



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria da Educação*

**ESCOLA ESTADUAL DE  
EDUCAÇÃO PROFISSIONAL - EEEP**  
ENSINO MÉDIO INTEGRADO À EDUCAÇÃO PROFISSIONAL

**CURSO TÉCNICO EM MÓVEIS**

**METROLOGIA**





**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria da Educação*

**Governador**

Cid Ferreira Gomes

**Vice Governador**

Domingos Gomes de Aguiar Filho

**Secretária da Educação**

Maria Izolda Cella de Arruda Coelho

**Secretário Adjunto**

Maurício Holanda Maia

**Secretário Executivo**

Antônio Idilvan de Lima Alencar

**Assessora Institucional do Gabinete da Seduc**

Cristiane Carvalho Holanda

**Coordenadora da Educação Profissional – SEDUC**

Andréa Araújo Rocha



## SÚMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	3
1.2 TERMINOLOGIA .....	8
1.3 POR QUE MEDIR? .....	8
1.4 HISTÓRICO DAS MEDIDAS E SISTEMA MÉTRICO .....	12
1.5 PADRÃO DO METRO NO BRASIL .....	15
1.6 MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS DE METRO: .....	15
2. MEDIDAS E CONVERSÕES .....	16
2.1 O SISTEMA INGLÊS .....	16
2.1.1 Leitura de medida em polegada .....	17
2.1.2 Sistema inglês – fração decimal.....	17
2.1.3.Conversões.....	18
2.1.4 Representação gráfica .....	22
3. RÉGUA GRADUADA, METRO E TRENA .....	23
3.1 RÉGUA GRADUADA.....	23
3.2 TIPOS E USOS .....	23
3.3 CARACTERÍSTICAS.....	24
3.4 LEITURA NO SISTEMA MÉTRICO.....	24
3.5 LEITURA NO SISTEMA INGLÊS DE POLEGADA FRACIONÁRIA .....	26
4. METRO ARTICULADO .....	29
5. TRENA.....	29
6. PAQUÍMETRO.....	30
6.1 TIPOS E USOS .....	31
6.2 PRINCÍPIO DO NÔNIO.....	33
6.3 LEITURA NO SISTEMA MÉTRICO.....	35
6.4 LEITURA DE POLEGADA FRACIONÁRIA .....	39
6.5 CONSERVAÇÃO – PAQUÍMETROS .....	44
7. MICRÔMETRO .....	48
7.1 LEITURA NO SISTEMA MÉTRICO.....	53
8. BLOCOS-PADRÃO .....	55
9. GONIÔMETRO.....	58
9.1 LEITURA DO GONIÔMETRO.....	58

10. CONTROLE GEOMÉTRICO .....	60
10.1 TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA.....	60
10.2 DESVIOS DE FORMA.....	60
10.2.1 Tolerância geométrica de forma.....	60
10.2.2 Tolerância geométrica de orientação.....	68
10.2.3 Tolerância geométrica de posição .....	73
11. CALIBRAÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO.....	81
11.1 OPERAÇÕES BÁSICAS PARA QUALIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO .....	81
11.2 MÉTODOS DE CALIBRAÇÃO .....	84
11.3 PROCEDIMENTO GERAL DE CALIBRAÇÃO .....	88
REFERÊNCIAS.....	95

# 1. INTRODUÇÃO

Este curso tem o objetivo de auxiliar a todos os profissionais que, de uma forma ou de outra estão envolvidos com atividades de metrologia dimensional. Para aqueles que já estão bem engajados nesse mundo da metrologia, encontrarão aqui uma forma de lembrar conceitos esquecidos e aqueles que estão iniciando, terão o benefício de obter informações fundamentais, aprenderão a utilizar alguns instrumentos e tudo de uma forma bastante simples, pois nossa intenção aqui é mostrar a metrologia dimensional e seus recursos instrumentais tais como eles são: muito simples.

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A medição é uma operação antiga e de fundamental importância em diversas atividades humanas. Na comunicação, por exemplo, quando se quantifica um elemento, se está medindo, isto é, comparando este elemento com uma quantidade de referência conhecida pelo transmissor e receptor da comunicação.

O comércio é outra atividade onde a medição é fundamental: para que transações comerciais possam ser efetuadas, é necessário descrever as quantidades envolvidas em termos de uma base comum, isto é, de uma unidade de medição. Com a evolução da manufatura, esta necessidade se intensificou: é preciso descrever o bem fabricado em termos de elementos que o quantifiquem, isto é, número de um calçado, tamanho de uma peça, quantidade contida em uma embalagem, são apenas exemplos. A intercambialidade desejada entre peças e elementos de uma máquina só é possível através da expressão das propriedades geométricas e mecânicas destes elementos através de operações de medição.

Medir é uma forma de descrever o mundo. As grandes descobertas científicas, as grandes teorias clássicas foram e são, formuladas a partir de observações experimentais. Uma boa teoria é aquela que se verifica na prática. A descrição das quantidades envolvidas em cada fenômeno se dá através da medição.

A medição continua presente no desenvolvimento tecnológico. É através da medição do desempenho de um sistema que se avalia e realimenta o seu aperfeiçoamento. A qualidade, a segurança, o controle de um elemento ou processo é sempre assegurada através de uma operação de medição.

Há quem afirme que "*medir é fácil*". Afirma-se aqui que "*cometer erros de medição é ainda mais fácil*". De fato, existe uma quantidade elevada de fatores que podem gerar estes erros, conhece-los e controlá-los nem sempre é uma tarefa fácil.

### **Metrologia**

A ciência que trata das medições é a metrologia. A metrologia abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições em quaisquer campos da ciência ou da tecnologia. Medir entretanto, é uma atividade mais corriqueira do que parece. Ao olhar o relógio, por exemplo, vê-se no mostrador o

resultado de uma medição de tempo. Ao tomar um táxi, comprar um quilograma de carne ou abastecer o carro no posto de gasolina, necessitamos de conceitos e práticas estipuladas pela metrologia.

Um dos fatores de grande peso na fabricação de produtos de qualidade na indústria moveleira é a usinagem de peças conforme as medidas elaboradas no projeto. A falta de exatidão dessas medidas na peça fabricada assim como o total erro na transferência dessas medidas pode comprometer toda a funcionalidade do móvel, gerando para a empresa retrabalhos, perda de produção e até mesmo devolução por parte do cliente.

Para evitar estes problemas é de suma importância o correto uso da metrologia no processo produtivo, como disponibilizando instrumentos de medição ao pessoal da fabricação e dando treinamento para que este pessoal utilize os instrumentos de forma adequada.

## **Conceitos sobre medição**

### Instrumentação

É o conjunto de técnicas e instrumentos usados para observar, medir e registrar fenômenos físicos. Preocupa-se com o estudo, o desenvolvimento, a aplicação e a operação dos instrumentos.

### Medição

Existe uma imensa variedade de coisas diferentes que podem ser medidas sob vários aspectos. Imagine uma lata, dessas que são usadas para refrigerante. Pode-se medir sua altura, quanto ela “pesa” e ainda o quanto de líquido ela pode suportar. Cada um desses aspectos: comprimento, massa e volume, implicam numa grandeza física diferente.

Medir é comparar uma grandeza com uma outra, de mesma natureza, tomada como padrão. Medição é portanto, o conjunto de operações que tem por objetivo determinar o valor de uma grandeza.

### Grandeza

Grandeza pode ser definida, resumidamente, como sendo o atributo físico de um corpo que pode ser qualitativamente distinguido e quantitativamente determinado. Por exemplo: a altura da lata de refrigerante é um dos atributos desse corpo, definido pela grandeza comprimento, que é qualitativamente distinto de outros atributos (diferente de massa por exemplo) e quantitativamente determinável ou seja, que pode ser expresso por um número.

### Unidade de medição

Para determinar o valor numérico de uma grandeza, é necessário que se disponha de uma outra grandeza de mesma natureza, definida e adotada por convenção, para fazer a comparação com a primeira. Para saber a altura daquela lata de refrigerante por exemplo, é preciso adotar um comprimento definido

para ser usado como unidade. O comprimento definido como unidade de medida pelo Sistema Internacional de Unidades – SI, é o metro, seus múltiplos e submúltiplos.

### Padrão

Seria bem complicado medir a altura de uma lata usando apenas a definição do metro. Para isso existem os Padrões Metrológicos. Um padrão metrológico é, em resumo, um instrumento de medir ou uma medida materializada destinada a reproduzir uma unidade de medir para servir como referência.

O padrão de qualquer grandeza reconhecido como tendo a mais alta qualidade metrológica e cujo valor é aceito sem referência a outro padrão, é chamado de Padrão Primário. Um padrão cujo valor é estabelecido pela comparação direta com o padrão primário é chamado de Padrão Secundário, e assim sucessivamente, criando uma cadeia de padrões onde um padrão de maior qualidade metrológica é usado como referência para o de menor qualidade metrológica. Pode-se, por exemplo, a partir de um Padrão de Trabalho, percorrer toda a cadeia de rastreabilidade desse padrão, chegando ao Padrão Primário.

### Instrumento de medição

Conhecidos os padrões de medição, antes de realizar qualquer medição, precisamos saber qual a grandeza que pretendemos medir e o grau de exatidão que pretendemos obter como resultado dessa medição, para então podermos escolher o instrumento de medir adequado. Além disso, é necessário que o instrumento ou medida materializada em questão tenha sido calibrado.

Para sabermos quanto “pesamos”, a grandeza a ser medida é a massa, e não é necessário um resultado de grande exatidão, a balança antropométrica da farmácia resolve o caso. Mas para saber quanto mede um componente de um medicamento em uma farmácia de manipulação, é necessário que se tenha um resultado de grande exatidão de medição, neste caso, utiliza-se um instrumento mais adequado, uma balança analítica compatível com a exatidão requerida.

### Método de medição

Mesmo nas medições mais corriqueiras, adotamos de maneira consciente ou inconsciente, um método de medição e um procedimento de medição. Métodos e procedimentos de medição são adotados em razão da grandeza a ser medida, da exatidão requerida e de outros condicionantes que envolvem uma série de variáveis. Por exemplo: para se determinar o volume de 200 ml de óleo. Se a medida for para fazer uma receita, não é necessário uma grande exatidão e pode-se usar uma proveta por exemplo. Porém, quanto exige-se maior exatidão, num ensaio de laboratório, será preciso utilizar outro método que leve em consideração outras variáveis como: temperatura, massa específica entre outras, uma vez que o volume do óleo varia em razão da temperatura que este apresenta no momento da medição.

### Resultado da medição

Após medir uma grandeza, deve-se enunciar o resultado da medição. Parece coisa simples, mas não é. Em primeiro lugar, ao realizar-se uma medição, é impossível determinar um valor verdadeiro para a grandeza medida. Ao medir a massa de um corpo em uma balança eletrônica e a indicação numérica que apareceu no visor foi 251g. Na verdade, um possível valor verdadeiro da massa daquele corpo estaria próximo da indicação obtida, embora este seja, por definição, indeterminável. Os parâmetros dessa aproximação são dados pela incerteza da medição.

Se a medição destina-se a fins domésticos, não é necessário qualquer rigor ao expressar o resultado. Entretanto, quando se trata de medições com fins científicos e tecnológicos, será preciso deixar claro se o resultado apresentado refere-se àquela indicação, ou ao resultado corrigido, ou ainda à média de várias medições. Deve-se conter ainda, informações sobre a incerteza de medição, ser expresso utilizando-se o nome e a simbologia da grandeza de forma correta e levar em consideração os algarismos significativos que compõem o valor numérico.

### **Finalidade do controle**

O controle não tem por fim somente reter ou rejeitar os produtos fabricados fora das normas: destina-se antes a orientar a fabricação, evitando erros. O controle por conseguinte, representa um fator importante na redução das despesas gerais e no acréscimo da produtividade. Um controle eficaz deve ser total, isto é, deve ser exercido em todos os estágios de transformação da matéria, integrando-se nas operações depois de cada fase de usinagem.

Todas as operações de controle dimensional são realizadas por meio de aparelhos e instrumentos. Portanto, devem-se controlar não somente as peças fabricadas, mas também os aparelhos e instrumentos verificadores. Isso ainda se aplica às ferramentas, aos acessórios e às máquinas-ferramentas utilizadas.

### **Método, Instrumento e Operador**

Um dos mais significativos índices de progresso, em todos os ramos da atividade humana, é a perfeição dos processos metrológicos que neles se empregam. Principalmente no domínio da técnica, a metrologia é de importância fundamental.

O sucessivo aumento de produção e a melhoria da qualidade requerem um ininterrupto desenvolvimento e aperfeiçoamento na técnica de medição: quanto maiores são as exigências, com referência à qualidade e ao rendimento, maiores são as necessidades de instrumentos, ferramentas de medição e elementos capazes. Na tomada de quaisquer medidas, devem ser considerados três elementos fundamentais: **o método, o instrumento e o operador.**

### Método

a) *Medição direta*: consiste em avaliar a grandeza por medir, por comparação direta com instrumentos, aparelhos e máquinas de medir. Esse método é empregado quando o número de peças a ser produzida dor relativamente pequena.

b) *Medição indireta por comparação*: medir por comparação é determinar a grandeza de uma peça com relação a outra, de padrão ou dimensão aproximada, por isso é chamada medição indireta.

Os aparelhos utilizados são calibradores e comparadores-amplificadores, os quais, visando facilitar a leitura, amplificam as diferenças constatadas por meio de processos mecânicos ou físicos.

### Instrumentos de medição

A exatidão relativa das medidas depende, evidentemente, da qualidade dos instrumentos de medição empregados. Assim, a tomada de um comprimento com um paquímetro defeituoso dará resultado duvidoso, sujeito a contestações. Portanto, para a tomada de uma medida, é indispensável que o instrumento esteja aferido e que sua aproximação permita a grandeza em questão, com a precisão exigida.

### Operador

O operador é dos três, o elemento mais importante. É ele a parte inteligente na apreciação das medidas. De sua habilidade depende em grande parte, a precisão conseguida. Deve pois, o operador, conhecer perfeitamente os instrumentos que utiliza, ter iniciativa para adaptar às circunstâncias o método mais aconselhável e possuir conhecimentos suficientes para interpretar os resultados encontrados.

### **Unidades dimensionais**

As unidades dimensionais representam valores de referência, que permitem:

- expressar as dimensões de objetos, exemplo: leitura de desenho de móveis;
- confeccionar e, em seguida, controlar as dimensões desses objetos, exemplo: utilizando aparelhos e instrumentos de medidas.

### **Sistema métrico decimal**

O padrão do metro em vigor no Brasil é recomendado pelo INMETRO, baseado na velocidade da luz, de acordo com a decisão da 17ª Conferência Geral dos Pesos e Medidas de 1983.

No universo da Indústria Moveleira, a unidade básica é o milímetro (mm) e seus submúltiplos:

milímetro = 1mm

décimo = 0,1 mm

centésimo = 0,01 mm

milésimo = 0,001 mm

## 1.2 TERMINOLOGIA

Para que se possa expor de forma clara e eficiente os conceitos da metrologia, através do qual são determinados e tratados os erros de medição, é preciso empregar a terminologia técnica apropriada. A terminologia aqui adotada está baseada na Portaria 029 de 10/03/1995 INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, que estabelece o “Vocabulário de Termos Fundamentais e Gerais em Metrologia”. Este documento é baseado no vocabulário internacional de metrologia elaborado por diversas entidades internacionais como BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC e IUPAP.

## 1.3 POR QUE MEDIR?

Do ponto de vista técnico, a medição é empregada para *monitorar*, *controlar* ou *investigar* um processo ou fenômeno físico. Nas aplicações que envolvem monitoração, os SM (Sistemas de Medição) apenas indicam para o usuário o valor momentâneo ou acumulado do mensurando (ME).

Barômetros, termômetros e higrômetros, quando usados para observar aspectos climáticos são exemplos clássicos de aplicações que envolvem monitoração. Medidores do consumo de energia elétrica ou volume d'água são outros exemplos. Nenhuma ação ou decisão é tomada em relação ao processo.

Qualquer sistema de controle envolve um SM como elemento sensor, compondo um sistema capaz de manter uma grandeza ou processo dentro de certos limites. O valor da grandeza a controlar é medido e comparado com o valor de referência estabelecido e uma ação é tomada pelo controlador visando aproximar a grandeza sob controle deste valor de referência. São inúmeros os exemplos destes sistemas. O sistema de controle da temperatura no interior de um refrigerador é um exemplo: um sensor mede a temperatura no interior do refrigerador e a compara com o valor de referência pré estabelecido.

Se a temperatura estiver acima do valor máximo aceitável, o compressor é ativado até que a temperatura atinja um patamar mínimo, quando é desligado. O isolamento térmico da geladeira mantém a temperatura baixa por um certo tempo, e o compressor permanece desativado enquanto a temperatura no interior estiver dentro da faixa tolerada. Exemplos mais sofisticados passam pelo controle da trajetória de um míssil balístico teleguiado, uma usina nuclear, uma máquina de comando numérico, etc.

Os recursos experimentais foram, e ainda são, uma ferramenta indispensável com a qual diversas descobertas científicas tornaram-se possíveis. Problemas nas fronteiras do conhecimento frequentemente requerem consideráveis estudos experimentais em função de não existir ainda nenhuma teoria adequada. Estudos teóricos e resultados experimentais são complementares e não antagônicos. A análise combinada teoria experimentação pode levar ao conhecimento de fenômenos com muito maior profundidade e em menor tempo do que cada uma das frentes em separado. Através da experimentação é possível, por exemplo, testar a validade de teorias e de suas simplificações, testar relacionamentos empíricos, determinar propriedades de materiais, componentes, sistemas ou o seu desempenho.

### 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<sub>c</sub> = 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.).

## Qualificação dos instrumentos de medição

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.

**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.

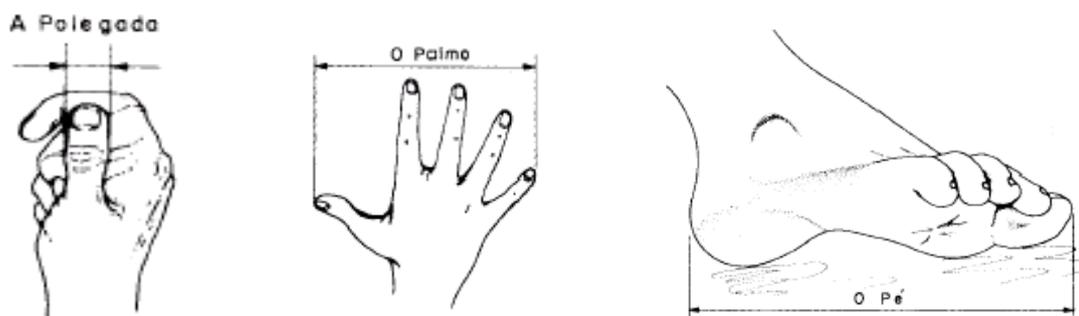
## Normas de calibração

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.

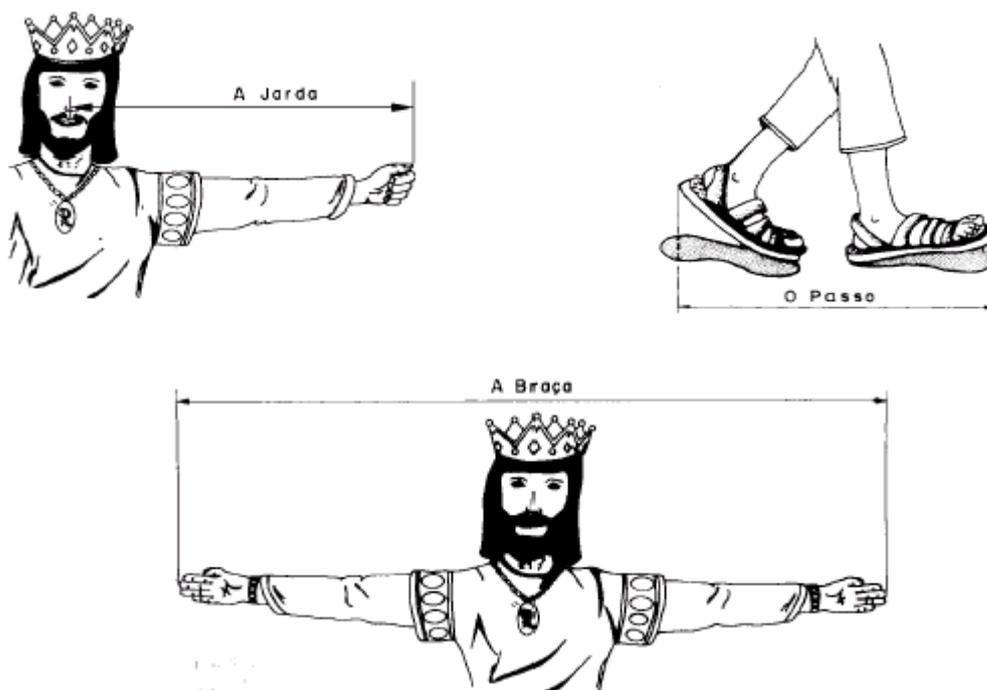
Juntamente com a revisão dos conceitos fundamentais da ciência da edição será definida uma terminologia compatibilizada, na medida do possível, com normas nacionais (ABNT), internacionais (ISO) e com normas e recomendações técnicas de reconhecimento internacional (DIN, ASTM, BIPM, VDI e outras).

## 1.4 HISTÓRICO DAS MEDIDAS E SISTEMA MÉTRICO

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 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.



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 de uma pessoa para outra, acabava 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 de gastava, foram gravados comprimentos equivalentes a um cúbito-padrão nas paredes dos principais templos. Desse modo, cada um podia conferir periodicamente sua barra.

Nos séculos XV ou XVI, os padrões mais usados na Inglaterra para medir comprimento 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 podia conferir seus próprios instrumentos. Uma Toesa é equivalente a 6 (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 de metro (o termo grego metron significa medir).

Os astrônomos franceses Delembre 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 4,05x25mm. 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.**

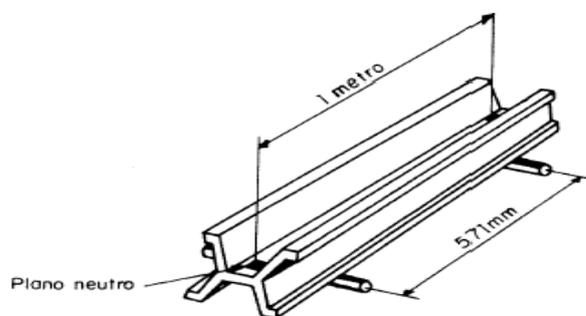
Esse metro transformado em barra de platina que passou a ser denominado **metro dos arquivos**. Com o desenvolvimento da ciência, verificou-se que uma medição mais precisa do meridiano fatalmente daria um metro um pouco diferente. Assim a primeira definição foi substituída por uma Segunda:

**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.**

No século XIX, vários países já haviam adotado o sistema métrico. No Brasil, o sistema métrico foi implantado pela Lei Imperial nº1157 de 26 de junho de 1862.

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 Measures) na temperatura de zero grau Celcius 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 1/299.792.458 do segundo.**

Essa definição é universal e se aplica a todo tipo de medições, desde o lar até a astronomia. O metro em si não foi alterado, o que ocorreu foi mais uma impressionante melhoria na precisão de sua definição.

O erro de reprodução por este meio corresponde a  $\pm 1,3 \times 10^{-9}$ , em terminologia mais atual dizemos 1,3 nm (nanômetros) o que significa um erro de 1,3 milímetros para 1.000 quilômetros!

Assim a fascinante história do metro se perde no tempo, desde 1790, onde teve seus primórdios e procurava-se a definição de um padrão de comprimento que não dependesse nem do corpo humano nem de materializações deterioráveis pelo tempo.

### 1.5 PADRÃO DO METRO NO BRASIL

Em 1826, foram feitas 32 barras-padrão na França. Em 1889, determinou-se que a barra nº6 seria do Arquivos e a de nº26 foi destinada ao Brasil e encontra-se no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas).

### 1.6 MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS DE 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
Hexametro	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	$10^6 = 1\ 000\ 000\ m$
Quilometro	km	$10^3 = 1\ 000\ m$
Hectômetro	hm	$10^2 = 100\ m$
Decâmetro	dam	$10^1 = 10\ m$
Metro	m	$1 = 1\ m$
Decímetro	dm	$10^{-1} = 0,1\ m$
Centímetro	cm	$10^{-2} = 0,01\ m$
Milímetro	mm	$10^{-3} = 0,001\ m$
Micrometro	$\mu m$	$10^{-6} = 0,000\ 001\ m$
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	$10^{-18} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001\ m$

## 2. MEDIDAS E CONVERSÕES

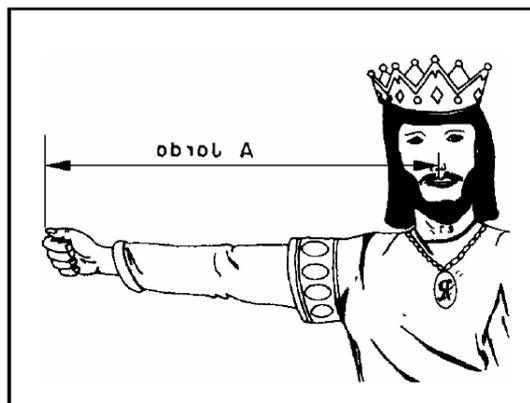
Apesar de se chegar ao metro como unidade de medida, ainda são usadas outras unidades como por exemplo, é comum usar o milímetro e a polegada.

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.

### 2.1 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 uniformização da jarda na vida prática, não se conseguiu evitar que o padrão sofresse modificações.



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

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

$$1 \text{ jarda} = 3 \text{ pés}$$

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

A polegada, unidade de medida adotada pelo sistema inglês, pode ser representada por dois sistemas: o sistema binário (fracionário) e o sistema decimal. O sistema binário caracteriza-se pela maneira de sempre dividir por dois a unidade e suas frações. Assim obtém-se da polegada a seguinte série

decrecente:  $1''$ ,  $\frac{1''}{2}$ ,  $\frac{1''}{4}$ ,  $\frac{1''}{8}$ ,  $\frac{1''}{16}$ ,  $\frac{1''}{32}$ ,  $\frac{1''}{64}$ ,  $\frac{1''}{128}$ .

O sistema decimal caracteriza-se por ter sempre no denominador da fração, uma potência de base dez, como mostra a série:

$$\frac{1''}{10^0} = \frac{1''}{1} = 1'' \qquad \frac{1''}{10^1} = \frac{1''}{10} = 0,1'' \qquad \frac{1''}{10^2} = \frac{1''}{100} = 0,01''$$

$$\frac{1''}{10^3} = \frac{1''}{1000} = 0,001'' \qquad \frac{1''}{10^4} = \frac{1''}{10000} = 0,0001''$$

### 2.1.1 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:

1"/2 (meia polegada)

1"/4 (um quarto de polegada)

1"/8 (um oitavo de polegada)

1"/16 (um dezesseis avos de polegada)

1"/32 (um trinta e dois avos de polegada)

1"/64 (um sessenta e quatro avos de polegada)

1"/128 (um cento e vinte e oito avos de polegada)

Os numeradores das frações devem ser números ímpares:

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

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

$$\text{a) } \frac{6''}{8} : \frac{2}{2} = \frac{3''}{4}$$

$$\text{b) } \frac{8''}{64} : \frac{8}{8} = \frac{1''}{8}$$

### 2.1.2 Sistema inglês – fração decimal

A divisão da polegada em submúltiplos de 1"/2, 1"/4 ... 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  $\mu$  inch.

Exemplo

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

### 2.1.3. 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

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

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

### Verificando o entendimento

1. Converter polegada fracionária em milímetro:

$$\text{a) } \frac{5"}{32} =$$

$$\text{b) } \frac{5"}{16} =$$

$$\text{c) } \frac{1"}{128} =$$

$$\text{d) } 5" =$$

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

$$\text{f) } \frac{3"}{4} =$$

$$\text{g) } \frac{27"}{64} =$$

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

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

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

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

Exemplos

a) 12,7 mm

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

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

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

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

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

Exemplos

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

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

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 |

➔ 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

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

### Verificando o entendimento

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

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

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

Exemplos

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

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

**Verificando o entendimento**

Converter polegada fracionária em polegada milesimal:

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

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

c)  $\frac{11''}{8} =$

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

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

Exemplo

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

**Verificando o entendimento**

Converter polegada milesimal em milímetro:

a)  $.6875'' =$

b)  $.3906'' =$

c)  $1.250'' =$

d)  $2.7344'' =$

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

Exemplos

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

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

**Verificando o entendimento**

Converter milímetro em polegada milesimal:

a) 12,7mm

b) 1,588mm

c) 17mm

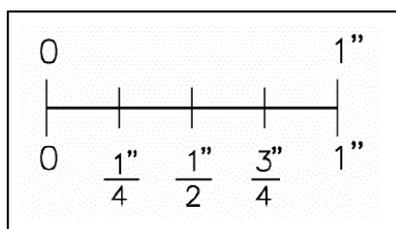
d) 20,240mm

e) 57,15mm

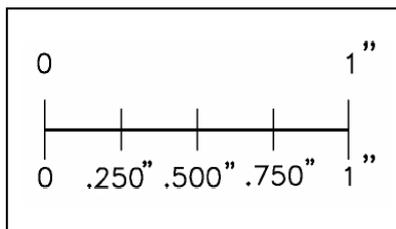
f) 139,70mm

### 2.1.4 Representação gráfica

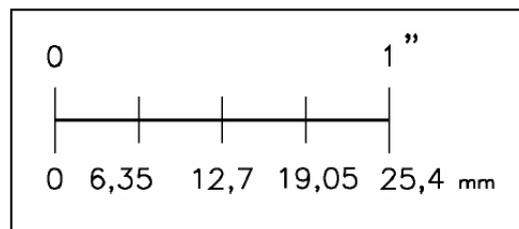
A equivalência entre os diversos sistemas de medidas, vistos até agora, pode ser melhor compreendida graficamente.



sistema inglês de polegada  
fracionária



sistema inglês de polegada  
milesimal



sistema métrico

### 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.

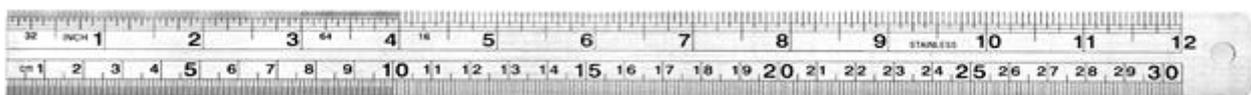
4. 12,7 mm convertidos em polegada correspondem a:

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

### 3. RÉGUA GRADUADA, METRO E TRENA

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.

#### 3.1 RÉGUA GRADUADA

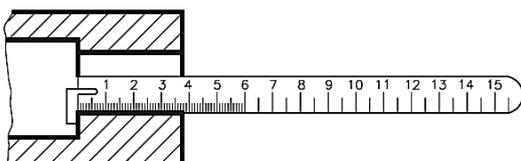


Utiliza-se a régua graduada nas medições com “erro admissível” superior à menor graduação. Normalmente, essa graduação equivale a 0,5 mm ou 1"/32. As réguas graduadas apresentam-se nas dimensões de 150, 200, 250, 300, 500, 600, 1000, 1500, 2000 e 3000 mm. As mais usadas geralmente são as de 150 mm (6")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

#### 3.2 TIPOS E USOS

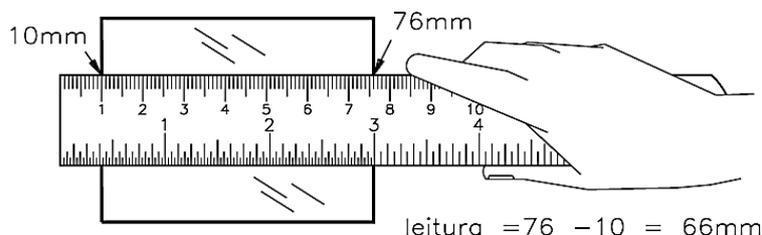
##### Régua de encosto interno

Destinada a medições que apresentem faces internas de referência.



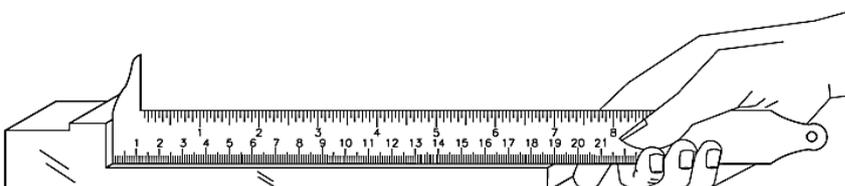
##### Régua sem encosto

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



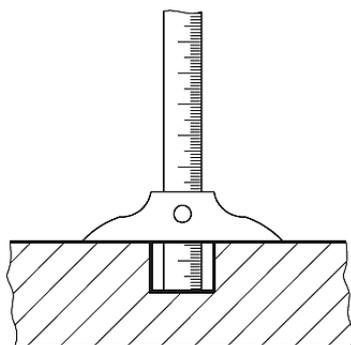
##### Régua com encosto

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



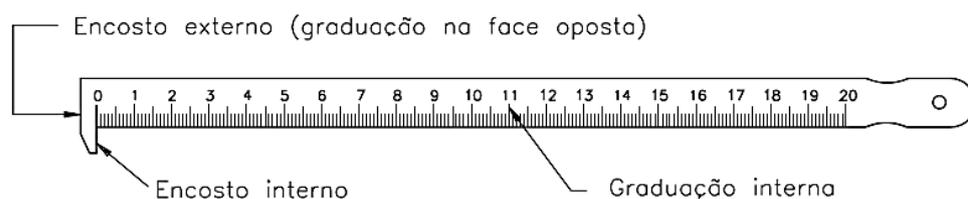
### Régua de profundidade

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.



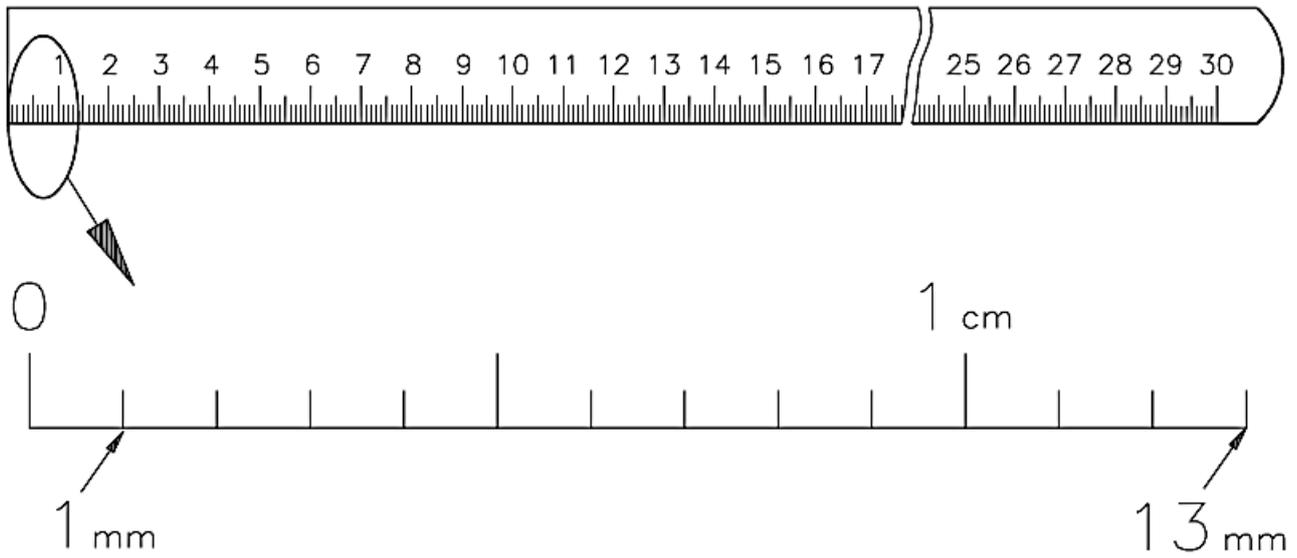
## 3.3 CARACTERÍSTICAS

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.

## 3.4 LEITURA NO SISTEMA MÉTRICO

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

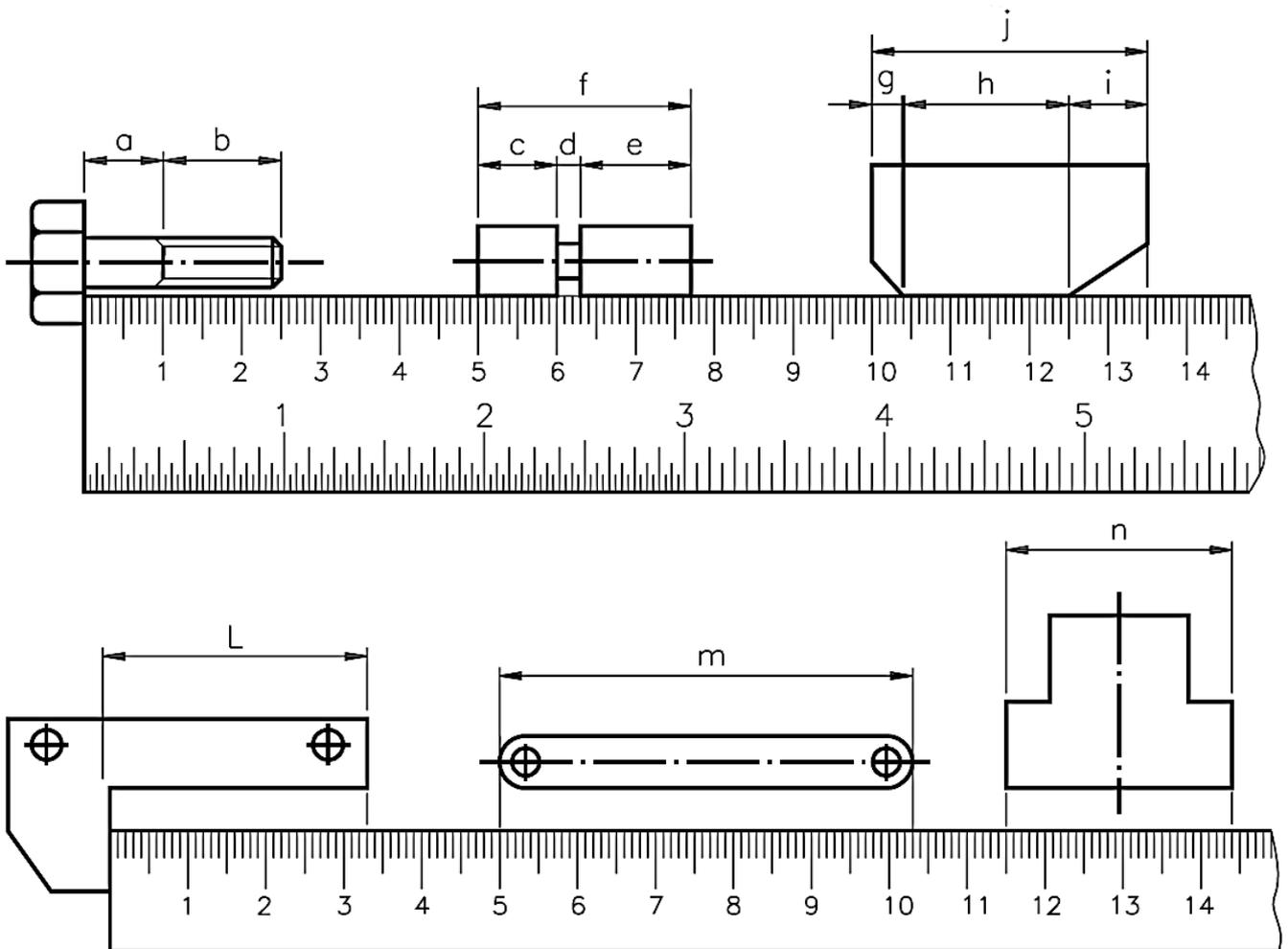
Assim, a leitura pode ser feita em milímetro. A ilustração a seguir mostra, de forma ampliada, como se faz isso.



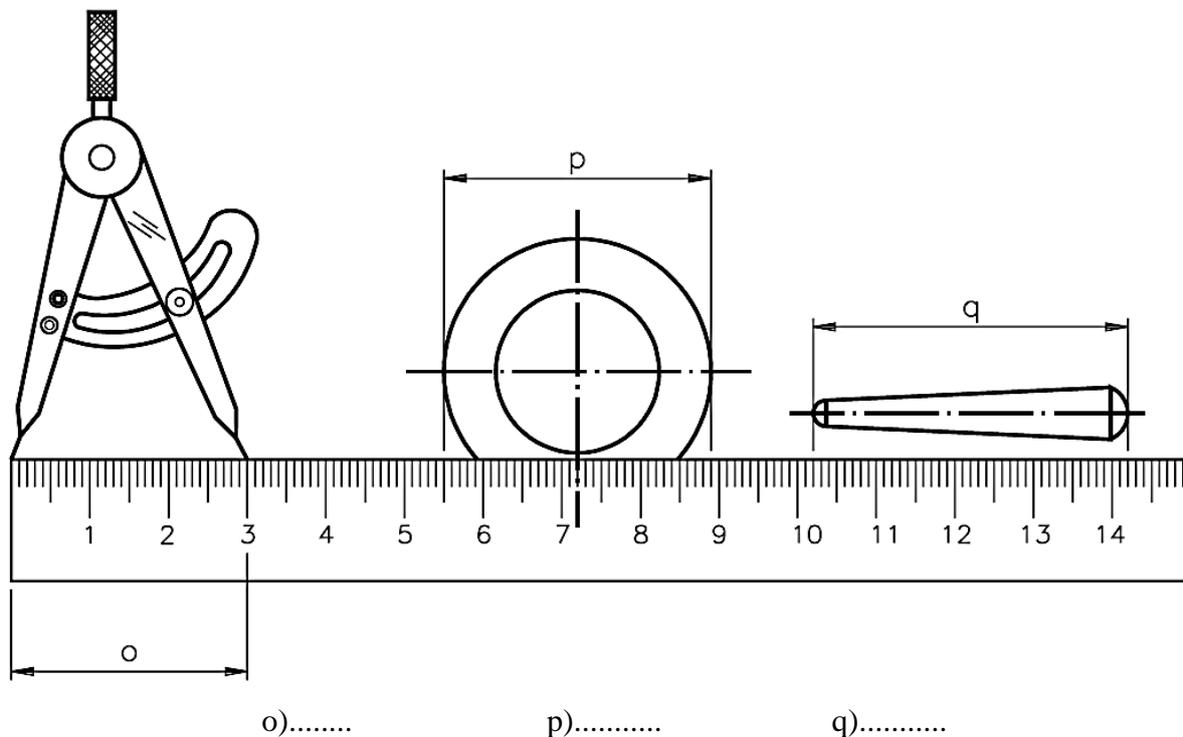
**Verificando o entendimento**

Leitura de milímetro em régua graduada.

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



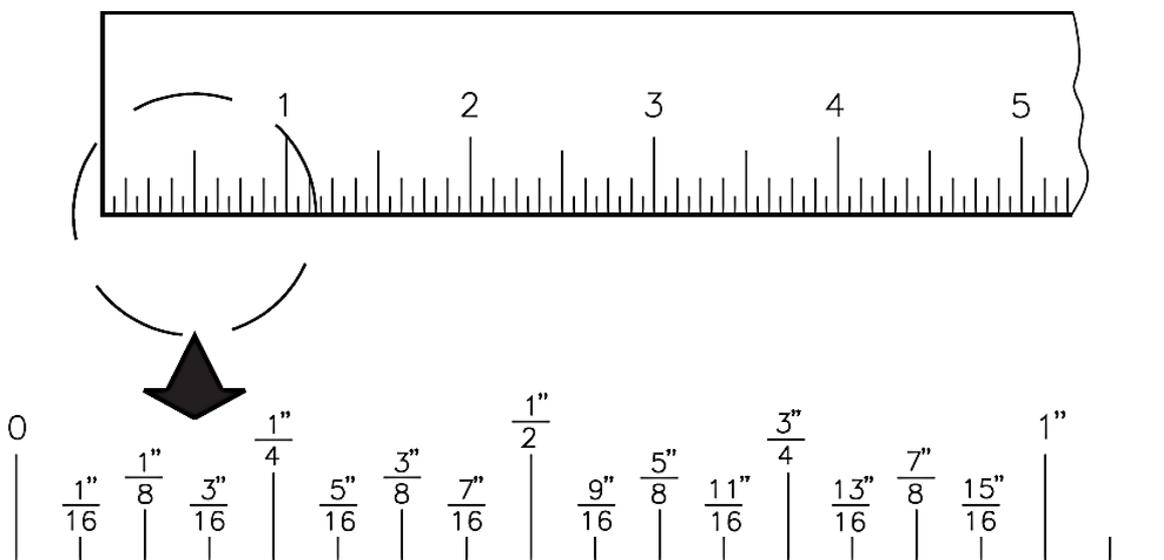
- a).....                      b).....                      c).....                      d).....                      e).....                      f).....                      g).....
- h).....                      i).....                      j).....                      k).....                    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



### 3.5 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 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.

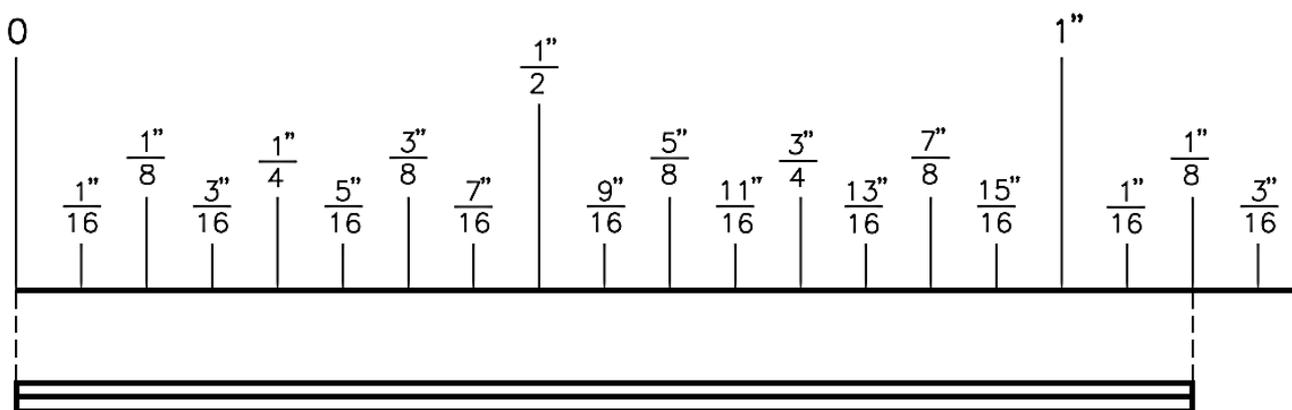
Exemplo:

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

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

$$\frac{1''}{16} + \frac{1''}{16} + \frac{1''}{16} + \frac{1''}{16} + \frac{1''}{16} + \frac{1''}{16} = \frac{6''}{16} \rightarrow \frac{3''}{8} \quad \text{e assim por diante...}$$

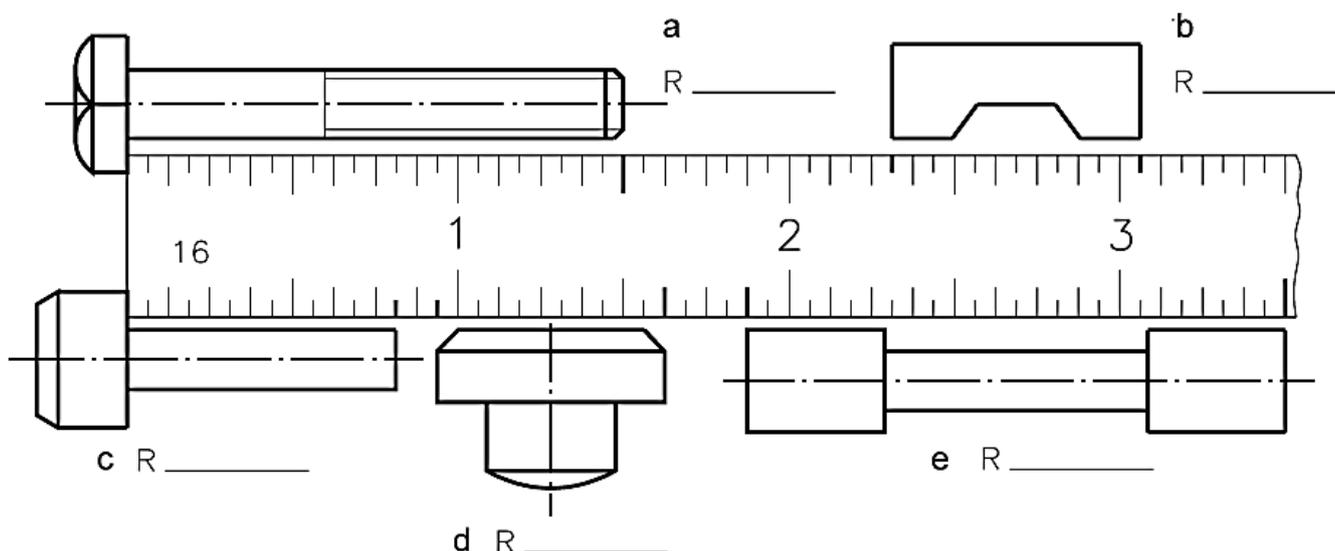
A leitura na escala consiste em observar qual traço coincide com a extremidade do objeto. Na leitura, deve-se observar sempre a altura do traço, porque ele facilita a identificação das partes em que a polegada foi dividida.

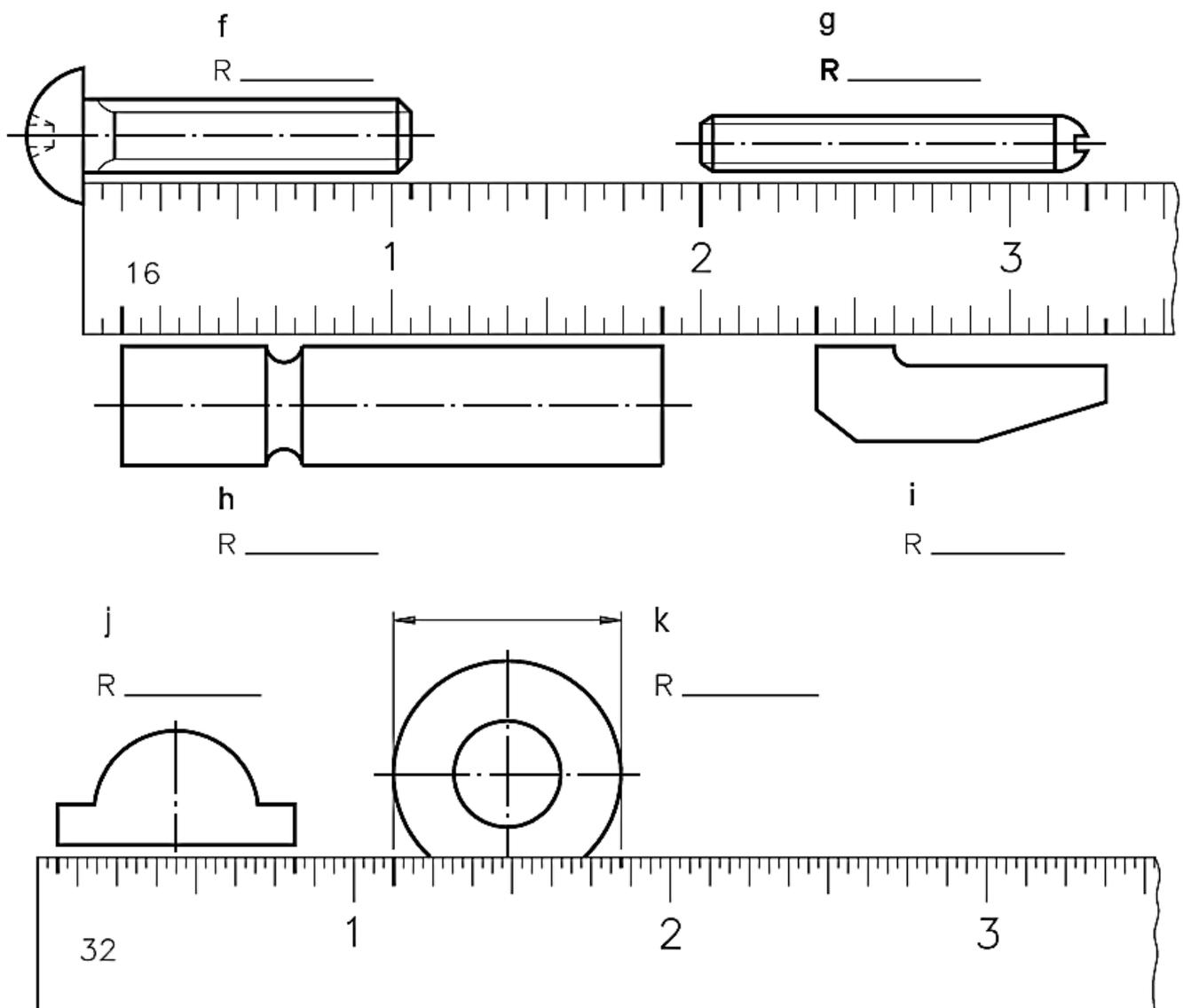


Assim, o objeto na ilustração acima tem  $1 \frac{1}{8}$  (uma polegada e um oitavo de polegada) de comprimento.

**Verificando o entendimento**

Faça a leitura de frações de polegada em régua graduada.





### 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.

#### 4. 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.



##### Conservação

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

#### 5. 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, esse mecanismo 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.

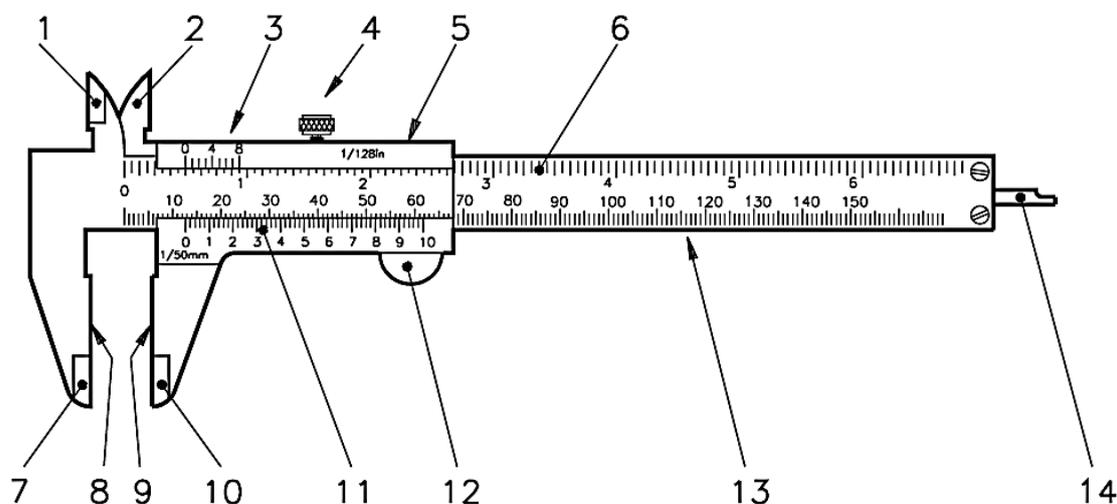
Não se recomenda medir perímetros com trenas de bolso cujas fitas sejam curvas.

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.

## 6. PAQUÍMETRO

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:

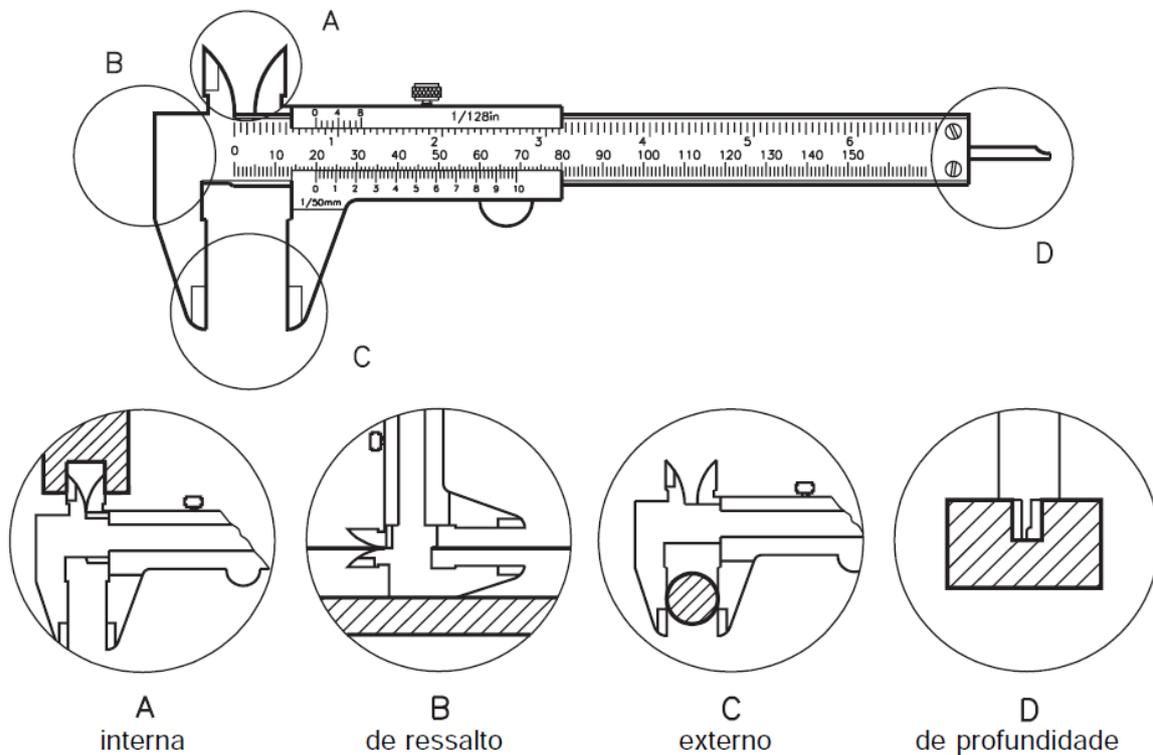
$$0,05 \text{ mm}, 0,02 \text{ mm}, \frac{1''}{128} \text{ ou } .001''$$

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

## 6.1 TIPOS E USOS

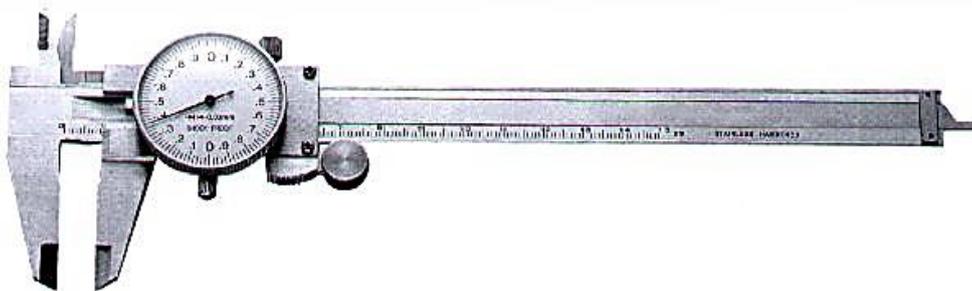
### Paquímetro universal

Utilizado em medições internas, externas, de profundidade e de ressaltos. É o tipo mais usado.



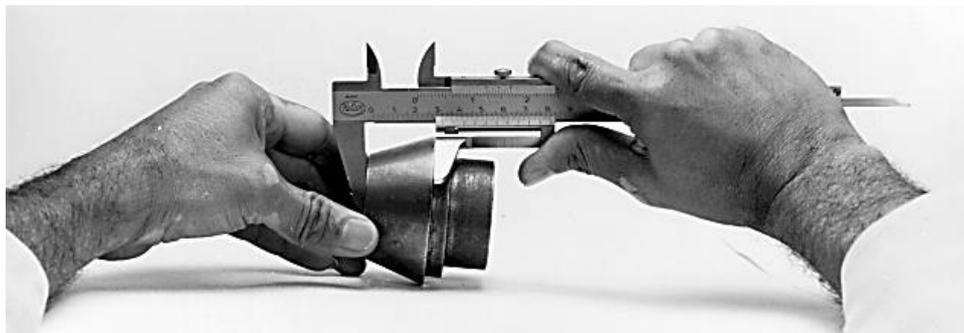
### Paquímetro universal com relógio

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



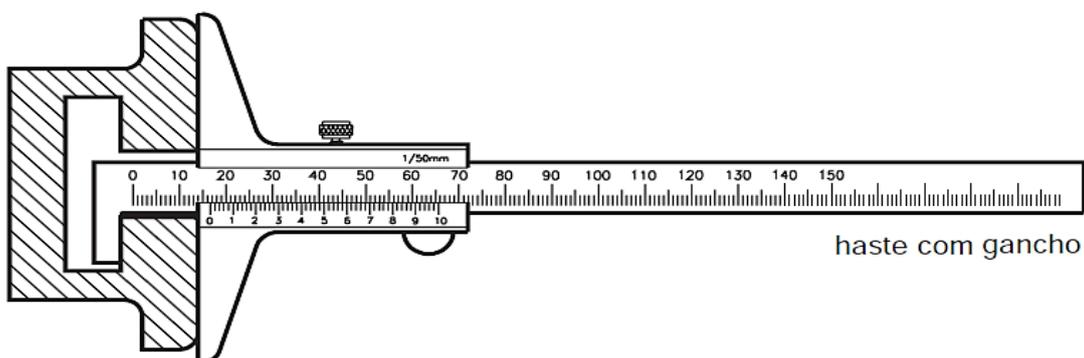
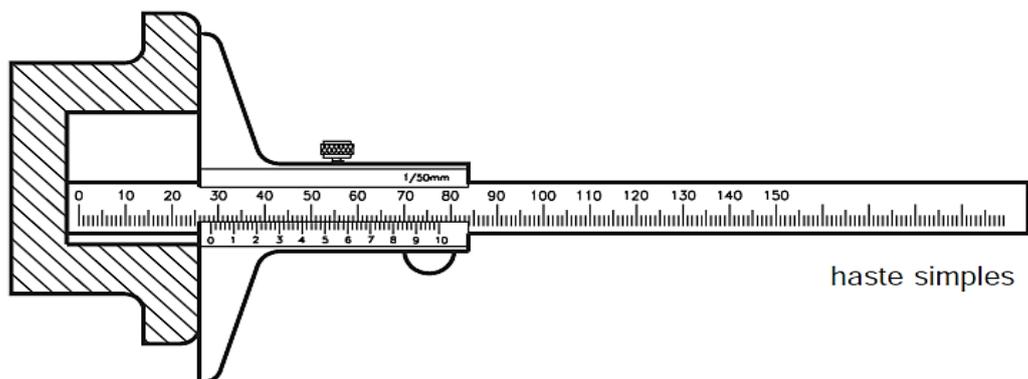
### Paquímetro com bico móvel

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



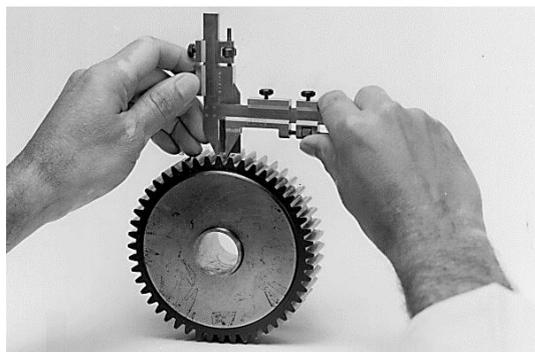
### Paquímetro de profundidade

Serve para medir a profundidade de furos não vazados, rasgos, rebaixos etc. Pode apresentar haste simples ou haste com gancho. Veja a seguir duas situações de uso do paquímetro de profundidade.



### 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

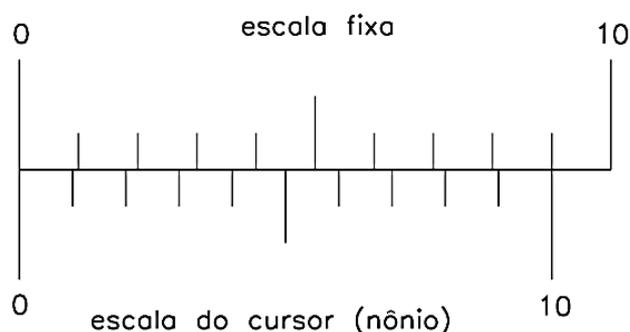
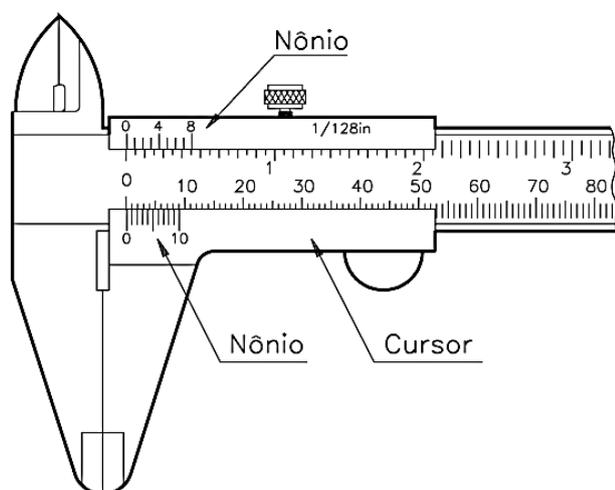
Esse instrumento baseia-se no mesmo princípio de funcionamento do paquímetro, apresentando a escala fixa com cursor na vertical. É empregado na traçagem de peças, para facilitar o processo de fabricação e, com auxílio de acessórios, no controle dimensional.



## 6.2 PRINCÍPIO DO NÔNIO

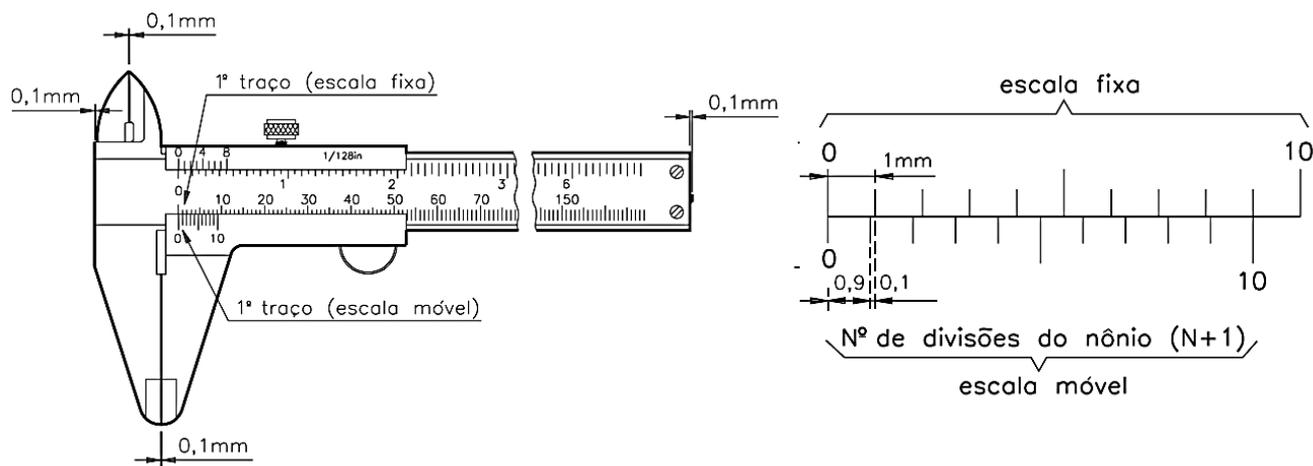
A escala do cursor é chamada de nônio ou vernier, em homenagem ao português Pedro Nunes e ao francês Pierre Vernier, considerados seus inventores.

O nônio possui uma divisão a mais que a unidade usada na escala fixa.

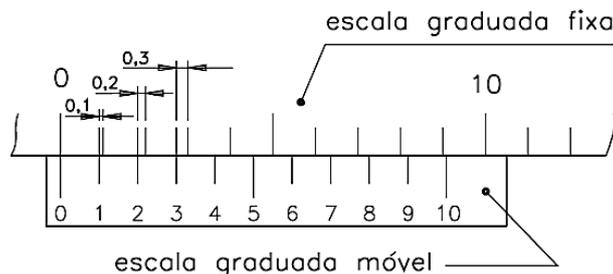


No sistema métrico, existem paquímetros em que o nônio possui dez divisões equivalentes a nove milímetros (9 mm).

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:

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

onde: UEF = unidade da escala fixa  
NDN = número de divisões do nônio

Exemplos:

· 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

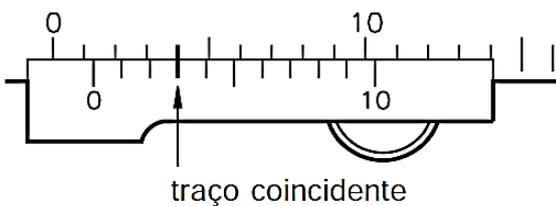
$$\text{Resolução} = \frac{1 \text{ mm}}{50 \text{ divisões}} = 0,02 \text{ mm}$$

### 6.3 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, deve-se contar os traços do nônio até o ponto em que um deles coincidir com um traço da escala fixa. Depois, soma o número que leu na escala fixa ao número que leu no nônio. Para entender o processo de leitura no paquímetro, são apresentados a seguir, dois exemplos.

· Escala em milímetro e nônio com 10 divisões

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

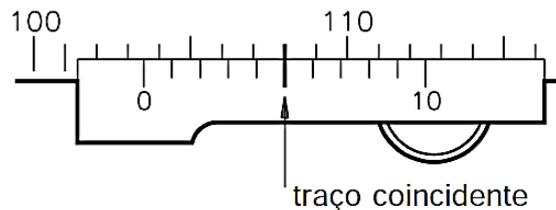


Leitura

1,0 mm → escala fixa

+ 0,3 mm → nônio (traço coincidente: 3°)

1,3 mm → total (leitura final)



Leitura

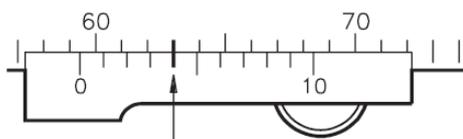
103,0 mm → escala fixa

+ 0,5 mm → nônio (traço coincidente: 5°)

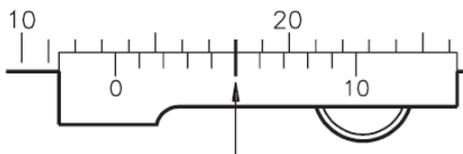
103,5 mm → total (leitura final)

#### Verificando o entendimento

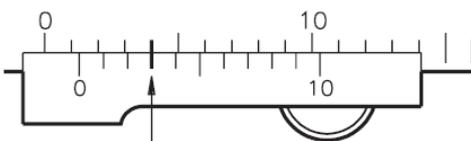
Faça a leitura e escreva a medida nas linhas pontilhadas.



Leitura: .....mm



Leitura: .....mm



Leitura: .....mm

- Escala em milímetro e nônio com 20 divisões

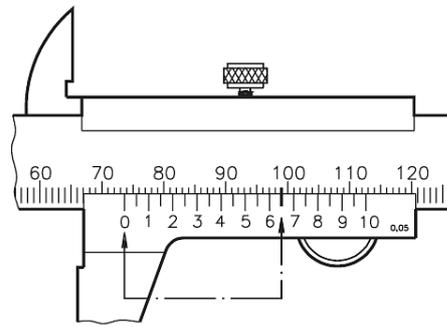
$$\text{Resolução} = \frac{1\text{mm}}{20} = 0,05 \text{ mm}$$

Leitura

73,00 mm → escala fixa

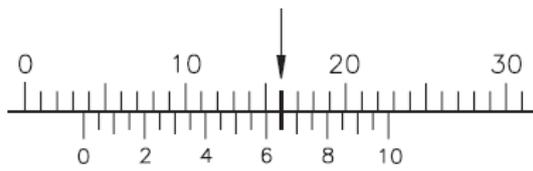
+ 0,65 mm → nônio

73,65 mm → total

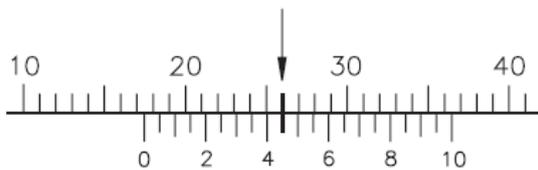


**Verificando o entendimento**

Faça a leitura e escreva a medida nas linhas pontilhadas.



Leitura: .....mm



Leitura: .....mm

- Escala em milímetro e nônio com 50 divisões

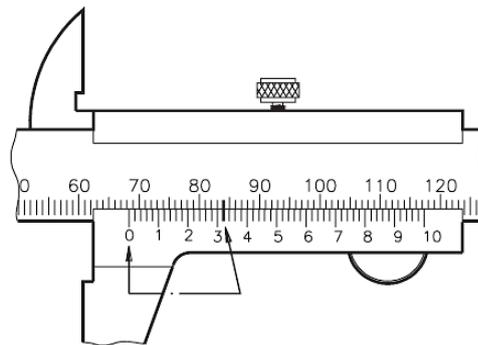
$$\text{Resolução} = \frac{1\text{mm}}{50} = 0,02 \text{ mm}$$

Leitura

68,00 mm → escala fixa

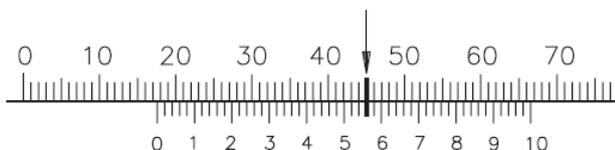
+ 0,32 mm → nônio

68,32 mm → total

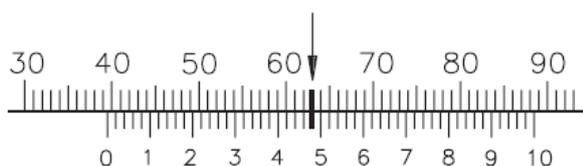


**Verificando o entendimento**

Faça a leitura e escreva a medida nas linhas pontilhadas.



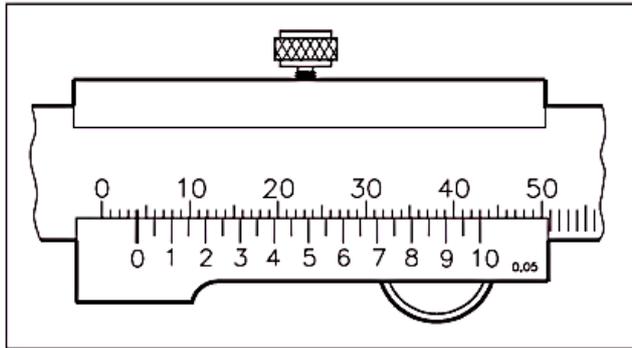
Leitura: .....mm



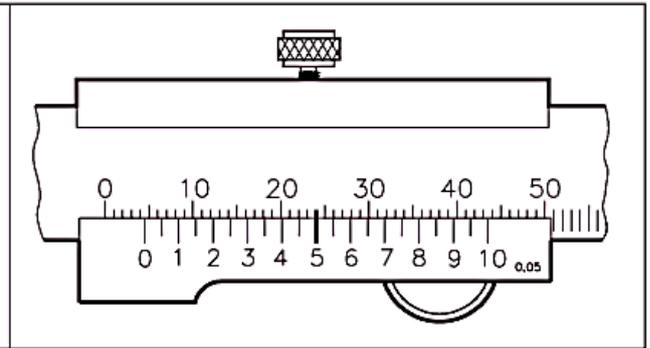
Leitura: .....mm

**Exercícios**

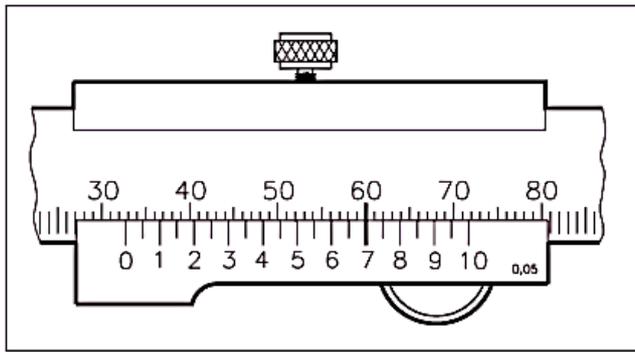
Faça a leitura e escreva as medidas. Não esqueça de calcular a resolução do paquímetro.



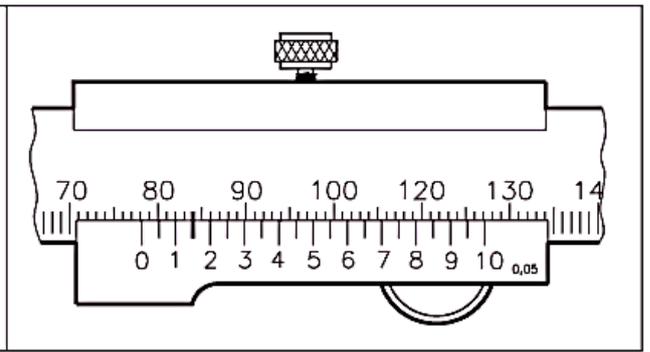
a) Leitura: .....



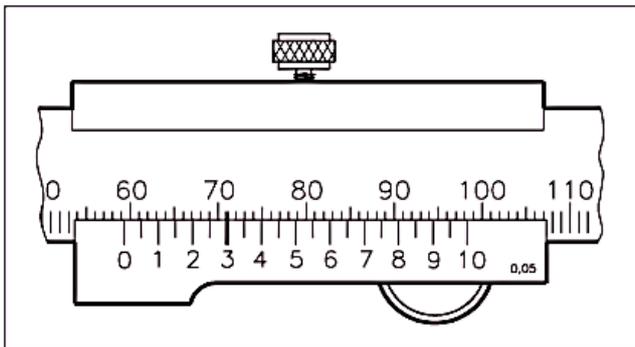
b) Leitura: .....



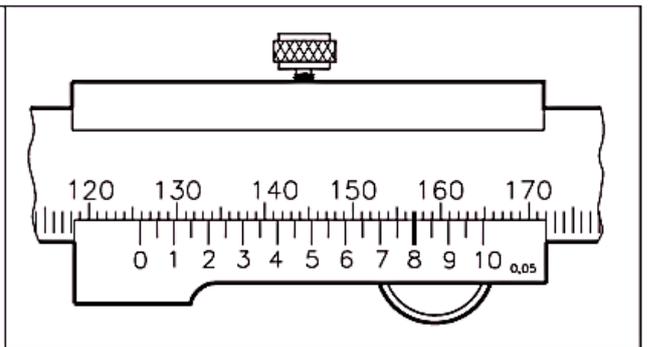
c) Leitura: .....



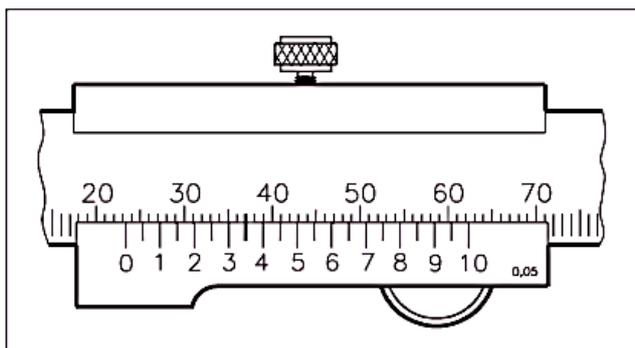
d) Leitura: .....



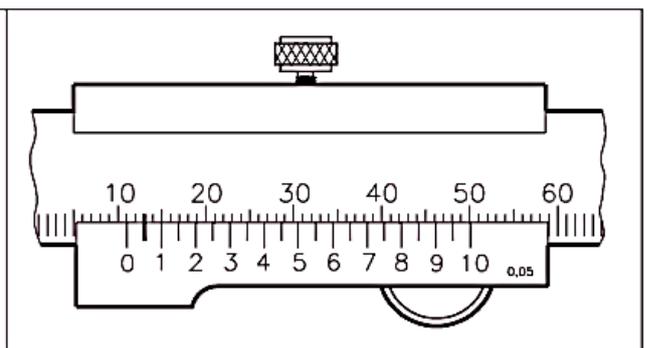
e) Leitura: .....



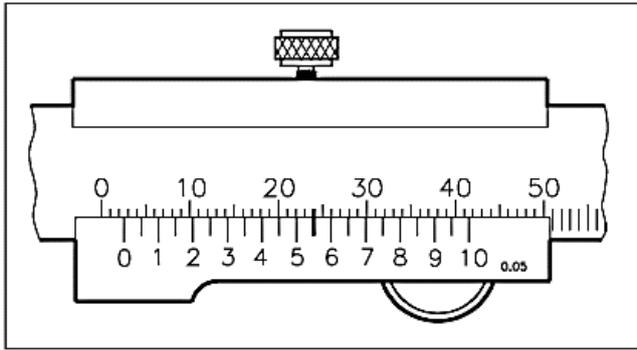
f) Leitura: .....



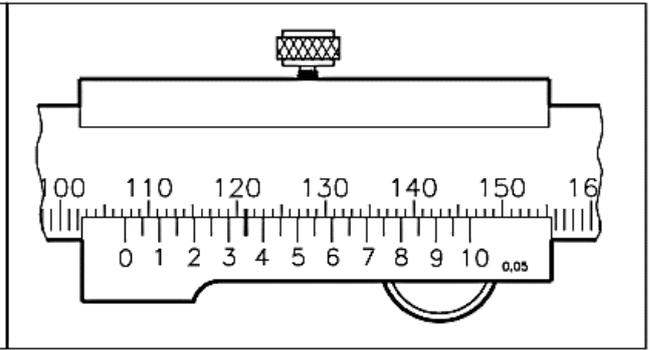
g) Leitura: .....



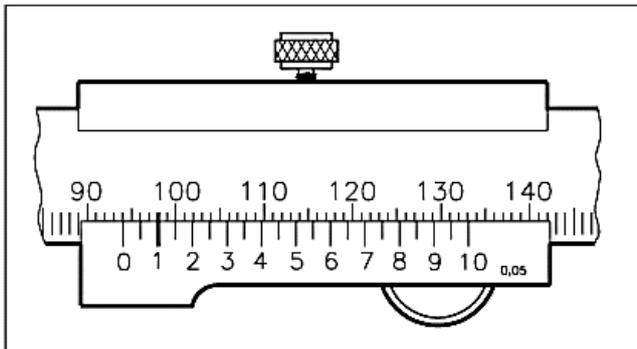
h) Leitura: .....



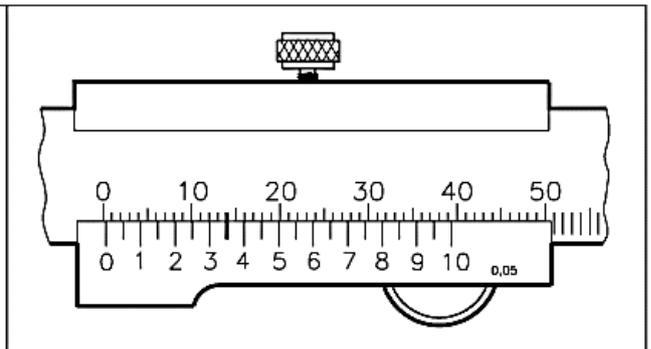
i) Leitura: .....



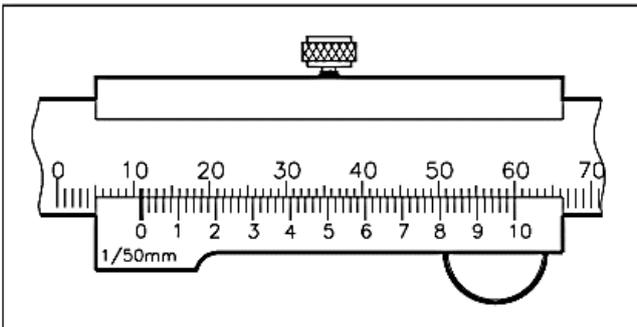
j) Leitura: .....



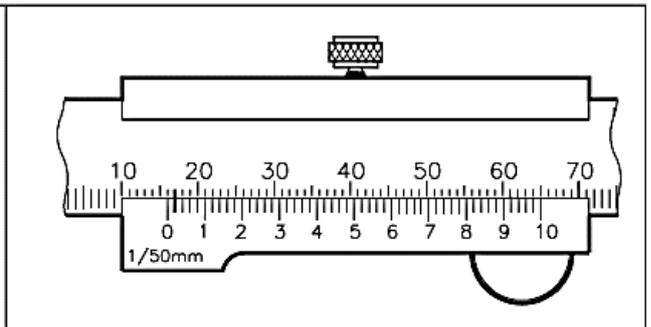
k) Leitura: .....



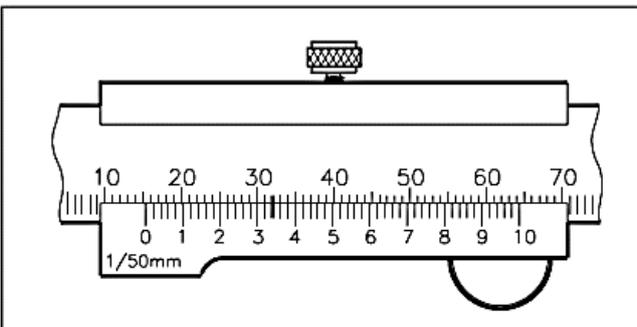
l) Leitura: .....



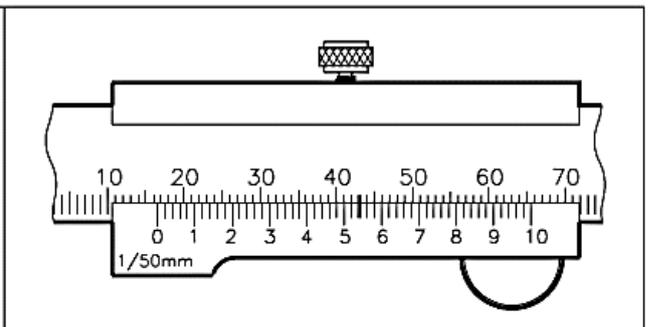
m) Leitura: .....



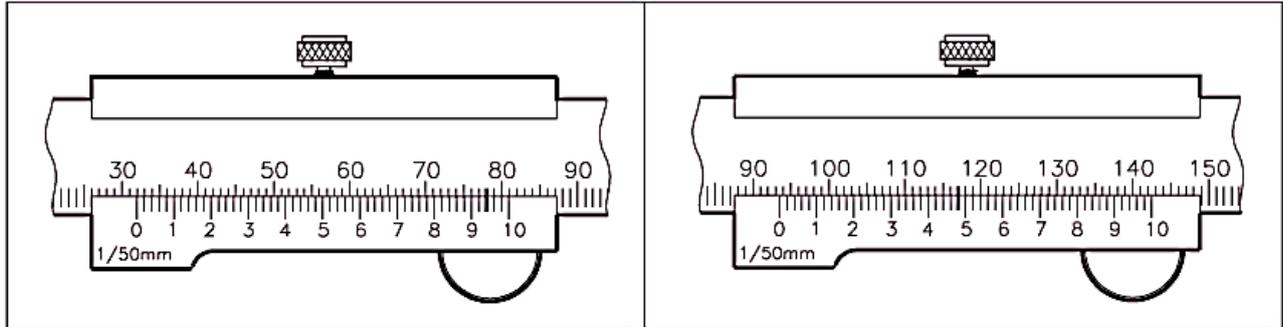
n) Leitura: .....



o) Leitura: .....

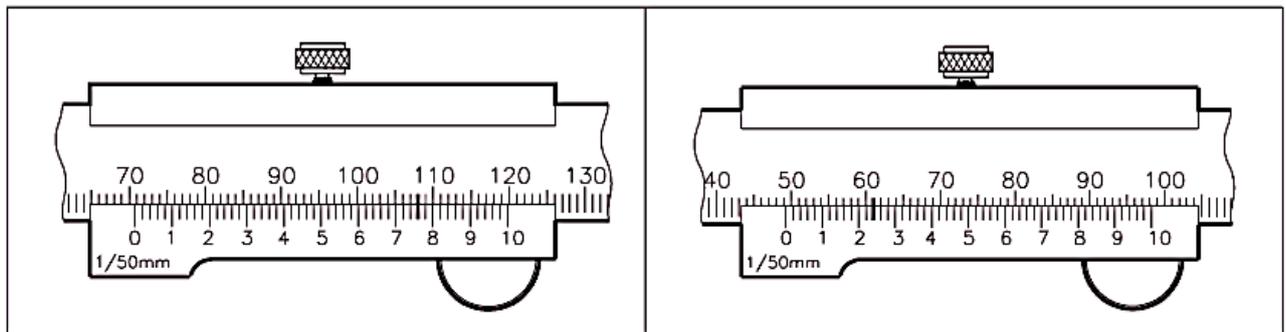


p) Leitura: .....



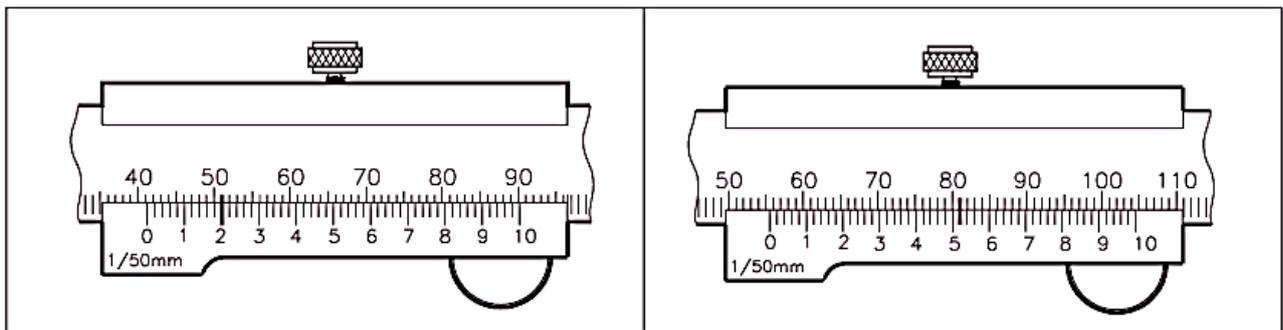
q) Leitura: .....

r) Leitura: .....



s) Leitura: .....

t) Leitura: .....



u) Leitura: .....

v) Leitura: .....

#### 6.4 LEITURA DE POLEGADA FRACIONÁRIA

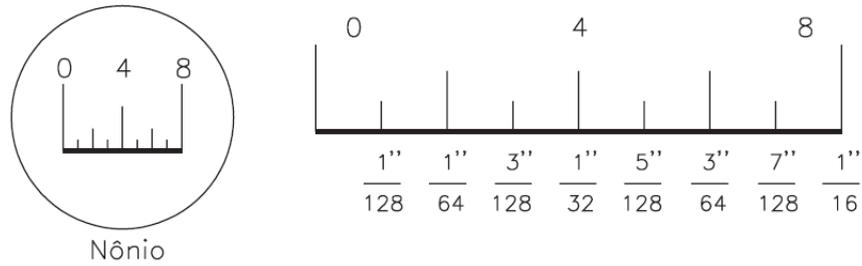
No sistema inglês, a escala fixa do paquímetro é graduada em polegada e frações de polegada. Esses valores fracionários da polegada são complementados com o uso do nônio.

Para utilizar o nônio, precisamos saber calcular sua resolução:

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

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

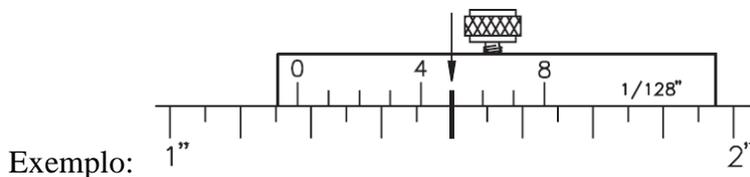
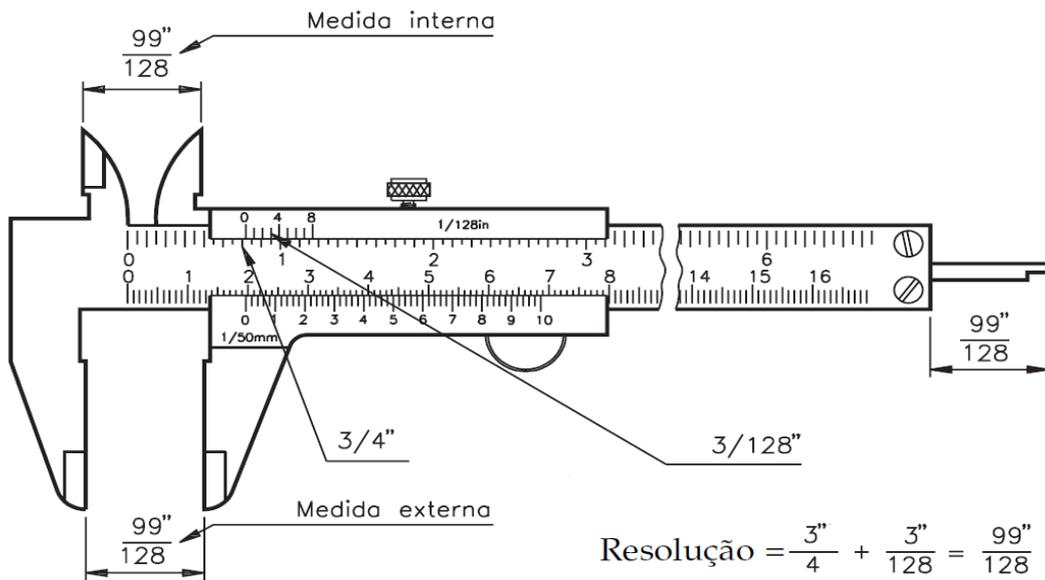
Duas divisões corresponderão a  $\frac{2''}{128}$  ou  $\frac{1''}{64}$  e assim por diante.



**Exemplo:**

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

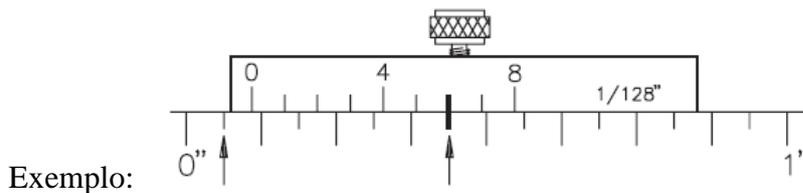
A medida total equivale à soma dessas duas leituras.



Escala fixa:  $1 \frac{3''}{16}$  nônio:  $\frac{5''}{128}$

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

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



Escala fixa:  $\frac{1''}{16}$  nônio:  $\frac{6''}{128}$

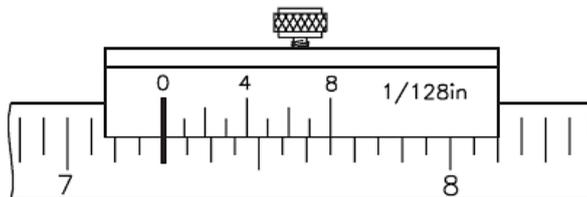
Portanto:  $\frac{1}{16} + \frac{6}{128} \Rightarrow \frac{8}{128} + \frac{6}{128}$

Total:  $\frac{14''}{128} = \frac{7''}{64}$



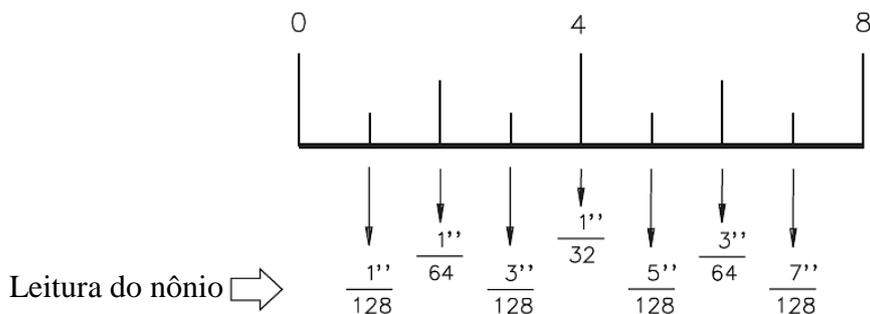
Nota-se que para medir em polegada fracionária exige-se operações mentais. Para facilitar a leitura desse tipo de medida, recomendamos os seguintes procedimentos:

**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

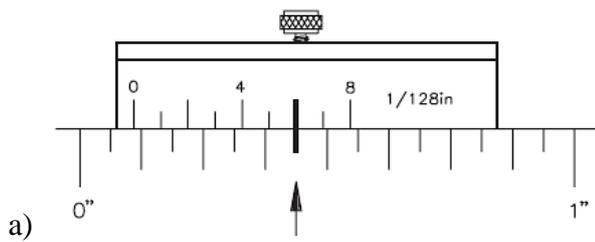
na leitura do nônio, escolhemos uma fração da escala fixa de mesmo denominador. Por exemplo:

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

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

**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



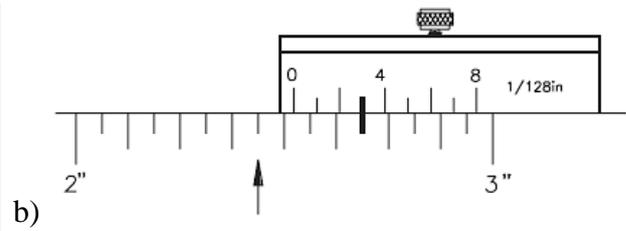
2º passo:  $\frac{3''}{64}$

3º passo: 1 divisão

4º passo:  $\frac{3''}{64}$  fração escolhida  $\frac{4''}{64}$

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

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



2º passo:  $\frac{3''}{128}$

3º passo: 2" + 8 divisões

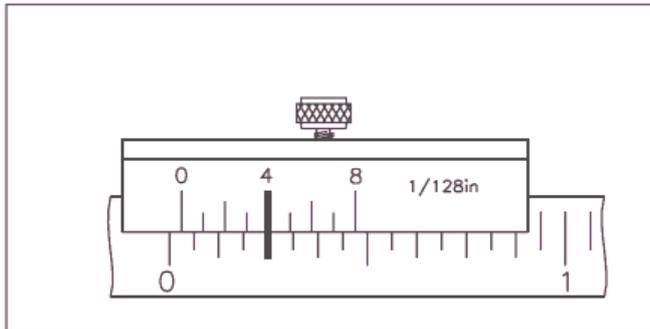
4º passo:  $\frac{3''}{28}$  fração escolhida  $\frac{8''}{128}$

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

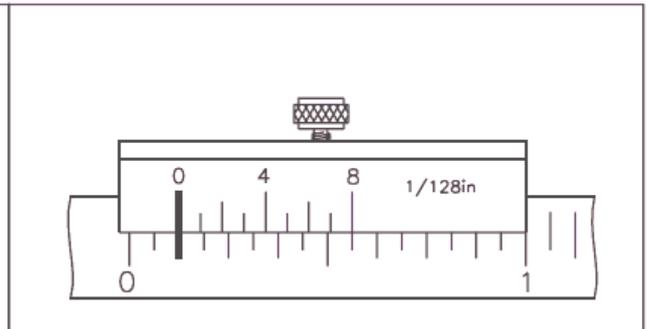
Leitura final:  $2 \frac{67''}{128}$

Exercícios

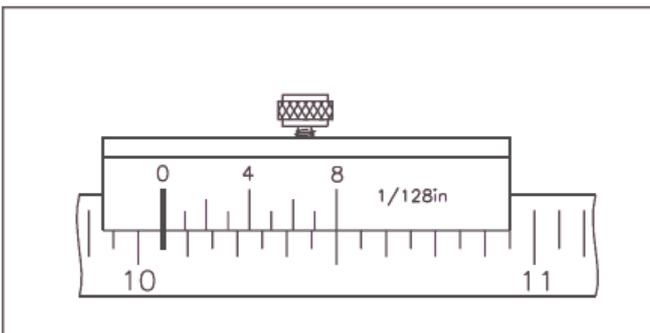
Teste sua aprendizagem fazendo os exercícios de leitura a seguir.



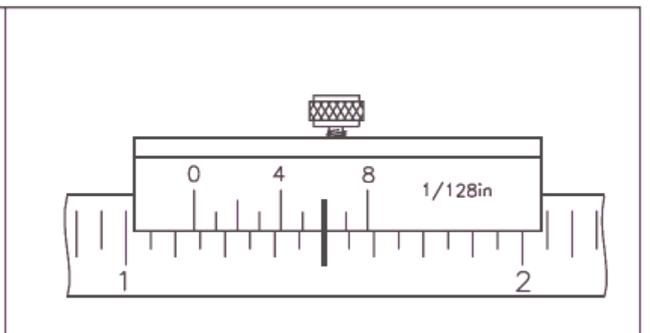
a) Leitura: .....



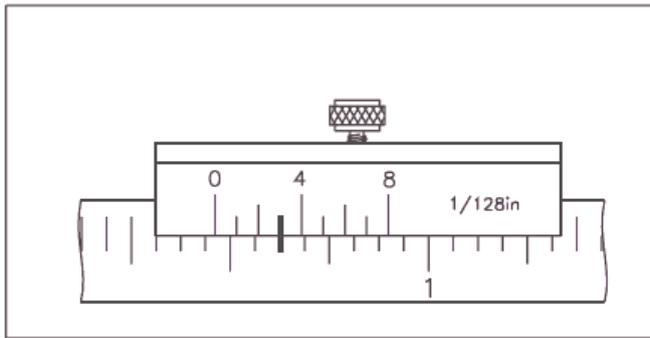
b) Leitura: .....



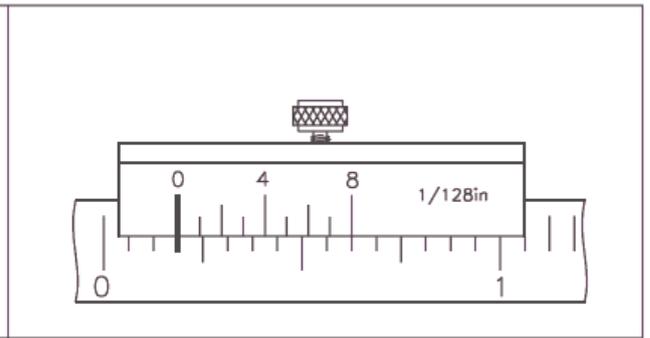
c) Leitura: .....



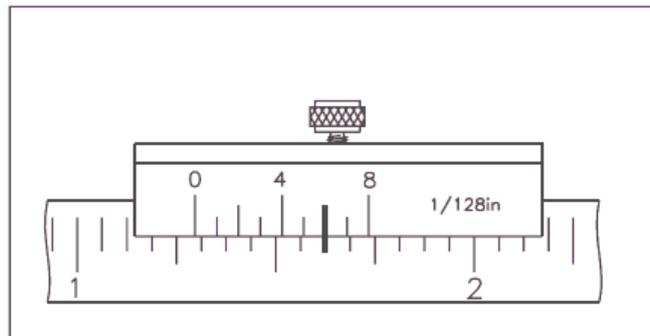
d) Leitura: .....



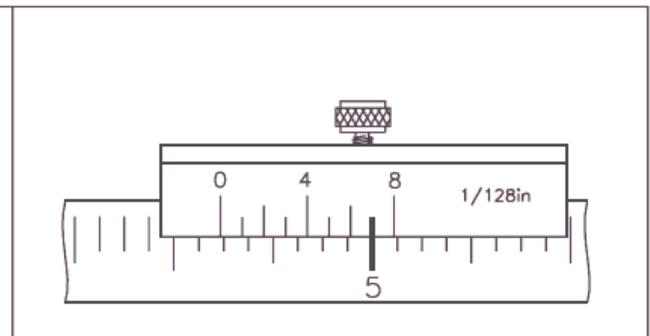
e) Leitura: .....



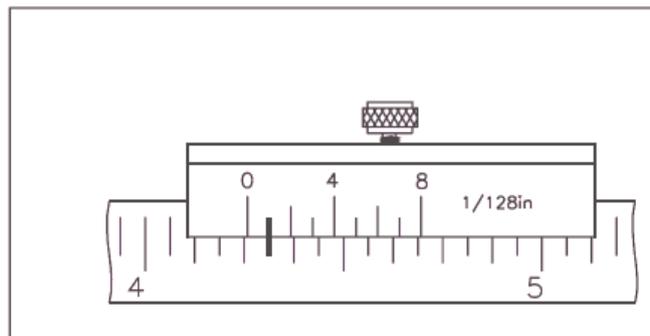
f) Leitura: .....



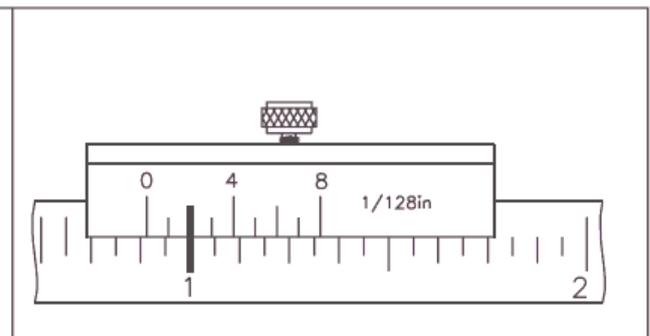
g) Leitura: .....



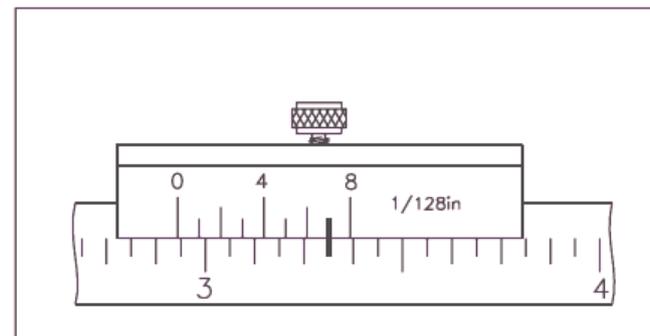
h) Leitura: .....



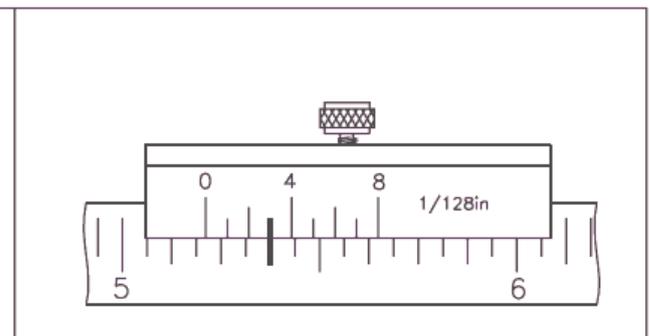
i) Leitura: .....



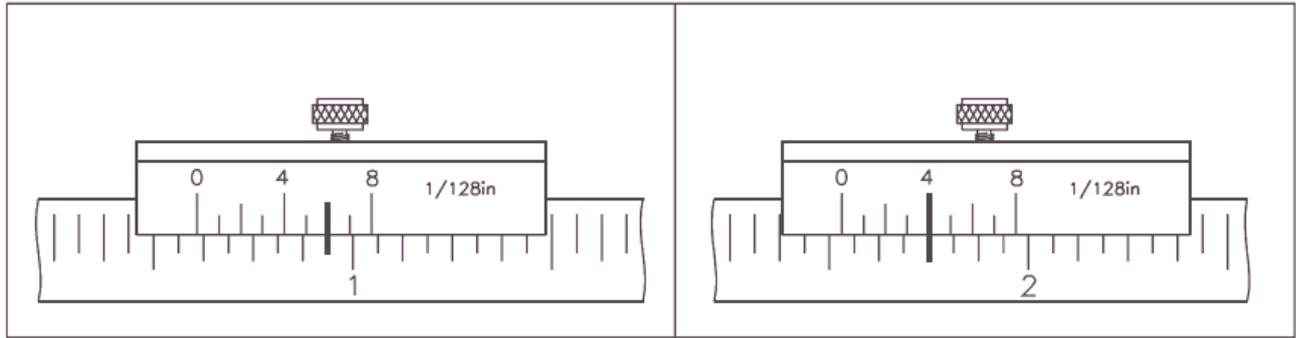
j) Leitura: .....



k) Leitura: .....

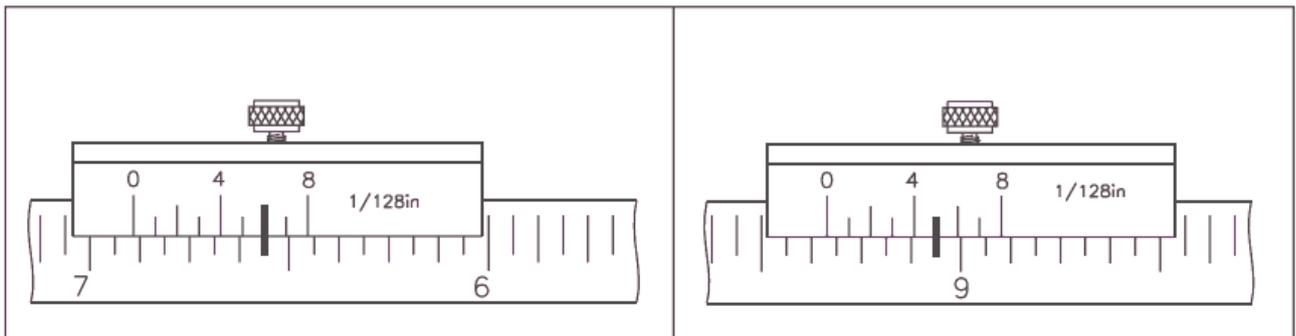


l) Leitura: .....



m) Leitura: .....

n) Leitura: .....



o) Leitura: .....

p) Leitura: .....

### 6.5 CONSERVAÇÃO – PAQUÍMETROS

#### Erros de leitura

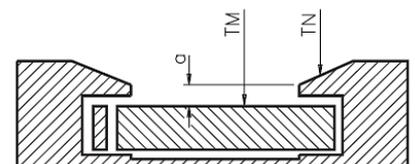
Além da falta de habilidade do operador, outros fatores podem provocar erros de leitura no paquímetro, como, por exemplo, a paralaxe e a pressão de medição.

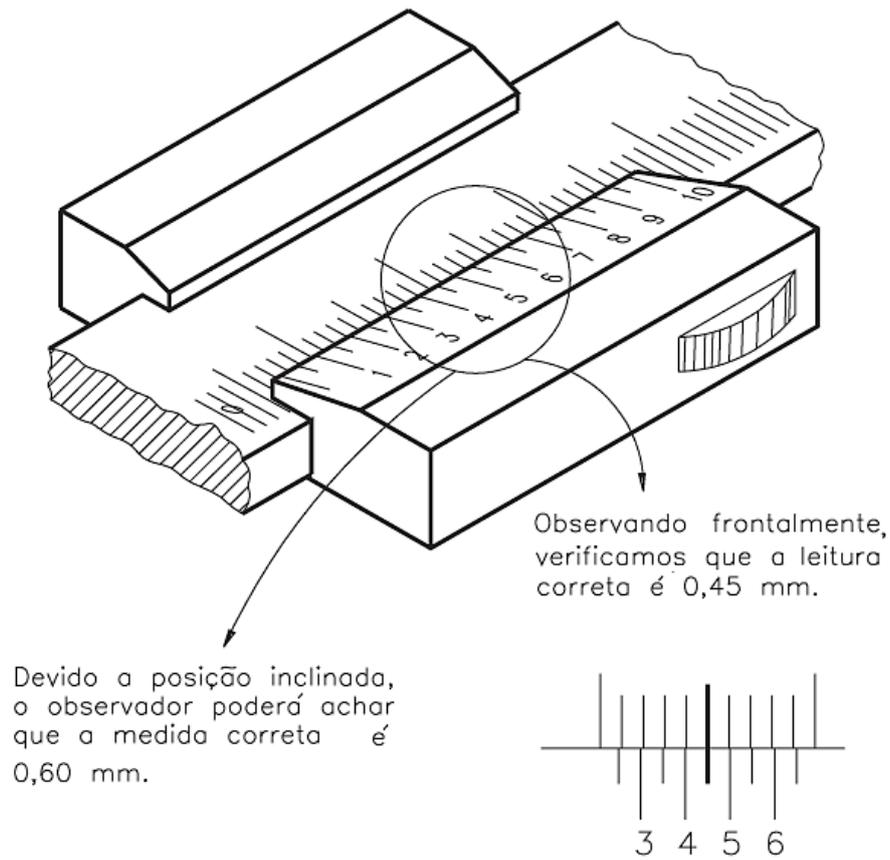
#### Paralaxe

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.

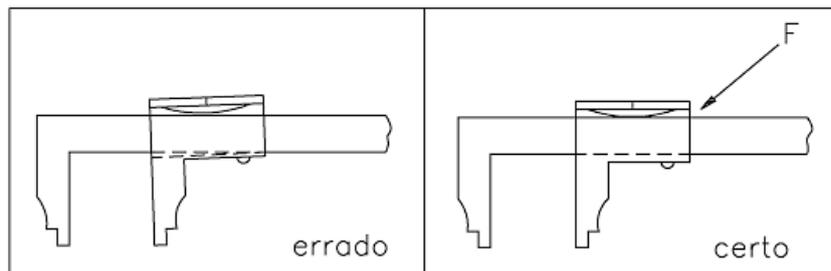
Para não cometer o erro de paralaxe, é aconselhável que se faça a leitura situando o paquímetro em uma posição perpendicular aos olhos.





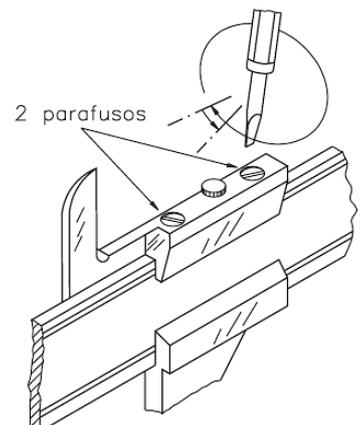
Pressão de medição

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 1 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.

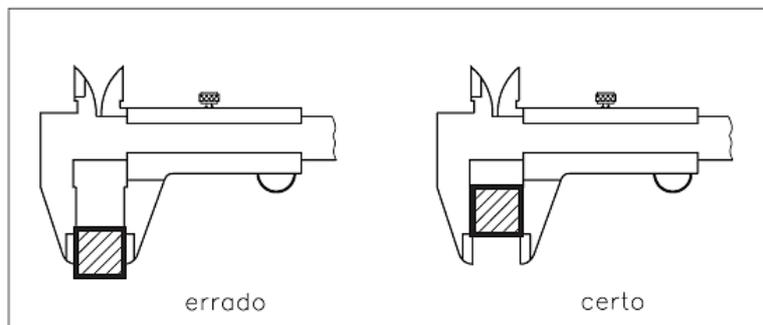
É importante abrir o paquímetro com uma distância maior que a dimensão do objeto a ser medido. O centro do encosto fixo deve ser encostado em uma das extremidades da peça.

Convém que o paquímetro seja fechado suavemente até que o encosto móvel toque a outra extremidade. Feita a leitura da medida, ele deve ser aberto e a peça retirada, sem que os encostos a toquem.

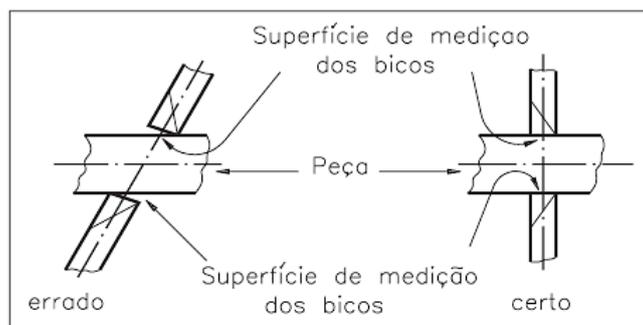
As recomendações seguintes referem-se à utilização do paquímetro para determinar medidas:

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

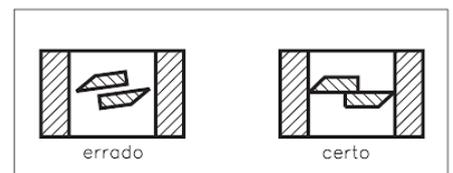
Nas medidas externas, a peça a ser medida deve ser colocada o mais profundamente possível entre os bicos de medição para evitar qualquer desgaste na ponta dos bicos

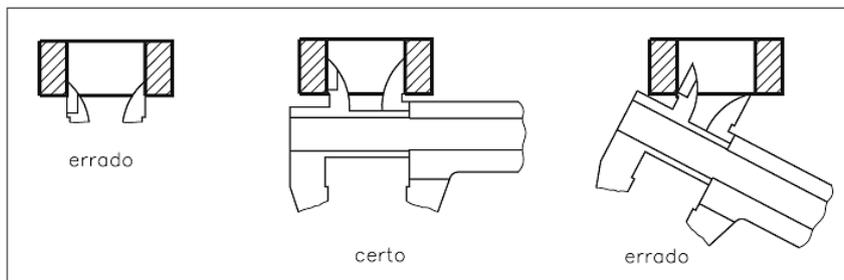


Para maior segurança nas medições, as superfícies de medição dos bicos e da peça devem estar bem apoiadas.

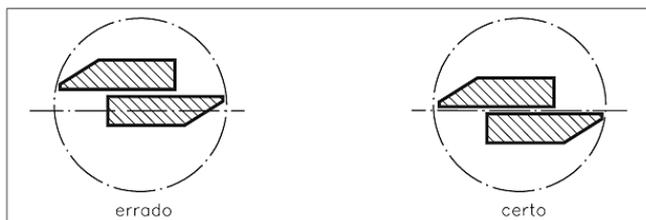


Nas medidas internas, as orelhas precisam ser colocadas o mais profundamente possível. O paquímetro deve estar sempre paralelo à peça que está sendo medida.

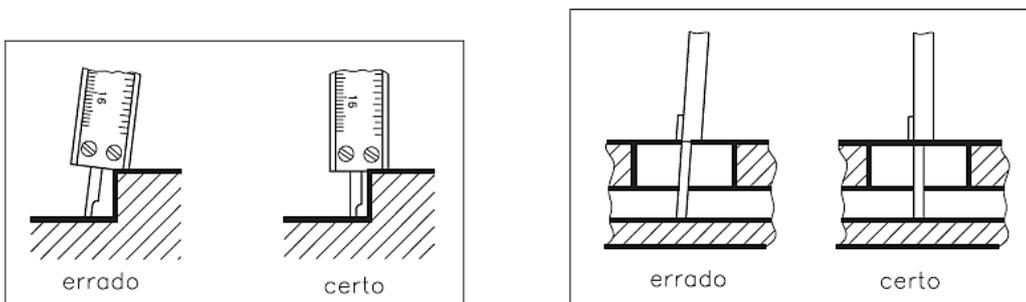




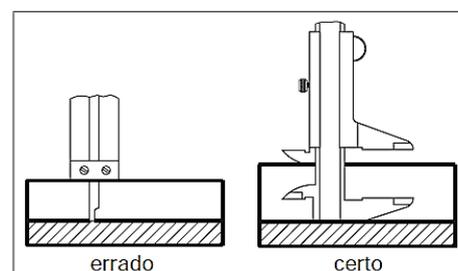
Para maior segurança nas medições de diâmetros internos, as superfícies de medição das orelhas devem coincidir com a linha de centro do furo.



Toma-se, então, a máxima leitura para diâmetros internos e a mínima leitura para faces planas internas. No caso de medidas de profundidade, apoia-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 ou quedas.
- 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.

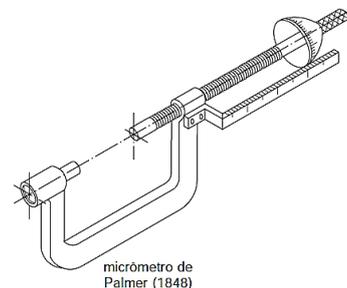
## 7. MICRÔMETRO

### 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.

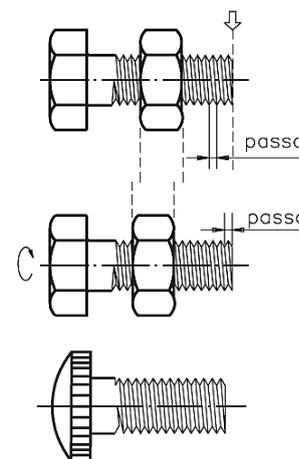
De modo geral, o instrumento é conhecido como micrômetro. Na França, entretanto, em homenagem ao seu inventor, o micrômetro é denominado palmer.



### Princípio de funcionamento

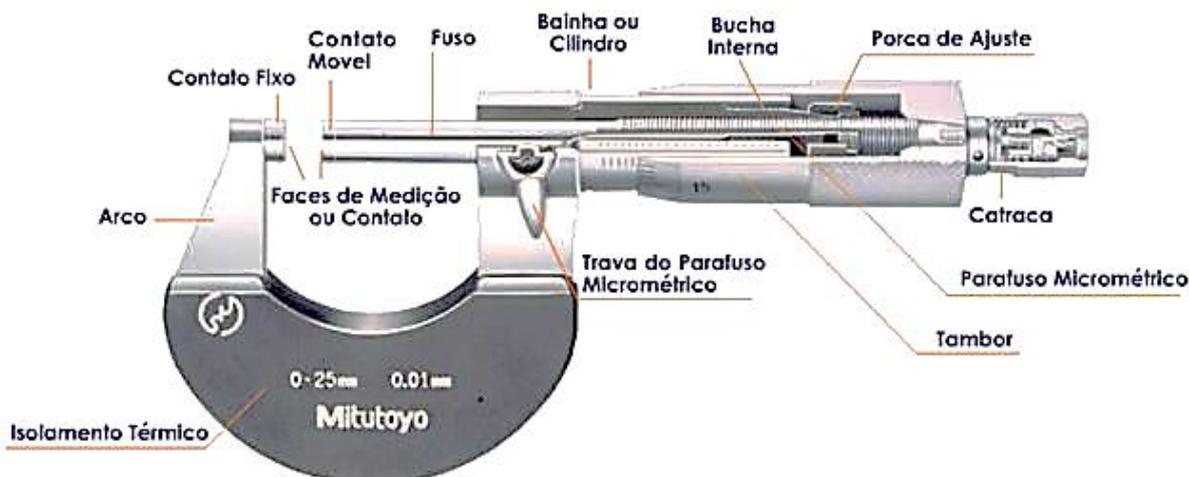
O princípio de funcionamento do micrômetro assemelha-se ao do sistema parafuso e porca. Assim, há uma porca fixa e um parafuso móvel que, se der uma volta completa, provocará um deslocamento igual ao seu passo.

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 construído de aço especial temperado e retificado para garantir exatidão do passo da rosca.
- As **faces de medição** tocam a peça a ser medida e, para isso, apresentam-se rigorosamente planos e paralelos. Em alguns instrumentos, os contatos são de metal duro, de alta resistência ao desgaste.
- A **porca de ajuste** permite o ajuste da folga do fuso micrométrico, quando isso é necessário.
- O **tambor** é onde se localiza a escala centesimal. Ele gira ligado ao fuso micrométrico. Portanto, a cada volta, seu deslocamento é igual ao passo do fuso micrométrico.
- A **catraca** ou fricção assegura uma pressão de medição constante.
- A **trava** permite imobilizar o fuso numa medida predeterminada.

### Características

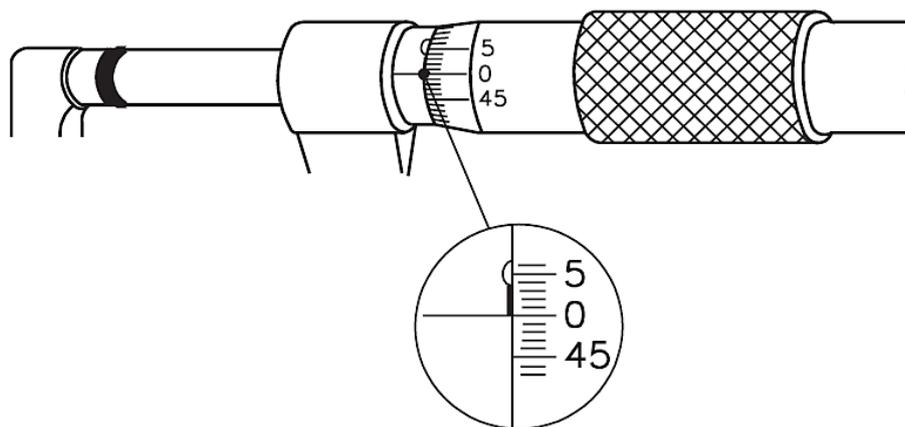
Os micrômetros caracterizam-se pela:

- 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.

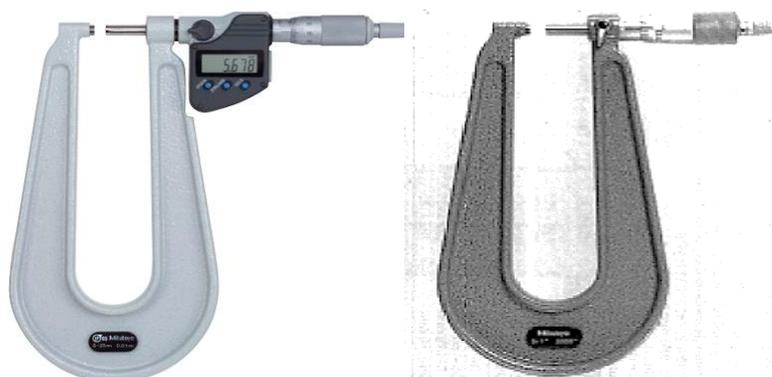
### De profundidade

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



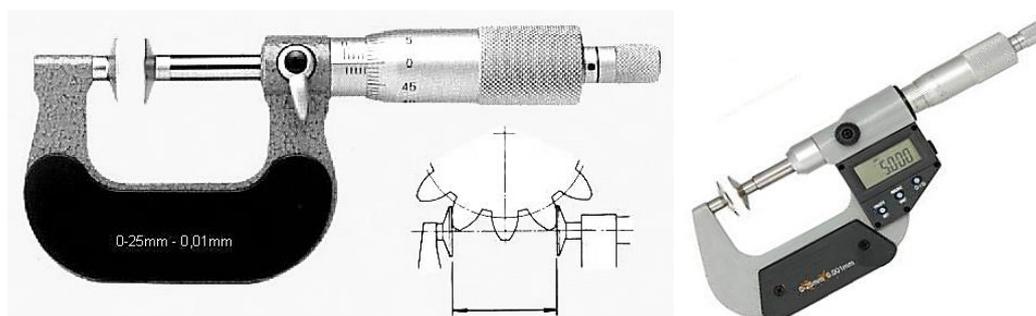
### Com arco profundo

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



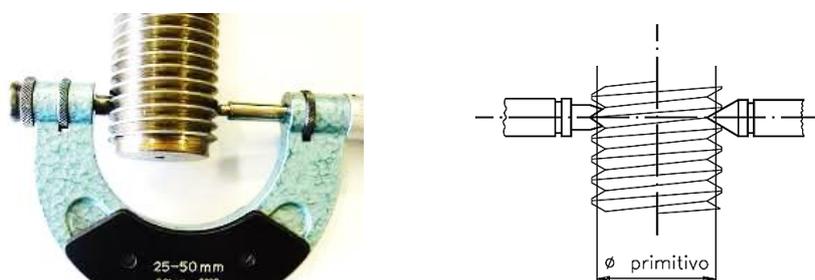
### Com disco nas hastes

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.



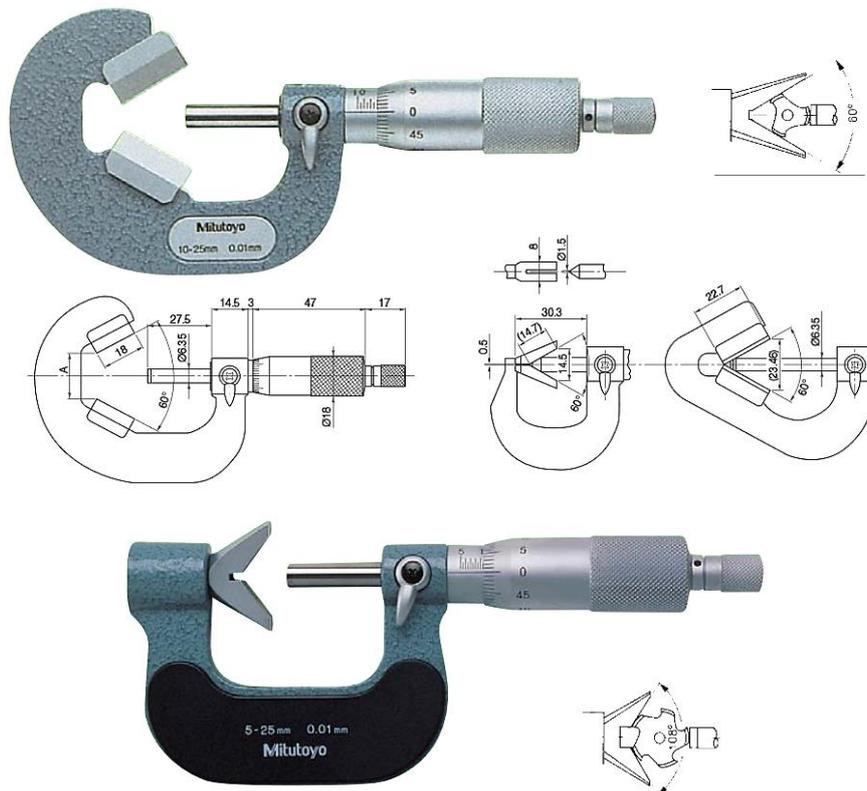
### Para medição de roscas

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°34'17".



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).



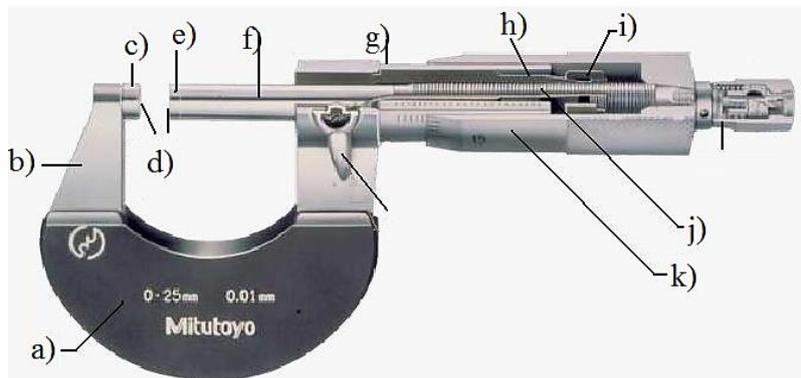
**Digital eletrônico**

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



Teste sua aprendizagem, fazendo os exercícios a seguir.

1. Identifique as partes principais do micrômetro abaixo:



- a) \_\_\_\_\_
- b) \_\_\_\_\_
- c) \_\_\_\_\_
- d) \_\_\_\_\_
- e) \_\_\_\_\_
- f) \_\_\_\_\_

- g) \_\_\_\_\_
- h) \_\_\_\_\_
- i) \_\_\_\_\_
- j) \_\_\_\_\_
- k) \_\_\_\_\_

2. O micrômetro centesimal foi inventado por:

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

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.

4. Para medir uma peça com  $\pm 32,75$ , 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.

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.

## 7.1 LEITURA NO SISTEMA MÉTRICO

### Micrômetro com resolução de 0,01 mm

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

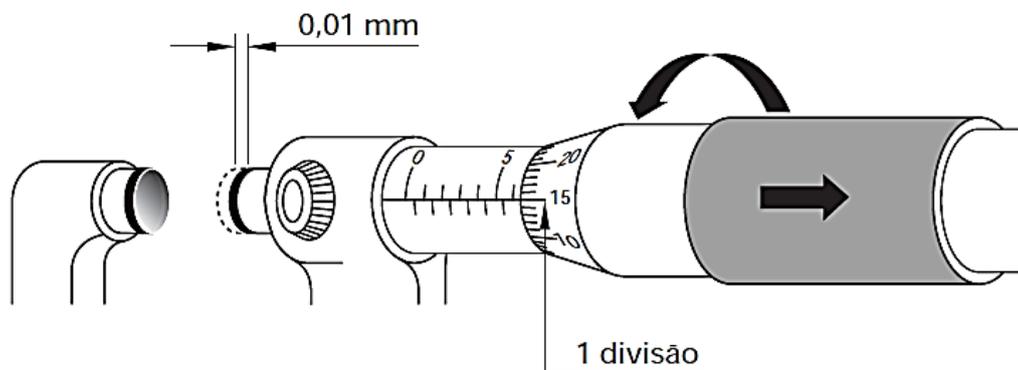
A resolução de uma medida tomada em um micrômetro corresponde ao menor deslocamento do seu fuso. Para obter a medida, divide-se o passo pelo número de divisões do tambor.

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

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.

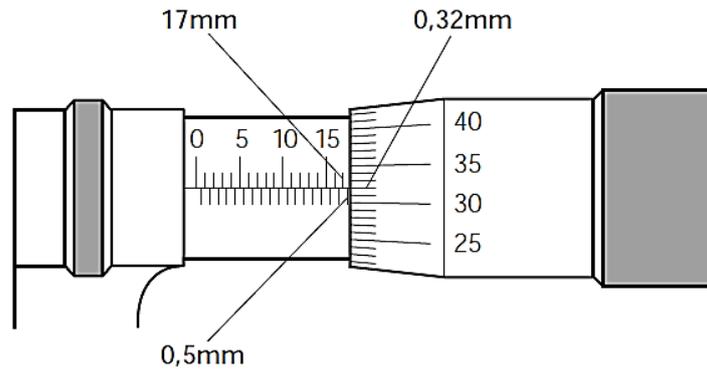
1º passo - leitura dos milímetros inteiros na escala da bainha.

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

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

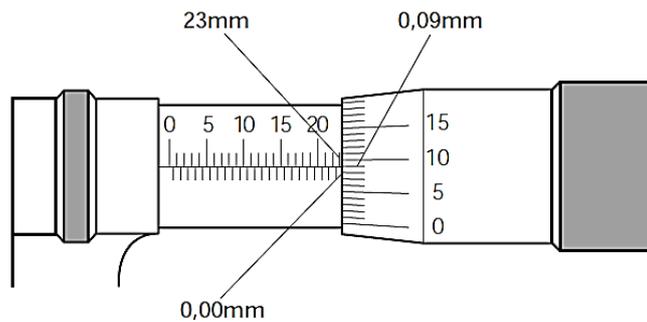
Exemplos:

a)



17,00mm (escala dos mm da bainha)  
 + 0,50mm (escala dos meios mm da bainha)  
0,32mm (escala centesimal do tambor)  
 17,82mm Leitura total

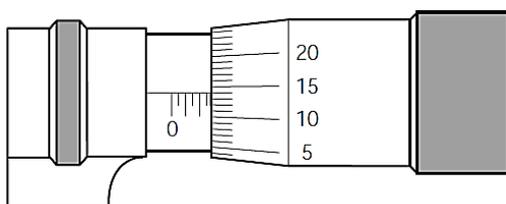
b)



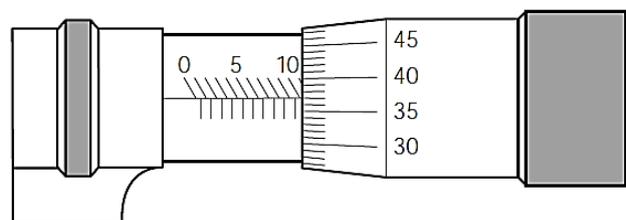
23,00mm (escala dos mm da bainha)  
 + 0,00mm (escala dos meios mm da bainha)  
0,09mm (escala centesimal do tambor)  
 23,09mm Leitura total

**Verificando o entendimento**

Faça a leitura e escreva a medida na linha.



Leitura: .....

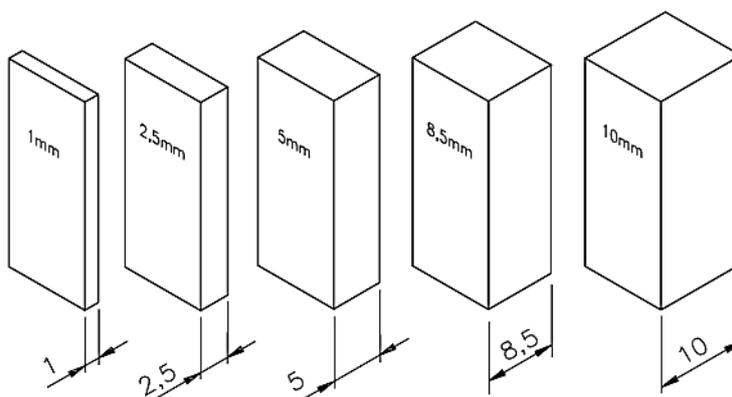
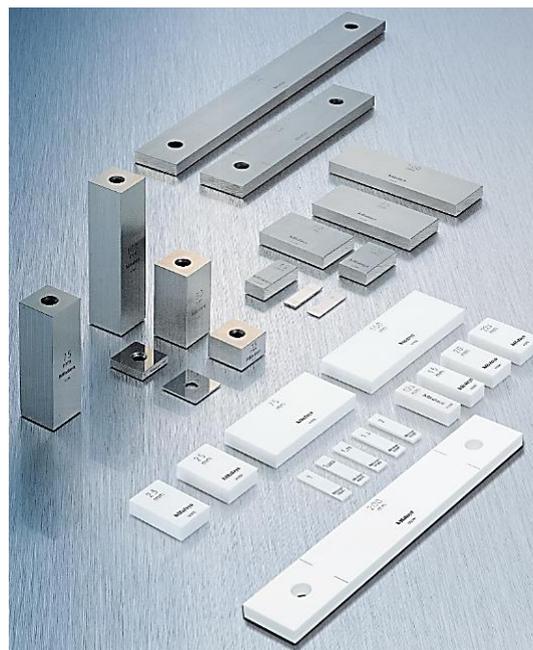


Leitura: .....

## 8. 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.

Blocos padrão de precisão são os padrões primários, vitais para o controle de qualidade dimensional na fabricação de componentes intercambiáveis.

Esses blocos são usados para calibrar instrumentos de medição. São também usados para ajustar calibradores por comparação, usados na áreas de recebimento, produção e inspeção final. Os blocos padrão proporcionam o mais acurado modo de ajustagem de relógios comparadores e instrumentos eletrônicos usados em conjunto com desempenos para controle de peças com tolerâncias exatas.

Basicamente se constituem de blocos de material duro, estabilizado, com uma superfície de

medição em cada extremidade. Essas superfícies são retificadas e lapidadas para ter dimensão com uma tolerância tão apertadas de mais ou menos 0,00003mm (um milionésimo de polegada). A fim de se obter o comprimento desejado, blocos de diferentes comprimentos são selecionados de um jogo e “torcidos um contra outro” para formar uma fileira de blocos.

Os blocos padrão são fabricados em diversos graus de precisão “Laboratory Master”, INSPEÇÃO, OPERAÇÃO. Os blocos “Laboratory Master” controlam a precisão da totalidade de uma operação de fabricação e seu principal uso é certificar a exatidão de blocos “INSPEÇÃO”. Tais blocos são ultra precisos. Por exemplo, os blocos padrão Laboratory Master Starrett-Webber têm uma tolerância de comprimento de mais ou menos 0,00003mm (um milionésimo de polegada).

Blocos “INSPEÇÃO” são usados para controlar a precisão dos blocos “OPERAÇÃO” os quais são usados nas oficinas.

Os blocos padrão Starrett-Webber “INSPEÇÃO” são designados como “AA” e tem uma tolerância de comprimento de mais ou menos 0,00005mm (dois milionésimos de polegadas). Os blocos de grau Working são designados como “A+” com tolerância de comprimento de +0,0001mm -0,00005mm (+4 a -2 milionésimos de polegada) e a designação “A” e “B” com tolerância de +0,0002mm -0,0001mm (+6, -2 milionésimos de polegada).

Materiais de diversos tipos estão disponíveis. Blocos Webber em CROBLOX, os mais finos do mundo, feito de carbureto de cromo, tem longa vida, quase a dureza do diamante e a prova de oxidação (inoxidáveis), a exatidão muitas vezes mais do que os blocos de aço. Os blocos em CROBLOX são fornecidos nos graus “Laboratory Master”, “AA”, e “A+”.

Novos blocos padrão em cerâmica estão disponíveis para preencher o espaço entre o aço e Croblox. Blocos padrão em aço estão disponíveis nas classes “A+” e “A”. Formatos diferentes - retangulares, quadrados e para serviço pesado. O uso de blocos padrão é grandemente ampliado por meio dos acessórios que podem ser combinados com os blocos padrão para criar calibradores de altura, calibradores de boca, riscadores e traçadores.

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: 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.

### Bloco-padrão protetor

A fabricação dos protetores obedece às mesmas normas utilizadas na construção dos blocos-padrão normais. Entretanto, empregasse 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;

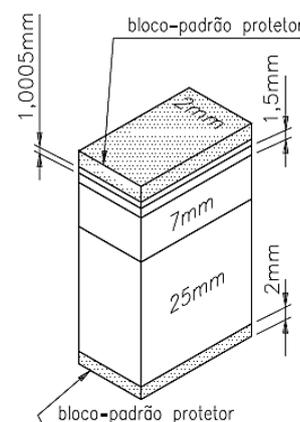
1 - bloco-padrão de 1,0005 mm;

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.



### Classificação

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.

### Conservação

- Evitar a oxidação pela umidade, marcas dos dedos ou aquecimento utilizando luvas.
- 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.

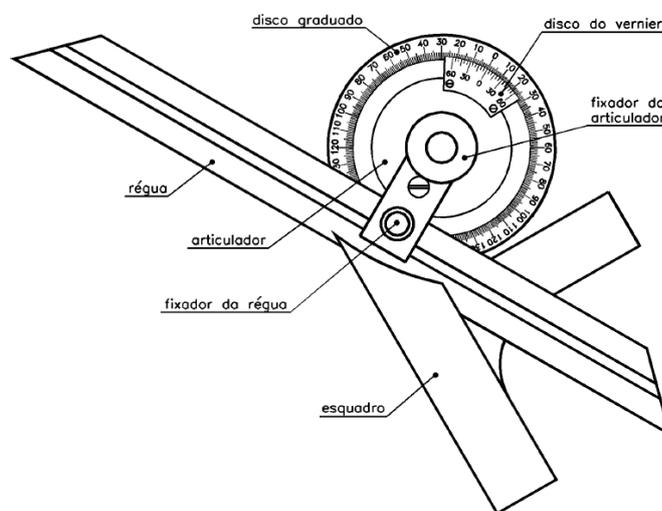
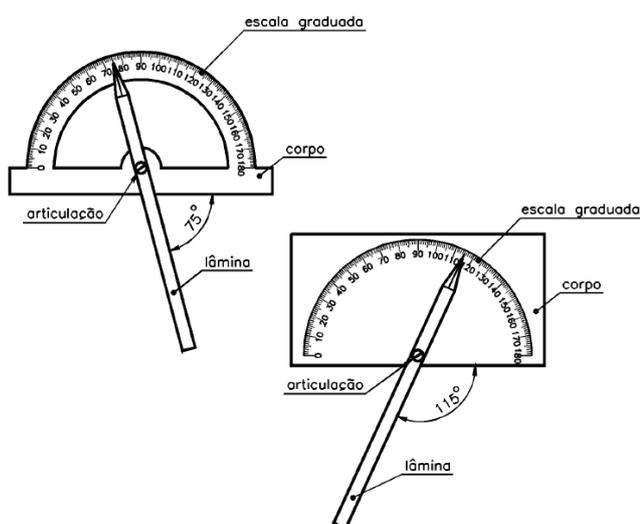
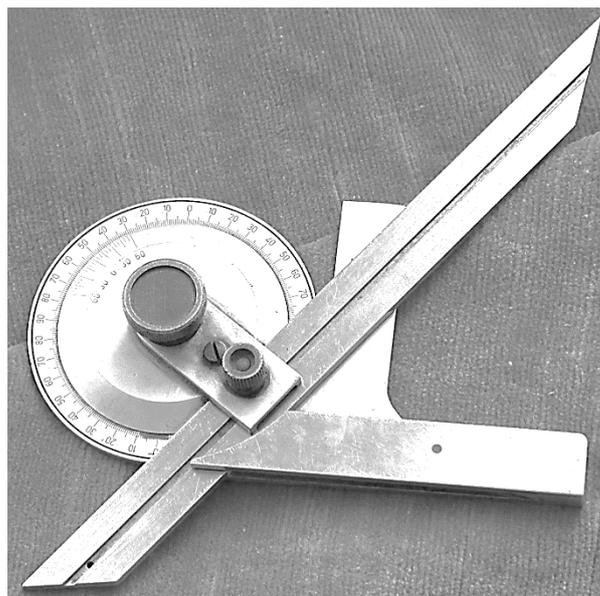
Antes de guardá-los, é necessário passar uma leve camada de vaselina.

- Os blocos de cerâmica não devem ser lubrificados.
- Evitar contato dos blocos-padrão com desempenho, sem o uso dos blocos protetores.

## 9. GONIÔMETRO

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

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



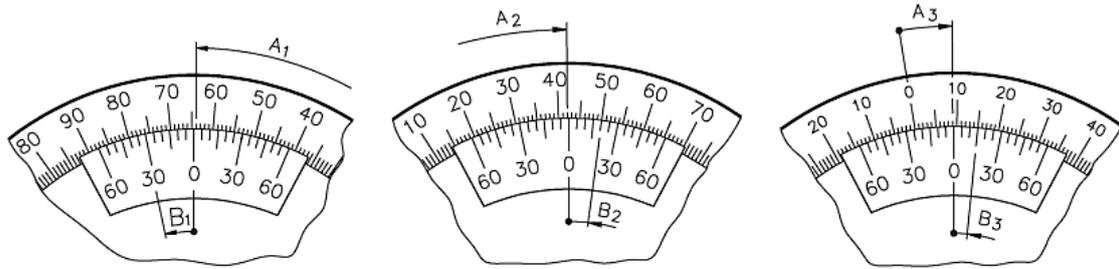
Na figura da direita acima, temos um goniômetro de precisão. O disco graduado apresenta quatro graduações de 0 a 90°. O articulador gira com o disco do vernier e, em sua extremidade, há um ressalto adaptável à régua.

### 9.1 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:

A1 = 64°      B1 = 30'      leitura completa 64°30'

A2 = 42°      B2 = 20'      leitura completa 42°20'

A3 = 9°      B3 = 15'      leitura completa 9°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.



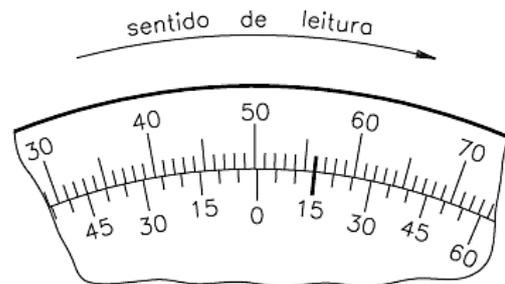
Leitura: .....°.....'



Leitura: .....°.....'



Leitura: .....°.....'



Leitura: .....°.....'

## 10. CONTROLE GEOMÉTRICO

O controle geométrico trata basicamente dos procedimentos de determinação de dimensões, forma e posição de elementos sólidos. Para isto deve-se considerar o comportamento metrológico do sistema de medição e a condição do objeto a medir. Deve-se ter em mente que na fabricação de uma peça não se consegue obter a forma geométrica perfeita, assim ao usinar um cilindro tem-se erros de circularidade na seção transversal. Se este cilindro foi usinado em um torno comum, um torno de precisão ou uma retífica, naturalmente é de se esperar que os erros de circularidade sejam, respectivamente, de valor decrescente. Quanto mais sofisticado o processo de fabricação, menor será o valor da tolerância de fabricação estipulada para a geometria em questão.

Desse modo, para garantir que os desvios de fabricação não prejudiquem a montagem e o funcionamento perfeito das peças, o controle geométrico passa a ser necessário e é realizado através de especificações de tolerâncias geométricas.

### 10.1 TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA

Os desvios geométricos permissíveis para a peça são previamente indicados, aplicando-se tolerâncias geométricas que são os limites dentro dos quais as dimensões e formas geométricas possam variar sem que haja comprometimento do funcionamento e intercambiabilidade das peças.

Tais desvios podem ser macrogeométricos, sendo desvios macroscópicos como retilineidade, planeza, dimensões nominais e desvios microgeométricos, sendo desvios superficiais microscópicos como rugosidade e aspereza.

### 10.2 DESVIOS DE FORMA

#### 10.2.1 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.

#### Conceito de erro de forma

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

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

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

### Causas

Os erros de forma são ocasionados por vibrações, imperfeições na geometria da máquina, defeito nos mancais e nas árvores etc. Tais erros podem ser detectados e medidos com instrumentos convencionais e de verificação, tais como 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			ORIENTAÇÃO para elementos associados	POSICÃO para elementos associados
FORMA para elementos isolados	Retilidade	—		
	Planeza	▭	Perpendicularidade	⊥
	Circularidade	○	Inclinação	∠
	Cilindricidade	⊘	Posição de um elemento	⊕
	Forma de uma linha qualquer	⌒	Concentricidade	⊙
	Forma de uma superfície qualquer	Ⓓ	Simetria	≡
			Batimento	↗

Notações e simbologia dos erros macrogeométricos

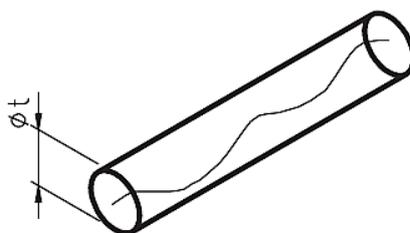
### Tolerância de forma (para elemento isolado)

#### Retilidade

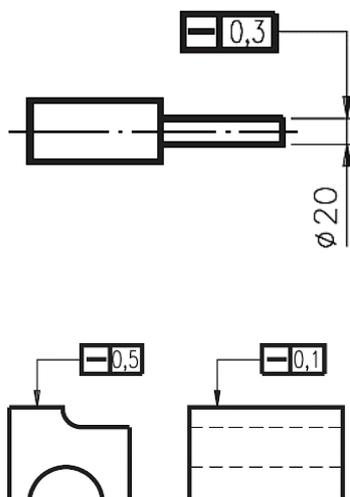
Símbolo: —

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  $\Phi$ , o campo de tolerância será limitado por um cilindro “t”, conforme figura.

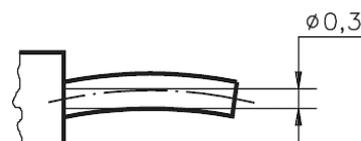


#### Especificação

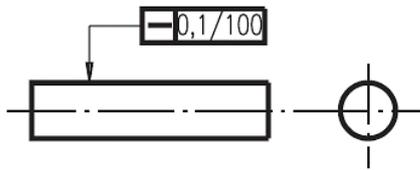


#### Interpretação

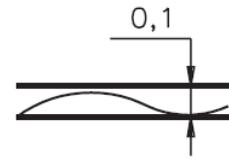
O eixo do cilindro de 20 mm de diâmetro deverá estar compreendido em uma zona cilíndrica de 0,3 mm de diâmetro.



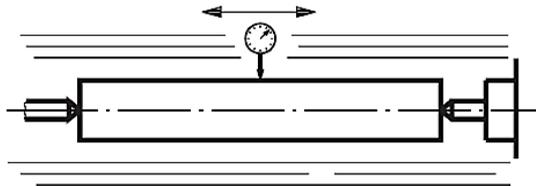
Se a tolerância de retilidade é aplicada nas duas direções de um mesmo plano, o campo de tolerância daquela superfície é de 0,5 mm na direção da figura da esquerda, e de 0,1 mm na direção da figura anterior.



Uma parte qualquer da geratriz do cilindro com comprimento igual a 100 mm deve ficar entre duas retas paralelas, distantes 0,1 mm.



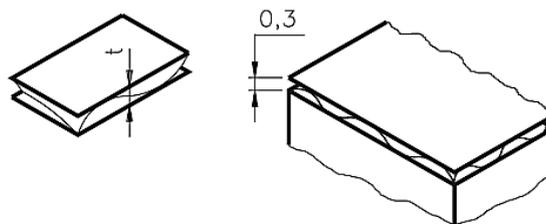
Retilineidade - método de medição



Planeza

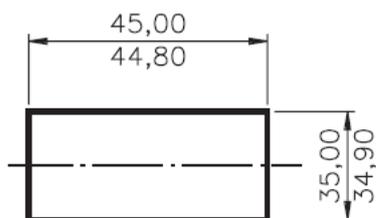
Símbolo:

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

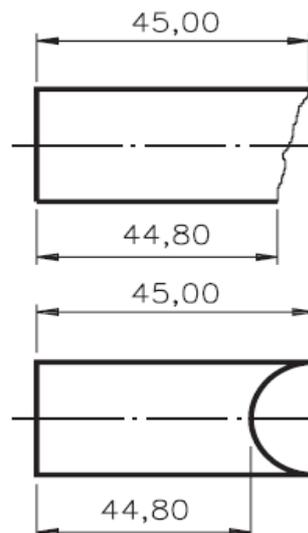


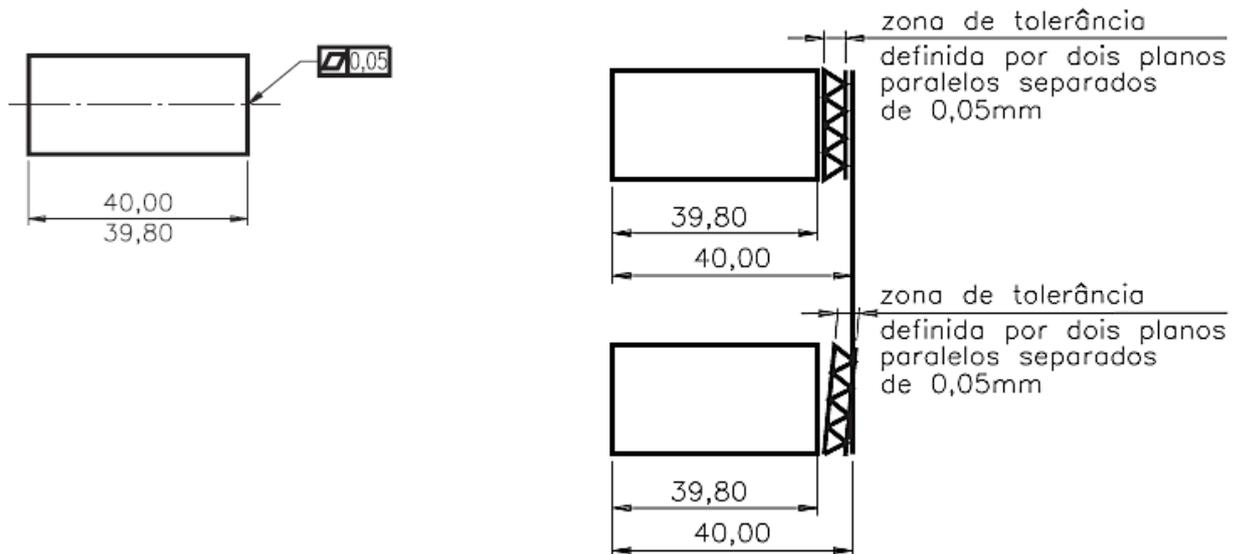
Tolerância dimensional e planeza - Quando, no desenho do produto, não se especifica a tolerância de planeza, admite-se que ela possa variar, desde que não ultrapasse a tolerância dimensional.

Especificação



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:

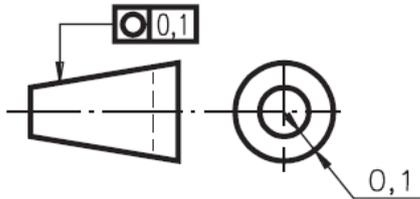
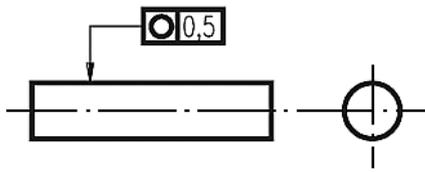
- Torneamento: 0,01 a 0,03 mm
- Fresamento: 0,02 a 0,05 mm
- Retífica: 0,005 a 0,01 mm

### Circularidade

Símbolo: 

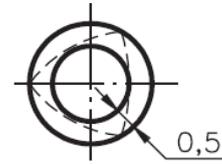
É a condição pela qual qualquer círculo deve estar dentro de uma faixa definida por dois círculos concêntricos, distantes no valor da tolerância especificada.

Especificação



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.

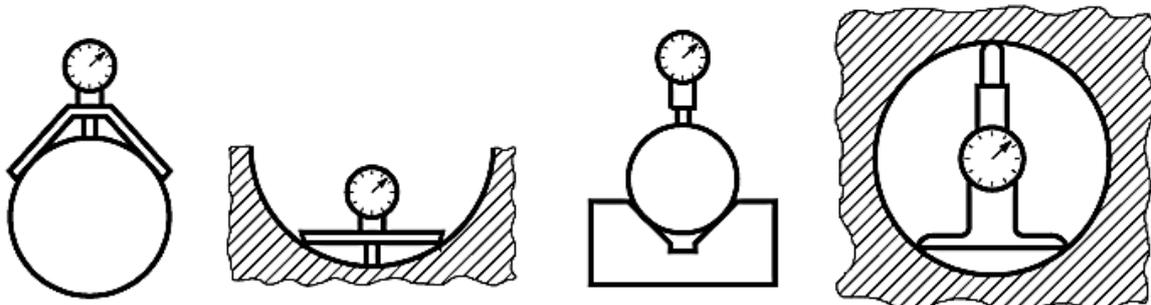
Normalmente, não será necessário especificar tolerâncias de circularidade pois, se os erros de forma estiverem dentro das tolerâncias dimensionais, eles serão suficientemente pequenos para se obter a montagem e o funcionamento adequados da peça.

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 (H11), porém a tolerância de circularidade tem de ser estreita, para evitar vazamentos.

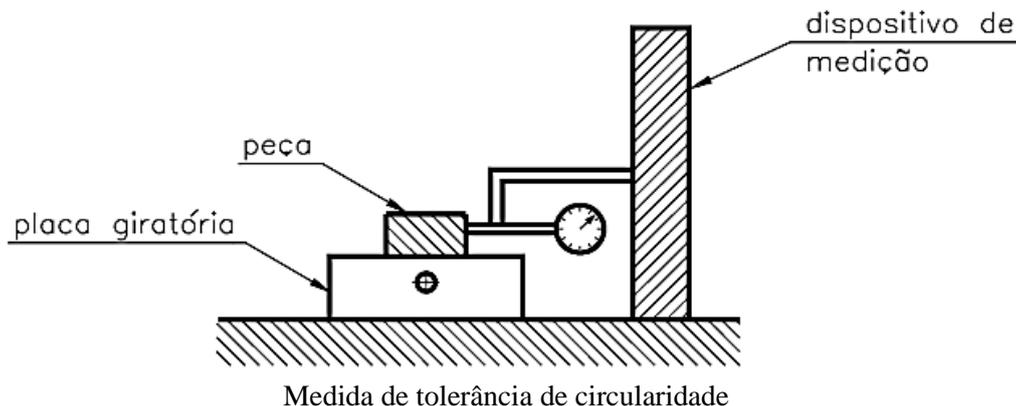
Circularidade - métodos de medição

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



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.



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:

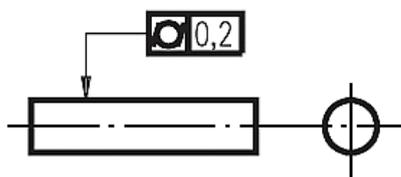
- Torneamento: até 0,01 mm
- Mandrilamento: 0,01 a 0,015 mm
- Retificação: 0,005 a 0,015 mm

### Cilindricidade

Símbolo:

É a condição pela qual a zona de tolerância especificada é a distância radial entre dois cilindros coaxiais.

Especificação



Interpretação

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



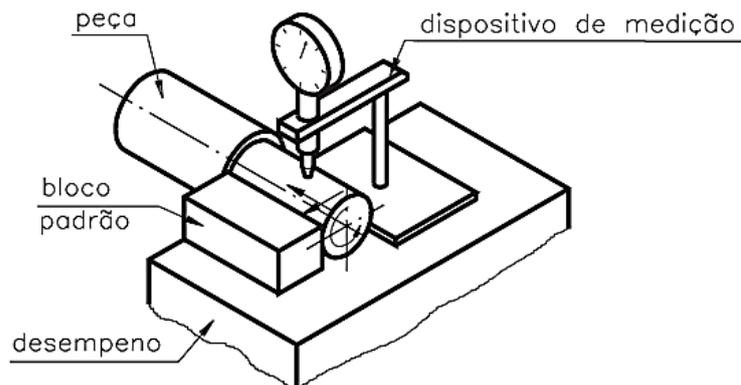
A circularidade é um caso particular de cilindridade, quando se considera uma seção do cilindro perpendicular à sua geratriz.

A tolerância de cilindridade 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 cilindridade, 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.

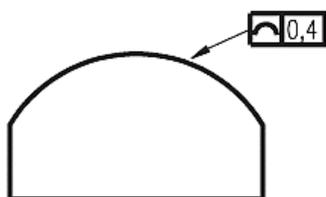
A diferença entre as indicações máxima e mínima não deve ultrapassar, em nenhum ponto do cilindro, a tolerância especificada.

### Forma de uma linha qualquer

Símbolo:

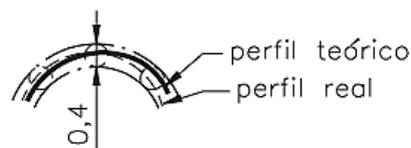
O campo de tolerância é limitado por duas linhas envolvendo círculos cujos diâmetros sejam iguais à tolerância especificada e cujos centros estejam situados sobre o perfil geométrico correto da linha.

#### Especificação



#### 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.

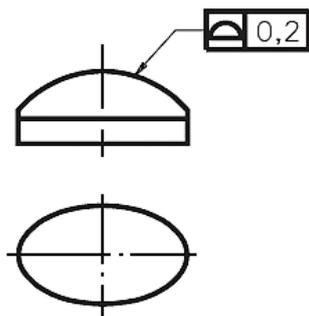


### Forma de uma superfície qualquer

Símbolo:

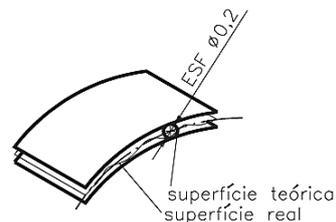
O campo de tolerância é limitado por duas superfícies envolvendo esferas de diâmetro igual à tolerância especificada e cujos centros estão situados sobre uma superfície que tem a forma geométrica correta.

**Especificação**



**Interpretação**

A superfície considerada deve estar compreendida entre duas superfícies envolvendo esferas de 0,2 mm de diâmetro, centradas sobre o perfil geométrico correto.



10.2.2 Tolerância geométrica de orientação

**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:

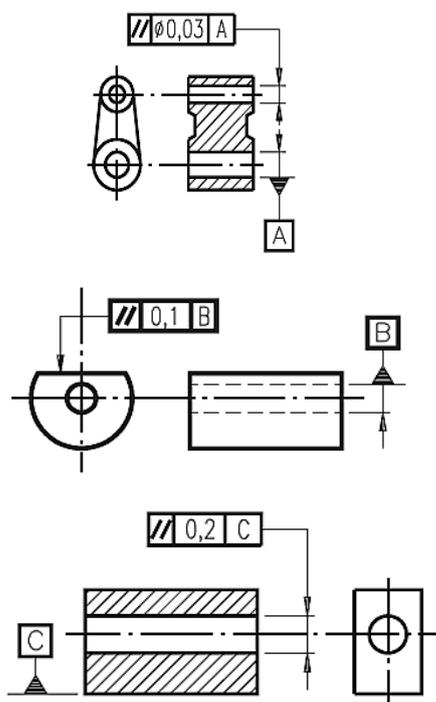
Tolerância de posição	Orientação para elementos associados	Paralelismo	//
		Perpendicularidade	⊥
		Inclinação	∠

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**



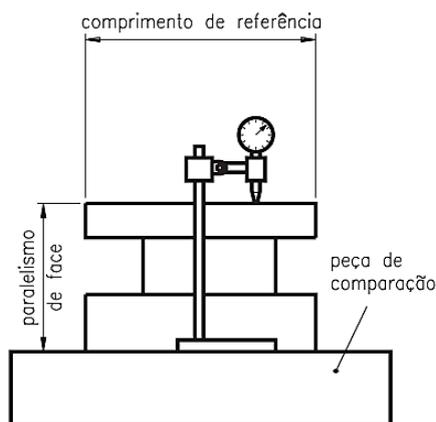
**Interpretação**

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  $\text{Æ}$ .

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.

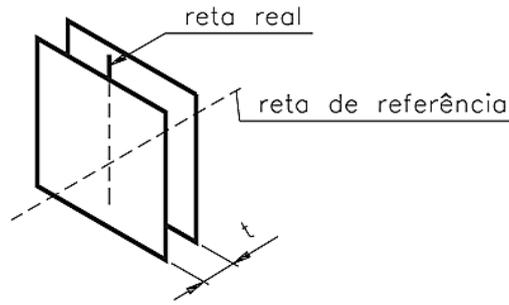


**Perpendicularidade**

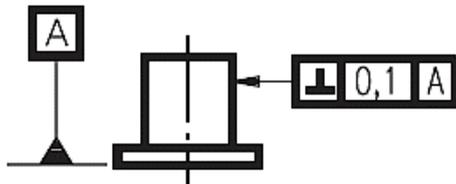
Símbolo:

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.

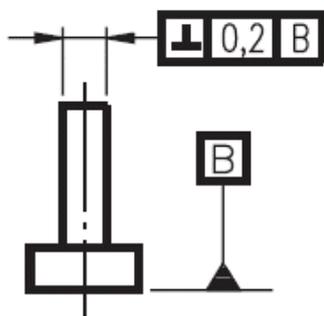
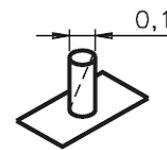


Especificação

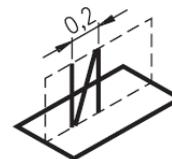


Interpretação

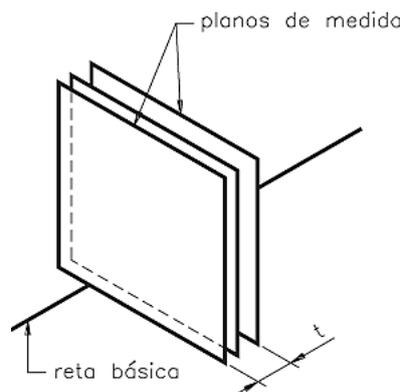
O eixo do cilindro deve estar compreendido em um campo cilíndrico de 0,1 mm de diâmetro, perpendicular à superfície de referência “A”.



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.

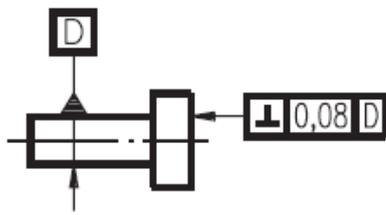


**Tolerância de perpendicularidade entre um plano e uma reta** - O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, distantes no valor especificado e perpendiculares à reta de referência.



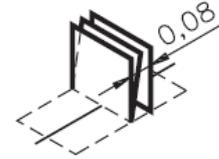
Tolerância de perpendicularidade entre uma superfície e uma reta.

**Especificação**

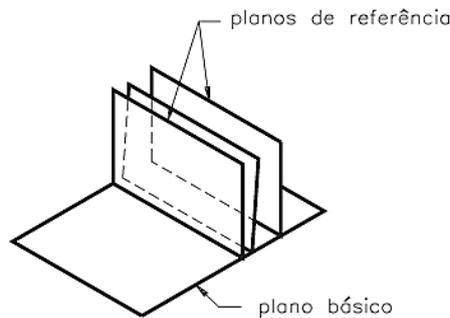


**Interpretação**

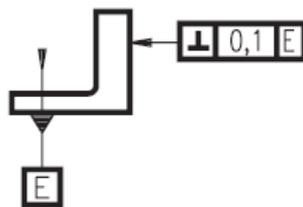
A face à direita da peça deve estar compreendida entre dois planos paralelos distantes 0,08 mm e perpendiculares ao eixo “D”.



**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.

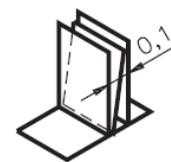


**Especificação**



**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”.

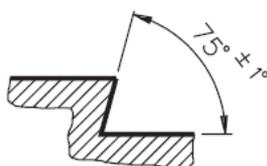


**Inclinação**

Símbolo:

Existem dois métodos para especificar tolerância angular:

1. Pela variação angular, especificando o ângulo máximo e o ângulo mínimo.

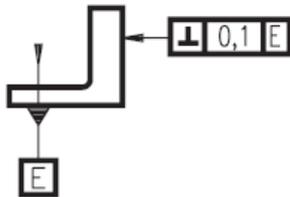


A indicação  $75^\circ \pm 1^\circ$  significa que entre as duas superfícies, em nenhuma medição angular, deve-se achar um ângulo menor que  $74^\circ$  ou maior que  $76^\circ$ .

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

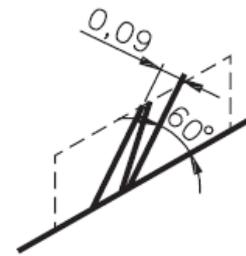
**Tolerância de inclinação de uma linha em relação a uma reta de referência** - O campo de tolerância é limitado por duas retas paralelas, cuja distância é a tolerância, e inclinadas em relação à reta de referência do ângulo especificado.

Especificação



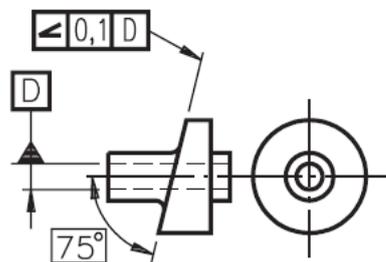
Interpretação

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".



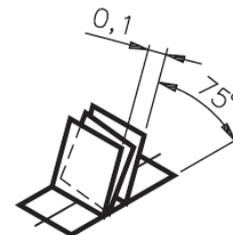
**Tolerância de inclinação de uma superfície em relação a uma reta de base** - O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, de distância igual ao valor da tolerância, e inclinados do ângulo especificado em relação à reta de referência.

Especificação



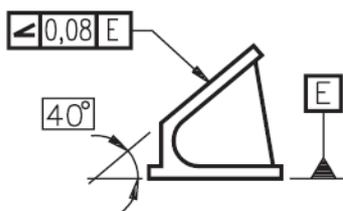
Interpretação

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



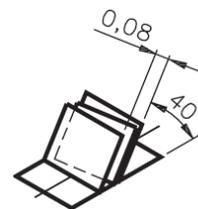
**Tolerância de inclinação de uma superfície em relação a um plano de referência** - O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, cuja distância é o valor da tolerância, e inclinados em relação à superfície de referência do ângulo especificado.

Especificação



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”.



10.2.3 Tolerância geométrica de posição

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: ⊕

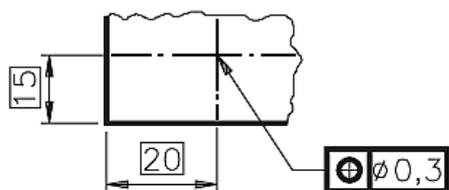
A tolerância de posição pode ser definida, de modo geral, como desvio tolerado de um determinado elemento (ponto, reta, plano) em relação a sua posição teórica.

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).

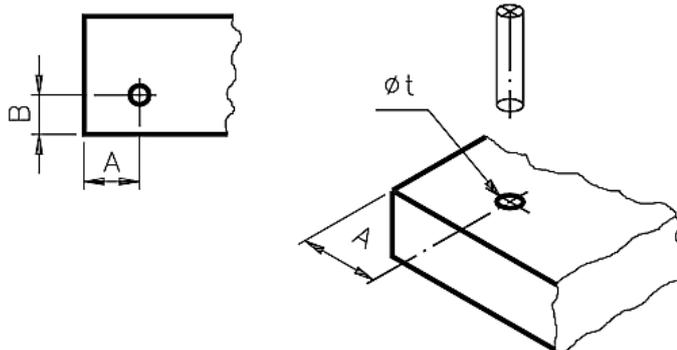
**Especificação**



**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.

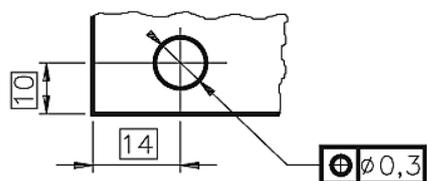
**Tolerância de posição da reta** - A tolerância de posição de uma reta é determinada por um cilindro com diâmetro "t", cuja linha de centro é a reta na sua posição nominal, no caso de sua indicação numérica ser precedida pelo símbolo  $\oplus$ .



Tolerância de localização da reta

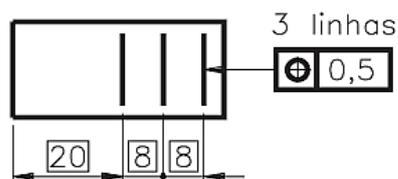
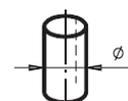
Quando o desenho do produto indicar posicionamento de linhas que entre si não podem variar além de certos limites em relação às suas cotas nominais, a tolerância de localização será determinada pela distância de duas retas paralelas, dispostas simetricamente à reta considerada nominal.

**Especificação**

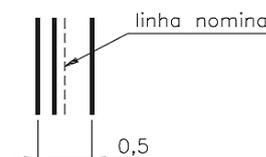


**Interpretação**

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.

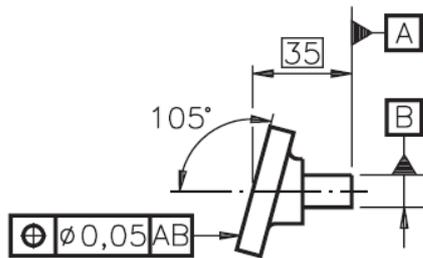


Cada linha deve estar compreendida entre duas retas paralelas, distantes 0,5 mm, e dispostas simetricamente em relação à posição teórica da linha considerada.



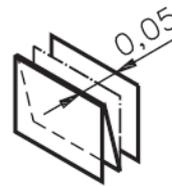
**Tolerância de posição de um plano** - A tolerância de posição de um plano é determinada por dois planos paralelos distanciados, de tolerância especificada e dispostos simetricamente em relação ao plano considerado normal.

Especificação



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.

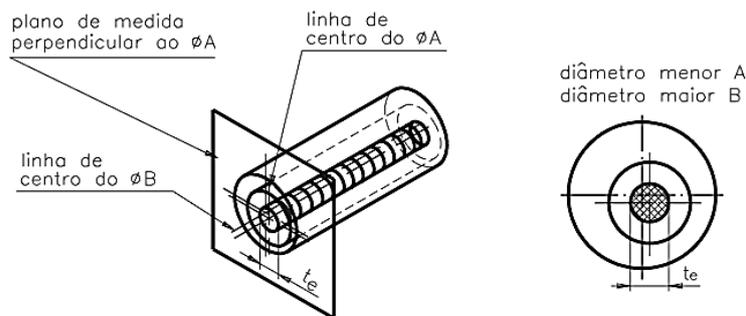
Concentricidade

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.

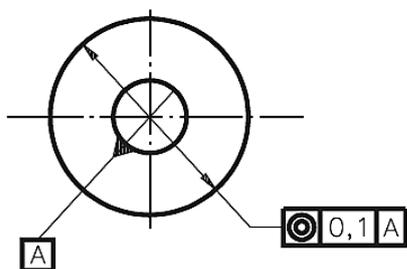
Nesse plano, tem-se dois pontos que são a intersecção do eixo de referência e do eixo que se quer saber a excentricidade. O segundo ponto deverá estar contido em círculo de raio  $t_e$ , tendo como centro o ponto considerado do eixo de referência



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.

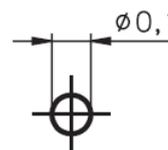
A tolerância de excentricidade poderá variar de ponto para ponto, ao se deslocar o plano de medida paralelo a si mesmo e perpendicular à linha de centro de referência. Conclui-se, portanto, que os desvios de excentricidade constituem um caso particular dos desvios de coaxialidade.

Especificação



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.



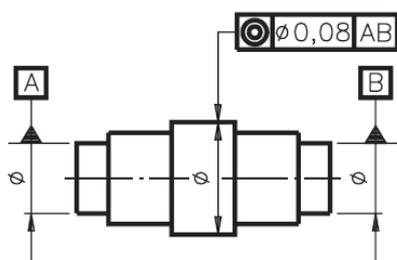
Coaxialidade

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.

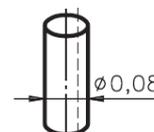
O desvio de coaxialidade pode ser verificado pela medição do desvio de concentricidade em alguns pontos.

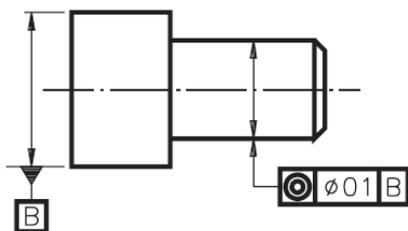
Especificação



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.





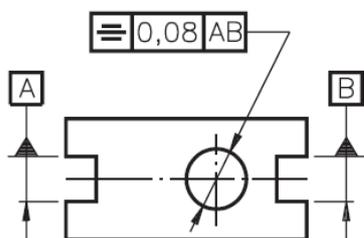
O eixo do diâmetro menor deve estar contido em uma zona cilíndrica de 0,1 mm de diâmetro, coaxial ao eixo de referência B.

Simetria

Símbolo:

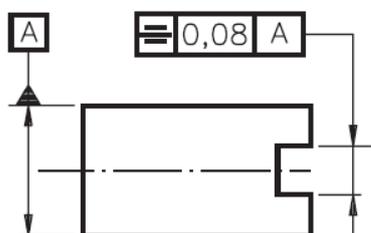
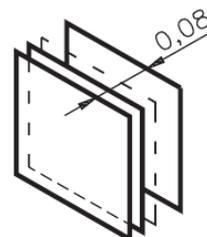
A tolerância de simetria é semelhante à de posição de um elemento, porém utilizada em condição independente, isto é, não se leva em conta a grandeza do elemento. O campo de tolerância é limitado por duas retas paralelas, ou por dois planos paralelos, distantes no valor especificado e dispostos simetricamente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

Especificação



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.

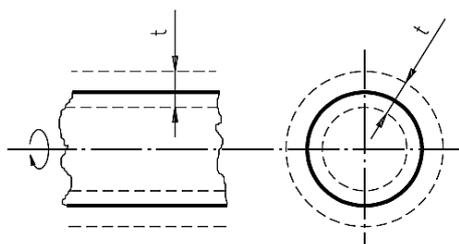
Para que se possa fazer uma conceituação desses erros compostos, são definidos os desvios de batimento, que nada mais são do que desvios compostos de forma e posição de superfície de revolução, quando medidos a partir de um eixo ou superfície de referência.

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 reticidade ou de angularidade.

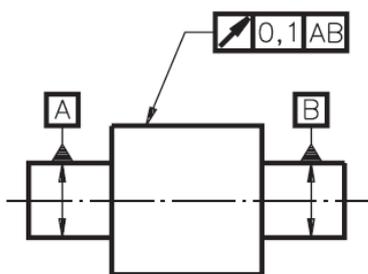
A tolerância de batimento pode ser dividida em dois grupos principais:

- 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.

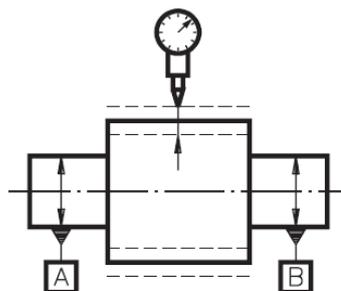


Tolerância de batimento radial

Especificação



Interpretação



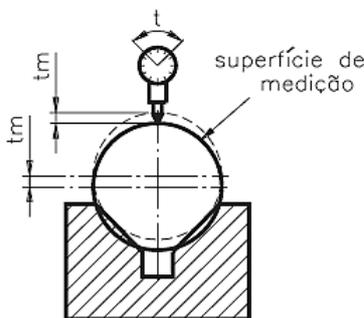
A peça, girando apoiada em dois prismas, não deverá apresentar a LTI (Leitura Total do Indicador) superior a 0,1 mm.

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.

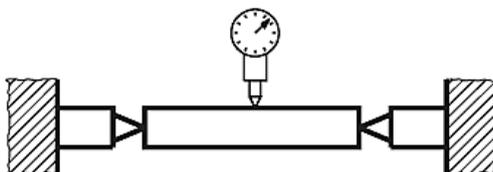
A LTI indicará um erro composto, constituído do desvio de batimento radial, adicionado ao erro decorrente da variação de posição do centro.



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

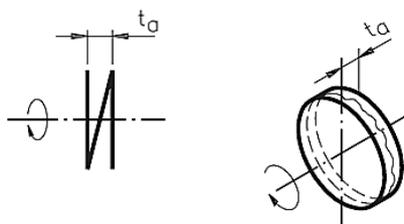
b) A peça é apoiada entre centros.

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.



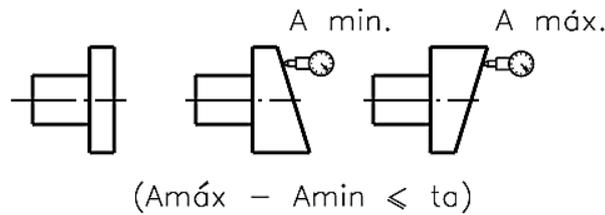
A medição, assim executada, independe das dimensões da peça, não importando se ela esteja na condição de máximo material (diâmetro maior) ou de mínimo material (diâmetro menor do eixo).

· 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 ao 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.

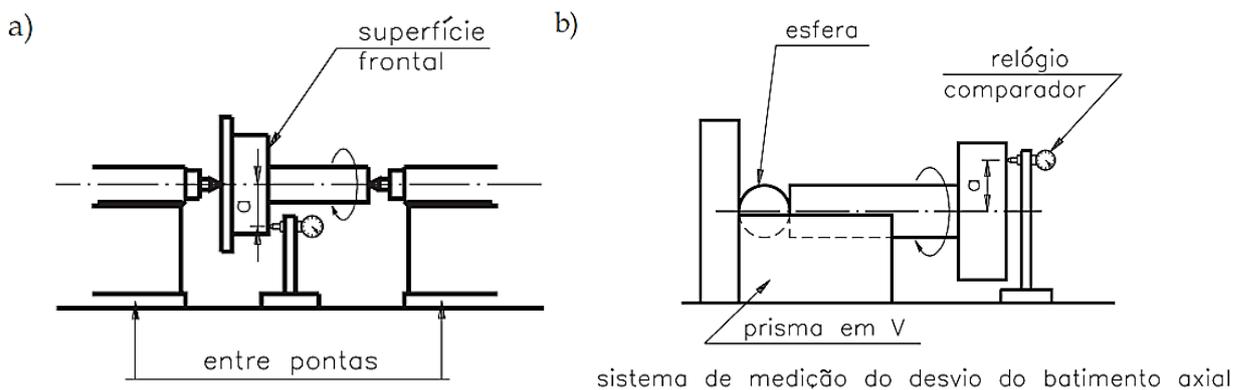


**Medição de tolerância de batimento axial**

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  $t_a$ .

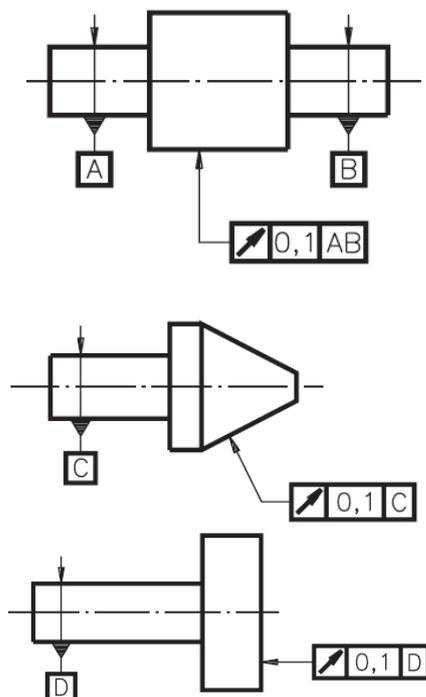
$$A_{máx.} - A_{min.} \leq t_a$$

Normalmente, o desvio de batimento axial é obtido por meio das montagens indicadas abaixo.



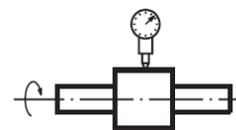
A figura a mostra a medição feita entre pontas. Na figura b, a superfície de referência está apoiada em um prisma em V.

**Especificação**



**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.

## 11. CALIBRAÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO

Um sistema de medição (SM) de boa qualidade deve ser capaz de operar com pequenos erros. Seus princípios construtivos e operacionais devem ser projetados para minimizar erros sistemáticos e aleatórios ao longo da sua faixa de medição, nas suas condições de operação nominais.

Entretanto, por melhores que sejam as características de um SM, este sempre apresentará erros, seja por fatores internos, seja por ação das grandezas de influência externas. A perfeita caracterização das incertezas associadas a estes erros é de grande importância para que o resultado da medição possa ser estimado de maneira segura.

Embora, em alguns casos, os erros de um sistema de medição possam ser analítica ou numericamente estimados, na prática são utilizados procedimentos experimentais quase que exclusivamente.

Através do procedimento experimental denominado calibração é possível correlacionar os valores indicados pelo sistema de medição e sua correspondência com a grandeza sendo medida. Esta operação é extremamente importante e é realizada por um grande número de entidades credenciadas espalhadas pelo país.

### 11.1 OPERAÇÕES BÁSICAS PARA QUALIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO

#### Calibração

Calibração é um procedimento experimental através do qual são estabelecidas, sob condições específicas, as relações 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 estabelecidos por padrões.

Como exemplos, através de uma calibração é possível estabelecer:

- a relação entre temperatura e tensão termoeletrica de um termopar;
- uma estimativa dos erros sistemáticos de um manômetro;
- o valor efetivo de uma massa padrão;
- a dureza efetiva de uma placa "padrão de dureza";
- o valor efetivo de um "resistor padrão".

O resultado de uma calibração permite tanto o estabelecimento dos valores do mensurando para as indicações, como a determinação das correções a serem aplicadas. Uma calibração também pode determinar outras propriedades metrológicas como, por exemplo, os efeitos das grandezas de influência sobre a indicação, ou o comportamento metrológico de sistemas de medição em condições adversas de utilização (em temperaturas elevadas ou muito baixas, na ausência de gravidade, sob radiação nuclear,

etc). O resultado da calibração geralmente é registrado em um documento específico denominado certificado de calibração ou, algumas vezes, referido como relatório de calibração. O certificado de calibração apresenta várias informações acerca do desempenho metrológico do sistema de medição analisado e descreve claramente os procedimentos realizados. Frequentemente, como principal resultado, apresenta uma tabela, ou gráfico, contendo, para cada ponto medido ao longo da faixa de medição:

- a) estimativas da correção a ser aplicada
- b) estimativa da incerteza associada à correção.

Em função dos resultados obtidos, o desempenho do SM pode ser comparado com aquele constante nas especificações de uma norma técnica, ou outras determinações legais, e um parecer de conformidade pode ser emitido.

A calibração pode ser efetuada por qualquer entidade, desde que esta disponha dos padrões rastreados e pessoal competente para realizar o trabalho. Para que uma calibração tenha validade oficial, é necessário que seja executada por entidade legalmente credenciada. No Brasil, existe a Rede Brasileira de Calibração (RBC), coordenada pelo INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Esta rede é composta por uma série de laboratórios secundários, espalhados pelo país, ligados a Universidades, Empresas, Fundações e outras entidades, que recebem o credenciamento do INMETRO e estão aptos a expedir certificados de calibração oficiais.

Hoje, com as tendências da globalização da economia, a competitividade internacional das empresas é uma questão crucial. A qualidade dos serviços e dos produtos da empresa têm que ser assegurada a qualquer custo. As normas da série ISO 9000 aparecem para disciplinar a gestão das empresas para melhorar e manter a qualidade de uma organização. A calibração tem o seu papel de grande importância neste processo, uma vez que um dos requisitos necessários para uma empresa que se candidate à certificação pelas normas ISO 9000, é que os sistemas de medição e padrões de referência utilizados nos processo produtivo, tenham certificados de calibração oficiais.

Embora a calibração seja a operação de qualificação de instrumentos e sistemas de medição mais importante, existem outras operações comumente utilizadas.

### **Ajuste**

Operação complementar, normalmente efetuada após uma calibração, quando o desempenho metrológico de um sistema de medição não está em conformidade com os padrões de comportamento esperados. Trata-se de uma "regulagem interna" do SM, executada por técnico especializado. Visa fazer coincidir, da melhor forma possível, o valor indicado no SM, com o valor correspondente do mensurado submetido. São exemplos:

- alteração do fator de amplificação (sensibilidade) de um SM por meio de um potenciômetro interno;
- regulagem do "zero" de um SM por meio de parafuso interno.

No caso de medidas materializadas, o ajuste normalmente envolve uma alteração das suas características físicas ou geométricas. Por exemplo: colocação de uma "tara" em uma massa padrão.

Após o término da operação de ajuste, é necessário efetuar uma recalibração, visando conhecer o novo comportamento do sistema de medição, após os ajustes terem sido efetuados.

### **Regulagem**

É também uma operação complementar, normalmente efetuada após uma calibração, quando o desempenho metrológico de um sistema de medição não está em conformidade com os padrões de comportamento esperados. Envolve apenas ajustes efetuados em controles externos, normalmente colocados à disposição do usuário comum. É necessária para fazer o SM funcionar adequadamente, fazendo coincidir, da melhor forma possível, o valor indicado com o valor correspondente do mensurado submetido. São exemplos:

- alteração do fator de amplificação (sensibilidade) de um SM por meio de um botão externo;
- regulagem do "zero" de um SM por meio de um controle externo indicado para tal.

### **Verificação**

A operação de verificação é utilizada no âmbito da metrologia legal, devendo esta ser efetuada por entidades oficiais denominados de Institutos de Pesos e Medidas Estaduais (IPEM), existentes nos diversos estados da Federação. Trata-se de uma operação mais simples, que tem por finalidade comprovar que: um sistema de medição está operando corretamente dentro das características metrológicas estabelecidas por lei; e que uma medida materializada apresenta características segundo especificações estabelecidas por normas ou outras determinações legais.

São verificados instrumentos como balanças, bombas de gasolina, taxímetros, termômetros clínicos e outros instrumentos, bem como medidas materializadas do tipo massa padrão usados no comércio e área da saúde, com o objetivo de proteger a população em geral.

A verificação é uma operação de cunho legal, da qual resulta a emissão de selo ou plaqueta com a inscrição "VERIFICADO", quando o elemento testado satisfaz às exigências legais. É efetuada pelos órgãos estaduais denominados de Institutos de Pesos e Medidas (IPEM) ou diretamente pelo INMETRO, quando trata-se de âmbito federal.

## 11.2 MÉTODOS DE CALIBRAÇÃO

### **Calibração Direta**

O mensurado é aplicado sobre o sistema de medição por meio de medidas materializadas, cada qual com seu valor verdadeiro convencional suficientemente conhecido. Exemplos de medidas materializadas: blocos padrão (compr.), massas padrão, pontos de fusão de substâncias puras, entre outras.

É necessário dispor de uma coleção de medidas materializadas suficientemente completa para cobrir toda a faixa de medição do instrumento. As indicações dos sistemas de medição são confrontadas com cada valor verdadeiro convencional e a correção e sua incerteza são estimadas por meio de medições repetitivas.

### **Calibração Indireta**

Não seria fácil calibrar o velocímetro de um automóvel utilizando a calibração direta. O conceito de medida materializada não se aplica à velocidade. As constantes físicas naturais, como a velocidade de propagação do som no ar ou nos líquidos, ou mesmo a velocidade da luz, são inapropriadas para este fim. A solução para este problema passa pela calibração indireta.

O mensurado é gerado por meio de um dispositivo auxiliar, que atua simultaneamente no sistema de medição a calibrar (SMC) e também no sistema de medição padrão (SMP), isto é, um segundo sistema de medição que não apresente erros superiores a 1/10 dos erros do SMC. As indicações do SMC são comparadas com as do SMP, sendo estas adotadas como VVC, e os erros são determinados.

Para calibrar o velocímetro de um automóvel pela calibração indireta, o automóvel é posto em movimento. Sua velocidade em relação ao solo, além de indicada pelo velocímetro, é também medida por meio de um sistema de medição padrão, cujos erros sejam 10 vezes menores que os erros do velocímetro a calibrar. Este SMP pode ser, por exemplo, constituído por uma quinta roda, afixada na parte traseira do automóvel, ou, hoje é comum a utilização de sensores que usam um raio laser dirigido ao solo e, pela análise do tipo de sinal que retorna, determinar a velocidade real do automóvel com baixas incertezas. Neste exemplo o próprio automóvel é o gerador da grandeza padrão, isto é, da velocidade, que é simultaneamente submetida a ambos os sistemas de calibração. Para levantar a curva de erros, o automóvel deve trafegar em diferentes patamares de velocidade repetidas vezes.

Algumas vezes não se dispõe de um único sistema de medição padrão que englobe toda a faixa de medição do SMC. Neste caso, é possível utilizar diversos SMPs de forma complementar. Por exemplo:

- deseja-se calibrar um termômetro entre 20 e 35 °C;
- não se dispõe de um padrão que, individualmente, cubra esta faixa completamente;
- dispõe-se de um termômetro padrão para a faixa 20 a 30 °C e outro para 30 a 40 °C;

- o termômetro a calibrar é parcialmente calibrado para a faixa de 20 a 30 °C contra o 1º padrão;
- o restante da calibração, entre 30 e 35 °C, é completado contra o segundo padrão.

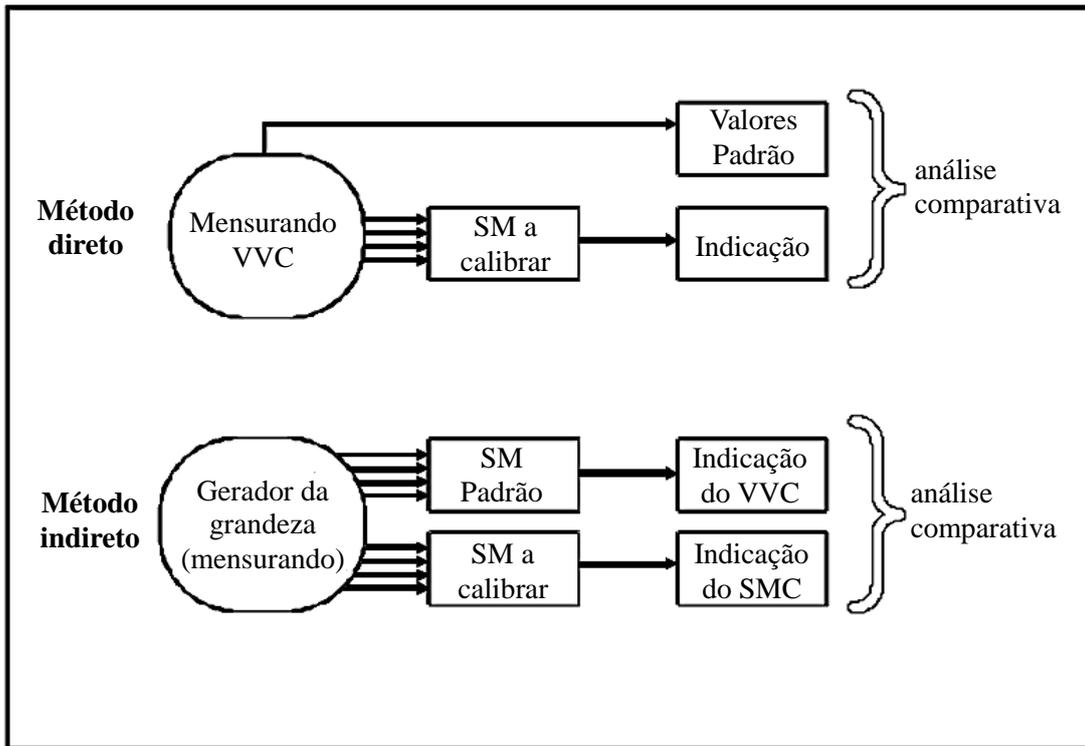
### **Padrões para Calibração**

Para que o valor da medida materializada, ou o indicado pelo SMP, possa ser adotado como valor verdadeiro convencional (VVC), é necessário que seus erros sejam sensivelmente menores que os erros esperados no SMC. Tecnicamente, quanto menores os erros do padrão melhor. Economicamente, quanto menores os erros do padrão, mais caro este é. Procurando buscar o equilíbrio técnico-econômico, adota-se como padrão um elemento que, nas condições de calibração e para cada ponto de calibração, apresente incerteza não superior a um décimo da incerteza esperada para o sistema de medição a calibrar.

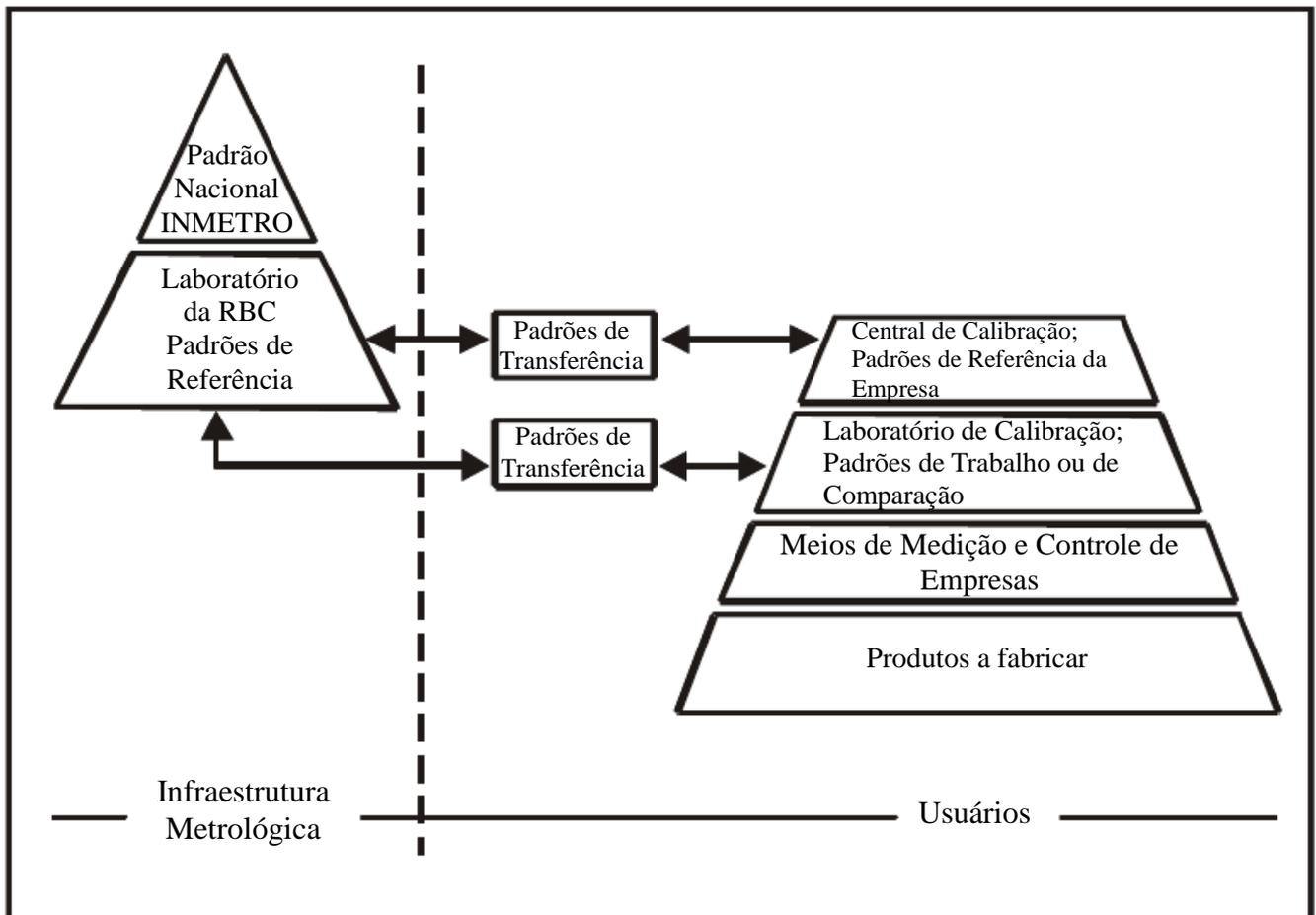
$$\text{Assim: } U_{\text{SMP}} \leq \frac{1}{10} U_{\text{SMC}}$$

Na equação acima, U representa a incerteza expandida, que corresponde à faixa de dúvidas que resultam das medições efetuadas com os respectivos sistemas de medição. Desta forma, o SMP apresentará ao menos um dígito confiável a mais que o SMC, o que é suficiente para a determinação dos erros deste último. Excepcionalmente, em casos onde é muito difícil ou caro de se obter um padrão 10 vezes superior ao SMC, usa-se o limite de 1/5 ou até mesmo 1/3 para a razão entre as incertezas do SMP e o SMC. Estes últimos devem ser analisados com cuidado para que a incerteza da calibração não venha a ser muito elevada. Em função da mudança do comportamento do instrumento com a velocidade de variação do mensurado, distinguem-se a calibração estática e a dinâmica. Apenas nos instrumentos de ordem zero a calibração estática coincide com a dinâmica. Nos demais casos, é necessário determinar a resposta do SM para diversas frequências de variação do mensurado.

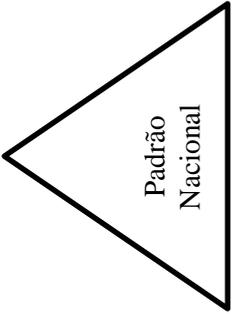
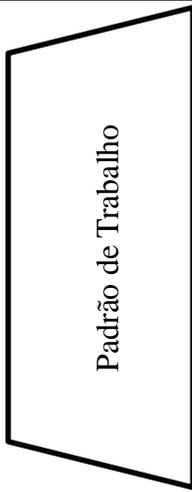
Qualquer sistema de medição deve ser calibrado periodicamente. Este período é, algumas vezes, especificado por normas, ou fabricantes de instrumentos, ou outras fontes como laboratórios de calibração, porém são influenciados pelas condições e/ou frequência de uso. Para a calibração de um SM em uso na indústria, são geralmente usados padrões dos laboratórios da própria indústria. Entretanto, estes padrões precisam ser calibrados periodicamente, o que é executado por laboratórios secundários da RBC. Mas também estes padrões precisam ser calibrados por outros que, por sua vez, também necessitam de calibração e assim por diante... Estabelece-se assim uma hierarquia que irá terminar nos padrões primários internacionais, ou mesmo, na própria definição da grandeza. A calibração periódica dos padrões garante a rastreabilidade internacional, o que elimina o risco do "metro francês" ser diferente do "metro australiano".



Métodos de calibração



Hierarquia de Calibração do Padrão Nacional até o Produto Acabado

<p><b>PADRÃO</b> (meios de medição)</p>	<p><b>USUÁRIO</b></p>	<p><b>ATIVIDADES</b></p>	<p><b>CONDIÇÕES PRELIMINARES DA CALIBRAÇÃO/ MEDIÇÃO</b></p>	<p><b>DOCUMENTAÇÃO DA CALIBRAÇÃO/ MEDIÇÃO</b></p>
 <p>Padrão Nacional</p>	<p>Laboratório do INMETRO</p>	<p>Desenvolvimento, manutenção e transferência dos padrões nacionais</p>	<p>Garantia da rastreabilidade da unidade até os padrões primários através de intercomparações internacionais</p>	<p>Certificado de calibração INMETRO para padrões de referência</p>
 <p>Padrão de Referência</p>	<p>Laboratórios da RBC</p>	<p>Garantia da infraestrutura metrológica industrial</p>	<p>Certificado de calibração INMETRO</p>	<p>Certificado de calibração RBC para padrões de trabalho</p>
 <p>Padrão de Trabalho</p>	<p>Laboratórios de calibração das empresas</p>	<p>Calibração dos meios de medição para atender a demanda interna</p>	<p>Certificado de calibração RBC</p>	<p>Certificado de calibração da empresa ou outro que comprove a qualificação</p>
 <p>Padrões/Instrumentos de uso geral</p>	<p>Todas as áreas de atuação da empresa</p>	<p>Medições e calibrações no âmbito do sistema da qualidade</p>	<p>Certificados de calibração da empresa ou outros que comprovem a qualificação</p>	<p>Marca, selo ou plaqueta de verificação</p>

### 11.3 PROCEDIMENTO GERAL DE CALIBRAÇÃO

A calibração de sistemas de medição é um trabalho especializado e exige amplos conhecimentos de metrologia, total domínio sobre os princípios e o funcionamento do sistema de medição a calibrar (SMC), muita atenção e cuidados na sua execução e uma elevada dose de bom senso. Envolve o uso de equipamento sofisticado e de alto custo.

Recomenda-se sempre usar um procedimento de calibração documentado, segundo exigências de normas NBR/ISO. Quando tais procedimentos de calibração não existirem, devem ser elaborados com base em informações obtidas de normas técnicas, recomendações de fabricantes e informações do usuário do SM em questão, complementados com a observância das regras básicas da metrologia e no bom senso.

A seguir, apresenta-se uma proposta de roteiro geral a ser seguido para a calibração de um SM qualquer. Esta proposta deve ser entendida como orientativa apenas, devendo ser analisado caso a caso a conveniência de adotar, modificar ou acrescentar as recomendações sugeridas.

Quando trata-se de um trabalho não rotineiro, de cunho técnico-científico, e muitas vezes de alta responsabilidade, é fundamental que sejam registrados todos os eventos associados com o desenrolar da atividade, na forma de um memorial de calibração.

Esta proposta de roteiro genérico de uma calibração está estruturada em oito etapas:

#### Etapa 1- Definição dos objetivos:

Deve-se definir claramente o destino das informações geradas. A calibração poderá ser realizada com diferentes níveis de abrangência dependendo do destino dos resultados. Por exemplo:

- dados para ajustes e regulagens: o estudo se restringirá a apenas alguns poucos pontos da faixa de medição do SMC;
- levantamento da curva de erros para futura correção: definidas as condições de operação, deve-se programar uma calibração com grande número de pontos de medição dentro da faixa de medição do SMC, bem como, realizar grande número de ciclos para reduzir a incerteza nos valores da tendência ou da correção;
- dados para verificação: o volume de dados a levantar tem uma intensidade intermediária, orientada por normas e recomendações específicas da metrologia legal;
- avaliação completa do SMC: compreende, na verdade, diversas operações de calibração em diferentes condições operacionais (ex: influência da temperatura, tensão da rede, campos eletromagnéticos, vibrações, etc);

## Etapa 2 - Identificação do Sistema de Medição a Calibrar (SMC)

É fundamental um estudo aprofundado do SMC: manuais, catálogos, normas e literatura complementar, visando:

- identificar as características metrológicas e operacionais esperadas. Deve-se procurar identificar todas as características possíveis, seja do sistema como um todo ou seja dos módulos independentes;
- conhecer o modo de operação do SMC: na calibração é necessário que se utilize o sistema corretamente e para isso é necessário conhecer todas as recomendações dadas pelo fabricante. Operar o sistema apenas com base na tentativa pode levar a resultados desastrosos;
- documentar o SMC: a calibração será válida exclusivamente para o instrumento analisado, sendo portanto necessário caracterizá-lo perfeitamente (número de fabricação, série, modelo, etc);

## Etapa 3 - Seleção do Sistema de Medição Padrão (SMP)

Com base nos dados levantados na etapa anterior, selecionar, dentre os disponíveis, o SMP apropriado, considerando:

- a incerteza do SMP nas condições de calibração idealmente não deve ser superior a um décimo da incerteza esperada para o SMC. É importante observar que se estas estão expressas em termos percentuais, é necessário que ambas tenham o mesmo valor de referência, ou que seja efetuada as devidas compensações;
- faixa de medição: o SMP deve cobrir a faixa de medição do SMC. Vários SMP's podem ser empregados se necessário;

## Etapa 4 - Preparação do Experimento

Recomenda-se efetuar o planejamento minucioso do experimento de calibração e das operações complementares, com a finalidade de reduzir os tempos e custos envolvidos e de se evitar que medições tenham que ser repetidas porque se “esqueceu” um aspecto importante do ensaio. O planejamento e a preparação do ensaio envolvem:

- executar a calibração adotando procedimento de calibração segundo documentado em normas específicas;
- quando o procedimento documentado não existir, realizar estudo de normas e manuais operativos, recomendações técnicas, de fabricantes e ou laboratórios de calibração;
- estudo do SMP: para o correto uso e a garantia da confiabilidade dos resultados, é necessário que o executor conheça perfeitamente o modo de operação e funcionamento do SMP;

- esquematização do ensaio: especificação da montagem a ser realizada, dos instrumentos auxiliares a serem envolvidos (medidores de temperatura, tensão da rede, umidade relativa, etc) e da sequência de operações a serem seguidas;
- preparação das planilhas de coleta de dados: destinadas a facilitar a tomada dos dados, reduzindo a probabilidade de erros e esquecimentos na busca de informações;
- montagem do experimento, que deve ser efetuada com conhecimento técnico e máximo cuidado;

#### Etapa 5 - Execução do Ensaio

Deve seguir o roteiro fixado no procedimento de calibração. É importante não esquecer de verificar e registrar as condições de ensaio (ambientais, operacionais, etc). Qualquer anomalia constatada na execução dos trabalhos deve ser anotada no memorial de calibração, com identificação cronológica associada com o desenrolar do experimento. Estas informações podem ser úteis para identificar a provável causa de algum efeito inesperado que possa ocorrer.

#### Etapa 6 - Processamento e Documentação dos Dados:

Todos os cálculos realizados devem ser explicitados no memorial. A documentação dos dados e resultados de forma clara, seja como tabelas ou gráficos, é fundamental.

#### Etapa 7 - Análise dos Resultados

A partir da curva de erros, e dos diversos valores calculados para a faixa de medição, determinam-se, quando for o caso, os parâmetros reduzidos correspondentes às características metrológicas e operacionais. Estes valores são comparados às especificações do fabricante, usuário, normas, e dão lugar a um parecer final. Este parecer pode ou não atestar a conformidade do SMC com uma norma ou recomendação técnica, apresentar instruções de como e restrições das condições em que o SMC pode ser utilizado, etc.

#### Etapa 8 - Certificado de Calibração

A partir do memorial, gera-se o Certificado de Calibração, que é o documento final que será fornecido ao requisitante, no qual constam as condições e os meios de calibração, bem como os resultados e os pareceres. A norma NBR ISO 10 012-1 "Requisitos da Garantia da Qualidade para Equipamentos de Medição" prevê que os resultados das calibrações devem ser registrados com detalhes suficientes de modo que a rastreabilidade de todas as medições efetuadas com o SM calibrado possam ser demonstradas, e qualquer medição possa ser reproduzida sob condições semelhantes às condições originais.

As seguintes informações são recomendadas para constar no Certificado de Calibração:

- a) descrição e identificação individual do SM a calibrar;
- b) data da calibração;
- c) os resultados da calibração obtidos após, e quando relevante, os obtidos antes dos ajustes efetuados;
- d) identificação do(s) procedimento(s) de calibração utilizado(s);
- e) identificação do SM padrão utilizado, com data e entidade executora da sua calibração, bem como sua incerteza;
- f) as condições ambientais relevantes e orientações expressas sobre quaisquer correções necessárias ao SM a calibrar;
- g) uma declaração das incertezas envolvidas na calibração e seus efeitos cumulativos;
- h) detalhes sobre quaisquer manutenções, ajustes, regulagens, reparos e modificações realizadas;
- i) qualquer limitação de uso (ex: faixa de medição restrita);
- j) identificação e assinaturas da(s) pessoa(s) responsável(eis) pela calibração bem como do gerente técnico do laboratório;
- k) identificação individual do certificado, com número de série ou equivalente.

Para garantir a rastreabilidade das medições até os padrões primários internacionais, é necessário que o usuário defina, em função das condições de uso específicas do SM, os intervalos de calibração. Estes devem ser reajustados com base nos dados históricos das calibrações anteriores realizadas.

Nos casos em que os dados históricos das calibrações anteriores não estiverem disponíveis, e outras informações do usuário do SM não forem suficientes para definir os intervalos de calibração, são recomendados a seguir alguns intervalos iniciais que podem ser usados. Todavia reajustes nestes intervalos deverão ser efetuados, com base nos resultados das calibrações subsequentes.

### RECOMENDAÇÕES PARA INTERVALOS INICIAIS DE CALIBRAÇÃO (ÁREA DIMENSIONAL)

INSTRUMENTOS	INTERVALO DE CALIBRAÇÃO (MESES)
Blocos Padrão (Padrão de referência) - angulares/paralelos (Novos)	12
Calibradores (tampão/anel) lisos, de rosca, cilíndricos e cônicos	3 a 6
Desempenos	6 a 12
Escalas Mecânicas	12
Esquadros	6 a 9
Instrumentos Ópticos	6
Máquinas de Medir - (ABBE, Peças Longas, etc.)	12
Medidores de Deslocamento Eletro/Eletrônico	6 a 12
Medidores de Deslocamento Mecânicos (relógios comparadores/apalpadores)	12/3 a 6
Medidores de Deslocamento Pneumáticos	6 a 12
Medidores de Espessura de Camada	6 a 12
Micrômetros	3 / 6
Microscópios	12
Níveis de Bolha e Eletrônico	6
Paquímetros	6
Planos e Paralelos Ópticos	12
Réguas (Aço ou granito)	6 a 12
Rugosímetro e Medidor de Forma	12
Transferidores	6
Trenas	6

### OUTRAS GRANDEZAS FÍSICAS

INSTRUMENTO/PADRÃO	INTERVALOS DE CALIBRAÇÃO (MESES)
<b>1. MASSA, VOLUME, DENSIDADE</b>	
Massas padrão	24
Balanças	12 a 36
Balanças Padrão	12
Hidrômetros	36
Densímetros	12 a 24
<b>2. PRESSÃO</b>	
Manômetros	6 a 12
Máquinas de Peso Morto	24 a 36
Barômetros	6 a 12
Vacuômetros	6 a 12
Transdutores de Pressão	12
<b>3. FORÇA</b>	
Transdutores de Força (Células de Carga)	12 a 24
Anéis Dinamométricos	24
Máquinas de Tração-Compressão (Hidráulicas)	12 a 24
Máquina de Peso Morto	24 a 60
<b>4. TORQUE</b>	
Torquímetro	12

## MODELO DE CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 0251**

**DATA: 02/03/1995**

**VALIDADE DE CALIBRAÇÃO : 6 MESES**

**1. OBJETIVO**

Calibração de um manômetro "WIKKA", a fim de conhecer as características metrológicas e compará-las com as especificações do fabricante

**2. MANÔMETRO A CALIBRAR (SMC)**

Proprietário: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
 Fabricante: YYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYY  
 Número de Fabricação: 1174902  
 Faixa de Indicação: 0 a 40 bar  
 Valor de uma Divisão: 0,2 bar  
 Tipo: Bourdon, mecânico  
 Estado de Conservação: Bom  
 Índice de Classe (segundo o fabricante): Kl. 0,6 ( $\pm 0,6\%$  do VFE)

**3. SISTEMA DE MEDIÇÃO PADRÃO (SMP)**

Máquina de Peso Morto (Manômetro de Êmbolo)  
 Fabricante: Budenberg Gauge Co. Limited (Inglaterra)  
 Número de Série (fabricante): 10334/12  
 Número de Registro (CERTI): RL 0136  
 Faixas de Medição: 1 a 55 kgf/cm<sup>2</sup> com resolução de 0,01 kgf/cm<sup>2</sup>  
 10 a 550 kgf/cm<sup>2</sup> com resolução de 0,1 kgf/cm<sup>2</sup>

Incerteza do SMP:  $\pm 0,04\%$  para a faixa de 0 a 55 kgf/cm<sup>2</sup>  
 $\pm 0,1\%$  para a faixa de 0 a 550 kgf/cm<sup>2</sup>

Rastreável aos padrões primários conforme Certificado de Calibração Nº 121/92, emitido pelo INMETRO em 07/10/92, com validade até 07/10/95.

**4. PROCEDIMENTO DO ENSAIO**

A calibração foi realizada montando-se o manômetro a calibrar na máquina de peso morto, através da qual foram os valores de pressões previamente estabelecidos, realizando-se as leituras das indicações no manômetro a calibrar.

Foram realizados 3 (três) ciclos de medição, a fim de registrar também a Repetitividade (95%) do manômetro.

Na calibração foi adotado procedimento de calibração CERTI – código PC-SSS, de acordo com especificações da norma DIN 16005.

Condições de ensaio: - Temperatura ambiente: 21,0  $\pm$  0,05 °C  
 - Pressão atmosférica: 1022,0  $\pm$  0,5 mbar

**5. CALIBRAÇÃO PRÉVIA E AJUSTAGEM REALIZADA**

Foi realizado a calibração prévia do manômetro e constatou-se que o mesmo apresentava erros sistemáticos (tendência) elevados, conforme pode-se observar a seguir:

MANÔMETRO (bar)	SMP (bar)	ERRO SISTEMÁTICO (% do Valor Final de Escala)
02,00	01,75	0,6
06,00	05,70	0,8
14,00	13,55	1,1
22,00	21,40	1,5
30,00	29,30	1,8
38,00	37,25	1,9
40,00	39,25	1,9

Foi realizado a ajustagem do manômetro, a fim de minimizar os erros sistemáticos apresentados pelo mesmo.

Os resultados obtidos após a ajustagem do manômetro podem ser observados na folha 3.

**6. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

- Erro sistemático máximo (tendência máxima)  
 $Td_{max} = 0,10$  bar ou 0,25% do VFE
- Repetitividade (95%) máxima:  
 $Re_{max} = (95\%) \pm 0,14$  bar ou  $\pm 0,35\%$  do VFE
- Erro de Linearidade pelo método dos mínimos quadrados:  
 Erro máximo =  $\pm 0,04$  bar ou  $\pm 0,10\%$  do VFE
- Incerteza do SMC ( $Td=Re$ ) =  $\pm 0,19$  bar ou 0,48% do VFE

Obs: VFE=Valor Final de Escala=40 bar

**7. CONCLUSÃO**

A incerteza do Manômetro é igual a  $\pm 0,02$  bar ou  $\pm 0,5\%$  do VFE

**8. PARECER**

O manômetro satisfaz as tolerâncias estabelecidas pela norma DIN 16005, enquadrando-se como manômetro de classe de erro Kl 0,6 ( $\pm 0,6\%$  do VFE)

**DADOS BRUTOS**

PTOS	SMC	CICLOS SMP	
		1	2
01	2,00	2,05	2,00
02	6,00	6,03	6,05
03	10,00	10,02	9,99
04	14,00	14,03	14,00
05	18,00	18,00	17,98
06	22,00	22,04	22,03
07	26,00	25,98	25,95
08	30,00	29,95	29,93
09	34,00	33,92	33,96
10	38,00	37,90	37,88
11	40,00	39,92	39,94

Unidade de Leitura no Sistema de Medição Padrão (SMP): bar  
 Unidade de Leitura no Sistema de Medição a Calibrar (SMC): bar

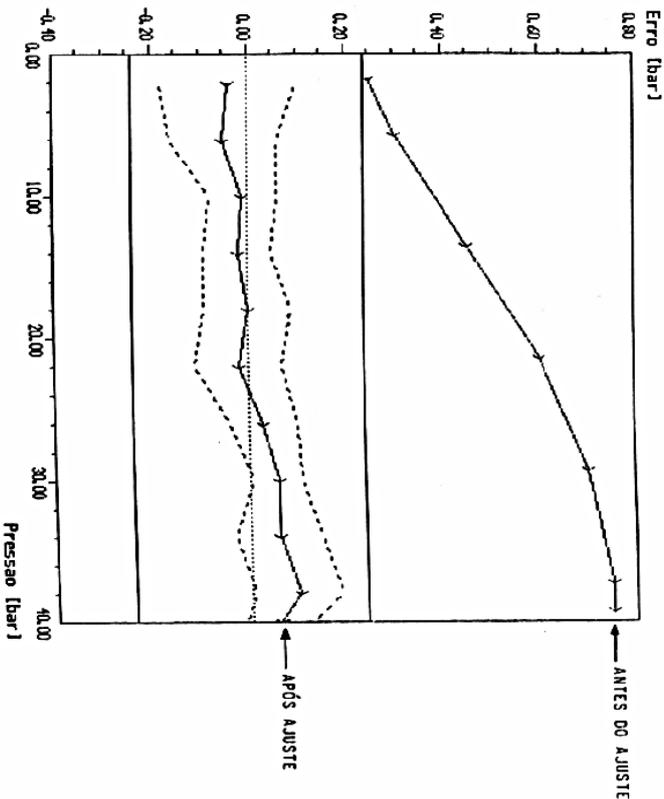
**TABELA DADOS PROCESSADOS**

PTOS	MÉDIA SM	VALOR VERDADEIRO CONVENCIONAL	TENDÊNCIA		REPETITIVIDADE (±)	
			ABS	%VFE	ABS	% VFE
01	2,00	2,04	-0,04	-0,10	0,14	0,35
02	6,00	6,05	-0,05	-0,13	0,11	0,28
03	10,00	10,01	-0,01	-0,3	0,07	0,18
04	14,00	14,02	-0,02	-0,05	0,07	0,18
05	18,00	18,00	0,00	0,00	0,09	0,23
06	22,00	22,02	-0,02	-0,05	0,07	0,18
07	26,00	25,97	0,03	0,08	0,07	0,18
08	30,00	29,94	0,06	0,15	0,05	0,13
09	34,00	33,94	0,06	0,15	0,09	0,23
10	38,00	37,90	0,010	0,25	0,09	0,23
11	40,00	39,94	0,06	0,15	0,07	0,18

Convenção:

ABS: Valor Absoluto  
 VFE: Valor Final de Escala = 40,00  
 Unidade de Análise: bar

**CURVA DE ERROS**



Convenção:

- > Curva de Erro Sistemático
- > Repetitividade (95,00%) relativa a Curva da Tendência
- > Tolerância segundo norma DIN 16005 para classe de erro K1 0,6 (± 0,6 % do VFE)

## REFERÊNCIAS

Adaptado de JUNIOR, Armando Albertazzi Gonçalves. *Metrologia*. Universidade Federal de Santa Catarina - SC, 2002.

Adaptado de TELECURSO 2000. *Apostilas telecurso 2000 - Metrologia*. 2012. Disponível em: <http://www.acervotecnico.com.br/2010/03/video-aulas-apostilas-telecurso-2000.html>

Adaptado de Apostila SENAI - SC. *Metrologia*. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SC, 2009.

Adaptado de Apostila Curso Técnico em Carpintaria. Governo do Estado do Ceará, 2011.



## Hino Nacional

Ouviram do Ipiranga as margens plácidas  
De um povo heróico o brado retumbante,  
E o sol da liberdade, em raios fúlgidos,  
Brilhou no céu da pátria nesse instante.

Se o penhor dessa igualdade  
Conseguimos conquistar com braço forte,  
Em teu seio, ó liberdade,  
Desafia o nosso peito a própria morte!

Ó Pátria amada,  
Idolatrada,  
Salve! Salve!

Brasil, um sonho intenso, um raio vívido  
De amor e de esperança à terra desce,  
Se em teu formoso céu, risonho e límpido,  
A imagem do Cruzeiro resplandece.

Gigante pela própria natureza,  
És belo, és forte, impávido colosso,  
E o teu futuro espelha essa grandeza.

Terra adorada,  
Entre outras mil,  
És tu, Brasil,  
Ó Pátria amada!  
Dos filhos deste solo és mãe gentil,  
Pátria amada, Brasil!

Deitado eternamente em berço esplêndido,  
Ao som do mar e à luz do céu profundo,  
Fulguras, ó Brasil, florão da América,  
Iluminado ao sol do Novo Mundo!

Do que a terra, mais garrida,  
Teus risonhos, lindos campos têm mais flores;  
"Nossos bosques têm mais vida",  
"Nossa vida" no teu seio "mais amores."

Ó Pátria amada,  
Idolatrada,  
Salve! Salve!

Brasil, de amor eterno seja símbolo  
O lábaro que ostentas estrelado,  
E diga o verde-louro dessa flâmula  
- "Paz no futuro e glória no passado."

Mas, se ergues da justiça a clava forte,  
Verás que um filho teu não foge à luta,  
Nem teme, quem te adora, a própria morte.

Terra adorada,  
Entre outras mil,  
És tu, Brasil,  
Ó Pátria amada!  
Dos filhos deste solo és mãe gentil,  
Pátria amada, Brasil!

## Hino do Estado do Ceará

Poesia de Thomaz Lopes  
Música de Alberto Nepomuceno  
Terra do sol, do amor, terra da luz!  
Soa o clarim que tua glória conta!  
Terra, o teu nome a fama aos céus remonta  
Em clarão que seduz!  
Nome que brilha esplêndido luzeiro  
Nos fulvos braços de ouro do cruzeiro!

Mudem-se em flor as pedras dos caminhos!  
Chuvas de prata rolem das estrelas...  
E despertando, deslumbrada, ao vê-las  
Ressoa a voz dos ninhos...  
Há de florar nas rosas e nos cravos  
Rubros o sangue ardente dos escravos.  
Seja teu verbo a voz do coração,  
Verbo de paz e amor do Sul ao Norte!  
Ruja teu peito em luta contra a morte,  
Acordando a amplidão.  
Peito que deu alívio a quem sofria  
E foi o sol iluminando o dia!

Tua jangada afoita enfune o pano!  
Vento feliz conduza a vela ousada!  
Que importa que no seu barco seja um nada  
Na vastidão do oceano,  
Se à proa vão heróis e marinheiros  
E vão no peito corações guerreiros?

Se, nós te amamos, em aventuras e mágoas!  
Porque esse chão que embebe a água dos rios  
Há de florar em meses, nos estios  
E bosques, pelas águas!  
Selvas e rios, serras e florestas  
Brotem no solo em rumorosas festas!  
Abra-se ao vento o teu pendão natal  
Sobre as revoltas águas dos teus mares!  
E desfraldado diga aos céus e aos mares  
A vitória imortal!  
Que foi de sangue, em guerras leais e francas,  
E foi na paz da cor das hóstias brancas!



**GOVERNO DO**  
**ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria da Educação*