

PRÁTICAS DE METROLOGIA

Prof^ª. Bruna Madeira Araújo da Cruz

Prof. Renato Batista da Cruz



2019

1^ª Edição



Copyright © UNIASSELVI 2019

Elaboração:

Prof.^a. Bruna Madeira Araújo da Cruz

Prof. Renato Batista da Cruz

Revisão, Diagramação e Produção:

Centro Universitário Leonardo da Vinci – UNIASSELVI

Ficha catalográfica elaborada na fonte pela Biblioteca Dante Alighieri

UNIASSELVI – Indaial.

C957p

Cruz, Bruna Madeira Araújo da

Práticas de metrologia. / Bruna Madeira Araújo da Cruz; Renato Batista da Cruz. – Indaial: UNIASSELVI, 2019.

188 p.; il.

ISBN 978-85-515-0307-2

1. Estudo da metrologia. – Brasil. I. Cruz, Renato Batista da. II. Centro Universitário Leonardo Da Vinci.

CDD 620

APRESENTAÇÃO

Caro acadêmico! Nas próximas páginas iremos discutir a prática da metrologia aplicada ao estudo da engenharia. Os tópicos cuidadosamente escolhidos e distribuídos nas três unidades deste livro didático visam proporcionar um olhar abrangente dos principais conceitos envolvidos no estudo da metrologia.

A Unidade 1 irá conduzir você ao entendimento da importância do estudo da metrologia em diversas situações aplicadas à engenharia e ao cotidiano, introduzindo os principais termos e nomenclaturas desta área de estudo. Já no início da unidade são apresentados os sistemas de medidas primitivos e o Sistema Internacional de Unidades, bem como as principais definições das grandezas bases e conversões de unidades. Em prosseguimento os algarismos significativos são relembrados, uma vez que eles são utilizados para expressar resultados de medições, além das operações que envolvem esses algarismos. Por fim, dois conceitos muito importantes de acurácia e precisão serão apresentados e debatidos e em quais situações são empregados. Tais discussões levam ao entendimento e levantamento dos principais erros associados ao processo de medição, além dos métodos de medição e estatística utilizados com o intuito do tratamento de dados oriundos dos erros aleatórios.

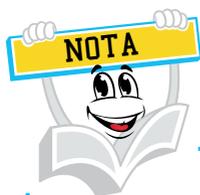
Já na Unidade 2, preparando-se para visitar o laboratório, você compreenderá a necessidade das boas práticas laboratoriais, objetivando diminuir os riscos do ambiente laboratorial. Assim serão apresentados os principais instrumentos de medida lineares, em que é possível realizar medições na escala decimal e polegada. O paquímetro e o micrometro como os principais instrumentos de medição linear, poderão ser aplicados em diferentes objetos e situações, facilitando a repetição das medições.

Por fim, a Unidade 3 irá complementar seu conhecimento, levando-o a conhecer alguns outros instrumentos de medição. Os instrumentos de medição angular, tais como a régua e mesa de seno, utilizam o princípio do seno. Tais medições são de muita importância para peças com conicidade de furos, ângulos de flanco e peças chanfradas. Além disso, iremos conhecer os diferentes instrumentos utilizados para realizar medições de temperatura, pressão, força e torque.

Neste livro didático também são sugeridas aulas práticas que irão permitir aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo da disciplina e você terá a oportunidade de manusear e praticar o uso dos principais instrumentos de medição apresentados em nosso material.

Concentre seu tempo e energia nos estudos. Desejamos sucesso!

Prof^a. Bruna Madeira Araújo da Cruz
Prof. Renato Batista da Cruz



Você já me conhece das outras disciplinas? Não? É calouro? Enfim, tanto para você que está chegando agora à UNIASSELVI quanto para você que já é veterano, há novidades em nosso material.

Na Educação a Distância, o livro impresso, entregue a todos os acadêmicos desde 2005, é o material base da disciplina. A partir de 2017, nossos livros estão de visual novo, com um formato mais prático, que cabe na bolsa e facilita a leitura.

O conteúdo continua na íntegra, mas a estrutura interna foi aperfeiçoada com nova diagramação no texto, aproveitando ao máximo o espaço da página, o que também contribui para diminuir a extração de árvores para produção de folhas de papel, por exemplo.

Assim, a UNIASSELVI, preocupando-se com o impacto de nossas ações sobre o ambiente, apresenta também este livro no formato digital. Assim, você, acadêmico, tem a possibilidade de estudá-lo com versatilidade nas telas do celular, tablet ou computador.

Eu mesmo, UNI, ganhei um novo layout, você me verá frequentemente e surgirei para apresentar dicas de vídeos e outras fontes de conhecimento que complementam o assunto em questão.

Todos esses ajustes foram pensados a partir de relatos que recebemos nas pesquisas institucionais sobre os materiais impressos, para que você, nossa maior prioridade, possa continuar seus estudos com um material de qualidade.

Aproveito o momento para convidá-lo para um bate-papo sobre o Exame Nacional de Desempenho de Estudantes – ENADE.

Bons estudos!



BATE SOBRE O PAPO ENADE!



Olá, acadêmico!

Você já ouviu falar sobre o **ENADE**?

Se ainda não ouviu falar nada sobre o ENADE, agora você receberá algumas informações sobre o tema.

Ouviu falar? Ótimo, este informativo reforçará o que você já sabe e poderá lhe trazer novidades. ✓✓



Vamos lá!

Qual é o significado da expressão ENADE?

EXAME NACIONAL DE DESEMPENHO DOS ESTUDANTES

Em algum momento de sua vida acadêmica você precisará fazer a prova ENADE. ✓✓



Que prova é essa?

É **obrigatória**, organizada pelo INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira.

Quem determina que esta prova é obrigatória... O **MEC – Ministério da Educação**.

O objetivo do MEC com esta prova é o de avaliar seu desempenho acadêmico assim como a qualidade do seu curso. ✓✓



Fique atento! Quem não participa da prova fica impedido de se formar e não pode retirar o diploma de conclusão do curso até regularizar sua situação junto ao MEC.

Não se preocupe porque a partir de hoje nós estaremos auxiliando você nesta caminhada.

Você receberá outros informativos como este, complementando as orientações e esclarecendo suas dúvidas. ✓✓



Você tem uma trilha de aprendizagem do ENADE, receberá e-mails, SMS, seu tutor e os profissionais do polo também estarão orientados.

Participará de webconferências entre outras tantas atividades para que esteja preparado para #mandar bem na prova ENADE.

Nós aqui no NEAD e também a equipe no polo estamos com você para vencermos este desafio.

Conte sempre com a gente, para juntos mandarmos bem no ENADE! ✓✓



SUMÁRIO

UNIDADE 1 – INTRODUÇÃO À METROLOGIA.....	1
TÓPICO 1 – INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA METROLOGIA.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	3
2 VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA	4
RESUMO DO TÓPICO 1.....	9
AUTOATIVIDADE	10
TÓPICO 2 – SISTEMAS DE MEDIDAS	11
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES.....	12
3 PREFIXOS DO SI	15
4 CONVERSÃO DE UNIDADES	16
5 CONVERSÃO DE ESCALAS DE TEMPERATURAS.....	17
6 OUTRAS UNIDADES FORA DO SI.....	19
RESUMO DO TÓPICO 2.....	21
AUTOATIVIDADE	22
TÓPICO 3 – ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS	25
1 INTRODUÇÃO.....	25
2 ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS	26
3 OPERAÇÕES COM ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS.....	29
RESUMO DO TÓPICO 3.....	31
AUTOATIVIDADE	32
TÓPICO 4 – ACURÁCIA E PRECISÃO	35
1 INTRODUÇÃO.....	35
2 COMO DISTINGUIR ACURÁCIA E PRECISÃO?.....	35
RESUMO DO TÓPICO 4.....	38
AUTOATIVIDADE	39
TÓPICO 5 – ERROS DE MEDIDAS	41
1 INTRODUÇÃO.....	41
2 ERROS SISTEMÁTICOS	41
3 ERROS ALEATÓRIOS.....	45
RESUMO DO TÓPICO 5.....	46
AUTOATIVIDADE	47
TÓPICO 6 – ESTATÍSTICA APLICADA À METROLOGIA	49
1 INTRODUÇÃO.....	49
2 PRINCIPAIS OPERAÇÕES ESTATÍSTICAS.....	49
RESUMO DO TÓPICO 6.....	54
AUTOATIVIDADE	55

TÓPICO 7 – MÉTODOS DE MEDIÇÃO	57
1 INTRODUÇÃO	57
2 MÉTODOS DE MEDIÇÃO.....	57
RESUMO DO TÓPICO 7.....	62
AUTOATIVIDADE	63
UNIDADE 2 – INSTRUMENTOS DE MEDIDAS LINEARES.....	65
TÓPICO 1 – BOAS PRÁTICAS LABORATORIAIS – BPL.....	67
1 INTRODUÇÃO	67
2 SISTEMA DE QUALIDADE (BPL).....	69
3 CARACTERÍSTICAS LABORATORIAIS	69
4 LABORATÓRIOS DE METROLOGIA	70
RESUMO DO TÓPICO 1.....	72
AUTOATIVIDADE	73
TÓPICO 2 – INSTRUMENTOS BÁSICOS DE MEDIDAS LINEARES	75
1 INTRODUÇÃO	75
2 RÉGUA GRADUADA	76
3 TIPOS DE RÉGUAS GRADUADAS	77
4 LEITURA DA RÉGUA GRADUADA.....	79
5 CONVERSÃO DE POLEGADA FRACIONÁRIA PARA MILÍMETROS.....	83
6 CONVERSÃO DE MILÍMETROS PARA POLEGADA FRACIONÁRIA.....	84
7 METRO ARTICULADO.....	85
8 TRENA	87
RESUMO DO TÓPICO 2.....	89
AUTOATIVIDADE	90
TÓPICO 3 – PAQUÍMETRO.....	93
1 INTRODUÇÃO	93
2 O INSTRUMENTO DE MEDIDA.....	93
3 PRINCÍPIO DO NÔNIO	96
4 LEITURA DAS MEDIDAS NO SISTEMA MÉTRICO DECIMAL.....	100
5 PAQUÍMETRO DO SISTEMA INGLÊS ORDINÁRIO.....	102
6 LEITURA DAS MEDIDAS NO SISTEMA INGLÊS ORDINÁRIO	104
7 TÉCNICAS DE UTILIZAÇÃO	107
8 ERROS DE MEDIDA	109
9 CONSERVAÇÃO DO EQUIPAMENTO	109
RESUMO DO TÓPICO 3.....	112
AUTOATIVIDADE	113
TÓPICO 4 – MICRÔMETRO	115
1 INTRODUÇÃO	115
2 NOMENCLATURA	116
3 TIPOS DE MICRÔMETROS.....	116
4 LEITURA DA MEDIDA NO SISTEMA MÉTRICO	119
5 LEITURA DA MEDIDA NO SISTEMA INGLÊS	122
6 CONSERVAÇÃO DO EQUIPAMENTO	124
RESUMO DO TÓPICO 4.....	126
AUTOATIVIDADE	127

UNIDADE 3 – MEDIÇÕES COMPLEMENTARES	129
TÓPICO 1 – MEDIÇÃO ANGULAR.....	131
1 INTRODUÇÃO.....	131
2 DEFINIÇÃO DE ÂNGULO	131
3 GONIÔMETRO	134
4 RÉGUA E MESA DE SENO.....	138
RESUMO DO TÓPICO 1.....	144
AUTOATIVIDADE	145
TÓPICO 2 – MEDIÇÃO DE TEMPERATURA.....	149
1 INTRODUÇÃO.....	149
2 TERMÔMETROS.....	149
3 TERMÔMETROS BIMETÁLICOS	153
4 TERMÔMETROS DE GÁS.....	155
5 TERMÔMETRO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA	156
6 TERMOPARES	158
RESUMO DO TÓPICO 2.....	163
AUTOATIVIDADE	164
TÓPICO 3 – MEDIÇÃO DE PRESSÃO.....	165
1 INTRODUÇÃO.....	165
2 SENSORES DE MEDIÇÃO DE PRESSÃO.....	166
3 MANÔMETRO DE TUBO U.....	169
4 MANÔMETRO DE TUBO RETO.....	169
5 MANÔMETRO DE TUBO INCLINADO	170
6 TUBO DE BOURDON	171
7 MANÔMETRO DO TIPO DE DIAFRAGMA	172
RESUMO DO TÓPICO 3.....	175
AUTOATIVIDADE	176
TÓPICO 4 – MEDIÇÕES DE FORÇA E TORQUE.....	177
1 INTRODUÇÃO.....	177
2 FORÇA	177
3 MEDIÇÃO DE FORÇA.....	178
3.1 BALANÇAS	178
3.2 DINAMÔMETRO	179
3.3 ANEL DE PROVA.....	180
4 TORQUE.....	181
5 MEDIÇÃO DE TORQUE	182
LEITURA COMPLEMENTAR.....	183
RESUMO DO TÓPICO 4.....	185
AUTOATIVIDADE	186
REFERÊNCIAS	187

INTRODUÇÃO À METROLOGIA

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

A partir do estudo desta unidade, você deverá ser capaz de:

- compreender a necessidade do estudo da metrologia no ensino da engenharia;
- conhecer os sistemas de medidas mais utilizados;
- aprender a importância dos algarismos significativos em uma medida e como podem ser realizadas operações matemáticas considerando esses algarismos;
- identificar a diferença entre acurácia e precisão;
- investigar os principais erros associados ao processo de medição;
- realizar tratamentos estatísticos aos dados utilizados na metrologia;
- diferenciar os principais métodos de medição para coleta de dados.

PLANO DE ESTUDOS

Esta unidade está dividida em sete tópicos. No decorrer da unidade você encontrará autoatividades com o objetivo de reforçar o conteúdo apresentado.

TÓPICO 1 – INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA METROLOGIA

TÓPICO 2 – SISTEMAS DE MEDIDAS

TÓPICO 3 – ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS

TÓPICO 4 – ACURÁCIA E PRECISÃO

TÓPICO 5 – ERROS DE MEDIDAS

TÓPICO 6 – ESTATÍSTICA APLICADA A METROLOGIA

TÓPICO 7 – MÉTODOS DE MEDIÇÃO

INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA METROLOGIA

1 INTRODUÇÃO

A metrologia está presente em muitos momentos do nosso dia, porém, muitas vezes, não nos atentamos para sua importância. Tente imaginar como seria um dia em que não houvesse confiança nas medições ao nosso redor; certamente um caos. Ficaríamos impossibilitados de cronometrar o tempo necessário para chegar ao trabalho, sujeitos a sermos autuados por multas de trânsito, uma vez que não saberíamos se a velocidade do nosso automóvel estaria compatível com a da via, não saberíamos se o valor a ser pago pelo nosso almoço em um restaurante do tipo “*self-service*” é justo etc.

Além de ser muito útil em nossa rotina, no estudo da engenharia, a metrologia também se faz presente e extremamente necessária, pois possibilita ao aluno adquirir a capacidade de usar adequadamente instrumentos de medidas e aplicar métodos de medição apropriados às atividades práticas relacionadas ao aprendizado, além de aguçar o senso crítico para interpretar os resultados adquiridos.

Para aumentar nossa percepção da importância da metrologia, Junior e Sousa (2008) relataram com quais objetivos o processo de medição pode ser empregado. A seguir discutiremos esses pontos.

- Monitorar: consiste em observar e registrar o valor de uma grandeza. Neste aspecto, a monitorização pode ser aplicada para comercializar produtos, com o objetivo de atribuir valor comercial, controlar estoques e revelar informações úteis de atividades cotidianas (GONÇALVES JÚNIOR; SOUSA, 2008).

Nesta perspectiva, a metrologia pode ser aplicada com o objetivo de monitorar parâmetros climáticos pelo uso de barômetros, termômetros e higrômetros (GONÇALVES JÚNIOR; SOUSA, 2008).

- Controlar: são operações ativas com o objetivo de manter uma ou mais grandezas e/ou processos dentro de um limite predefinido. O valor medido é comparado com o valor de referência, e em função do resultado, o sistema de controle atuará para manter o processo dentro dos níveis desejados (GONÇALVES JÚNIOR; SOUSA, 2008).

Uma situação de controle aplicada à metrologia é a calibragem de pneus de automóveis. Inicialmente é aferida a pressão já existente no pneu e, dependendo do valor de referência informado ao equipamento, a pressão será elevada ou reduzida até atingir o valor adequado (GONÇALVES JÚNIOR; SOUSA, 2008).

- Investigar: é uma operação que requer comportamento proativo. É fundamental medir as grandezas fidedignamente, para que possam ser retiradas conclusões corretas dos experimentos, pois pequenas diferenças podem indicar a existência de um fenômeno até então desconhecido (GONÇALVES JÚNIOR; SOUSA, 2008).

Pode-se investigar a existência de um corpo celeste, com porte de um planeta, em função de pequenas perturbações medidas na órbita de outros planetas já conhecidos, mesmo que este astro ainda não tenha sido observado (GONÇALVES JÚNIOR; SOUSA, 2008).

A partir dos pontos de vistas apresentados anteriormente, percebe-se que o ato de mensurar faz parte da nossa rotina e também se aplica em diversos ramos da ciência, contendo linguagem universal.

2 VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA

No Brasil, a instituição mais significativa no âmbito do estudo da metrologia é o Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), que tem a missão de “prover confiança à sociedade brasileira nas medições e nos produtos, por meio da metrologia e da avaliação da conformidade, promovendo a harmonização das relações de consumo, a inovação e a competitividade do País” (INMETRO, 2012).

Com isso, devido à necessidade de uniformizar a terminologia da metrologia utilizada no Brasil, o Inmetro forneceu o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM). Em referência a esse documento, serão apresentadas algumas definições muito importantes e recorrentes no nosso estudo.

Metrologia

É a “ciência da **medição** e suas aplicações”. Este conceito compreende “todos os aspectos teóricos e práticos da medição, qualquer que seja a **incerteza de medição** e o campo de aplicação” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 16, grifo do autor).

Medição

Caracteriza-se por ser um “processo de obtenção experimental de um ou mais **valores** que podem ser, razoavelmente, atribuídos a uma **grandeza**” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 16, grifo do autor).

Grandeza

“Propriedade dum fenômeno dum corpo ou duma substância, que pode ser expressa quantitativamente sob a forma dum número e duma referência”(FILIPE *et al.*, 2012, p. 2).

Mensurando

Algumas vezes também chamado de mensurada é a “**grandeza** que se pretende medir” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 16, grifo do autor).

Valor medido (de uma grandeza)

Trata-se do “**valor duma grandeza** que representa um **resultado de medição**” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 19, grifo do autor).

Resultado de medição

“Conjunto de **valores** atribuídos a um **mensurando**, juntamente com toda outra informação pertinente disponível”(FILIPE *et al.*, 2012, p. 18, grifo do autor). Nesta situação, além do valor medido, geralmente é apresentando uma incerteza de medição.

Valor verdadeiro de uma grandeza

“**Valor duma grandeza** compatível com a definição da **grandeza**”(FILIPE *et al.*, 2012, p. 19, grifo do autor).

Valor convencional de uma grandeza

“**Valor** atribuído a uma **grandeza** por um acordo, para um dado propósito”(FILIPE *et al.*, 2012, p. 20, grifo do autor). Como é o caso do valor convencional da aceleração devido à gravidade:

$$g_n = 9,80665 \text{ m.s}^2$$

Exatidão de medição

“Grau de concordância entre um **valor medido** e um **valor verdadeiro** dum **mensurando**”(FILIPE *et al.*, 2012, p. 20, grifo do autor). Como esta não é uma grandeza a qual é atribuída um valor numérico, diz-se que uma medição é mais exata quanto menor for o erro de medição.

Erro de medição

Os erros de medição são definidos como a “diferença entre o **valor medido** duma **grandeza** e um **valor de referência**” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 21, grifo do autor).

Repetibilidade de medição

É dado pela “**precisão de medição** sob um conjunto de **condições de repetibilidade**” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 22, grifo do autor).

Por sua vez a condição de repetibilidade é a situação de medição de um conjunto de condições, que envolve os mesmos procedimentos, operadores, sistema de medição, condições de operação, local e mesmo objeto ou objetos similares (FILIPE *et al.*, 2012).

Reprodutibilidade de medição

“**Precisão de medição** conforme um conjunto de **condições de reprodutibilidade**” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 23, grifo do autor).

A condição de reprodutibilidade é a situação de medição de um conjunto de condições, que envolve diferentes locais, operadores e sistemas de medição, porém com medições repetidas no mesmo objeto ou objeto similar (FILIPE *et al.*, 2012).

Incerteza de medição

“Parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos **valores** atribuídos a um **mensurando**, com base nas informações utilizadas” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 24, grifo do autor).

Incerteza definicional

“Componente da **incerteza de medição** que resulta da quantidade finita de detalhes na definição de um **mensurando**” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 24, grifo do autor).

Calibração

A calibração, de acordo com o Vocabulário Internacional de Metrologia (2012, p. 27) é caracterizada por ser uma

operação que estabelece, sob condições especificadas, numa primeira etapa, uma relação entre os **valores** e as **incertezas de medição** fornecidos por **padrões** e as **indicações** correspondentes com as incertezas associadas; numa segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção dum **resultado de medição** a partir duma indicação.

Verificação

“Fornecimento de evidência objetiva de que um dado item satisfaz requisitos especificados” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 29).

De acordo com o Filipe *et al.* (2012), a verificação é aplicada para confirmar que as propriedades metrológicas requeridas ou exigidas por meios legais são satisfeitas por um sistema de medição.

Validação

“**Verificação** na qual os requisitos especificados são adequados para um uso pretendido” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 30, grifo do autor), porém diferente do habitual.

Instrumento de medição

“Dispositivo utilizado para realizar **medições**, individualmente ou associado a um ou mais dispositivos suplementares” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 34, grifo do autor), sendo que, se este instrumento pode ser usado individualmente, ele é considerado um sistema de medição.

Sistema de medição

“Conjunto dum ou mais **instrumentos de medição**[...] montado e adaptado para fornecer informações destinadas à obtenção dos **valores medidos**, dentro de intervalos especificados para **grandezas de naturezas** especificadas” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 34, grifo do autor).

Medida materializada

“**Instrumento de medição** que reproduz ou fornece, de maneira permanente durante sua utilização, **grandezas** duma ou mais **naturezas**, cada uma com um **valor** atribuído” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 35, grifo do autor).

Exemplos de medidas materializadas são medidas de capacidade, régua graduada, bloco-padrão e material de referência certificado.

Indicação

“**Valor** fornecido por um **instrumento de medição** ou por um **sistema de medição**” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 37, grifo do autor).

Resolução

“Menor variação da **grandeza** medida que causa uma variação perceptível na **indicação** correspondente” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 41, grifo do autor).

Padrão de medição

“Realização da definição dada **grandeza**, com um **valor** determinado e uma **incerteza de medição** associada, utilizada como referência” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 46, grifo do autor).

De acordo com o Filipe *et al.* (2012, p. 46), bons exemplos de padrões de medição são colocados a seguir:

- Padrão de medição de massa de 1 kg com uma incerteza-padrão de medição associada de 3 g [...]
- Solução-tampão de referência com um pH de 7,072 e uma incerteza padrão associada de 0,006.

Padrão de medição internacional

“**Padrão de medição** reconhecido pelos signatários dum acordo internacional, tendo como propósito a sua utilização mundial” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 47, grifo do autor), como por exemplo, o protótipo internacional do quilograma.

Padrão de medição nacional

“**Padrão de medição** reconhecido por uma entidade nacional para servir dentro dum Estado ou economia, como base para atribuir **valores** a outros padrões de medição de **grandezas** da mesma **natureza**” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 47, grifo do autor).

Padrão de medição referência

“**Padrão de medição** estabelecido para a **calibração** de outros padrões de **grandezas** da mesma **natureza** numa dada organização ou num dado local” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 48, grifo do autor).

Dado de referência

“Dado relacionado a uma propriedade dum fenômeno, corpo ou substância, ou a um sistema de constituintes de composição ou estrutura conhecida, obtido a partir dum fonte identificada, avaliado criticamente e verificado em relação à exatidão” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 52). Um exemplo muito emblemático de dado de referência é relacionado à solubilidade de compostos químicos, publicados pela IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada).

Valor de referência dum grandeza

“**Valor dum grandeza** utilizado como base para comparação com valores de **grandezas** da mesma **natureza**” (FILIPE *et al.*, 2012, p. 52, grifo do autor).



RESUMO DO TÓPICO 1

Neste tópico, você aprendeu que:

- A metrologia está em diversos campos de aplicação e seus principais objetivos é controlar, monitorar e investigar.
- A metrologia apresenta uma linguagem universal, baseada em números e unidades, cuja compreensão independe da língua.
- O Inmetro é a instituição brasileira que tem a missão de prover confiança por meio da metrologia e da avaliação da conformidade.
- VIM é o Vocabulário Internacional de Metrologia publicado pelo Inmetro para uniformizar a terminologia utilizada no Brasil.

AUTOATIVIDADE



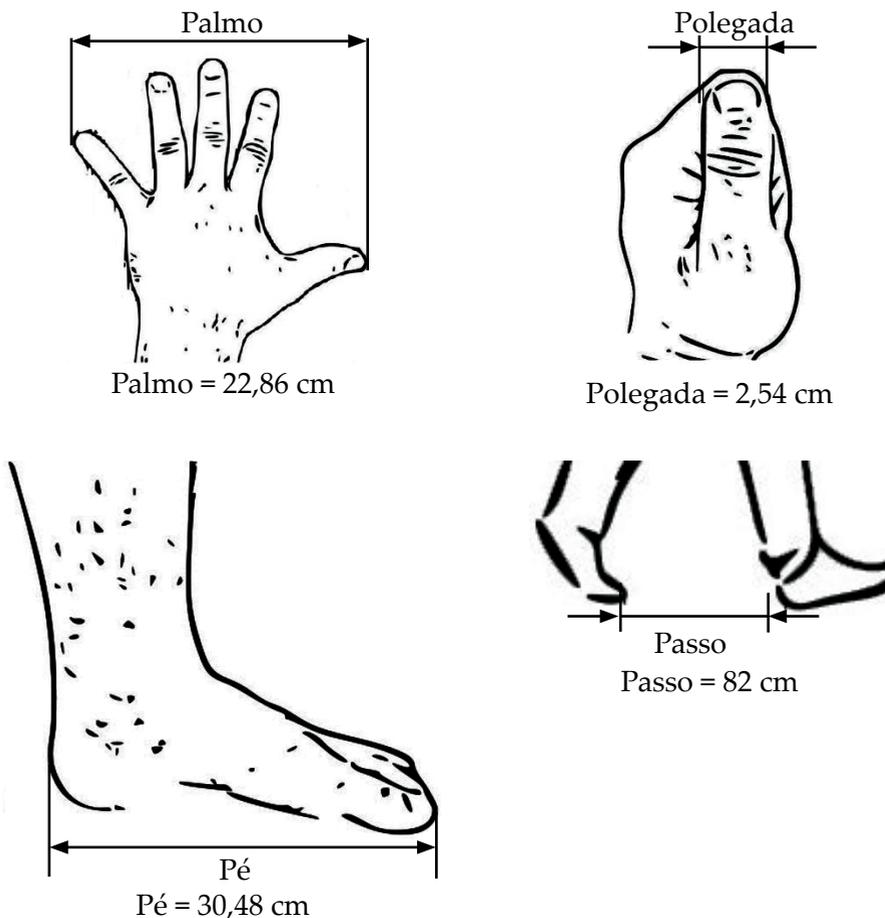
- 1 Explane como a metrologia está presente em sua rotina, com exemplos diferentes dos apresentados neste tópico.
- 2 Identifique no seu cotidiano um exemplo da metrologia aplicada para monitorar processos e fenômenos, e um exemplo aplicada para controlar.
- 3 Diferencie medição de medida.

SISTEMAS DE MEDIDAS

1 INTRODUÇÃO

O ato ou processo de medir, geralmente, difere de acordo com as épocas e as diferentes localidades. Outrora, as unidades de medidas primitivas baseavam-se em partes do corpo humano, por exemplo, pé, palmo, passo, jarda, polegada, entre outros, conforme alguns exemplos expostos na figura a seguir. Dessa forma era mais fácil a medida ser conferida por qualquer pessoa.

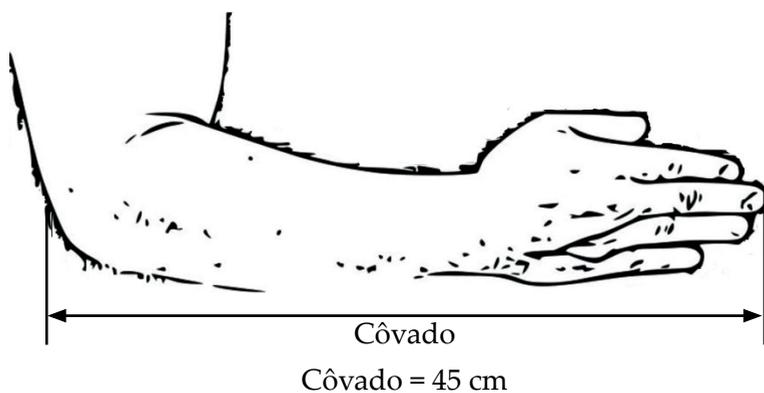
FIGURA 1 – PARTES DO CORPO HUMANO EM QUE SE BASEAVAM AS MEDIDAS PRIMITIVAS



FONTE: Os autores

Outras unidades de medidas também podem ser encontradas na literatura, por exemplo, no livro da Bíblia. O côvado foi uma unidade de medida utilizada por vários povos antigos, e através dessa unidade foi construída a arca por Noé. Segundo a Bíblia, um côvado media 45 cm do cotovelo a ponta do dedo médio, como ilustrado na Figura 2.

FIGURA 2 – CÔVADO



FONTE: Os autores

Em virtude das diferenças corporais do ser humano, essas medidas não eram precisas e ocasionavam conflitos. Diante desse impasse, estes povos criaram alguns meios para padronizar as medidas, no lugar de partes dos corpos. Passaram a gravar as medidas em madeiras, nas paredes dos templos, em barras de ferro e cordas com nós, pois desta forma cada um podia confeccionar seu instrumento de medida ou até mesmo aferir quando necessário.

O sistema métrico decimal foi estabelecido antes do período da Revolução Francesa, numa tentativa de resolver o problema de tanta disparidade na realização das medidas. Com isso, a Academia de Ciência da França definiu um sistema de medida, que tinha como base o litro, o quilograma e o metro.

Até meados da década de 1960 existiam vários sistemas de medidas, grandezas como força e velocidade, possuíam numerosas formas de representar sua unidade. Entretanto, na 11 Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) foi instituído o sistema internacional de unidades (*Système international d'unités*, SI) e com isso foi definida apenas uma unidade para cada grandeza.

2 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

Como já mencionado neste livro, a metrologia envolve o estudo, o conhecimento e a aplicação dos sistemas de medidas. Em virtude da necessidade de uniformizar e facilitar as formas de medição e conseqüentemente relações comerciais, fez-se necessário buscar um sistema de padronização universal de unidades. O SI é basicamente um conjunto de unidades e regras oficiais para cada grandeza, formado por um sistema coerente, estabelecido por um grupo contendo sete principais grandezas físicas, apresentadas na Tabela 1, definidas como grandezas de base.

TABELA 1 – GRANDEZAS DE BASE E UNIDADES DE BASE DO SI

Grandezas de Base	Unidade de Medida
Comprimento	Metro (m)
Massa	Quilograma (kg)
Tempo	Segundo (s)
Temperatura termodinâmica	Kelvin (K)
Quantidade de substância	Mol
Corrente elétrica	Ampère (A)
Intensidade luminosa	Candela (cd)

Segundo descrito nos documentos da Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) juntamente com a Portaria nº 590, de 2 de dezembro de 2013, disponibilizada no site do INMETRO, seguem algumas definições das sete grandezas de base.

Unidade de comprimento – metro: o metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo, durante o intervalo de tempo de $1/299.792.458$ do segundo (17ª CGPM, 1983).

Unidade de massa – quilograma: o quilograma é a unidade de massa, igual à massa do protótipo internacional do quilograma (3ª CGPM, 1901).

Unidade de tempo – segundos: o segundo confere a duração de $9.192.631.770$ períodos da radiação correspondente à transição entre dois níveis do estado fundamental do átomo de césio 133 em repouso e a uma temperatura de 0 K (13 CGPM, 1967/68).

Temperatura termodinâmica – Kelvin: Kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, correspondente à fração $1/273,16$ da temperatura termodinâmica no ponto tríplice da água (13ª CGPM, 1967/68).

Quantidade de substância – mol: o mol é a unidade designada para quantidade matéria de um sistema contendo tantas entidades elementares quantos átomos existem em $0,012$ quilograma de carbono 12 (14 CGPM, 1971).

Unidade de corrente elétrica – Ampère: o Ampère é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível, e situados à distância de 1 metro entre si, no vácuo, produziria entre estes condutores uma força igual a 2×10^{-7} newton por metro de comprimento (9ª CGPM, 1948).

Unidade de intensidade luminosa – Candela: a candela é a intensidade luminosa, numa dada direção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz e cuja intensidade energética nessa direção é $1/683$ watt por esferorradiano (16 CGPM, 1979).

Todas as outras grandezas são definidas como grandezas derivadas, uma vez que podem ser obtidas em função das grandezas de base através de equações físicas. Algumas grandezas são desprovidas de qualquer unidade física, pois são oriundas da divisão entre duas grandezas iguais; essas grandezas são definidas como grandezas adimensionais. Por exemplo, o número de *Fourier* correspondente à condução de calor:

$$Fo = \frac{\alpha t}{R^2}$$

Onde:

α = difusividade térmica (m²/s);

t = tempo (s);

R = comprimento onde ocorre a difusão (m²).

Outras grandezas adimensionais importantes podem ser encontradas na literatura, por exemplo: índice de refração; número de *Euler*, número de *Laplace*, número de *Reynolds*, entre outras.

Na Tabela 2 são mostradas algumas grandezas oriundas das grandezas de base.

TABELA 2 – GRANDEZAS DERIVADAS SI

Grandeza	Nome	Unidade
Área	Metro quadrado	m ²
Volume	Metro cúbico	m ³
Velocidade	Metro por segundo	m/s
Massa específica (densidade)	Quilograma por metro cúbico	Kg/m ³
Concentração	Mols por metro cúbico	mol/m ³
Força	Newton	Kg.m/s ²
Energia	Joule	Kg.m ² /s ² , N.m
Tensão	Pascal	Kg.m ² .s ⁻² , N/m ²
Potência	Watt	Kg.m ² /s ³ , J/s
Viscosidade	Pascal – segundo	Kg/m.s
Frequência	Hertz	s ⁻¹
Quantidade de eletricidade	Coulomb	A . s
Potencial elétrico	Volt	Kg.m ² /s ² .C
Capacitância	Farad	s ² .C ² /kg . m ²
Fluxo magnético	Weber	Kg.m ² /s.C
Indução magnética	Tesla	Wb/m ²
Resistência elétrica	Ohm	Kg.m ² /s.C ²
Aceleração	Metro por segundo ao quadrado	m/s ²
Pressão	Newton por metro quadrado	N/m ²
Luminância	Candela por metro quadrado	cd/m ²
Força magnetomotriz	Ampère	A
Intensidade do campo magnético	Ampère por metro	A/m

FONTE: Os Autores

3 PREFIXOS DO SI

O Sistema Internacional de medidas adotou um conjunto de prefixos métricos como forma de representar os números reais muito grandes ou até mesmo muito pequenos de forma compacta, mas que mostre com clareza a magnitude da ordem de grandeza. Cada prefixo possui um nome (de origem grega ou latina), um símbolo único, um equivalente decimal e são apresentados por uma potência de base dez.

A forma correta de representar um número em notação científica segue o seguinte formato:

$$ax10^n$$

Onde:

a = mantissa ou coeficiente (deve ser um número entre 1 e 10);

n = expoente que indica a ordem de grandeza.

As Tabelas 3 e 4 relacionam os prefixos múltiplos e submúltiplos das unidades do sistema SI e alguns exemplos de números expressos em notação científica e com prefixos SI, respectivamente.

TABELA 3 – PREFIXOS MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS DAS UNIDADES DO SI

Prefixos do SI			
Fator de multiplicação	Prefixo	Equivalente decimal	Símbolo
10^{24}	Yotta	1000000000000000000000000	Y
10^{21}	Zetta	100000000000000000000000	Z
10^{18}	Exa	10000000000000000000000	E
10^{15}	Peta	1000000000000000000000	P
10^{12}	Tera	100000000000000000000	T
10^9	Giga	1000000000	G
10^6	Mega	1000000	M
10^3	Quilo	1000	K
10^{-3}	Mili	0,001	m
10^{-6}	Micro	0,000001	μ
10^{-9}	Nano	0,000000001	n
10^{-12}	Pico	0,000000000001	p
10^{-15}	Femto	0,000000000000001	f
10^{-18}	Att	0,000000000000000001	a
10^{-21}	Zepto	0,000000000000000000001	z
10^{-24}	Yocto	0,000000000000000000000001	y

FONTE: Os autores

TABELA 4 – EXEMPLOS DE NÚMEROS EXPRESSOS EM NOTAÇÃO CIENTÍFICA E COM PREFIXO SI

	Notação científica	Prefixo SI
0,000005 m	$5 \times 10^{-6} \text{ m}$	5 μm
0,007987 g	$7,987 \times 10^{-3} \text{ g}$	7,987 mg
0,0000000055 mm	$5,5 \times 10^{-9} \text{ mm}$	5,5 nm
2800000000 Pa	$2,8 \times 10^9 \text{ Pa}$	2,8 GPa
5609000 J	$5,609 \times 10^6 \text{ J}$	5,609 MJ
5000 L	$5 \times 10^3 \text{ L}$	5 kL

FONTE: Os autores

4 CONVERSÃO DE UNIDADES

A conversão ou padronização de unidades é essencial quando há comparações de grandezas físicas ou para efetuar operações matemáticas. Um exemplo simples demonstra a necessidade de normalização das unidades, isso porque, não podemos realizar operações deste tipo:

- 11 km + 22 mm + 2 cm
- 1 L + 100 ml
- 50 kg + 25 g + 10 mg

Como visto anteriormente, o metro além de ser a unidade fundamental responsável para medir grandeza de comprimento, é subdividido em múltiplos (para medições de grandes distâncias) e submúltiplos (para medições de pequenas distâncias), como apresentado na Tabela 5.

TABELA 5 – MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS DO METRO

Múltiplos			Unidade Fundamental	Submúltiplos		
Quilômetros	Hectômetro	Decâmetro	Metro	Decímetro	Centímetro	Milímetro
Km	Hm	dam	m	dm	Cm	Mm
1000 m	100 m	10 m	1 m	0,1 m	0,01 m	0,001 m

FONTE: Os autores

- Para efetuar a conversão de uma unidade de comprimento para uma superior, basta multiplicar por 10, até chegar à unidade desejada.

Exemplos:

⇒ metro para decímetro (m → dm)

$$5,5 \text{ m} = 55 \text{ dm}$$

⇒ decímetro para milímetro (dm → mm)

$$55 \text{ dm} = 5500 \text{ mm}$$

- Para efetuar a conversão de uma unidade de comprimento para uma inferior, basta dividir por 10, até chegar à unidade desejada.

Exemplos:

⇒ metro para decâmetro (dam ← m)

$$5,5 \text{ m} = 0,55 \text{ dam}$$

⇒ metro para quilômetro (km ← dam ← m)

$$5,5 \text{ m} = 0,00055 \text{ km}$$

A Tabela 6 apresenta os múltiplos e submúltiplos para o grama, unidade padrão utilizada no SI.

TABELA 6 – MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS PARA O GRAMA

Múltiplos			Unidade Fundamental	Submúltiplos		
Quilograma	Hectograma	Decagrama	Grama	Decigrama	Centigrama	Miligrama
Kg	Hg	dag	G	Dg	cg	MG
1000 g	100 g	10 g	1 g	0,1 g	0,01 g	0,001 g

FONTE: Os autores

O princípio de conversão para unidade fundamental de massa é o mesmo efetuado para a unidade de comprimento.

Exemplos:

⇒ grama para hectograma (hg ← dag ← g)

$$12 \text{ g} = 0,12 \text{ hg}$$

⇒ centigrama para decagrama (dag ← g ← dg ← cg)

$$0,23 \text{ cg} = 0,00023 \text{ dag}$$

5 CONVERSÃO DE ESCALAS DE TEMPERATURAS

Escalas termométricas têm por fundamento indicar as temperaturas de corpos, ou seja, o nível de movimento dos átomos. As principais escalas são Kelvin, Celsius e Fahrenheit. Essas escalas utilizam como referência o ponto de fusão e ebulição da água.

Escala Kelvin

Como já mencionado, a escala Kelvin é a escala padrão do Sistema Internacional de Unidades. Esta unidade foi desenvolvida pelo físico e matemático britânico William Thomson em meados de 1848, mais conhecido com Lord Kelvin.

Foi verificado pelo físico que um gás resfriado de 0°C a -1°C sofre uma redução de $1/273,15$ em sua pressão. Observou-se então que, em uma temperatura de $-273,15^{\circ}\text{C}$, a pressão correspondente ao gás seria nula, o que implica que a energia cinética das moléculas também seria nula. Foi estabelecido que o zero absoluto ($-273,15^{\circ}\text{C}$) corresponde à temperatura mínima na qual não há mais movimento das moléculas. Nessa escala, o ponto de fusão da água é $273,15\text{ K}$ e o ponto de ebulição $373,15\text{ K}$.

Escala Celsius

O físico e astrônomo sueco Anders Celsius desenvolveu em 1742 uma escala (escala Celsius) que adotou como ponto de fusão do gelo zero (0) e o ponto de ebulição da água cem (100). Para isso, o intervalo entre pontos foi dividido em 100 partes iguais e cada unidade dessa escala foi denominada como grau Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Essa escala também é muito conhecida como grau centígrado (cem partes/graus) em virtude da sua divisão centesimal. A escala Celsius é a mais utilizada em todo o mundo, muito em virtude da sua facilidade de uso.

É muito usual no meio científico realizar conversões entre as escalas Kelvin (K) e Celsius ($^{\circ}\text{C}$). A relação matemática utilizada nesses casos é:

$$K = C + 273,15$$

Onde:

K = é a temperatura em Kelvin (K)

C = é a temperatura em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$)

Exemplos:

⇒ Kelvin (K) para Celsius ($^{\circ}\text{C}$)

255,6 K para $^{\circ}\text{C}$

$$C = 255,6 - 273$$

$$C = -17,55^{\circ}\text{C}$$

180 K para $^{\circ}\text{C}$

$$C = 180 - 273$$

$$C = -93,15^{\circ}\text{C}$$

305 K para $^{\circ}\text{C}$

$$C = 305 - 273$$

$$C = 31,85^{\circ}\text{C}$$

⇒ Celsius ($^{\circ}\text{C}$) para Kelvin (K)

18 $^{\circ}\text{C}$ para K $K = 18 +$

$$273,15K = 291,15\text{ K}$$

140 $^{\circ}\text{C}$ para K

$$K = 140 + 273,15K = 413,15K$$

58,3 $^{\circ}\text{C}$ para K

$$K = 58,3 + 273,15K = 331,45K$$

Escala Fahrenheit

Em 1724, o físico alemão Daniel Gabriel Fahrenheit, adotou o valor de trinta e dois (32) como o ponto de fusão da água, já o ponto de ebulição da água foi adotado o valor de duzentos e doze (212). O intervalo entre os pontos fixos foi dividido em 180 partes e cada unidade recebeu o nome de graus Fahrenheit (°F).

Essa escala foi muito utilizada por colônias britânicas e atualmente é pouca utilizada no mundo, restringindo-se a países como Belize e Estados Unidos.

A seguir é dada a relação matemática utilizada para conversão entre as escalas Kelvin (K) e Fahrenheit (°F).

$$\frac{K - 273,15}{5} = \frac{F - 32}{9}$$

Onde:

K = temperatura em Kelvin (K);

F = temperatura em graus Fahrenheit (°F).

Exemplos:

⇒ Kelvin (K) para Fahrenheit (°F)

$$\begin{aligned} & \mathbf{298\ K\ para\ ^\circ F} \\ (298\ K - 273,15) \times 9/5 + \\ & 32 = 76,73\ ^\circ F \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \mathbf{350\ K\ para\ ^\circ F} \\ (350\ K - 273,15) \times 9/5 + \\ & 32 = 170,33\ ^\circ F \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \mathbf{200\ K\ para\ ^\circ F} \\ (200\ K - 273,15) \times 9/5 + \\ & 32 = -99,67\ ^\circ F \end{aligned}$$

⇒ Fahrenheit (°F) para Kelvin (K)

$$\begin{aligned} & \mathbf{38\ ^\circ F\ para\ K} \\ (38\ ^\circ F - 32) \times 5/9 + \\ & 273,15 = 276,483\ K \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \mathbf{150\ ^\circ F\ para\ K} \\ (150\ ^\circ F - 32) \times 5/9 + \\ & 273,15 = 338,706\ K \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \mathbf{205\ ^\circ F\ para\ K} \\ (205\ ^\circ F - 32) \times 5/9 + \\ & 273,15 = 369,261\ K \end{aligned}$$

6 OUTRAS UNIDADES FORA DO SI

Algumas unidades são muito utilizadas em outros países e, conseqüentemente em publicações científicas e produtos comercializados, mesmo que estejam fora do padrão de unidades estabelecido pelo Sistema Internacional. Essas unidades são apresentadas na Tabela 7.

TABELA 7 – UNIDADES FORA DO SI

Grandeza	Unidade	Valor	Símbolo
Tempo	Dia	86 400 s	D
	Hora	3600 s	H
	Minuto	60 s	Min
Massa	Tonelada	10^3 kg	T
	Libra	0,45359237 kg	Lb
	Onça	28,3495 g	Oz
Ângulo plano	Grau	$1^\circ = (\pi/180)$ rad	°
	Minuto	$1' = (1/60) = (\pi/10800)$ rad	'
	Segundo	$1'' = (1/60) = (\pi/648000)$ rad	''
Volume	Litro	$1L = 1 \text{ dm}^3 = 10 \text{ cm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$	L
Área	Hectare	$1 \text{ ha} = 1\text{hm}^2 = 104 \text{ m}^2$	Há
Força	Libra – força	4,448 22N	Lbf
	Quilograma – força	9,8065 N	Kgf
Quantidade de caloria	Caloria	4,1868 J	Cal
Pressão	Bar	10^5 Pa	Bar
	Atmosfera	$1,01325 \times 10^5$ Pa	Atm
	Milímetro de mercúrio	133,322 Pa	mmHg
Comprimento	Polegada	25,4 mm	In
	Jarda	0,9144 mm	Yd
	Pé	0,3048	Ft
	Angstrom	10^{-10} m	Å
Potência	Cavalo vapor	746 W	HP
Velocidade	Nó	0,51444 m/s	–
Velocidade Angular	Rotação por minuto	$\pi/30$ rad/s	RPM

FONTE: Os autores



RESUMO DO TÓPICO 2

Neste tópico, você aprendeu que:

- Existem algumas definições sobre sistema internacional de unidades (SI) e as principais grandezas pertencentes (grandezas de base e grandezas derivadas).
- A importância da conversão das unidades para o SI e para realização de operações matemáticas.
- Quais são as unidades que são aceitas mesmo fora do sistema internacional de unidades.

AUTOATIVIDADE



1 Transforme:

- a) 315 mL em ML
- b) 12,55 Pa em GPa
- c) 0,225 m em km
- d) 2 Kg em cg
- e) 5000 W em MW
- f) 3,5 pés em m
- g) 23,8 lb em kg

2 Converta para o SI:

- a) Velocidade de 30 km/h
- b) Tempo de 1 dia, 12 h e 5 min
- c) Temperatura de 75 °C
- d) Comprimento de 1020 in
- e) Densidade de 4 g/cm³

3 O gás butano possui o ponto de fusão -138 °C e de ebulição -0,5 °C. Em virtude disso, que em temperatura ambiente (± 25 °C) o butano encontra-se no estado gasoso. Transformando para o Kelvin, qual o ponto de fusão e ebulição do butano?

- a) + 100 e - 272,5
- b) + 135 e + 272,5
- c) + 135 e + 262,5
- d) - 135 e - 272,5
- e) + 135 e - 272,5

4 Com relação às escalas termométricas, marque V ou F:

- a) () 298 K é equivalente a 25 °C.
- b) () O limite inferior da escala Fahrenheit é - 32 °F.
- c) () 1 K é equivalente a 1° F.
- d) () O intervalo entre o ponto de fusão e ebulição na escala Celsius é dividido em 180 partes.
- e) () O limite superior da escala Fahrenheit é 212 °F.

5 Curiosamente, a temperatura de - 40° coincide tanto na escala Celsius, quanto na escala Fahrenheit. Prove.

$$\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9}$$

- 6 A temperatura de um forno sobe $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a cada $1,5\text{ min}$. No SI, a taxa equivale a um aumento de temperatura de:
- a) () $3,2\text{ K/s}$
 - b) () $2,2\text{ K/h}$
 - c) () $3,2\text{ K/min}$
 - d) () $1\text{ }^{\circ}\text{C/s}$
 - e) () $3,5\text{ }^{\circ}\text{C/h}$
- 7 Um atleta brasileiro correu a maratona de São Silvestre no tempo de $2\text{h}3\text{min}38\text{s}$ (duas horas três minutos e trinta e oito segundos). Em quantos segundos o atleta concluiu a maratona?
- 8 Um professor informou aos seus alunos que a prova iniciará às $8\text{h}25\text{min}$ e terminará às $12\text{h}10\text{min}$. Qual é o tempo de duração da prova em segundos?
- a) () 13450s
 - b) () 13500s
 - c) () 15300s
 - d) () 13400s
 - e) () 13400s
- 9 Uma pessoa corre 12 km em 48 min . Quanto tempo, em média, ele gastou para percorrer 1 km ?
- 10 A altura do professor é 187 cm , qual é a sua altura em polegadas?
- 11 Qual é a relação entre metro cúbico e litro?
- 12 O motor de um barco possui $5,5\text{ hp}$ de potência. Qual é a potência em Watts desse motor?
- 13 Uma empresa transportadora de feijão possui 14 caminhões, sendo que cada um deles transporta 25 toneladas por semana. Quantos gramas são transportados por essa empresa no período de 8 semanas?
- 14 Marque a alternativa em que possui apenas grandezas de base.
- a) () Corrente elétrica, temperatura, intensidade luminosa e concentração.
 - b) () Massa, comprimento, tempo e massa específica.
 - c) () Temperatura, intensidade luminosa, quantidade de substância e tempo.
 - d) () Potência, força, pressão e tempo.
 - e) () Comprimento, volume, aceleração e velocidade.

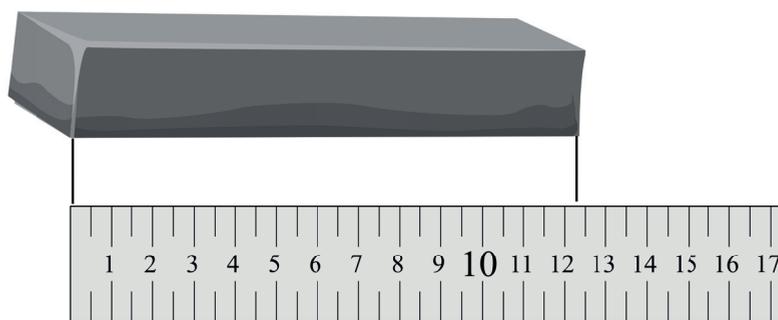
ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS

1 INTRODUÇÃO

A interpretação dos algarismos significativos está presente em tarefas corriqueiras, mas especialmente é de suma importância quando nós tratamos de práticas de metrologia. Acompanhe o exemplo a seguir.

Imagine-se em seu primeiro dia como estagiário em uma grande empresa que produz barras metálicas. Como você é um profissional aplicado e detalhista, gostaria de deixar registrado em sua ata qual a medida do comprimento da barra metálica que acabou de acompanhar o processo de fabricação. Nesta situação, você se depara com o impasse apresentado na Figura 3 (a escala utilizada está graduada em milímetros):

FIGURA 3 – APARATO PARA MEDIR O COMPRIMENTO DA BARRA METÁLICA



FONTE: Adaptado de <<https://goo.gl/UWGR1>> e <<https://goo.gl/NqcoaC>>. Acesso em: 13 fev. 2019.

Neste ponto, você percebe que a precisão da medida do comprimento da barra está limitada ao instrumento de medição escolhido. Observando com cautela o esquema, você estima que o comprimento da barra é 12,4 mm, sendo que neste valor há dois algarismos que são corretos (1 e 2) e um duvidoso (4), referido assim, pois apresenta uma incerteza gerada pela sensibilidade do instrumento e pela sua habilidade como observador.

2 ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS

Assim os algarismos significativos são definidos como o conjunto de algarismos corretos referentes a um dado ou medição, acrescido de um último algarismo duvidoso. Acompanhe alguns exemplos:

Exemplos:

- 38,5 \Rightarrow 3 (três) algarismos significativos
- 459,86 \Rightarrow 5 (cinco) algarismos significativos
- 26 \Rightarrow 2 (dois) algarismos significativos
- 70,05 \Rightarrow 4 (quatro) algarismos significativos

Para facilitar o reconhecimento dos algarismos significativos, vamos discutir alguns critérios:

Os números diferentes de zero são significativos

Considerando as medidas 159,35 cm e 1,59 m, elas possuem respectivamente cinco e três algarismos significativos, uma vez que todos os dígitos que constituem os valores são diferentes de zero.

Exemplos:

- 23 \Rightarrow 2 (dois) algarismos significativos
- 1674 \Rightarrow 4 (quatro) algarismos significativos
- 987 \Rightarrow 3 (três) algarismos significativos

Zeros entre dois dígitos diferentes de zero são significativos

O número 34075 possui cinco algarismos significativos, pois o dígito zero está entre os numerais 4 e 7.

Exemplos:

- 709 \Rightarrow 3 (três) algarismos significativos
- 20763 \Rightarrow 5 (cinco) algarismos significativos
- 40308 \Rightarrow 5 (cinco) algarismos significativos

Zeros à esquerda não são significativos

Nesta situação, o zero não acrescenta informação quanto à precisão, sua função é apenas marcar a posição da vírgula. Nos exemplos 0,23 e 0,00058 são observados apenas 2 algarismos significativos.

Exemplos:

- 0,213 ⇒ 3 (três) algarismos significativos
- 0,405 ⇒ 3 (três) algarismos significativos
- 0,0012 ⇒ 2 (dois) algarismos significativos

Zeros à direita do decimal são significativos

Nesta situação, o zero após a vírgula evidencia informações reais, assim como qualquer outro número, portanto, é errado marcar zeros decimais que não correspondem aos dados da medição de fato. Existem quatro e dois algarismos significativos, respectivamente, em 29,00 e 29. Nota-se que caso essa medida corresponda ao volume em milímetros de uma solução química, o volume de 29,00 ml tem a precisão próxima a um centésimo de milímetro, e neste caso o dígito duvidoso é o último zero, já para 29 ml a precisão é de apenas um milímetro, sendo o 9 (nove) o numeral duvidoso.

Exemplos:

- 5,0 ⇒ 2 (dois) algarismos significativos
- 10,0 ⇒ 3 (três) algarismos significativos
- 500,00 ⇒ 5 (cinco) algarismos significativos

Zeros à direita em um número inteiro com a vírgula mostrada são significativos

Colocar uma vírgula no final de um número inteiro geralmente não é usual, a não ser que se queira indicar que o zero à direita representa um número significativo. Por exemplo, "9760," indica que o zero à direita é significativo, logo há quatro algarismos significativos neste valor.

Exemplos:

- 120, ⇒ 3 (três) algarismos significativos
- 10, ⇒ 2 (dois) algarismos significativos
- 2530, ⇒ 4 (quatro) algarismos significativos

Zeros à direita sem a vírgula mostrada não são significativos

Uma dimensão expressa pelo valor “110”, em que o zero à direita não é seguido da vírgula, apresenta apenas dois algarismos significativos, uma vez que o zero não representa um número significativo.

Exemplos:

120 \Rightarrow 2 (dois) algarismos significativos

360 \Rightarrow 2 (dois) algarismos significativos

2530 \Rightarrow 3 (três) algarismos significativos

Os números exatos têm um número infinito de algarismos significativos

Esta regra é usada em números que são definições, ou seja, aqueles conhecidos com uma certeza absoluta, por exemplo, o valor de π é igual a 3,1415926..., portanto, nesta situação, esse valor tem um número infinito de algarismos significativos. Outros exemplos que se encaixam nessa regra são o número de Euler (usado em funções exponenciais) e frações racionais, que são frações exatas de números inteiros.

Exemplos:

$e = 2,7182818\dots \Rightarrow$ infinitos algarismos significativos

$\frac{100}{10} = 10,0000\dots \Rightarrow$ infinitos algarismos significativos

$\frac{4}{2} = 2,0000\dots \Rightarrow$ infinitos algarismos significativos

Para um número em notação científica: $a \times 10^n$ todos os dígitos representados pela mantissa são significativos

A medida $5,02 \times 10^4$ mm apresenta três algarismos significativos “5”, “0” e “2”, sendo que a potência de “10” e o expoente “4” não são significativos. Esta regra oferece a oportunidade de alterar o número de algarismos significativos em um valor. Por exemplo, vamos transformar 1100, que apresenta dois algarismos significativos (os dois zeros à direita não são significativos), em um valor com três algarismos significativos. Escrevendo-o em notação científica: $1,10 \times 10^3$, conseguimos representar o mesmo valor com três algarismos significativos.

Exemplos:

$7,8 \times 10^7 \Rightarrow$ 2 (dois) algarismos significativos

$198 \times 10^5 \Rightarrow$ 3 (três) algarismos significativos

$3456,98 \times 10^2 \Rightarrow$ 6 (seis) algarismos significativos

3 OPERAÇÕES COM ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS

Conhecendo a importância dos algarismos significativos, vale ressaltar que com frequência é necessário realizar algumas operações algébricas que envolvem esse conceito, com isso é relevante conhecer com clareza como realizar esses cálculos sem que a precisão dos resultados seja afetada.

Arredondamento

Em nossa rotina, com recorrência, há a necessidade de realizar o arredondamento de grandezas, substituindo um valor com maior quantidade de algarismos significativos por outro com menor. Para isso é necessário observar alguns aspectos:

- 1 Se o dígito a ser suprimido for inferior a 5, o dígito à esquerda deverá ser mantido inalterado.

Exemplos:

$$\begin{array}{rcl} 543,32 & \Rightarrow & 543,3 \\ 23,541 & \Rightarrow & 23,54 \\ 762 & \Rightarrow & 760 \end{array}$$

- 2 Se o dígito a ser suprimido for superior a 5, o dígito à esquerda deverá ser acrescido de uma unidade.

Exemplos:

$$\begin{array}{rcl} 543,37 & \Rightarrow & 543,4 \\ 23,549 & \Rightarrow & 23,55 \\ 766 & \Rightarrow & 770 \end{array}$$

Adição e subtração

O resultado da soma e da subtração deve ser arredondado para a mesma quantidade de algarismos significativos que possuir o termo com menos algarismos significativos.

Exemplos:

$$\begin{array}{rcl} & 57,39 & \Rightarrow \quad \mathbf{4 \text{ (quatro) algarismos significativos}} \\ + & \underline{107,315} & \Rightarrow \quad 6 \text{ (cinco) algarismos significativos} \\ & 164,705 & \end{array}$$

Arredondamento 164,7 \Rightarrow **4 (quatro) algarismos significativos**

$$\begin{array}{r}
 15,613 \Rightarrow \\
 + \quad \underline{0,13} \Rightarrow \\
 15,743
 \end{array}$$

5 (cinco) algarismos significativos
2 (dois) algarismos significativos

Arredondamento 16 \Rightarrow **2 (dois) algarismos significativos**

$$\begin{array}{r}
 178 \Rightarrow \\
 - \quad \underline{43,987} \Rightarrow \\
 134,013
 \end{array}$$

3 (três) algarismos significativos
5 (cinco) algarismos significativos

Arredondamento 134 \Rightarrow

Multiplicação e divisão

O resultado da multiplicação e da divisão deve ser arredondado para a mesma quantidade de algarismos significativos que possuir o termo com menos algarismos significativos.

Exemplos:

$$\begin{array}{r}
 23,5 \Rightarrow \\
 \times \quad \underline{122,7} \Rightarrow \\
 2883,45
 \end{array}$$

3 (três) algarismos significativos
4 (quatro) algarismos significativos

Arredondamento 2880 \Rightarrow **3 (três) algarismos significativos**

$$\begin{array}{r}
 38 \Rightarrow \\
 \times \quad \underline{0,103} \Rightarrow \\
 3,914
 \end{array}$$

2 (dois) algarismos significativos
3 (três) algarismos significativos

Arredondamento 3,9 \Rightarrow **2 (dois) algarismos significativos**

$$\begin{array}{r}
 486 \Rightarrow \\
 \div \quad \underline{25} \Rightarrow \\
 19,44
 \end{array}$$

3 (três) algarismos significativos
2 (dois) algarismos significativos

Arredondamento 19 \Rightarrow **2 (dois) algarismos significativos**

RESUMO DO TÓPICO 3

Neste tópico, você aprendeu que:

- Os algarismos significativos, utilizados para expressar resultados de medições, são um conjunto de números corretos acrescido de um duvidoso, sendo este um conceito muito aplicado em metrologia.
- Para ajudar a identificar quantos são os algarismos significativos de um dado, é preciso conhecer alguns critérios específicos.
- Existem regras para operações com algarismos significativos, onde o termo com menor quantidade de algarismos significativos é que ditará a quantidade desses algarismos no resultado da operação após o arredondamento.

AUTOATIVIDADE



1 Reescreva os seguintes valores com 2 algarismos significativos:

- a) 597 =
- b) 1,089 =
- c) 176,980 =
- d) 3,14159... =

2 Realize as seguintes operações:

- a) $1,24 + 9,873 =$
- b) $14,876 - 6,34 =$
- c) $48,2 \times 128,67 =$
- d) $976 \div 23,52 =$

3 Respeitando os algarismos significativos dos números 30,7 e 4,38, podemos afirmar que a multiplicação entre eles é dada por:

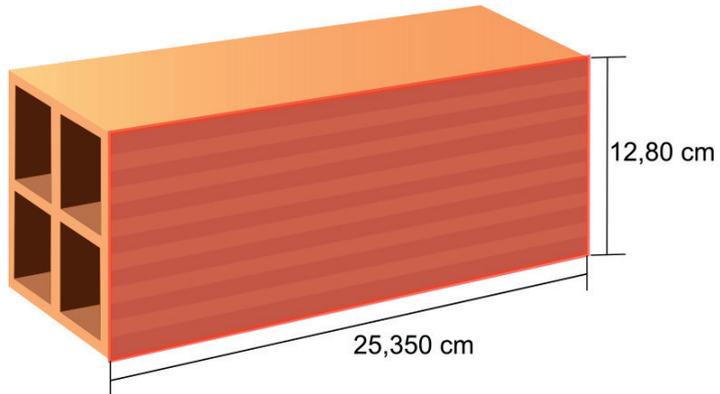
- a) () 135
- b) () 134,47
- c) () 134
- d) () 134,5

4 Ao realizar a medição da distância percorrida por um maratonista durante o período de 10 segundos, obteve-se a seguinte medida: 0,00400 km. Quantos algarismos significativos possui esta medida?

- a) () 1
- b) () 6
- c) () 3
- d) () 5

5 Qual é o perímetro do retângulo correspondente à área demarcada no tijolo da Figura 4, em centímetros, respeitando os algarismos significativos da medida:

FIGURA 4 – TIJOLO COM ÁREA DEMARCADA



FONTE: Adaptado de <<https://goo.gl/a6PVky>>. Acesso em: 13 fev. 2019.

- a) () 38,15
- b) () 76,30
- c) () 38,2
- d) () 76,3

ACURÁCIA E PRECISÃO

1 INTRODUÇÃO

Para o estudante de engenharia é muito importante saber distinguir a acurácia e a precisão, pois estes termos são muito utilizados na metrologia e em algumas vezes são apresentados como sinônimos.

A seguir vamos descrever de forma sucinta esses conceitos e como eles se relacionam.

2 COMO DISTINGUIR ACURÁCIA E PRECISÃO?

A acurácia refere-se à proximidade de um valor medido experimentalmente ao valor verdadeiro de uma grandeza, ou seja, quanto mais próxima for a medida do valor real, maior acurácia apresenta a medição.

Já o conceito de precisão refere-se à concordância entre duas ou mais medições, isto é, está relacionado à reprodutibilidade de um valor medido sob as mesmas condições. Portanto, uma medida é considerada precisa ao apresentar resultados próximos, quando repetidas algumas vezes.

Dessa forma, um conjunto de medição obtido experimentalmente pode apresentar uma das seguintes características: ser preciso e com acurácia, impreciso e com acurácia, preciso e sem acurácia e por fim, impreciso e sem acurácia. O exemplo a seguir ajudará a compreender melhor esses dois conceitos.

Exemplo:

Suponha que para realizar 10 medidas da altura de um abajur foram utilizados três diferentes instrumentos de medida. A partir das informações obtidas, foi possível plotar gráficos dos dados experimentais em função do número de medições realizadas, representados nas Figuras 5 a 7.

FIGURA 5 – GRÁFICO DA DISPERSÃO DOS DADOS EXPERIMENTAIS COLETADOS A PARTIR DO EQUIPAMENTO A, EM RELAÇÃO AO VALOR VERDADEIRO E A MÉDIA EXPERIMENTAL

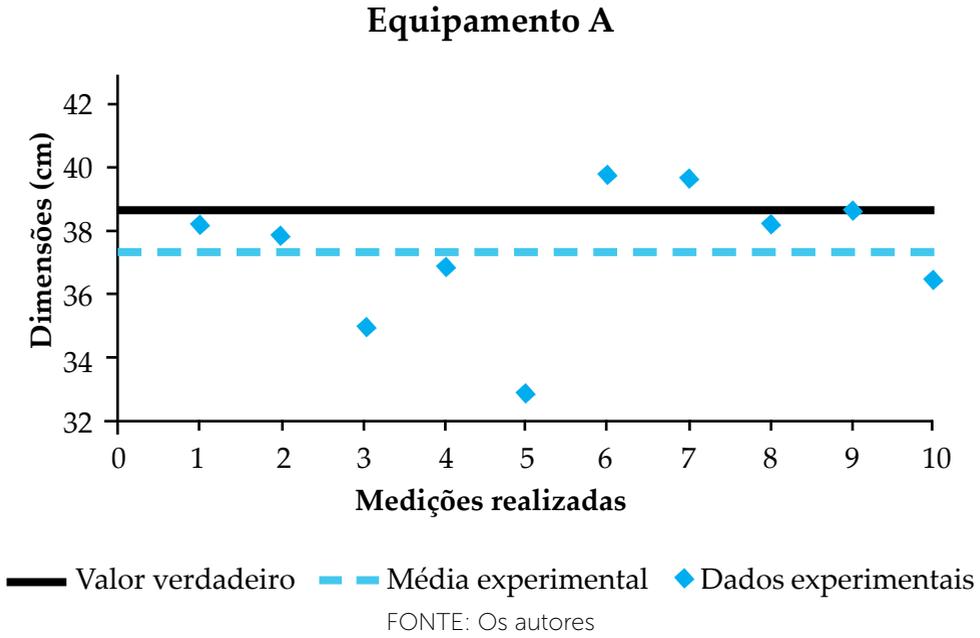


FIGURA 6 – GRÁFICO DA DISPERSÃO DOS DADOS EXPERIMENTAIS COLETADOS A PARTIR DO EQUIPAMENTO B, EM RELAÇÃO AO VALOR VERDADEIRO E A MÉDIA EXPERIMENTAL

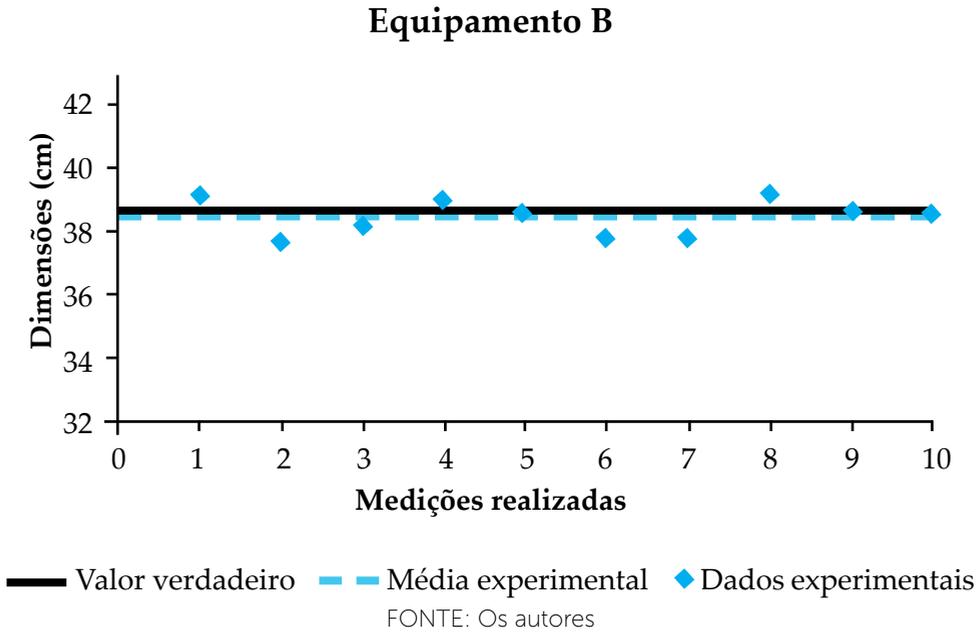
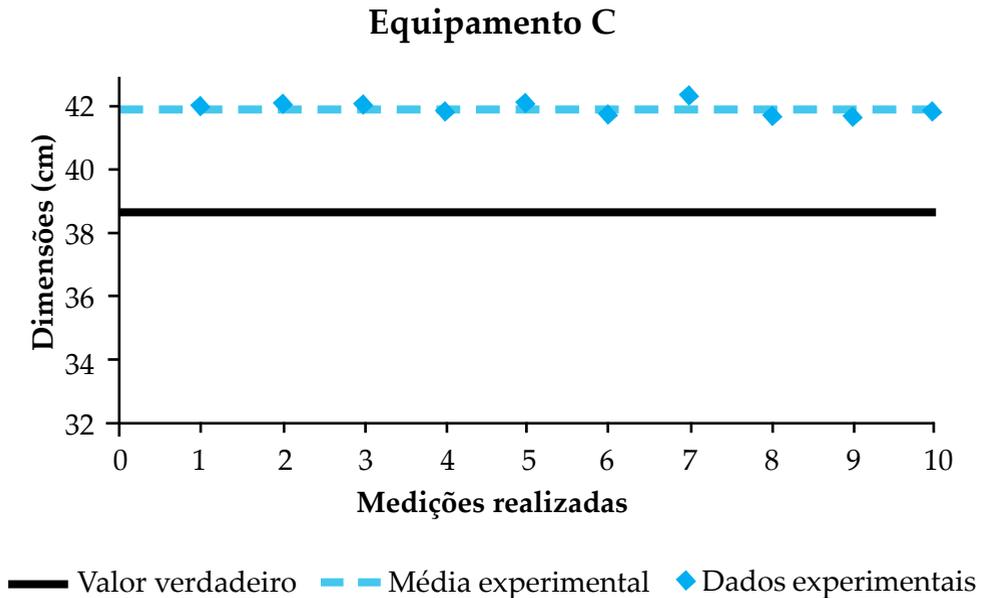


FIGURA 7 – GRÁFICO DA DISPERSÃO DOS DADOS EXPERIMENTAIS COLETADOS A PARTIR DO EQUIPAMENTO C, EM RELAÇÃO AO VALOR VERDADEIRO E À MÉDIA EXPERIMENTAL



FONTE: Os autores

Na Tabela 8 é apresentado como a acurácia e a precisão se relacionam com as medições realizada em cada equipamento.

TABELA 8 – ACURÁCIA E PRECISÃO PARA CADA EQUIPAMENTO UTILIZADO

	Equipamento A	Equipamento B	Equipamento C
Acurácia	Não	Sim	Não
Precisão	Não	Sim	Sim

FONTE: Os autores

As medições realizadas com o equipamento A não apresentaram boa acurácia e precisão, uma vez que os dados coletados não evidenciaram reprodutibilidade, além de estarem dispersos em relação ao valor verdadeiro do comprimento da barra.

Já com o uso do equipamento B foi exibida boa acurácia e precisão, pois além dos dados terem boa reprodutibilidade, eles se mantiveram próximos ao valor verdadeiro da medida.

Por fim, é possível notar que medições precisas, como no caso do equipamento C, nem sempre expressam acurácia, pois os dados coletados ficaram distantes do valor verdadeiro da altura do abajur.

RESUMO DO TÓPICO 4

Neste tópico, você aprendeu que:

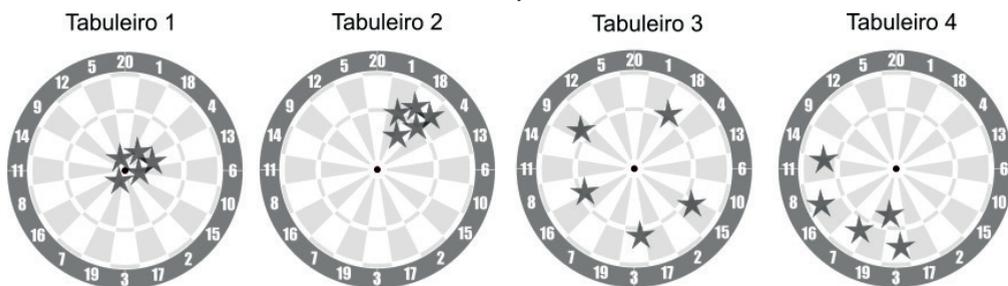
- É importante ter consolidado os conceitos de acurácia e precisão, pois são muito aplicados no estudo da metrologia.
- A frase do Yiding Wang da *Michigan Technological University* consegue ilustrar muito bem a diferença entre acurácia e precisão: “Acurácia está dizendo a verdade [...] Precisão está contando a mesma história diversas vezes” (tradução nossa).
- Uma medição precisa não necessariamente possui acuracidade, e vice-versa, uma vez que a precisão está relacionada com a reprodutibilidade das medições e a acurácia é relacionada à proximidade das grandezas obtidas experimentalmente à medida do valor real.



1 Um atirador de dardos está em treinamento para a competição nacional que acontecerá em seu país no próximo ano. O objetivo deste jogo é acertar o centro do alvo o máximo de vezes possível. Sabendo que o atirador realizou quatro séries com dez lançamentos de dardos em cada série, a Figura 8 ilustra os resultados do treinamento.

Nota-se que nas séries houve diferença entre a acurácia e a precisão alcançada pelo atirador. Preencha a Tabela 9, baseada nos resultados obtidos pelo atleta.

FIGURA 8 – TABULEIROS APÓS O TREINAMENTO, COM AS RESPECTIVAS PONTUAÇÕES ALCANÇADAS



FONTE: Adaptado de <<https://pixabay.com/pt/alvo-dardos-esporte-1966549/>>. Acesso em: 13 fev. 2019.

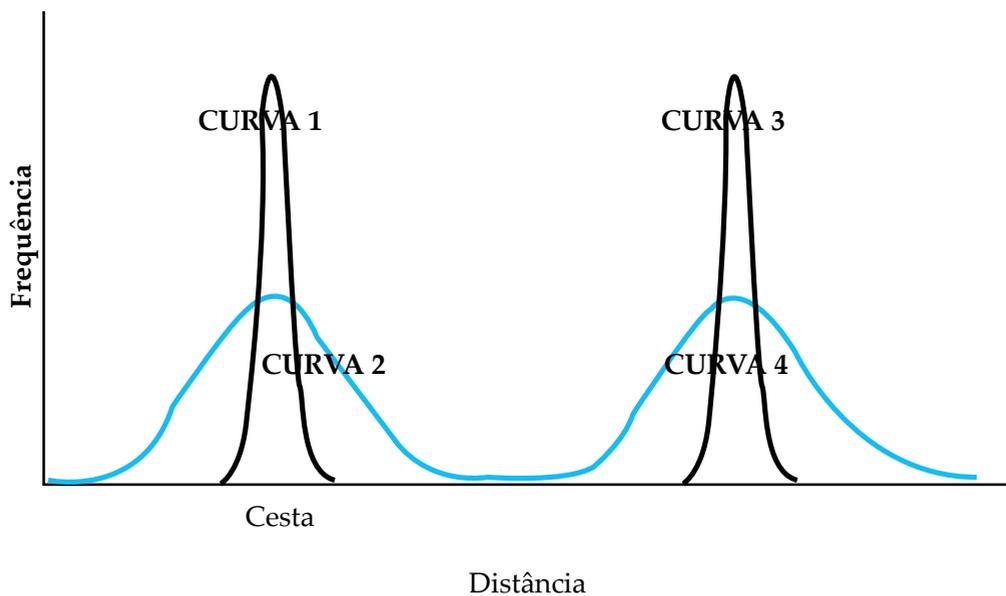
TABELA 9 – ACURÁCIA E PRECISÃO PARA CADA TABULEIRO UTILIZADO NO TREINAMENTO

Tabuleiro 1	Tabuleiro 2	Tabuleiro 3	Tabuleiro 4
Não	Sim	Sim	Não
Não	Não	Sim	Sim

FONTE: Os autores

2 Um aluno do curso de metrologia experimental assistiu a uma partida de basquete. Ao final da partida, o estudante plotou o desempenho, com relação à precisão e acurácia, de 4 (quatro) jogadores do time visitante, conforme apresentado na Figura 9. Sabendo que a situação ideal de alta precisão e acurácia é quando o jogador consegue arremessar dentro da cesta ou bem próximo a esta, identifique na Tabela 10 qual jogador corresponde a cada uma das curvas.

FIGURA 9 – CURVAS DOS JOGADORES DA PARTIDA



FONTE: Os autores

TABELA 10 – ACURÁCIA E PRECISÃO PARA CADA JOGADOR DA PARTIDA

	Jogador 1	Jogador 2	Jogador 3	Jogador 4
Acurácia				
Precisão				
Curva				

FONTE: Os autores

ERROS DE MEDIDAS

1 INTRODUÇÃO

Apesar de toda preocupação com a acurácia e a precisão, é preciso entender que ao se realizar medições sempre haverá erros associados, mesmo que sejam mantidos todos os fatores com potencial de alterar a leitura das medidas, como o instrumento, ambiente, metodologia, objeto medido e observador. Caso algum desses fatores seja alterado, as variações podem ser ainda maiores. Portanto, o erro pode variar, mas não deixará de existir.

É preciso entender a natureza dos erros associados às medições, para permitir a análise dos dados coletados.

A seguir veremos os principais tipos de erros.

2 ERROS SISTEMÁTICOS

Os erros sistemáticos são caracterizados por serem originados pelo método de medida ou por instrumentos defeituosos, afetando igualmente todas as medições, para o caso de medidas repetidas. Tais perturbações nas medições podem ser reduzidas pelo uso de equipamentos calibrados e por um melhor planejamento do experimento.

Suponha que há a necessidade de controlar a temperatura de uma solução química durante sua reação. Considerando que o termômetro marque repetidamente $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a menos, pois está descalibrado, não será possível eliminar esse erro, a não ser que o termômetro seja calibrado ou seja utilizado outro instrumento de medida devidamente ajustado. Porém, observa-se que nessa situação todas as medidas foram afetadas no mesmo sentido, ou seja, a temperatura marcada pelo termômetro foi mais baixa do que a verdadeira para todas as circunstâncias.

Por mais que sejam repetidas as leituras da temperatura, com o termômetro descalibrado, e seja calculada a média aritmética dos valores obtidos, o erro não será eliminado, pois é uma imprecisão reproduzível em todas as medições.

A seguir vamos discutir as principais razões para a ocorrência dos erros sistemáticos:

Erros de calibração

O uso de instrumento descalibrado ou com a data de validade da calibração ultrapassada pode apresentar anormalidade em seu funcionamento e não ser adequado para realizar medições. Outro ponto importante é a necessidade de corrigir as leituras obtidas em função do erro instrumental obtido mediante a calibração.

Condições ambientais

Outro fator importante que pode introduzir erros nas medições são as condições ambientais, que se referem à temperatura, umidade relativa e gradiente térmico. Dentre essas, a condição ambiental mais significativa é a temperatura, pois a variação da temperatura em que é realizada a medição pode influenciar significativamente no tamanho do componente a ser medido. Em vista disso, procura-se realizar as medições em condições padronizadas e em certos casos é prudente utilizar o fator de correção de temperatura, para obter resultados livres de erro.

O exemplo a seguir evidencia como a variação da temperatura ambiente pode causar variações no comprimento de objetos.

Exemplo:

Em um dia de calor, o ar condicionado do laboratório de metrologia da universidade estava em manutenção, e o aluno do curso de práticas de metrologia foi verificar a medição de uma barra de alumínio. O comprimento lido com o uso de instrumentos calibrados é de 3,0005 m. Porém, ao consultar seus registros, o aluno verificou que na semana anterior o comprimento da barra era 3,0000 m e a temperatura do laboratório no momento era 20 °C.

Sabendo que o coeficiente de expansão térmica do alumínio é igual a $\alpha_{AL} = 22.10^{-6}C^{-1}$, e a dilatação linear é:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

O aluno se propôs a calcular a temperatura do ambiente laboratorial para justificar o erro associado à medição.

$$\begin{aligned} (3,0005 - 3,0000) &= (3,0000) \cdot (22.10^{-6}) \cdot (\theta - 20) \\ (0,0005) &= (66.10^{-6}\theta) - (1320.10^{-6}) \\ (66.10^{-6}\theta) &= (0,0005) + (1320.10^{-6}) \\ \theta &= \frac{(0,0005) + (1320.10^{-6})}{66.10^{-6}} \\ \theta &= 27,58^{\circ}C \end{aligned}$$

Após o cálculo, conforme o aluno já previa, constatou-se que a temperatura ambiente do laboratório estava superior ao dia da medição anterior, $7,58\text{ }^{\circ}\text{C}$. A variação de $5 \times 10^{-4}\text{ m}$ no comprimento da barra de alumínio é significativa, principalmente no estudo da metrologia.

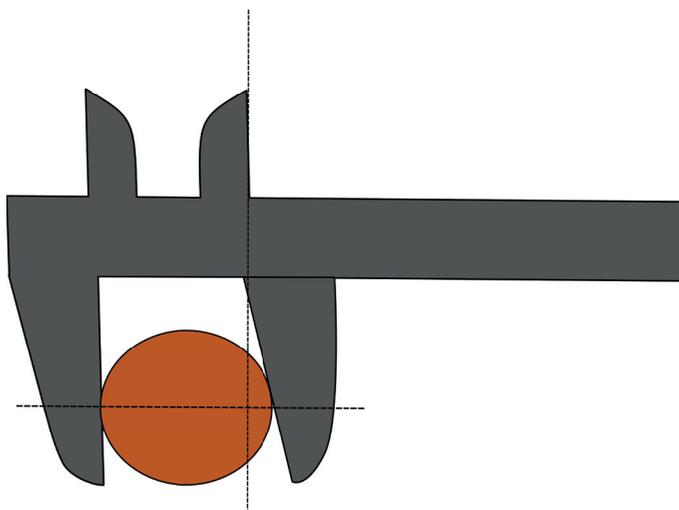
Deformação do equipamento e da peça de trabalho

Dependendo da pressão aplicada para realizar a medição, é possível que se possa provocar deformação elástica na peça a ser medida, bem como no equipamento utilizado, afetando a precisão da medida. As propriedades mecânicas do instrumento de trabalho, bem como da peça a ser medida é que vai determinar a amplitude da distorção, de acordo com a carga aplicada. Com isso um fator importante, para medições comparativas, é certificar que a pressão aplicada sobre as peças de trabalho seja a mesma.

Erros evitáveis

- Erro de referência: esse erro, como o próprio nome indica, é a diferença entre o valor real a ser medido e o valor indicado pelo instrumento de medida, sendo que para verificar esse tipo de erro, a medida deve ser realizada sob condições estabelecidas e com uma peça de trabalho padrão para aferir a configuração.
- Erro de leitura: é um erro típico cometido pelo observador em função da dificuldade de leitura da grandeza medida ou de equívocos no registro da leitura. Para minimizar de forma significativa esse tipo de erro, os dispositivos de leitura digital são usados amplamente.
- Erro de paralaxe: outro tipo de erro cometido pelo observador se sua posição é incorreta em relação à escala do instrumento de medida. A posição adequada para a leitura de medidas é perpendicular à escala a ser observada, a fim de evitar a paralaxe.
- Erro de desalinhamento: podem ser provocados por distorções dos equipamentos, práticas inadequadas de manuseio e desgaste dos instrumentos de medição. Na figura a seguir é possível observar que os bicos móveis do paquímetro não estão paralelos, esse desalinhamento provocará erro na leitura do diâmetro da esfera.

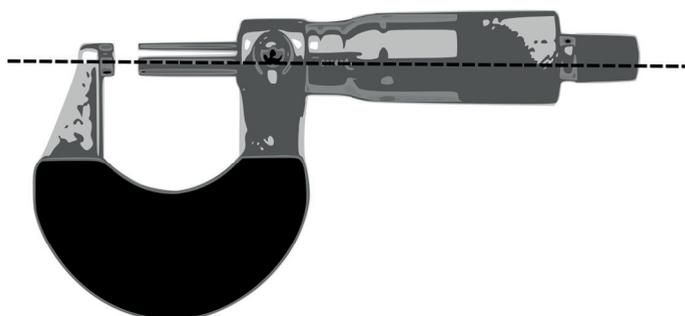
FIGURA 10 – EXEMPLO DE ERRO DE DESALINHAMENTO



FONTE: Adaptado de <<https://pixabay.com/pt/paqu%C3%ADmetro-%C3%ADcone-medi%C3%A7%C3%A3o-ferramenta-1294817/>>. Acesso em: 14 fev. 2019.

Para minimizar este tipo de erro, deve-se ter em mente a lei de Abbe, proposta por um físico alemão, Ernst Karl Abbe, que descreve que a máxima exatidão das medições é obtida se o eixo de medida é coincidente com o do instrumento de medida, como no caso do micrômetro, conforme a figura que segue(ZHANG, 1989).

FIGURA 11 – MICRÔMETRO EXEMPLIFICANDO A LEI DE ABBE



FONTE: Os autores

3 ERROS ALEATÓRIOS

Os erros aleatórios, chamados também de ocasionais, são causados por fatores imprevisíveis ou difíceis de controlar, mesmo com um bom planejamento do experimento. Esse tipo de erro pode ser causado por variação da temperatura, pressão, umidade ou erro de leitura por parte do observador.

Pelo fato da natureza imprevisível e difícil de controlar, há a probabilidade de que as medidas sejam alteradas para mais ou para menos; ainda existem mesmo quando todas as alterações sistemáticas no processo de medição são equilibradas, reduzidas ou corrigidas.

Uma forma de minimizar esses erros é por meio da repetição do experimento, sob as mesmas condições, além dos tratamentos estatísticos.

Esse erro pode se manifestar, por exemplo, durante o processo de medição em uma balança digital de precisão, pela presença de correntes de ar e vibrações, que são fatores aleatórios e que vão influenciar a medida.

Uma forma de avaliar os erros aleatórios é por meio de operações estatísticas, uma vez que é difícil prever as causas específicas que proporcionam essas variações, mesmo com uma série de medições. Para isso, veremos no próximo tópico os principais conceitos utilizados na estatística.

RESUMO DO TÓPICO 5

Neste tópico, você aprendeu que:

- O erro é uma parcela inerente do processo de medição, mesmo que seja realizado com muita cautela e sem grandes interferências.
- Os erros sistemáticos são caracterizados por serem originados pelo método de medida ou por instrumentos defeituosos. Sua imprecisão é reproduzível em todas as medições.
- Os erros aleatórios são provocados por fatores imprevisíveis ou difíceis de controlar, mesmo com um bom planejamento do experimento. A forma de minimizar esses erros é por meio da repetição do experimento, sob as mesmas condições, além dos tratamentos estatísticos.



1 Coloque em prática os conhecimentos adquiridos neste tópico e identifique quais características são pertencentes ao erro sistemático e ao erro aleatório. A identificação deve ser da seguinte forma:

- (1) Erro sistemático
- (2) Erro aleatório

- Não pode ser eliminado por repetições das medições.
- Pode ser minimizado por repetições das medições.
- Requer análise estatística.
- A calibração pode minimizar este tipo de erro.
- A reprodução do erro está constantemente na mesma direção.
- São inerentes do sistema de medida ou dos instrumentos de medida.

Assinale a alternativa que corresponde à identificação correta:

- a) 1 – 1 – 2 – 1 – 2 – 2.
- b) 2 – 2 – 1 – 1 – 1 – 2.
- c) 1 – 2 – 2 – 1 – 1 – 1.
- d) 1 – 2 – 2 – 1 – 1 – 2.

ESTATÍSTICA APLICADA À METROLOGIA

1 INTRODUÇÃO

A estatística é definida como o estudo “que fornece métodos para a coleta, organização, descrição, análise e interpretação de dados, viabilizando a utilização dos mesmos na tomada de decisões” (CORREIA, 2003, p. 8). Aplicada a metrologia, ela tem o papel fundamental para a análise de dados obtidos pelos métodos de medição.

A seguir vamos discorrer sobre os principais conceitos da estatística que serão aplicados em nosso estudo.

2 PRINCIPAIS OPERAÇÕES ESTATÍSTICAS

Média aritmética (\bar{x})

Considerando um conjunto de medições com “ n ” valores independentes e individuais, tais como $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots$ e x_n , a média aritmética é dada como o quociente da soma de todos os valores medidos pelo número de medições realizadas:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Onde,

\bar{x} = média aritmética;

x_i = valores das medições;

n = número de medições.

Exemplo:

Durante uma prática laboratorial, o professor solicita aos alunos a média aritmética do comprimento das medições realizadas em um tubo. Na Tabela 11 são mostrados os resultados individuais das medidas obtidas pelos alunos.

TABELA 11 – RESULTADOS INDIVIDUAIS DAS MEDIDAS OBTIDAS

Identificação da medida	Comprimento medido (mm)
1	20,35
2	20,23
3	20,47
4	20,52
5	20,19
6	20,14
7	20,28
8	20,20
9	20,27
10	20,32

FONTE: Os autores

Para calcular a média aritmética:

$$\bar{x} = \frac{20,35 + 20,23 + 20,47 + 20,52 + 20,19 + 20,14 + 20,28 + 20,20 + 20,27 + 20,32}{10}$$

$$\bar{x} = 20,297 = \mathbf{20,30 \text{ mm}}$$

Portanto, a média aritmética das medições do comprimento do tubo é 20,30 mm.

Média aritmética ponderada (\bar{x}_p)

A média ponderada possibilita levar em consideração a contribuição (peso) de cada termo, ou neste caso, medições. Seu cálculo é a soma dos produtos das medições com “n” valores independentes e individuais pelas contribuições (p_n) de cada medição, tais como $x_1 \cdot p_1, x_2 \cdot p_2, x_3 \cdot p_3, x_4 \cdot p_4, \dots$ e $x_n \cdot p_n$, dividida pela soma das respectivas contribuições:

$$\bar{x}_p = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

Onde,

\bar{x}_p = média aritmética ponderada;

x_i = valores das medições;

n = número de medições;

p_i = contribuições das medições.

Exemplo:

Em outra atividade laboratorial, o professor solicitou aos alunos a média aritmética ponderada do comprimento do tubo, sabendo que seriam utilizados três paquímetros com acurácia diferentes. Para cada paquímetro deveria ser realizada uma medição. Os paquímetros A, B e C tinham acurácia de 99%, 98% e 95%, respectivamente. Na Tabela 12 são mostrados os resultados individuais das medidas obtidas pelos alunos.

TABELA 12 – RESULTADO INDIVIDUAL A MEDIDA CORRESPONDENTE A CADA PAQUÍMETRO

Paquímetro	Comprimento medido (mm)
A	20,28
B	20,35
C	20,47

FONTE: Os autores

Para calcular a média aritmética ponderada:

$$\bar{x} = \frac{(20,28 \times 0,99) + (20,35 \times 0,98) + (20,47 \times 0,95)}{(0,99 + 0,98 + 0,95)}$$

$$\bar{x} = \frac{59,4667}{2,92}$$

$$\bar{x} = 20,36531 = \mathbf{20,36 \text{ mm}}$$

Portanto, a média aritmética ponderada das medições do comprimento do tubo é 20,36 mm.

Em alguns casos é possível obter composições que tenham a mesma média, porém ao se analisar a variabilidade das composições, nota-se que elas possuem características totalmente distintas. Com isso é primordial discutir algum conceito de dispersão. Em nosso estudo será discutido o desvio padrão.

Desvio padrão amostral (s)

O desvio padrão amostral permite avaliar o grau de dispersão das medições em relação à média aritmética. É muito comum que o desvio padrão seja apresentado juntamente com a média aritmética, com o objetivo de elucidar a variação do conjunto de dados:

$$\bar{x} \pm s$$

O cálculo do desvio padrão amostral se dá da seguinte forma:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Onde,

s = desvio padrão amostral;

x_i = valores das medições;

\bar{x} = média aritmética;

n = número de medições.

Exemplo:

Recorrendo ao mesmo exemplo da média aritmética é possível calcular o desvio padrão das medições realizadas pelos alunos do comprimento do tubo. Na Tabela 13 são apresentados os dados medidos.

TABELA 13 – RESULTADOS INDIVIDUAIS E MÉDIA ARITMÉTICA DAS MEDIDAS DO COMPRIMENTO DO TUBO

Identificação da medida	Comprimento medido (mm)
1	20,35
2	20,23
3	20,47
4	20,52
5	20,19
6	20,14
7	20,28
8	20,20
9	20,27
10	20,32
\bar{x}	20,30

FONTE: Os autores

Para calcular o desvio padrão amostral:

$$s = \sqrt{\frac{(20,35 - 20,30)^2 + (20,30 - 20,30)^2 + (20,47 - 20,30)^2 + (20,19 - 20,30)^2}{9}} \dots$$

$$\sqrt{\frac{\dots (20,14 - 20,30)^2 + (20,28 - 20,30)^2 + (20,20 - 20,30)^2 + (20,27 - 20,30)^2 + (20,32 - 20,30)^2}{9}}$$

$$s = \sqrt{\frac{0,1341}{9}}$$

$$s = \sqrt{0,0149} = 0,122066 = \mathbf{12 \text{ mm}}$$

Portanto, o desvio padrão amostral das medições do comprimento do tubo é 0,12 mm e a variação do conjunto desses dados pode ser apresentada como $20,30 \pm 0,12 \text{ mm}$.

RESUMO DO TÓPICO 6

Neste tópico, você aprendeu que:

- A estatística tem um papel fundamental na análise de dados obtidos pelos métodos de medição, principalmente no tratamento de dados provenientes de erros aleatórios

- Média aritmética: $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$

- Média ponderada: $\bar{x}_p = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$

- Desvio padrão amostral: $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$



1 Os dados apresentados na Tabela 13 são referentes ao peso em quilogramas e à altura em centímetros de parte das pacientes internadas em um Centro de Tratamento e terapia Intensivo (CTI) do hospital da cidade. Calcule para as duas características:

- Média aritmética.
- Desvio padrão amostral.

TABELA 14 – PESO E ALTURAS DAS PACIENTES INTERNADAS NO CTI

Identificação das pacientes	Peso (kg)	Altura (cm)
1	68,3	165
2	75,9	172
3	83,5	170
4	62,6	160
5	58,9	162
6	75,4	168
7	53,7	158
8	82,8	164
9	55,2	162
10	67,3	164

FONTE: Os autores

MÉTODOS DE MEDIÇÃO

1 INTRODUÇÃO

A medição de uma grandeza nos permite conhecer o valor e a unidade da dimensão em questão. Para que você alcance sucesso na medição, é necessário aplicar algum método que englobe um conjunto de procedimentos lógicos. O método a ser escolhido depende da precisão requerida e do tamanho do erro permitido, mas é preciso adequar à escolha de modo que sejam minimizadas as incertezas associadas às medições.

Neste tópico apresentaremos os métodos de medições mais utilizados na metrologia: método direto, método indireto, método de transposição, método de medição diferencial e método de medição por zero.

2 MÉTODOS DE MEDIÇÃO

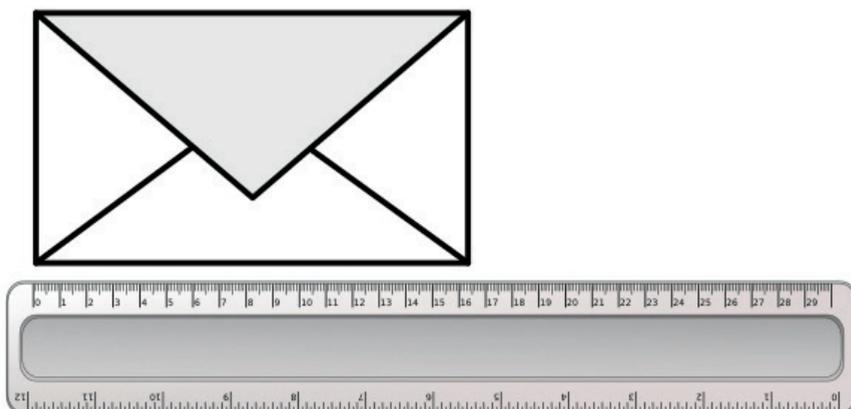
Método direto

Neste método, o valor a ser mensurado é obtido diretamente dos dados experimentais por meio de comparação direta com padrões ou instrumentos de medidas graduados, sem a necessidade de cálculos adicionais em função de outras grandezas.

Pode haver a necessidade de determinar as grandezas que podem influenciar na medição, com o objetivo de realizar correções ocasionais, como o caso de condições ambientais que podem influenciar o valor da grandeza mensurada.

Na figura que segue é possível observar a aplicação do método por meio da medição do comprimento de um envelope com uma régua graduada.

FIGURA 12 – MÉTODO DE MEDIÇÃO DIRETA DE UM ENVELOPE COM O AUXÍLIO DE UMA RÉGUA GRADUADA EM CENTÍMETROS



FONTE: Adaptado de <<https://pixabay.com/pt/polegadas-r%C3%A9gua-medi%C3%A7%C3%A3o-cent%C3%ADmetro-33825/>> e <<https://pixabay.com/pt/envelope-letra-mensagem-e-mail-23692/>>. Acesso em: 14 fev. 2019.

Nesse método, além da régua graduada, são comumente utilizados micrômetros, paquímetros etc.

Método indireto

O método indireto é caracterizado quando o valor de uma grandeza é obtido em função de outra, ou seja, a medição é realizada de forma direta de uma grandeza diferente da que se deseja conhecer, e é realizada a conversão na grandeza de interesse por meio de cálculos e relações conhecidas.

Este método é utilizado quando é difícil e/ou perigoso medir diretamente a grandeza procurada. Em alguns casos a medição indireta pode produzir resultados mais precisos, sendo que dessa forma sua utilização é preferencial à direta.

Exemplos de aquisições de dados por meio do método indireto são a medição de ângulos usando a barra de seno, da velocidade por meio da distância percorrida e do tempo gasto para percorrê-la e da temperatura de um tratamento térmico recorrendo a um termopar.

Método de transposição

Este método é aplicado quando a grandeza a se medir (x), que é desconhecida, é relacionada por comparação direta com uma grandeza da mesma natureza e de valor conhecido (A), que em seguida é substituída e comparada com outro valor previamente estabelecido (B). Esta técnica é aplicada na dupla pesagem de Gauss, que considera a desigualdade dos braços de uma balança, e o valor desconhecido é $x = \sqrt{A.B}$.

Método de medição diferencial

É realizado por meio da comparação com uma grandeza de mesma natureza e valor conhecido (por exemplo, um padrão) que difere pouco da grandeza a ser mensurada. Nesta situação, é medida a diferença algébrica entre os valores.

Um bom exemplo para este método é o processo de calibração de um bloco padrão com o auxílio de um comparador e um bloco referência. Primeiramente é realizada a medição do bloco de referência, onde o comparador será ajustado para zero. Em seguida é feita a medição do bloco padrão, sendo que caso a medida seja positiva, o bloco padrão possui medição maior do que o bloco de referência, e caso seja negativa, possui medição menor do que a referência. Com isso a medição do bloco padrão será a soma algébrica do valor do bloco de referência e o desvio medido.

Método de medição por zero

Neste método, o valor da grandeza a se medir é determinado pelo equilíbrio, ajustando uma ou mais grandezas de valores conhecidos que são relacionados com o valor a ser mensurado por um ponto de equilíbrio, reduzindo a diferença a zero.

Um exemplo deste método é o uso de uma balança de dois pratos, onde se adiciona ou se retira pesos até se atingir a situação de equilíbrio, situação em que é possível determinar o peso do produto.

SUGESTÃO DE AULA PRÁTICA

1 Com o uso de duas balanças distintas, realizar dez pesagens em cada de 50 ml de água destilada (volume medido em um béquer graduado). Após as pesagens, calcular a média aritmética e o desvio padrão para cada balança e realizar a comparação.

Materiais:

- 1- Becker graduado
- 2- Água destilada
- 3- Duas balanças de precisão
- 4- Caneta e papel

Procedimentos:

- 1- Ligar uma das balanças.
- 2- Após a balança estabilizar, realizar a tara do Becker graduado.
- 3- Adicionar ao Becker 50 ml de água destilada.
- 4- Colocar o Becker sobre a balança.
- 5- Após a balança estabilizar, anotar a medida indicada no visor da balança.
- 6- Retirar o Becker com a água da balança.
- 7- Repetir as etapas de 4 a 6 por 9 vezes.
- 8- Repetir as etapas de 1 a 7 para a outra balança.
- 9- Calcular e comparar os valores de média aritmética e desvio padrão.

TABELA 15 – IDENTIFICAÇÃO DAS MEDIDAS

Identificação das pesagens	Balança1	Balança 2
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
Média aritmética		
Desvio Padrão		

2 Realizar medidas diretas e indiretas do volume de água destilada e comparar os resultados. Considere a densidade da água igual a $0,9970479 \text{ g/cm}^3$ para a temperatura ambiente de $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Materiais:

- 1- Água destilada
- 2- Balança de precisão
- 3- 2 Provetas
- 4- Becker
- 5- Pipeta

Procedimentos:

Medida direta

- 1- Climatizar o laboratório para $25 \text{ }^\circ\text{C}$.
- 2- Com o auxílio de uma pipeta, colocar 10 ml de água destilada na proveta.

Medida indireta

- 1- Climatizar o laboratório para $25 \text{ }^\circ\text{C}$.
- 2- Calcular qual a massa correspondente a 10 ml de água destilada.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Onde:

ρ = densidade;

m = massa;

v = volume.

3- Ligar a balança.

4- Após a balança estabilizar, realizar a tara da proveta.

5- Com o auxílio da pipeta acrescentar água à proveta até atingir o valor calculado na etapa 2.

Comparar os dois volumes obtidos.



RESUMO DO TÓPICO 7

Neste tópico, você aprendeu que:

- O sucesso da medição depende do método escolhido.
- A escolha do método de medição deve ter o objetivo de minimizar as incertezas associadas à medição.

AUTOATIVIDADE



- 1 Descreva o método de medição direto e exemplifique.
- 2 Descreva o método de medição indireto e exemplifique.
- 3 Qual é o método de medição utilizado ao se fazer uso de um dinamômetro para determinar a força exercida, sabendo que pela lei de Hooke é possível determinar a força (F), por meio da constante elástica (k) e alongamento da mola (x) por meio da seguinte fórmula:

$$F = k \cdot x$$

- a) () Método direto.
- b) () Método indireto.
- c) () Método transposição.
- d) () Método diferencial.

INSTRUMENTOS DE MEDIDAS LINEARES

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

A partir do estudo desta unidade, você deverá ser capaz de:

- compreender a necessidade das boas práticas laboratoriais;
- conhecer os principais instrumentos de básicos de medidas lineares;
- aprender a ler e a converter o sistema métrico decimal para o sistema inglês ordinário;
- aprender a utilizar instrumentos de medidas mais precisos, como paquímetro ou micrômetro;
- investigar os principais erros associados ao processo de medição quando utilizar um paquímetro;
- realizar tratamentos estatísticos aos dados utilizados na metrologia.

PLANO DE ESTUDOS

Esta unidade está dividida em quatro tópicos. No decorrer da unidade, você encontrará autoatividades com o objetivo de reforçar o conteúdo apresentado.

TÓPICO 1 – BOAS PRÁTICAS LABORATORIAIS – BPL

TÓPICO 2 – INSTRUMENTOS BÁSICOS DE MEDIDAS LINEARES

TÓPICO 3 – PAQUÍMETRO

TÓPICO 4 – MICRÔMETRO

BOAS PRÁTICAS LABORATORIAIS – BPL

1 INTRODUÇÃO

O uso dos serviços prestados por laboratórios tem aumentado nos últimos anos. Isso faz com que algumas mudanças e adequações em nível estrutural e operacional, além do cumprimento de exigências legislativas, sejam cada vez mais necessárias. Outro quesito imprescindível é a adaptação laboratorial às normas e padrões de qualidade, assim como a capacitação dos profissionais e dos usuários.

Em meados dos anos 1980, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (*Organization for Economic Cooperation and Development* – OECD), com o intuito de expor a importância da segurança dos utentes e do meio ambiente, fez uma série de recomendações para reduzir os riscos laboratoriais, bem como aumentar o grau de precisão e credibilidade dos laboratórios que seguem as diretrizes de qualidade. Aqui no Brasil, boas práticas laboratoriais foram adotadas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) no ano de 1990.

Boas práticas laboratoriais (BPLs) é um conjunto de critérios normativos que visam instaurar um sistema de qualidade, destinado ao processo organizativo e às condições sob as quais devem ser realizados os ensaios e pesquisas em laboratórios. As BPLs são aplicadas a todos os estudos e técnicas voltadas para o meio ambiente, à saúde humana, vegetal e animal, exigidos pelos órgãos regulamentadores.

As boas práticas buscam fixar padrões mínimos de qualidade e segurança para um bom funcionamento de laboratórios e centros de pesquisas, com o objetivo da diminuição dos riscos do ambiente laboratorial.

Segundo a Portaria nº 25, do Ministério do Trabalho do Brasil, de 29 de dezembro de 1994, riscos ocupacionais são todos os fatores que colocam em perigo o usuário ou afetam a integridade. Eles são divididos em cinco cores e categorias:

- Cor vermelha está relacionada aos riscos químicos.
- Cor marrom está relacionada aos riscos biológicos.
- Cor verde está relacionada aos riscos físicos.
- Cor azul está relacionada aos riscos de acidentes.
- Cor amarela está relacionada aos riscos ergonômicos.

Segundo a Norma Regulamentadora nº 9 (1994), riscos químicos são agentes e/ou substâncias químicas na forma líquida, gasosa, ou na forma de particulados, podendo penetrar no organismo através da pele ou ser inalados ou até mesmo ingeridos. Exemplos: substâncias corrosivas, oxidantes, particulados de poeira, entre outros.

Segundo a norma regulamentadora nº 9, riscos biológicos são relacionados à exposição, contato ou manuseio de materiais biológicos contaminados com agentes nocivos como: bactéria, fungos, vírus, parasitas, entre outros.

Segundo a norma regulamentadora nº 9, consideram-se riscos físicos toda exposição por parte do profissional a qualquer forma de energia. Exemplo: máquinas, pressões anormais, temperaturas extremas, ruídos e vibrações, umidades, entre outros.

Os riscos de acidente são distribuídos em mais normas regulamentadoras, entre as normas de número 10 e 16, eles são descritos como: toda a ação não programada, estranha ao andamento rotineiro do trabalho que coloca em perigo a integridade ou bem-estar físico, mental ou moral do profissional, é caracterizada como risco de acidente. Exemplo: quedas, queimaduras, cortes, perfurações.

Segundo a Norma Regulamentadora nº 17, consideram-se riscos ergonômicos todo e qualquer fator que interfira nas características psicofisiológicas do profissional, causando desconforto ou afetando sua saúde. Exemplos: movimentos repetitivos, postura inadequada, levantamento de peso excessivo, entre outros.

Com intuito de evitar e prevenir acidentes nos locais de trabalho, alguns procedimentos são essenciais para segurança e bom funcionamento do laboratório, como por exemplo: organização e limpeza, equipamentos de proteção coletiva e individual, conhecimento do mapa de risco, conferir a lista de checagem (*checklist*) dos equipamentos, entre outros. O conhecimento por parte do profissional e dos usuários do local de trabalho, sobre todos os fatores que podem impactar a segurança e a saúde, é de extrema importância. Uma vez que um profissional comprometido e interessado com as regras, normas e procedimentos de segurança diminuem os erros operacionais e aumentam a qualidade do serviço prestado.

2 SISTEMA DE QUALIDADE (BPL)

Ao se estabelecer um sistema de qualidade BPL, ocorre um reconhecimento técnico das atividades laboratoriais. Isso implica um conjunto de requisitos, cuja aplicação busca identificar e reduzir os riscos operacionais e a obtenção da qualidade na realização dos ensaios e a comparação de estudos, permitindo a concordância de dados de forma padronizada e harmonizada, isso impossibilita a dualidade de resultados entre análises realizadas em laboratórios diferentes. Nos centros de pesquisas, o sistema de qualidade BPL tem como finalidade aferir a competência técnica e laboratorial no desenvolvimento de um estudo ou projeto de pesquisa.

Um dos princípios da BPLs é conscientização de todos os usuários dos laboratórios sobre a importância de seguir essas boas práticas, pois ela busca promover a qualidade e a validação dos resultados dos serviços e pesquisas realizados pelos laboratórios, visto que muitos laboratórios visam conseguir a acreditação e conseqüentemente o credenciamento junto ao órgão fiscalizador para fornecer registros para comercialização de produtos ou serviços de inspeção e verificação de desempenho.

Infelizmente, quando as boas práticas laboratoriais não são seguidas, algumas suspeitas são levantadas com relação à credibilidade dos resultados. Em geral, são identificadas falhas desde o esboço experimental, na condução e gerenciamento do ensaio, ocasionando dados imprecisos e incompletos, em virtude da falta de legalização dos métodos e pessoas qualificadas na execução do ensaio. Um fator muito importante com relação aos instrumentos de medidas é a necessidade de aferição e calibração periódica, ademais, o laboratório deve possuir cópias de segurança da documentação dos dados, além de passar por vistorias regulares.

3 CARACTERÍSTICAS LABORATORIAIS

A organização laboratorial envolve aspectos importantes estruturais, funcionais e administrativas, isto é, se faz necessário possuir constâncias na prestação de serviço, abrangência no atendimento e liberdade de datas e horários. Um controle detalhado de todas as atividades executadas no laboratório é de suma importância, pois isso, além de ajudar a minimizar os erros, a conhecer as necessidades e dificuldades encontradas por cada usuário, ajuda também a monitorar as formas como os equipamentos são utilizados. O laboratório deve possuir uma planta física bem definida, para que nada venha interferir na precisão das análises. Por isso, é importante dimensionar os espaços, além disso, promover separações dos diferentes ambientes internos, a fim de que possa proporcionar segurança, a otimização do trabalho e a viabilidade das análises e pesquisas.

Os laboratórios devem atender às especificações necessárias de acordo com o uso desejado. Assim, as instalações devem ter condições de segurança, organização e limpeza. Outros fatores importantes para BPLs é que as unidades laboratoriais devem possuir controle de umidade, temperatura, luminosidade, entre outras recomendações estabelecidas, para que minimizem todo tipo de interferência na condução do estudo.

Todo laboratório deve possuir procedimentos operacionais padrões (POP), neles são descritas todas as atividades possíveis de se realizar no laboratório. Além deles é recomendada a disposição de manuais, artigos científicos, livros, literatura técnica, roteiros de alguns procedimentos, ou qualquer outro documento que ajude a prevenir os erros comumente praticados.

Os equipamentos devem possuir planos rigorosos de validação, calibração e manutenção. Deve-se também utilizar dispositivos com características adequadas a sua necessidade, com intuito de evitar uma precisão muito acima do almejado ou até mesmo a imprecisão da medida. A verificação dos instrumentos de medidas deve ocorrer regularmente com o uso de padrões de trabalhos de modo a detectar qualquer tipo de problema ou interferência na medida.

Uma equipe de técnicos e especialistas qualificados é essencial para que nenhuma etapa do ensaio fuja ao controle. Assim como, na interpretação dos resultados e para corrigir qualquer problema que venha acontecer durante todo o procedimento operacional. Logo, um bom gerenciamento do laboratório implica controle de execução das boas práticas laboratoriais, tendo como meta de qualidade imputar nos resultados toda credibilidade e confiabilidade adquirida em todo o processo.

Resumidamente, as principais formas de garantir qualidade na prestação de serviços realizado pelo laboratório são as seguintes.

- Treinamento e qualificação de pessoal.
- Controle rígido nos procedimentos e documentação.
- Equipamentos aferidos, calibrados e atualizados.
- Adequação das instalações (infraestrutura) e controle ambiental.

4 LABORATÓRIOS DE METROLOGIA

Geralmente, o laboratório de metrologia desenvolve principalmente as funções de calibração e/ou verificação dos mais diversos instrumentos de medição, assim como, a realização de ensaios variados. Entretanto, o mais importante é compreender a seriedade e vitalidade deste tipo de laboratório. No meio industrial, por exemplo, qualquer indústria que objetiva ter qualidade nos seus produtos, com intuito de alcançar competitividade internacional, é fundamental a manutenção, melhoria dos processos produtivos e investimentos em equipamentos confiáveis, devidamente calibrados e em consonância com as normas e instituições regulamentadoras de metrologia, normalização e qualidade.

Hoje é possível encontrar no Brasil, vários tipos de laboratórios especializados nas mais diversas áreas da metrologia, como por exemplo:

- Laboratório de metrologia dimensional.
- Laboratório de tempo e frequência.
- Laboratório de massa.
- Laboratório de eletricidade.
- Laboratório de força, torque e dureza.
- Laboratório de temperatura e umidade.
- Laboratório de pressão.
- Laboratórios de superfícies.
- Laboratório de acústicas e de vibrações.

Enfim, a metrologia está conectada ao nosso cotidiano, desde produtos comercializados no supermercado, a prestação de serviços ou ainda na área da saúde. Com isso, é muito importante que exista sempre um controle da população e principalmente dos órgãos fiscalizadores, para garantir que o consumidor compre um pacote de um kg de feijão, tenha a confiança de comprar realmente um kg de feijão. Conseqüentemente, estes laboratórios devem sempre objetivar a realização de serviços de qualidade, para assegurar ao cliente a confiança e a credibilidade do serviço prestado.

RESUMO DO TÓPICO 1

Neste tópico, você aprendeu que:

- As boas práticas laboratoriais auxiliam aos usuários, técnicos, professores, visitantes, dentre outros transeuntes de um laboratório sobre os riscos de cada equipamento ou produto químico, assim como a execução correta de várias atividades do laboratório.
- Existem inúmeros tipos de laboratórios de metrologia e a importância organizacional e estrutural que os mesmos devem ter.
- As BPLs correspondem a um sistema de qualidade que visa assegurar a segurança, a transparência e a confiabilidade dos resultados e dos equipamentos.



- 1 O que são boas práticas laboratoriais?
- 2 Qual é o principal público alvo das BPL?
- 3 Cite algumas formas de garantir qualidade na prestação de serviços realizado pelo laboratório.
- 4 Em que tipos de estudos as BPL são aplicadas?
- 5 Caso as boas práticas laboratoriais não sejam seguidas, o que pode implicar a qualidade dos resultados?

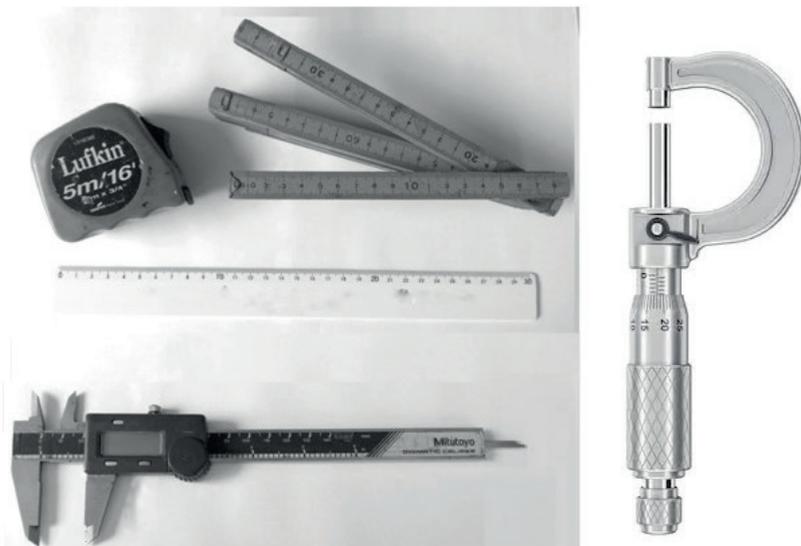
INSTRUMENTOS BÁSICOS DE MEDIDAS LINEARES

1 INTRODUÇÃO

Existem inúmeros instrumentos para realização de medidas, obviamente cada equipamento desempenha funções diferentes. Dentre os instrumentos de medidas lineares os mais básicos e simples são a régua graduada, o metro articulado e a trena.

Mensurar objetos, distâncias ou qualquer outra coisa, por mais fácil que possa parecer, não é tão simples assim. Quando há obrigação de exatidão, é necessário utilizar o instrumento de medida adequado. Para isso, quando é exigida mais precisão nas medidas, são utilizados paquímetros e micrômetros, vide Figura 1.

FIGURA 1 – INSTRUMENTOS DE MEDIDAS LINEARES

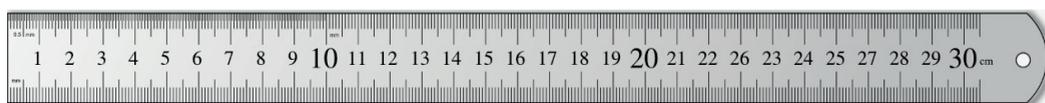


FONTE: Os autores

2 RÉGUA GRADUADA

As régua são lâminas graduadas em centímetros ou milímetros (sistema métrico), ou ainda em polegadas (sistema inglês ordinário). As régua utilizadas por alunos em escola de ensino fundamental e médio geralmente são feitas de material polimérico, que são mais suscetíveis aos erros e depreciação. Já as régua utilizadas em laboratórios são provenientes de materiais metálicos (aços carbono ou inoxidável), uma vez que possuem maior precisão, nitidez nas marcações e duram por mais tempo. Elas podem ser encontradas nos mais diversos tamanhos, 150, 200, 300, 1000 mm, entre outros (Figura 2). Em laboratórios os tamanhos mais comuns são as de 150 mm e 300 mm.

FIGURA 2 – RÉGUA GRADUADA EM MILÍMETRO E EM POLEGADA



FONTE: Adaptado de: <<https://pixabay.com/pt/r%C3%A9gua-medida-comprimento-metro-cm-146428/>>. Acesso em: 11 fev. 2019.

No geral, as régua devem ser usadas em medições em que não há exigência de muita exatidão, isso muito em virtude da dificuldade de fixar os pontos de medidas. As régua graduadas apresentam um “erro admissível” superior a menor graduação. Essas graduações geralmente equivalem a 0,5 ou 1 mm para o sistema métrico e $1''/16$ ou $1''/32$ polegadas para o sistema inglês ordinário.



Segundo o Glossário de termos metrológicos do INMETRO (VIM 2012, p. 43-44), erro admissível é:

Valor extremo do erro de medição, com respeito a um valor de referência conhecido, aceito por especificações ou regulamentos para uma dada medição, instrumento de medição ou sistema de medição.

NOTA 1 Usualmente, o termo “erros máximos admissíveis”, “erros máximos permissíveis”, “erros máximos tolerados” ou “limites de erro” são utilizados onde há dois valores extremos.

NOTA 2 O termo “tolerância” não deve ser utilizado para designar erro máximo admissível.

3 TIPOS DE RÉGUAS GRADUADAS

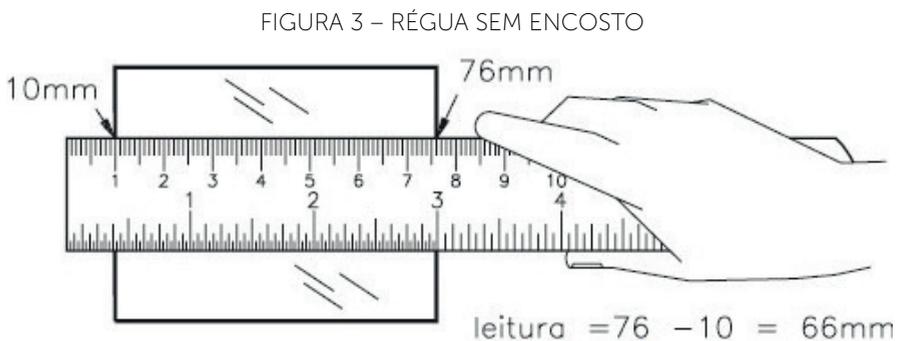
As réguas devem apresentar bom acabamento, com bordas retas e bem definidas, ser de preferência, de material rígido, em oficinas as mais indicadas são de aços inoxidáveis. Ter graduação nítida, com traços profundos, uniformes e que apresentem um contraste de cor bem definido.

Após o uso, deve ser removido todo o tipo de sujeira e devem ser acondicionadas em locais limpos e longe de umidade. Não devem ser guardadas junto com outras ferramentas, evitar choques e quedas. Recomenda-se aplicar uma leve camada de óleo antes de guardá-la. Deve-se evitar também flexionar a régua, pois isso pode deixá-la empenada ou até mesmo ocasionar a fratura.

De modo geral, as réguas foram sendo adaptadas, em virtude do tipo de função exigida para realizar a medida. Isso fez com que vários formatos de réguas fossem desenvolvidos. A seguir alguns exemplos dos tipos e usos das réguas.

- **Réguas sem encosto**

Para medições com réguas sem encosto de referência, deve-se assumir um traço de referência, ler o valor desta extremidade e deduzir o restante da outra extremidade. Conforme a Figura 3 a seguir.



FONTE: <https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm_source=telecurso-2000-metrologia-pdf>. Acesso em: 11 fev. 2019.

- **Réguas com encosto**

Réguas graduadas com encosto são muito utilizadas em medições de comprimento a partir de uma face externa, conforme é visto na figura a seguir.

FIGURA 4 – RÉGUA COM ENCOSTO

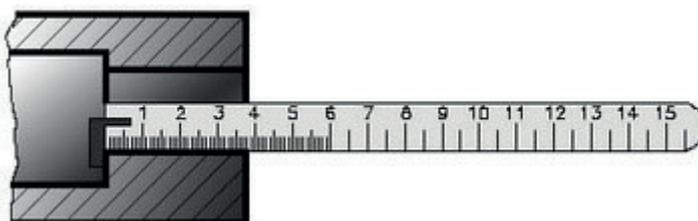


FONTE: <https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm_source=telecurso-2000-metrologia-pdf>. Acesso em: 11 fev. 2019.

- **Régua de encosto interno**

Esta régua graduada é muito utilizada em medições de faces internas de referências. Conforme exemplificado na figura a seguir.

FIGURA 5 – RÉGUA DE ENCOSTO INTERNO

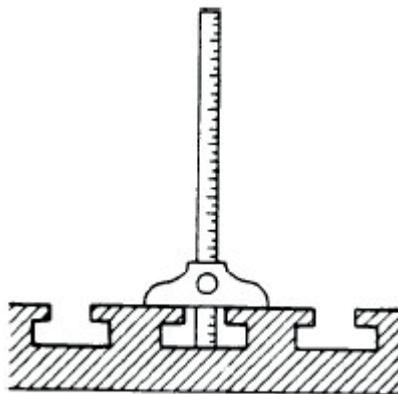


FONTE: <https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm_source=telecurso-2000-metrologia-pdf>. Acesso em: 11 fev. 2019.

- **Régua de profundidade**

Faz-se uso da régua de profundidade, quando há a necessidade de medir canais, rasgos ou rebaixos. Vide figura a seguir.

FIGURA 6 – RÉGUA DE PROFUNDIDADE



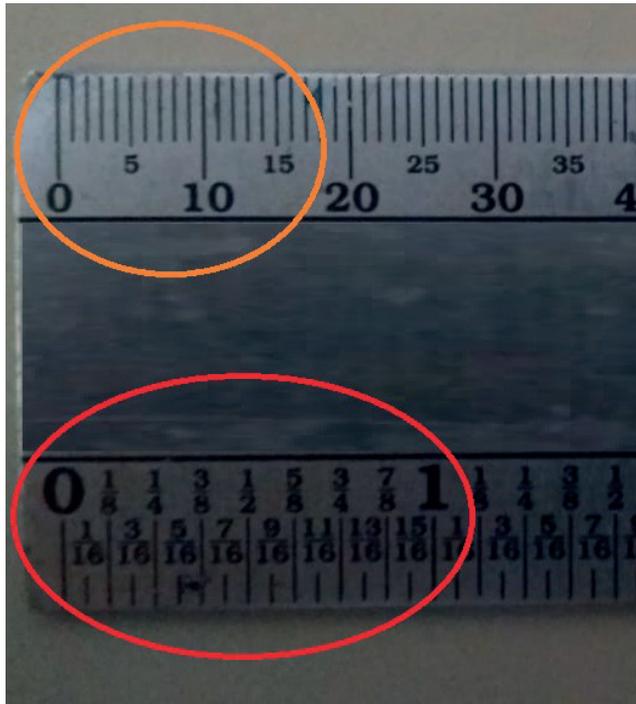
FONTE: <https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm_source=telecurso-2000-metrologia-pdf>. Acesso em: 11 fev. 2019.

4 LEITURA DA RÉGUA GRADUADA

Como já mencionado, a régua graduada é o sistema de medida linear mais simples existente. Geralmente, ela pode conter ao mesmo tempo dois sistemas de medidas: o métrico (milímetros ou centímetro) e; o inglês ordinário (polegadas).

Para realizar a medição, inicialmente, o aluno deve fazer coincidir o zero (0) do instrumento com uma das extremidades e a leitura é feita na outra extremidade, ver figura a seguir.

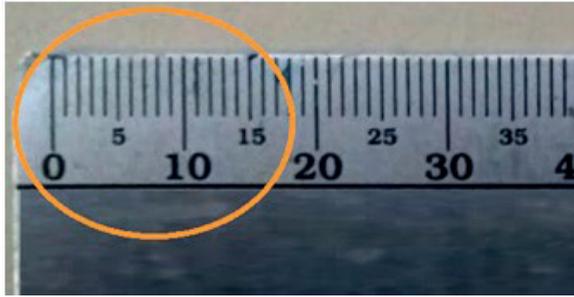
FIGURA 7 – SEGUIMENTO DA RÉGUA CONTENDO OS DOIS SISTEMAS DE MEDIDAS, O MÉTRICO E O INGLÊS ORDINÁRIO



FONTE: Os autores

O sistema métrico correspondente à elipse superior da Figura 8 é dividido da seguinte forma.

FIGURA 8 – ILUSTRAÇÃO DA RÉGUA GRADUADA NO SISTEMA MÉTRICO DECIMAL



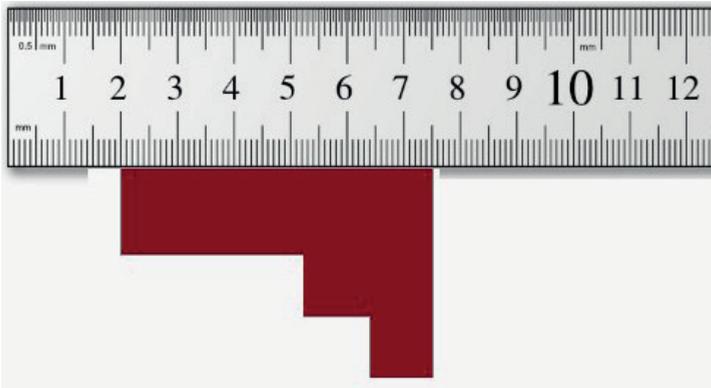
FONTE: Os autores

Como mostrado acima, cada centímetro na escala fica dividido em 10 partes iguais, ou seja, cada traço menor equivale a 1 mm, isso permite que a leitura da régua possa ser feita tanto em milímetro quanto em centímetro. Com isso, ao realizar uma medida e contar 40 traços, isso corresponde a 4 cm ou a 40 milímetros. Normalmente, as medidas na área da mecânica ou na área industrial são dadas em milímetros.

Nos dois exemplos a seguir, foi utilizada uma régua sem encosto. Para realização das medidas e com intuito de diminuir o erro, aconselha-se usar um traço de referência, tendo em vista a dificuldade de posicionar adequadamente o canto da régua no extremo da peça. Logo, neste caso, deve-se fazer o traço de referência coincidir com a extremidade da peça, enquanto que na outra extremidade é lido o valor final. Entretanto, como foi utilizado um traço de referência, ele deve ser deduzido do valor final.

Exemplo 1:

FIGURA 9 – MEDIÇÃO COM A RÉGUA GRADUADA EM MILÍMETROS

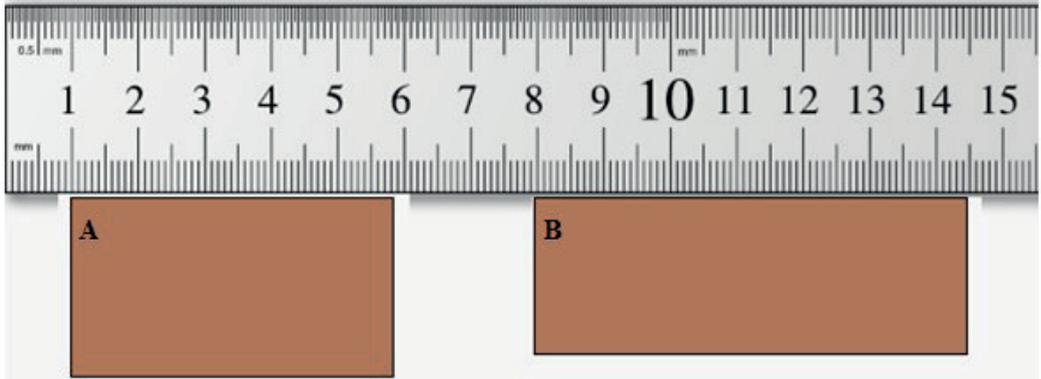


FONTE: Os autores

A régua utilizada foi sem encosto e o traço de referência foi de 2 mm. Logo, uma extremidade da peça está em 20 mm e a outra em 75 mm. Retirando o valor do traço de referência, implica que a peça tem o comprimento de 55 mm.

Exemplo 2:

FIGURA 10 – EXEMPLO UTILIZANDO A RÉGUA GRADUADA EM MILÍMETROS



FONTE: Os autores

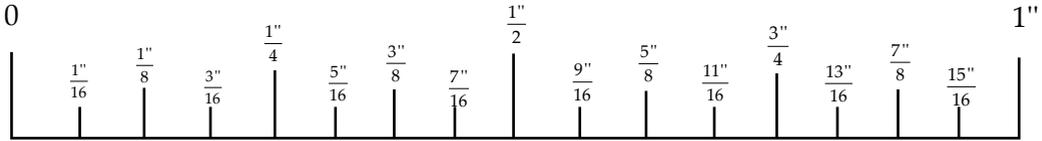
Mais uma vez, a régua utilizada foi sem encosto. Para a peça 'A' foi usado um traço de referência de 10 mm. Logo, uma extremidade da peça está em 10 mm e a outra em 58 mm. Retirando o valor do traço de referência, implica que a peça tem o comprimento de 48 mm.

Já para a peça 'B' o traço de referência usado foi de 80 mm. Com isso, uma extremidade foi posicionada na marcação de 80 mm e a outra extremidade coincidiu com 145 mm. Ao subtrair o traço de referência, resulta que o comprimento total da peça foi de 65 mm.

Já para o sistema de medida inglês ordinário correspondente à elipse inferior da Figura 11 é dividido da seguinte forma.

A polegada foi dividida em 2, 4, 8, 16, 32, 64 e 128 partes iguais. Contudo, em escalas mais precisas utilizam-se 16 e/ou 32 divisões por polegada. Note que todas as frações possuem o numerador ímpar. Isso ocorre em virtude de que, se o numerador for par, ocorrerá a simplificação da fração. Observe também que a forma correta de representar a medida de polegada é sempre utilizar após o valor da medida o sinal de (""). Geralmente, o menor valor encontrados nas escalas graduadas é de $\frac{1}{16}$ ". Essas subdivisões são conhecidas como polegadas fracionárias.

FIGURA 11 – ILUSTRAÇÃO DA RÉGUA GRADUADA NO SISTEMA INGLÊS ORDINÁRIO

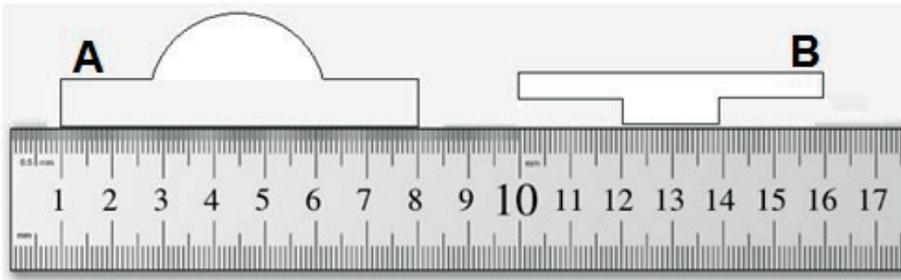


FONTES: Os autores

Algumas réguas, com o intuito de facilitar a leitura, faz a diferenciação das alturas dos traços. Para efetuar a leitura, deve-se posicionar a extremidade do material a ser medido no valor 0(zero) e depois observar em qual traço coincide a outra extremidade. Conforme é mostrado no exemplo da figura a seguir.

Exemplo 1.

FIGURA 12 – EXEMPLO UTILIZANDO A RÉGUA GRADUADA EM POLEGADA



FONTES: Os autores

Para a peça A, temos 8", entretanto a régua utilizada foi sem encosto, descontando a medida de referência, temos a medida real que equivale a 7". O mesmo raciocínio é utilizado para a peça B, então a medida real é de $1\frac{15}{16}$.

5 CONVERSÃO DE POLEGADA FRACIONÁRIA PARA MILÍMETROS

A conversão de polegada fracionária para milímetros corresponde converter do sistema inglês ordinário para o sistema métrico decimal. A princípio deve-se saber qual é a relação entre polegada e milímetro.

Como já mostrado na unidade anterior: 1(uma) polegada corresponde a 25,4 (vinte e cinco virgula quatro) milímetros. Logo, basta multiplicar qualquer valor em polegada por 25,4 que será correspondente a milímetros.

- Para polegada inteira para milímetro.

Exemplos:

$$1'' = 25,4 \text{ mm}$$

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

$$3'' = (3 \times 25,4) = 76,2 \text{ mm}$$

$$16'' = (16 \times 25,4) = 406,4 \text{ mm}$$

$$62'' = (62 \times 25,4) = 1574,8 \text{ mm}$$

$$150'' = (150 \times 25,4) = 3180 \text{ mm}$$

- Polegada fracionária para milímetro.

Exemplos:

$$\frac{1''}{2} = \left(\frac{1}{2} \times 25,4 \right) = \left(\frac{25,4}{2} \right) = 12,7 \text{ mm}$$

$$\frac{1''}{16} = \left(\frac{1}{16} \times 25,4 \right) = \left(\frac{25,4}{16} \right) = 1,5625 \text{ mm}$$

$$\frac{1''}{4} = \left(\frac{1}{4} \times 25,4 \right) = \left(\frac{25,4}{4} \right) = 6,35 \text{ mm}$$

$$\frac{11''}{16} = \left(\frac{11}{16} \times 25,4 \right) = \left(\frac{11 \times 25,4}{16} \right) = 17,4625 \text{ mm}$$

$$\frac{7''}{8} = \left(\frac{7}{8} \times 25,4 \right) = \left(\frac{7 \times 25,4}{8} \right) = 22,225 \text{ mm}$$

- Polegada fracionaria mistas para milímetros: consiste no somatório da polegada inteira com a polegada fracionaria.

Exemplos:

$$1 \frac{3''}{8} = (1 \times 25,4) + \left(\frac{3 \times 25,4}{8} \right) = 25,4 + 9,525 = 34,925 \text{ mm}$$

$$2 \frac{7''}{16} = (2 \times 25,4) + \left(\frac{7 \times 25,4}{16} \right) = 50,8 + 11,125 = 61,9125 \text{ mm}$$

$$5 \frac{7''}{8} = (5 \times 25,4) + \left(\frac{7 \times 25,4}{8} \right) = 127 + 22,225 = 149,255 \text{ mm}$$

$$7 \frac{1''}{16} = (7 \times 25,4) + \left(\frac{25,4}{16} \right) = 177,8 + 1,5625 = 179,3625 \text{ mm}$$

$$10 \frac{1''}{4} = (10 \times 25,4) + \left(\frac{25,4}{4} \right) = 254 + 6,35 = 230,35 \text{ mm}$$

6 CONVERSÃO DE MILÍMETROS PARA POLEGADA FRACIONÁRIA

Para converter milímetros para polegada fracionária, deve-se seguir os seguintes passos:

1º Passo.

Fazer a divisão pelo valor de correspondência.

$$6,35 \text{ mm} = \frac{6,35}{25,4} = 0,25''$$

O resultado encontra-se em polegada, entretanto, não é muito utilizado no meio industrial e na mecânica.

2º Passo.

Sabendo que a menor fração da polegada é $\frac{1''}{128}$, deve-se multiplicar o resultado obtido anteriormente, por 128 (sem dividir por 128) e depois simplificar o resultado. Caso o valor multiplicado não der um valor inteiro, deve-se arredondar ao valor inteiro mais próximo.

$$6,35 \text{ mm} = \frac{6,35}{25,4} = 0,25'' \rightarrow 0,25'' \times \frac{128}{128} = \frac{32}{128} \rightarrow \frac{16}{64} \rightarrow \frac{8}{32} \rightarrow \frac{4}{16} \rightarrow \frac{2}{8} \rightarrow \frac{1''}{4}$$

Como síntese, segue a seguinte equação para converter milímetros em polegada.

$$\text{Valor em mm} = \frac{\left(\frac{\text{valor em mm}}{25,4} \right) * 128}{128}$$

Exemplos:

$$4,678\text{mm} = \frac{4,678}{25,4} = 0,18417 \rightarrow 0,18417x \frac{128}{128} = \frac{23,57}{128} \cong \frac{24}{128} \rightarrow \frac{12}{64} \rightarrow \frac{6}{32} \rightarrow \frac{3}{16}$$

$$9,613\text{mm} = \frac{9,6}{25,4} = 0,37846 \rightarrow 0,37846x \frac{128}{128} = \frac{48,44}{128} \cong \frac{48}{128} \rightarrow \frac{24}{64} \rightarrow \frac{12}{32} \rightarrow \frac{6}{16} \rightarrow \frac{3}{8}$$

$$14,3\text{mm} = \frac{14,3}{25,4} = 0,56555 \rightarrow 0,56555x \frac{128}{128} = \frac{72,39}{128} \cong \frac{72}{128} \rightarrow \frac{36}{64} \rightarrow \frac{18}{32} \rightarrow \frac{9}{16}$$

$$51,5\text{mm} = \frac{51,5}{25,4} = 2,02755 \rightarrow 0,02755x \frac{128}{128} = \frac{3,527}{128} \cong \frac{4}{128} \rightarrow \frac{2}{64} \rightarrow \frac{1}{32} \rightarrow 2 \frac{1}{32}$$

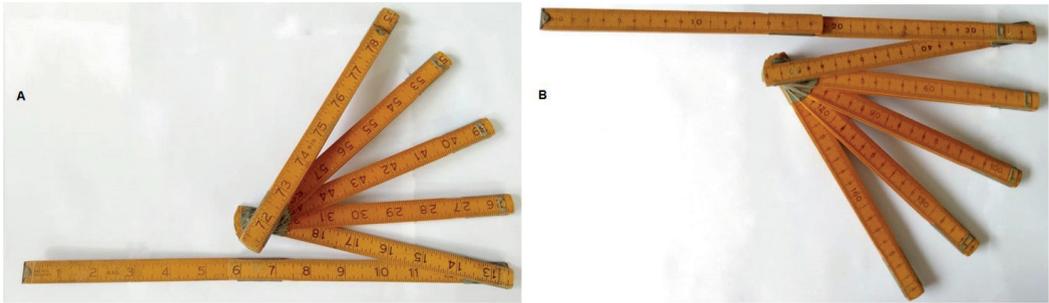
$$69,9\text{mm} = \frac{69,9}{25,4} = 2,75196 \rightarrow 0,75196x \frac{128}{128} = \frac{96,25}{128} \cong \frac{96}{128} \rightarrow \frac{48}{64} \rightarrow \frac{24}{32} \rightarrow \frac{12}{16} \rightarrow \frac{6}{8} \rightarrow \frac{3}{4} \rightarrow 2 \frac{3}{4}$$

7 METRO ARTICULADO

O metro articulado é uma ferramenta bastante utilizada para medições lineares. Muito empregado em obras relacionadas à construção civil, em marcenarias, carpintarias, entre outros locais. Pode ser encontrado de madeira, alumínio ou até mesmo fibra. Geralmente, seu comprimento varia entre 2 e 3 metros.

O metro articulado é fabricado em segmentos, de maneira a permitir a dobra das articulações para facilitar a realização das medidas. Cada segmento, geralmente, possui entre 100 e 200 mm de comprimento. Podem-se encontrar metros articulados em duas escalas: polegada fracionária e milímetros, vide figura a seguir. Normalmente, em uma das faces, encontra-se a escala em milímetros enquanto que na outra a escala em polegadas. Como a precisão das medidas do metro articulado encontra-se nos limites de 1 mm, ele não é muito utilizado na indústria metal/mecânica, uma vez que não apresenta muita precisão.

FIGURA 13 – METRO ARTICULADO: (A) ESCALA EM POLEGADAS E; (B) ESCALA EM MILÍMETROS



FONTE: Os autores

De modo a conservar o instrumento, recomenda-se guardá-lo em locais secos e longe de umidade. Deve-se abrir o metro articulado com cuidado e de maneira correta, para não danificar as articulações. Aconselha-se lubrificar as articulações. Evitar choque e quedas.

O metro articulado segue os mesmos princípios de medição da régua graduada. Por isso, para efetuar uma medida, deve-se coincidir o zero da escala, ou seja, o zero do instrumento, na extremidade do local ou peça a ser medida, na outra extremidade, é realizada a leitura da dimensão da peça correspondente ao traço da escala.

O metro articulado por ser utilizado para medir roscas, comprimentos de tubulações, diâmetros de conexões, madeiras, entre outras utilidades. A seguir alguns exemplos de medição usando o metro articulado.

Exemplo 1: a figura a seguir refere-se à medição do diâmetro de uma conexão.

FIGURA 14 – MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DE UMA CONEXÃO



FONTE: Os autores

Logo, o diâmetro interno da conexão é de $1\frac{15}{16}$ (uma polegada e três oitavos de polegada).

Exemplo 2:

A figura a seguir trata da medição em milímetros utilizando o metro articulado da largura de um tronco de madeira.

FIGURA 15 – MEDIÇÃO DA LARGURA DE TRONCO DE MADEIRA



FONTE: Os autores

Logo, a largura da madeira é de 51 mm.

8 TRENA

A trena é um instrumento de medida linear e em curvas. Geralmente, é constituída de uma fita de aço ou de tecido graduada acoplada a um invólucro, para o seu recolhimento. As trenas mais comuns são graduadas no sistema métrico decimal e no inglês ordinário. Algumas trenas possuem escalas em centímetros, milímetros, polegadas e em pés, vide figura a seguir:

FIGURA 16 – SEGMENTO DA FITA DA TRENA COM AS ESCALA EM POLEGADA, MILÍMETRO E PÉ



FONTE: Os autores

Para facilitar a medição, sobretudo quando estiver sozinho, as trenas possuem uma chapa de metal em ângulo de 90° na ponta, para fixação na superfície ou na peça, conforme Figura 17. Essa chapa metálica é referenciada na literatura como encosto de referência ou zero absoluto. Em algumas trenas, essa chapa metálica possui uma folga. Essa folga é necessária em virtude da espessura da chapa e tem a finalidade de se ajustar nas peças a ser medida, consequentemente minimizando os erros.

FIGURA 17 – CHAPA METÁLICA



FONTE: Os autores

Por ser um instrumento de medida muito versátil, a trena é muito utilizada para medir distâncias, diâmetros de tubos, comprimentos de peças. Ela pode ser encontrada com comprimentos variando entre 1 a 1000 metros. É um instrumento muito utilizado na área da construção civil, marcenarias, serralherias, análises topográficas, entre outras áreas. Entretanto, deve-se tomar algumas precauções para evitar os erros de medidas e de leitura com a trena. A trena deve estar bem posicionada e paralela à peça ou superfície a ser medida, evitando o deslinhamento e o desnível em relação à peça. A seguir um exemplo de medição usando a trena.

Exemplo 1. Com o auxílio da trena, o exemplo a seguir retrata a medição do comprimento de um tronco de madeira.

FIGURA 18 – MEDIÇÃO DO TRONCO COM AUXÍLIO DA TRENA



FONTE: Os autores

Neste exemplo, podem ser observadas três escalas de medidas, pé, polegadas e milímetros. Note que a chapinha de aço está bem fixa na extremidade da peça, sendo assim utilizada como encosto de referência. Logo, as medições nas escalas mais usadas são: $12\frac{1}{2}$ e; 316 mm.



RESUMO DO TÓPICO 2

Neste tópico você aprendeu que:

- Existem instrumentos de medidas lineares, como por exemplo, a régua graduada e trena.
- É possível realizar medições e leitura nas escalas métricas: decimal e polegada.
- Em algumas circunstâncias serão necessárias realizar transformações de unidades envolvendo as escalas: em milímetro e polegada.



1 Converta os valores em polegadas para milímetros.

$$7'' =$$

$$12'' =$$

$$55'' =$$

$$78'' =$$

$$85'' =$$

2 Converta os valores de polegadas fracionárias para milímetros.

$$\frac{15''}{16} =$$

$$\frac{9''}{16} =$$

$$\frac{7''}{8} =$$

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

$$\frac{3''}{8} =$$

3 Converta os valores de polegada fracionária mista para milímetros.

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

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

$$3\frac{15''}{16} =$$

$$6\frac{13''}{16} =$$

$$1\frac{1}{4} =$$

4 Converta os valores de milímetros para polegadas.

58,5 mm = "

27,7 mm = "

18 mm = "

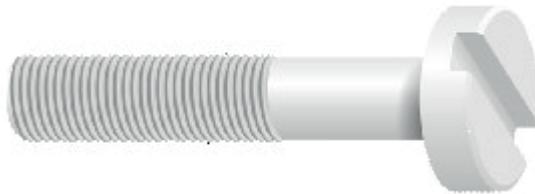
61,1 mm = "

87 mm = "

5 Faça a leitura das dimensões das peças a seguir, utilizando uma régua graduada e indique o valor em milímetros e em polegadas.

a) Meça o comprimento da rosca do parafuso.

FIGURA 19 – PARAFUSO



FONTE: <<https://pixabay.com/pt/vectors/porca-parafuso-met%C3%A1licos-metal-161213/>>.
Acesso em: 18 mar. 2019.

b) Meça o diâmetro da esfera.

FIGURA 20 – ESFERA



FONTE: <<https://pixabay.com/pt/vectors/bola-bilhar-black-metal-met%C3%A1licos-156742/>>.
Acesso em: 18 mar. 2019.

c) Dê os valores das letras do desenho a seguir.

a) _____

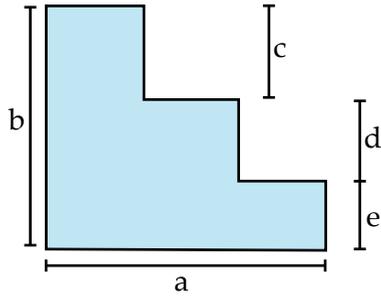
b) _____

c) _____

d) _____

e) _____

FIGURA 21 – DESENHO ILUSTRATIVO



FONTE: Os autores

PAQUÍMETRO

1 INTRODUÇÃO

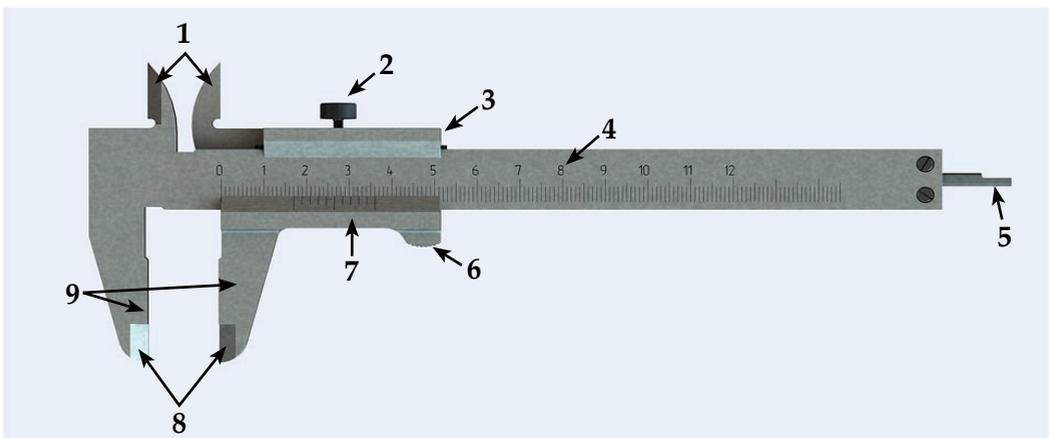
Os paquímetros são instrumentos utilizados com a finalidade de realizar medições lineares e precisas. No estudo da metrologia, conhecer esse instrumento é de suma importância, uma vez que ele permite realizar a medição de diversos objetos, repetidas vezes. A seguir aprenderemos as principais funções do paquímetro, bem como a utilizá-lo.

2 O INSTRUMENTO DE MEDIDA

O paquímetro, algumas vezes também conhecido como calibre, é um instrumento de medida graduado muito utilizado para medir dimensões lineares em oficinas e laboratórios. Existem vários tipos que se adequam a medição a que se destinam, sejam elas medidas internas, externas, de profundidades etc.

Esse instrumento é geralmente fabricado em aço inoxidável temperado e possui as superfícies polidas e planas, conforme a Figura 22. A escala pode ser graduada em milímetros ou polegadas, e em alguns equipamentos há as duas escalas. A calibração das graduações é referente à temperatura de 20 °C, dessa forma, deve-se ter o cuidado de realizar as medições em ambientes laboratoriais climatizados para evitar erros associados à dilatação térmica.

FIGURA 22 – PAQUÍMETRO COM INDICAÇÃO DAS PRINCIPAIS PARTES



FONTE: Adaptado de: <<https://pixabay.com/pt/paqu%C3%ADmetro-instrumento-medid%C3%A7%C3%A3o-1121805/>>. Acesse em: 11 fev. 2019.

As principais partes indicadas pelos números de 1 a 9 são correspondentes à(a):

- 1 – orelha fixa e móvel
- 2 – parafuso da trava
- 3 – cursor
- 4 – escala fixa
- 5 – haste de profundidade
- 6 – impulsor
- 7 – Nônio ou Vernier
- 8 – bico fixo e móvel
- 9 – encosto fixo e móvel

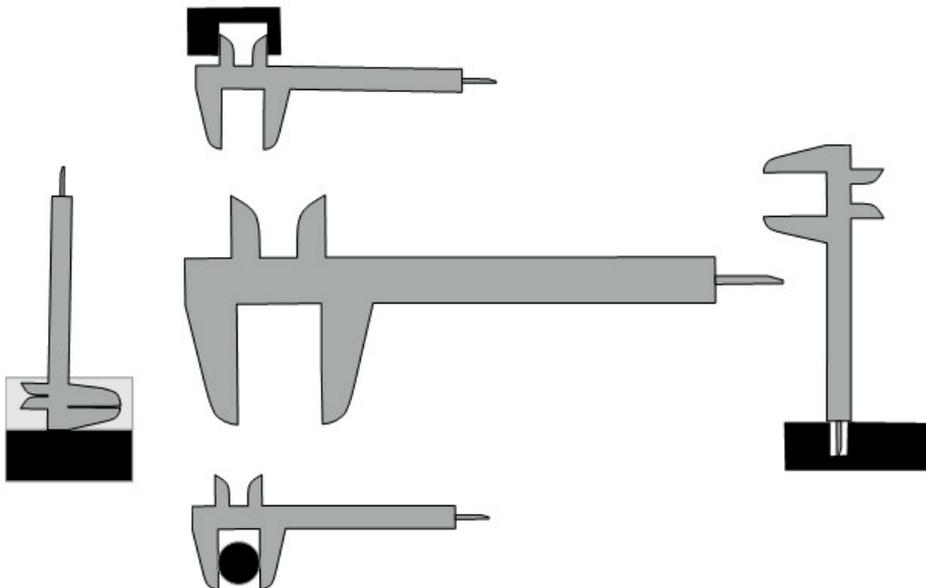
O modo de utilização do paquímetro consiste em uma régua graduada, com encosto fixo, sobre a qual desliza um cursor que apresenta uma pequena escala, chamada de Nônio ou Vernier, que se desloca em frente às escalas da régua e indica o valor da dimensão do objeto medido.

Existem vários tipos de paquímetros que se adéquam à necessidade da medida a ser realizada. A seguir conheceremos os principais tipos.

- Paquímetro universal

O paquímetro universal é o tipo mais comumente encontrado em laboratórios, pois ele permite realizar medições internas, de ressaltos, externas e de profundidades, conforme a figura a seguir.

FIGURA 23 – PAQUÍMETRO UNIVERSAL COM AS DIFERENTES FORMAS DE REALIZAR MEDIÇÕES



FONTE: Adaptado de: <<https://pixabay.com/pt/paqu%C3%ADmetro-%C3%ADcone-medi%C3%A7%C3%A3o-ferramenta-1294817/>>. Acesso em: 11 fev. 2019.

- Paquímetro universal digital

Esse instrumento permite realizar as leituras das medições de forma mais rápida, evitando possíveis erros de leitura.

FIGURA 24 – PAQUÍMETRO UNIVERSAL DIGITAL

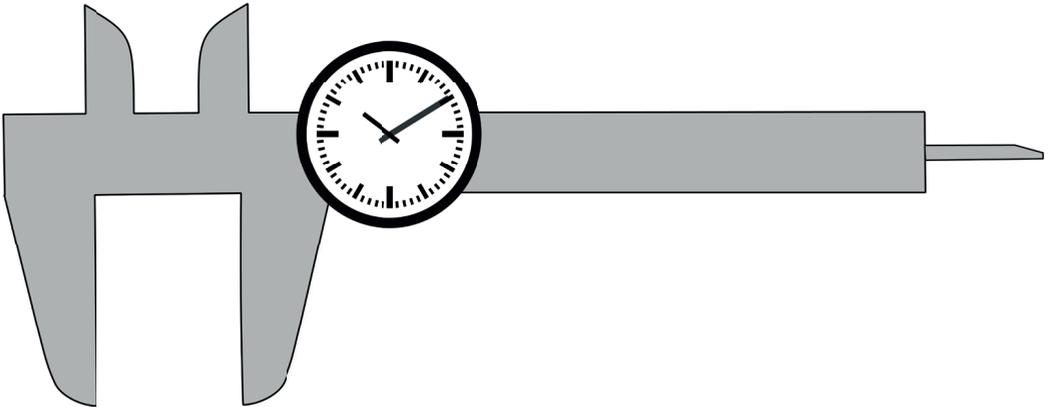


FONTE: Os autores

- Paquímetro universal com relógio

Esse tipo de paquímetro também facilita a leitura das medições, uma vez que o relógio é acoplado ao cursor, conforme a figura a seguir.

FIGURA 25 – PAQUÍMETRO UNIVERSAL COM RELÓGIO

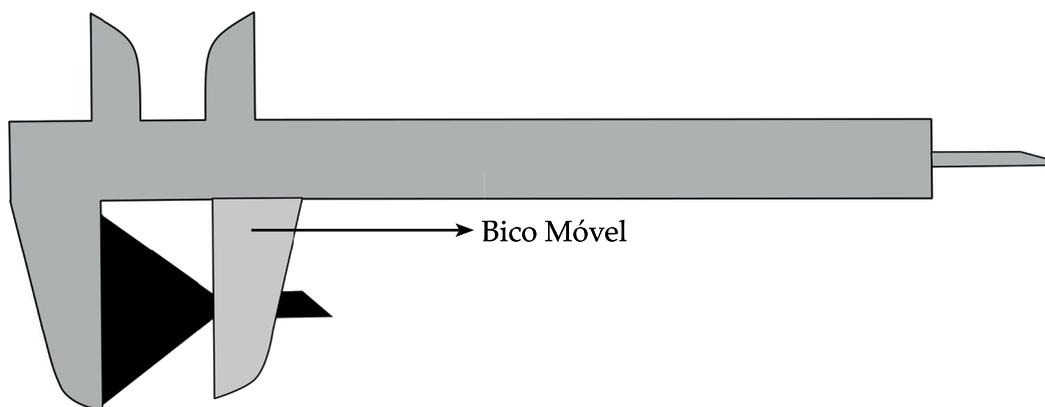


FONTE: Adaptado de: <<https://pixabay.com/pt/paqu%C3%ADmetro-%C3%ADcone-medi%C3%A7%C3%A3o-ferramenta-1294817/>> e <<https://pixabay.com/pt/rel%C3%B3gio-tempo-de-horas-minuto-295201/>>. Acesso em: 11 fev. 2019.

- Paquímetro com bico móvel

Utilizado para medir objetos com rebaixos de diâmetro diferentes ou peças cônicas.

FIGURA 26 – PAQUÍMETRO COM BICO MÓVEL



FONTE: Adaptado de: <<https://pixabay.com/pt/paqu%C3%ADmetro-%C3%ADcone-medi%C3%A7%C3%A3o-ferramenta-1294817/>> e <<https://pixabay.com/pt/funil-blue-cone-de-cifra-309721/>>. Acesso em: 11 fev. 2019.

- Paquímetro de profundidade

Empregado em medidas de profundidade de rebaxos, rasgos, côncavos etc. Esse tipo de paquímetro pode apresentar haste simples ou com gancho.

FIGURA 27 – PAQUÍMETRO DE PROFUNDIDADE COM A HASTE SIMPLES



FONTE: Os autores

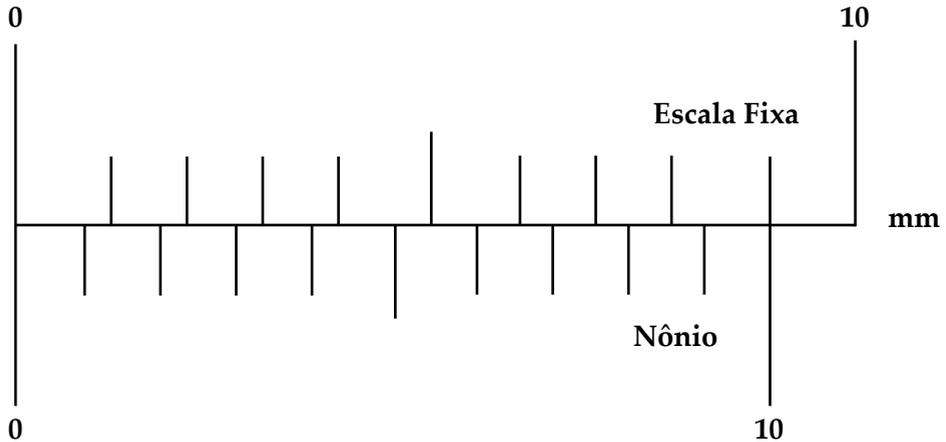
3 PRINCÍPIO DO NÔNIO

A escala de Nônio ou Vernier, referente ao cursor móvel, tem a característica de aumentar a resolução da leitura da medida. As divisões do Nônio possuem dimensões diferentes daquelas da régua principal, porém se relacionam.

A diferença observada na nomenclatura, Nônio ou Vernier, refere-se ao reconhecimento da atribuição da invenção, Pedro Nunes ou Pierre Vernier, respectivamente, porém em nossos estudos a nomenclatura mais usual será Nônio.

O princípio de Nônio consiste na divisão de um determinado valor na escala graduada principal por um número de divisões de uma escala graduada móvel, conforme a figura a seguir.

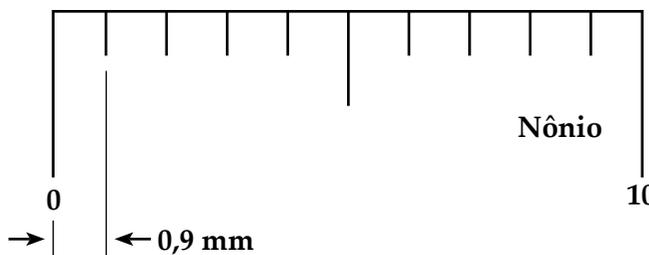
FIGURA 28 – ESCALA FIXA E ESCALA DE NÔNIO



FONTE: Os autores

Como pode ser observado na figura acima, o comprimento total do Nônio é igual a 9 mm, logo cada intervalo da divisão da escala móvel corresponde a 0,9 mm, figura a seguir.

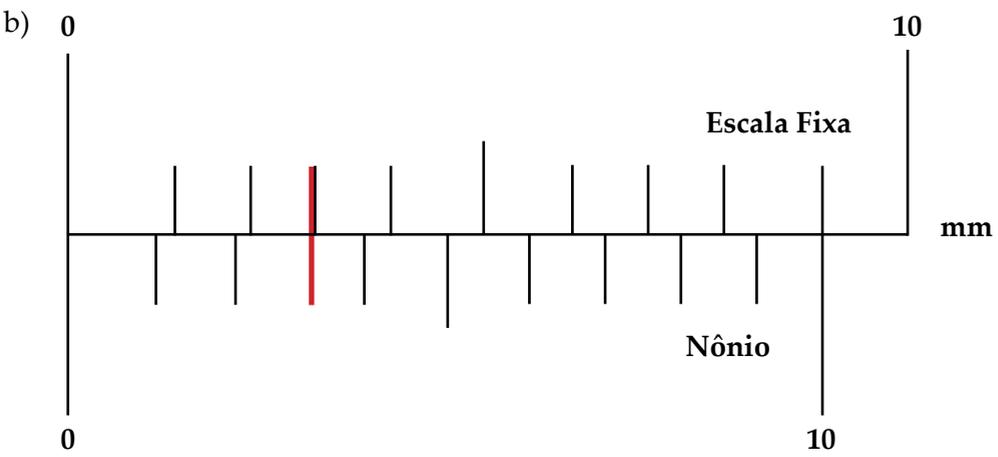
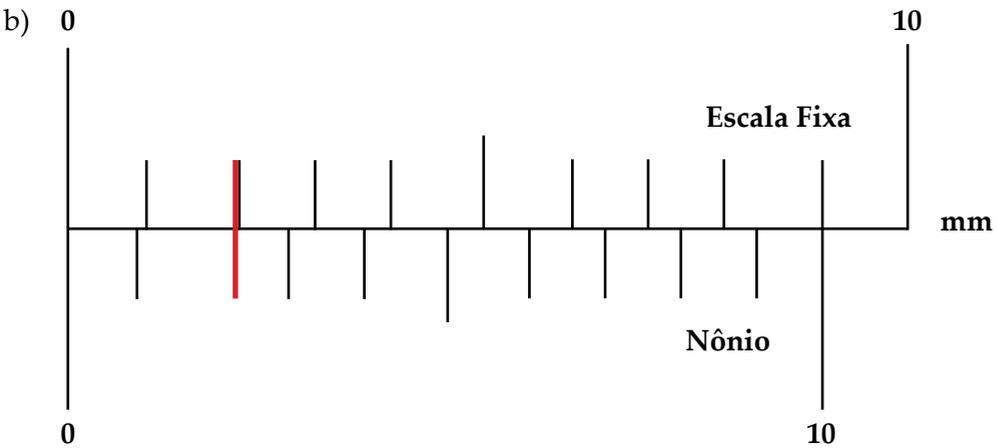
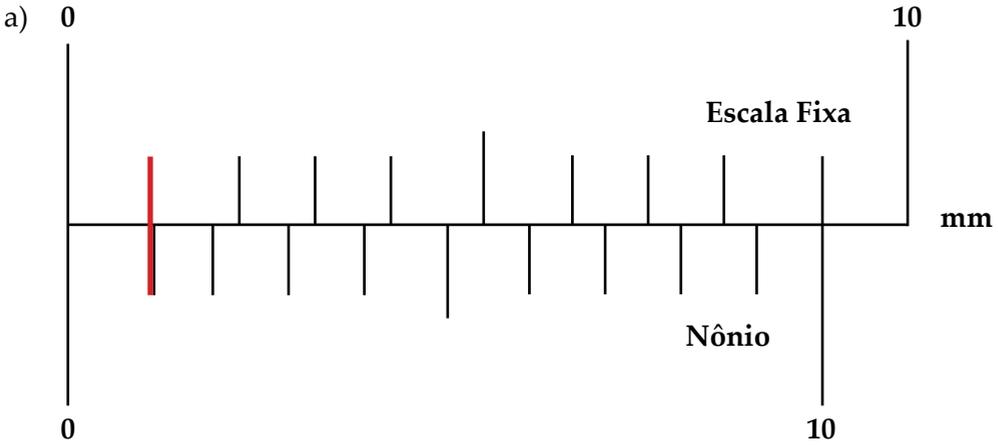
FIGURA 29 – ESCALA DE NÔNIO



FONTE: Os autores

Conseqüentemente, a diferença entre uma divisão da escala fixa em relação a uma divisão do Nônio, é de 0,1 mm, sendo essa a aproximação máxima fornecida pelo equipamento. Portanto, se ao realizar uma medida o primeiro traço do Nônio coincidir com a escala fixa, o paquímetro estará aberto 0,1 mm. Coincidindo com o segundo traço, o paquímetro está aberto 0,2 mm, e assim sucessivamente, como pode ser observado na figura a seguir.

FIGURA 30 – ESCALA DO PAQUÍMETRO COM ABERTURA DE (A) 0,1 MM (B) 0,2 MM E (C) 0,3 MM



FONTE: Os autores

Outro ponto muito importante para conseguir realizar a leitura do paquímetro é a resolução do equipamento. A resolução refere-se à menor medida que o equipamento é capaz de fornecer com precisão. Para determinar essa resolução, é necessário realizar o seguinte cálculo:

$$R = \frac{UEF}{n_x}$$

Onde:

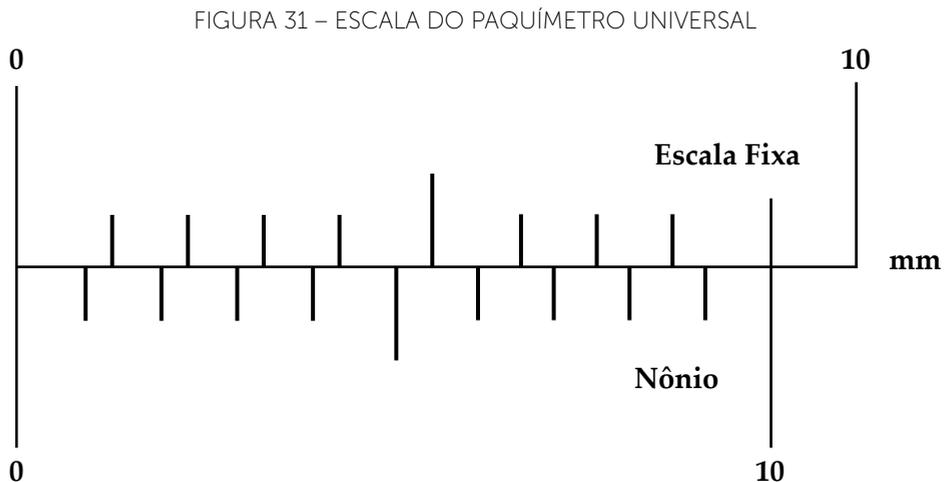
R = Resolução.

UEF = Unidade da escala fixa.

n_x = Número de divisões do nônio.

- Exemplo

Calcule a resolução do paquímetro universal com as seguintes escalas representadas nas Figuras 31 e 32:

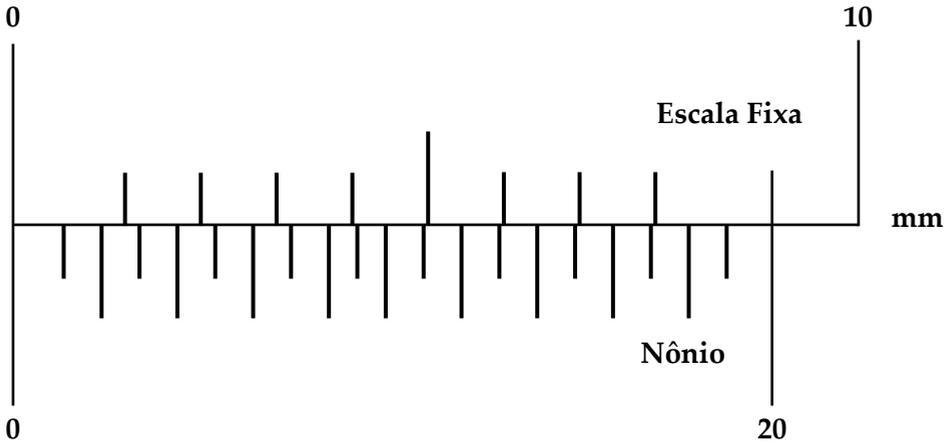


FONTES: Os autores

$$UEF = 1 \text{ mm} \quad n_x = 10 \quad R = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ mm}$$

Ou seja, a resolução do paquímetro é 0,1 mm.

FIGURA 32 – ESCALA DO PAQUÍMETRO UNIVERSAL



FONTE: Os autores

$$UEF = 1 \text{ mm}$$

$$n_x = 20$$

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

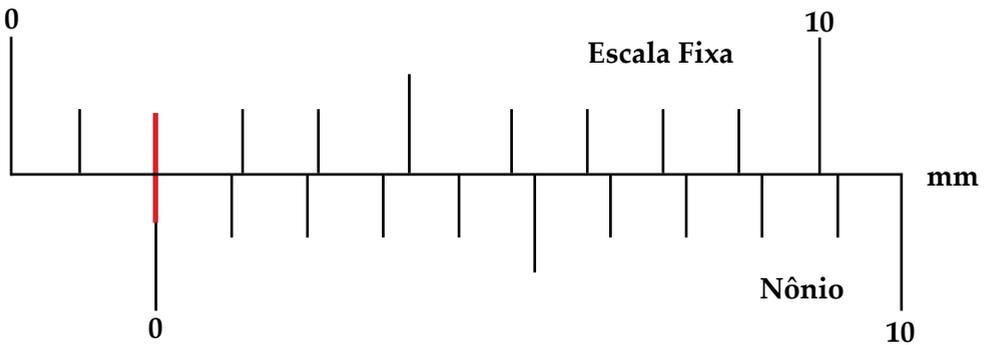
Ou seja, a resolução do paquímetro é 0,05 mm.

4 LEITURA DAS MEDIDAS NO SISTEMA MÉTRICO DECIMAL

O processo para realizar a leitura no sistema métrico decimal é realizado conforme podemos observar nos exemplos a seguir:

- Se o zero da escala do Nônio for coincidente com algum traço da escala fixa, basta fazer a leitura direta na escala fixa.

FIGURA 33 – ZERO DO NÔNIO COINCIDENTE AO TRAÇO DA ESCALA FIXA

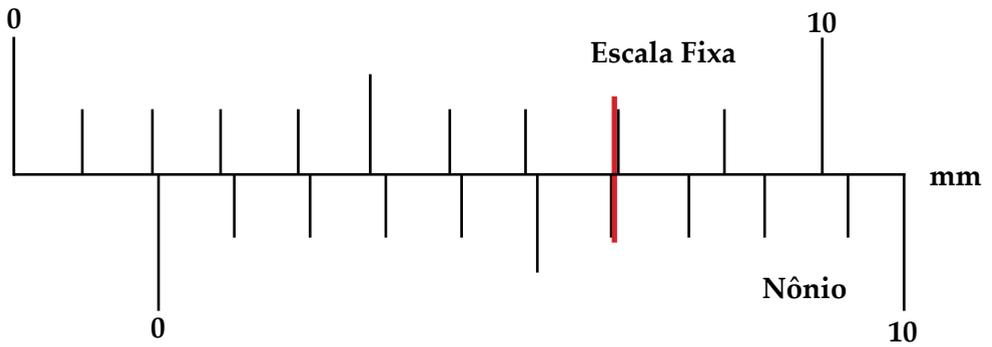


FONTE: Os autores

Leitura final: 2 mm

- Se o zero da escala do Nônio não for coincidente com algum traço da escala fixa, devem-se somar as duas escalas, fixa e Nônio, para realizar a leitura de forma correta (Figuras 34 e 35).

FIGURA 34 – ZERO DO NÔNIO NÃO COINCIDENTE AO TRAÇO DA ESCALA FIXA



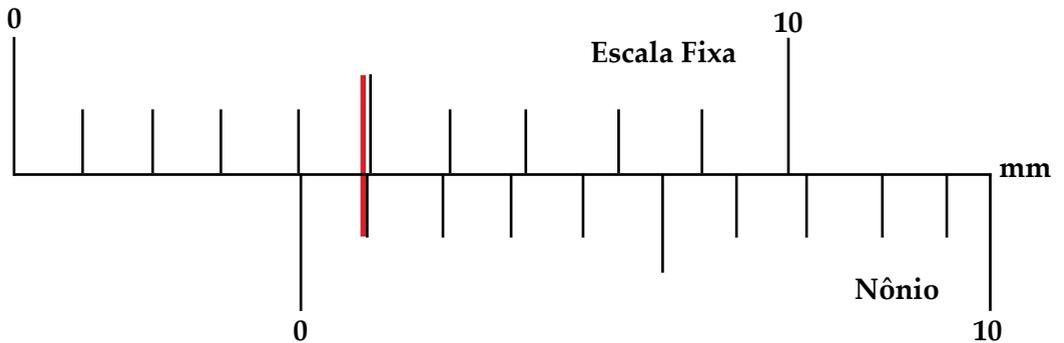
FONTE: Os autores

Escala fixa: 2 mm

Nônio: 0,6 mm

Leitura final: $2 + 0,6 = 2,6$ mm

FIGURA 35 – ZERO DO NÔNIO NÃO COINCIDENTE AO TRAÇO DA ESCALA FIXA



FONTE: Os autores

Escala fixa: 34 mm

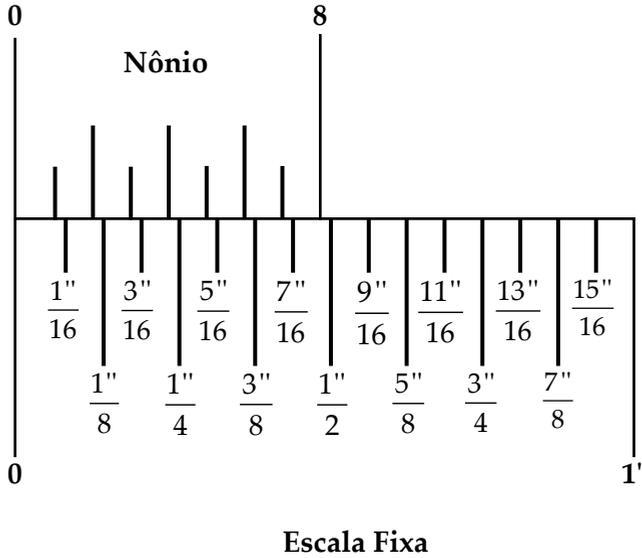
Nônio: 0,1 mm

Leitura final: $34 + 0,1 = 34,1$ mm

5 PAQUÍMETRO DO SISTEMA INGLÊS ORDINÁRIO

Já os paquímetros graduados no sistema inglês ordinário possuem escala em polegadas, conforme a figura a seguir.

FIGURA 36 – ESCALA DO PAQUÍMETRO NO SISTEMA INGLÊS ORDINÁRIO



Escala Fixa

FONTE: Os autores

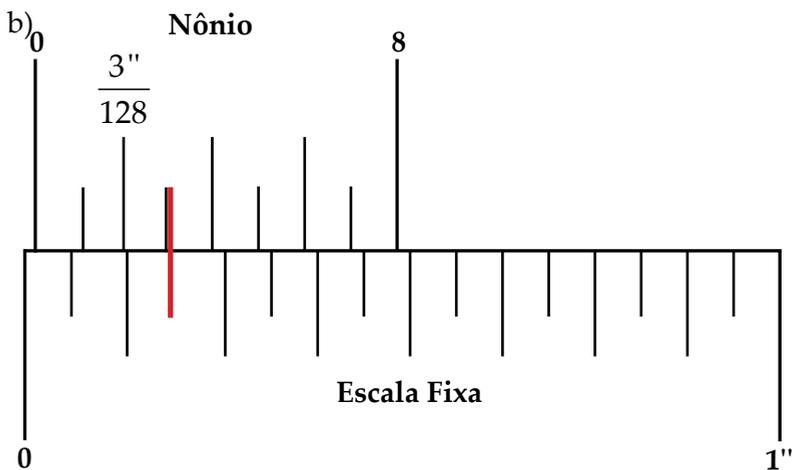
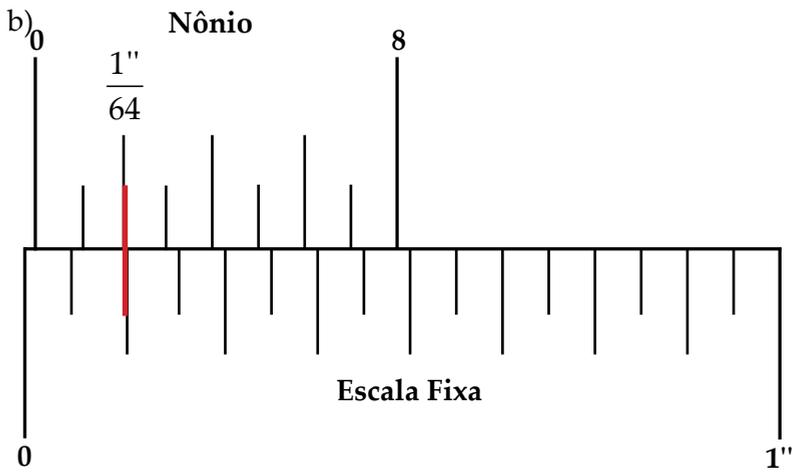
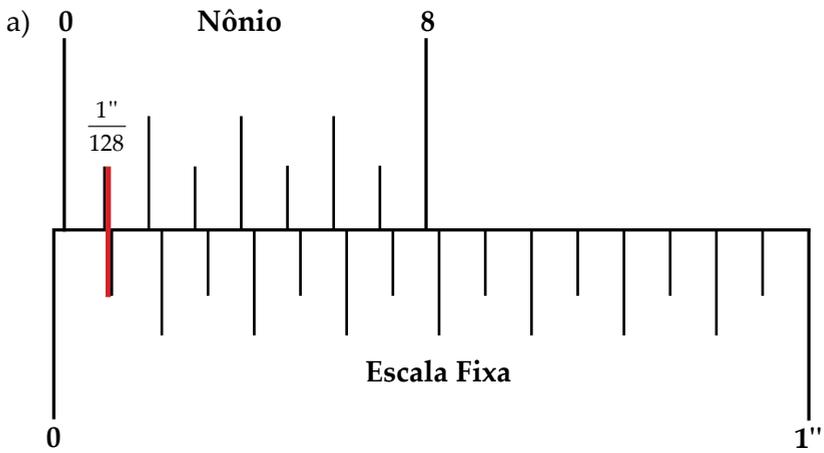
Como observado, a escala fixa é dividida em 16 partes, ou seja, cada traço da escala corresponde a $\frac{1''}{16}$. Já o Nônio apresenta 8 divisões, logo a resolução do paquímetro pode ser calculada como a seguir:

$$UEF = \frac{1''}{n_x = 8 \cdot 16} \quad R = \frac{1''}{8} = \frac{1''}{128}$$

Ou seja, a resolução desse tipo de paquímetro é $\frac{1''}{128}$.

Portanto, se ao realizar uma medida, se o primeiro traço do Nônio coincidir com a escala fixa, o paquímetro estará $\frac{1''}{128}$ aberto. Coincidindo com o segundo traço o paquímetro estará aberto $\frac{1''}{64}$ e assim sucessivamente, como pode ser observado na Figura 37.

FIGURA 37 – ESCALA DO PAQUÍMETRO COM ABERTURA DE (a) $\frac{1''}{128}$ (b) $\frac{1''}{64}$ e (c) $\frac{3''}{128}$



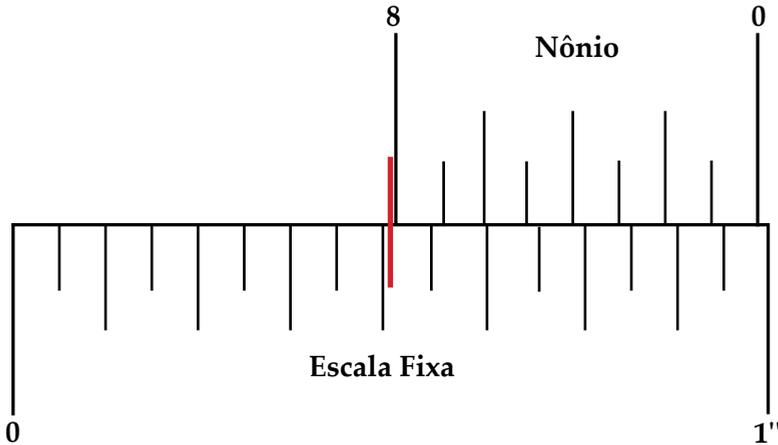
FONTE: Os autores

6 LEITURA DAS MEDIDAS NO SISTEMA INGLÊS ORDINÁRIO

O processo para fazer a leitura das medidas segue o mesmo princípio do sistema métrico, conforme podemos observar nos exemplos a seguir:

- Se o zero da escala do Nônio for coincidente com algum traço da escala fixa, basta fazer a leitura direta na escala fixa (Figura 38).

FIGURA 38 – ZERO DO NÔNIO COINCIDENTE AO TRAÇO DA ESCALA FIXA

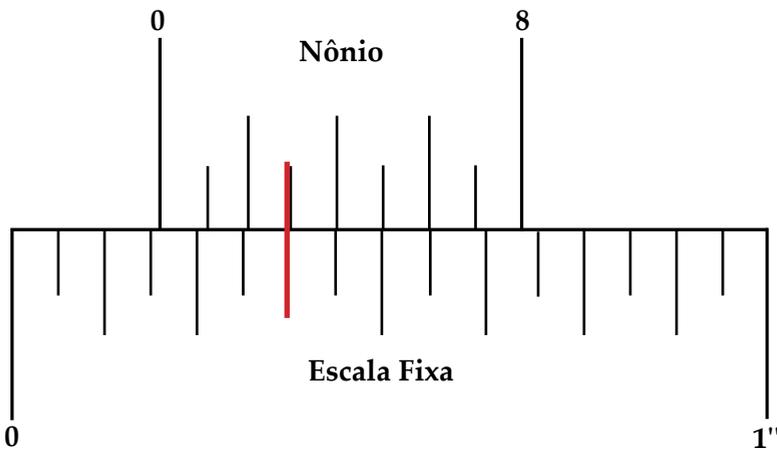


FORNTE: Os autores

Leitura Final: $\frac{7''}{16}$

Nas situações em que o zero do Nônio não coincidir com algum traço da escala fixa, deve-se somar as duas escalas para realizar a leitura de forma correta (Figuras 39 e 40).

FIGURA 39 – ZERO DO NÔNIO NÃO COINCIDENTE AO TRAÇO DA ESCALA FIXA



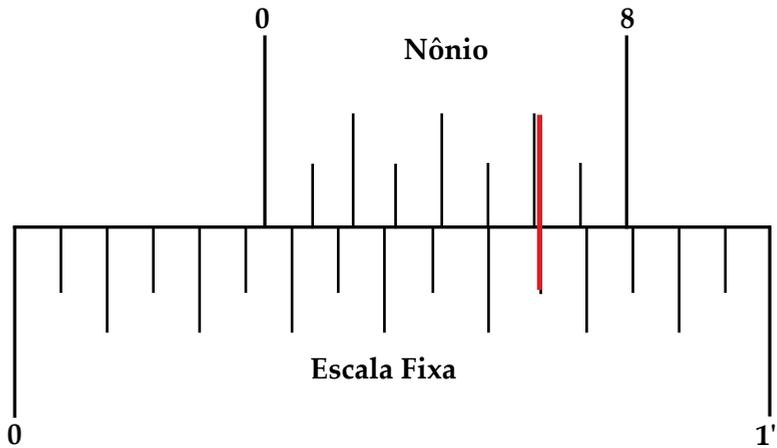
FORNTE: Os autores

$$\text{Escala fixa: } \frac{3''}{16}$$

$$\text{Nônio: } \frac{3''}{128}$$

$$\text{Leitura final: } \frac{3''}{16} + \frac{3''}{128} = \frac{27''}{128}$$

FIGURA 40 – ZERO DO NÔNIO NÃO COINCIDENTE AO TRAÇO DA ESCALA FIXA



FONTE: Os autores

$$\text{Escala fixa: } \frac{5''}{16}$$

$$\text{Nônio: } \frac{6''}{128}$$

$$\text{Leitura final: } \frac{5''}{16} + \frac{6''}{128} = \frac{46''}{128} = \frac{23''}{64}$$

Porém na prática laboratorial ou de oficinas pode ser um pouco mais trabalhoso realizar soma de frações, e para essas situações adotaremos um processo simplificado para realizar as leituras.

- 1º Multiplica-se o número de traços ultrapassados pelo zero do Nônio pelo último algarismo do denominador da medida do Nônio.
- 2º O resultado da multiplicação soma-se com o numerador da medida do Nônio.
- 3º O denominador da medida do Nônio é mantido no resultado da leitura.

Assim, podemos resumir o passo a passo anterior a seguinte equação:

$$\frac{(TxUAD)+N}{D}$$

Onde:

T = Número de traços ultrapassados pelo zero do Nônio.

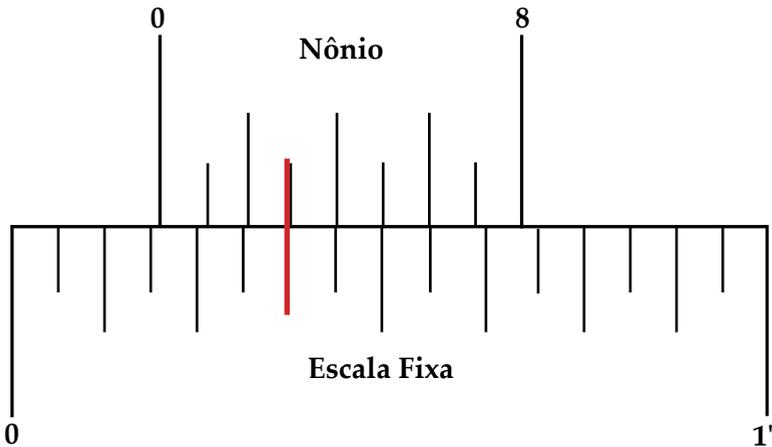
UAD = Último algarismo do denominador da medida do Nônio.

N = Numerador da medida do Nônio.

D = Denominador da medida do Nônio.

Nas Figuras 41 e 42 são apresentados alguns exemplos.

FIGURA 41 – ZERO DO NÔNIO NÃO COINCIDENTE AO TRAÇO DA ESCALA FIXA



FONTE: Os autores

T = 3

$$\text{Medida do Nônio} = \frac{3''}{128}$$

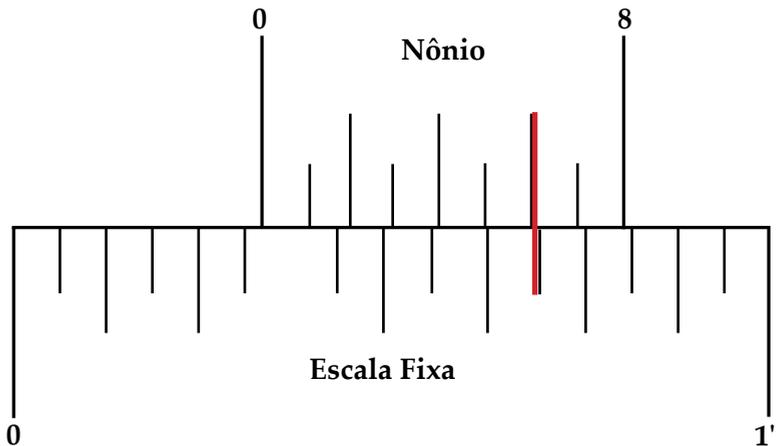
UAD = 8

N = 3

D = 128

$$\text{Logo a leitura final é: } \frac{(3 \times 8) + 3}{128} = \frac{27}{128}$$

FIGURA 42 – ZERO DO NÔNIO NÃO COINCIDENTE AO TRAÇO DA ESCALA FIXA



FONTE: Os autores

$$T = 5$$

$$\text{Medida do Nônio} = \frac{6''}{128}$$

$$UAD = 8$$

$$N = 6$$

$$D = 128$$

$$\text{Logo a leitura final é: } \frac{(5 \times 8) + 6}{128} = \frac{46}{128} = \frac{23}{64}$$

7 TÉCNICAS DE UTILIZAÇÃO

É de extrema importância saber como realizar as medições de forma correta com o uso do paquímetro para evitar medições inadequadas.

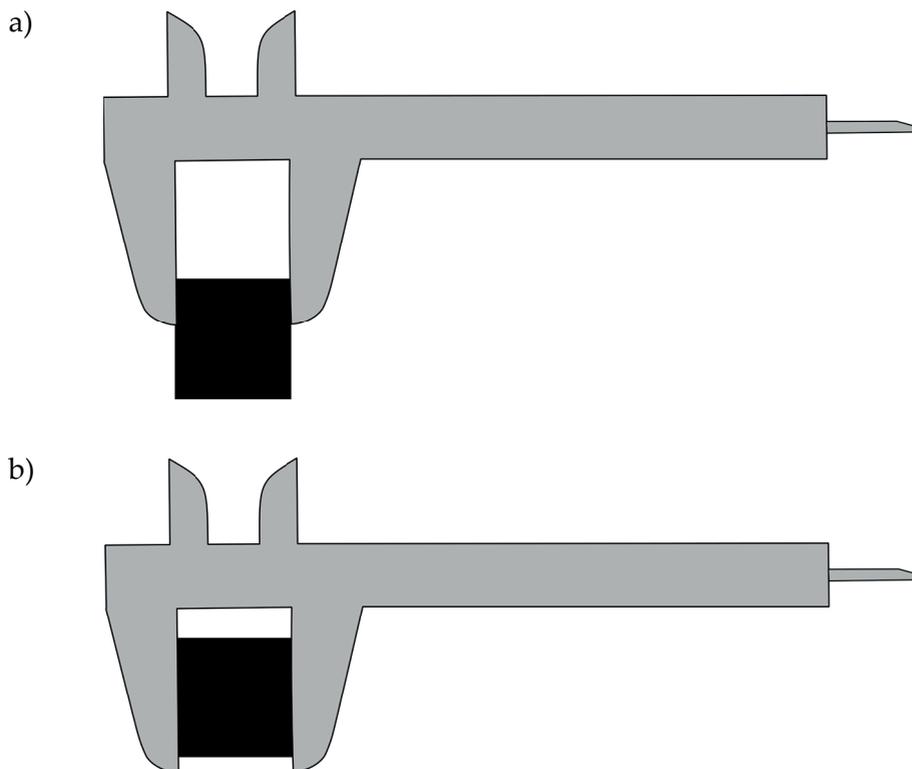
Inicialmente, o primeiro cuidado é garantir que os encostos do paquímetro estejam devidamente limpos. Para realizar a medida, o paquímetro deve ser aberto com uma distância maior que a dimensão do objeto a ser medido, onde a parte central do encosto fixo deve ser mantido em uma das extremidades da peça e o encosto móvel deve ser fechado suavemente até que encoste na outra extremidade da peça.

Após a leitura da medida, o paquímetro deve ser aberto com cautela para que o objeto seja retirado evitando que os encostos a toquem.

Medições externas

O objeto a ser medido deve ser posicionado na região central dos bicos, conforme a Figura 43 b, evitando qualquer desgaste nas pontas e permitindo que os bicos fiquem bem posicionados em relação ao objeto.

FIGURA 43 – FORMA (A) INCORRETA E (B) CORRETA DE REALIZAR MEDIÇÕES EXTERNAS



FONTE: Adaptado de: <<https://pixabay.com/pt/paqu%C3%ADmetro-%C3%ADcone-medi%C3%A7%C3%A3o-ferramenta-1294817/>>. Acesso em: 12 fev. 2019.

Medições internas

As orelhas, fixa e móvel, devem ser posicionadas o mais profundamente possível, para garantir que o paquímetro esteja paralelo à peça que está sendo medida.

Para medições de diâmetros internos, as superfícies de medição das orelhas devem coincidir com a linha de centro do furo, caso contrário, a medida obtida será menor do que a real.

Medições de profundidade

Deve-se apoiar o paquímetro corretamente sobre a peça, evitando que ele fique inclinado e a leitura da medida seja inadequada.

Medições de ressalto

Deve-se colocar a parte do paquímetro apropriada para ressalto (orelha móvel) perpendicularmente à superfície de referência do objeto.

8 ERROS DE MEDIDA

Como já discutido anteriormente, todos os métodos de medição são suscetíveis a erros, e no caso das medidas realizadas com paquímetro não é diferente. A seguir discutiremos os principais tipos de erros associados a esse instrumento de medida.

Paralaxe

Esse tipo de erro é associado ao ângulo de visão do operador em relação à escala do instrumento observado. Nesta situação, deve-se manter o instrumento em posição perpendicular a visão do operador, pois como são observadas duas escalas simultaneamente (escala fixa e Nônio), pequenos desvios da posição do operador em relação à escala podem fazer com que os traços se sobreponham de maneira errônea.

Pressão na medição

Outro tipo de erro muito comum em medidas realizadas com o paquímetro é a aplicação de pressão inadequada para realizar a medição dos objetos. Caso o cursor esteja muito apertado ou muito folgado, pode ocorrer uma inclinação do cursor em relação à régua, de modo com que os encostos não permaneçam paralelos, alterando a medida.

Dessa forma é necessário o ajuste adequado da mola do cursor, por meio dos parafusos acima do cursor, para evitar esse tipo de erro.

9 CONSERVAÇÃO DO EQUIPAMENTO

As principais medidas de conservação do paquímetro são:

- Realizar medições em objetos isentos de rebarbas e/ou sujeiras.
- Medir apenas objetos estáticos.
- Manusear o paquímetro sempre com cuidado, evitando choques.
- Evitar o contato com outras ferramentas que pode lhe causar danos, como empeno, perda da nitidez da escala e arranhões.
- Após o uso, limpar o paquímetro e guardá-lo em local apropriado.
- Guardá-lo com os bicos ligeiramente afastados.
- Se necessário, lubrificá-lo conforme as recomendações do fabricante.

SUGESTÃO DE AULA PRÁTICA

- 1 Com o uso de um paquímetro fabricado em aço, realizar dez medidas do diâmetro externo, interno e comprimento de um tubo de PVC. Após as medições, calcular a média aritmética e o desvio padrão para cada conjunto de medidas.

Materiais:

- 1 – Paquímetro analógico em aço inoxidável
- 2 – Tubo de PVC
- 3 – Papel
- 4 – Caneta
- 5 – Calculadora

Procedimentos:

- 1 – Realizar a limpeza do tubo a ser medido.
- 2 – Realizar a limpeza do paquímetro.
- 3 – Posicionar o paquímetro para as medidas do diâmetro externo.
- 4 – Realizar as 10 medidas e anotar na tabela.
- 5 – Repetir o procedimento 3 e 4 para o diâmetro interno e comprimento.
- 6 – Calcular a média aritmética e o desvio padrão para os grupos de medidas.
- 7 – Se possível, comparar seus resultados com um colega de classe.
- 8 – Repetir o procedimento 2 ao 7 utilizando um paquímetro em polegadas.

TABELA 1 – IDENTIFICAÇÃO DAS MEDIDAS EM MILÍMETROS

Identificação das pesagens	D_{externo} (mm)	D_{interno} (mm)	Comprimento(mm)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Média aritmética			
Desvio padrão			

FONTE: Os autores

TABELA 2 – IDENTIFICAÇÃO DAS MEDIDAS EM POLEGADAS

Identificação das pesagens	D_{externo} (")	D_{interno} (")	Comprimento (")
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Média aritmética			
Desvio padrão			

FONTE: Os autores

RESUMO DO TÓPICO 3

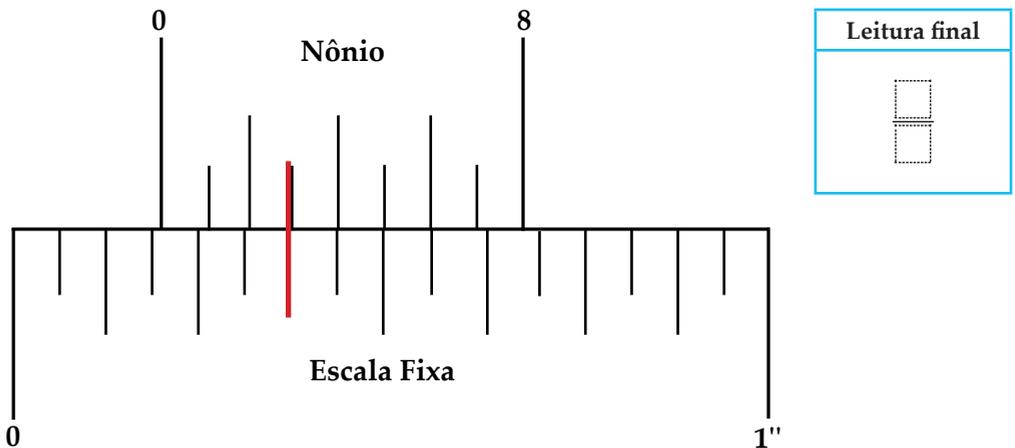
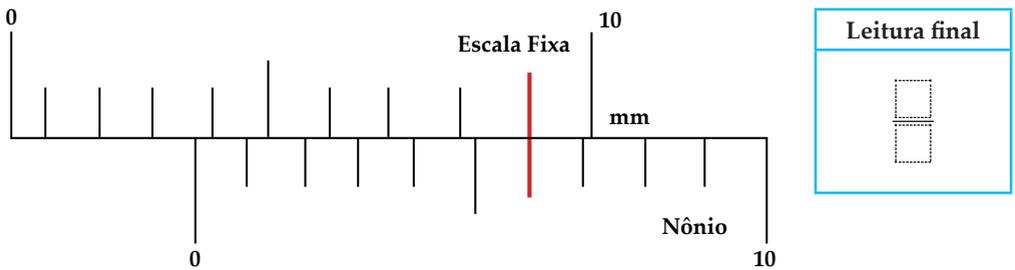
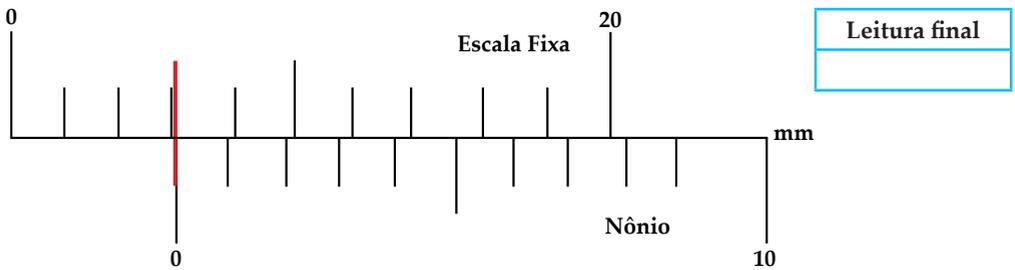
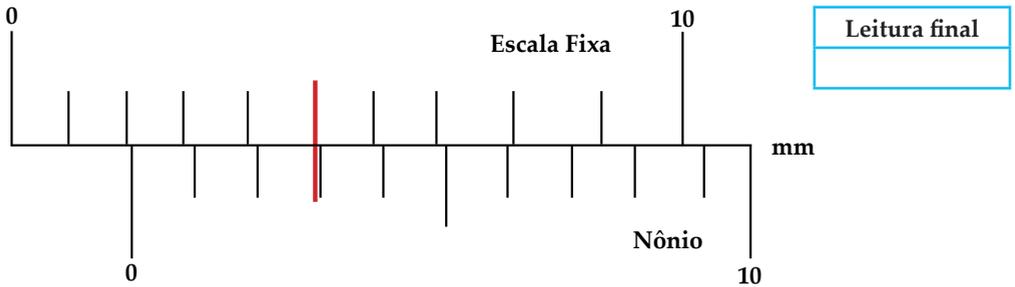
Neste tópico, você aprendeu que:

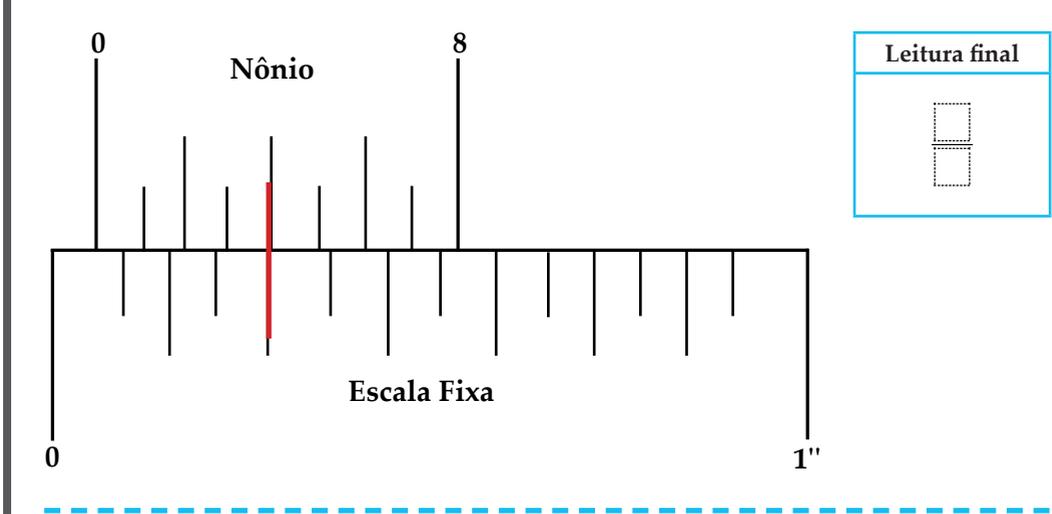
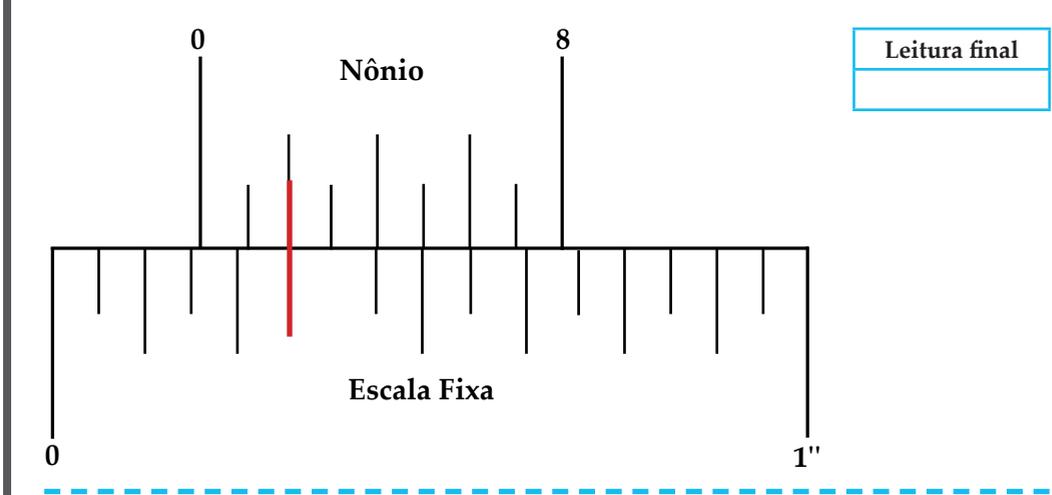
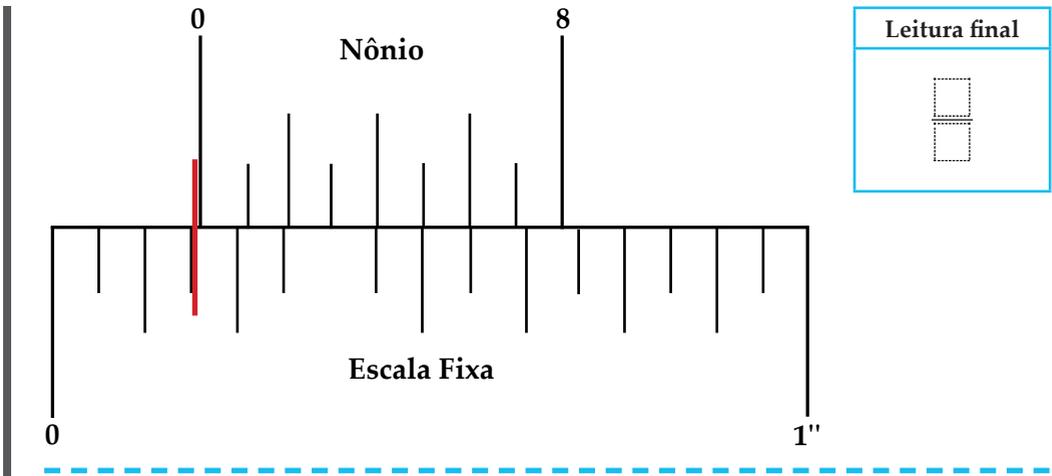
- Um dos instrumentos de medidas lineares mais utilizados são os paquímetros, e seus principais tipos.
- É possível realizar a leitura em escalas do sistema métrico e do sistema inglês ordinal.
- No uso do paquímetro podem existir alguns erros associados, assim como conservar esse instrumento.

AUTOATIVIDADE



1 Realize a leitura conforme apresentadas as escalas nas figuras a seguir:





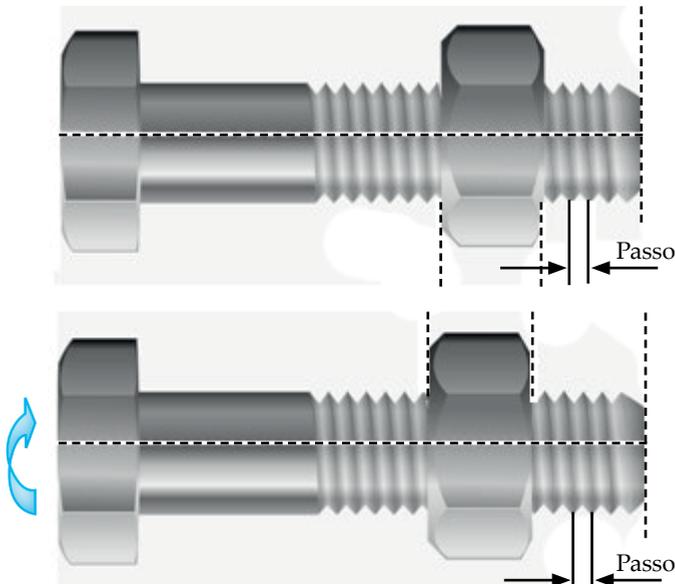
MICRÔMETRO

1 INTRODUÇÃO

O micrômetro é um instrumento de medida linear. Quando a precisão do paquímetro não é suficiente, utiliza-se o micrômetro na realização das medidas. O uso do micrômetro é amplamente explorado na indústria metalmeccânica de modo geral, muito em virtude da garantia de exatidão de 0,01 mm. Por intermédio da leitura direta, é possível medir com exatidão, dimensões com aproximação de 0,001 mm, o que equivale a um micron, por isso o nome de micrômetro.

O método de medição de um micrômetro é baseado no conjunto parafuso e porca. Ao rosquear um parafuso móvel em uma porca fixa, cada volta completa corresponde ao deslocamento de um passo, conforme ilustrado na Figura 44.

FIGURA 44 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO MICRÔMETRO



FONTE: Os autores

2 NOMENCLATURA

As seguir são descritos os principais componentes de um micrômetro, conforme pode ser visto na Figura 45.



FONTES: Os autores

Catraca: tem a finalidade de garantir o controle de pressão e assegurar a aplicação de pressão constante.

Fixador ou trava: tem o intuito de estabilizar as medidas.

Isolante térmico: tem a função de evitar a dilatação térmica proveniente da transmissão de calor das mãos do operador.

Tambor: espaço onde está localizado a escala centesimal. Cada volta inteira corresponde a um passo.

Fuso micrométrico: deve ser plano e paralelo, geralmente são de aços especiais duros, com o propósito de garantir a exatidão da medida.

Arco: constituído de aço especial, tratado termicamente com o objetivo de eliminar tensões internas.

3 TIPOS DE MICRÔMETROS

Os micrômetros são caracterizados por sua resolução, capacidade, e pela aplicação. Como o tamanho do arco varia de 25 em 25 mm, logo existem diferentes capacidades de medições dos micrômetros, ou seja, variam de 0 a 0,25 mm, de 25 a 50 mm, podendo chegar até 2000 mm. Com relação à resolução,

pode-se alcançar 0,01 mm e 0,001mm ou 0,01" e 0,001". Existem inúmeros tipos, para diferentes usos dos micrômetros. Seguem alguns exemplos de micrômetros e as diferentes aplicações.

- Para medição externa

É o mais comum dos instrumentos, faz-se a leitura direta no tambor, vide Figura 46.

FIGURA 46 – MICRÔMETRO PARA MEDIÇÃO EXTERNA



FONTE: Os autores

- Digital Eletrônico

Livre do erro de paralaxe. Efeetua leituras de modo rápido, próprio para controle estatístico, vide Figura 47.

FIGURA 47 – MICRÔMETRO DIGITAL ELETRÔNICO



FONTE: Os autores

- **Para medir parede de tubos**

Possui um arco especial, constituído de um medidor de 90° com haste móvel, possibilitando a medição da espessura de tubos.

FIGURA 48 – MICRÔMETRO PARA MEDIR PAREDE DE TUBOS



FONTE: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1077935428-micrometro-externo-0-a-25mm-pardes-de-tubos-112243a-digimess-_JM>. Acesso em: 12 fev. 2019.

- **Para medição de roscas**

Permite a medição de diâmetros de roscas triângulares. Possui as hastes anatomicamente adaptáveis para encaixar as pontas intercambiáveis nas roscas.

FIGURA 49 – MICRÔMETRO PARA MEDIÇÃO DE ROSCAS



FONTE: <https://www.tecnoferramentas.com.br/micrometro-externo-para-roscas-0_25-mm-mitutoyo-126_125/p>. Acesso em: 12 fev. 2019.

- **De profundidade**

Permite a medição de profundidades e/ou ressaltos. Dotado de outras hastes para extensão das medidas, vide Figura 50.

FIGURA 50 – MICRÔMETRO DE PROFUNDIDADE



FONTE: <<https://www.mitutoyo.com.br/micrometro-profund0-100mm-129-111.html>>. Acesso em: 12 fev. 2019.

4 LEITURA DA MEDIDA NO SISTEMA MÉTRICO

Assim como para a leitura das medições realizadas com o paquímetro, é necessário conhecer a resolução do micrômetro, conforme a equação a seguir:

$$R = \frac{PR}{n_x}$$

Onde:

R = Resolução.

PR = Passo da rosca.

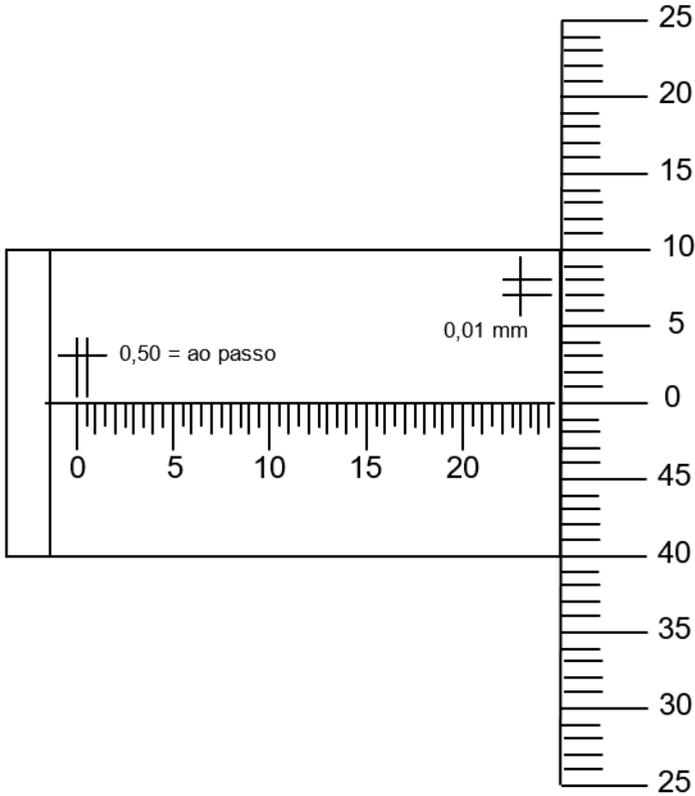
n_x = Número de divisões do tambor.

Dessa forma se o passo da rosca é 0,5 mm e há 50 divisões do tambor, a resolução do micrômetro pode ser calculada da seguinte forma:

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

Portanto, ao girar o tambor, cada divisão provocará o deslocamento de 0,01 mm no fuso. E concluindo uma volta completa no tambor, o deslocamento será de 0,5 mm, referente ao passo do micrômetro. Na Figura 51 é possível conhecer a escala de um micrômetro com resolução de 0,01 mm.

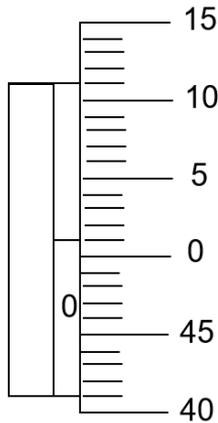
FIGURA 51 – ESCALA DO MICRÔMETRO COM ESCALA DE 0,01 MM



FONTE: Os autores

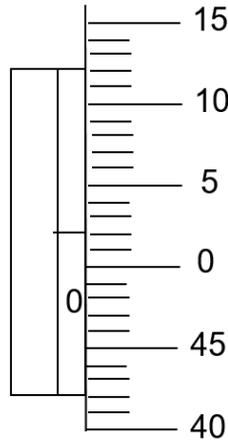
Dessa forma, se a linha de referência da luva coincidir com o primeiro traço do tambor, a leitura correta é de 0,01 mm. Se coincidir com o segundo traço, a leitura será 0,02 mm, e assim sucessivamente (Figuras 52 e 53).

FIGURA 52 – MICRÔMETRO COM LEITURA DE 0,01 MM



FONTE: Os autores

FIGURA 53 – MICRÔMETRO COM LEITURA DE 0,02 MM

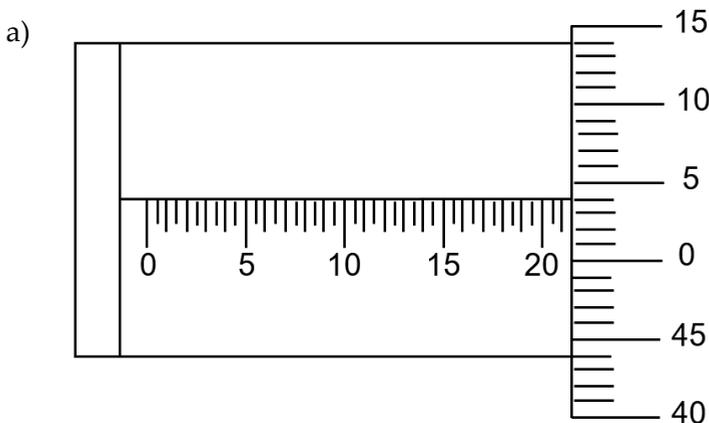


FONTE: Os autores

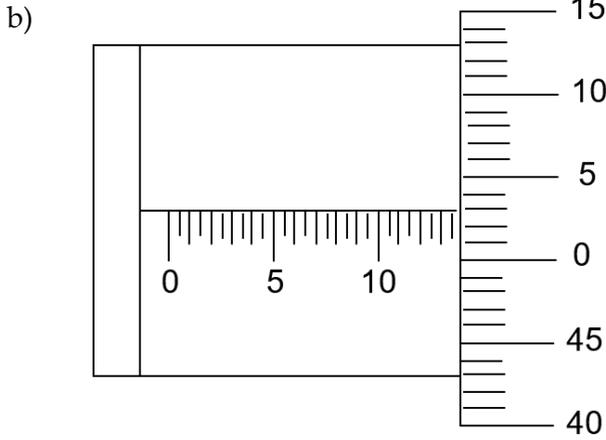
Logo, para realizar a leitura no micrômetro no sistema métrico, deve-se seguir os seguintes passos, considerando um equipamento com resolução de 0,01mm:

- 1° Realizar a leitura dos milímetros inteiros na escala da bainha.
- 2° Realizar a leitura dos meios milímetros inteiros na escala da bainha.
- 3° Realizar a leitura dos centésimos de milímetros na escala do tambor.

Exemplos:



Escala dos mm da bainha: 21,00 mm
 Escala dos meios mm da bainha: 0,50 mm
 Escala centesimal do tambor: 0,04 mm
 Leitura final: 21,54 mm

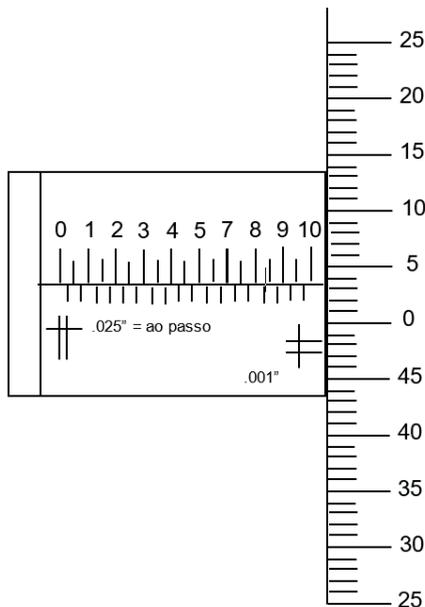


Escala dos mm da bainha: 14,00 mm
Escala dos meios mm da bainha: 0,00 mm
Escala centesimal do tambor: 0,03 mm
Leitura final: 14,03 mm

5 LEITURA DA MEDIDA NO SISTEMA INGLÊS

Em alguns momentos também é necessário conhecer o uso do sistema inglês nos equipamentos utilizados para medições, inclusive para o micrômetro. Para instrumentos com resolução de $.001''$, cada unidade da divisão, correspondente a uma polegada, apresenta 40 divisões, conseqüentemente cada espaçamento entre os traços, corresponde a $.025$, conforme a Figura 54.

FIGURA 54 – ESCALA DO MICRÔMETRO COM ESCALA DE $.001''$



FONTE: Os autores

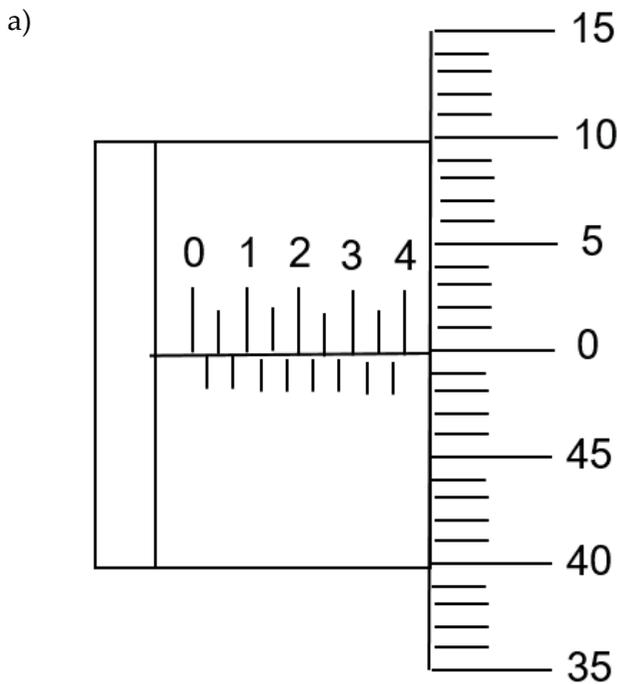
Assim, ao girar o tambor, cada divisão provocará o deslocamento de $.001''$ no fuso. E concluindo uma volta completa no tambor, o deslocamento será de $.025''$, referente ao passo do micrômetro.

Para realizar a leitura no micrômetro no sistema inglês, deve-se seguir os seguintes passos, considerando um equipamento com resolução de $.001''$:

- 1° Realizar a leitura na escala da bainha.
- 2° Realizar a leitura na escala do tambor.

Exemplos:

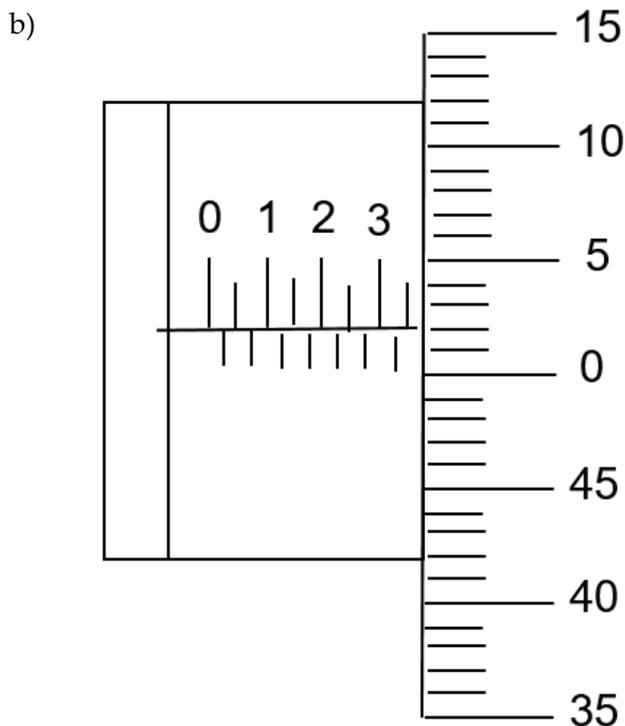
FIGURA 55 – ESCALA DO MICRÔMETRO COM ESCALA DE $.001''$



FONTE: Os autores

Escala das polegadas da bainha: $.400''$
 Escala das polegadas do tambor: $.000''$
 Leitura final: $.400''$

FIGURA 56 – ESCALA DO MICRÔMETRO COM ESCALA DE .001"



FONTE: Os autores

Escala das polegadas da bainha: $.375''$

Escala das polegadas do tambor: $.002''$

Leitura final: $.377''$

6 CONSERVAÇÃO DO EQUIPAMENTO

Para a boa conservação dos micrômetros, é necessário seguir algumas recomendações, com o objetivo de aumentar a vida útil do instrumento de medida. A seguir estão listadas algumas orientações:

- Usar uma flanela macia para realizar a limpeza do micrômetro.
- Lubrificar o micrômetro com vaselina líquida.
- Guardar o micrômetro em um estojo e local apropriado.
- Evitar quedas que possam danificar o micrômetro e/ou sua escala.

SUGESTÃO DE AULA PRÁTICA

- 1 Com o uso de um micrômetro, realizar (dez) medições da espessura de uma folha de papel sulfite A4 e do diâmetro de um fio de cabelo. Após as medições, calcular a média aritmética e o desvio padrão para cada conjunto de medidas.

Materiais:

- 1- Micrômetro
- 2- Folha de papel sulfite A4
- 3- Fio de cabelo
- 4- Papel para anotar as medidas
- 5- Caneta
- 6- Calculadora

Procedimentos:

- 1- Realizar a limpeza do micrômetro.
- 2- Posicionar o paquímetro para as medidas da espessura da folha.
- 3- Realizar as 10 medidas e anotar na tabela.
- 4- Repetir o procedimento 3 e 4 para o diâmetro do fio de cabelo.
- 5- Calcular a média aritmética e o desvio padrão para os grupos de medidas.
- 6- Se possível, comparar seus resultados com um colega de classe.

TABELA 3 – IDENTIFICAÇÃO DAS MEDIDAS EM MILÍMETROS

Identificação das medidas	E_{folha} (mm)	$D_{\text{fio de cabelo}}$ (mm)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
Média aritmética		
Desvio padrão		

FONTE: Os autores



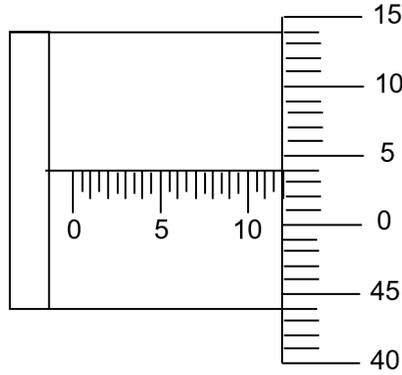
RESUMO DO TÓPICO 4

Neste tópico, você aprendeu que:

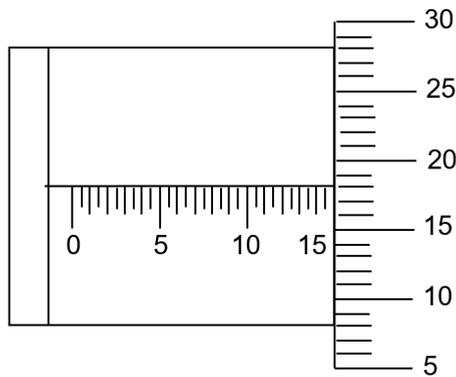
- O micrômetro é um instrumento de precisão e de fácil uso.
- Nos micrômetros podem existir escalas do sistema métrico decimal e do sistema inglês.



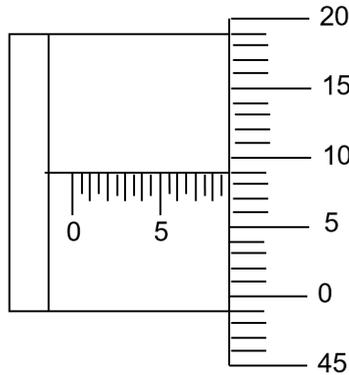
1 Realize a leitura conforme as escalas apresentadas nas figuras a seguir:



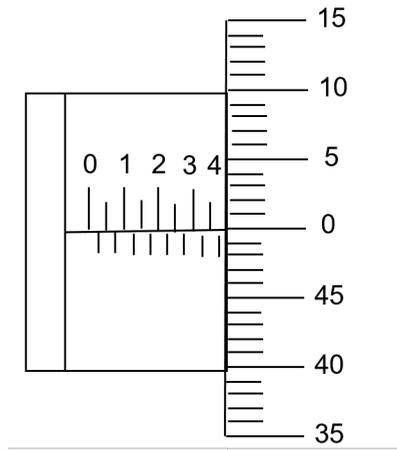
Leitura final



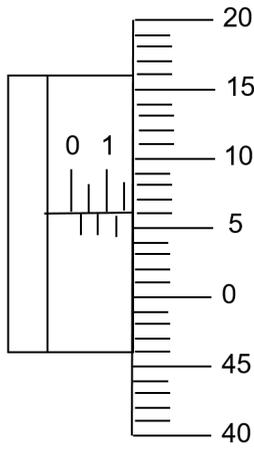
Leitura final



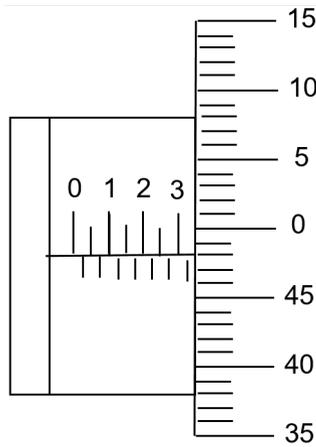
Leitura final



Leitura final



Leitura final



Leitura final

MEDIÇÕES COMPLEMENTARES

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

A partir do estudo desta unidade, você deverá ser capaz de:

- lembrar as definições de ângulo;
- conhecer os principais instrumentos de medição angular;
- compreender o funcionamento de diversos tipos de termômetros utilizados para a medição de temperatura;
- explorar os diversos tipos de manômetros;
- aprender os principais instrumentos de medição de força e torque.

PLANO DE ESTUDOS

Esta unidade está dividida em quatro tópicos. No decorrer da unidade você encontrará autoatividades com o objetivo de reforçar o conteúdo apresentado.

TÓPICO 1 – MEDIÇÃO ANGULAR

TÓPICO 2 – MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

TÓPICO 3 – MEDIÇÃO DE PRESSÃO

TÓPICO 4 – MEDIÇÃO DE FORÇA E TORQUE

MEDIÇÃO ANGULAR

1 INTRODUÇÃO

Suponha que você é o engenheiro responsável pela linha de produção de peças cônicas que são integrantes do motor de um dos veículos de uma grande montadora.

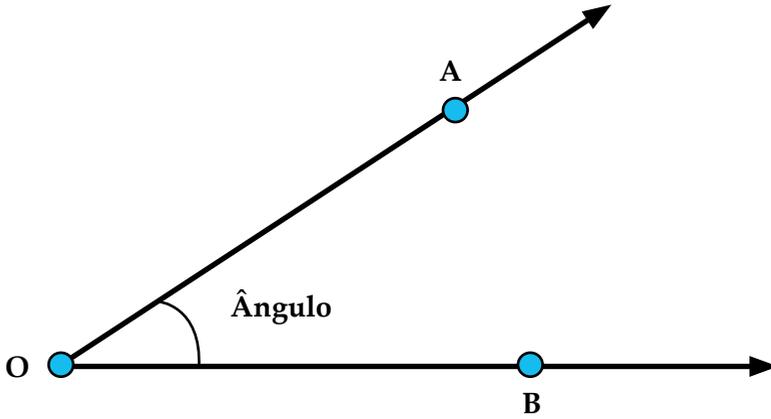
Ao chegar o processo de montagem do motor, houve algum equívoco de dimensionamento da peça cônica que impediu a finalização da montagem. Você como engenheiro responsável por essa parte da produção, ficou incumbido em descobrir o erro. Foi constatado que a angulação do cone da peça estava 5° a mais do necessário.

Para realizar essa constatação foi necessário utilizar o conhecimento adquirido nas aulas de medição angular da disciplina de metrologia. Neste tópico, você aprenderá como fazer o uso de medições angulares, quais os principais instrumentos e em quais situações elas são mais aplicáveis.

2 DEFINIÇÃO DE ÂNGULO

Antes de falar sobre medidas angulares, é conveniente lembrar a definição de ângulo. O ângulo é definido como uma região entre duas semirretas que têm a mesma origem, como mostrado na Figura 1.

FIGURA 1 – DEFINIÇÃO DE ÂNGULO



FONTE: Os autores

O ponto “O” é o vértice do ângulo e as semirretas \overline{OA} e \overline{OB} são os lados do ângulo. Pelo sistema sexagesimal, mais utilizado na engenharia, um círculo é dividido em 360° (graus), um grau é dividido em $60'$ (minutos) e um minuto em $60''$ (segundos). A seguir temos alguns exemplos de como realizar essa leitura.

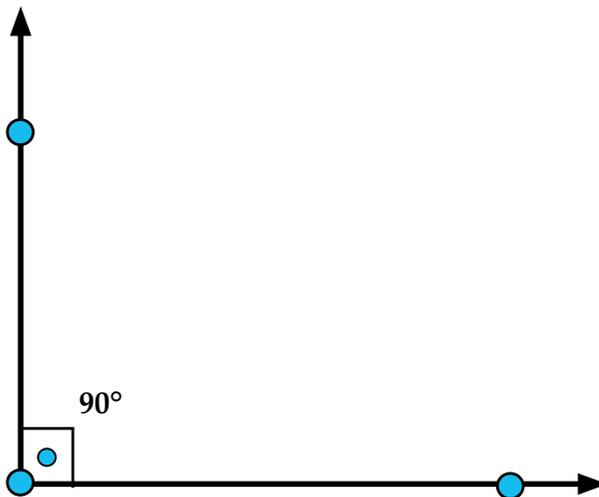
- Exemplo:

$$35^\circ 27' 10'' = 35 \text{ graus, } 27 \text{ minutos e } 10 \text{ segundos.}$$

$$180^\circ 5' 48'' = 180 \text{ graus, } 5 \text{ minutos e } 48 \text{ segundos.}$$

De acordo com a característica dos ângulos eles podem ser classificados como reto, agudo, obtuso e raso. Na Figura 2 é possível observar um ângulo reto que é característico por possuir 90° .

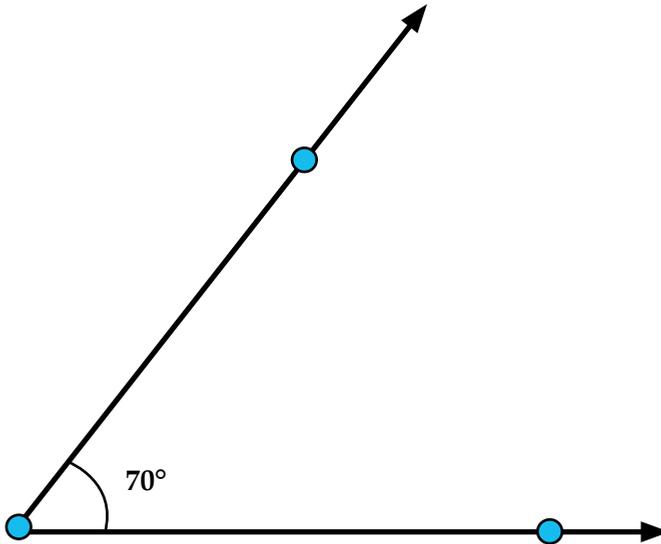
FIGURA 2 – ÂNGULO RETO



FONTE: Os autores

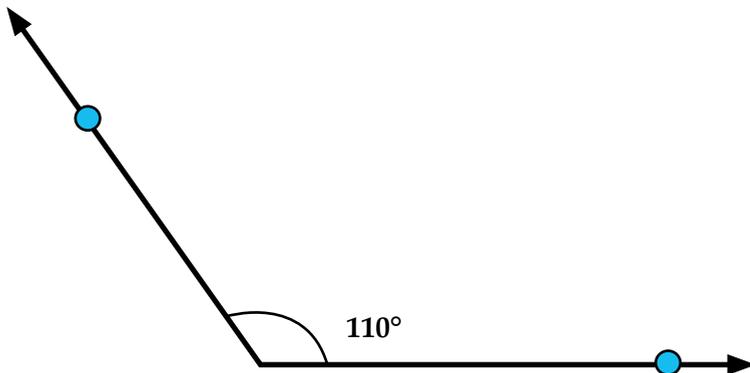
Já o ângulo agudo é definido como sendo menor do que um ângulo reto (Figura 3). O ângulo obtuso, ao contrário, é aquele cuja abertura é maior do que 90° (Figura 4). E o ângulo raso possui a abertura igual a 180° ou 0° (Figura 5).

FIGURA 3 – ÂNGULO AGUDO



FONTE: Os autores

FIGURA 4 – ÂNGULO OBTUSO



FONTE: Os autores

FIGURA 5 – ÂNGULO RASO



FONTE: Os autores

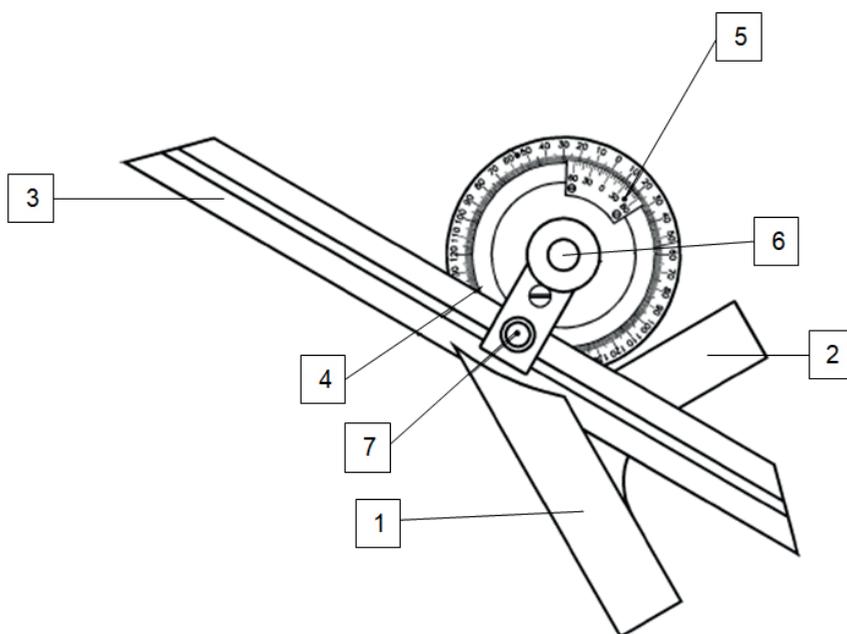
Além da classificação dos ângulos, eles podem estar relacionados em algumas situações e com isso recebem denominação específica: ângulos suplementares e complementares. Os ângulos complementares são aqueles cuja soma é igual a um ângulo reto, ou seja, 90° , e ângulos suplementares são aqueles cuja soma é igual a um ângulo raso, ou seja, 180° .

Agora que você já fez uma breve revisão a respeito das definições de ângulo, vamos conhecer melhor alguns instrumentos para realizar medições angulares.

3 GONIÔMETRO

O goniômetro é um dos principais instrumentos utilizado que permite verificar e medir ângulos. Esse instrumento é constituído, basicamente, por um disco graduado, duas réguas e um nônio. Por vezes, o goniômetro também pode ser denominado de suta universal ou transferidor universal. Na Figura 6 é possível conhecer o goniômetro e as principais partes que o compõem.

FIGURA 6 – GONIÔMETRO UNIVERSAL



FONTE: Adaptado de Telecurso 2000

Onde:

- 1 – Régua fixa principal.
- 2 – Régua fixa auxiliar.
- 3 – Régua móvel.
- 4 – Escala principal.
- 5 – Nônio.
- 6 – Parafuso de fixação da escala.
- 7 – Parafuso de fixação da régua móvel.

A escala principal no mostrador pode ser dividida em dois ou quatro quadrantes, onde cada um mede 180° e 90° , respectivamente. Nessa escala cada divisão é correspondente a 1° . Já o nônio é constituído de uma escala menor que possui uma amplitude de $60'$, correspondente a 23° na escala principal, para cada lado da referência zero. Portanto, a resolução do equipamento é calculada como já vimos anteriormente segundo a equação:

$$R = \frac{UEF}{n_x}$$

Onde:

R = Resolução.

UEF = Unidade da escala fixa.

n_x = Número de divisões do nônio.

- Exemplo

A resolução do goniômetro pelo sistema sexagesimal é dada da seguinte forma:

$$n_x = 12$$

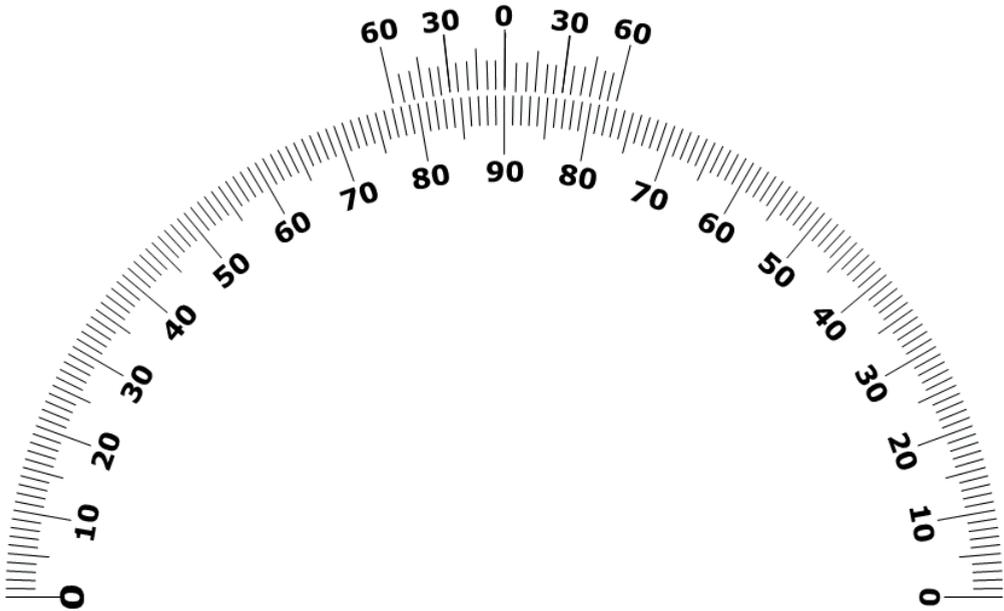
$$R = \frac{1^\circ}{12} = 5$$

$$UEF = 1^\circ$$

Ou seja, a resolução do goniômetro é de 5 minutos.

Como você já adquiriu certa habilidade em realizar leituras com nônio, aqui não será muito diferente, porém a atenção que é exigida é a de observar o sentido da leitura. Na Figura 7 é possível observar a escala principal e o nônio mais detalhadamente.

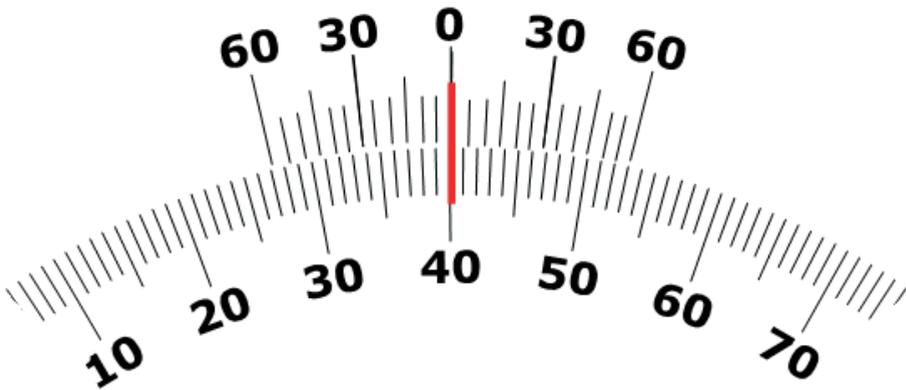
FIGURA 7 – ESCALA PRINCIPAL E NÔNIO



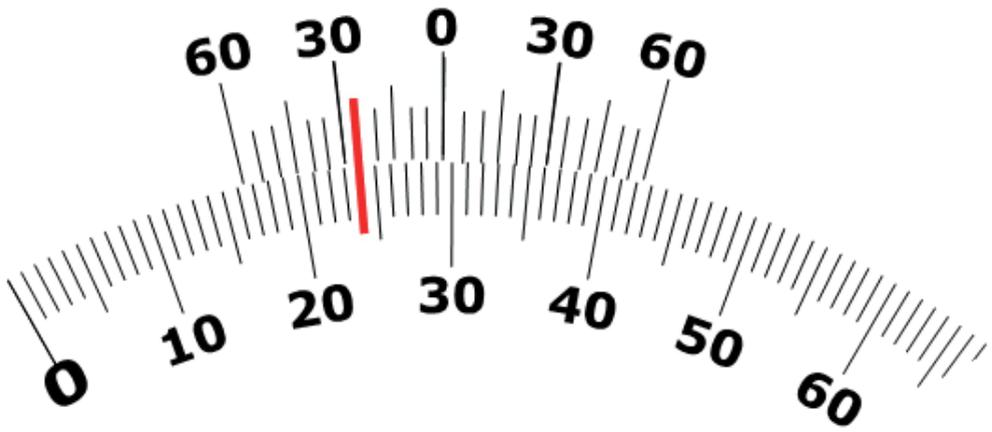
FONTE: Os autores

- Exemplo:

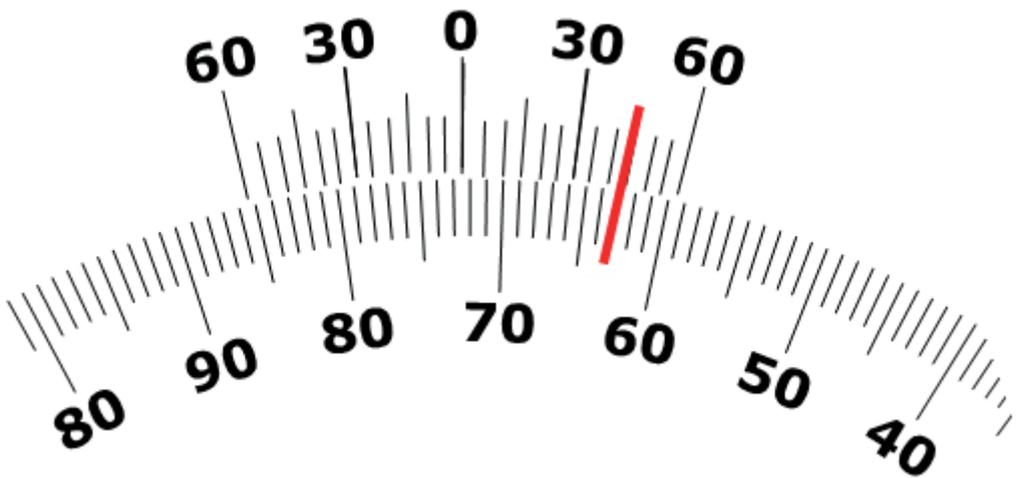
Realizar a leitura das seguintes medidas:



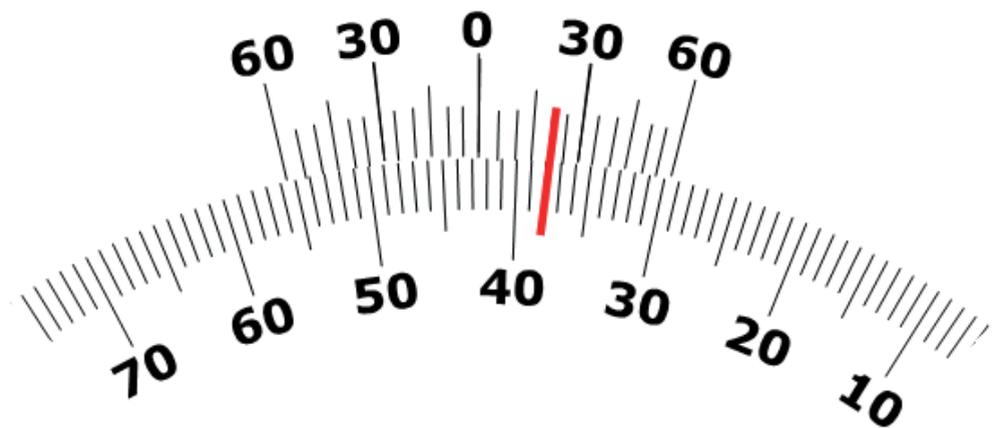
Leitura: 40°



Leitura: $29^{\circ}25'$



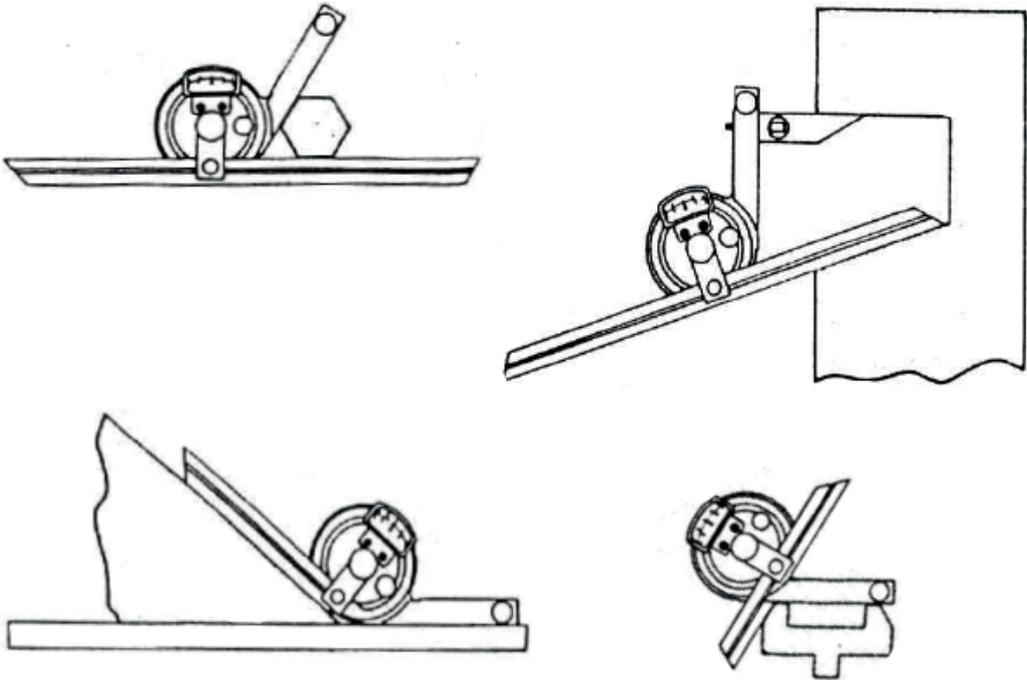
Leitura: $77^{\circ}45'$



Leitura: $42^{\circ}20'$

Agora que você já aprendeu como realizar a leitura da medição de um goniômetro, na Figura 8 são apresentados alguns exemplos de como esse instrumento pode ser utilizado corretamente.

FIGURA 8 – EXEMPLOS DE USO DO GONIÔMETRO



FONTE: Adaptado de Couto (1986)

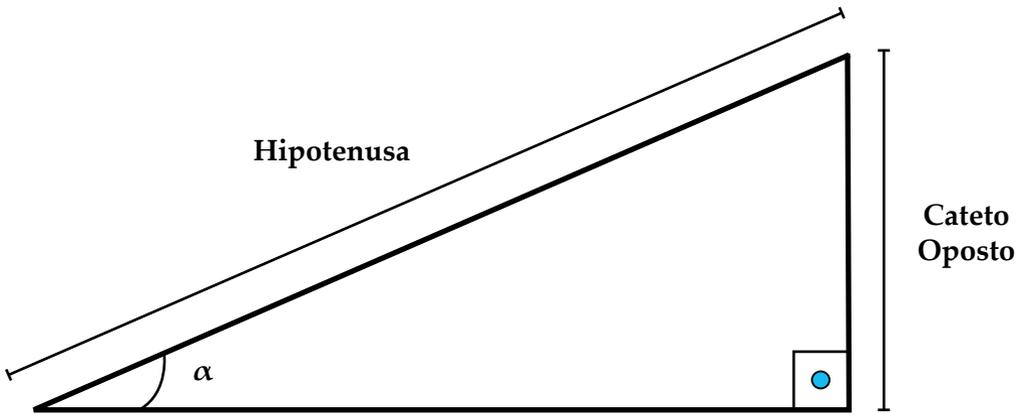
Agora imagine a situação em que você precisa realizar uma medição angular com mais exatidão; com resolução na ordem de segundos. Como já vimos, por meio do goniômetro não é possível, uma vez que a resolução desse equipamento é de 5 minutos. Portanto, a partir de agora vamos conhecer outros instrumentos para realizar esse tipo de medição, conhecidos como régua e mesa de seno.

4 RÉGUA E MESA DE SENO

A régua e mesa de seno utilizam o princípio do seno para realizar a medição. Tal conceito usa a relação do comprimento de dois lados de um triângulo retângulo para obter um determinado ângulo.

Para isso vamos relembrar um pouco a trigonometria. A Figura 9 mostra a relação do ângulo α em relação à hipotenusa e ao cateto oposto.

FIGURA 9 – RELAÇÃO ANGULAR DO TRIÂNGULO RETÂNGULO



FONTE: Os autores

Onde:

$$\text{sen } \alpha = \frac{\text{Cateto Oposto a } \alpha}{\text{Hipotenusa}}$$

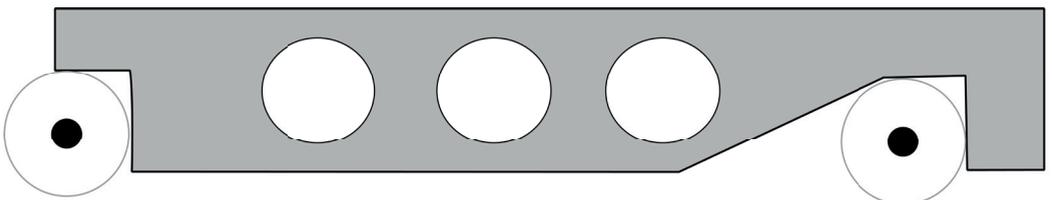
As réguas de seno são fabricadas de algum aço que seja resistente à corrosão, temperado e retificado. Elas apresentam formato retangular, com dois rebaixos próximos às extremidades para encaixar os cilindros que são usados como apoio à régua.

O tamanho da régua é especificado pela distância entre os centros dos cilindros, podendo ser de 100, 200 ou 300 mm, onde a superfície superior da régua é perfeitamente paralela ao eixo que une os centros dos dois cilindros. Ela também pode possuir furos de alívio de peso.

Esse tipo de aparato por si só não é um instrumento de medição completo, pois necessita de alguns acessórios para que seja possível realizar a medição.

Na Figura 10 é possível observar as principais características de uma régua de seno.

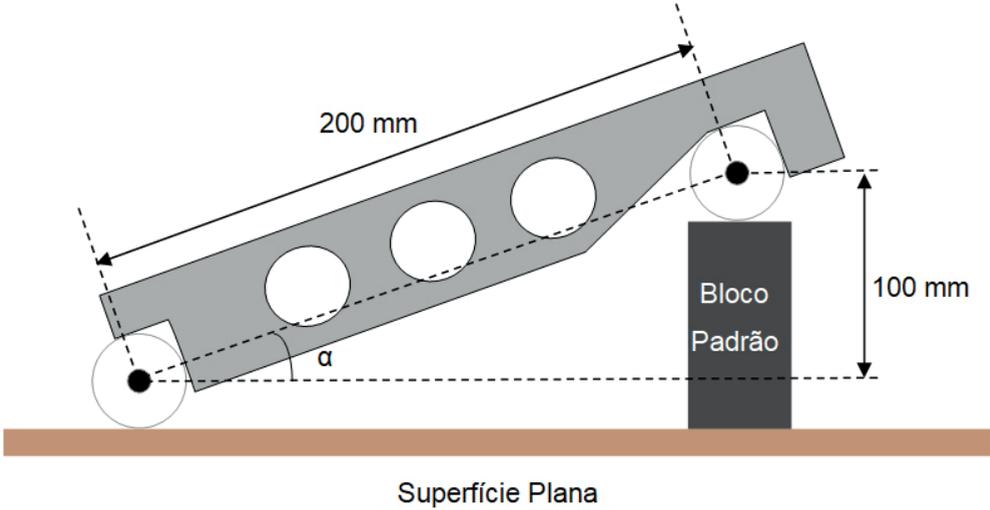
FIGURA 10 – RÉGUA DE SENO



FONTE: Os autores

- Exemplo

É desejado conhecer a angulação da régua de seno (α), sabendo que a distância entre os cilindros é 200 mm e a altura do bloco padrão colocado sob um dos cilindros é 100 mm:

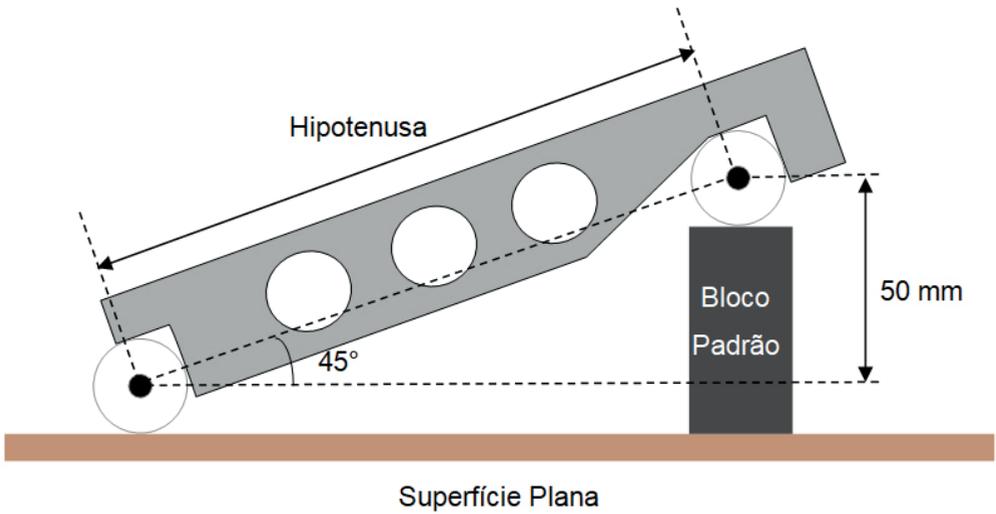


$$\text{sen } \alpha = \frac{\text{Cateto Oposto a } \alpha}{\text{Hipotenusa}}$$

$$\text{sen } \alpha = \frac{100}{200} = 0,5$$

$$\text{arcsen}(0,5) = 30^\circ$$

Já se é desejado conhecer a distância entre os cilindros, sabendo que a altura do bloco padrão colocado sob um dos cilindros é 50 mm e o ângulo (α) é 45° , temos:



$$\text{sen } \alpha = \frac{\text{Cateto Oposto a } \alpha}{\text{Hipotenusa}}$$

$$\text{sen}(45^\circ) = \frac{50}{\text{Hipotenusa}}$$

$$\text{Hipotenusa} = \frac{50}{0,707} = 70,72 \text{ mm}$$

As mesas de seno já são consideradas instrumentos de medição completos, sendo uma evolução das réguas de seno. Tal instrumento permite realizar a medição em peças que possuem maior peso e volume, se comparado às réguas de seno.

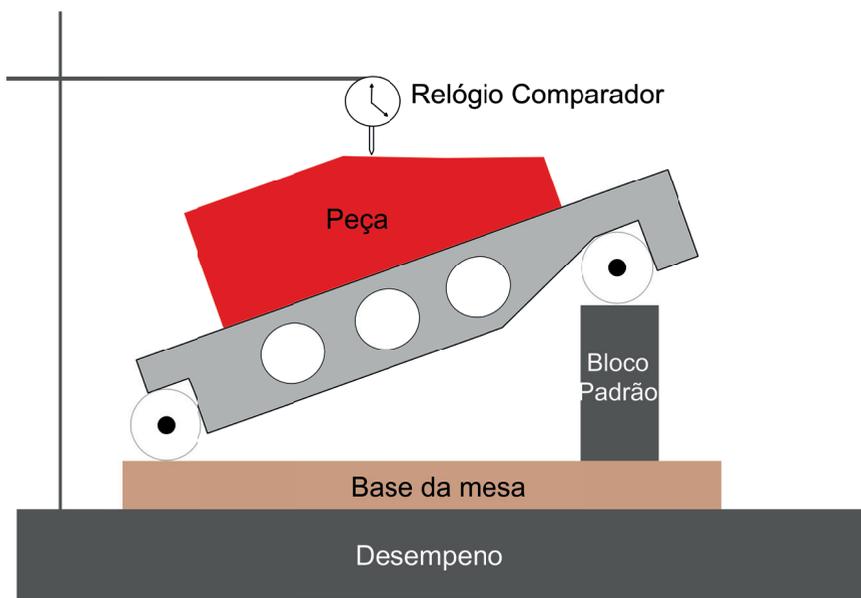
A mesa de seno apresenta uma base que se encaixa em um dos cilindros, facilitando a inclinação da mesa.

Para realizar a medição do ângulo de uma determinada peça por meio da mesa de seno é necessário apoiar a mesa sobre uma base plana utilizada como referência, algumas vezes chamada de desempeno, e utilizar um relógio comparador, que é um aparelho de precisão usado para verificar a planicidade de superfícies.

Ao deslocar o relógio sobre a superfície da peça a ser medida, o relógio não deve alterar sua indicação, mostrando que o ângulo da peça é similar ao da mesa.

Na Figura 11 mostra-se uma ilustração de uma mesa de seno.

FIGURA 11 – MESA DE SENO



FONTE: Os autores

SUGESTÃO DE AULA PRÁTICA

- 1 Com o uso de um goniômetro e de uma mesa de seno, realizar as medições dos ângulos referentes a dois poliedros fabricados em aço que sejam distintos. Compare as medidas e discuta as diferenças.

Materiais:

- 1- Goniômetro com resolução de 5 minutos
- 2- Mesa de seno
- 3- Poliedros metálicos
- 4- Papel
- 5- Caneta
- 6- Calculadora

Procedimentos:

- 1- Realizar a limpeza dos poliedros a serem medidos.
- 2- Realizar a limpeza dos instrumentos que serão utilizados.
- 3- Posicionar o goniômetro para as medidas do ângulo referente ao poliedro.
- 4- Realizar 3 medições e anotar na tabela.
- 5- Repetir o procedimento 3 e 4 para a mesa de seno.
- 6- Comparar e discutir as diferenças entre as medições.

TABELA 1 – MEDIÇÕES REALIZADAS COM O GONIÔMETRO

Identificação dos lados	α (°) (medida 1)	α (°) (medida 2)	α (°) (medida 3)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

FONTE: Os autores

TABELA 2 – MEDIÇÕES REALIZADAS COM A MESA DE SENO

Identificação dos lados	α (°) (medida 1)	α (°) (medida 2)	α (°) (medida 3)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

FONTE: Os autores

RESUMO DO TÓPICO 1

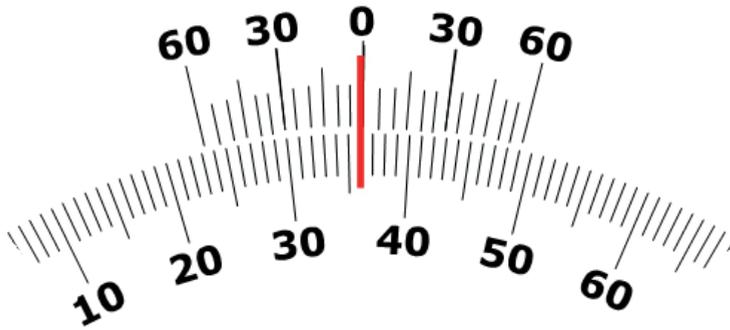
Neste tópico, você aprendeu que:

- Os instrumentos de medida angular mais utilizados são: o goniômetro, a régua e mesa de seno.
- É importante saber como realizar a leitura de escalas angulares no sistema sexagesimal.
- O princípio do seno, e como aplicá-lo para a medição com a régua e mesa de seno.
- É possível realizar leituras em escalas angulares, sendo o sistema sexagesimal o mais utilizado.
- O princípio do seno é aplicado nas medições com a régua e mesa de seno.

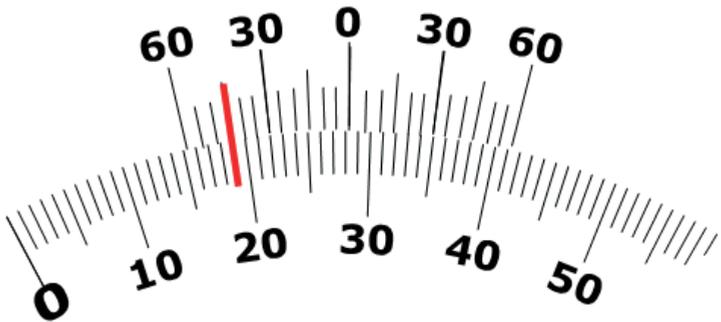
AUTOATIVIDADE



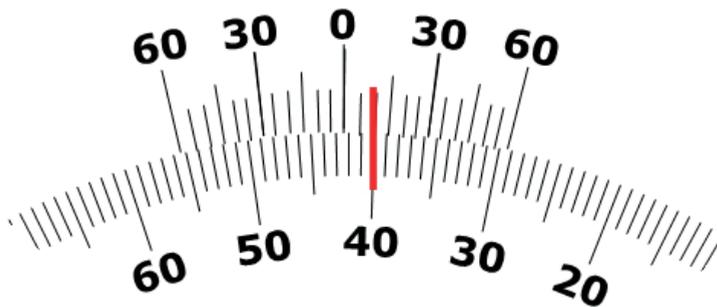
1 Realize a leitura conforme apresentado nas escalas nas figuras a seguir:



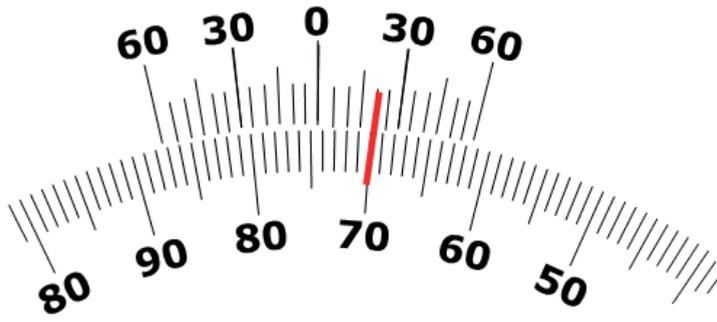
Leitura final



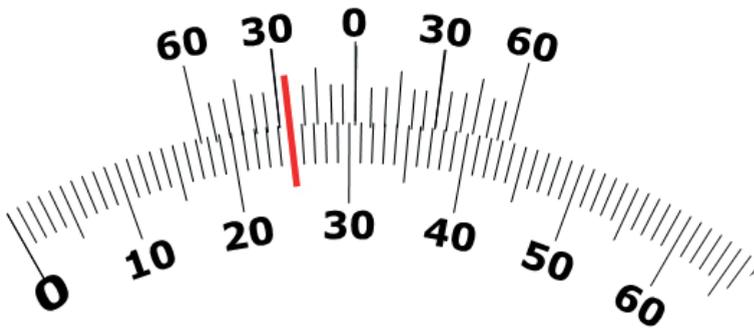
Leitura final



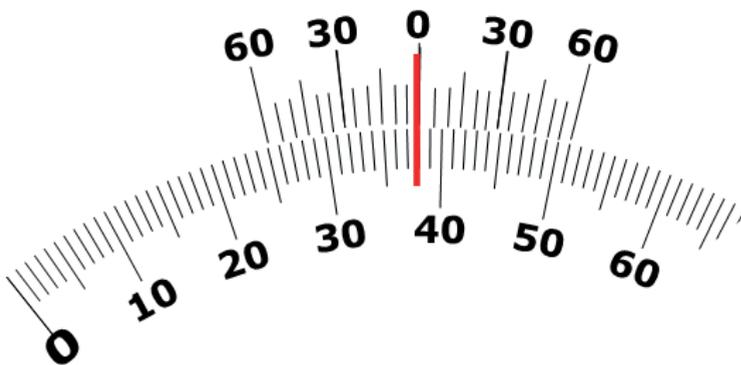
Leitura final



Leitura final



Leitura final



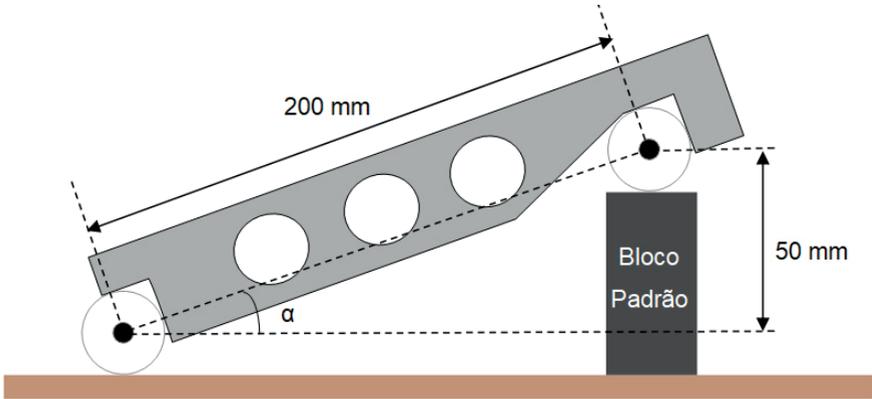
Leitura final

2 Transforme os valores dos ângulos a seguir para o sistema sexagesimal como no exemplo.

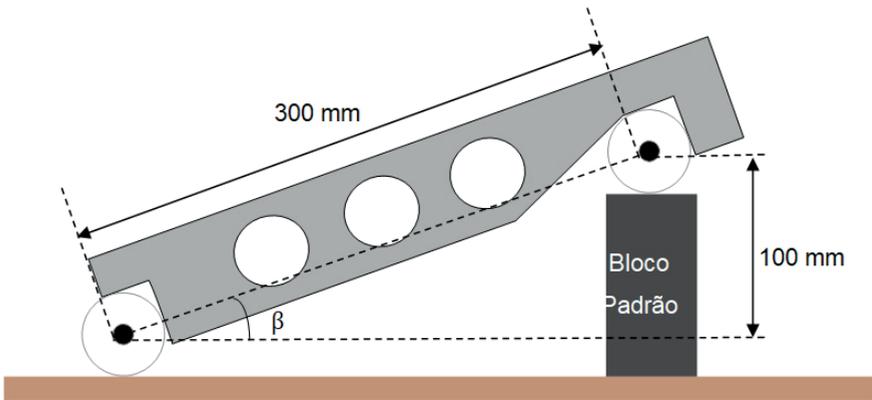
$57,26^\circ = 57^\circ 15' 36''$

- a) $35,67^\circ$
- b) $23,14^\circ$
- c) $63,53^\circ$
- d) $30,05^\circ$

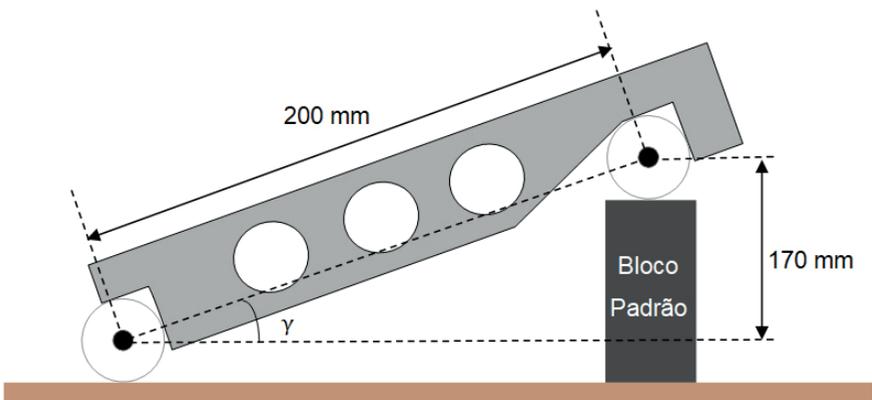
3 Realize os cálculos com base no princípio do seno para encontrar o valor de α , β e γ . (Considere o valor do grau, minutos e segundos).



Superfície Plana

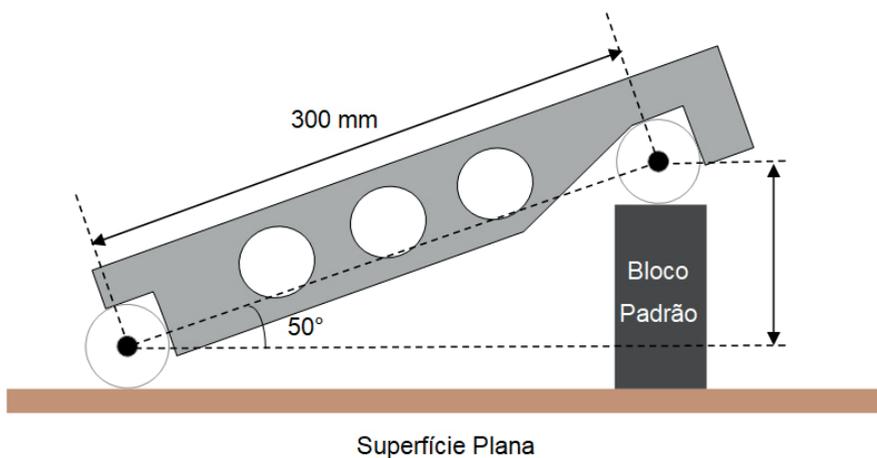
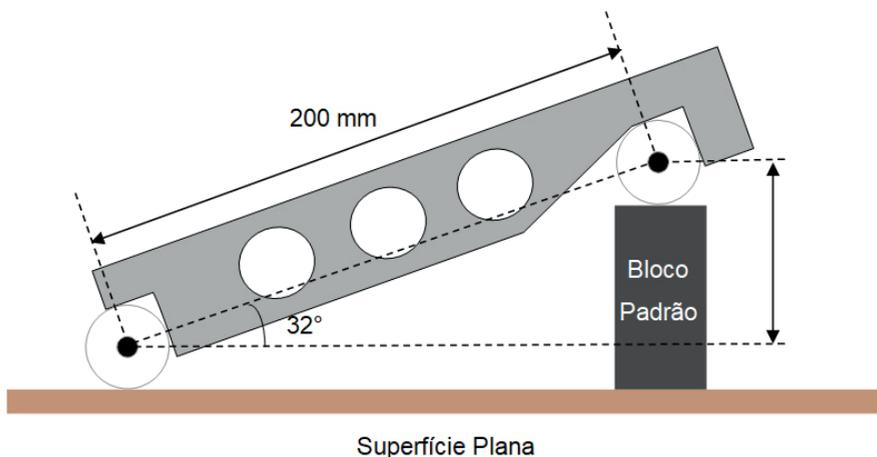


Superfície Plana



Superfície Plana

- 4 Realize os cálculos com base no princípio do seno para encontrar o valor da altura do bloco padrão em milímetros.



MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

1 INTRODUÇÃO

Temperatura pode ser definida como o grau de agitação térmicas das moléculas. Quanto maior a intensidade, maior é a energia cinética dos átomos de um determinado corpo. A temperatura é uma grandeza muito importante a ser medida nos mais diversos processos industriais, muito em virtude de ser um parâmetro limitante para muitas operações.

A termologia é a parte da ciência que estuda os fenômenos térmicos como o resfriamento, a dilatação, o aquecimento e mudanças do estado físico. O ramo que se refere à medição de temperatura é conhecido como termometria.

A termometria ainda pode ser dividida em pirometria, que abrange medições de altas temperaturas e, em criometria que envolve a medição de baixas temperaturas, próximas ao zero absoluto.

A temperatura de 20 °C é assumida e padronizada como referencial de medição na metrologia dimensional, logo, todos os instrumentos e modelos são dimensionados para disponibilizar aos usuários respostas fidedignas a 20 °C. Existem diferentes tipos de equipamentos para medição de temperatura, como por exemplo: termômetros, termopares e pirômetros. Neste tópico vamos estudar sobre alguns deles.

2 TERMÔMETROS

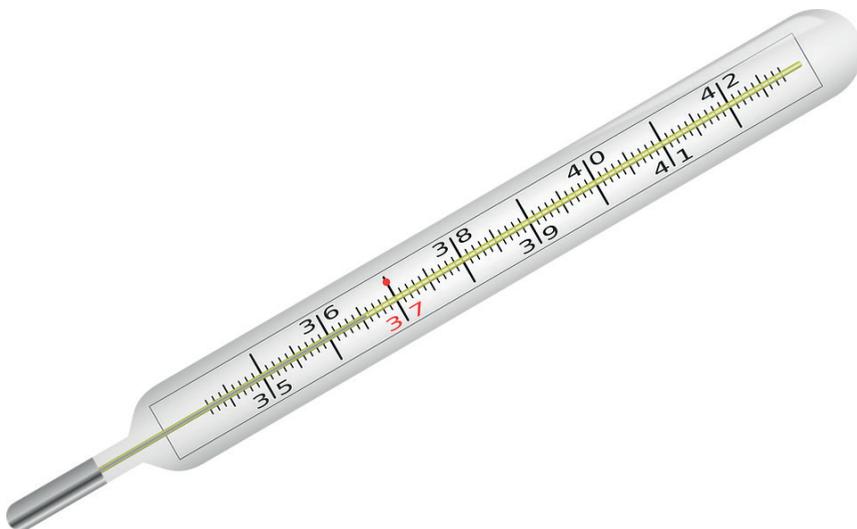
Os termômetros são equipamentos utilizados para medir a variação de temperatura de um determinado corpo, ambiente ou fluido. Geralmente, os termômetros mais comuns são constituídos por um tubo selado contendo um líquido que se expande ou contrai em virtude da mudança de temperatura. A temperatura é lida na uma escala graduada que pode ser em graus Celsius ou Fahrenheit.

A comercialização de termômetros só pode ocorrer com liberação do INMETRO, uma vez que eles devem atender às legislações metrológicas. Eles são submetidos a diferentes tipos de ensaios de aferição de temperatura medida e ademais, se estão atendendo às exigências normativas físicas e anatômicas. O tipo de termômetro mais comum é conhecido como termômetro clínico, mas existem ainda termômetros bimetálicos e de gás.

Os termômetros clínicos são encontrados em versões digitais e analógicas, e são utilizados com a finalidade de medir temperaturas corporais de humanos e animais. Eles são empregados em circunstâncias em que não há exigência de medições periódicas e sim esporádicas.

Para os termômetros de efeito mecânico a medição é realizada pela posição do líquido em uma escala graduada (Figura 12). A aferição ocorre a partir da variação volumétrica de um líquido (álcool, mercúrio, xileno e tolueno) com a temperatura. Vale lembrar que toda substância ao ser aquecida dilata-se e conseqüentemente aumenta de volume, logo quando resfriada, contrai-se.

FIGURA 12 – TERMÔMETRO ANALÓGICO



FONTE: <https://cdn.pixabay.com/photo/2013/07/12/18/39/clinical-thermometer-153666_960_720.png>. Acesso em: 10 abr. 2019.

Os termômetros digitais são alimentados por uma bateria e a ponta do equipamento é mais fina onde é possível encontrar o sensor de temperatura (Figura 13). Normalmente, a faixa de temperatura é de 32 °C a 42,9 °C. O seu formato anatômico facilita a utilização e a medição da variação da temperatura em diferentes partes do corpo.

FIGURA 13 – TERMÔMETRO DIGITAL



FONTE: <https://cdn.pixabay.com/photo/2012/04/18/12/07/thermometer-36852_960_720.png>. Acesso em: 10 abr. 2019.

Os termômetros de ambiente podem ser encontrados tanto analógicos quanto digitais, são basicamente utilizados para medir temperaturas de um determinado local (Figura 14). Esses termômetros são utilizados com mais frequências em laboratórios, depósitos, frigoríferos, piscinas, entre outros. Existe outro modelo de termômetro de ambiente, conhecido como termômetro termo-higrômetro, entretanto a única diferença é a medição adicional da umidade relativa do ar (Figura 15).

FIGURA 14 – TERMÔMETROS DE AMBIENTES: A) ANALÓGICO E, B) DIGITAL



FONTE: (a) <https://cdn.pixabay.com/photo/2016/08/11/03/35/thermometer-1584773_960_720.jpg> e (b) <https://image.freepik.com/fotos-gratis/um-termometro-digital-branco-na-prateleira-com-espaço-negativo_7070-63.jpg>. Acesso em: 10 abr. 2019.

FIGURA 15 – TERMÔMETRO TERMO-HIGRÔMETRO



FONTE: <https://cdn.pixabay.com/photo/2017/05/29/10/03/time-of-2353382_960_720.jpg>. Acesso em: 10 abr. 2019.

Dois outros termômetros são muito utilizados na culinária e indústria alimentícia, supermercados para aferição da temperatura de alimentos, líquidos, freezer, soluções etc. O termômetro de espeto é constituído por uma haste metálica que é inserida no interior de líquidos ou alimentos a fim de obter a temperatura (Figura 16). Possui faixas de temperatura variando entre -50 °C a 300 °C. Já o termômetro infravermelho é muito útil por não necessitar do contato direto e pela facilidade de medição a distâncias longas (Figura 16). Possui faixas de temperatura variando entre -50 a 600 °C.

FIGURA 16 – TERMÔMETRO: A) ESPETO E B) INFRAVERMELHO



FONTE: (a) <<https://fibracirurgica.vteximg.com.br/arquivos/ids/179894-415-415/Termometro-Digital-Espeto-Cinza.jpg?v=636341547436270000>> e (b) <https://cdn.pixabay.com/photo/2018/01/20/14/07/technology-3094663_960_720.jpg>. Acesso em: 10 abr. 2019.

Existem termômetros de uso industrial para medição de temperaturas de gases, água, fluidos, caldeiras, vasos de pressão, tubulações etc. (Figura 17). Nos termômetros mais utilizados, geralmente, utilizam-se métodos de medição baseados nas características físicas dos materiais. Para confiabilidade dos valores aferidos, de forma ininterrupta, o sistema de medição deve estar em contado direto com a substância. Esses termômetros possuem largas faixas de temperaturas chegando a variar de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $700\text{ }^{\circ}\text{C}$.

FIGURA 17 – TERMÔMETROS A) PARA CALDEIRAS E B) DE ALAMBIQUE

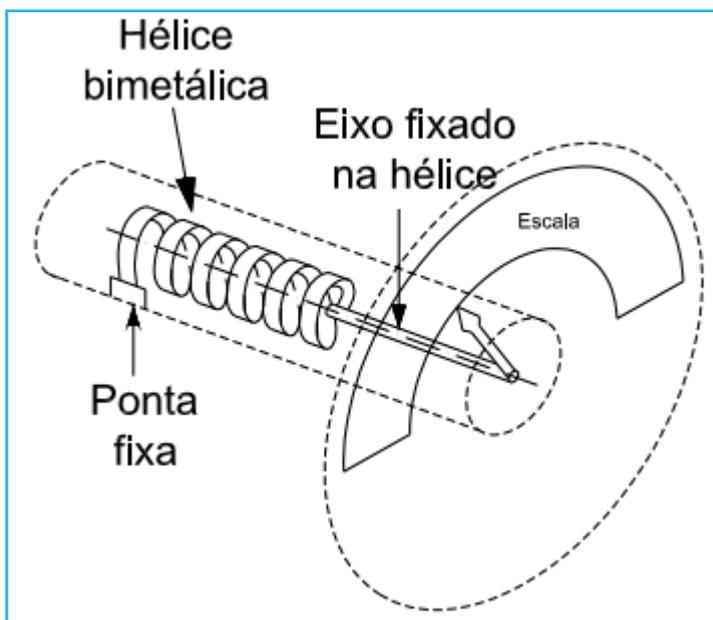


FONTE: <<http://www.cotanet.com.br/peças-para-caldeiras/termometro-para-caldeira>> e <https://cdn.pixabay.com/photo/2017/05/05/19/29/thermometer-2288115_960_720.jpg>. Acesso em: 10 dez. 2019.

3 TERMÔMETROS BIMETÁLICOS

O princípio de funcionamento do termômetro bimetalístico é baseado no efeito de dilatação estabelecido na termodinâmica (flexão térmica). O termômetro é composto por duas lâminas metálicas de diferentes coeficientes de dilatação linear unidas entre si e enrolados na forma de espiral ou de hélice, o que proporciona um aumento considerável na sensibilidade. Ao inserir um gradiente de temperatura, um dos metais dilata mais do que o outro, isso provoca um encurvamento da lâmina. Em virtude disso, a lâmina desloca um ponteiro fixado na hélice, por uma escala graduada registrando a temperatura medida Figura 18.

FIGURA 18 – DESENHO ESQUEMÁTICO DO FUNCIONAMENTO DO TERMÔMETRO BIMETÁLICO



FONTE: <http://www.joinville.udesc.br/porta/professores/bonilla/materiais/Cap_9_Temperatura_ale.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2019.

Geralmente possuem uma faixa de trabalho de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ e possui um erro de $\pm 1\%$. São construídos de aços inoxidáveis, possuindo elevada qualidade e durabilidade e conseqüentemente é resistente a corrosão. Utilizado em larga escala em indústrias químicas, petroquímicas, alimentícias, de celulose e papel, entre outras.

FIGURA 19 – TERMÔMETROS BIMETÁLICOS



FONTE: <<http://catalogo.salvicasagrande.com.br/site/wp-content/uploads/2018/03/termometros-bimetalicos.jpg>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

4 TERMÔMETROS DE GÁS

Esse tipo de termômetro faz uso do gás como fluido termométrico e é utilizada uma massa de gás fixa de volume constante e através de um manômetro é realizada a medição de pressão. Logo a temperatura é definida através da equação do gás perfeito. A faixa de trabalho desse termômetro é mais rigorosa variando de -260 °C a 1000 °C.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \dots = \frac{P_n}{T_n}$$

Nota-se que as variações de pressão são linearmente dependentes da temperatura, tendo o volume constante. Ao definir a temperatura que pretende medir e colocar o sistema em contato térmico com o termômetro de gás ocorre a variação da temperatura fazendo variar a pressão conforme a 2ª Lei de Charles e Gay-Lussac.

Podem ser utilizados gases como Hélio (-267,8 °C), Hidrogênio (-239, 9 °C), Nitrogênio (-147,1 °C) e dióxido de carbono (-31,1 °C). Como por exemplo, o nitrogênio, normalmente é pressurizado a uma pressão de 20 a 50 atm e sua faixa de trabalho varia de -100 a 600 °C. Sendo o limite inferior regido pela sua própria temperatura crítica.

O termômetro de gás (Figura 20) é indicado para meios corrosivos, utilizados em indústrias petroquímicas, químicas, alimentícias, entre outras. Geralmente são feitos de aços inoxidáveis, possuem boa resistência e durabilidade.

FIGURA 20 – TERMÔMETRO DE GÁS



FONTE: <<http://www.termometrorc.com.br/imagens/mpi/thumbs/termometro-de-gas-01.jpg>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

5 TERMÔMETRO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Termorresistência ou termômetros de resistência elétrica ou também conhecido como RTDs do termo em inglês “Resistance Temperature Detector”. Esses termômetros apresentam uma variação direta da resistência com a temperatura e são caracterizados pela alta precisão das medidas. Os RTDs são constituídos por fios de metal montado em uma estrutura isolante de sustentação.

A medição é indicada pelo coeficiente de temperatura linear de resistência, α , dado em $^{\circ}\text{C}^{-1}$. A resistência é medida a cada instante por um circuito eletrônico, o que permite medir indicar a temperatura T. Os valores de referências são especificados nos sensores.

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0 (T - T_0)}$$

Onde:

- R_0 : é a resistência de referência;
- T_0 : é temperatura de referência;
- R: é a resistência de registro do sensor;
- T: é a temperatura de registro do sensor.

Na tabela a seguir estão listados os principais coeficientes de temperatura linear das resistências.

TABELA 3 – COEFICIENTES DE TEMPERATURA PARA RTDS

Material	α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Alumínio	0,00429
Carbono	-0,0007
Ferro	0,00651
Níquel	0,0067
Tungstênio	0,0048
Cobre	0,0043
Platina	0,00392
Mercúrio	0,00099
Tungstênio	0,0048

FONTE: Os autores

A equação a seguir leva em consideração a variação da resistência com a temperatura.

$$R = R_0 (1 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot T^3 \dots a_n \cdot T^n)$$

Onde

R_0 é resistência;

T_0 é a temperatura a 0 °C.

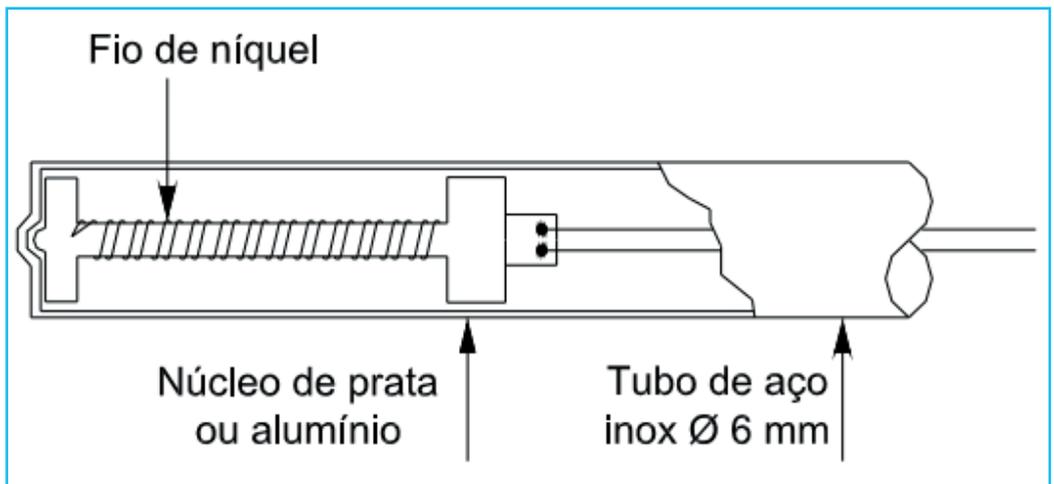
Se considerar a variação linear da resistência elétrica com a temperatura, pode desprezar os termos quadráticos.

$$R = R_0 (1 + a_1 \cdot T)$$

Comumente, os termômetros de resistência são caracterizados por serem do tipo de imersão, de qualquer forma são inseridos no meio que se pretende medir a temperatura.

Eles são constituídos de um bulbo de resistência num invólucro de aço inoxidável, totalmente preenchidos com óxido de magnésio, o que possibilita uma ótima condução térmica, assim como, protege o bulbo de impacto. O bulbo é interligado com fios especiais como prata (-180 °C a 260 °C) ou níquel (-180 °C a 980 °C) isolados entre si (Figura 21).

FIGURA 21 – ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DO TERMÔMETRO POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA



FONTE: <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/bonilla/materiais/Cap_9_Temperatura_ale.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2019.

As termorresistências feitas de Platina (-200 °C a 600 °C) têm como características uma resistência 100 Ω a 0 °C, logo foi convencionado a chamar Pt-100. A platina é o material com melhores resultados para essa aplicação, sob o panorama de precisão e estabilidade, entretanto possuiu elevado custo. Estes sensores possuem repetitividade, que é uma excelente característica de confiabilidade termorresistente.

6 TERMOPARES

Um termopar é um sensor que consiste de dois condutores elétricos de materiais metálicos diferentes soldados em uma das extremidades. Essa ponta é conhecida como de junta quente ou junção de medição ou de medida. A outra ponta dos fios é conectada a um aparelho que indicará a temperatura (voltímetro, indicador etc.). Essa extremidade (conectada ao aparelho de medição) é conhecida como junta fria ou junção de referência (Figura 22). Quando as juntas de medição são expostas a temperaturas diferentes, uma força eletromotriz (f.e.m) de alguns milivolts é gerada. A f.e.m é em função dos materiais constituintes do termopar e da diferença de temperatura. Para medir uma certa temperatura, se faz necessário expor a junta quente ao contato com a superfície ou atmosfera de interesse. Logo ocorrerá uma diferença de potencial entre os materiais em função da temperatura. A tensão de circuito aberta por intermédio da junção de referência é a chamada como Tensão de Seebeck e ela aumenta à medida que a diferença de temperatura aumenta.

FIGURA 22 – CIRCUITO DE UM TERMOPAR



FONTE: <https://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/folheto_termopares.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2019.

Quando existem pequenas diferenças de temperatura entre as junções, a força eletromotriz ε é proporcional a essa diferença e é dada pela equação a seguir.

$$\varepsilon = \alpha (T - T_R)$$

Onde: α é o coeficiente de Seebeck e é dependente da temperatura e da composição dos fios condutores. Ao conhecer o coeficiente de Seebeck, pode-se determinar a temperatura através da medição da f.e.m gerada.

Criou-se uma tabela de correlação, baseado na f.e.m gerada e medida, em função da temperatura, assumindo-se que a junção de referências esteja a 0 °C. Logo o sistema de medição restringe-se em conservar a temperatura da junta fria constante, proporcionando a não alteração da voltagem. Para o termopar tipo K, por exemplo, ao registrar uma temperatura de 300 °C a tensão de saída será de 12,2 mV.

Ao se escolher um termopar devem-se levar em consideração alguns fatores, para que a aplicação ocorra de forma adequada, como por exemplo: faixa de temperatura suportada; atmosfera de aplicação e; precisão de calibração.

Existem alguns tipos de termopares:

- Termopar do tipo T ou também conhecido como cobre-constantan é caracterizado por medições e controle de baixas temperaturas. Fio positivo é composto por cobre, já o polo negativo é composto por um fio da liga cobre-níquel. A faixa de utilização é de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $350\text{ }^{\circ}\text{C}$. Utilizado, geralmente, em atmosferas úmidas.
- Termopar do tipo J ou também conhecido como ferro-constantan é caracterizado por medições e controle de temperaturas até $700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Fio positivo é composto por ferro, já o polo negativo é composto por um fio da liga cobre-níquel. A faixa de utilização é de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $750\text{ }^{\circ}\text{C}$. Utilizado, geralmente, em atmosferas redutoras, inertes e em vácuo.
- Termopar do tipo E ou também conhecido como cromel-constantan é caracterizado por medições e controle de temperatura até $900\text{ }^{\circ}\text{C}$. Fio positivo é composto por níquel-cromo, já o polo negativo é composto por um fio de cobre-níquel. A faixa de utilização é de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $900\text{ }^{\circ}\text{C}$. Utilizado, geralmente, em atmosferas oxidantes e inertes.
- Termopar do tipo K ou também conhecido como cromel-alumel é caracterizado por medições e controle de temperatura acima de $500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Fio positivo é composto por níquel-cromo, já o polo negativo é composto por um fio de níquel-alumínio (níquel-alumínio-mangânês-silício). A faixa de utilização é de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Termopar do tipo B é caracterizado por medições e controle de temperatura acima de $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Fio positivo é composto por 70% de platina e 30% de ródio, já o polo negativo é composto por um fio 94% de platina e 6% de ródio. A faixa de utilização é de $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1820\text{ }^{\circ}\text{C}$. Utilizado, geralmente, em atmosferas oxidantes ou inertes, eles são sensíveis a contaminações.
- Termopar do tipo R é caracterizado por medições e controle de temperatura acima de $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Fio positivo é composto por 87% platina e 13% ródio, já o polo negativo é composto por um fio de platina. A faixa de precisão é de $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Utilizado, geralmente, em atmosferas oxidantes ou inertes.

Visto que a f.e.m gerada em um termopar é dependente da temperatura que as juntas se encontram, da composição química dos condutores, pode-se observar que a cada pequena variação de temperatura, ocorre também variação na f.e.m. A força eletromotriz gerada é muito pequena, por mais que a diferença de temperatura seja grande, logo o valor do coeficiente de Seebeck é muito pequeno. A tabela a seguir correlaciona o coeficiente de Seebeck a 20°C de alguns principais termopares.

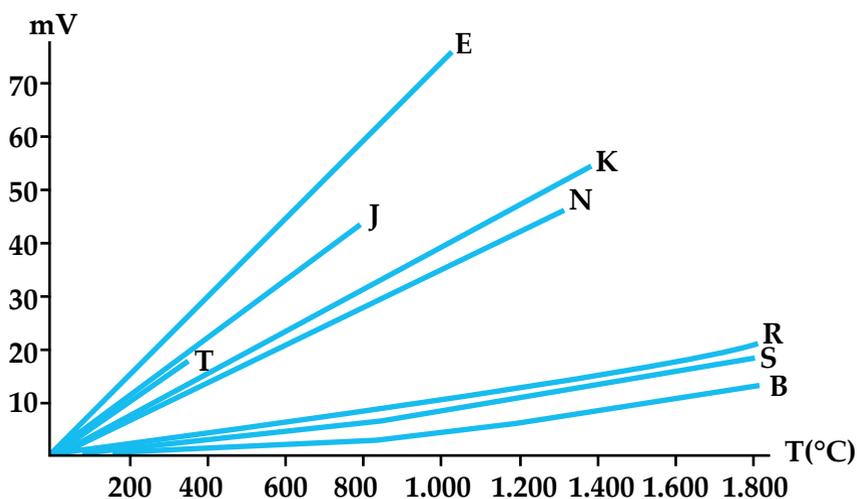
TABELA 4 – COEFICIENTE DE SEEBEEK A 20 °C

Termopar	Coefficiente de Seebeck 20 °C ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)
E	62
K	40
T	40
J	51
S	7
R	7

FONTE: Os autores

No gráfico da Figura 23 observa-se o coeficiente de Seebac, adotando como referência 0 °C, para diferentes termopares e suas respectivas variações de f.e.m em função da temperatura.

FIGURA 23 – GRÁFICO DE FORÇA ELETROMOTRIZ EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA PARA DIFERENTES TERMOPARES



FONTE: <http://professorcesarcosta.com.br/upload/imagens_upload/Apostila-de-Instrumentacao-Petrobras.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2019.

SUGESTÃO DE AULA PRÁTICA I

Objetivo:

- Calibração de um termopar.

Material a ser utilizado:

- Voltímetro
- Termômetro de referência

- Ebulidor
- Recipiente refratário

Procedimento experimental:

- O procedimento consiste em realizar diversas medições da força eletromotriz gerada para diferentes valores de temperatura da junção de medida. Para determinar o valor da temperatura neste momento, deverá fazer uso do termômetro de referência.
- No recipiente refratário aqueça ou resfrie 250 ml de água (se for possível pode fazer uso de nitrogênio líquido). Se optar por aquecer a água, utilize o ebulidor e quando a temperatura estiver em torno de 95 °C a 100 °C insira a junta quente do termopar no recipiente. Com o auxílio do voltímetro meça a diferença de potencial e anote o valor da temperatura. Deve-se manter proximidade entre os dois equipamentos de medida para minimizar o erro.
- Repita esse procedimento para diferentes valores de temperatura. Se necessário pode-se realizar a mesma prática para valores menores que zero. Logo em seguida, monte um gráfico da DDP captada no termopar em função da temperatura. Observe se há constância no coeficiente de Seebeck. Retire o valor do coeficiente através de uma regressão linear dos resultados. Apresente a equação de calibração do termopar.
- Utilizando os dados da reta $\gamma = a\alpha + b$ deve-se ajustar para os resultados encontrados ($\epsilon = \alpha T + \alpha T_R$), logo se pode determinar o valor da temperatura de referência.
- Seu termopar estará calibrado. Faça novas medições e compare com o termômetro de referência.

SUGESTÃO DE AULA PRÁTICA II

Objetivo:

- Construção de um termômetro caseiro

Material utilizado:

- Garrafa pet de 1 litro
- Massa de modelar
- Canudo de plástico transparente
- Caneta de permanente
- Se necessário – termômetro ou termopar de referência

Procedimento experimental:

- Encher completamente a garrafa de plástico.
- Com a massinha de modelar, faça uma tira de aproximadamente 20 cm de comprimento, 4 cm de largura e com alguns milímetros de espessura.

- Depois enrole a massinha de modelar em volta do canudo até atingir o mesmo diâmetro da parte interna do gargalo da garrafa, como se fosse uma rolha.
- Insira o canudo na garrafa e vede bem com a massa. Certifique-se para que não fiquem bolhas de ar no interior da garrafa.
- O nível de água no interior do canudo deve estar pouco acima da borda da garrafa. O termômetro estará pronto para ser usado.
- Marque com a caneta permanente o nível de água no canudo. Logo após coloque o experimento no um local que bata sol.
- Note que o nível de água no canudo tenderá a subir. Quando a água estiver próximo a borda superior do canudo, retire o experimento do sol e faça uma nova marcação referente ao nível de água.
- Faça novas marcações, com o experimento na sombra, num intervalo de tempo de 2 min durante 20 min.

Observação: Se o professor achar necessário a temperatura inicial da água pode ser medida por um instrumento de medição e conferida a cada ponto de marcação de nível. Em seguida, pode-se tentar estimar um valor de temperatura pela diferença de nível no canudo e comparada com o valor medido pelo instrumento.

Explicação: sabe-se que a altura da água no canudo é proporcional a temperatura da água no termômetro. Logo com o aquecimento ocorre a dilatação da água proporcionando o aumento do volume.

RESUMO DO TÓPICO 2

Neste tópico você aprendeu que:

- É possível distinguir as principais diferenças entre cada medidor de temperatura e a necessidade de aplicação dos mesmos.
- Os principais meios de medição temperatura são os termômetros e termopares.
- Os termômetros são utilizados para medir variação da temperatura de um determinado corpo, ambiente ou fluido.
- Existem diversos tipos de termopares que podem se adequar melhor a necessidade de variação de temperatura suportada e atmosfera.
- O termopar do tipo K, é um dos mais utilizados na engenharia, suporta variações de temperatura de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.



1 Explique de forma sucinta as diferenças de cada tipo de termopar.

Termopar tipo T: conhecido como cobre-constantan e utilizados para medições na faixa de -200°C a 350°C .

Termopar tipo J: conhecido como ferro-constantan e utilizados para medições na faixa de -40°C a 750°C .

Termopar tipo E: conhecido como cromel-constantan e utilizados para medições na faixa de -200°C a 900°C .

Termopar tipo K: conhecido como ferro-alumel e utilizados para medições na faixa de -200°C a 1200°C .

Termopar tipo B: platina-ródio e utilizados para medições na faixa de 600°C a 1820°C .

2 Um termômetro de mercúrio é colocado em um fluido a 100°F . A fim de conferir a aferição, outros dois termômetros são adicionados no mesmo fluido, um em Celsius e outro em Kelvin. Quanto deveriam marcar os outros dois termômetros (Celsius e Kelvin)?

3 Na escala Celsius o ponto de fusão do gelo é 0°C e o ponto de ebulição água é 100°C . Já para a escala Kelvin a temperatura correspondente é 100°C , enquanto que a temperatura correspondente ao ponto de ebulição é 373°C . Considere que a pressão é de 1 atm e que o mercúrio em um termômetro sofre dilatação linear. Tem-se 324 K, qual o valor correspondente na escala Celsius nesse termômetro?

- a) () 48.
- b) () 44.
- c) () 75.
- d) () 67.
- e) () 51.

MEDIÇÃO DE PRESSÃO

1 INTRODUÇÃO

Na indústria em geral, os instrumentos empregados para realizar a medição e controle de pressão são os mais comuns e importantes para controlar determinados processos, nos mais diferentes ramos industriais. Vale lembrar que pressão é definida como força exercida em unidade de área.

$$P = \frac{F}{A}$$

Onde:

P = Pressão;
F = Força;
A = Área.

No sistema SI a unidade de pressão é dada em Pascal, entretanto é uma unidade de magnitude muito pequena, ela corresponde à pressão de uma coluna d'água de 0,1 mm de altura. O usual é representar utilizando Kilopascal (KPa) ou Megapascal (MPa).

$$1Pa = 1 \frac{N}{m^2}$$

Contudo, no sistema de medida inglês são utilizadas as seguintes unidades para pressão: Psi (libras por polegadas quadradas), kgf/cm²(quilograma força por centímetro quadrado), bar (10⁵ N/cm²), mmHg (milímetros de mercúrio), entre outros.

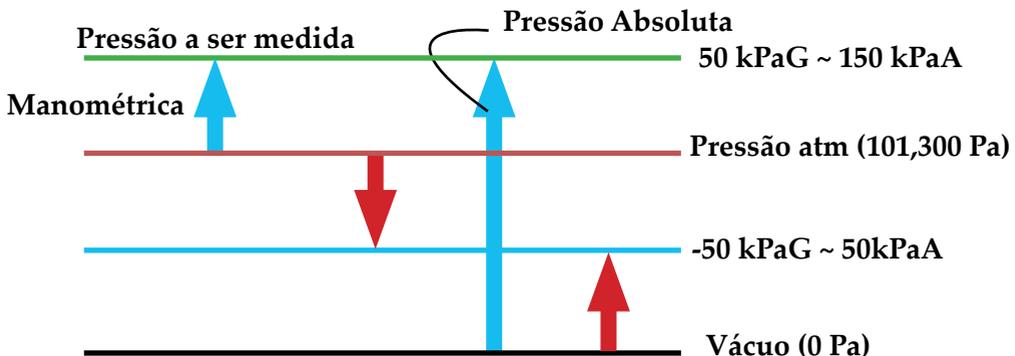
2 SENSORES DE MEDIÇÃO DE PRESSÃO

Geralmente, os sensores são definidos em virtude da técnica utilizada na conservação mecânica da pressão, que consiste em sistemas de medição eletrônicos, que convertem a pressão em um sinal eletrônico, o que possibilita a indicação e a leitura.

As medições de pressão são realizadas em função de uma referência, como por exemplo, a pressão usada para calibrar os pneus de um carro usa como referência a pressão do ar ambiente. Já para outros casos, são usados outros tipos de referência, logo, podem-se classificar as medidas de pressão como: absoluta, diferencial ou manométrica. Nota-se a relação entre os tipos de pressão medida na Figura 24.

- Pressão absoluta: toma-se como referência o vácuo perfeito. Logo a diferença da pressão em um determinado ponto em medição, pela pressão do zero absoluto (vácuo). Para indicar essa grandeza utiliza-se a notação ABS (4 kgf/cm² ABS ou 4 kgf/cm² A). A pressão absoluta sempre será positiva ou nula.
- Pressão diferencial: constitui-se da diferença da pressão medida entre dois pontos. Isso ocorre, quando a pressão medida em quaisquer pontos é subtraída pelo ponto zero de referência a pressão atmosférica.
- Pressão manométrica (Gauge): toma-se como referência a pressão atmosférica. Geralmente, o sensor acessa a pressão atmosférica, por intermédio de um respirador ou câmara. Ela consiste na diferença entre a pressão absoluta medida em um determinado ponto e a pressão atmosférica. Para representá-la é usual adicionar a letra "G" após a unidade (4 psig). A pressão manométrica pode ser positiva ou negativa.

FIGURA 24 – RELAÇÃO ENTRE OS TIPOS DE PRESSÃO A SER MEDIDA



FONTE: Os autores

Pode-se expressar a pressão como o somatório da pressão estática, dinâmica e assim chamada como pressão total (pressão de estagnação). A pressão estática ou hidrostática constitui da pressão real do fluido ou também chamada de pressão termodinâmica. Corresponde à pressão aplicada em um determinado ponto, e que exerce uma força perpendicular à superfície do fluido.

$$P_e = \rho gh$$

Onde:

P_e : pressão estática;
 g : aceleração da gravidade;
 ρ : densidade do fluido;
 h : altura.

A pressão dinâmica corresponde à pressão exercida no fluido em movimento. Ela está relacionada com a velocidade de escoamento do fluido e tende a aumentar quando o fluido em movimento é interrompido. A pressão dinâmica é expressa pela seguinte equação.

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho V^2 \left[N.m^2 \right]$$

Onde:

P_d : pressão dinâmica;
 ρ : densidade do fluido;
 V : velocidade de deslocamento.

A pressão de estagnação corresponde à pressão num determinado ponto de estagnação no escoamento. Ela corresponde ao somatório das pressões estáticas e dinâmicas.

$$P_0 = P + \rho \frac{V^2}{2}$$

Onde:

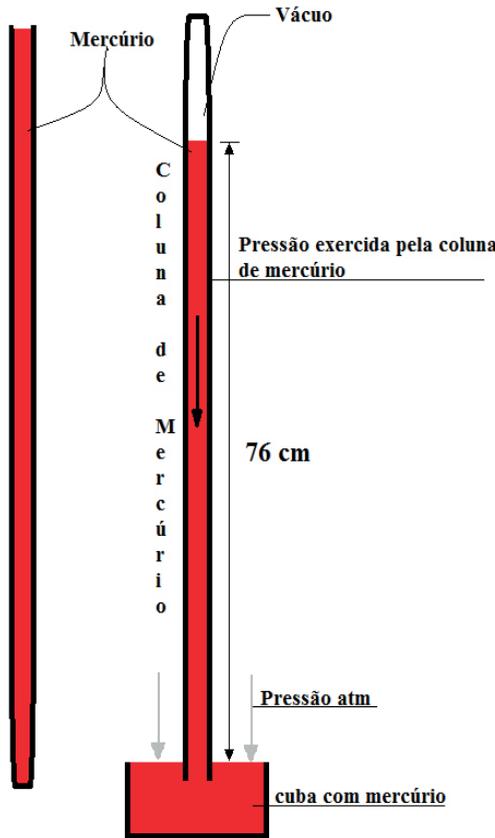
P_0 : corresponde a pressão de estagnação;
 P : termo da pressão estática;
 $\rho V^2/2$: termo de pressão dinâmica.

Esta equação (Equação de Bernouli) atesta que o somatório das pressões ao longo de um tubo é sempre constante para um sistema ideal. Basicamente, a pressão atmosférica ou barométrica é dada como a força por unidade de área que a atmosfera terrestre exerce sobre um local qualquer. A palavra “baros” em grego significa peso, assim o barômetro é o instrumento que mede o peso do ar na atmosfera, ou simplesmente a pressão exercida por ele. A unidade utilizada é o Bar.

Desenvolvido pelo físico e matemático italiano Evangelista Torricelli (1608-1647), o barômetro de mercúrio constitui de um tubo de vidro com aproximadamente 100 cm, e uma cuba contendo mercúrio no seu interior.

Torricelli constatou que invertendo o tubo e o mergulhando na cuba de mercúrio, o nível do mercúrio baixava até certo nível, entretanto, permanecia estável ao atingir aproximadamente 76 cm (Figura 25). Logo o cientista concluiu que acima, no tubo, havia vácuo e notou que o metal parou de descer, pois seu peso equilibrou-se pela força exercida pela pressão do ar sobre a face do mercúrio na cuba. Bem como, a altura da coluna de mercúrio varia conforme a altitude que é realizada o experimento. Isso, pois, a pressão atmosférica diminui em elevadas altitudes e aumenta em baixas altitudes. No nível do mar a pressão atmosférica é equivalente a 760 mmHg absolutos ou 1 bar.

FIGURA 25 – BARÔMETRO DE MERCÚRIO



FONTE: Os autores

Os manômetros são os instrumentos utilizados para medir a pressão através da força aplicada por um fluido (líquido ou gás) em uma superfície. Eles podem ser divididos em dois grupos os manômetros do tipo elástico que utilizam a deformação de um elemento elástico como meio de medir a pressão e, os do tipo líquidos que são caracterizados por utilizarem um líquido como meio para medir a pressão.

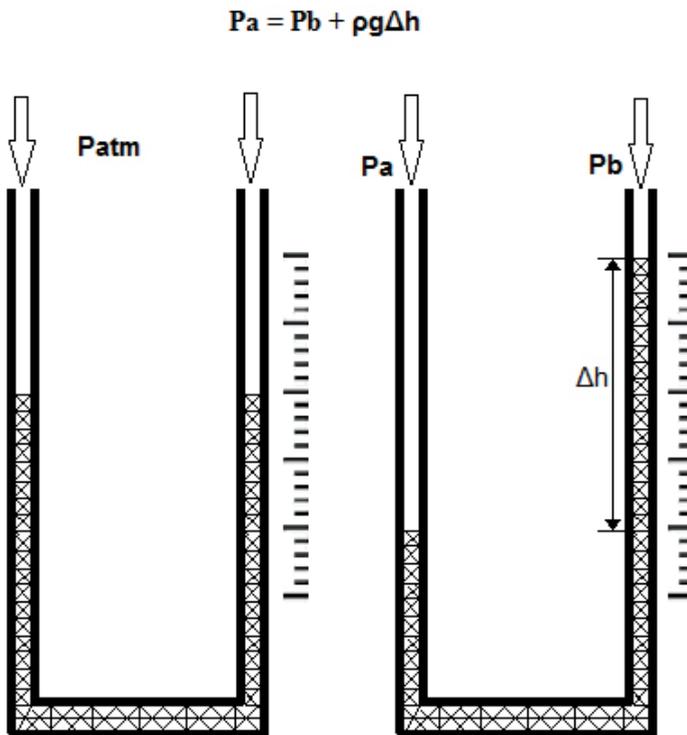
Os manômetros elásticos são divididos como: Tubo de Bourdon, Diafragma e Fole. Já os manômetros de líquidos são divididos em: tubo em “U”, tubo reto e tubo inclinado.

3 MANÔMETRO DE TUBO U

O manômetro de tubo U é muito simples, entretanto, muito importante na realização de medidas de baixas pressões. Pode ser facilmente construído e a leitura se dá pela diferença de pressão entre dois pontos desconhecidos, logo uma diferença manométrica. Ao conhecer as massas específicas dos fluidos presentes, os manômetros em tubo não necessitam de calibração para ler as diferenças de pressão. Os líquidos mais utilizados são a água (com corante) e mercúrio.

A Figura 26, a seguir, representa o tubo U, nota-se que é aplicado somente um valor de pressão em cada um dos lados dos tubos (P_a e P_b). Na figura da direita a pressão P_a é maior que P_b , proporcionando uma elevação do líquido no lado b. Ocasionalmente uma variação (Δh) de h , que é relacionado com a diferença em $P_a - P_b$.

FIGURA 26 – ESQUEMATIZAÇÃO DO MANÔMETRO DE TUBO “U”.



FONTE: Os autores

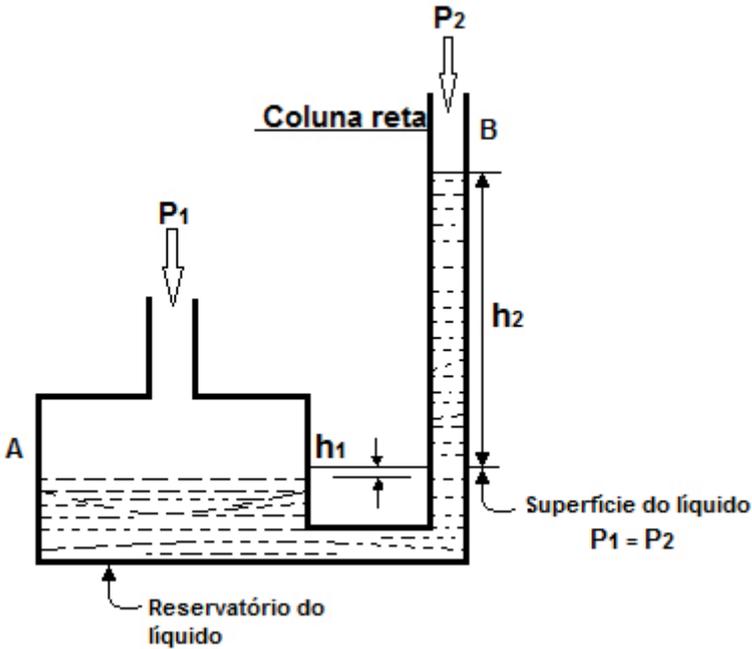
4 MANÔMETRO DE TUBO RETO

O manômetro de tubo reto é empregado em condições semelhantes a do tubo “U” (Figura 27). Entretanto, a geometria é diferente, uma vez que um dos ramos possui área maior e nele é aplicada a maior intensidade da pressão. Isso provoca um deslocamento no líquido, proporcionando um deslocamento ainda maior no outro ramo.

Como a área em “A” é muito maior do que área em “B”, para fins de cálculos, pode-se desconsiderar a área menor, isso resulta na equação simplificada a seguir.

$$P_1 - P_2 = \delta \cdot h_2$$

FIGURA 27 –ESQUEMATIZAÇÃO DO MANÔMETRO DE TUBO RETO



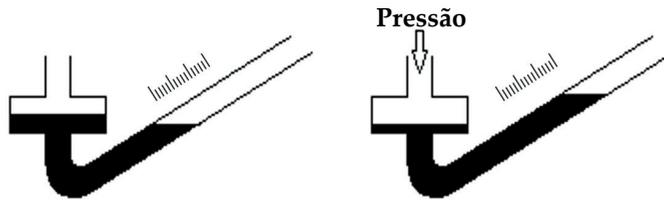
FONTE: O autor

Para fins de medição, a pressão diferencial, a “Pressão Maior” que deverá ser medida, deve ser ligada à conexão do reservatório. A fonte de pressão terá que ser conectada de tal forma que proporcione um deslocamento no fluido manométrico no tubo medidor, isso para qualquer tipo de medição. A pressão real é medida pela diferença das faces do fluido manométrico.

5 MANÔMETRO DE TUBO INCLINADO

Comumente utilizado para medir baixas pressões ou micropressão da ordem de 10 a 50 mmh₂O. O manômetro possui o tubo indicador inclinado (Figura 28) com pequeno diâmetro (2 a 3 mm), o que possibilita medições com boa precisão das pressões em função do deslocamento o líquido dentro do tubo, em torno de ± 0,02, mmh₂O. Em virtude de influências do fenômeno de tubo capilar, uniformidades relacionadas com o tubo, dentre outros fatores, recomenda-se utilizar uma razão de 1/10 em relação à inclinação. Ele possui a vantagem de expandir a escala de leitura, pois isso às vezes é bastante necessário, em virtude de realizar medições de pequenas pressões com boa precisão.

FIGURA 28 – ESQUEMATIZAÇÃO DO MANÔMETRO DE TUBO INCLINADO



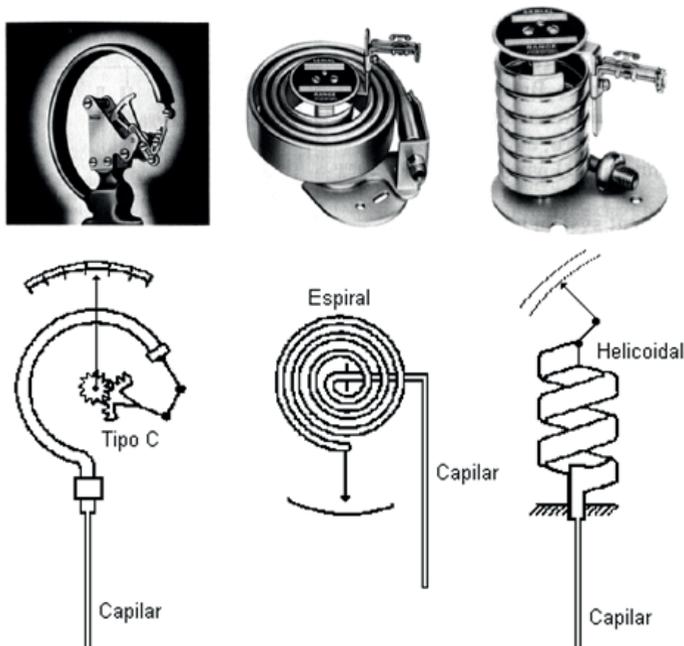
FONTE: Os autores

6 TUBO DE BOURDON

Os manômetros de Bourdon são medidores mecânicos de pressão e funcionam sem alimentação elétrica. São utilizados na medição de pressão relativa variando de 0,6 até 7000 bar. Ele é um dos mais eficientes instrumentos para aferir pressão nas grandes indústrias. Foi desenvolvido em 1852 por Eugene Bourdon.

O medidor de Bourdon consiste de um tubo curvado de seção oval com uma das pontas conectadas a pressão a ser medida e a outra no indicador de pressão. Pode ser encontrado na forma de "C", de helicoidal ou de espiral (Figura 29). O tubo de Bourdon do tipo C possui um ângulo de aproximadamente 250° e pode ser utilizado em pressões de 60 bar. Já os tubos de Bourdon helicoidais ou em espirais são utilizados em medições de pressões mais altas, como por exemplo, 7000 °C. Em virtude da necessidade, os elementos constituintes ao tubo de Bourdon podem ser fabricados de cobre, aço inoxidáveis ou materiais especiais.

FIGURA 29 – TIPOS DE MANÔMETROS DE BOURDON



FONTE: <<http://fenomenos-guilherme.blogspot.com/2010/10/medidores-de-pressao-elementos.html>> e <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAABlyMAH/apostila-instrumentacao-industrial2>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

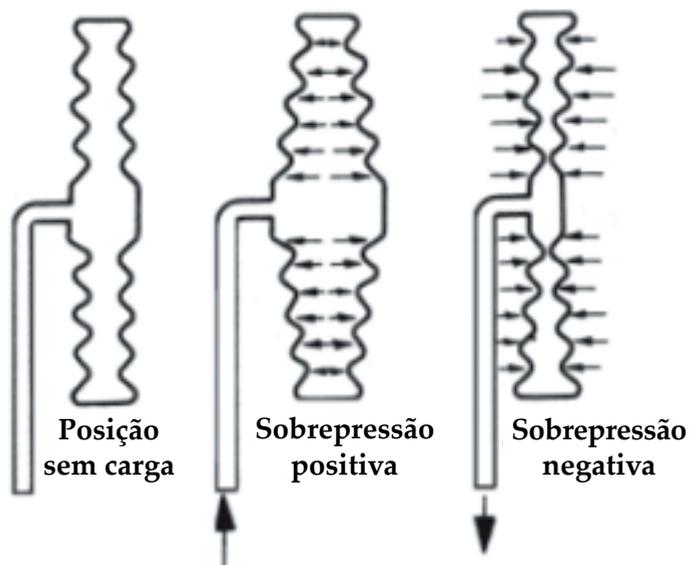
O princípio de funcionamento do tubo de Bourdon segue a lei de Hooke, ou seja, o módulo da força aplicada é totalmente proporcional a deformação ocasionada. Uma pressão aplicada ao tubo, se superior a pressão externa tende a endireitar a curvatura do tubo. Uma das extremidades se movimenta, articulando as alavancas com engrenagens ligadas ao ponteiro, registrando a pressão sobre a escala. A faixa de trabalho desse manômetro é de 1 Kgf/cm² de vácuo até 2000 Kgf/cm² (manométrico). Possui uma incerteza de 0,5 a 1 % da escala. Esse tipo de manômetro possui baixo custo, tanto relacionada à compra ou manutenção é de fácil funcionamento e instalação.

7 MANÔMETRO DO TIPO DE DIAFRAGMA

Os manômetros do tipo de diafragma são discos circulares utilizados em medições de pressões relativamente baixas, que variam até 16 bar. Esses manômetros servem para qualquer líquido de densidade constante, incluindo líquidos com sólidos em suspensão e viscosos.

Os diafragmas são flexíveis e ao aplicar uma pressão causará a deformação do mesmo, movimentando um sistema mecânico que indica a pressão a ser medida. Os diafragmas são constituídos de uma membrana fina de material elástico (couro, teflon, seda) ou metálico que fica sempre oposta a uma mola (Figura 30). Geralmente, o diafragma é ondulado e corrugado com intuito de aumentar a área efetiva. Quanto maior o diafragma, menor será a pressão medida. Eles são aplicados na indústria naval, química, farmacêutica e alimentícia.

FIGURA 30 – ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DO MANÔMETRO DO TIPO DIAFRAGMA



FONTE: <http://3.bp.blogspot.com/_bswyFuh9UF4/TLaBIRchm_I/AAAAAAAAADs/i8BAIAt6hpY/s200/Membrana_Diafragma.bmp>. Acesso em: 10 abr. 2019.

Outros sensores são utilizados com intuito de estimar a pressão a ser medida. Estes dispositivos podem transformar a pressão aplicada em um sensor, em um sinal eletrônico proporcional a mesma. Isso permite realizar medidas diretas ou indiretas de grandezas ou quantidades físicas. Podem ser citados os seguintes sensores:

- Piezoelétrico
- Capacitância variável (capacitivos)
- Ressonantes
- Óticos
- Piezo-resistivo (Strain Gage)
- Potenciômetro
- Outros.

SUGESTÃO DE AULA PRÁTICA I

Objetivos:

- Efeitos da pressão atmosférica.

Material utilizado:

- Copos de água
- Cartolinas

Procedimento experimental:

- Para o experimento será necessário cortar a cartolina em pedaços quadrados pouco maiores do que o diâmetro da boca do copo.
- Em seguida encha bem o copo com água. Espere que todas as bolhas do ar deixem o copo e depois coloque o pedaço de cartolina sobre a boca do copo.
- Segure a cartolina na boca do copo com a palma da mão e em seguida vire-o de cabeça para baixo. Imediatamente, com cuidado, retire a mão debaixo da cartolina.
- O quadrado de cartolina deve permanecer vedando a boca do copo.

Explicação: a pressão atmosférica que atua de fora do copo é maior do que a pressão da água, que atua em sentido oposto. Isso faz com que a cartolina caia. Logo a pressão atmosférica consegue equilibrar uma coluna de água de até 10 metros.

SUGESTÃO DE AULA PRÁTICA II

Objetivo:

- Efeitos da pressão atmosférica

Material utilizado:

- 1 alfinete;
- Um litro de refrigerante de 600 ml (sem o rótulo);
- Alicates de pressão;

Procedimento experimental:

- Encha a garrafa de 600 ml de água.
- Prenda o alfinete na ponta do alicate.
- Com a garrafa cheia, pegue o alfinete e faça quatro furos na parte inferior da garrafa (logo abaixo do rótulo).
- Note que ao furar a garrafa a água permanecerá no interior, sem que ocorra vazamento. Ao abrir a tampa começará a ocorrer vazamento do líquido que é interrompido ao efetuar o fechamento da garrafa.

Explicação: com a garrafa fechada a pressão atmosférica atua nos furos “empurrando” a água no interior da garrafa. Ao abrir a tampa, a pressão atmosférica começa a atuar de cima para baixo, “empurrando” a água para fora.

RESUMO DO TÓPICO 3

Neste tópico, você aprendeu que:

- São necessários alguns conceitos sobre pressão e sensores de medição de pressão para auxiliar a compreensão de como é realizada a medição dessa grandeza.
- Existem alguns tipos de instrumentos de medição de pressão, como por exemplo, barômetro e manômetro.
- Os barômetros são instrumentos de medida utilizados com a finalidade de determinar a pressão atmosférica de um determinado local.
- Os manômetros são instrumentos utilizados para medir a pressão através da força aplicada por um fluido (líquido ou gás) em uma superfície, por meio de um duto fechado.

AUTOATIVIDADE



- 1 Diferencie as pressões atmosférica, manométrica, diferencial e absoluta.
- 2 Diferencie manômetros do tipo elástico dos tipos líquidos. Cite exemplos.
- 3 Descreva o funcionamento de um barômetro de mercúrio.

MEDIÇÕES DE FORÇA E TORQUE

1 INTRODUÇÃO

A força e o torque são os conceitos físicos mais utilizados e discutidos em diversas situações de trabalho de um engenheiro e do cotidiano.

Imagine a situação em que você esteja a caminho da universidade e o pneu do seu carro esvaziou. Nesta ocasião será necessário realizar a troca do pneu murcho pelo estepe. Ao realizar o aperto dos parafusos você gostaria de se certificar que esse aperto foi o suficiente para permitir que as partes a serem fixadas permaneçam juntas com segurança e que o torque aplicado não seja exagerado a ponto de danificar os elementos de fixação.

O manual do seu automóvel indica qual é o torque adequado para realizar o aperto dos parafusos da roda. Sabendo disso, você saberia qual instrumento é o mais adequado para mensurar o torque realizado no aperto dos parafusos?

Neste tópico serão apresentadas as principais formas de mensurar as grandezas de força e torque.

2 FORÇA

Antes de trazer os meios para realizar a medição de força, vale a pena relembrar de forma sucinta os conceitos relacionados à força. Força é caracterizada como uma grandeza vetorial, ou seja, possui módulo, direção e sentido, que muda ou tende a mudar a forma relativa ou o movimento de um determinado corpo.

A unidade do Sistema Internacional (SI) de força é Newton (N), que representa a força necessária para acelerar uma massa de 1 kg a uma aceleração de 1 m/s^2 . Outra unidade também utilizada é o quilograma força (kgf), que é definida como a força que, quando aplicada a um corpo de 1 kg, produz aceleração igual a $9,81 \text{ m/s}^2$.

3 MEDIÇÃO DE FORÇA

Quando é necessário realizar a medição de uma força desconhecida, existem alguns métodos aliados aos seguintes princípios que podem ser aplicados:

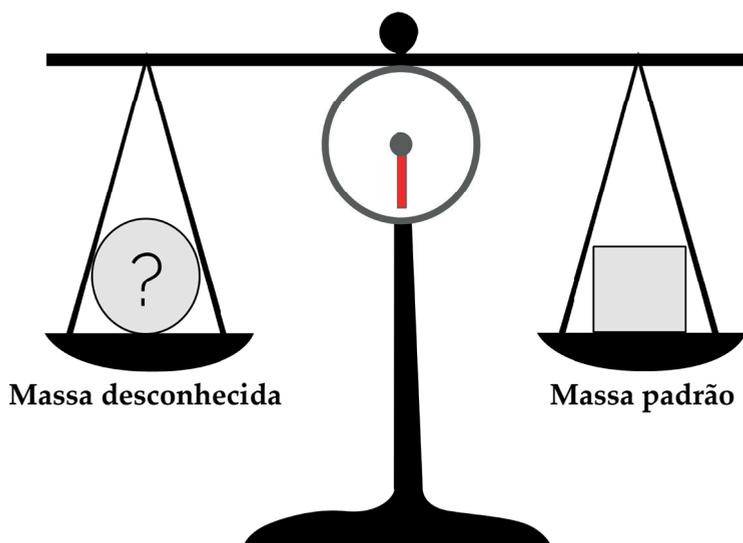
- Balança: por meio do contrabalanceamento da força gravitacional devida a uma massa conhecida.
- Célula de carga hidráulica e pneumática: transformando a força em pressão em um fluido e fazendo, portanto, a medida da pressão.
- Aplicando a força em um objeto elástico, e depois medindo a deformação dele.
- Equilíbrio de forças por magnetismo.
- Aceleração resultante: medindo a aceleração de um corpo de massa conhecido sobre o qual é aplicada a força.

3.1 BALANÇAS

A forma mais simples de determinação desconhecida é por meio do equilíbrio entre uma força gravitacional devida a uma massa padrão conhecida e a força devida à gravidade atuando sobre a massa que se deseja conhecer.

Para estabelecer a força desconhecida é necessário fazer o uso de uma balança de equilíbrio com braços iguais, conforme apresentado na Figura 31.

FIGURA 31 – BALANÇA DE EQUILÍBRIO COM BRAÇOS IGUAIS



FONTE: Os autores

Tal instrumento consiste de uma barra articulada sobre um ponto de apoio no centro. Anexado ao centro da barra está um ponteiro que aponta verticalmente para baixo quando a barra está em equilíbrio.

As condições de equilíbrio existem quando o momento de rotação no sentido horário é igual ao momento de rotação no sentido anti-horário, isto é:

$$m_1 l_1 = m_2 l_2$$

Como os dois braços são exatamente iguais, eles estarão em equilíbrio quando

$$m_1 = m_2$$

Além disso, para uma determinada localização, a atração da terra atua igualmente para as duas massas, portanto, nas condições de equilíbrio

$$P_1 = P_2$$

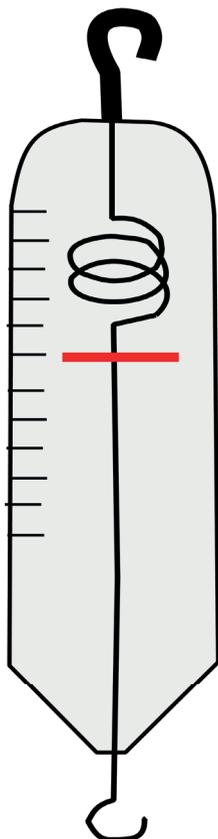
Ou seja, o peso desconhecido é igual à força do peso conhecido.

Nessa situação, para se determinar uma carga, é necessário possuir um conjunto de pesos que apresente a mesma carga a ser medida. E para o caso de cargas maiores, isso pode ser uma desvantagem. Nesses casos pode ser utilizada uma balança com barras de comprimento desiguais.

3.2 DINAMÔMETRO

Um dos principais instrumentos utilizados para medição de força são os dinamômetros, conforme ilustrado na Figura 32.

FIGURA 32 – DINAMÔMETRO DE MOLA



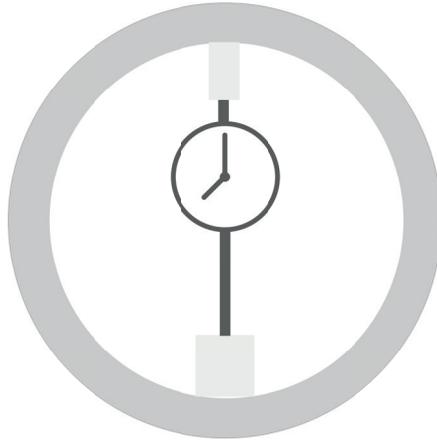
FONTE: Os autores

O princípio de funcionamento desse instrumento é a lei de Hooke, em que a força gravitacional exercida por um objeto preso ao dinamômetro é igual ao produto da deformação da mola e constante elástica da mesma. Tal constante depende do material que é utilizado para a fabricação desse componente.

3.3 ANEL DE PROVA

O anel de prova é outro dispositivo utilizado para mensurar a força. O princípio desse dispositivo consiste em um sistema que mede a variação gerada no diâmetro do anel. Na Figura 33 é ilustrado um exemplo de anel de prova.

FIGURA 33 – ANEL DE PROVA



FONTE: Os autores

Esse instrumento pode ser utilizado para verificar forças compressivas e forças trativas, muitas vezes empregado em calibração de instrumentos de medidas.

4 TORQUE

O torque, algumas vezes, também denominado momento de força, é uma grandeza que possui natureza vetorial, ou seja, possui módulo, direção e sentido e está associada às forças que produzem rotação em um corpo.

A magnitude do torque pode ser calculada da seguinte forma:

$$T = F \cdot r \cdot \text{sen}(\theta)$$

Onde:

F = força;

r = comprimento do braço da alavanca;

θ = ângulo entre o vetor força e o braço da alavanca.

E a unidade referente a essa grandeza no Sistema Internacional (SI) é Nm (Newton-metro).

5 MEDIÇÃO DE TORQUE

A medição do torque pode ser necessária por si mesma ou como parte da medição de potência para um eixo rotativo. Além disso, em algumas situações é necessário mensurar o valor do torque aplicado para apertar parafusos e porcas, nestas circunstâncias o instrumento mais utilizado é o torquímetro, conforme apresentado na Figura 34.

FIGURA 34 – TORQUÍMETRO DE ESTALO



FONTE: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1075967610-torquimetro-de-estalo-reversivel-12-pol-de-42-a-210-nm-mtx_JM?matt_tool=60151816&matt_word&gclid=CjwKCAjwYXmBRAOEiwAYsYl3JY6w-yUqYkHVw4jL7_58e6O9SRgdelKntvnN60dTUs9iZY5LZZM6hoC4g4QAvD_BwE&quantity=1>. Acesso em: 15 jan. 2019.

O torquímetro permite ajustar a força de torque que possibilita o aperto máximo sem o risco de danificar a porca e os parafusos. Em muitos objetos, como bicicletas, por exemplo, há uma indicação do torque necessário para fazer o aperto.

LEITURA COMPLEMENTAR

CONCEITO DE METROLOGIA

A metrologia é uma palavra de origem grega: metron = medida; logos = ciência. E é a ciência das medidas e das medições.

“Quando você pode medir aquilo de que fala e expressá-lo em números, você sabe alguma coisa sobre isto. Mas quando você não pode medi-lo, quando você não pode expressá-lo em números, o seu conhecimento é limitado e insatisfatório. Se você não pode medir algo, não pode melhorá-lo” (LORD KELVIN).

Ciência da medição que abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza, em quaisquer campos da ciência ou tecnologia. (INMETRO. VIM - 2. ed. Brasília, SENAI/DN, 2000 75p.).

É um conjunto de conhecimentos científico e tecnológico abrangendo todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições.

A Metrologia é a ciência das medições:

- Abrangendo todos os aspectos teóricos e práticos que asseguram a exatidão exigida no processo produtivo,
- Procurando garantir a qualidade de produtos e serviços através da calibração de instrumentos e da realização de ensaios.
- Sendo a base fundamental para a competitividade das empresas.

A metrologia é uma ferramenta imprescindível para:

- Avaliar a conformidade de produtos e processos;
- Garantia de justas relações de troca (relações comerciais);
- Promover a cidadania (saúde, segurança e meio ambiente);
- Qualidade, inovação e competitividade;
- Assegurar reconhecimento nacional e internacional.

Quais as áreas da Metrologia?

Basicamente, a metrologia está dividida em três grandes áreas:

- Metrologia Científica
- Metrologia Industrial
- Metrologia Legal

A Metrologia Científica: que se utiliza de instrumentos laboratoriais e das pesquisas e metodologias científicas que têm por base padrões de medição nacionais e internacionais para o alcance de altos níveis de qualidade metrológica.

A Metrologia Industrial: cujos sistemas de medição controlam processos produtivos industriais e são responsáveis pela garantia da qualidade dos produtos acabados.

A Metrologia Legal: que está relacionada a sistemas de medição usados nas áreas de saúde, segurança e meio ambiente.

Quais os objetivos da Metrologia?

- Traduzir a confiabilidade nos sistemas de medição.
- Garantir que especificações técnicas, regulamentos e normas existentes,
- Proporcionem as mesmas condições de perfeita aceitabilidade na montagem e encaixe de partes de produtos finais, independentemente de onde sejam produzidas.

- Melhoria do nível de vida das populações:
 - ♣ Consumo de produtos com qualidade;
 - ♣ Preservação da segurança, saúde e do meio ambiente.

Quais as vantagens da metrologia?

- Garante a qualidade do produto final
- ♣ Favorece as negociações pela confiança do cliente
- ♣ Diferenciador tecnológico e comercial para as empresas.
- Reduz o consumo e o desperdício de matéria prima
- ♣ Devido à calibração de componentes e equipamentos,
- ♣ Aumento da produtividade.
- Elimina a possibilidade de rejeição do produto,
- ♣ Resguarda os princípios éticos e morais da empresa no atendimento das necessidades da sociedade em que está inserida,
- ♣ Evita desgastes que podem comprometer sua imagem no mercado.

FONTE: Material desenvolvido pelo Cicmac – Inmetro Porto Alegre/RS.

RESUMO DO TÓPICO 4

Neste tópico, você aprendeu que:

- Existem alguns instrumentos de medida que são utilizados na medição de força, e quais são os princípios envolvidos no uso desses equipamentos.
- A força e torque são grandezas vetoriais.
- Os principais métodos aplicados na medição da força são a balança, célula de carga hidráulica e pneumática, deformação de um objeto elástico, equilíbrio de forças por magnetismo e aceleração resultante.
- O dinamômetro é um dos principais instrumentos utilizados na medição da força.
- O torquímetro é o instrumento utilizado para definir o torque durante o aperto de parafusos e porcas.

AUTOATIVIDADE



- 1 Diferencie força de torque.
- 2 Explique o princípio envolvido na medição da força com o dinamômetro.

REFERÊNCIAS

- ABRAMAN. **Mecânica metrologia básica.**(1996). Disponível em: <http://www.abraman.org.br/arquivos/70/70.pdf>. Acesso em: 1 out. 2018.
- ALMACINHA, José António. **Introdução à metrologia dimensional.** 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jose_Almacinha/publication/320288427_Introducao_a_MetrolMettr_Dimensional/links/59dba15da6fdcc1ec89f9cf8/Introducao-a-Metrologia-Dimensional.pdf. Acesso em: 01 out. 2018.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora 17 - Ergonomia.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1990. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr17.htm>. Acesso em: 10 dez. 2018.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora 16 - Atividades e operações perigosas.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2015. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr16.htm>. Acesso em: 10 dez. 2018.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora 10 - Segurança em instalações e serviços em eletricidade.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2004. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr10.htm>. Acesso em: 10 dez. 2018.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora 9 - Programa de Prevenção de Riscos Ambientais.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1994. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr9.htm>. Acesso em: 9 dez. 2018.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Portaria SSST nº 25**, de 29 de dezembro de 1994. Diário Oficial da União 1994; 30 dez.
- CORREIA, Maria Sonia Barros Barbosa. **Probabilidade e estatística.** Belo Horizonte: PUC-MG. 2003.
- COUTO, P. M. **Curso básico de metrologia dimensional.** Porto: CATIM, 1986.
- FILIFE, E.; PELLEGRINO, O.; BARATTO, A. C.; OLIVEIRA, S. P. ; MENDOZA, V. M. L. **Vocabulário internacional de metrologia:** conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012)(1. edição luso-brasileira, autorizada pelo BIPM, da 3. edição internacional do VIM-International Vocabulary of Metrology. Rio de Janeiro, 2012.

INMETRO, 2012. **O que é o Inmetro**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/inmetro/oque.asp>. Acesso em: 1 out. 2018.

INMETRO, 2013. **Portaria nº 590, de 2 de dezembro de 2013**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002050.pdf>. Acesso em: 15 out. 2018.

INMETRO. **Vocabulário internacional de metrologia**: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012). Duque de Caxias, RJ : INMETRO. 1. ed. Luso –Brasileira, 2012.

JUNIOR, Armando Albertazzi Gonçalves; SOUSA, André Roberto de. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. Barueri: Manole, 2008.

RAGHAVENDRA, N. V.; KRISHNAMURTHY, L. **Engineering metrology and measurements**. Oxford: Oxford University Press, 2013.

TELECURSO. **Metrologia**. (2000). Disponível em: https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm_source=telecurso-2000-metrologia-pdf. Acesso em: 1 out. 2018.

TELECURSO. **Metrologia**. (2000). Disponível em: https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm_source=telecurso-2000-metrologia-pdf. Acesso em: 1 out. 2018.

VICENTE, A. **Metrologia industrial**. Mundo mecânico treinamentos e tecnologia. 2007. Disponível em: http://mundomecanico.com.br/wpcontent/uploads/2017/03/AP_Metrologia_2017.pdf. Acesso em: 15 fev. 2019.

ZHANG, G. X. et al. A study on the abbe principle and abbe error. **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, v. 38, n. 1, p. 525-528, 1989.

3ª CGPM, 1901. Disponível em: <https://www.bipm.org/utis/common/pdf/CGPM/CGPM3.pdf#page=38>. Acesso em: 20 abr. 2019.

9ª CGPM, 1948. Disponível em: <https://www.bipm.org/utis/common/pdf/CGPM/CGPM9.pdf#page=70>. Acesso em: 20 abr. 2019.

13ª CGPM, 1967/68. Disponível em: <https://www.bipm.org/utis/common/pdf/CGPM/CGPM13.pdf#page=103>. Acesso em: 20 abr. 2019.

14ª CGPM, 1971. Disponível em: <https://www.bipm.org/utis/common/pdf/CGPM/CGPM14.pdf#page=77>. Acesso em: 20 abr. 2019.

16ª CGPM, 1979. Disponível em: <https://www.bipm.org/utis/common/pdf/CGPM/CGPM16.pdf#page=100>. Acesso em: 20 abr. 2019.

17ª CGPM, 1983. Disponível em: <https://www.bipm.org/utis/common/pdf/CGPM/CGPM17.pdf#page=97>. Acesso em: 20 abr. 2019.