidade desempenha um papel importante no comportamento dos componentes mecânicos. Ela não influi:

- a) () na aparência;
- b) () na qualidade de deslizamento;
- c) () na resistência ao desgaste;
- d) () nenhuma das respostas anteriores.

Exercícios

Exercício 3

A superfície obtida por processos de fabricação, denomina-se:

- a) () geométrica;
- b) () real;
- c) () efetiva;
- d) () rugosa;

Exercício 4

Cut off significa:

- a) () passo das irregularidades;
- b) () ondulações causada por vibrações do sistema de produção;
- c) () comprimento de amostragem nos aparelhos eletrônicos (rugosímetros);
- d) () orientação dada as irregularidades.



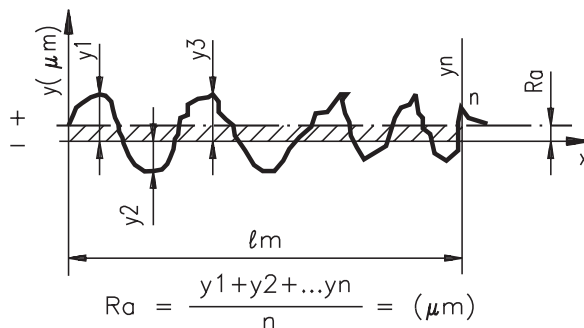
Parâmetros de rugosidade

A superfície de peças apresenta perfis bastante diferentes entre si. As saliências e reentrâncias (rugosidade) são irregulares. Para dar acabamento adequado às superfícies é necessário, portanto, determinar o nível em que elas devem ser usinadas, ou seja, deve-se adotar um parâmetro que possibilite avaliar a rugosidade. É o que vamos estudar nesta aula.

Um problema

Rugosidade média (Ra)

É a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento (y_i), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição (l_m). Essa grandeza pode corresponder à altura de um retângulo, cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil de rugosidade e pela linha média, tendo por comprimento o percurso de medição (l_m).



Esse parâmetro é conhecido como:

Ra (*roughness average*) significa rugosidade média;

CLA (*center line average*) significa centro da linha média, e é adotado pela norma inglesa. A medida é expressa em micropolegadas (min = microinch).

O parâmetro Ra pode ser usado nos seguintes casos:

- Quando for necessário o controle contínuo da rugosidade nas linhas de produção;
- Em superfícies em que o acabamento apresenta sulcos de usinagem bem orientados (torneamento, fresagem etc.);
- Em superfícies de pouca responsabilidade, como no caso de acabamentos com fins apenas estéticos.

Vantagens do parâmetro Ra

É o parâmetro de medição mais utilizado em todo o mundo.

É aplicável à maioria dos processos de fabricação.

Devido a sua grande utilização, quase todos os equipamentos apresentam esse parâmetro (de forma analógica ou digital eletrônica).

Os riscos superficiais inerentes ao processo não alteram muito seu valor.

Para a maioria das superfícies, o valor da rugosidade nesse parâmetro está de acordo com a curva de Gauss, que caracteriza a distribuição de amplitude.

Desvantagens do parâmetro Ra

O valor de Ra em um comprimento de amostragem indica a média da rugosidade. Por isso, se um pico ou vale não típico aparecer na superfície, o valor da média não sofrerá grande alteração, ocultando o defeito.

O valor de Ra não define a forma das irregularidades do perfil. Dessa forma, poderemos ter um valor de Ra para superfícies originadas de processos diferentes de usinagem.

Nenhuma distinção é feita entre picos e vales.

Para alguns processos de fabricação com frequência muito alta de vales ou picos, como é o caso dos sinterizados, o parâmetro não é adequado, já que a distorção provocada pelo filtro eleva o erro a altos níveis.

Indicação da rugosidade Ra pelos números de classe

A norma NBR 8404/1984 de indicação do Estado de Superfícies em Desenhos Técnicos esclarece que a característica principal (o valor) da rugosidade Ra pode ser indicada pelos números da classe de rugosidade correspondente, conforme tabela a seguir.

CLASSE DE RUGOSIDADE	RUGOSIDADE RA (valorem mm)
N12	50
N11	25
N10	12,5
N9	6,3
N8	3,2
N7	1,6
N6	0,8
N5	0,4
N4	0,2
N3	0,1
N2	0,05
N1	0,025

O desvio médio aritmético é expresso em micrometro (mm).

Medição da rugosidade (Ra)

Na medição da rugosidade, são recomendados valores para o comprimento da amostragem, conforme tabela abaixo.

RUGOSIDADE RA (mm)	MÍNIMO COMPRIMENTO DE AMOSTRAGEM L (CUT OFF) (mm)
De 0 até 0,1	0,25
Maior que 0,1 até 2,0	0,80
Maior que 2,0 até 10,0	2,50
Maior que 10,0	8,00

Simbologia, equivalência e processos de usinagem

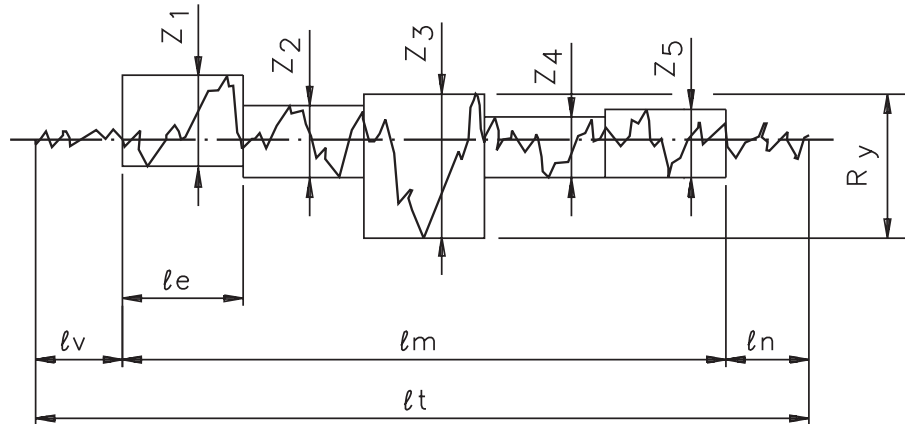
A tabela que se segue, classifica os acabamentos superficiais - geralmente encontrados na indústria mecânica - em 12 grupos, e as organiza de acordo com o grau de rugosidade e o processo de usinagem que pode ser usado em sua obtenção. Permite, também, visualizar uma relação aproximada entre a simbologia de triângulos, as classes e os valores de Ra (mm).

Grupos de rugosidades	▽			▽▽			▽▽▽			▽▽▽▽		
Rugosidade máxima valores em Ra(μm)	50			6,3			0,8			0,1		
Classes de rugosidade (GRADE)	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1
Rugosidade máxima valores em Ra(μm)	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
Informações sobre os resultados de usinagem												
Serrar	[Barra com hachura superior]											
Limar	[Barra com hachura superior]											
Plainar	[Barra com hachura superior]											
Tornear	[Barra com hachura superior]											
Furar	[Barra com hachura superior]											
Rebaixar	[Barra com hachura superior]											
Alargar	[Barra com hachura superior]											
Fresar	[Barra com hachura superior]											
Brochar	[Barra com hachura superior]											
Raspar	[Barra com hachura superior]											
Retificar(frontal)	[Barra com hachura superior]											
Retificar(lateral)	[Barra com hachura superior]											
Alisar	[Barra com hachura superior]											
Superfinish	[Barra com hachura superior]											
Lapidar	[Barra com hachura superior]											
Polir	[Barra com hachura superior]											

- [Barra com hachura superior] Faixa para um desbaste superior
- [Barra com hachura superior] Rugosidade realizável com usinagem comum
- [Barra com hachura superior] Rugosidade realizável com cuidados e métodos especiais

Rugosidade máxima (R_y)

Está definido como o maior valor das rugosidades parciais (Z_i) que se apresenta no percurso de medição (l_m). Por exemplo: na figura a seguir, o maior valor parcial é o Z_3 , que está localizado no 3º cut off, e que corresponde à rugosidade R_y .



Rugosidade R_y definida pela rugosidade parcial (neste caso Z_3)

O parâmetro R_y pode ser empregado nos seguintes casos:

- Superfícies de vedação;
- Assentos de anéis de vedação;
- Superfícies dinamicamente carregadas;
- Tampões em geral;
- Parafusos altamente carregados;
- Superfícies de deslizamento em que o perfil efetivo é periódico.

Vantagens do parâmetro R_y

Informa sobre a máxima deteriorização da superfície vertical da peça.

É de fácil obtenção quando o equipamento de medição fornece o gráfico da superfície.

Tem grande aplicação na maioria dos países.

Fornece informações complementares ao parâmetro R_a (que dilui o valor dos picos e vales).

Desvantagens do parâmetro R_y

Nem todos os equipamentos fornecem o parâmetro. E, para avaliá-lo por meio de um gráfico, é preciso ter certeza de que o perfil registrado é um perfil de rugosidade. Caso seja o perfil efetivo (sem filtragem), deve ser feita uma filtragem gráfica.

Pode dar uma imagem errada da superfície, pois avalia erros que muitas vezes não representam a superfície como um todo. Por exemplo: um risco causado após a usinagem e que não caracteriza o processo.

Individualmente, não apresenta informação suficiente a respeito da superfície, isto é, não informa o formato da superfície. A figura a seguir ilustra esta idéia: diversas formas de rugosidade podem ter o mesmo valor para R_y .

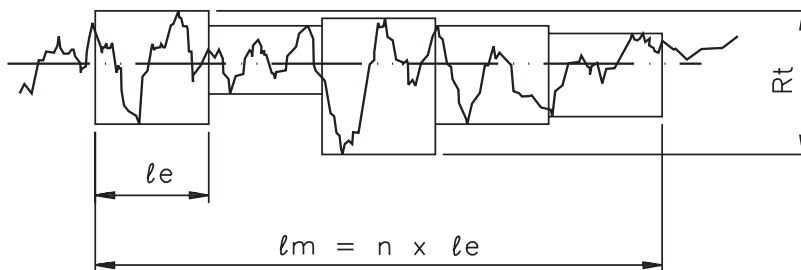


Diversas formas de rugosidade podem ter o mesmo valor para R_y .

Observação: O parâmetro R_y substitui o parâmetro $R_{m\acute{a}x}$.

Rugosidade total (R_t)

Corresponde à distância vertical entre o pico mais alto e o vale mais profundo no comprimento de avaliação (l_m), independentemente dos valores de rugosidade parcial (Z_i). Na figura abaixo, pode-se observar que o pico mais alto está no retângulo Z_1 , e que o vale mais fundo encontra-se no retângulo Z_3 . Ambos configuram a profundidade total da rugosidade R_t .



Rugosidade R_t . Distância entre pico mais alto e vale mais fundo.

O parâmetro R_t tem o mesmo emprego do R_y , mas com maior rigidez, pois considera o comprimento de amostra igual ao comprimento de avaliação.

Vantagens do parâmetro R_t

É mais rígido na avaliação que o R_y , pois considera todo o comprimento de avaliação e não apenas o comprimento de amostragem (1 valor de *cut off*).

É mais fácil para obter o gráfico de superfície do que com o parâmetro R_y . Tem todas as vantagens indicadas para o R_y .

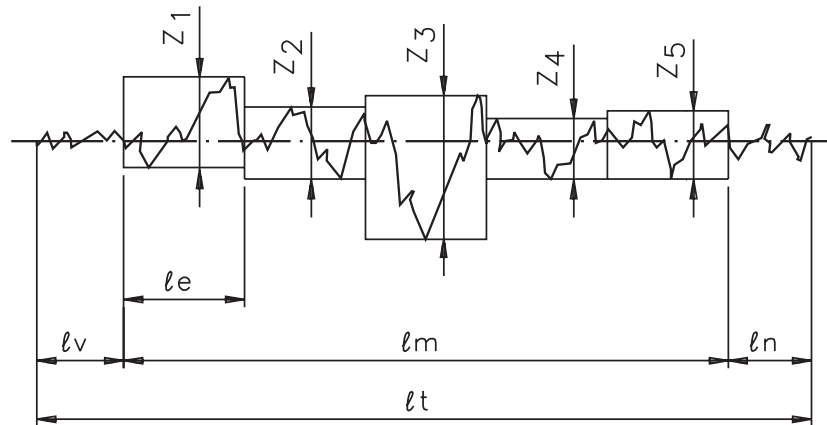
Desvantagem do parâmetro R_t

Em alguns casos, a rigidez de avaliação leva a resultados enganosos.

Rugosidade média (R_z)

Corresponde à média aritmética dos cinco valores de rugosidade parcial. Rugosidade parcial (Z_i) é a soma dos valores absolutos das ordenadas dos pontos de maior afastamento, acima e abaixo da linha média, existentes no comprimento de amostragem (*cut off*). Na representação gráfica do perfil, esse valor corresponde à altura entre os pontos máximo e mínimo do perfil, no comprimento de amostragem (l_e). Ver figura a seguir.

$$R_z = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5}$$



Rugosidade parcial Z_i para definir R_z .

O parâmetro R_z pode ser empregado nos seguintes casos:

- Pontos isolados não influenciam na função da peça a ser controlada. Por exemplo: superfícies de apoio e de deslizamento, ajustes prensados etc.;
- Em superfícies onde o perfil é periódico e conhecido.

Vantagens do parâmetro R_z

Informa a distribuição média da superfície vertical.

É de fácil obtenção em equipamentos que fornecem gráficos.

Em perfis periódicos, define muito bem a superfície.

Riscos isolados serão considerados apenas parcialmente, de acordo com o número de pontos isolados.

Desvantagens do parâmetro R_z

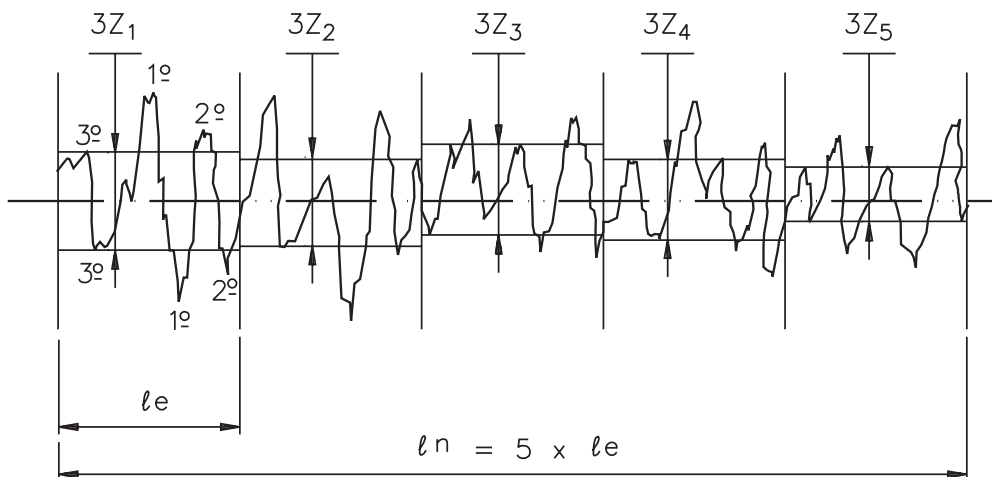
Em algumas aplicações, não é aconselhável a consideração parcial dos pontos isolados, pois um ponto isolado acentuado será considerado somente em 20%, mediante a divisão de $\frac{1}{5}$.

Assim como o R_y , não possibilita nenhuma informação sobre a forma do perfil, bem como da distância entre as ranhuras.

Nem todos os equipamentos fornecem esse parâmetro.

Rugosidade média do terceiro pico e vale (R_{3Z})

Consiste na média aritmética dos valores de rugosidade parcial ($3Z_i$), correspondentes a cada um dos cinco módulos (*cut off*). Em cada módulo foram traçadas as distâncias entre o terceiro pico mais alto e o terceiro vale mais fundo, em sentido paralelo à linha média. Na figura abaixo ilustram-se os cinco módulos com os valores $3Z_i$ ($i =$ de 1 a 5).



$$R_{3Z} = \frac{3Z_1 + 3Z_2 + 3Z_3 + 3Z_4 + 3Z_5}{5}$$

O parâmetro R_{3Z} pode ser empregado em:

- Superfícies de peças sinterizadas;
- Peças fundidas e porosas em geral.

Vantagens do parâmetro R_{3Z}

Desconsidera picos e vales que não sejam representativos da superfície. Caracteriza muito bem uma superfície que mantém certa periodicidade do perfil ranhurado.

É de fácil obtenção com equipamento que forneça gráfico.

Desvantagens do parâmetro R_{3Z}

Não possibilita informação sobre a forma do perfil nem sobre a distância entre ranhuras.

Poucos equipamentos fornecem o parâmetro de forma direta.

Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Exercícios

Marque com X a resposta correta.

Exercício 1

O parâmetro de avaliação da rugosidade mais usado é:

- a) Rz;
- b) Ra;
- c) Rt;
- d) Ry.

Exercício 2

A classe N4 corresponde a uma rugosidade Ra igual a 0,2 mm. Com esses valores recomenda-se um comprimento de amostragem (*cut off*) igual a:

- a) 8,00 mm;
- b) 2,50 mm;
- c) 0,25 mm;
- d) 0,80 mm.

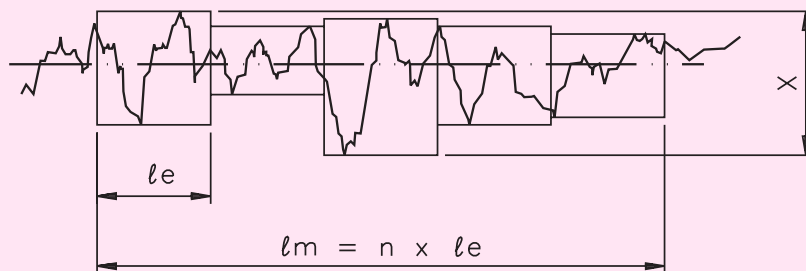
Exercício 3

Para medir a rugosidade de uma superfície de peças sinterizadas utiliza-se o parâmetro:

- a) Rz;
- b) Rt;
- c) Ra;
- d) R_{3Z} .

Exercício 4

A cota representada com X na figura abaixo corresponde a:



- a) Ry;
- b) R_{3Z} ;
- c) Ra;
- d) Rt.

Representação de rugosidade

Um problema




Existem vários tipos de superfície de peças. Qual o melhor meio para identificar rapidamente cada um desses tipos e o estado das superfícies?

Essa questão foi resolvida com símbolos convencionados, representados por desenhos técnicos. Vamos conhecer essa simbologia?

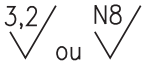
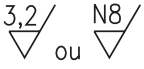
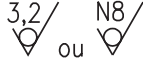
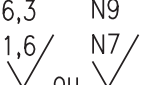
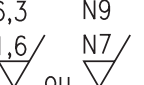

Simbologia: Norma ABNT - NBR 8404/1984


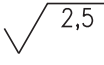


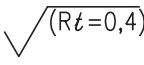
A Norma ABNT - NBR 8404 fixa os símbolos e indicações complementares para a identificação do estado de superfície em desenhos técnicos.

QUADRO 1: SÍMBOLO SEM INDICAÇÃO



SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Símbolo básico; só pode ser usado quando seu significado for complementado por uma indicação.
	Caracteriza uma superfície usinada, sem mais detalhes.
	Caracteriza uma superfície na qual a remoção de material não é permitida e indica que a superfície deve permanecer no estado resultante de um processo de fabricação anterior, mesmo se ela tiver sido obtida por usinagem.

QUADRO 2: SÍMBOLOS COM INDICAÇÃO DA CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DA RUGOSIDADE, RA

SÍMBOLO			SIGNIFICADO
A remoção do material é:			
facultativa	exigida	não permitida	
			Superfície com rugosidade de valor máximo Ra=3,2mm.
			Superfície com rugosidade de valor máximo Ra=6,3mm mínimo Ra = 1,6mm.

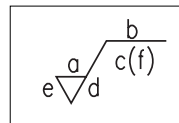
QUADRO 3: SÍMBOLOS COM INDICAÇÕES COMPLEMENTARES	
SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Processo de fabricação: fresar.
	Comprimento de amostragem <i>cut off</i> = 2,5 mm.
	Direção das estrias: perpendicular ao plano; projeção da vista.
	Sobremetal para usinagem = 2mm.
	Indicação (entre parênteses) de um outro parâmetro de rugosidade diferente de Ra, por exemplo, Rt = 0,4 mm.

Esses símbolos podem ser combinados entre si, ou utilizados em combinação com os símbolos que tenham a indicação da característica principal da rugosidade Ra.

QUADRO 4: SÍMBOLOS PARA INDICAÇÕES SIMPLIFICADAS	
SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Uma indicação complementar explica o significado do símbolo.
	Uma indicação complementar explica o significado dos símbolos.

Indicações do estado de superfície no símbolo

Cada uma das indicações do estado de superfície é disposta em relação ao símbolo.



a = valor da rugosidade Ra, em mm, ou classe de rugosidade N1 até N12

b = método de fabricação, tratamento ou revestimento

c = comprimento de amostra, em milímetro (*cut off*)

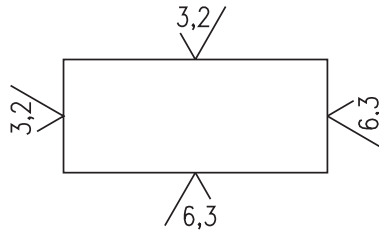
d = direção de estrias

e = sobremetal para usinagem, em milímetro

f = outros parâmetros de rugosidade (entre parênteses)

Indicação nos desenhos

Os símbolos e inscrições devem estar orientados de maneira que possam ser lidos tanto com o desenho na posição normal como pelo lado direito.



Direção das estrias

QUADRO 5: SÍMBOLO PARA DIREÇÃO DAS ESTRIAS

SÍMBOLO	INTERPRETAÇÃO	
=	Paralela ao plano de projeção da vista sobre o qual o símbolo é aplicado.	
^	Perpendicular ao plano de projeção da vista sobre o qual o símbolo é aplicado.	
X	Cruzadas em duas direções oblíquas em relação ao plano de projeção da vista sobre o qual o símbolo é aplicado.	
M	Muitas direções.	
C	Aproximadamente central em relação ao ponto médio da superfície ao qual o símbolo é referido.	
R	Aproximadamente radial em relação ao ponto médio da superfície ao qual o símbolo é referido.	

Se for necessário definir uma direção das estrias que não esteja claramente definida por um desses símbolos, ela deve estar descrita no desenho por uma nota adicional.

A direção das estrias é a direção predominante das irregularidades da superfície, que geralmente resultam do processo de fabricação utilizado.

Rugosímetro

O rugosímetro é um aparelho eletrônico amplamente empregado na indústria para verificação de superfície de peças e ferramentas (rugosidade). Assegura um alto padrão de qualidade nas medições. Destina-se à análise dos problemas relacionados à rugosidade de superfícies.

Aparelhos eletrônicos

Inicialmente, o rugosímetro destinava-se somente à avaliação da rugosidade ou textura primária. Com o tempo, apareceram os critérios para avaliação da textura secundária, ou seja, a ondulação, e muitos aparelhos evoluíram para essa nova tecnologia. Mesmo assim, por comodidade, conservou-se o nome genérico de rugosímetro também para esses aparelhos que, além de rugosidade, medem a ondulação.

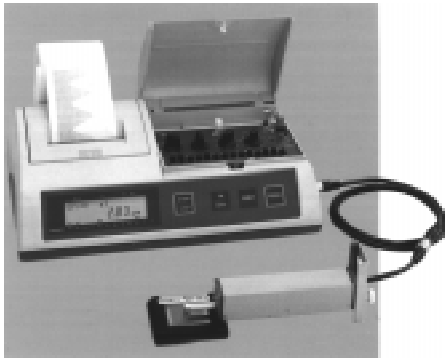
Os rugosímetros podem ser classificados em dois grandes grupos:

- Aparelhos que fornecem somente a leitura dos parâmetros de rugosidade (que pode ser tanto analógica quanto digital).
- Aparelhos que, além da leitura, permitem o registro, em papel, do perfil efetivo da superfície.

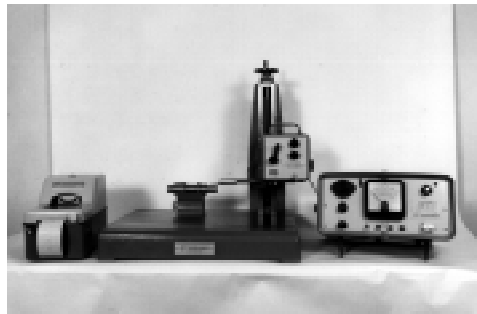
Os primeiros são mais empregados em linhas de produção, enquanto os segundos têm mais uso nos laboratórios, pois também apresentam um gráfico que é importante para uma análise mais profunda da textura superficial.



rugosímetro portátil digital



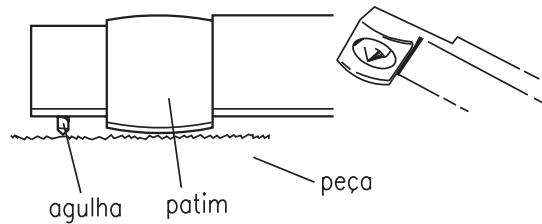
rugosímetro digital
com registro gráfico incorporado



sistema para avaliação de textura superficial
(análogo)

Os aparelhos para avaliação da textura superficial são compostos das seguintes partes:

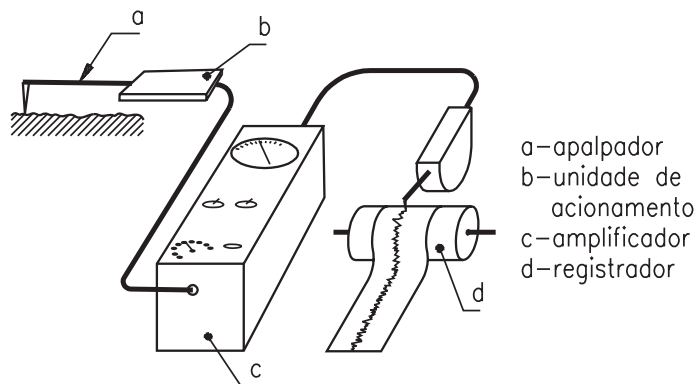
Apalpador - Também chamado de "pick-up", desliza sobre a superfície que será verificada, levando os sinais da agulha apalpadora, de diamante, até o amplificador.



Unidade de acionamento - Desloca o apalpador sobre a superfície, numa velocidade constante e por uma distância desejável, mantendo-o na mesma direção.

Amplificador - Contém a parte eletrônica principal, dotada de um indicador de leitura que recebe os sinais da agulha, amplia-os, e os calcula em função do parâmetro escolhido.

Registrador - É um acessório do amplificador (em certos casos fica incorporado a ele) e fornece a reprodução, em papel, do corte efetivo da superfície.



esquema de funcionamento de um rugosímetro

Processo da determinação da rugosidade

Esse processo consiste, basicamente, em percorrer a rugosidade com um apalpador de formato normalizado, acompanhado de uma guia (patim) em relação ao qual ele se move verticalmente.

Enquanto o apalpador acompanha a rugosidade, a guia (patim) acompanha as ondulações da superfície. O movimento da agulha é transformado em impulsos elétricos e registrados no mostrador e no gráfico.

Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Exercícios

Marque com X a resposta correta.

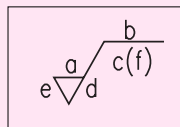
Exercício 1

De acordo com o símbolo $\sqrt[3,2]{\nabla}$ da NBR 8404:

- a) () a remoção de cavaco é exigida, e a superfície com rugosidade R_a mede 3,2 mm;
- b) () a remoção de cavaco é facultativa, e a superfície com rugosidade mede $R_a = 3,2$ mm;
- c) () a remoção de cavaco não é permitida, e a superfície com rugosidade mede $R_a = 3,2$ mm;
- d) () a rugosidade é caracterizada por uma superfície usinada, sem mais detalhes.

Exercício 2

No símbolo da figura abaixo, a letra “e” significa:



- a) () método de fabricação;
- b) () valor da rugosidade em R_a ;
- c) () direção das estrias;
- d) () sobremetal para usinagem, em milímetro (mm).

Exercício 3

Quanto ao símbolos para direção das estrias, volte ao **Quadro 5** e diga o que significa símbolo “M”:

- a) () perpendicular ao plano de projeção;
- b) () paralela ao plano de projeção;
- c) () muitas direções;
- d) () cruzadas em duas direções oblíquas.

Exercício 4

As partes principais de um aparelho para medir rugosidade são:

- a) () apalpador, patim, *cut off*;
- b) () apalpador, unidade de acionamento, amplificador, registrador;
- c) () amplificador, *cut off*, agulha;
- d) () filtro, unidade de acionamento, registrador, *cut off*.

Projetores

Um problema

Quando uma peça é muito pequena, fica difícil visualizar seu perfil e verificar suas medidas com os aparelhos e instrumentos já vistos.

Esse problema é resolvido com os projetores de perfil. Vamos conhecer melhor esse aparelho?

Introdução

Os meios óticos de medição foram empregados, no início, como recurso de laboratório, para pesquisas etc. Pouco a pouco, foram também conquistando as oficinas, nas quais resolvem problemas, facilitam a produção e melhoram a qualidade dos produtos. Hoje, os projetores já trabalham ao lado das máquinas operatrizes ou, muitas vezes, sobre elas, mostrando detalhes da própria peça durante a usinagem.

Característica e funcionamento

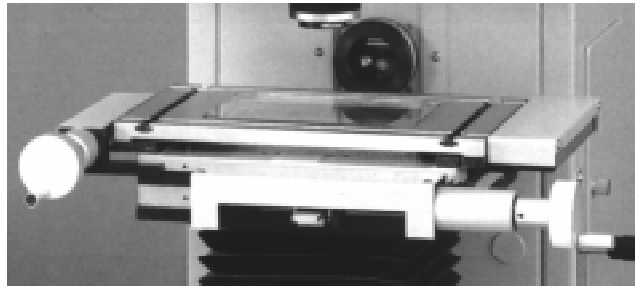
O projetor de perfil destina-se à verificação de peças pequenas, principalmente as de formato complexo. Ele permite projetar em sua tela de vidro a imagem ampliada da peça.



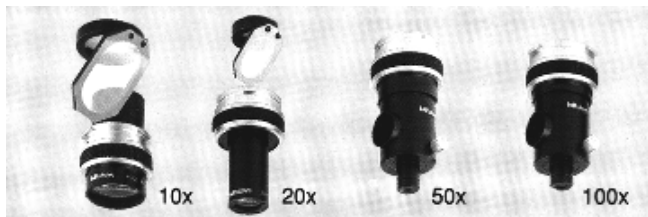
projektor de perfil

Esta tela possui gravadas duas linhas perpendiculares, que podem ser utilizadas como referência nas medições.

O projetor possui uma mesa de coordenadas móvel com dois cabeçotes micrométricos, ou duas escalas lineares, posicionados a 90° .



Ao colocar a peça que será medida sobre a mesa, obtemos na tela uma imagem ampliada, pois a mesa possui uma placa de vidro em sua área central que permite que a peça seja iluminada por baixo e por cima simultaneamente, projetando a imagem na tela do projetor. O tamanho original da peça pode ser ampliado 5, 10, 20, 50 ou 100 vezes por meio de lentes intercambiáveis, o que permite a verificação de detalhes da peça em vários tamanhos.

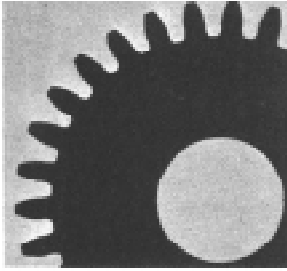


Em seguida, move-se a mesa até que uma das linhas de referência da tela tangencie o detalhe da peça e zera-se o cabeçote micrométrico (ou a escala linear). Move-se novamente a mesa até que a linha de referência da tela tangencie a outra lateral do detalhe verificado. O cabeçote micrométrico (ou a escala linear) indicará a medida.

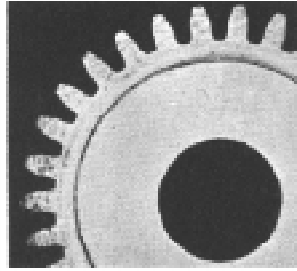
O projetor de perfil permite também a medição de ângulos, pois sua tela é rotativa e graduada de 1° a 360° em toda a sua volta. A leitura angular se faz em um nônio que permite resolução de $10'$. (Nos projetores mais modernos a indicação é digital).

Outra maneira de verificação pode ser utilizando um desenho da peça feito em acetato transparente e fixado na tela do projetor.

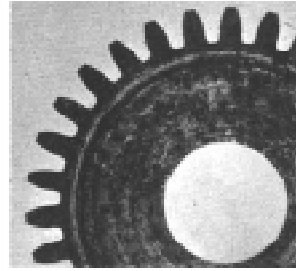




diascópica



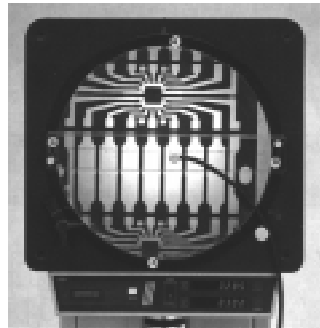
episcópica



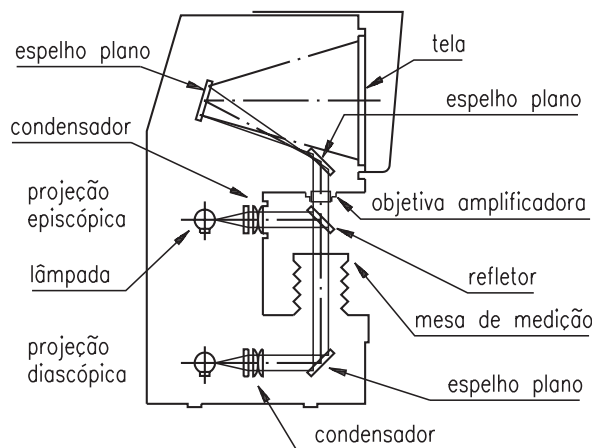
ambas

Projeção diascópica (contorno)

Na projeção diascópica, a iluminação transpassa a peça que será examinada. Com isso, obtemos na tela uma silhueta escura, limitada pelo perfil que se deseja verificar.



Para que a imagem não fique distorcida, o projetor possui diante da lâmpada um dispositivo óptico chamado condensador. Esse dispositivo concentra o feixe de luz sob a peça. Os raios de luz, não detidos por ela, atravessam a objetiva amplificadora. Desviados por espelhos planos, passam, então, a iluminar a tela.



A projeção diascópica é empregada na medição de peças com contornos especiais, tais como pequenas engrenagens, ferramentas, roscas etc.

Projeção episcópica (superfície)

Nesse sistema, a iluminação se concentra na superfície da peça, cujos detalhes aparecem na tela. Eles se tornam ainda mais evidentes se o relevo for nítido e pouco acentuado. Esse sistema é utilizado na verificação de moedas, circuitos impressos, gravações, acabamentos superficiais etc.



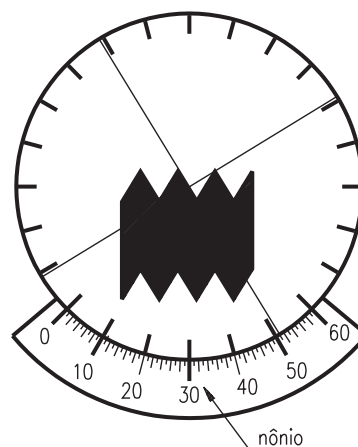
Quando se trata de peças planas, devemos colocar a peça que será medida sobre uma mesa de vidro. As peças cilíndricas com furo central, por sua vez, devem ser fixadas entre pontas.

Medição de roscas

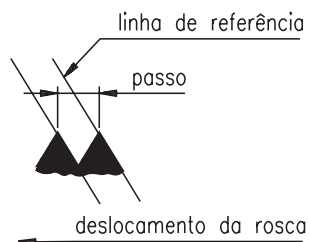
Podemos usar o projetor de perfil também para medir roscas. Para isso, basta fixar entre pontas e inclinar a rosca que se quer medir.



Não devemos esquecer que uma das referências da tela deve ser alinhada com o perfil da rosca. O ângulo que ela faz com a direção 0° é lido na escala da tela e no nônio.



Para determinar o passo, basta deslocar a rosca por meio de um micrômetro. Isso deve ser feito de modo que a linha de referência coincida, primeiro, com o flanco de um filete e, depois, com o flanco do outro filete, os quais aparecem na tela.



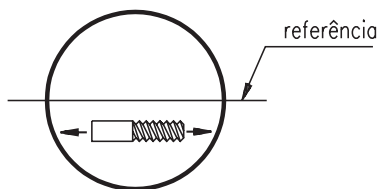
A medida do passo corresponde, portanto, à diferença das duas leituras do micrômetro.

Exemplo: leitura inicial: 5,000 mm
 após o segundo alinhamento: 6,995 mm
 passo = 6,995 – 5,000
 passo = 1,995 mm

Montagem e regulação

Vejamos, agora, como se monta e regula um projetor de perfil:

1. Em primeiro lugar, devemos selecionar a objetiva que permita visualizar com nitidez o detalhe da peça.
2. A seguir, posicionamos a chave que permite a projeção episcópica, diascópica ou ambas.
3. Regulamos o foco com a movimentação vertical da mesa.
4. É necessário, então, alinhar a peça sobre a mesa. Isso deve ser feito de modo que a imagem do objeto na tela se desloque paralelamente ao eixo de referência.



Observação – No caso de projeção episcópica, devemos posicionar o feixe de luz sobre a peça; em seguida, colocamos o filtro que protege a visão do operador; e, por fim, regulamos a abertura do feixe de luz.

Conservação

- Limpar a mesa de vidro e a peça que será examinada com benzina ou álcool.
- Limpar as partes ópticas com álcool isopropílico somente quando necessário.
- Manter as objetivas cobertas e em lugar bem seco quando o aparelho não estiver em uso.
- Lubrificar as peças móveis com óleo fino apropriado.
- Limpar as partes expostas, sem pintura, com benzina, e untá-las com vaselina líquida misturada com vaselina pastosa.

Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Exercícios

Marque com X a resposta correta.

Exercício 1

O projetor de perfil se destina a:

- a) () medir peças complexas;
- b) () medir peças grandes com formato complexo;
- c) () verificar peças pequenas com formato complexo;
- d) () verificar rugosidade.

Exercício 2

A ampliação mínima obtida num projetor de perfil é:

- a) () 10 vezes;
- b) () 20 vezes;
- c) () 50 vezes;
- d) () 5 vezes.

Exercício 3

O sistema de projeção diascópica e episcópica faz, respectivamente, projeções:

- a) () de superfície e de contorno;
- b) () angular e linear;
- c) () de contorno e angular;
- d) () de contorno e de superfície.

Máquina universal de medir

Um problema

A produção em série requer o emprego de muitos calibradores para produzir peças dentro das tolerâncias estabelecidas.

É indispensável, porém, calibrar os calibradores em intervalos de tempo regulares e freqüentes. Tais calibrações podem ser feitas por medições comparativas, utilizando calibradores de referência ou blocos-padrão, os quais, por sua vez, devem ser calibrados. Esse método, porém, não elimina erros, pois os calibradores e os blocos-padrão também estão sujeitos a alterações e/ou desgastes.

A ilustração a seguir mostra alguns exemplos de peças e calibradores que podem ser medidos por máquinas universais de medir.



A máquina universal de medir

A máquina universal de medir corresponde às mais altas exigências de laboratório. Ela permite medir em coordenadas retangulares e, por meio de acessórios adicionais, também uma terceira coordenada, possibilitando, assim, a verificação não só no plano mas também no espaço. Medições angulares são feitas com o uso da mesa circular e dos cabeçotes divisores.

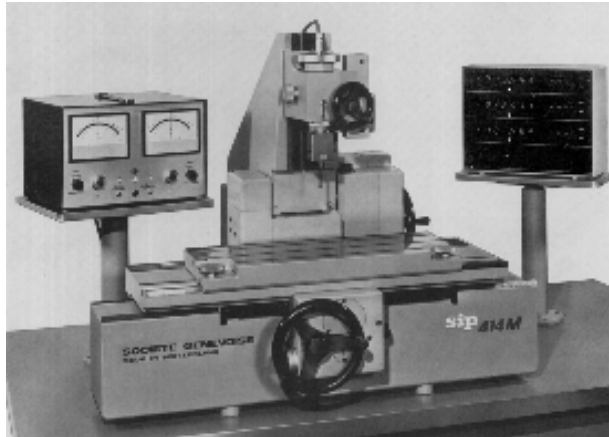
Todas as medições são realizadas com réguas-padrão, e as respectivas leituras são observadas no microscópio micrométrico ou no contador digital.

Graças a seus acessórios, são várias as possibilidades de emprego da máquina de medir. Ela presta bons serviços na calibração de calibradores e de ferramentas de todos os tipos. Além disso, é utilizada durante a fabricação ou antes da montagem de peças ou de agregados.

Características

A máquina universal de medir é um aparelho robusto, versátil e com alta exatidão.

Sua estrutura consiste de uma base rígida de ferro fundido, munida de superfície prismática, que permite movimento uniforme e uma resolução de 0,5 mm.



máquina de medição universal com três coordenadas

De acordo com os nossos objetivos, podemos adaptar diversos acessórios à máquina de medir. Dessa maneira, é possível fazer a medição externa e interna de diâmetros, roscas etc.

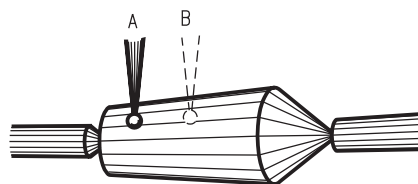
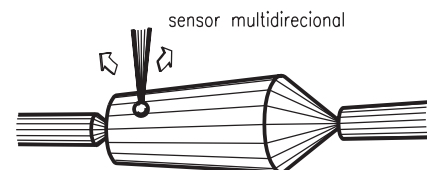
A máquina universal de medir é sensível a vibrações e variações de temperatura. Por isso, é utilizada em laboratórios de metrologia, sobre uma base especial. Além disso, a temperatura do laboratório deve ser mantida em 20°C.

Partes componentes e funcionamento

Sensor multidirecional

O sensor multidirecional é um equipamento auxiliar da máquina universal de medir. Por meio dele é possível determinar as dimensões lineares e angulares nas peças de formato complexo.

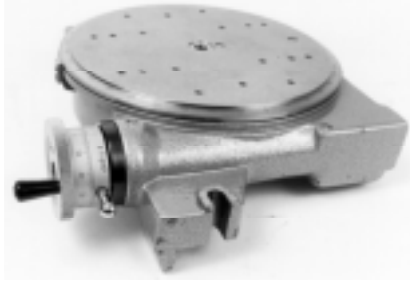
Utilizando esse processo, podemos determinar, por exemplo, o ângulo de uma peça cônica. Em primeiro lugar, coloca-se a peça entre pontas, alinhando-a corretamente. Depois, ajusta-se o sensor de modo que se desloque ao longo do centro da peça, fazendo a leitura no contador digital.



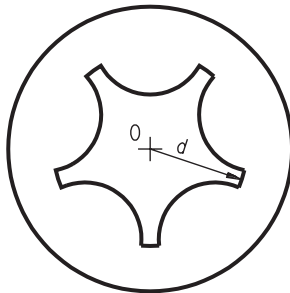
No caso de peça cônica, as medidas podem ser feitas em dois pontos diferentes. A partir desses valores, aplicamos cálculos trigonométricos e obtemos o ângulo da peça.

Mesa giratória

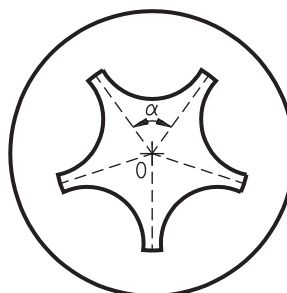
Como mostra a figura abaixo, a mesa giratória é um suporte circular. Em alguns modelos, é possível deslocar esse suporte para determinado ângulo, cuja medida pode ser feita com resolução de até 10 segundos de grau.



A mesa giratória é um recurso que, em conjunto com acessórios auxiliares da máquina universal, permite determinar medidas lineares e angulares.



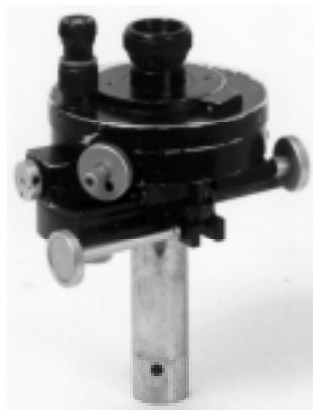
Medidas lineares



Medidas angulares

Microscópio goniométrico

A figura abaixo mostra o microscópio goniométrico. É um acessório que faz medições angulares. Além da escala em graus e minutos, possui linhas de referência que podem ser alinhadas com os detalhes da peça que será medida.



Com um dispositivo de regulagem fina, é possível deslocar a placa goniométrica para determinado ângulo. As linhas de referências podem ser alinhadas, por exemplo, com o flanco de um filete. O ângulo de giro é lido com a ajuda de um pequeno microscópio auxiliar, pelo qual podemos verificar até um minuto de grau, com um nônio.

Medição de roscas

A medição de roscas pode ser feita usando-se o microscópio com sensor multidirecional ou o microscópio para referência ou, ainda, o microscópio goniométrico.

Essa medição é feita de várias maneiras:

- Com o uso de contrapontas, centralizamos a rosca que pode ser medida com o microscópio ou com o sensor.
- Com arames calibrados, podemos determinar a medida da rosca por meio de cálculos trigonométricos.



Conservação

- Como sua base é rasqueteada, antes de colocar qualquer dispositivo em seus trilhos, limpá-los, removendo as partículas que possam riscar.
- Após usar o aparelho, mantê-lo sempre coberto, evitando poeira etc.
- Limpar com benzina as partes metálicas expostas, sem pintura, e mantê-las lubrificadas com uma mistura de vaselina líquida com vaselina pastosa.
- Lubrificar a máquina com óleo especial, que deve ser colocado nos pontos indicados pelo fabricante.
- Limpar as partes ópticas com álcool isopropílico, evitando tocá-las com os dedos.

Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Marque com X a resposta correta.

Exercícios 1

A principal finalidade da máquina universal de medir é:

- a) medir engrenagens;
- b) medir somente peças pequenas;
- c) medir qualquer tipo de peça;
- d) calibrar calibradores-padrão.

Exercícios 2

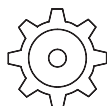
A máquina universal de medir é altamente confiável porque:

- a) sua resolução é de 0,01 mm;
- b) possui base rígida, réguas-padrão, e sua resolução é de 0,5 mm;
- c) possui baixa sensibilidade a vibrações e variações de temperatura;
- d) sua temperatura de trabalho é de 20°C.

Exercícios 3

O acessório responsável pelas dimensões lineares e angulares e de formato complexo na máquina universal de medir é denominado:

- a) microscópio com vernier;
- b) sensor multidirecional;
- c) mesa giratória;
- d) microscópio goniométrico.

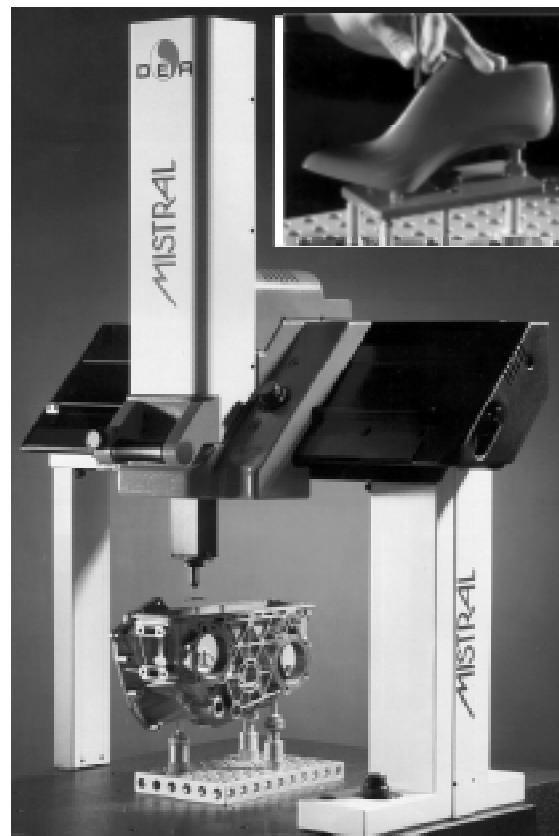


Medição tridimensional

Um problema

O controle de qualidade dimensional é tão antigo quanto a própria indústria, mas somente nas últimas décadas vem ocupando a importante posição que lhe cabe. O aparecimento de sistemas de medição tridimensional significa um grande passo nessa recuperação e traz importantes benefícios, tais como aumento da exatidão, economia de tempo e facilidade de operação, especialmente depois da incorporação de sistemas de processamento de dados.

Em alguns casos, constatou-se que o tempo de medição gasto com instrumentos de medição convencionais ficou reduzido a um terço com a utilização de uma máquina de medir coordenadas tridimensional MMC manual sem computador, e a um décimo com a incorporação do computador.

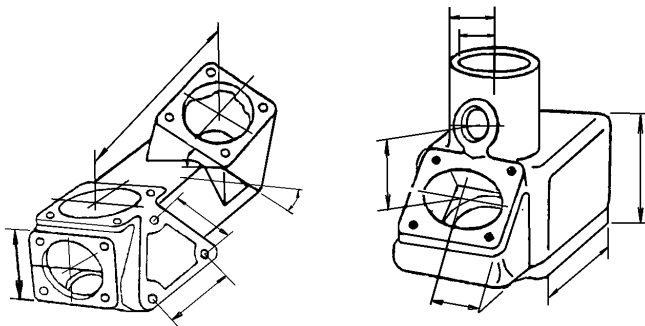


O projeto de novas máquinas exige níveis de perfeição cada vez mais altos, tanto no aspecto dimensional quanto no que se refere à forma e à posição geométrica de seus componentes. Ao lado disso, a indústria vem incorporando recursos de fabricação cada vez mais sofisticados, rápidos e eficientes. Dentro dessa realidade dinâmica, surgiu a técnica de medição tridimensional, que possibilitou um trabalho de medição antes impossível por meios convencionais ou, então, feito somente com grande esforço técnico e/ou com grande gasto de tempo.

Esta aula tem como objetivo apresentar, de modo sintético, o método de medição com a máquina de medir tridimensional e seus recursos periféricos, o que revela a influência que tal maneira de efetuar medições vem exercendo na verificação da qualidade da indústria atual, cada vez mais exigida para melhorar a qualidade de seus produtos e diminuir seus custos.

Especificação da qualidade dimensional - sentido tridimensional

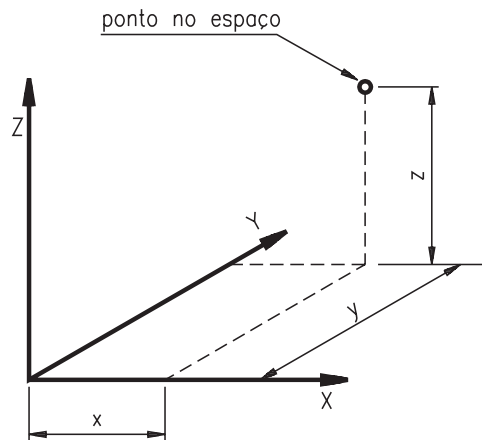
No detalhamento de um projeto mecânico, as especificações de forma, tamanho e posição estão contidas num sistema coordenado tridimensional. Entre as especificações, encontramos diâmetros, ângulos, alturas, distâncias entre planos, posição perpendicular, concentricidade, alinhamento etc. Para cada item requerido, deve-se procurar um meio de verificação. Por isso, para medir uma peça, tornam-se necessários diversos instrumentos, o que naturalmente leva a um acúmulo de erros, pois cada instrumento possui o seu erro, conforme norma de fabricação.



Exemplos de cotas tridimensionais

Conceito de medição tridimensional (X, Y, Z)

A definição dimensional de uma peça é feita geometricamente no espaço tridimensional. Esse espaço é caracterizado por três eixos perpendiculares entre si - chamados **X**, **Y**, **Z** - e que definem um sistema coordenado de três dimensões. Assim, um ponto no espaço é projetado no plano de referência, onde se definem duas coordenadas (**X**, **Y**) e a terceira corresponde à altura perpendicular a esse plano (**Z**).



XYZ = Eixos do sistema tridimensional
xyz = cotas tridimensionais

SISTEMA COORDENADO TRIDIMENSIONAL

Máquina de medir coordenadas tridimensional MMC manual

Princípio de funcionamento e sistema de leitura

A MMC manual consiste de uma base de referência rigorosamente plana, sobre a qual desliza horizontalmente um corpo guiado no sentido "Y". Esse corpo possui, por sua vez, outro corpo que desliza horizontalmente, e é perpendicular ao anterior, no sentido "X". Finalmente, há um terceiro corpo que se movimenta verticalmente, e é perpendicular aos anteriores, no sentido "Z".

No lado externo inferior do eixo vertical "Z" é acoplado um sensor especial (mecânico, eletrônico ou óptico) que entrará em contato com a peça que será medida, movimentando-se de acordo com a capacidade da máquina.



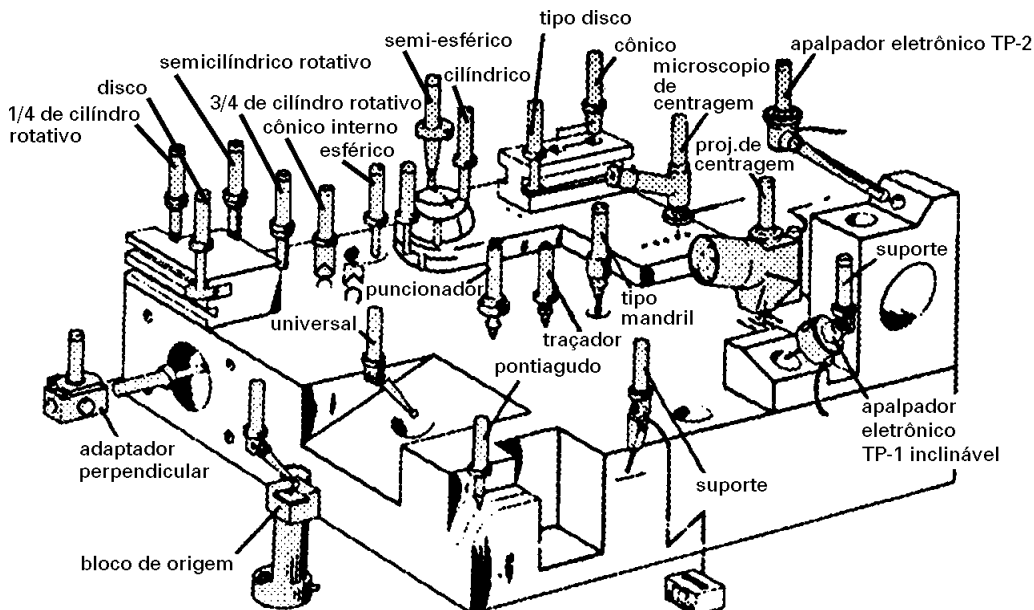
O movimento de cada eixo é registrado por um sistema de leitura eletrônico mostrado digitalmente. Esse sistema de leitura oferece a possibilidade de zeragem em qualquer posição; introdução de cota pré-selecionada no indicador de qualquer eixo; e, geralmente, é possível o acoplamento de um sistema de processamento de dados (SPD).

Os sensores são acoplados ao extremo inferior do eixo vertical (Z). São de vários tipos, e sua seleção deve estar de acordo com a geometria, o tamanho e o grau de exatidão da peça.

Sensores mecânicos – São sensores rígidos, geralmente fabricados de aço temperado, com diversas formas geométricas em sua extremidade de contato, para permitir fácil acesso ao detalhe da peça que será verificada. Uma vez realizado o contato na peça, os sensores devem se manter fixos para se fazer a leitura no sistema de contagem digital. Os mais comuns são cônicos, cilíndricos, com esfera na ponta e tipo disco.

Sensores eletrônicos – São unidades de apalpamento muito sensíveis, ligadas eletronicamente aos contadores digitais. Ao fazer contato com a peça que será medida, a ponta de medição, por efeito de uma pequena pressão, desloca-se angularmente e produz um sinal elétrico (e acústico) que congela a indicação digital, mostrando o valor da coordenada de posição do sensor. Quando se utilizam sistemas de processamento de dados, esse sinal permite que o valor indicado no contador digital seja analisado pelo computador.

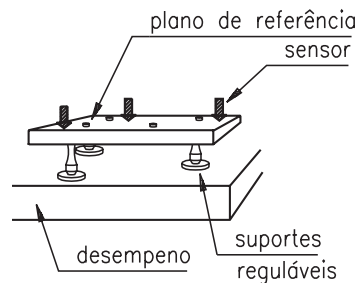
Sensores ópticos – Quando a peça ou um detalhe dela é muito pequeno, impossibilitando a utilização de sensores normais, o ponto de medição pode ser determinado com o auxílio de microscópio ou projetor de centrar, acoplado do mesmo modo que os outros sensores. Nesse caso, o sinal elétrico para definir as coordenadas é emitido com o auxílio de um pedal.



Método de medição com a MMC manual (sem SPD)

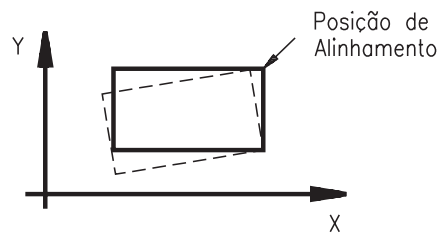
Depois de tomar as devidas providências em relação à limpeza e à verificação do posicionamento da peça em relação aos três eixos coordenados da máquina, utiliza-se o método de medição a seguir:

- **Nivelamento** – O plano de referência da peça deve ficar paralelo ao plano de medição da mesa. A peça deve estar apoiada em três suportes reguláveis.



NIVELAMENTO DE PLANO

- **Alinhamento** – Os eixos de referência da peça devem ficar paralelos aos eixos da máquina.



- **Determinação do ponto de origem** – Com o sensor mais adequado encostado na peça, procede-se ao zeramento dos contadores digitais. Feito isso, cada novo ponto apalpado terá suas coordenadas indicadas nos contadores digitais, bastando fazer as leituras correspondentes e compensar o diâmetro do sensor.

Benefícios da MMC manual (sem SPD)

Principais benefícios em relação ao processo de medição com instrumentos convencionais:

- Maior exatidão final, devido à substituição de diversos instrumentos de medição convencional, o que diminui o erro acumulado.
- Redução considerável do tempo de medição e manipulação da peça.
- Simplicidade de operação e leitura.

Quando acoplado à MMC, o computador recebe os sinais eletrônicos que definem as três coordenadas de um ou mais pontos no espaço e, com elas, efetua cálculos matemáticos de acordo com instruções gravadas em seu programa de medição. Esse programa é elaborado pelo fabricante. Cabe ao operador determinar a seqüência de medição que seja a mais conveniente, com a diferença de que, neste caso, os dados para cálculo são entregues diretamente pelo sensor que está em contato com a peça. O computador processará essas informações, mostrando no vídeo e/ou na impressora as dimensões da peça.

Configuração e conexão de sistemas

Existem diversos tipos de construção para as máquinas de medir, obedecendo a critérios diferentes, tais como tamanho, forma da estrutura, tipo de movimentação etc. E o computador é uma outra variável que pode apresentar opções como capacidade de memória, programa de medição etc. As principais configurações são:

- **MMC manual assistida por computador** – Ao conjunto básico, formado pela MMC e seus contadores digitais eletrônicos, é acoplado um sistema de processamento de dados que permite a realização de cálculos geométricos, utilizando sensores eletrônicos.
- **MMC com movimentos motorizados assistida por computador** – Este sistema é particularmente útil na medição de peças de grande porte, para a quais se torna difícil o acesso do sensor movimentado pelo operador. A movimentação nos três eixos se faz com um controle remoto (*joy-stick*), porém a entrada de dados no computador é feita pelo sensor eletrônico.
- **MMC com movimentos controlados por CNC e comandada por computador** – Este sistema foi desenvolvido para medir peças complexas produzidas em série. O programa permite gravar uma seqüência de movimentos para percorrer a peça automaticamente e de maneira repetitiva. A movimentação manual para gravar a seqüência de movimentos é feita com controle remoto (*joy-stick*). Em geral, o sensor também possui movimentação motorizada, podendo mudar de posição para facilitar o acesso à peça e até trocar de sensor durante a medição.



Princípios básicos de medição com computador

As operações de nivelamento e alinhamento da peça em relação aos eixos coordenados da máquina tornam-se consideravelmente simples e rápidas com o uso do computador, pois não é necessário realizá-las fisicamente – o computador e seu programa compensam a posição. Para “nivelar” um plano, por exemplo, é suficiente acionar um comando no computador e fazer o sensor dar três toques na peça.

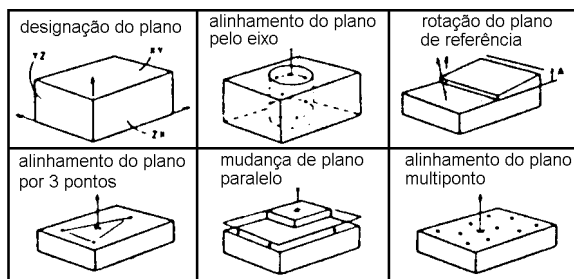
Diversos programas vêm sendo elaborados para processar os sinais elétricos procedentes do sistema de leitura digital. Entre esses programas estão os que permitem medições em diferentes planos da peça, sem mudar sua posição na mesa ou perder o sistema coordenado prestabelecido. Cada função (do programa) requer uma quantidade definida de pontos tocados. Por exemplo, para definir um plano, um círculo ou a distância entre duas retas paralelas, são necessários três pontos; para medir uma esfera são necessários, no mínimo, quatro pontos e assim por diante. Pode-se aumentar o número de pontos para melhorar a exatidão da medida.

Quando se utiliza um sensor com uma ponta esférica, é necessário introduzir a medida desse diâmetro na memória do computador, para que o programa a leve em conta, conforme o tipo de medição, e faça uma compensação automática do diâmetro do sensor.

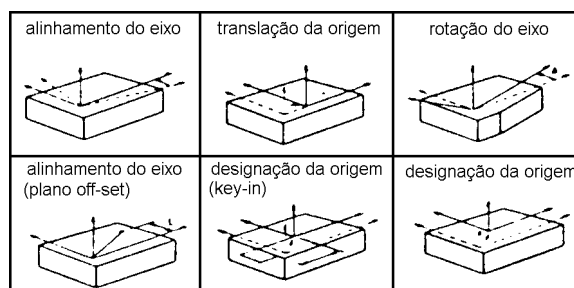
Programas de medição geométrica

Diversas funções do programa permitem definir, por meio de pontos tocados, os detalhes de medição necessários à peça. Para facilitar sua análise, classificaremos essas funções em três grupos principais, esclarecendo que cada uma precisa de determinado número de pontos. Assim, temos:

- **Funções para designar plano de referência**



- **Funções para designar ponto de origem e eixo de alinhamento**



- **Funções para medição indireta e combinação por meio de memórias**

círculo por 3 pontos 	cilindro 	localização de uma face 	ponto médio (bissetor) 	intersecção linha/círculo
intersecção linha/linha 	intersecção círculo/círculo 	inclinação de furo 	distância entre planos 	inclinação de superfície
esfera 	círculo sobre secção inclinada 	planeza 	círculo por multipontos 	intersecção de 3 pontos

Existem ainda outros tipos de programas mais específicos, como, por exemplo, o programa de contornos, que permite obter resultados por meio de gráficos impressos, e o programa estatístico, que permite obter resultados quando se processam lotes de peças seriadas.

Benefícios da MMC com computador

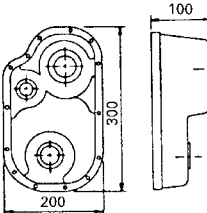
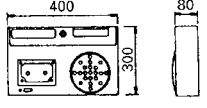
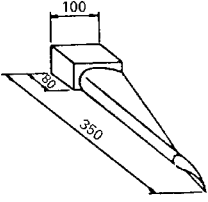
A técnica de medição tridimensional com auxílio de computador oferece uma série de benefícios:

- Grande redução do tempo de medição e de cálculos, especialmente em peças de geometria complexa.
- O sistema dispensa totalmente as operações de posicionamento físico da peça em relação ao sistema coordenado.
- A operação pode ser feita por qualquer pessoa que tenha conhecimentos básicos de metrologia, após um treinamento dado pelo fabricante quanto à utilização do software de medição.
- Aumento da exatidão da medição, pois o sistema dispensa não somente uma grande quantidade de instrumentos de medição como também a movimentação da peça no desempenho, e realiza a medição com uma pressão de contato constante.
- No caso de sistemas CNC, obtém-se maior exatidão final pois, com a movimentação automática, a interferência humana fica reduzida ao mínimo.

Comparativos de tempos de medição

Conforme o tipo de peça que será medida, seu tamanho, sua complexidade geométrica e a quantidade de detalhes, a relação de economia de tempo entre os sistemas convencional e tridimensional poderá variar consideravelmente.

A figura a seguir ilustra três casos diferentes. Neles fica evidente a substituição de diversos instrumentos do método convencional pela MMC e a diferença de tempos. A comparação é feita com máquina de movimentação manual com deslizamento sobre colchão de ar.

		CAIXA DE ENGRENAGENS	TAMPA RÁDIO GRAVADOR	PÁ DE TURBINA
DESENHO DA PEÇA				
ITENS DE MEDIÇÃO		Diâmetros, distâncias entre centros, localização de furos, alturas, etc.	Alturas, localização de furos, diâmetros, passos, distâncias entre centros, etc.	Passo, contorno por secção, alturas, etc.
MÉTODO CONVENCIONAL	INSTRUMENTOS	Paquímetro, micrômetro, padrão de altura, traçador, desempenho, bloco padrão, etc.	Calibrador de altura, bloco padrão, paquímetro, micrômetro, desempenho, etc.	Micrômetro padrão de altura, traçador, desempenho, relógios etc.
	TEMPO	5 horas	25 horas	30 horas
MÁQUINA DE MEDIR	UNID.BÁSICA	1,5 horas (1/3)	8 horas (1/3)	5 horas (1/6)
	COM COMPUTADOR	0,5 horas (1/10)	4 horas (1/6)	2 horas (1/15)

Conclusão

As realizações tecnológicas na área industrial estão muito ligadas ao aparecimento de novas necessidades. A metrologia acompanha, ou deve acompanhar, o progresso dos meios de fabricação.

A técnica de medição tridimensional permite o desempenho de tarefas da metrologia que antes implicavam um grande esforço. Em algumas aplicações, essa técnica representa a única opção de uma medição objetiva e reproduzível.

Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Exercícios

Marque com X a resposta correta.

Exercício 1

Os sistemas de medição tridimensional permitem fazer medições com a seguinte vantagem:

- a) () dispensa de operador;
- b) () aumento da exatidão;
- c) () redução de peças;
- d) () redução do espaço a dois eixos.

Exercício 2

A máquina de medir tridimensional MMC manual funciona nos seguintes sentidos:

- a) () W, X, Y;
- b) () X, K, Z;
- c) () X, Y, Z;
- d) () a, b, c.

Exercício 3

Para a medição tridimensional são usados sensores:

- a) () mecânicos, eletrônicos, ópticos;
- b) () ópticos, automáticos, eletrônicos;
- c) () eletrônicos, mecânicos, pneumáticos;
- d) () mecânicos, ópticos, digitais.

Exercício 4

No método de medição com a MMC manual são realizadas as seguintes operações:

- a) () alinhamento, determinação do ponto de acabamento, nivelamento;
- b) () determinação do ponto de origem, nivelamento, balanceamento;
- c) () nivelamento, alinhamento, determinação do ponto de fuga;
- d) () nivelamento, alinhamento, determinação do ponto de origem.

Exercício 5

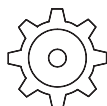
O sistema de processamento de dados acoplado à MMC é sempre assistido por:

- a) () processador;
- b) () sensor mecânico;
- c) () computador;
- d) () sensor eletrônico.

Exercício 6

Os programas de medição geométrica necessitam das seguintes funções:

- a) () designação de plano de referência, ponto de origem e eixo de alinhamento;
- b) () designação de planos, pontos e eixos de alinhamento;
- c) () tracejamento de linhas, referências e ponto de origem;
- d) () plotagem de referências, esquemas e ponto de origem.



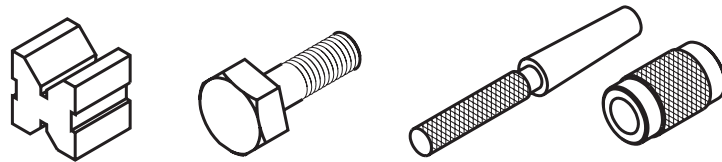
Controle trigonométrico

Um problema

Certos tipos de peças, devido à sua forma, não podem ser medidos diretamente. Essas medições exigem auxílio de peças complementares e controle trigonométrico, e é o assunto de nossa aula.

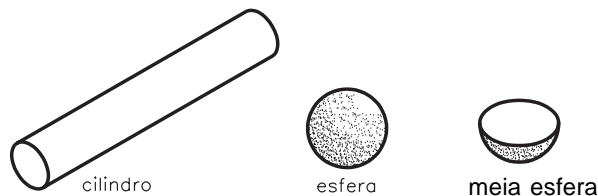
Medição com peças complementares

Por causa de sua forma, não é possível medir diretamente certos tipos de peças. Estamos nos referindo às peças prismáticas ou às chamadas peças de revolução, como, por exemplo, superfícies de prismas, com rasgo em V, calibradores cônicos, parafusos etc.

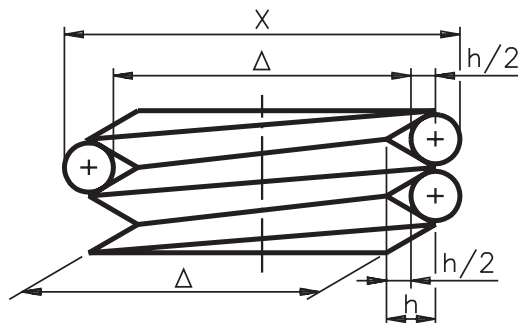
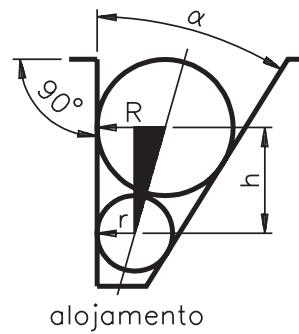
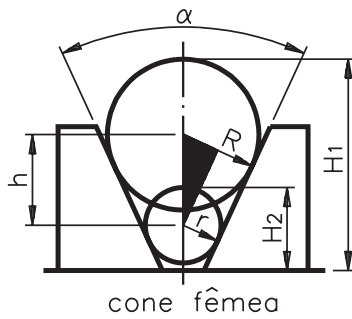
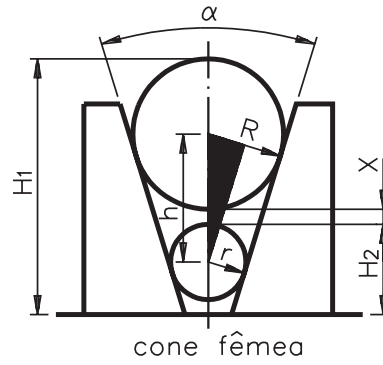
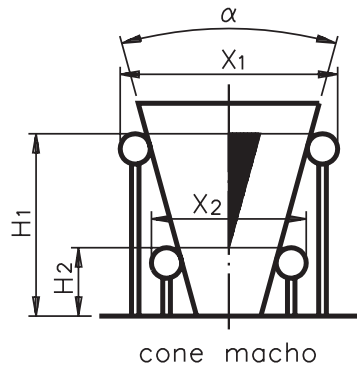


Existe, entretanto, um modo simples e confiável de medir essas peças. Trata-se de um processo muito empregado na verificação da qualidade.

Nesse processo de medição é que usamos as peças complementares, como cilindros, esferas, meias esferas. Esses instrumentos devem ser de aço temperado e retificado, duráveis e com suas dimensões conhecidas.

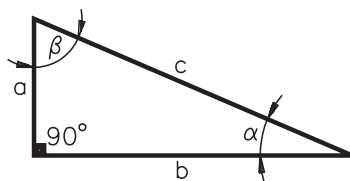


As peças complementares são usadas na medição indireta de ângulos, especialmente quando se trata de medições internas e externas de superfícies cônicas. Desse modo, podemos calcular valores angulares de determinadas peças.



A medição com peças complementares tem como base de cálculo duas relações trigonométricas elementares.

Num triângulo retângulo em que α é um dos ângulos agudos, teremos:



$$\text{sen } \alpha = \frac{\text{cateto oposto a } \alpha}{\text{hipotenusa}} \quad \text{sen } \alpha = \frac{a}{c}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{\text{cateto oposto a } \alpha}{\text{cateto adjacente a } \alpha} \quad \text{tg } \alpha = \frac{a}{b}$$

Considerando o triângulo retângulo dado, podemos usar, também, as seguintes fórmulas:

lados

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

$$b = \sqrt{c^2 - a^2}$$

sendo os ângulos

$$\alpha + \beta = 90^\circ$$

$$\beta = 90 - \alpha$$

$$\alpha = 90 - \beta$$

Exemplo:

Observe o triângulo abaixo e calcule c , $\text{sen } \alpha$ e $\text{tg } \alpha$:

Dados:

$$a = 20 \text{ mm}$$

$$b = 40 \text{ mm}$$

Solução:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$c = \sqrt{20^2 + 40^2}$$

$$c = \sqrt{400 + 1600}$$

$$c = \sqrt{2000}$$

$$c \cong 44,7$$

$$\text{sen } \alpha = \frac{a}{c}$$

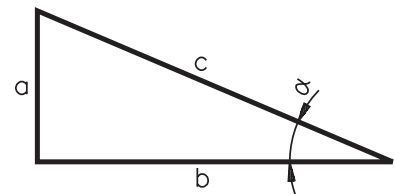
$$\text{sen } \alpha = \frac{20}{44,7}$$

$$\text{sen } \alpha \cong 0,4472$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{a}{b}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{20}{40}$$

$$\text{tg } \alpha \cong 0,5000$$



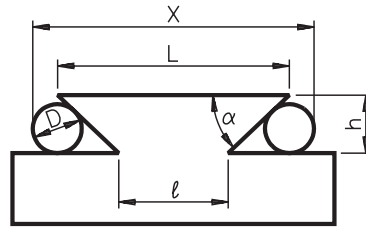
O processo de medição com peças complementares (cilindros calibrados) também é aplicado para medir encaixes rabos-de-andorinha. Para isso são empregadas as seguintes fórmulas:

$$x = \ell + \left(\frac{D}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} + D \right)$$

$$h = \left(\frac{(L - \ell) \operatorname{tg} \alpha}{2} \right)$$

$$\ell = L - \left(\frac{2h}{\operatorname{tg} \alpha} \right)$$

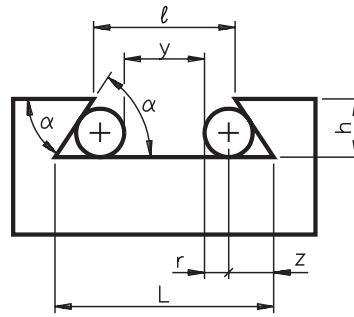
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2h}{L - \ell}$$



$$y = L - \left(D + \frac{D}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \right)$$

$$D \cong 0,9 \cdot h$$

D = cilindros calibrados para medição



Aplicações

1. Calcular x num encaixe macho rabo-de-andorinha, sendo:

$$L = 60,418$$

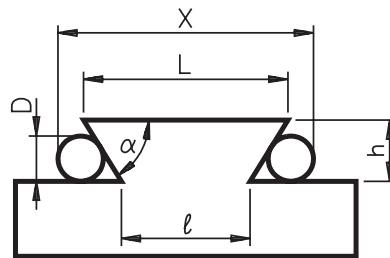
$$h = 10$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$D \cong 0,9 \cdot h$$

A partir da fórmula:

$$x = \ell + \left(\frac{D}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} + D \right)$$



teremos:

$$\ell = L - \frac{2h}{\operatorname{tg} \alpha} = 60,418 - \frac{2 \cdot 10}{\operatorname{tg} 60^\circ} = 60,418 - \frac{20}{1,732} = 60,418 - 11,547 = 48,871$$

$$\ell = 48,871 \text{mm}$$

Assim:

$$x = \ell + \left(\frac{D}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} + D \right) \quad \text{e} \quad \begin{aligned} D &\cong 0,9 \cdot h \\ D &\cong 0,9 \cdot 10 \\ D &\cong 9,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &= 48,871 + \left(\frac{9}{\operatorname{tg} \frac{60^\circ}{2}} + 9 \right) = 48,871 + \left(\frac{9}{\operatorname{tg} 30^\circ} + 9 \right) = \\ &= 48,871 + \left(\frac{9}{0,5773} + 9 \right) = 48,871 + 15,588 + 9 = 73,459 \end{aligned}$$

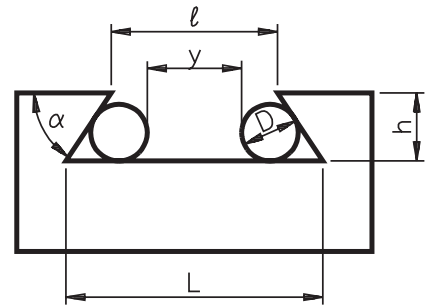
$$x = 73,459 \text{ mm}$$

2. Calcular y num encaixe fêmea rabo-de-andorinha, sendo:

$$\begin{aligned} \ell &= 35,000 \\ h &= 11,000 \\ \alpha &= 60^\circ \end{aligned}$$

Considerando a fórmula principal:

$$y = L - \left(D + \frac{D}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \right)$$



obteremos inicialmente o valor de L usando a fórmula:

$$\begin{aligned} L &= \ell + \left(\frac{2h}{\operatorname{tg} \alpha} \right) = 35,000 + \left(\frac{2 \cdot 11}{\operatorname{tg} 60^\circ} \right) = \\ &= 35,000 + \frac{22}{1,732} = 35 + 12,702 \end{aligned}$$

$$L = 47,702 \text{ mm}$$

Assim:

$$y = L - \left(D + \frac{D}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \right) \quad \text{e} \quad D \cong 0,9 \cdot h \Rightarrow 0,9 \cdot 11$$

$$D \cong 9,9 \text{ mm}$$

$$y = 47,702 - \left(9,9 + \frac{9,9}{\operatorname{tg} \frac{60}{2}} \right) = 47,702 - \left(9,9 + \frac{9,9}{\operatorname{tg} 30^\circ} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 47,702 - \left(9,9 + \frac{9,9}{0,5773} \right) = 47,702 - (9,9 + 17,147) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 47,702 - 27,047 = 20,655$$

$$Y = 20,655 \text{ mm}$$

3. Calcular x num encaixe macho rabo-de-andorinha, sendo:

$$L = 80,000$$

$$h = 20$$

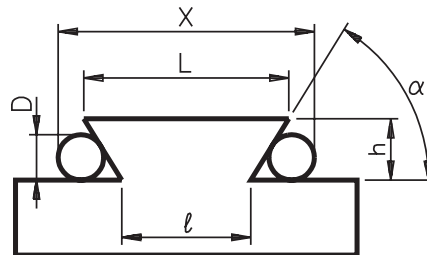
$$\alpha = 60^\circ$$

Portanto:

$$\ell = L - \left(\frac{2h}{\operatorname{tg} \alpha} \right) = 80 - \left(\frac{2 \cdot 20}{1,732} \right) =$$

$$80 - \frac{40}{1,732} = 80 - 23,094 = 56,906$$

$$\ell = 56,906$$



Assim, teremos:

$$x = \ell + \left(\frac{D}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} + D \right) \quad \text{e} \quad \begin{aligned} D &\cong 0,9 \cdot h \\ D &\cong 0,9 \cdot 20 \end{aligned}$$

$$D = 18 \text{ mm}$$

$$x = 56,906 + \left(\frac{18}{\operatorname{tg} \frac{60}{2}} + 18 \right)$$

$$x = 56,906 + \left(\frac{18}{\operatorname{tg} 30^\circ} + 18 \right)$$

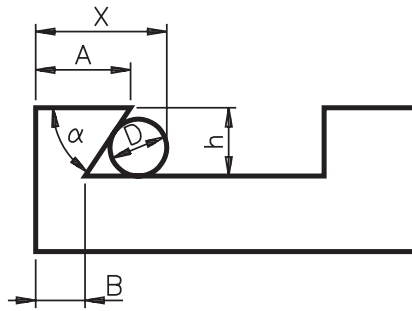
$$x = 56,906 + \left(\frac{18}{0,5773} + 18 \right) = 56,906 + (31,177 + 18)$$

$$x = 56,906 + 49,177 = 106,083$$

$$x = 106,083 \text{ mm}$$

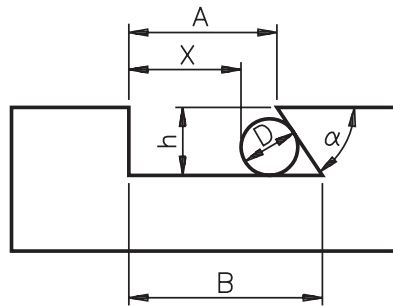
Medição de encaixe rabo-de-andorinha: ranhura externa e interna

Ranhura externa



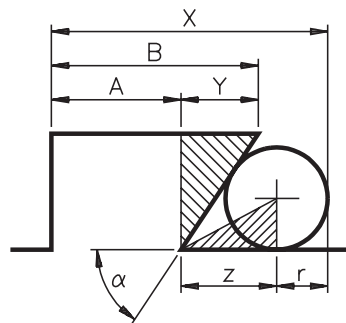
$$x = A + r + \frac{r}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} - \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha} \quad \text{ou} \quad x = B + \frac{r}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} + r$$

Ranhura interna



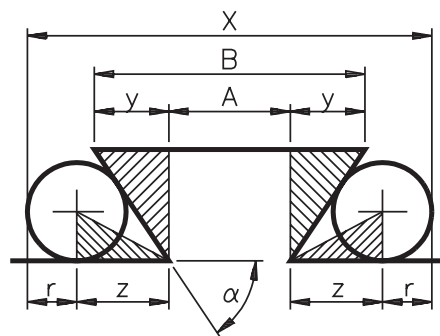
$$x = A - \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{r}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} - r \quad \text{ou} \quad x = B - \frac{r}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} - r$$

Medição de encaixe rabo-de-andorinha com auxílio de eixos-padrão



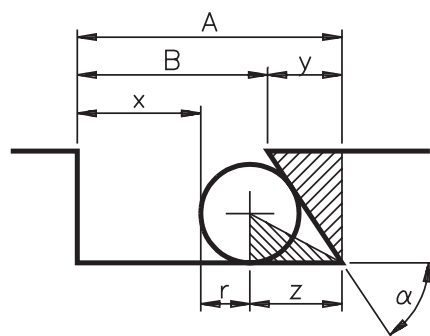
$$A = x - (z + r)$$

$$B = A + y$$



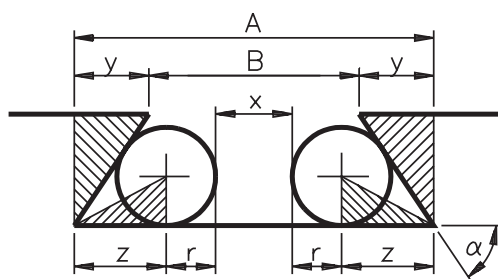
$$A = x - 2(z + r)$$

$$B = A + 2y$$



$$A = x + (z + r)$$

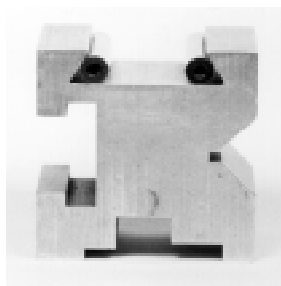
$$B = A - y$$



$$A = x + 2(z + r)$$

$$B = A - 2y$$

Observação – Os eixos-padrão devem ser escolhidos de modo que os contatos com as faces da peça que será medida situem-se, de preferência, a meia altura dos flancos.



É necessário verificar previamente se os ângulos considerados como referência para a medição correspondem às especificações no desenho.

Com alguns exemplos veremos como se faz a medição de uma ranhura e um encaixe rabo-de-andorinha.

1. Medição de ranhura interna, utilizando eixos-padrão, calculando o valor de **x**:

Dados:

$$A = 80$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$r = 10$$

Fórmula:

$$A = x + (z + r)$$

sendo:

$$x = A - (z + r)$$

$$z = \frac{r}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}$$

$$\text{teremos: } z = \frac{10}{\operatorname{tg} 30^\circ} = \frac{10}{0,577} = 17,33$$

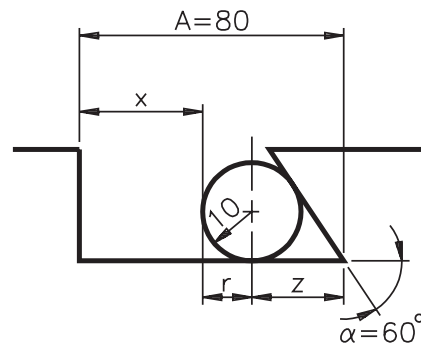
portanto:

$$x = A - (z + r)$$

$$x = 80 - (17,33 + 10)$$

$$x = 80 - 27,33$$

$$\mathbf{x = 52,67 \text{ mm}}$$



2. Medição de um rabo-de-andorinha macho, por meio de eixos-padrão, determinando o erro de largura, sendo uma medição **X**:

Dados:

$$B = 60$$

$$h = 25$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$r = 12$$

$$X = 96,820$$

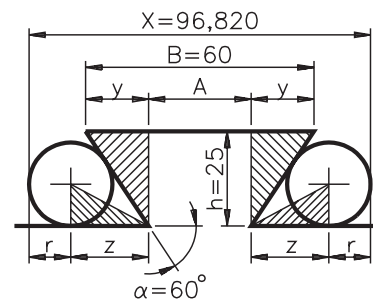
Fórmulas:

$$A = B - 2y = 60 - (14,433 \cdot 2) = 31,134$$

$$y = h \operatorname{tg} \beta = 25 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ = 14,433$$

$$\beta = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$$

$$z = \frac{r}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{12}{0,57735} = 20,786$$



Portanto, sendo a fórmula original:

$$A = X' - 2(z + r)$$

teremos:

$$X' = A + 2(z + r)$$

Sendo:

$$X' = 31,134 + 2(20,786 + 12)$$

$$X' = 96,706 \text{ mm}$$

$$\text{teremos } X - X' = 96,820 - 96,706 = 0,114$$

Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

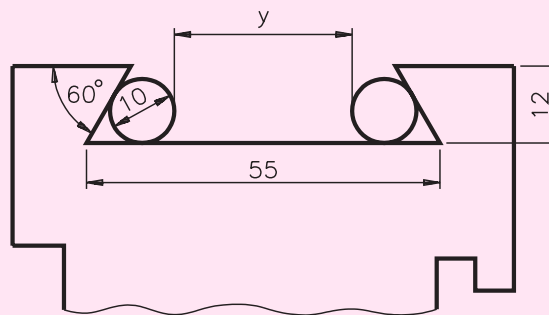
Faça os cálculos e marque com X a resposta correta.

Exercícios

Exercício 1

Calcule a medida y num encaixe fêmea rabo-de-andorinha.

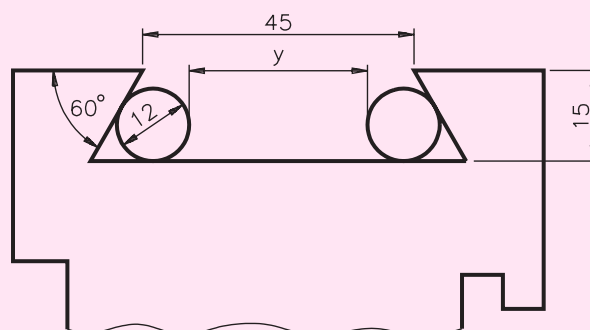
- a) () 27,68;
- b) () 29,22;
- c) () 33,45;
- d) () 30,41.



Exercício 2

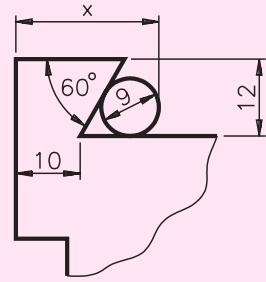
Calcule a medida y .

- a) () 39,92;
- b) () 33,39;
- c) () 29,53;
- d) () 28,35.

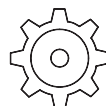
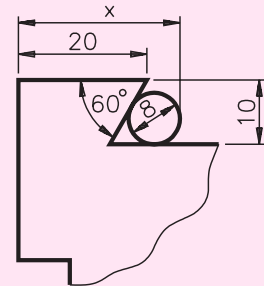


Exercício 3Calcule a medida x .

- a) () 23,58;
- b) () 22,29;
- c) () 19,69;
- d) () 24,12.

**Exercício 4**Calcule a medida x .

- a) () 26,13;
- b) () 25,75;
- c) () 26,75;
- d) () 25,15.



Tolerância geométrica 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.

Um problema

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.

Elemento pode ser um ponto, uma reta ou um plano

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 réguas, 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, definimos:

- **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.

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

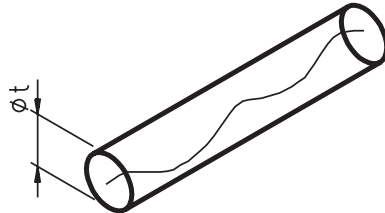
Tolerância de forma (para elemento isolado)

Retilidade

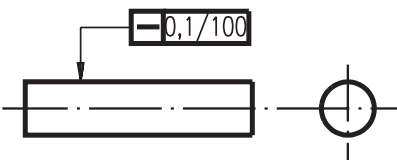
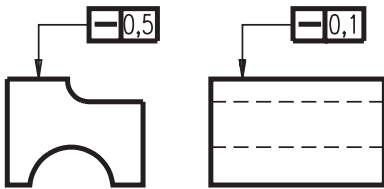
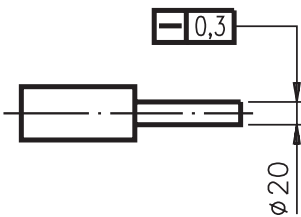
Símbolo: 

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 \varnothing , o campo de tolerância será limitado por um cilindro "t", conforme figura.

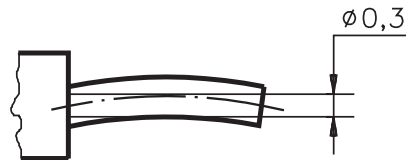


Especificação do desenho



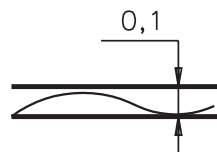
Interpretação

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

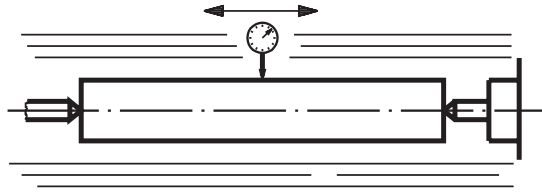


Se a tolerância de retilidade é aplicada nas duas direções de um mesmo plano, o campo de tolerância daquela superfície é de 0,5 mm na direção da figura da esquerda, e de 0,1 mm na direção da figura anterior.

Uma parte qualquer da geratriz do cilindro com comprimento igual a 100 mm deve ficar entre duas retas paralelas, distantes 0,1 mm.



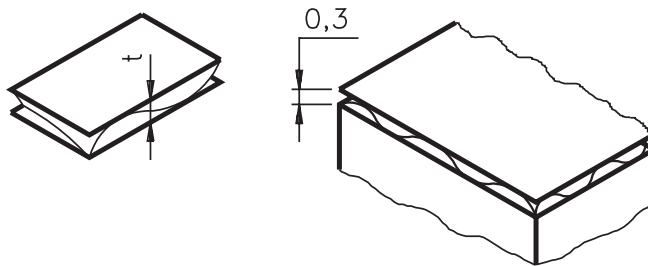
Retilneidade - método de medição



Planeza

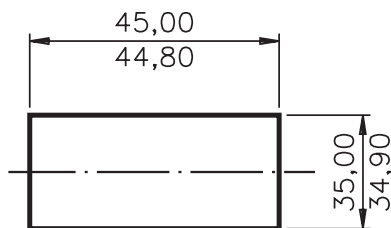
Símbolo:

É a condição pela qual toda superfície deve estar limitada pela zona de tolerância "t", compreendida entre dois planos paralelos, distantes de "t".

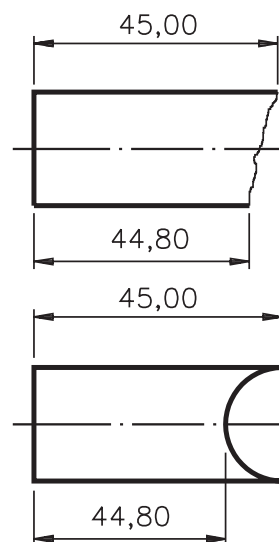


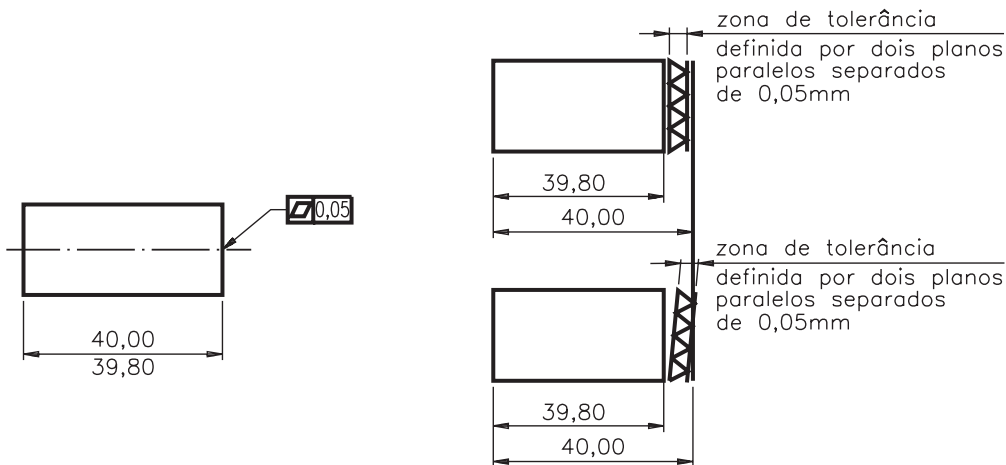
Tolerância dimensional e planeza - Quando, no desenho do produto, não se especifica a tolerância de planeza, admite-se que ela possa variar, desde que não ultrapasse a tolerância dimensional.

Especificação do desenho



Interpretação





Observa-se, pela última figura, 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.

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:

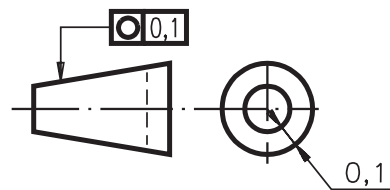
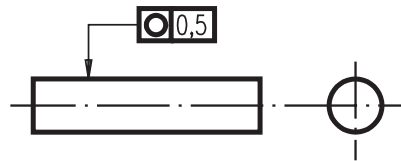
- Torneamento: 0,01 a 0,03 mm
- Fresamento: 0,02 a 0,05 mm
- Retífica: 0,005 a 0,01 mm

Circularidade

Símbolo: ○

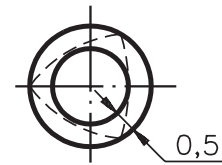
É a condição pela qual qualquer círculo deve estar dentro de uma faixa definida por dois círculos concêntricos, distantes no valor da tolerância especificada.

Especificação do desenho



Interpretação

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



O contorno de cada seção transversal deve estar compreendido numa coroa circular de 0,1 mm de largura.

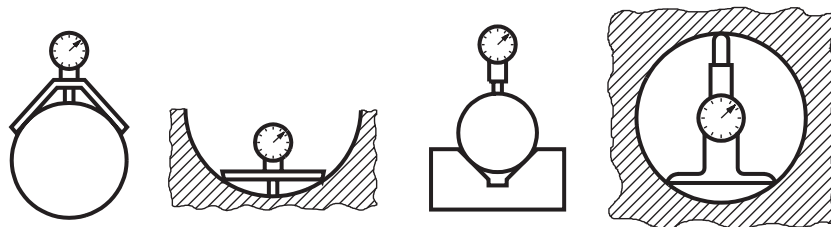
Normalmente, não será necessário especificar tolerâncias de circularidade pois, se os erros de forma estiverem dentro das tolerâncias dimensionais, eles serão suficientemente pequenos para se obter a montagem e o funcionamento adequados da peça.

Entretanto, há casos em que os erros permissíveis, 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 (H_{11}), porém a tolerância de circularidade tem de ser estreita, para evitar vazamentos.

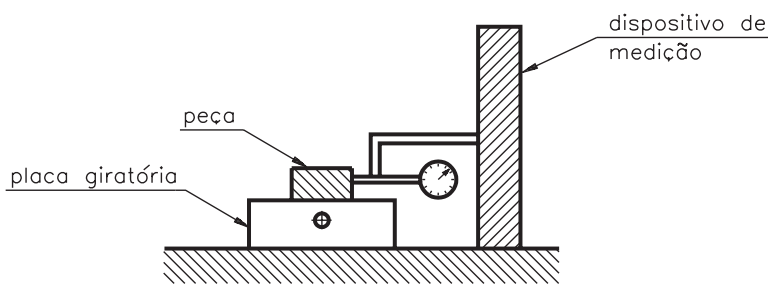
Circularidade: métodos de medição – O erro de circularidade é verificado na produção com um dispositivo de medição entre centros.

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.



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 abaixo.



Medida 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, podemos adotar os valores de circularidade:

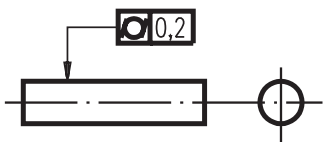
- Torneamento: até 0,01 mm
- Mandrilamento: 0,01 a 0,015 mm
- Retificação: 0,005 a 0,015 mm

Cilindricidade

Símbolo:

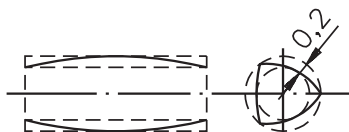
É a condição pela qual a zona de tolerância especificada é a distância radial entre dois cilindros coaxiais.

Especificação do desenho



Interpretação

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

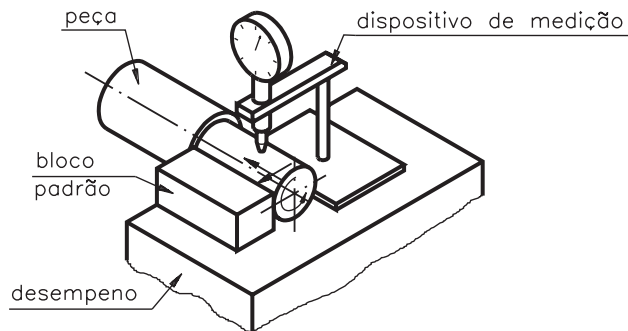


A circularidade é um caso particular de cilindricidade, quando se considera uma seção do cilindro perpendicular à sua geratriz.

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 abaixo.



medição de erros da forma cilíndrica

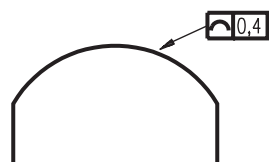
A peça é medida nos diversos planos de medida, e em todo o comprimento. A diferença entre as indicações máxima e mínima não deve ultrapassar, em nenhum ponto do cilindro, a tolerância especificada.

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.

Especificação do desenho




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.

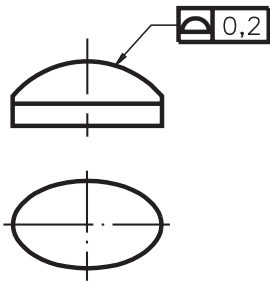


Forma de uma superfície qualquer

Símbolo: 

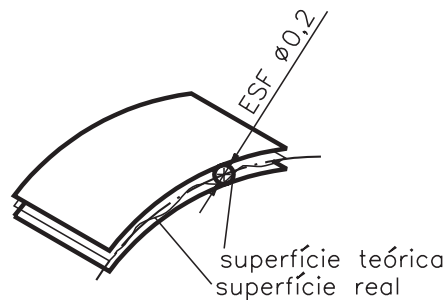
O campo de tolerância é limitado por duas superfícies envolvendo esferas de diâmetro igual à tolerância especificada e cujos centros estão situados sobre uma superfície que tem a forma geométrica correta.

Especificação do desenho



Interpretação

A superfície considerada deve estar compreendida entre duas superfícies envolvendo esferas de 0,2 mm de diâmetro, centradas sobre o perfil geométrico correto.



Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

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.

Exercícios

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

Aos perfis real, geométrico e efetivo correspondem, respectivamente, os cortes:

- a) () ideal, efetivo, cônico;
- b) () efetivo, geométrico, ideal;
- c) () real, geométrico, efetivo;
- d) () geométrico, definitivo, ideal.

Exercício 5

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

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





Exercício 6

Erros microgeométricos podem ser definidos como:

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

Exercício 7

A planeza é representada pelo símbolo:

- a) () 
- b) () 
- c) () 
- d) () 

Exercício 8

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

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

Tolerância geométrica de orientação

Vimos a maneira de verificar a forma de apenas um elemento, como planeza, circularidade, retilinearidade. O problema desta aula é verificar a posição de dois ou mais elementos na mesma peça.

Um problema

Tolerância de posição

A tolerância de posição estuda a relação entre dois ou mais elementos. Essa tolerância estabelece o valor permissível 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 à 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.

As tolerâncias de posição por orientação estão resumidas na tabela abaixo:

Tolerância de posição	Orientação para elementos associados	Paralelismo	//
		Perpendicularidade	⊥
		Inclinação	∠

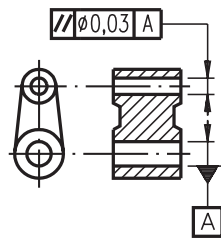
Orientação para dois elementos associados

Paralelismo

Símbolo: //

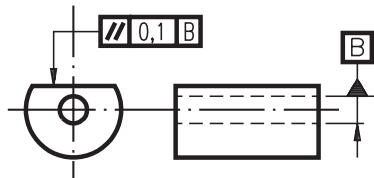
Paralelismo é a condição de uma linha ou superfície ser equidistante em todos os seus pontos de um eixo ou plano de referência.

Especificação do desenho

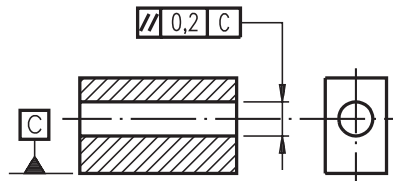


Interpretação

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 Φ .

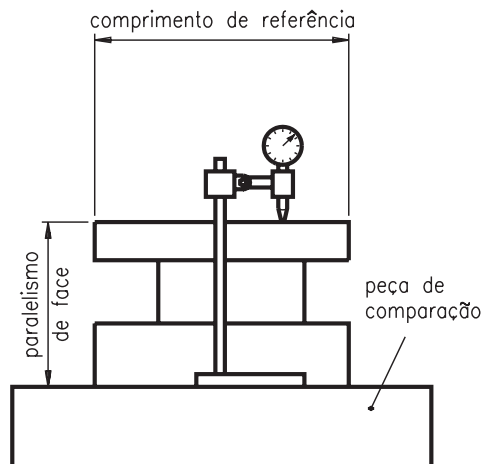


A superfície superior deve estar compreendida entre dois planos distantes 0,1 mm e paralelos ao eixo do furo de referência "B".



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 abaixo, 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.

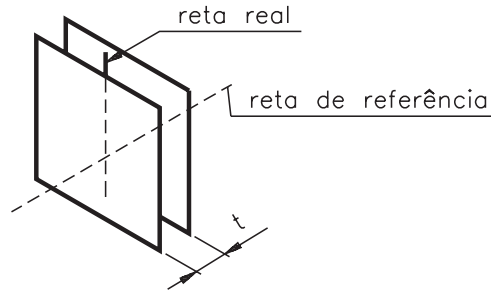


Perpendicularidade

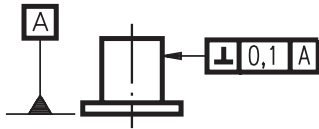
Símbolo: \perp

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.

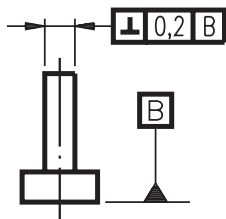
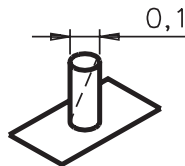


Especificação do desenho

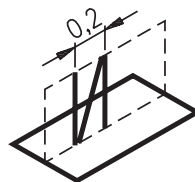


Interpretação

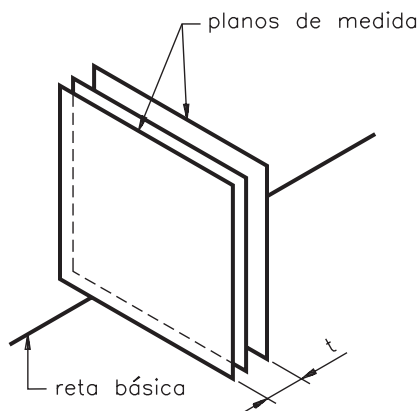
O eixo do cilindro deve estar compreendido em um campo cilíndrico de 0,1 mm de diâmetro, perpendicular à superfície de referência “A”.



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 abaixo.

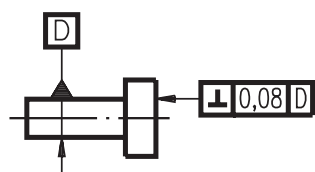


Tolerância de perpendicularidade entre um plano e uma reta – O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, distantes no valor especificado e perpendiculares à reta de referência.



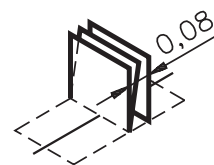
Tolerância de perpendicularidade entre uma superfície e uma reta.

Especificação do desenho

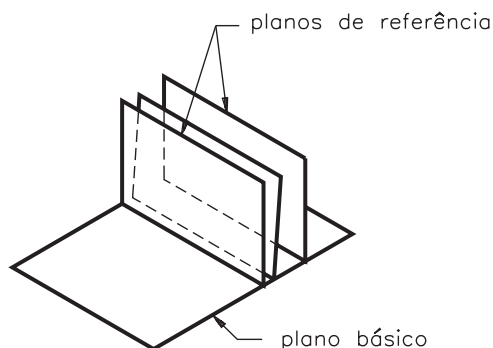


Interpretação

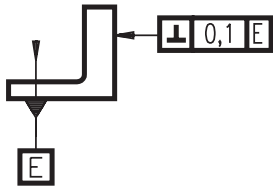
A face à direita da peça deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes 0,08 mm e perpendiculares ao eixo "D".



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.

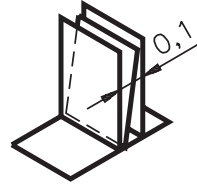


Especificação do desenho



Interpretação

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

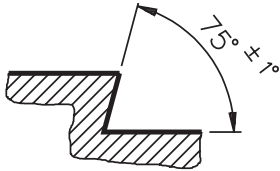


Inclinação

Símbolo:

Existem dois métodos para especificar tolerância angular:

1. Pela variação angular, especificando o ângulo máximo e o ângulo mínimo.



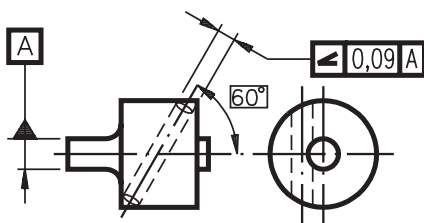
A indicação $75^\circ \pm 1^\circ$ significa que entre as duas superfícies, em nenhuma medição angular, deve-se achar um ângulo menor que 74° ou maior que 76° .

2. 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

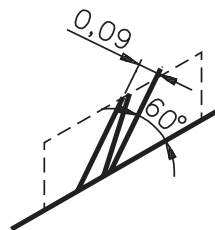
- O campo de tolerância é limitado por duas retas paralelas, cuja distância é a tolerância, e inclinadas em relação à reta de referência do ângulo especificado.

Especificação do desenho



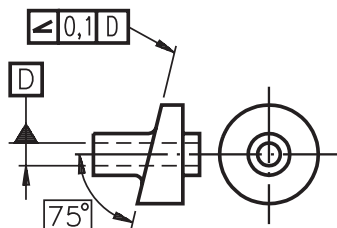
Interpretação

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



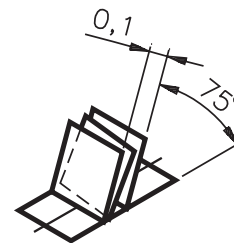
Tolerância de inclinação de uma superfície em relação a uma reta de base
 - O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, de distância igual ao valor da tolerância, e inclinados do ângulo especificado em relação à reta de referência.

Especificação do desenho



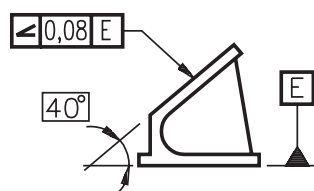
Interpretação

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



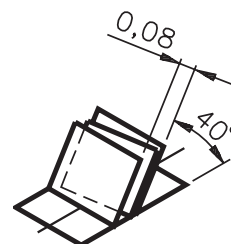
Tolerância de inclinação de uma superfície em relação a um plano de referência - O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, cuja distância é o valor da tolerância, e inclinados em relação à superfície de referência do ângulo especificado.

Especificação do desenho



Interpretação

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



Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Marque com X a resposta correta.

Exercícios

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.





Exercício 3

O símbolo de inclinação é:

- a) 
- b) 
- c) 
- d) 

Exercício 4

O símbolo de paralelismo é:




- a) 
- b) 
- c) 
- d) 

Tolerância geométrica de posição


Um problema

Como se determina a tolerância de posição de peças conjugadas para que a montagem possa ser feita sem a necessidade de ajustes? Essa questão é abordada no decorrer desta aula. Vamos acompanhá-la?

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

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

Posição de um elemento

Símbolo: 

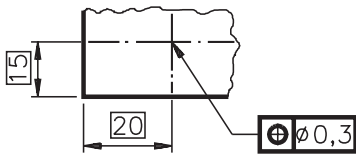
A tolerância de posição pode ser definida, de modo geral, como desvio tolerado de um determinado elemento (ponto, reta, plano) em relação a sua posição teórica.

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).

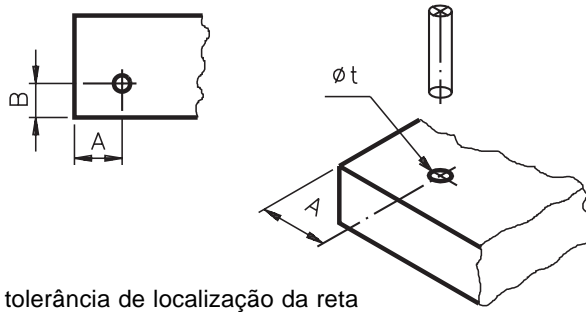
Especificação do desenho



Interpretação

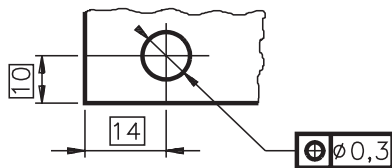
O ponto de intersecção deve estar contido em um círculo de 0,3 mm de diâmetro, cujo centro coincide com a posição teórica do ponto considerado.

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 \mathbb{E} .



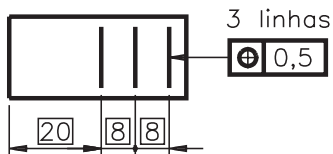
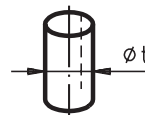
Quando o desenho do produto indicar posicionamento de linhas que entre si não podem variar além de certos limites em relação às suas cotas nominais, a tolerância de localização será determinada pela distância de duas retas paralelas, dispostas simetricamente à reta considerada nominal.

Especificação do desenho



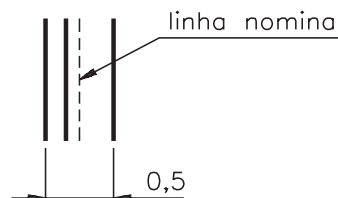
Interpretação

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



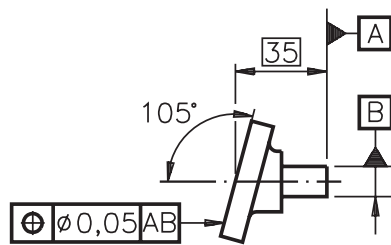
Cada linha deve estar compreendida entre duas retas paralelas, distantes 0,5 mm, e dispostas simetricamente em relação à posição teórica da linha considerada.

tolerância de posição de uma reta em um plano



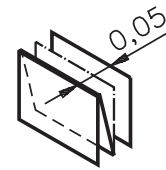
Tolerância de posição de um plano – A tolerância de posição de um plano é determinada por dois planos paralelos distanciados, de tolerância especificada e dispostos simetricamente em relação ao plano considerado normal.

Especificação do desenho



Interpretação

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



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.

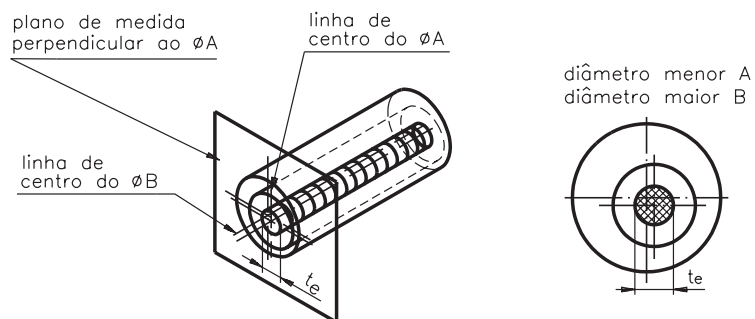
Concentricidade

Símbolo:

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 t_e considerada em um plano perpendicular ao eixo tomado como referência.

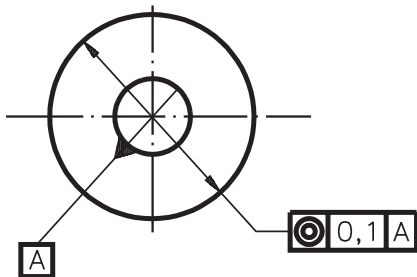
Nesse plano, tem-se dois pontos que são a intersecção do eixo de referência e do eixo que se quer saber a excentricidade. O segundo ponto deverá estar contido em círculo de raio t_e , tendo como centro o ponto considerado do eixo de referência.



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_c , cujo centro está na linha de centro do diâmetro A.

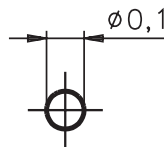
A tolerância de excentricidade poderá variar de ponto para ponto, ao se deslocar o plano de medida paralelo a si mesmo e perpendicular à linha de centro de referência. Conclui-se, portanto, que os desvios de excentricidade constituem um caso particular dos desvios de coaxialidade.

Especificação do desenho



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.



Coaxialidade

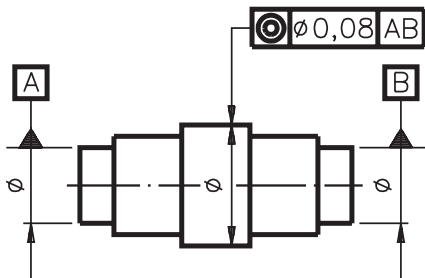
Símbolo:

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.

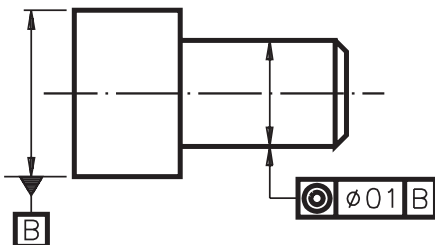
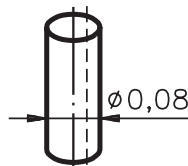
O desvio de coaxialidade pode ser verificado pela medição do desvio de concentricidade em alguns pontos.

Especificação do desenho




Interpretação

O eixo do diâmetro central deve estar contido em uma zona cilíndrica de 0,08 mm de diâmetro, coaxial ao eixo de referência AB.



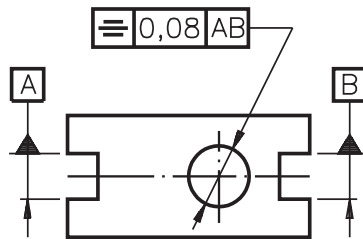
O eixo do diâmetro menor deve estar contido em uma zona cilíndrica de 0,1 mm de diâmetro, coaxial ao eixo de referência B.

Simetria

Símbolo: 

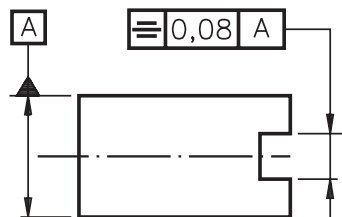
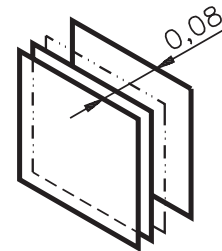
A tolerância de simetria é semelhante à de **posição de um elemento**, porém utilizada em condição independente, isto é, não se leva em conta a grandeza do elemento. O campo de tolerância é limitado por duas retas paralelas, ou por dois planos paralelos, distantes no valor especificado e dispostos simetricamente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

Especificação do desenho




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.



O plano médio do rasgo deve estar compreendido entre dois planos paralelos, distantes 0,08 mm, e dispostos simetricamente em relação ao plano médio do elemento de referência A.

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.

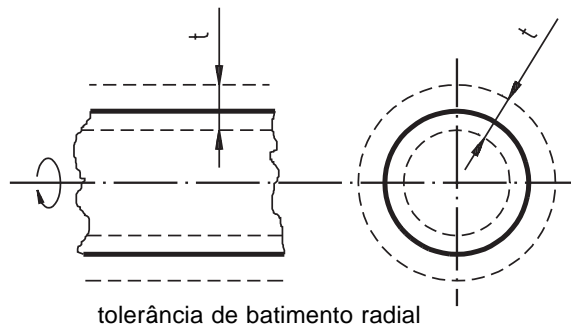
O batimento representa a variação máxima admissível da posição de um elemento, considerado ao girar a peça de uma rotação em torno de um eixo de referência, sem que haja deslocamento axial. A tolerância de batimento é aplicada separadamente para cada posição medida.

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

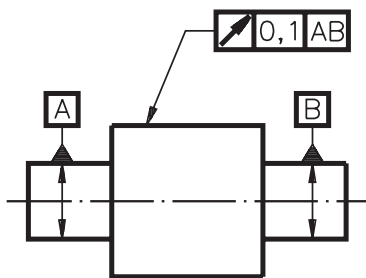
O batimento pode delimitar erros de circularidade, coaxialidade, excentricidade, perpendicularidade e planicidade, desde que seu valor, que representa a soma de todos os erros acumulados, esteja contido na tolerância especificada. O eixo de referência deverá ser assumido sem erros de retilidade ou de angularidade.

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

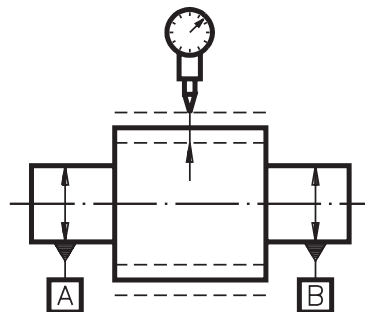
- **Batimento radial** - A tolerância de batimento radial é definida como um campo de distância t entre dois círculos concêntricos, medidos em um plano perpendicular ao eixo considerado.



Especificação do desenho



Interpretação



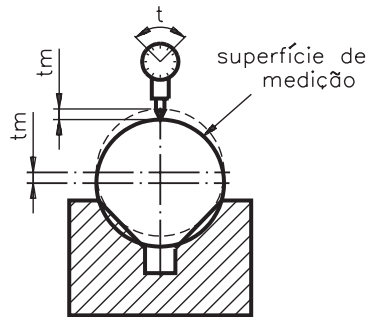
A peça, girando apoiada em dois prismas, não deverá apresentar a LTI (Leitura Total do Indicador) superior a 0,1 mm.

Métodos de medição do batimento radial

- a) A peça é apoiada em prismas.

A figura mostra uma seção reta de um eixo no qual se quer medir o desvio de batimento.

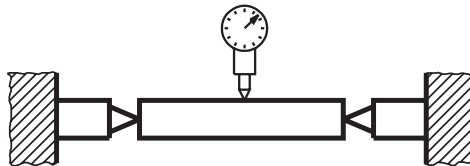
A LTI indicará um erro composto, constituído do desvio de batimento radial, adicionado ao erro decorrente da variação de posição do centro.



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

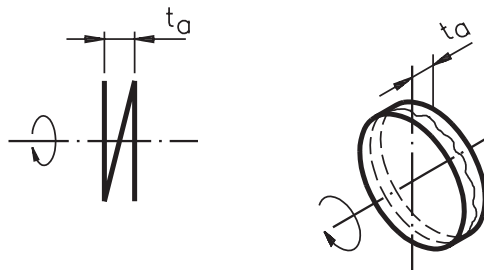
- b) A peça é apoiada entre centros.

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.



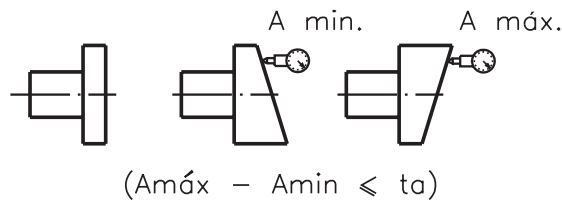
A medição, assim executada, independe das dimensões da peça, não importando se ela esteja na condição de máximo material (diâmetro maior) ou de mínimo material (diâmetro menor, em se tratando de eixo).

- **Batimento axial** - A tolerância de batimento axial t_a 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.



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.



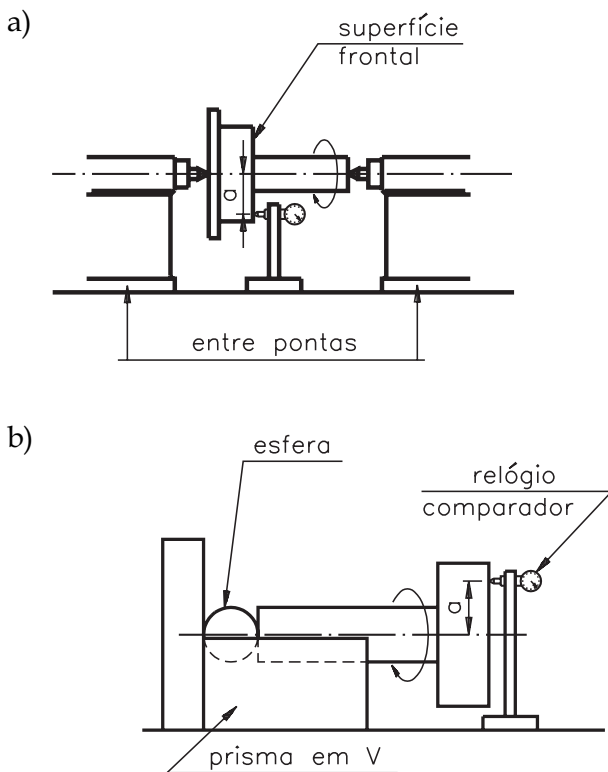
medição de tolerância de batimento axial

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

A diferença entre as indicações $A_{máx.} - A_{min.}$ (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 .

$$A_{máx.} - A_{min.} \leq t_a$$

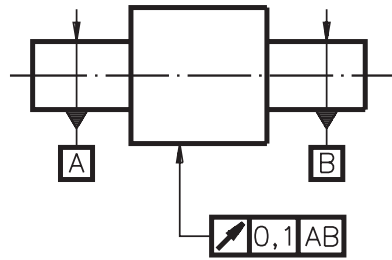
Normalmente, o desvio de batimento axial é obtido por meio das montagens indicadas abaixo.



sistema de medição do desvio do batimento axial

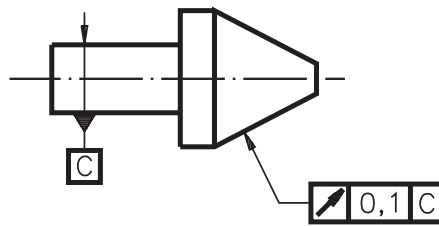
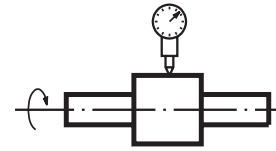
A figura **a** mostra a medição feita entre pontas. Na figura **b**, a superfície de referência está apoiada em um prisma em V.

Especificação do desenho

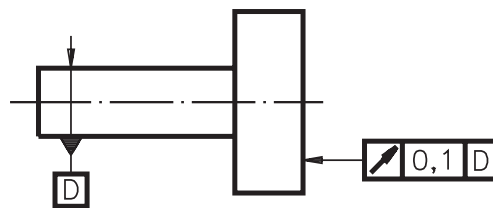


Interpretação

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



O desvio na direção da flecha sobre cada cone de medição não deve ultrapassar 0,1 mm, durante uma rotação completa em torno do eixo C.



O desvio não deve ultrapassar 0,1 mm sobre cada cilindro de medição, durante uma rotação completa em torno do eixo D.

Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Marque com X a resposta correta.

Exercícios

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.

Terminologia e conceitos de Metrologia

Um problema

Muitas vezes, uma área ocupacional apresenta problemas de compreensão devido à falta de clareza dos termos empregados e dos conceitos básicos. Esta aula enfatiza a terminologia e os conceitos da área de Metrologia.

Metrologia/ Instrumentação

Inicialmente, vamos estabelecer a definição a dois termos atualmente bastante citados, mas entendidos dos mais diferentes modos:

- **Metrologia** é a ciência da medição. Trata dos conceitos básicos, dos métodos, dos erros e sua propagação, das unidades e dos padrões envolvidos na quantificação de grandezas físicas.
- **Instrumentação** é o conjunto de técnicas e instrumentos usados para observar, medir e registrar fenômenos físicos. A instrumentação preocupa-se com o estudo, o desenvolvimento, a aplicação e a operação dos instrumentos.

O procedimento de medir - medição

Medir é o procedimento pelo qual o valor momentâneo de uma grandeza física (grandeza a medir) é determinado como um múltiplo e/ou uma fração de uma unidade estabelecida como padrão.

Medida

A medida é o valor correspondente ao valor momentâneo da grandeza a medir no instante da leitura. A leitura é obtida pela aplicação dos parâmetros do sistema de medição à leitura e é expressa por um número acompanhado da unidade da grandeza a medir.

Erros de medição

Por razões diversas, toda medição pode apresentar erro. O erro de uma medida é dado pela equação:

$$E = M - VV$$

onde:

E = Erro

M = Medida

VV = Valor verdadeiro

Os principais tipos de erro de medida são:

- **Erro sistemático:** é a média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando, efetuadas sob condições de repetitividade, menos o valor verdadeiro do mensurando.
- **Erro aleatório:** resultado de uma medição menos a média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando, efetuadas sob condições de repetitividade. O erro aleatório é igual ao erro menos o erro sistemático.
- **Erro grosseiro:** pode decorrer de leitura errônea, de operação indevida ou de dano no sistema de medição. Seu valor é totalmente imprevisível, podendo seu aparecimento ser minimizado no caso de serem feitas, periodicamente, aferições e calibrações dos instrumentos.

Fontes de erros

Um erro pode decorrer do sistema de medição e do operador, sendo muitas as possíveis causas. O comportamento metrológico do sistema de medição é influenciado por perturbações externas e internas.

Fatores externos podem provocar erros, alterando diretamente o comportamento do sistema de medição ou agindo diretamente sobre a grandeza a medir. O fator mais crítico, de modo geral, é a variação da temperatura ambiente. Essa variação provoca, por exemplo, dilatação das escalas dos instrumentos de medição de comprimento, do mesmo modo que age sobre a grandeza a medir, isto é, sobre o comprimento de uma peça que será medida.

A variação da temperatura pode, também, ser causada por fator interno. Exemplo típico é o da não estabilidade dos sistemas elétricos de medição, num determinado tempo, após serem ligados. É necessário aguardar a estabilização térmica dos instrumentos/equipamentos para reduzir os efeitos da temperatura.

Curvas de erro

No gráfico de curva de erro, os erros são apresentados em função do valor indicado (leitura ou medida). O gráfico indica com clareza o comportamento do instrumento e prático para a determinação do resultado da medição.

Correção

É o valor adicionado algebricamente ao resultado não corrigido de uma medição, para compensar um erro sistemático.

Sabendo que determinada leitura contém um erro sistemático de valor conhecido, é oportuno, muitas vezes, eliminar o erro pela correção C , adicionada à leitura.

$$L_c = L + C$$

onde:

C = Correção

L = Leitura

L_c = Leitura corrigida

Resolução

É a menor variação da grandeza a medir que pode ser indicada ou registrada pelo sistema de medição.

Histerese

É a diferença entre a leitura/medida para um dado valor da grandeza a medir, quando essa grandeza foi atingida por valores crescentes, e a leitura/medida, quando atingida por valores decrescentes da grandeza a medir. O valor poderá ser diferente, conforme o ciclo de carregamento e descarregamento, típico dos instrumentos mecânicos, tendo como fonte de erro, principalmente folgas e deformações, associadas ao atrito.

Exatidão

É o grau de concordância entre o resultado de uma medição e o valor verdadeiro do mensurando.

Exatidão de um instrumento de medição

É a aptidão de um instrumento de medição para dar respostas próximas a um valor verdadeiro. Exatidão é um conceito qualitativo.

Importância da qualificação dos instrumentos

A medição e, conseqüentemente, os instrumentos de medição são elementos fundamentais para:

- monitoração de processos e de operação;
- pesquisa experimental;
- ensaio de produtos e sistemas (exemplos: ensaio de recepção de uma máquina-ferramenta; ensaio de recepção de peças e componentes adquiridos de terceiros);
- controle de qualidade (calibradores, medidores diferenciais múltiplos, máquinas de medir coordenadas etc.).

A qualidade principal de um instrumento de medição é a de medir, com erro mínimo. Por isso, há três operações básicas de qualificação: calibração, ajustagem e regulagem. Na linguagem técnica habitual existe confusão em torno dos três termos. Em virtude disso, a seguir está a definição recomendada pelo INMETRO (VIM).

Calibração/Aferição: conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição, ou valores representados por uma medida materializada, ou um material de referência e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões.

Observações

- O resultado de uma calibração permite o estabelecimento dos valores daquilo que está sendo medido (mensurando) para as indicações e a determinação das correções a serem aplicadas.
- Uma calibração pode, também, determinar outras propriedades metrológicas, como o efeito das grandezas de influência.
- O resultado de uma calibração pode ser registrado em um documento denominado certificado de calibração ou relatório de calibração.

Ajustagem de um instrumento de medição: operação destinada a fazer com que um instrumento de medição tenha desempenho compatível com o seu uso.

Regulagem de um instrumento de medição: ajuste, empregando somente os recursos disponíveis no instrumento para o usuário.

Normas de calibração

As normas da série NBR ISO 9000 permitem tratar o ciclo da qualidade de maneira global, atingindo desde o marketing e a pesquisa de mercado, passando pela engenharia de projeto e a produção até a assistência e a manutenção.

Essas normas são tão abrangentes que incluem até o destino final do produto após seu uso, sem descuidar das fases de venda, distribuição, embalagem e armazenamento.

Juntamente com a revisão dos conceitos fundamentais da ciência da medição será definida uma terminologia compatibilizada, na medida do possível, com normas nacionais (ABNT), internacionais (ISO) e com normas e recomendações técnicas de reconhecimento internacional (DIN, ASTM, BIPM, VDI e outras). No estabelecimento da terminologia, procura-se manter uma base técnico-científica.

Ainda não existe no Brasil uma terminologia que seja comum às principais instituições atuantes no setor. A terminologia apresentada é baseada no VIM (Vocabulário Internacional de Metrologia), que busca uma padronização para que o vocabulário técnico de Metrologia no Brasil seja o mesmo utilizado em todo o mundo.

Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Exercícios

Marque com X a resposta correta.

Exercício 1

Metrologia é a ciência da:

- a) () observação;
- b) () medição;
- c) () comparação;
- d) () experimentação.

Exercício 2

As técnicas de observação, medição e registro fazem parte da:

- a) () experimentação;
- b) () testagem;
- c) () documentação;
- d) () instrumentação.

Exercício 3

Medir é comparar grandezas com base em um:

- a) () padrão;
- b) () metro;
- c) () quilograma;
- d) () modelo.

Exercício 4

A equação $E = M - VV$ indica:

- a) () acerto de medida;
- b) () erro de medida;
- c) () valor de medida;
- d) () exatidão de medida.

Exercício 5

Uma leitura de medida, feita de modo errado, ocasiona erro:

- a) () aleatório;
- b) () sistemático;
- c) () grosseiro;
- d) () construtivo.

Exercício 6

No Brasil, a terminologia usada em Metrologia está baseada em normas:

- a) () nacionais;
- b) () internacionais;
- c) () regionais;
- d) () empresariais.

Calibração de paquímetros e micrômetros

Instrumentos de medida, tais como relógios comparadores, paquímetros e micrômetros, devem ser calibrados com regularidade porque podem sofrer alterações devido a deslocamentos, falhas dos instrumentos, temperatura, etc. Essas alterações, por sua vez, podem provocar desvios ou erros nas leituras das medidas.

Nesta aula, estudaremos a calibração de paquímetros e micrômetros.

Um problema

Calibração de paquímetros - Resolução 0,05 mm

A NBR 6393/1980 é a norma brasileira que regulamenta procedimentos, tolerâncias e demais condições para a calibração dos paquímetros.

Precisão de leitura

As tolerâncias admissíveis são apresentadas na tabela a seguir.

L_1 representa o comprimento, em milímetro, medido dentro da capacidade de medição.

Tolerância admissível	
Comprimento medido L_1	Precisão de leitura \pm
mm	μm
0	50
100	60
200	70
300	80
400	90
500	100
600	110
700	120
800	130
900	140
1000	150

Quando se trata de comprimentos intermediários, deve-se admitir a exatidão correspondente ao comprimento imediatamente inferior.

A tolerância de planeza das superfícies de medição é de $10\ \mu\text{m}$ para 100 mm de comprimento dos medidores.

A tolerância admissível de paralelismo das superfícies de medição é de $20\ \mu\text{m}$ para 100 mm de comprimento dos medidores.

Método de controle

Medição externa – O erro de leitura é determinado perpendicularmente à direção longitudinal das superfícies de medição, mediante o emprego de blocos-padrão ou seus derivados. O resultado dessa operação inclui os erros de planeza e de paralelismo das superfícies de medição. A medição será efetuada em três posições diferentes de comprimento dos medidores, com a mesma força aplicada sobre o cursor. Além disso, deve-se efetuar a verificação num certo número de posições da capacidade de medição e de tal modo que a cada medição individual possam coincidir diferentes traços do nônio. Isso quer dizer que devem ser verificados pontos aleatórios, evitando-se concentrar apenas nos valores inteiros da escala, por exemplo 5, 10, 15, 20 etc. Sempre que possível, devem ser considerados valores intermediários, como 5,25; 7,8 etc., dependendo da facilidade de montagem dos blocos-padrão.

Medição interna – Os erros devem ser verificados com calibradores-padrão internos, espaçamento de blocos-padrão, micrômetros etc., seguindo o mesmo critério do item anterior.

Paralelismo das superfícies de medição – Deve ser verificado pela apalpação de um certo espaço com blocos-padrão ou pinos-padrão. A posição relativa de ambas as superfícies de medição não deverá alterar-se, mesmo após a fixação do cursor. Isso poderá ser confirmado observando, contra a luz, um pequeno espaço deixado entre as superfícies de medição. Esse pequeno espaço não deverá alterar-se após a fixação do cursor.

Planeza das superfícies de medição – Emprega-se para verificar a planeza, por meio de régua de fio, blocos-padrão ou pinos-padrão.

Calibração de micrômetro

Vimos que a calibração de instrumentos de medida é baseada em normas. No caso da calibração de micrômetros, a norma brasileira NBR 6670/1981 regulamenta procedimentos, tolerâncias e demais condições para a calibração.

Na tabela a seguir podem ser registrados os seguintes dados:

- capacidade de medição;
- flexão permissível no arco;
- erro de leitura do ajuste do zero;
- paralelismo das superfícies de medição.

CAPACIDADE DE MEDIÇÃO	FLEXÃO PERMISSÍVEL NO ARCO	ERRO DE LEITURA DO AJUSTE DO ZERO	PARALELISMO DAS SUPERFÍCIES DE MEDIÇÃO
mm	μm	μm	μm
0 a 25	2	± 2	2
25 a 50	2	± 2	2
50 a 75	3	± 3	3
75 a 100	3	± 3	3
100 a 125	4	± 4	4
125 a 150	5	± 4	4
150 a 175	6	± 5	5
175 a 200	6	± 5	5

Erros e desvios admissíveis

O batimento axial da haste móvel do micrômetro no intervalo de 25 mm não deve ultrapassar 0,003 mm.

O erro do ajuste zero para o micrômetro deve estar conforme tabela acima e baseado na seguinte fórmula:

$$\pm \left(2 + \frac{L}{50} \right) \mu\text{m}$$

L_1 é o limite inferior (isto é, ajuste zero) da capacidade de medição em milímetro.

As superfícies de medição devem ser lapidadas, e cada superfície deve ter planeza dentro de 1 μm. Quando sujeitas a uma força de medição de 10 N, as superfícies devem estar paralelas dentro dos valores dados na tabela.

Método de controle

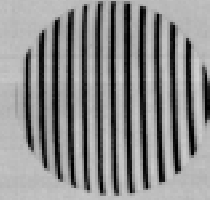
O método de controle das medições é aplicado nas superfícies que serão medidas. Nesse método, são considerados o paralelismo e a planeza. Também é levada em conta a haste móvel, pois ela deve ser verificada durante o processo de calibração.

Planeza

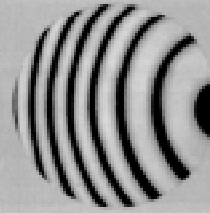
A planeza das superfícies de medição pode ser verificada por meio de um plano óptico. Coloca-se o plano óptico sobre cada uma das superfícies, sem deixar de verificar as franjas de interferência que aparecem sob forma de faixas claras e escuras.

O formato e o número das franjas de interferência indicam o grau de planeza da superfície, que varia de acordo com a tolerância de planeza.

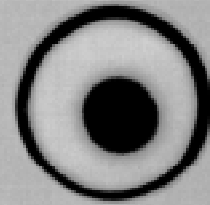
Franjas retas equidistantes, a menos de uma pequena curvatura na região periférica. A superfície é plana, porém inclinada contra o plano de vidro, com pequeno desvio na periferia. Se a cunha de ar é expulsa as franjas desaparecem e o vidro adere à superfície.



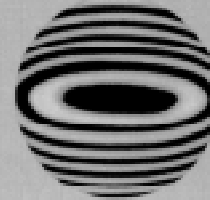
Franjas em forma de arco e com espaçamento desigual. Superfície abaulada, plano do vidro levemente inclinado. Curvatura das franjas corresponde à 1,5 vezes a distância entre as franjas. Erro de planidade: $1,5 \times 0,3 \mu\text{m} = 0,45 \mu\text{m}$.



Franjas circulares. Superfície abaulada. O número de franjas multiplicado pela metade do comprimento de onda da luz utilizada dará o erro de planidade: $1,5 \times 0,3 \mu\text{m} = 0,45 \mu\text{m}$.



Franjas elípticas. Superfície em forma de tonel. Pode-se ter uma boa ideia da forma da superfície imaginando as franjas como curvas de nível.



Luz monocromática significa luz de uma única cor.

Para superfície com tolerância de 0,001 mm, não poderão ser visíveis mais que quatro franjas da mesma cor, no caso de elas serem verificadas com luz comum. Para que as franjas sejam confirmadas da forma mais distinta possível, é preciso que a verificação seja feita com luz monocromática, como a luz de vapor de mercúrio.

Paralelismo

Para verificar o paralelismo de superfícies dos micrômetros de 0 a 25 mm, são necessários quatro planos paralelos ópticos. Os planos precisam ser de espessuras diferentes, sendo que as diferenças devem corresponder, aproximadamente, a um quarto de passo do fuso micrométrico. Dessa maneira, a verificação é feita em quatro posições, com uma rotação completa da superfície da haste móvel do micrômetro.

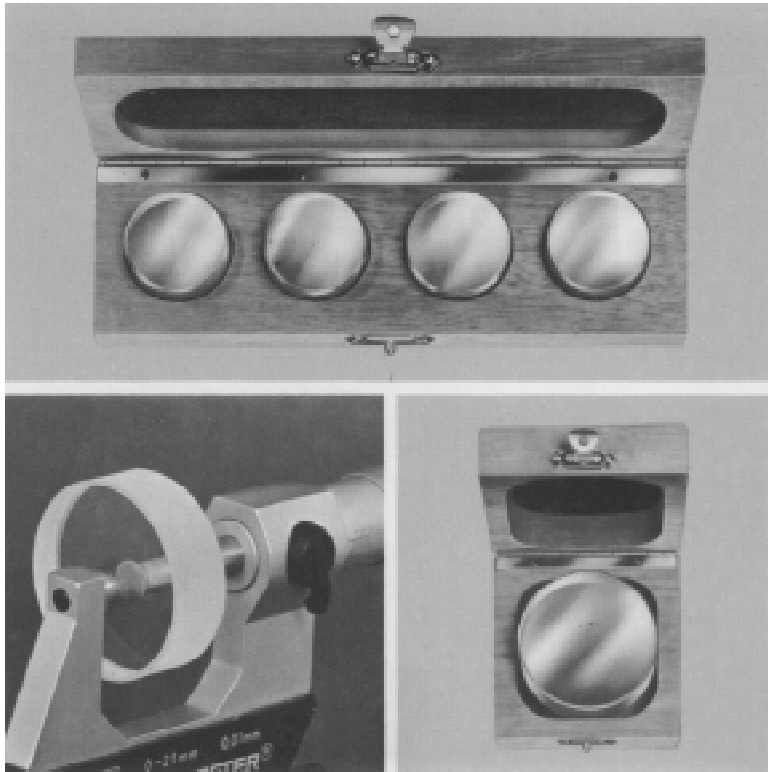
O plano paralelo deve ser colocado entre as superfícies de medição, sob a pressão da catraca em acionamento.

Durante o processo, o plano paralelo deve ser movido cuidadosamente entre as superfícies. Isso é necessário para que se reduza ao mínimo o número de franjas de interferência visíveis em cada uma das faces. As franjas serão contadas em ambas as faces.

Esse procedimento deve ser repetido várias vezes, mas o número total de franjas de interferência não pode passar de oito.

O processo descrito é usado na calibração de micrômetro de capacidade 0,25 mm. Entretanto, o mesmo método pode ser utilizado para verificar o paralelismo das superfícies de micrômetros maiores. Neste caso, é necessária a utilização de dois planos paralelos colocados nas extremidades das combinações de blocos-padrão.

Veja, a seguir, as ilustrações dos planos ópticos paralelos e do modo como eles são usados para a verificação das superfícies de medição de micrômetros.



Haste móvel

A haste móvel pode apresentar erro de deslocamento. Em geral, esse erro pode ser verificado com uma seqüência de blocos-padrão.

Quanto aos blocos-padrão, suas medidas podem ser escolhidas para cada volta completa da haste móvel e, também, para posições intermediárias.

Vamos ver um exemplo dessa verificação: num micrômetro que apresenta passo de 0,5 mm, a série de blocos-padrão que mais convém para a verificação é a que apresente passo correspondente às medidas: 2,5 – 5,1 – 7,7 – 10,3 – 12,9 – 15,0 – 17,6 – 20,2 – 22,8 e 25 mm, observando o erro conforme a fórmula:

$$E_{\text{máx}} = \left(4 + \frac{L}{50} \right) \mu\text{m}$$

onde L corresponde à capacidade de medição do micrômetro em milímetro.

Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir. Depois confira suas respostas com as do gabarito.

Exercícios

Marque com X a resposta correta.

Exercício 1

A norma que regulamenta a verificação de paquímetros é:

- a) () ABN - Metrologia;
- b) () ISO 9000;
- c) () ISO 9002;
- d) () NBR 6393.

Exercício 2

Na tabela de desvios admissíveis do paquímetro são registrados:

- a) () largura e correção de leitura;
- b) () extensão e desvio de leitura;
- c) () desvios e ajustes;
- d) () comprimento e desvios.

Exercício 3

A verificação do paralelismo de superfícies de micrômetros é feita com auxílio de:

- a) () blocos ou pinos-padrão;
- b) () planos paralelos ópticos;
- c) () plano óptico;
- d) () hastes móveis e fixas.

Exercício 4

Na calibração de micrômetros externos, podem ser identificados erros de:

- a) () superfície e perpendicularidade;
- b) () planeza e paralelismo;
- c) () espaço e simetria;
- d) () forma e assimetria.

Exercício 5

A norma que regulamenta a calibração de micrômetros é a:

- a) () ISO 9000;
- b) () NBR 6670;
- c) () ISO 9002;
- d) () NBR ISO 6180.

Exercício 6

As superfícies de medição do micrômetro devem ser:

- a) () recortadas;
- b) () lapidadas;
- c) () usinadas;
- d) () fresadas;

Exercício 7

A planeza das superfícies de medição pode ser verificada por meio de:

- a) () haste móvel;
- b) () bloco-padrão;
- c) () plano óptico;
- d) () pino-padrão.

Exercício 8

A forma e o número das franjas de interferências indicam:

- a) () número de desvios;
- b) () grau de planeza;
- c) () espessura da superfície;
- d) () nível de tolerância.

Exercício 9

Em superfície com tolerância de 0,001 mm, são visíveis até quatro franjas da mesma cor sob:

- a) () luz comum;
- b) () temperatura média;
- c) () luz difusa;
- d) () temperatura elevada.

Exercício 10

A haste móvel pode apresentar o erro de:

- a) () enquadramento;
- b) () envergamento;
- c) () deslocamento;
- d) () concentricidade.



Calibração de relógios comparadores

Um problema

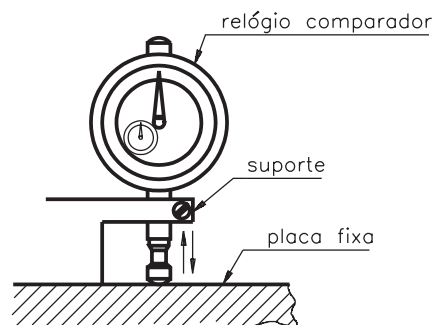
Nas aulas anteriores, vimos como se faz a calibração de paquímetros e micrômetros. Nesta, vamos saber como solucionar os problemas de calibração de relógios comparadores.

Introdução

A NBR 6388/1983 é a norma brasileira que regulamenta procedimentos, tolerâncias e demais condições para a calibração dos relógios comparadores. Temos, a seguir, alguns itens referentes à calibração desse instrumento.

A **repetibilidade do relógio** é definida como sua capacidade de repetir as leituras, para o comprimento medido, dentro das seguintes condições normais de uso:

1. acionamento da haste móvel várias vezes, sucessivamente, em velocidades diferentes, numa placa fixa de metal duro e indeformável;
2. movimento da placa ou cilindro em qualquer direção, num plano perpendicular ao eixo da haste móvel, e retornando ao mesmo ponto;
3. medição de pequenos deslocamentos da ordem de 25 mm;
4. levar o ponteiro devagar, sobre a mesma divisão da escala várias vezes, primeiro num sentido e depois noutro.



Quando o relógio é usado em qualquer das condições descritas, o erro de repetição não deve exceder a 3 mm.

Esses ensaios devem ser executados no mínimo cinco vezes para cada ponto de intervalo controlado. Tais ensaios precisam ser executados no início, no meio e no fim do curso útil da haste móvel.

A exatidão do relógio comparador é definida como sua capacidade de, dentro de intervalos específicos, dar leituras cujos erros estejam dentro dos desvios dados na tabela a seguir, e que deve ser aplicada para qualquer ponto de sua capacidade de medição.

TABELA – DESVIOS TOTAIS PERMISSÍVEIS (em mm)			
Desvios permissíveis			
qualquer 0,1 volta	qualquer 0,5 volta	qualquer 2,0 voltas	qualquer intervalo maior
5	10	15	20

Com essa tabela é possível identificar os desvios em 0,1; 0,5 e 2,0 voltas ou em intervalos maiores, considerando-se erros acima de 20 mm.

Calibração

De acordo com a NBR6165/1980, todas as medições devem basear-se na temperatura de 20°C. Trata-se, no caso, de medição de exatidão e repetição. Para isso, o relógio comparador deve ser montado num suporte suficientemente rígido, para evitar que a falta de estabilidade do relógio possa afetar as leituras.

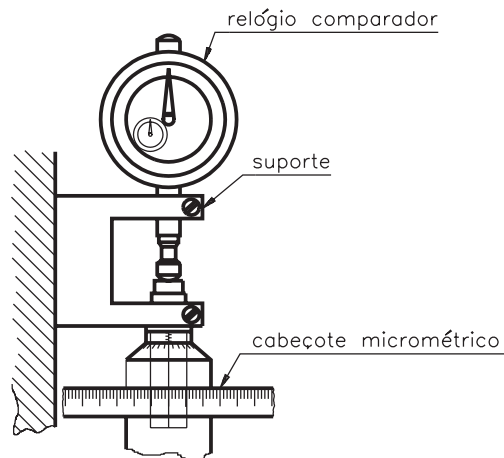
Deve-se ter certeza de que os requisitos de teste sejam atendidos em qualquer que seja o posicionamento da haste móvel do relógio em relação à direção da gravidade.

Para calibrar um relógio comparador é necessário que a calibração seja feita por meio de um dispositivo específico, de modo que o relógio possa ser montado perpendicularmente, em oposição à cabeça de um micrômetro. A leitura pode ir de 0,001 mm até à medida superior desejada.

Pode-se fazer uma série de leituras a intervalos espaçados adequadamente. As leituras são feitas no comprimento total do curso útil do relógio comparador, observando-se, no princípio, cada décimo de volta feita no relógio.

Após as leituras, os resultados obtidos podem ser melhor analisados por meio de um gráfico, que deve apresentar todos os desvios observados nos relógios comparadores. Os desvios são assinalados nas ordenadas e as posições da haste móvel, identificadas ao longo de seu curso útil, são marcadas nas abcissas.

A figura a seguir representa um dispositivo de calibração do relógio comparador. Observe que o relógio está assentado sobre um suporte rígido que lhe dá estabilidade. O cabeçote do micrômetro está perpendicularmente oposto ao relógio montado.

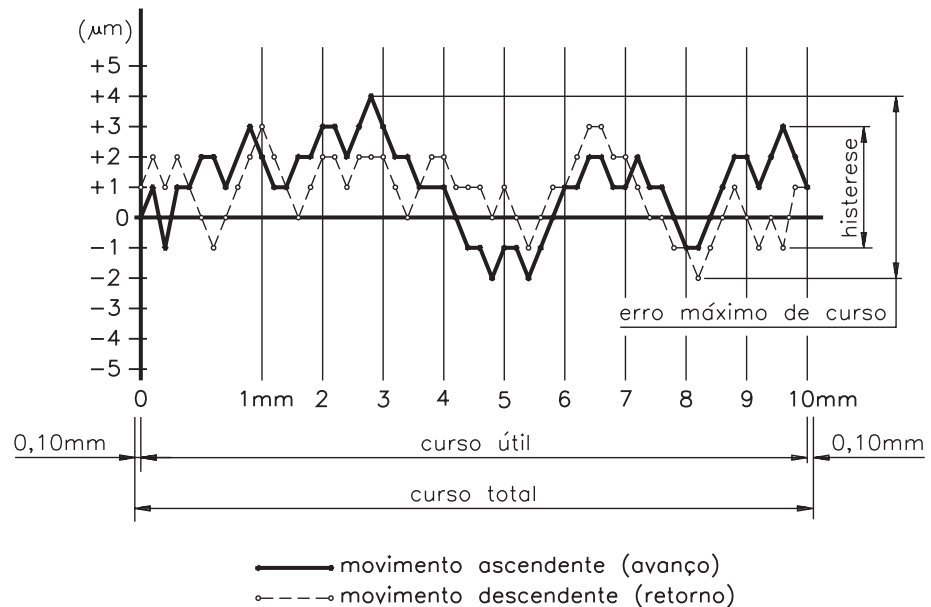


dispositivo de calibração de relógio comparador

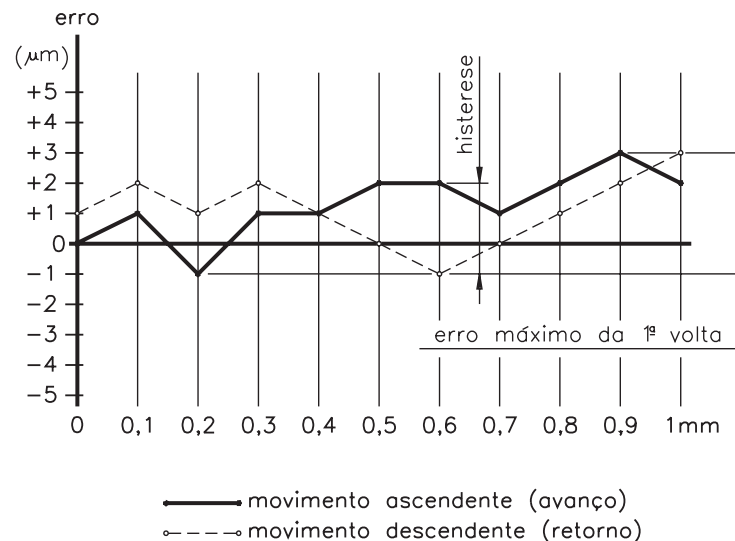
Erros do relógio comparador

A análise de todos os desvios observados no relógio comparador permite identificar os possíveis erros. Esses erros variam, e vão desde os mínimos até os máximos, o que pode fornecer parâmetros para o estabelecimento de erros aceitáveis, uma vez que dificilmente se obtém uma medição isenta de erros.

Os erros do relógio comparador podem ser representados graficamente, como exemplificado no diagrama abaixo, facilitando a visualização e a análise do comportamento dos erros ao longo do curso do instrumento.



Para facilitar a visualização e análise dos erros obtidos na primeira volta do relógio, pode ser utilizado outro diagrama, somente para esse deslocamento.



Teste sua aprendizagem. Faça os exercícios a seguir e confira suas respostas com as do gabarito.

Marque com X a resposta correta.

Exercício 1

A norma brasileira que orienta a aferição dos relógios comparadores é a:

- a) () ISO 9000;
- b) () NBR 9001;
- c) () NBR 6388;
- d) () NBR 9002.

Exercício 2

A capacidade que o relógio comparador tem para repetir leituras denomina-se:

- a) () rotatividade;
- b) () relatividade;
- c) () circularidade;
- d) () repetibilidade;

Exercício 3

Para o relógio comparador repetir leituras é preciso que a haste móvel seja acionada do seguinte modo:

- a) () uma vez, com uma velocidade estabelecida;
- b) () várias vezes, em velocidades diferentes;
- c) () em velocidade normal, contínua;
- d) () durante um tempo determinado.

Exercício 4

Na aferição, o relógio comparador deve ser montado em suporte:

- a) () flexível;
- b) () maleável;
- c) () rígido;
- d) () leve.

Exercício 5

Para identificar desvios totais permissíveis, usa-se:

- a) () diagrama;
- b) () tabela;
- c) () organograma;
- d) () fluxograma.

Exercício 6

Os erros do relógio comparador podem ser identificados em:

- a) () fluxogramas;
- b) () tabelas;
- c) () registros;
- d) () diagramas.

Gabarito das aulas 1 a 30

Aula 1 – Metrologia

1. c
2. d
3. c
4. a
5. b
6. d

Aula 2 – Medidas e conversões

1. a
2. c
3. d
4. b

Aula 3 – Régua graduada, metro e trena

1. b
2. d
3. c
4. a
5. b
6. b
7. c
8. c
9. d
10. d

Aula 4 – Paquímetro: tipos e usos

1. d
2. a
3. b
4. c
5. d

Aula 5 – Paquímetro: sistema métrico

- | | |
|--------------|-------------|
| a) 4,00 mm | l) 0,35 mm |
| b) 4,50 mm | m) 11,00 mm |
| c) 32,70 mm | n) 16,02 mm |
| d) 78,15 mm | o) 15,34 mm |
| e) 59,30 mm | p) 16,54 mm |
| f) 125,80 mm | q) 31,94 mm |
| g) 23,35 mm | r) 93,48 mm |
| h) 11,05 mm | s) 70,76 mm |
| i) 2,55 mm | t) 49,24 mm |
| j) 107,35 mm | u) 41,20 mm |
| k) 94,10 mm | v) 55,52 mm |

Aula 6 – Paquímetro: sistema inglês

- | | |
|-----------|-----------|
| a) .175" | g) 4.474" |
| b) .405" | h) 6.635" |
| c) 3.038" | i) 2.100" |
| d) 1.061" | j) 7.842" |
| e) 8.884" | k) .794" |
| f) 9.997" | l) 1.906" |

a) $\frac{1}{32}$ "

b) $\frac{1}{8}$ "

c) $10\frac{1}{16}$ "

d) $1\frac{11}{64}$ "

e) $\frac{59}{128}$ "

f) $\frac{3}{16}$ "

g) $1\frac{19}{64}$ "

h) $4\frac{79}{128}$ "

i) $4\frac{33}{128}$ "

j) $\frac{57}{64}$ "

k) $2 \frac{119}{128}$ "

l) $5 \frac{27}{128}$ "

m) $\frac{39}{64}$ "

n) $1 \frac{17}{32}$ "

o) $7 \frac{7}{64}$ "

p) $8 \frac{85}{128}$ "

Aula 7 – Paquímetro: conservação

1. b
2. c
3. d
4. d

Aula 8 – Micrômetro: tipos e usos

1. a) arco
b) faces de medição
c) batente
d) fuso
e) bainha
f) bucha interna
g) porca de ajuste
h) catraca
i) tambor
j) linha de referência
k) trava
l) isolante térmico
2. c
3. c
4. b
5. b

Aula 9 – Micrômetro: sistema métrico

- a) 4,00 mm
- b) 42,97 mm
- c) 3,930 mm
- d) 1,586 mm
- e) 53,08 mm
- f) 2,078 mm
- g) 0,349 mm
- h) 18,61 mm

- i) 7,324 mm
- j) 8,382 mm
- k) 11,222 mm
- l) 6,51 mm
- m) 63,21 mm
- n) 26,668 mm
- o) 0,42 mm
- p) 0,99 mm

Aula 10 – Micrômetro: sistema inglês

- a) .175"
- b) .238"
- c) .3313"
- d) .1897"
- e) .031"
- f) .468"
- g) .0602"
- h) .4766"

Aula 11 – Micrômetro interno

- a) 17,660 mm
- b) 28,745 mm
- c) 30,035 mm
- d) 6,414 mm
- e) 32,785 mm
- f) 22,315 mm

Aula 12 – Blocos-padrão

- a) V
- b) F
- c) V
- d) F
- e) F
- f) F
- g) V
- h) V
- i) F
- j) V
- l) V
- m) F
- n) V
- o) F

2. c

3. a) $\begin{array}{l} 14,579 \text{ mm} - 5 \text{ blocos} \\ 14,577 \text{ mm} - 6 \text{ blocos} \end{array} \begin{array}{l} > \\ > \end{array} 11 \text{ blocos}$

- b) $\begin{array}{l} 23,250 \text{ mm} - 4 \text{ blocos} \\ 23,245 \text{ mm} - 5 \text{ blocos} \end{array} \begin{array}{l} > \\ > \end{array} 9 \text{ blocos}$

- c) $10,870 \text{ mm} - 4 \text{ blocos}$ $\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} 9 \text{ blocos}$
 $10,865 \text{ mm} - 5 \text{ blocos}$
- d) $23,283 \text{ mm} - 5 \text{ blocos}$ $\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} 11 \text{ blocos}$
 $23,281 \text{ mm} - 6 \text{ blocos}$
- e) $102,328 \text{ mm} - 6 \text{ blocos}$ $\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} 14 \text{ blocos}$
 $102,318 \text{ mm} - 8 \text{ blocos}$

Aula 13 – Verificadores

1. c
2. a
3. b
4. b
5. d

Aula 14 – Calibradores

1. b
2. c
3. d
4. c

Aula 15 – Relógio comparador

1. a) 2,03 mm
b) 0,46 mm
c) - 1,98 mm
d) 2,53 mm
e) .167"
f) .227"
g) - .155"
h) .102"
2. b
3. b
4. a
5. c

Aula 16 – Goniômetro

- | | |
|-----------|----------|
| a) 50' | h) 5°20' |
| b) 11°30' | i) 14°5' |
| c) 35' | j) 20' |
| d) 14°15' | |
| e) 9°25' | |
| f) 19°10' | |
| g) 29°20' | |

Aula 17 – Régua e mesa de seno

1. c
2. d
3. a
4. 105

Aula 18 – Rugosidade

1. a
2. d
3. b
4. c

Aula 19 – Parâmetros de rugosidade

1. b
2. d
3. d
4. d

Aula 20 – Representação de rugosidade

1. a
2. d
3. c
4. b

Aula 21 – Projetores

1. c
2. a
3. d

Aula 22 – Máquina universal de medir

1. d
2. b
3. d

Aula 23 – Medição tridimensional

1. b
2. c
3. a
4. d

5. c
6. a

Aula 24 – Controle trigonométrico

1. a
2. c
3. b
4. d

Aula 25 – Tolerância geométrica de forma

1. b
2. d
3. c
4. c
5. c
6. c
7. d
8. d

Aula 26 – Tolerância geométrica de orientação

1. c
2. c
3. b
4. a

Aula 27 – Tolerância geométrica de posição

1. d
2. a
3. b
4. b
5. d
6. c

Aula 28 – Terminologia e conceitos de metrologia

1. b
2. d
3. a
4. b
5. c
6. b

Aula 29 – Calibração de paquímetros e micrômetros

1. d
2. d
3. b
4. b
5. b

- 6. b
- 7. c
- 8. b
- 9. a
- 10.c

Aula 30 – Calibração de relógios comparadores

- 1. c
- 2. d
- 3. b
- 4. c
- 5. b
- 6. d



Bibliografia

ABTN. **NBR 6165/1980: Temperatura de referência para medições industriais de dimensões lineares.** S/i.

ABTN. **NBR 6388/1983: Relógios comparadores com leitura 0,01 mm.** S/i.

ABNT. **NBR 6393/1980: Paquímetros com leitura de 0,1 mm e 0,05 mm.** S/i.

ABNT. **NBR 6670/1981: Micrômetros externos com leitura de 0,01 mm.** S/i.

ABNT. **NBR 7264/1982: Régua plana em aço de face paralela.** S/i.

ABNT. **NBR 6405/1988: Rugosidade das superfícies.** S/i.

ABNT. **NBR 8404/1984: Indicação do estado de superfícies em desenhos técnicos.** S/i.

ABNT. **NBR 9972/1993: Esquadros de aço 90 graus.** S/i.

AGOSTINHO, Luiz e outros. **Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões.** São Paulo, Blücher, 1977.

DELLA COLLETTA, Dirceu e outros. **Controle de qualidade.** 2 ed., São Paulo, SENAI/SP, s/d.

GONZALES R. V., Bustamante. **Rugosidade superficial** in: Informativo Técnico. Ano 3, n. 8/9, jan. 1991.

GONZALES R.V., Bustamante. **O mundo da metrologia** in: Informativo Técnico. Ano 3, n. 8/9, jan. 1991.

INMETRO. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de Metrologia.** Duque de Caxias, RJ., 1995.

NAKASHIMA, Pedro e outros. **Medição de circularidade e erro de forma.** São Paulo, Mitutoyo, s/d.

PRIZENDT, Benjamin. **Controlador de medidas.** São Paulo, SENAI/SP, 1992.