



SENAI
PETROBRAS
CTGÁS

Metrologia

2001

© 2001. CTGÁS

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

Centro de Tecnologias do Gás – CTGÁS
Unidade de Negócios de Educação – UNEd.

Este trabalho foi elaborado por uma equipe cujos nomes estão relacionados na folha de créditos.

FICHA CATALOGRÁFICA

**CTGÁS. UNEd. Curso Técnico em Tecnologias Finais do
Gás Natural: Metrologia. Natal, CTGÁS 2002.103p. il.**

Centro de Tecnologias do Gás
Av. Cap. Mor Gouveia, 1480 – Lagoa Nova
CEP: 59063-400 – Natal – RN
Telefone: (84) 204.8100
Fax: (84) 206.2778
E-mail: ctgas@ctgas.com.br

Sumário

1. Conceitos fundamentais	5
2. Considerações gerais	8
3. Unidades e padrões	13
4. Alguns Termos da Terminologia Metrológica	20
5. Resultado da medição	22
6. Calibração de Sistemas de Medição.....	39
7. Implementação de Laboratórios de Metrologia	45
8. Credenciamento de Laboratórios de Calibração.....	46
Bibliografia.....	80
FOLHA DE CRÉDITO	81

1. Conceitos fundamentais

1.1 Definição

A medição é uma operação antiquíssima e de fundamental importância para todas as atividades do ser humano.

A metrologia é um conjunto de conhecimentos científico e tecnológicos abrangendo todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições.

A metrologia é uma ferramenta imprescindível para:

- ?? Avaliar conformidade de produtos e processos;
- ?? Assegurar relações comerciais justas;
- ?? Promover a cidadania;
- ?? Assegurar reconhecimento nacional e internacional.

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

A importância da **ciência da medição**, em que se insere a **metrologia**, tem crescido proporcionalmente à frenética busca das empresas brasileiras por mais qualidade com vistas a aumentar a competitividade dos produtos que fabricam. As normas do Sistema de Garantia da Qualidade contemplam a parte metrológica e estabelecem procedimentos que devem ser seguidos quando da seleção, uso, calibração, controle e manutenção dos padrões de medição e equipamentos de medição.

Entre os diversos atributos que permitem a uma nação ser competitiva, distinguem-se: tecnologia, produtividade dos processos, preço e qualidade dos produtos. É nesse contexto que a metrologia desempenha um de seus mais significativos papéis.

Fenômeno também denominado "Terceira Onda", a metrologia, que vinha sendo entendida como base técnica da qualidade, ganha visibilidade mundial, uma vez que a melhor capacidade de medição dos países passa a refletir um indicador do estágio de soberania nacional pelo simples fato de inserir as nações no ranking produtivo mundial. Em

resumo, não há qualidade sem metrologia. A metrologia é indispensável a qualquer processo de controle da qualidade e está diretamente ligada ao grau de competitividade de um país.

As atividades básicas do INMETRO em metrologia estão estruturadas nas seguintes áreas.

1.1.1. Metrologia Científica e Industrial

A Metrologia Científica e Industrial incumbe-se de todas as ações seqüenciais que vão desde a metrologia básica, buscando definições das unidades de medida do Sistema Internacional de Unidades SI, realizando e conservando essas unidades, disseminando-as com seus múltiplos e submúltiplos, até atingir as medições realizadas nas indústrias, dentro de uma confiabilidade metrológica aceitável.

1.1.2. Metrologia Legal

Refere-se às exigências legais, técnicas e administrativas, relativas às unidades de medida, aos instrumentos de medir e às medidas materializadas, que afetam o comércio, a saúde e a proteção do consumidor.

Visa-se principalmente as operações comerciais onde as medições assumem papel de extrema relevância no tocante aos aspectos de exatidão e lealdade.

Para exercer o controle dos instrumentos de medir envolvidos em tais operações o governo estabelece leis e regulamentos técnicos, regulamentando as atividades relacionadas ao processo de verificação de instrumentos, fiscalização e aprovação de modelos de instrumentos de medir.

O domínio da metrologia legal estende-se ainda aos instrumentos empregados na manutenção da saúde pública, tais como termômetros clínicos, esfigmomanômetros (medidores de pressão arterial), seringas médicas etc, bem como àqueles utilizados na garantia da segurança pública, tais como manômetros, velocímetros, termômetros, etc.

1.2. Estrutura Metrológica Brasileira

No Brasil, as funções básicas da tecnologia industrial (metrologia, normalização, credenciamento e avaliação de conformidade) foram incorporadas em um único sistema. Este é o Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO), criado pela Lei 5966, de 11/12/73. No que concerne as atividades da metrologia, o SINMETRO possui amplas abrangências: contempla as atividades da metrologia científica, industrial e legal, cabendo a esta última a aprovação de novos modelos de Instrumentos de medição, a verificação e fiscalização no País da atividade metrológica de natureza compulsória, conduzida em benefício da preservação dos direitos do consumidor, do meio ambiente e do desenvolvimento da cidadania.

Integrando um fórum de oito Ministros de Estado (do desenvolvimento, Indústria, e Comércio Exterior; da Ciência e Tecnologia; da Saúde; do Trabalho e Emprego; da Justiça; das Relações Exteriores; do Meio Ambiente; da Agricultura e Abastecimento) e representações da Confederação Nacional da Indústria; do Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor, e da Associação Brasileira de Normas Técnicas, o Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO) é o órgão normativo do SINMETRO que possui a responsabilidade pela formulação da política metrológica brasileira. O INMETRO, que é o gestor do SINMETRO, atua também como secretaria executiva do CONMETRO e de seus comitês técnicos que o assessoram.

Responsável, no Brasil, pela guarda dos Padrões Nacionais e pela realização e disseminação das unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI), o Laboratório Nacional de Metrologia (LNM) vincula-se ao INMETRO. A Resolução CONMETRO nº 03, de 7/11/89 formalizou a sua missão institucional, conferindo-lhe a responsabilidade pela guarda dos padrões nacionais e autonomia para agregar novos laboratórios à sua estrutura laboratorial, em áreas críticas de Interesse da metrologia brasileira. Também fomenta a pesquisa fundamental cooperativa em metrologia, a participação dos padrões nacionais em programas de âmbito regional e internacional de comparação e a presença de seus pesquisadores em Fóruns mundiais da metrologia, assegurando um fluxo permanente de informação estratégico a atualização da sua ação.

1.2.1. O Laboratório Nacional de Metrologia (LNM)

Vinculado ao INMETRO através da sua Diretoria de Metrologia Científica e Industrial (DIMCI), o LNM opera por delegação supervisionada do governo brasileiro e integra 25 laboratórios de referência, em cinco divisões de metrologia abaixo caracterizados.

Divisão de Metrologia Mecânica (DIMEC) ; Divisão de Metrologia Elétrica (DIELE); Divisão de Metrologia Acústica e de Vibrações (DIAVI); Divisão de Metrologia Óptica (DIOPT); Divisão de Metrologia Térmica (DITER); Divisão de Metrologia Química e Ambiental (DIAMB)

Os laboratórios de referência que integram o LNM atendem rígidas exigências de normas e práticas internacionais, dispondo de infra-estrutura laboratorial adequada, protegida de interferências mecânicas e eletromagnéticas. Estão dotados de climatização (controle permanente de temperatura e umidade, com sistema de renovação de ar ambiental); de sistema da qualidade em processo de constante atualização e monitoramento do sistema de rastreabilidade dos padrões nacionais de referência, em conformidade com os preceitos do Guia ABNT ISO/IEC 17025.

O LNM dissemina as unidades de base e derivadas do SI por intermédio de uma rede de laboratórios credenciados pelo INMETRO, laboratórios estes disponíveis nas

diversas regiões do País e que operam nas diferentes especialidades da metrologia, oferecendo serviços básicos da qualidade e da competitividade.

1.2.3. Infra-estrutura Laboratorial Brasileira de Calibração e de Ensaios

Em atendimento à demanda brasileira de serviços de calibração e de ensaios, foi introduzida no Brasil, em 1982, a prática do credenciamento de laboratórios, segundo preceitos internacionais. Foi delegado ao INMETRO a autoridade para atuar como Organismo Credenciador.

Agregando competências técnicas e capacitações laboratoriais em diversas regiões do País, laboratórios de indústria, de universidades e de institutos de pesquisa tecnológica e laboratórios independentes dedicaram-se à prestação de serviços de calibração e de ensaios, estes voltados à qualificação e avaliação de conformidade de produtos que buscam a certificação.

2. Considerações gerais

2.1. Recomendações sobre Manipulação dos Números

Para muitos profissionais, medir significa apenas obter um ou mais números acompanhados de uma unidade. Por trás desta operação aparentemente simples, existe uma quantidade elevada de fatores, sendo necessário conhecê-los e controlá-los, tarefa nem sempre fácil. Medir parece ser fácil, mas cometer erros é ainda muito mais fácil.

A expressão e manipulação de um dado número são as bases para qualquer trabalho de medição. O dado numérico resultante da medição deve ser claro, não deixando dúvidas, quer em termos quantitativos, quer em termos da incerteza de medição de que está revestido. Decorre daí a necessidade de preocupação com a qualidade da representação numérica. Esta deve estar expressa de forma confiável, exigindo a manipulação correta dos dados. Não há técnica que evite totalmente os erros relacionados com o processo de representação numérica de dados. O importante é que se siga uma metodologia adequada, tendo como objetivo assegurar a simplicidade, clareza e confiabilidade. Apresentamos algumas recomendações sobre apresentação e manipulação de um dado número, tais como: arredondamento, leitura, registro e organização de uma tabela.

Todo número deve ser apresentado de tal forma que não haja dúvida sobre a sua correta interpretação. Existem regras elementares para apresentação de um dado numérico: evitar o uso de caracteres pequenos que possam dificultar a leitura e alinhar todos os números horizontalmente e verticalmente. Recomenda-se sempre que possível o uso de tabelas previamente elaboradas. O alinhamento vertical deve ser obtido pela posição da vírgula. Exemplos:

2,121 0 u.c. (unidades convencionais)

431,35 u.c.;

Não omitir vírgula nem zero à esquerda da vírgula, o uso do ponto, em vez da vírgula (notação científica), não se constitui notação correta. Exemplos:

43,279.168 u.c. substitui por 43 279,168 29 u.c.;

.31 u.c. substituir por 0,31 u.c.;

Não utilizar frações. Exemplos:

$\frac{1}{4}$ u.c. substituir por 0,25 u.c.;

Escrever os números com os algarismos separados em grupos de três.

Em números inteiros, separar os grupos a partir da direita. Em números decimais, separar a partir da vírgula, para a direita e para a esquerda. Não se recomenda o uso de ponto para separar os grupos de três algarismos. Exemplos:

321 531 780 u.c. (número inteiro)

61,529 u.c. (número decimal);

Expressar os números acompanhados das respectivas unidades. As unidades de medidas legais no Brasil são aquelas do Sistema Internacional de Unidades (SI).

2.2 Notação Científica

A notação científica é uma forma reduzida de representação numérica através de potências decimais. Os números escritos em notação científica compõem-se de duas partes: a mantissa e o expoente. A mantissa é formada pelos algarismos significativos do número, variando de 1,000... a 9,999.... O expoente define a ordem de grandeza do número, isto é, a potência de dez que o multiplica. Algarismo significativo em um número pode ser entendido como cada algarismo que individualmente tem algum significado. Exemplo: $1,235\,433\,1 \times 10^5$. Deve-se observar que o uso dos termos “parte por milhão (ppm)”, “parte por bilhão (ppb)” e “parte por trilhão (ppt)” não é aceitável para expressar valores de grandezas.

Já o arredondamento é o processo que constitui em substituir um ou mais algarismos de um dado número. Os algarismos substituídos são considerados não-significativos.

Se os algarismos a serem descartados começam com um algarismo superior a 5, o algarismo precedente deve ser aumentado de 1. Exemplos: 6,974 951 5 u.c. - arredondar para 4 algarismos - 6,975 u.c.

1,7 u.c. - arredondar para 1 algarismo - 2 u.c.

Se os algarismos a serem descartados começam com um algarismo inferior a 5, o algarismo precedente deve ser mantido inalterado. Exemplos: 6,974 951 5 u.c. - arredondar para 3 algarismos - 6,97 u.c.

1,1 u.c. - arredondar para 1 algarismo - 1 u.c.

Se os algarismos a serem descartados começam com 5 e pelo menos um dos algarismos seguintes é maior que 0, o algarismo que precede ao 5 é aumentado de 1. Exemplos: 6,974 951 5 u.c. - arredondar para 5 algarismos - 6,975 0 u.c.

Se os algarismos a serem descartados começam com um 5 e todos os algarismos seguintes são iguais a 0, o algarismo que precede o 5 não é alterado se ele for par e aumentado de 1 se ímpar. Exemplos:

6,974 951 5 u.c. - arredondar para 7 algarismos - 6,974 952 u.c.

6,974 950 5 u.c. - arredondar para 7 algarismos - 6,974 950 u.c.

Quando a grandeza é expressa em uma unidade e esta é transformada em outra, pela multiplicação da mesma por um fator de conversão, alguns cuidados devem ser tomados no arredondamento, de maneira que a incerteza intrínseca permaneça consistente ao valor numérico não-convertido. Por exemplo, para transformar 36ft para metros, devemos multiplicar este valor pelo fator de correção $3,048 \times 10^{-1}$, cujo resultado é igual a 10,972 8m. O arredondamento mais adequado é 11,0m. Isto se explica porque a incerteza intrínseca do valor não convertido é $\pm 0,5$ m equivalente em termos relativo a $\pm 1,4$ %. Ao arredondarmos para 11,0m, a incerteza intrínseca equivale a $\pm 0,05$ m (ou $\pm 0,45$ %). Caso seja arredondado para 11 m, a incerteza intrínseca será equivalente a $\pm 4,5$ %, o que degradaria o resultado em relação do valor não convertido.

O arredondamento deve ser somente aplicado ao resultado final. Obedecendo-se as regras de arredondamento de números, não se deve aplicar arredondamento seqüencial e nem arredondamento a parâmetros e resultados parciais de expressões numéricas, já que o erro acumulado de arredondamento tenderá a crescer. Quando um arredondamento for necessário durante os cálculos, deve-se manter nos resultados parciais, pelo menos um, e freqüentemente dois algarismos significativos a mais do que o número de algarismos significativos especificado para o resultado final. Desta forma, evita-se que o erro de arredondamento seqüencial seja superior a incerteza implícita, que é correspondente a meia unidade da ordem do último algarismo significativo considerado após o arredondamento.

2.3 Leitura e Registro

Mesmo com a crescente automatização do processo de medição, uma grande parte das medições ainda é baseada na leitura visual das indicações de instrumentos/sistemas de medição. Em instrumentos/sistemas de medição analógicos e digitais, em função das limitações do executor da leitura, da qualidade do instrumento e da própria necessidade de leituras mais ou menos criteriosas, a resolução é um fator essencial.

Como recomendações gerais para leitura e registro de dados numéricos, tem-se que:

- É conveniente ler e registrar o número como é apresentado, sem aproximações e arredondamentos, mesmo sendo comum que a incerteza de medição do instrumento seja maior do que a resolução. No resultado final é que será; verificado se um algarismo lido e registrado, é ou não significativo;

- Em instrumentos/sistemas de medição analógicos, a leitura irá depender da divisão de escala. Quando a divisão de escala é 0,01 u.c. a indicação deve ser lida com três

casas decimais. Quando a divisão de escala corresponde a 0,2 u.c.; 0,5 ou 1,0 a indicação deve ser lida com duas casas decimais. E quando a divisão de escala corresponde a 2; 5 ou mais, a indicação deve ser lida com uma casa decimal;

- Em instrumentos/sistemas de medição digital, por vezes ocorre que normalmente o último dígito não é estável. Além disso, sua variação nem sempre é unitária, com frequência é da ordem de 5 unidades e algumas vezes 2 unidades. Nesses casos, deve ser registrado pelos menos o maior e o menor número apresentado no último dígito, em cada ciclo de medição, para permitir detectar a maior variação dos dígitos;

- Se dois observadores são disponíveis, um deve ler enquanto o outro deve registrar as leituras. Os dois observadores devem trocar as posições e efetuar mais ciclos de medições, no mínimo três;

- Todos os registros devem ser devidamente anotados exatamente da maneira como foram obtidos, sem correções. Na ocorrência de alguma transcrição errada, deve-se apenas riscar o número de forma que ainda fique legível, escrevendo o número correto ao lado. Esse procedimento permite detectar possíveis fontes de erros.

Evitar erros grosseiros exige atenção. O observador deve ter certeza de que o número registrado corresponde ao número lido, evitando assim, erros de transcrição, devidos ao registro ou interpretação errada. Esses erros podem ser evitados repetindo a leitura ou verificando novamente o número após ter sido registrado e analisando se os valores observados e anotados são coerentes. Uma outra exigência básica a ser observada é a independência das medições, isto é, uma medição não deve ser influenciada pelas medições anteriores.

Além de eventuais problemas durante o registro, alguns dados requerem manipulação, antes de sua utilização. É o caso de registro em gráficos contínuos, que devem ser lidos e interpretados. É imprescindível que o observador tenha habilidade e qualificação necessária para exercer tal função, além da necessidade de se estabelecer procedimentos, em todos os níveis, para revisão e controle de dados numéricos.

No caso de leitura e interpretação de dados, a tarefa não deve se estender em longas jornadas contínuas. Há necessidade de intervalos de descanso para que não se aumente, de forma significativa, probabilidade de incidência de erros grosseiros.

Quaisquer anomalias ou alterações no fluxo normal dos trabalhos que possam ocorrer durante a medição, incluindo troca de observadores, devem ser anotadas. Além disso, cada registro deve conter data, nome do observador, identificação de toda instrumentação utilizada, condições ambientais e quaisquer outras informações relevantes. Como recomendação útil, quanto à manipulação de dados numéricos, tem-se que:

- Extrapolações devem ser evitadas, a menos que seja conhecida a característica de resposta do sistema/instrumento de medição;

- Conversões de unidades devem, quando possível, ser evitadas em estágios intermediários do cálculo do resultado final;
- Após o processamento devem ser verificados todos os dados de entrada e todos os cálculos;
- Todo resultado deve ser submetido à análise de consistência para verificar sua conformidade com especificações técnicas.

Muitas vezes os dados são coletados desordenadamente. É preciso ordená-los a fim de facilitar o seu manuseio e interpretação. Se forem dados numéricos, por exemplo, pode-se ordená-los crescente ou decrescente, dispondo-os em tabelas.

Há inúmeros modos de se organizar uma tabela. Existem, porém algumas recomendações básicas para apresentação de tabelas, tais como:

- Uma tabela deve constituir-se de um título, cabeçalho, coluna indicadora, corpo e rodapé (quando aplicável);
- Colunas indicadoras devem apresentar o nome ou símbolo da variável, acompanhada de sua unidade;
- Nenhuma célula da tabela deve ficar em branco, deve sempre apresentar um número ou um sinal;
- A tabela deve estar disposta de forma que a leitura não exija a colocação do volume fora de sua posição formal. Quando não-aplicável, a tabela deve ser apresentada de forma que a rotação da página para leitura seja no sentido dos ponteiros do relógio;
- As tabelas, excluindo os títulos, devem ser delimitadas na parte superior e inferior por linhas mais grossas, preferencialmente;
- Quando necessário a continuação da tabela na página seguinte, a tabela não deve ser delimitada na parte inferior, repetindo-se o cabeçalho na página seguinte com indicação de continuação;
- Quando a tabela tiver poucas colunas e muitas linhas, poderá ser disposta em duas ou mais partes, lado a lado, separando as partes por uma linha vertical mais grossa.

Assim pode-se concluir que existem uma série de recomendações que ajudam a detectar e remover algumas fontes de incertezas. Este texto visa o fornecimento de conhecimentos necessários, seja para aplicação industrial, laboratorial ou de pesquisa científica ou tecnológica, tendo como principal objetivo solidificar o conhecimento base, o qual facilitará o entendimento de qualquer procedimento metrológico.

3. Unidades e padrões

3.1. O Sistema Internacional de Unidades

3.1.1. Necessidade de um Sistema Internacional

Essencial para a realização de uma medição é a existência da unidade, estabelecida por um padrão, segundo uma convenção própria, regional, nacional ou internacional.

No transcorrer do tempo, diversos foram os sistemas de unidades estabelecidas nas diferentes regiões do mundo. Em função do intercâmbio internacional de produtos e informações, bem como da própria incoerência entre unidades anteriormente adotadas, estabeleceu-se em 1960, através do "Bureau Internacional de Pesos e Medidas - BIPM" um conjunto coerente de unidades, o SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), que consta das unidades de: base, derivadas e suplementares.

O BIPM tem por missão assegurar a unificação mundial das medidas físicas.

A adoção das unidades do SI é no Brasil uma obrigatoriedade legal e traz uma série de pontos positivos:

- a) facilidade de entendimento das informações a nível internacional (vantagem comercial e científica);
- b) demonstração de maturidade técnico-científica através do abandono de sistemas superados.
- c) a simplificação das equações que descrevem os fenômenos físicos, pelo fato de existir consistência entre as unidades das grandezas envolvidas;

3.3. As Três Classes de Unidades do SI

No Sistema Internacional distinguem-se três classes de unidades:

- unidades de base;
- unidades derivadas;
- unidades suplementares.

3.3.1. Unidades de Base

No SI apenas sete grandezas físicas independentes são definidas, as chamadas unidades de base. Embora o valor de cada grandeza seja sempre fixo não é raro que a forma de definir uma grandeza sofra alteração. Quando ocorrem, estas alterações são motivadas por algum avanço tecnológico que cria melhores condições de reprodução do valor unitário desta grandeza, isto é, praticidade e menores erros.

3.3.2. Unidades Derivadas

Unidades derivadas são as unidades que são formadas pela combinação das unidades de base segundo relações algébricas que correlacionam as correspondentes grandezas. Constituem a grande maioria das grandezas em uso. Por serem muito empregadas, algumas grandezas recebem denominação específica, como exemplo o

newton, pascal, watt, hertz, etc (a grafia com iniciais em letras minúsculas é intencional e é para diferenciar dos respectivos nomes próprios Newton, Pascal, Watt, Hertz, etc).

3.3.3. Unidades Suplementares

No SI são também definidas as unidades suplementares. São unidades cuja definição é puramente matemática, sem que um padrão ou elemento físico seja necessário. Trata-se basicamente das unidades de ângulo plano e ângulo sólido, como mostra a tabela 1. O ângulo plano é a relação entre dois comprimentos e o ângulo sólido é a relação entre uma área e o quadrado de um comprimento. São unidades sem dimensão. Nota-se que estas unidades também podem ser combinadas com as unidades base para formar novas unidades derivadas.

TABELA 1. UNIDADES SI SUPLEMENTARES E SUAS DERIVADAS

GRANDEZAS	UNIDADE SI	
	NOME	GRANDEZA
Ângulo plano	Radiano	rad
Ângulo sólido	esteradiano	sr
Velocidade angular	radiano por segundo	rad/s
Aceleração angular	radiano por segundo quadrado	rad/s ²
Intensidade energética	watt por esteradiano	W/sr
Luminância energética	watt por metro quadrado esteradiano	W.m ⁻² r ⁻¹

Observação: É importante salientar que cada grandeza física tem uma só unidade SI, mesmo que esta unidade possa ser expressa sob diferentes formas, porém o inverso não é verdadeiro: a mesma unidade SI pode corresponder a várias grandezas diferentes.

TABELA 1.1. UNIDADES DE BASE DO SISTEMA INTERNACIONAL

GRANDEZA FUNDAMENTAL	UNIDADE DEFINIÇÃO	UNIDADE SÍMBOLO	ERRO ATUAL DE REPRODUÇÃO
Comprimento	O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo, durante o intervalo de tempo de 1/299792458 do segundo.	m	4×10^{-9}
Massa	O quilograma é a unidade de massa: ele é igual à massa do protótipo internacional do quilograma.	kg	10^{-9}
Tempo	O segundo é a duração de 9.192.631.770 períodos de radiação correspondente à transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do césio 133.	s	10^{-10}
Intensidade de corrente elétrica	O ampère é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, mantida entre dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível, e situada à distância de 1 metro entre si, no vácuo, produz entre estes condutores uma força igual a 2×10^{-7} newton por metro de comprimento.	A	
Temperatura termodinâmica	O kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é a fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica do ponto trípice da água.	K	$1K \approx 3 \times 10^{-3}$
Intensidade luminosa	A candela é a intensidade luminosa, numa dada direção de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} e cuja intensidade energética nessa direção é 1/683 watt por esterradiano.	cd	
Quantidade de matéria	O mol é a quantidade de matéria de um sistema contendo tantas entidades elementares quanto átomos existem em 0,012 quilogramas de carbono 12.	mol	

TABELA 1.2. ALGUMAS UNIDADES SI DERIVADAS

GRANDEZA	UNIDADE SI		
	NOME	SÍMBOLO	EXPRESSÃO EM UNIDADE DE BASE
Superfície	Metro quadrado	m ²	m ²
Volume	Metro cúbico	m ³	m ³
Velocidade	Metro por segundo	m/s	m/s
Aceleração	Metro por segundo ao quadrado	m/s ²	m/s ²
Massa específica	quilograma por metro cúbico	kg/m ³	kg/m ³
Volume específico	metro cúbico por quilograma	m ³ /kg	m ³ /kg
Frequência	hetz	Hz	s ⁻¹
Força	newton	N	m.kg.s ⁻²
Pressão	pascal	Pa	m ⁻¹ .kg.s ⁻²
Energia, trabalho, quantidade de calor	joule	J	m ² .kg.s ⁻²
Potência, fluxo energético	watt	W	m ² .kg.s ⁻³
Carga elétrica	coulomb	C	s.A
Tensão elétrica	volt	V	m ² .kg.s ⁻³ .A ⁻¹
Capacitância elétrica	farad	F	m ⁻² .kg ⁻¹ .s ⁴ .A ²
Resistência elétrica	ohm	?	m ² .kg.s ⁻³ .A ⁻²
Condutância	siemens	S	m ⁻² .kg ⁻¹ .s ³ .A ²
Indução magnética	tesla	T	kg.s ⁻² .A ⁻¹
Indutância	henry	H	m ² .kg.s ⁻² .A ⁻²
Fluxo luminoso	Lumen	lm	cd.sr
Viscosidade dinâmica	Pascal segundo	Pa.s	m ⁻¹ .kg.s ⁻¹
Momento de uma força torque	Newton metro	N.m	m ² .kg.s ⁻²
Tensão superficial	Newton por metro	N/m	kg.s ²

3.4. Regras para Escrita e Emprego dos Símbolos das Unidades SI

Os princípios gerais referentes à grafia dos símbolos das unidades, são:

1) Os símbolos das unidades são expressos em caracteres romanos (verticais) e, em geral, minúsculos. Entretanto, se o nome da unidade deriva de um nome próprio, a primeira letra do símbolo é maiúscula (Ex: hertz \neq Hz).

2) Os símbolos das unidades permanecem invariáveis no plural.

3) Os símbolos das unidades não são seguidos por ponto.

A Organização Internacional de Normalização (ISO) baixou recomendações adicionais para uniformizar as modalidades de emprego dos símbolos das unidades SI.

De acordo com essas recomendações:

a) O produto de duas ou mais unidades pode ser indicado, de uma das seguintes maneiras: Por exemplo: N.m, ou Nm

b) Quando uma unidade derivada é constituída pela divisão de uma unidade por outra, pode-se utilizar a barra inclinada (/), o traço horizontal, ou potências negativas. Por exemplo: m/s, $\frac{m}{s}$ ou m.s⁻¹

c) Nunca repetir na mesma linha mais de uma barra inclinada, a não ser com o emprego de parênteses, de modo a evitar quaisquer ambigüidades. Nos casos complexos devem utilizar-se parênteses ou potências negativas. Por exemplo: m/s² ou m.s⁻², porém não m/s/s; m.kg/(s³.A) ou m.kg.S⁻³.A⁻¹, porém não m.kg/s³/A

Observação: O quilograma

Entre as unidades de base do Sistema Internacional, a unidade de massa é a única cujo nome, por motivos históricos, contém um prefixo. Os nomes dos múltiplos e submúltiplos decimais da unidade de massa são formados pelo acréscimo dos prefixos à palavra "grama".

Por exemplo: 10⁻⁶ kg = 1 miligrama (1 mg), porém nunca 1 microquilograma (1?kg).

3.5. Múltiplos e Submúltiplos Decimais

No SI foram estabelecidos para as unidades os múltiplos e submúltiplos decimais com a nomenclatura e simbologia dada na tabela 2.

Apesar de serem previstos os múltiplos (**da** e **h**) bem como, os submúltiplos (**d** e **c**), o seu uso não é recomendado pelo SI. Desta forma, por exemplo, comprimentos, recomenda-se expressar em **km, m, mm, ? m**, mas não em **hm, dam, dm ou cm**.

TABELA 2 . MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS DECIMAIS DAS UNIDADES DO SI

FATOR	PREFIXO	SÍMBOLO	FATOR	PREFIXO	SÍMBOLO
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	mili	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	?
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^9	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^6	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^3	quilo	k	10^{-18}	atto	a
10^2	hecto	h	10^{-21}	zepto	z
10^1	deca	da	10^{-24}	yocto	y

3.6. Regras para Emprego dos Prefixos no SI

Os princípios gerais adotados pela ISO no emprego dos prefixos SI, são:

1) Os símbolos dos prefixos são impressos em caracteres romanos (verticais), sem espaçamento entre o símbolo do prefixo e o símbolo da unidade.

2) O conjunto formado pelo símbolo de um prefixo ligado ao símbolo de uma unidade constitui um novo símbolo inseparável (símbolo de um múltiplo ou submúltiplo dessa unidade) que pode ser elevado a uma potência positiva ou negativa e que pode ser combinado a outros símbolos de unidades para formar os símbolos de unidades compostas.

Por exemplo: $1\text{cm}^3 = (10^{-2}\text{m})^3 = 10^{-6}\text{m}^3$

$1\text{cm}^{-1} = (10^{-2}\text{m})^{-1} = 10^2\text{m}^{-1}$

$1\text{s}^{-1} = (10^{-6}\text{s})^{-1} = 10^6\text{s}^{-1}$

$1\text{V/cm} = (1\text{V})/(10^{-2}\text{m}) = 10^2\text{V/m}$

3) Os prefixos compostos, formados pela justaposição de vários prefixos SI, não são admitidos; por exemplo: 1 nm, porém nunca 1 m?m.

4) Um prefixo não deve ser empregado sozinho; por exemplo: $10^6/\text{m}^3$, porém nunca M/m^3 .

3.7 Unidades não Pertencentes ao Sistema Internacional**3.7.1 Unidades em Uso com o Sistema Internacional**

O BIPM reconheceu que os utilizadores do SI terão necessidade de empregar conjuntamente certas unidades que não fazem parte do Sistema Internacional, porém estão amplamente difundidas. Estas unidades desempenham papel tão importante que é necessário conservá-las para uso geral com o Sistema Internacional de Unidades. Elas são apresentadas na tabela 3.

A combinação de unidades deste quadro com unidades SI, para formar unidades compostas, não deve ser praticada senão em casos limitados, a fim de não perder as vantagens de coerência das unidades SI.

TABELA 3 – UNIDADES EM USO COM O SISTEMA INTERNACIONAL

NOME	UNIDADE	SÍMBOLO	VALOR EM UNIDADE SI
Tempo	Minuto	mim	1 min = 60 s
Tempo	Hora	h	1 h = 60 min = 3.600 s
Velocidade angular	Rotação por minuto	rpm	1 rpm = 30 rad/seg
Ângulo plano	Grau	°	1° = (?/180) rad
Ângulo plano	Minuto	'	1' = (1/60)° = (? / 10.800) rad
Ângulo plano	Segundo	"	1" = (1/60)' = (? / 648.000) rad
Volume	Litro	L, l	1L = 1dm ³ = 10 ⁻³ m ³
Massa	Tonelada	t	1t = 10 ³ kg

Do mesmo modo é necessário admitir algumas outras unidades não pertencentes ao Sistema Internacional, cujo uso é útil em domínios especializados da pesquisa científica, pois seu valor (a ser expresso em unidades SI) tem de ser obtido experimentalmente e, portanto não é exatamente conhecido.

3.7.2. Unidades Admitidas Temporariamente

Em virtude da força de hábitos existentes em certos países e em certos domínios, o BIPM julgou aceitável que as unidades contidas na tabela 4 continuassem a ser utilizadas, conjuntamente com as unidades SI, até que seu emprego não seja mais necessário. Estas unidades não devem todavia ser introduzidas nos domínios onde elas não são mais utilizadas.

**TABELA 4 – UNIDADES EM USO TEMPORARIAMENTE
COM O SISTEMA INTERNACIONAL**

NOME	UNIDADE	SÍMBOLO	VALOR EM UNIDADES SI
Pressão	atmosfera	atm	101 325 Pa
Pressão	bar	bar	10 ⁵ Pa
Pressão	milímetro de mercúrio	mmHg	133,322 Pa (aprox.)
Quantidade de calor	caloria	cal	4,1868 J
Área	hectare	ha	10 ⁴ m ²
Força	quilograma-força	kgf	9,80665 N
Comprimento	milha marítima	-	1 852 m
Velocidade	nó	-	(1852/3600) m/s

4. Alguns Termos da Terminologia Metrológica

(Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia)

MENSURANDO - Objeto da medição. Grandeza específica submetida à medição.

MEDIÇÃO - Conjunto de operações que tem por objetivo determinar um valor de uma grandeza.

PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO - Conjunto de operações, descritas especificamente, usadas na execução de medições particulares, de acordo com um dado método. É usualmente registrado em documento, e tem detalhes suficientes para permitir que um operador execute a medição sem informações adicionais.

GRANDEZA DE INFLUÊNCIA - Grandeza que não é o mensurando, mas que afeta o resultado da medição deste.

VALOR VERDADEIRO CONVENCIONAL - Valor atribuído a uma grandeza específica e aceito, as vezes por convenção, como tendo uma incerteza apropriada para uma dada finalidade.

RESULTADO DE UMA MEDIÇÃO - Valor atribuído a um mensurando obtido por medição. Uma expressão completa inclui informações sobre a incerteza de medição.

INDICAÇÃO (de um instrumento de medição) - Valor de uma grandeza fornecido por um instrumento de medição.

EXATIDÃO DE MEDIÇÃO - Grau de concordância entre o resultado de uma medição e um valor verdadeiro do mensurando. É um conceito qualitativo. O termo precisão não deve ser usado como exatidão.

REPETITIVIDADE - Grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição.

REPRODUTIBILIDADE - Grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando, efetuadas sob condições variadas de medição.

INCERTEZA DE MEDIÇÃO - Parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando.

INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO - Dispositivo utilizado para uma medição, sozinho ou em conjunto com dispositivo(s) complementar(es).

SISTEMA DE MEDIÇÃO - Conjunto completo de instrumentos de medição e outros equipamentos acoplados para executar uma medição específica.

FAIXA DE INDICAÇÃO - Conjunto de valores limitados pelas indicações extremas

FAIXA DE MEDIÇÃO - Conjunto de valores de um mensurando para o qual admite-se que o erro de um instrumento de medição mantém-se dentro dos limites especificados.

SENSIBILIDADE - Variação da resposta de um instrumento de medição dividida pela correspondente variação do estímulo.

RESOLUÇÃO - Menor diferença entre indicações de um dispositivo mostrador que pode ser significativamente percebida.

ESTABILIDADE - Aptidão de um instrumento de medição em conservar constantes suas características metrológicas ao longo do tempo

EXATIDÃO DE UM INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO - Aptidão de um instrumento de medição para dar respostas próximas a um valor verdadeiro.

TENDÊNCIA - Erro sistemático de um instrumento de medição. É normalmente estimada pela média dos erros de indicação de um número apropriado de medições repetidas.

PADRÃO DE REFERÊNCIA - Padrão, geralmente tendo a mais alta qualidade metrológica disponível em um dado local ou em uma dada organização, a partir do qual as medições lá executadas são derivadas

PADRÃO DE TRABALHO - Padrão utilizado rotineiramente para calibrar ou controlar medidas materializadas, instrumentos de medição ou materiais de referência

RASTREABILIDADE - Propriedade do resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas

CALIBRAÇÃO - Conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um

material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões.

5. Resultado da medição

5.1 O Erro de Medição

5.1.1 A Convivência com o Erro

O erro de medição é caracterizado como a diferença entre o valor da indicação do SM (sistema de medição) e o valor verdadeiro, o mensurando, isto é:

$$E = I - W \quad (4-1)$$

Onde E = erro de medição

I = indicação

W = valor verdadeiro

Na prática, o valor “verdadeiro” é desconhecido. Usa-se então o chamado valor verdadeiro convencional (WC), isto é, o valor conhecido com erros não superiores a um décimo do erro de medição esperado. Neste caso, o erro de medição é calculado por:

$$E = I - WC \quad (4-2)$$

Onde WC = valor verdadeiro convencional.

Para eliminar totalmente o erro de medição é necessário empregar um SM perfeito sobre o mensurando, sendo este perfeitamente definido e estável. Na prática não se consegue um SM perfeito e o mensurando pode apresentar variações. Portanto, é impossível eliminar completamente o erro de medição. Mas é possível, ao menos, delimitá-lo.

Mesmo sabendo-se da existência do erro de medição, é ainda possível obter informações confiáveis da medição, desde que a ordem de grandeza e a natureza deste erro sejam conhecidas.

$$E = E_s + E_a + E_g \quad (4-3)$$

5.2 Tipos de Erros

Para fins de melhor entendimento, o erro de medição pode ser considerado como composto de três parcelas aditivas, sendo:

Es = erro sistemático; Ea = erro aleatório; Eg = erro grosseiro

5.2.1. O Erro Sistemático

O erro sistemático (Es), é a parcela de erro sempre presente nas medições realizados em idênticas condições de operação. Um dispositivo mostrador com seu ponteiro “torto” é um exemplo clássico de erro sistemático, que sempre se repetirá enquanto o ponteiro estiver torto.

Pode tanto ser causado por um problema de ajuste ou desgaste do sistema de medição, quanto por fatores construtivos. Pode estar associado ao próprio princípio de medição empregado ou ainda ser influenciado por grandezas ou fatores externos, como as condições ambientais.

O erro sistemático, embora se repita se a medição for realizada em idênticas condições, geralmente não é constante ao longo de toda a faixa em que o SM pode medir. Para cada valor distinto do mensurando é possível ter um valor diferente para o erro sistemático. A forma como este varia ao longo da faixa de medição depende de cada SM, sendo de difícil previsão.

5.2.2 O Erro Aleatório

Quando uma medição é repetida diversas vezes, nas mesmas condições, observam-se variações nos valores obtidos. Em relação ao valor médio, nota-se que estas variações ocorrem de forma imprevisível, tanto para valores acima do valor médio, quanto para abaixo. Este efeito é provocado pelo *erro aleatório* (Ea).

Diversos fatores contribuem para o surgimento do erro aleatório. A existência de folgas, atrito, vibrações, flutuações de tensão elétrica, instabilidade internas, das condições ambientais ou outras grandezas de influência, contribui para o aparecimento deste tipo de erro.

A intensidade do erro aleatório de um mesmo SM pode variar ao longo da sua faixa de medição, com o tempo, com as variações das grandezas de influência, dentre outros fatores. A forma como o erro aleatório se manifesta ao longo da faixa de medição depende de cada SM, sendo de difícil previsão.

5.2.3. O Erro Grosseiro

O erro grosseiro (Eg) é, geralmente, decorrente de mau uso ou mau funcionamento do SM. Pode, por exemplo, ocorrer em função de leitura errônea, operação indevida ou

dano do SM. Seu valor é totalmente imprevisível, porém geralmente sua existência é facilmente detectável. Sua aparição pode ser resumida a casos muito esporádicos, desde que o trabalho de medição seja feito com consciência. Seu valor será considerado nulo neste texto.

5.2.4. Exemplo

A figura 1 exemplifica uma situação onde é possível caracterizar erros sistemáticos e aleatórios. A pontaria de quatro tanques de guerra está sendo colocada à prova. O objetivo é acertar os projéteis no centro do alvo colocado a uma mesma distância. Cada tanque tem direito a 15 tiros. Os resultados da prova de tiro dos tanques A, B, C, e D estão mostrados nesta mesma figura.

As marcas dos tiros do tanque "A" se espalharam por uma área relativamente grande em torno do centro do alvo. Estas marcas podem ser inscritas dentro do círculo tracejado desenhado na figura.

Embora este círculo apresente um raio relativamente grande, seu centro coincide aproximadamente com o centro do alvo. O raio do círculo tracejado está associado ao espalhamento dos tiros que decorre diretamente do erro aleatório. A posição média das marcas dos tiros, que coincide aproximadamente com a posição do centro do círculo tracejado, reflete a influência do erro sistemático. Pode-se então afirmar que o tanque "A" apresenta elevado nível de erros aleatórios enquanto o erro sistemático é baixo.

No caso do tanque "B", além do raio do círculo tracejado ser grande, seu centro está distante do centro do alvo. Neste caso, tanto os erros aleatórios quanto sistemáticos são grandes. Na condição do tanque "C", a dispersão é muito menor, mas a posição do centro do círculo tracejado está ainda distante do centro do alvo, o que indica reduzidos erros aleatórios e grande erro sistemático. Já a situação do tanque "D" reflete reduzidos níveis de erros aleatórios e também do erro sistemático.

Obviamente que, do ponto de vista de balística, o melhor dos tanques é o tanque "D", por acertar quase sempre muito próximo do centro do alvo com boa repetitividade. Ao se comparar os resultados do tanque "C" com o "A", pode-se afirmar que o tanque "C" é melhor. Embora nenhum dos tiros disparados pelo tanque "C" tenha se aproximado suficientemente do centro do alvo, o seu espalhamento é muito menor. Um pequeno ajuste na mira do tanque "C" o trará para uma condição de operação muito próxima do tanque "D", o que jamais pode ser obtido com o tanque "A".

Tanto no exemplo da figura 1, quanto em problemas de medição, o erro sistemático não é um fator tão crítico quanto o erro aleatório. Através de um procedimento adequado é possível estimá-lo relativamente bem e efetuar a sua compensação, o que equivale ao ajuste da mira do tanque "C" da figura 1. Já o erro aleatório não pode ser compensado

embora sua influência sobre o valor médio obtido por meio de várias repetições se reduza na proporção de $\frac{1}{\sqrt{n}}$, onde "n" é o número de repetições considerado na média.

FIGURA 1 – CARACTERIZAÇÃO DE ERROS SISTEMÁTICOS E ALEATÓRIOS EM UM PROBLEMA DE BALÍSTICA

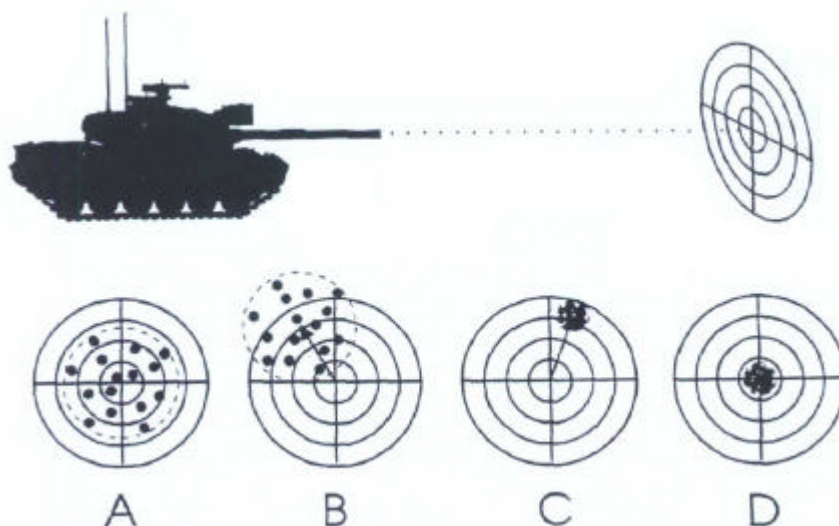
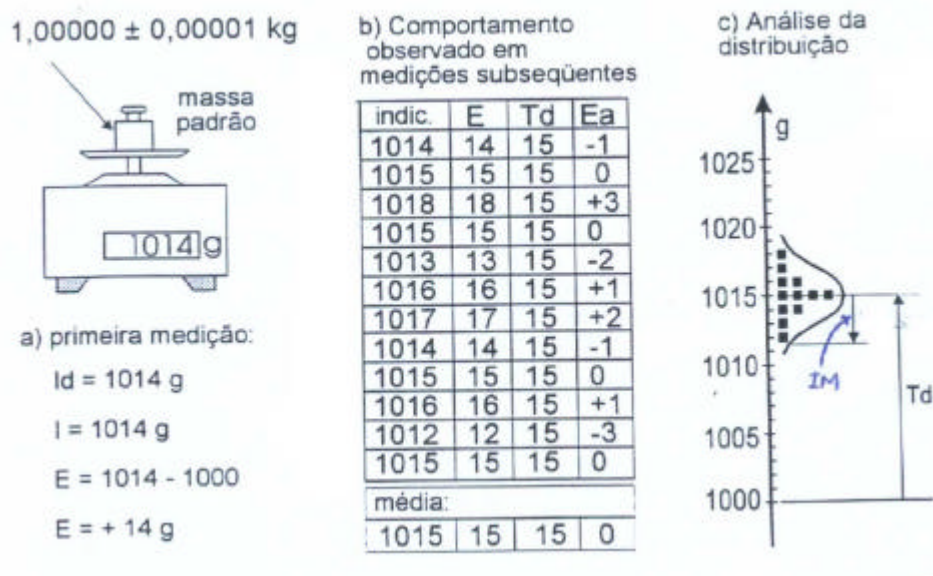


FIGURA 2 – QUANTIFICAÇÃO DA REPETITIVIDADE E TENDÊNCIA DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO



A seguir são apresentados procedimentos para a estimativa quantitativa dos erros de medição.

5.3. Estimação dos Erros de Medição

Se o erro de medição fosse perfeitamente conhecido, este poderia ser corrigido e sua influência completamente anulada da medição. A componente sistemática do erro de medição pode ser suficientemente bem estimada, porém não a componente aleatória. Assim, não é possível compensar totalmente o erro.

O conhecimento aproximado do erro sistemático e a caracterização da parcela aleatória é sempre desejável, pois isto torna possível sua correção parcial e a delimitação da faixa de incerteza ainda presente no resultado de uma medição. A forma de estimação destes erros é apresentada a seguir:

5.3.1 Erro Sistemático/Tendência/Correção

O erro determinado pela equação (4.2) contém intrinsecamente as parcelas sistemática e aleatória. Nota-se que, quando a medição é repetida várias vezes, o erro aleatório assume tanto valores positivos quanto negativos. De fato, geralmente, o erro aleatório pode ser modelado como tendo distribuição aproximadamente normal com média zero. Na prática, sua média tende a zero à medida que aumenta-se o número de dados observados, uma vez que este tende a distribuir-se simetricamente em valores positivos e negativos.

Desconsiderando o erro grosseiro, e assumindo que um número suficientemente grande de medições foi efetuado, a influência do erro aleatório no valor médio das medições tende a ser desprezável. Sendo assim, o valor médio de um número grande de medidas efetuadas repetidamente estará predominantemente afetado pelo erro sistemático. Logo, para um dado valor do mensurando, o Es poderia ser determinado pela equação (4.4), se fosse considerando um número infinito de medições:

$$Es = MI - WC \quad (4.4)$$

Onde: Es = erro sistemático

MI = média de infinitas indicações do SM

WC = valor verdadeiro convencional

Na prática não se dispõe de infinitas medições para determinar o erro sistemático de um SM, porém sim um número restrito de medições, geralmente obtidas na calibração do instrumento. Ainda assim, a equação (4.4) pode ser usada para obter uma estimativa do

erro sistemático. Define-se então o parâmetro Tendência (T_d), como sendo a estimativa do erro sistemático, obtida a partir de um número finito de medições, ou seja:

$$T_d = MI - WC \quad (4.4a)$$

No limite, quando o número de medidas tende a infinito, a tendência aproxima-se do valor do erro sistemático.

Alternativamente o parâmetro correção (C) pode ser usado para exprimir uma estimativa do erro sistemático. A correção é numericamente igual à tendência, porém seu sinal é invertido, isto é:

$$C = - T_d \quad (4.4b)$$

O termo "correção" lembra a sua utilização típica, quando, normalmente, é adicionado à indicação para "corrigir" os efeitos do erro sistemático. A correção é mais freqüentemente utilizado em certificados de calibração.

Nota: A estimativa do erro sistemático através da tendência (ou da correção) envolve uma faixa de incertezas que é função do número de medições repetidas e das incertezas do padrão utilizado como WC .

5.3.2 Erro Aleatório

O erro aleatório distribui-se em torno do valor médio das indicações. É possível isolar seu valor individual para uma determinada medição através da seguinte equação:

$$Ea_i = I_i - MI \quad (4-5)$$

Onde: Ea_i = erro aleatório da i -ésima indicação

I_i = valor da i -ésima indicação individual

MI = média das indicações

Esta expressão pode ser obtida por substituição da equação (4-4) na (4-3) se o erro grosseiro for desconsiderado. Este erro varia a cada medição de forma totalmente imprevisível. O valor instantâneo do erro aleatório tem pouco ou nenhum sentido prático, uma vez que é sempre variável e imprevisível.

A caracterização do erro aleatório é efetuada através de procedimentos estatísticos. Sobre um conjunto finito de valores de indicações obtidas nas mesmas condições e do mesmo mensurando, determina-se o desvio padrão experimental, que, de certa forma, está associado à dispersão provocada pelo erro aleatório.

5.4. Incerteza

A palavra "incerteza" significa "dúvida". De forma ampla "incerteza da medição" significa "dúvida acerca do resultado de uma medição". Formalmente, define-se incerteza como: "parâmetro, associado com o resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão de valores que podem razoavelmente ser atribuídos ao mensurando".

A incerteza, portanto, está associada ao resultado da medição. Não corresponde ao erro aleatório do sistema de medição, embora este seja uma das suas componentes. Outros componentes são decorrentes da ação de grandezas de influência sobre o processo de medição, as incertezas da tendência (ou da correção), número de medições efetuadas, resolução limitada, etc. Não há, portanto, uma relação matemática explícita entre a incerteza de um processo de medição e a repetitividade de um sistema de medição.

A incerteza é normalmente expressa em termos da incerteza padrão, da incerteza combinada ou da incerteza expandida. A incerteza padrão (u) de um dado efeito aleatório corresponde à estimativa equivalente a um desvio padrão da ação deste efeito sobre a indicação. A incerteza combinada (u_c) de um processo de medição é estimada considerando a ação simultânea de todas as fontes de incerteza e ainda corresponde a um desvio padrão da distribuição resultante. A incerteza expandida (U) associada a um processo de medição é estimada a partir da incerteza combinada multiplicada pelo coeficiente t-Student apropriado e reflete a faixa de dúvidas ainda presente nesta medição para uma probabilidade de enquadramento definida, geralmente de 95%. A estimativa da incerteza envolve considerações adicionais e será abordada em detalhes no capítulo seguinte.

5.5. Fontes de Erros

Toda medição está afetada por erros. Estes erros são provocados pela ação isolada ou combinada de vários fatores que influenciam sobre o processo de medição, envolvendo o sistema de medição, o procedimento de medição, a ação de grandezas de influência e o operador.

O comportamento metrológico do SM depende fortemente de fatores conceituais e aspectos construtivos. Suas características tendem a se degradar com o uso, especialmente em condições de utilização muito severas. O comportamento do SM pode ser fortemente influenciado por perturbações externas e internas, bem como pela influência do operador, ou mesmo do SM modificar indevidamente o mensurando.

O procedimento de medição adotado deve ser compatível com as características do mensurando. O número e posição das medições efetuadas, o modelo de cálculo adotado, a interpretação dos resultados obtidos podem também introduzir componentes de incerteza relevantes no resultado da medição.

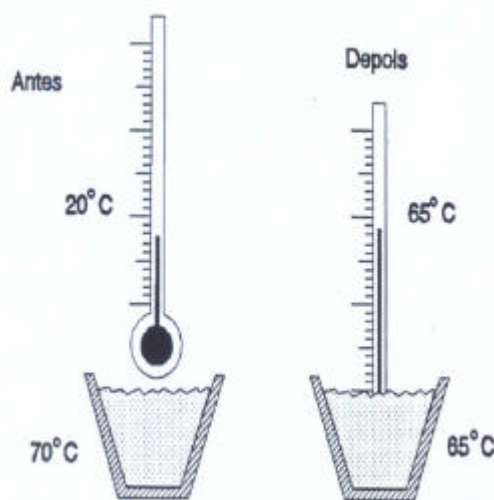
As grandezas de influência externas podem provocar erros alterando diretamente o comportamento do SM ou agindo sobre o mensurando. O elemento perturbador mais crítico,

de modo geral, é a variação da temperatura ambiente, embora outras grandezas como vibrações mecânicas, variações de pressão atmosférica, umidade ou tensão da rede elétrica, também possam trazer alguma influência. A variação da temperatura provoca dilatação das escalas dos instrumentos de medição de comprimentos, da mesma forma como age sobre o mensurando, por exemplo, modificando o comprimento a medir de uma peça.

A variação da temperatura pode também ser uma perturbação interna. Exemplo típico é a instabilidade dos sistemas elétricos de medição, por determinado espaço de tempo, após terem sido ligados. Em função da liberação de calor nos circuitos elétrico/eletrônicos há uma variação das características elétricas de alguns componentes e assim do SM. Há necessidade de aguardar estabilização térmica, o que minimizará os efeitos da temperatura. A existência de atrito, folgas, imperfeições construtivas e o comportamento não ideal de elementos físicos são outros exemplos de perturbação interna.

A modificação indevida do mensurando pela ação do sistema de medição, ou do operador, pode ter diversas causas. Por exemplo, na metrologia dimensional, a dimensão da peça modifica-se em função da força de medição aplicada. A figura 3 ilustra uma situação onde pretende-se medir a temperatura de um cafezinho. Para tal é empregado um termômetro de bulbo. Ao ser inserido no copo, há um fluxo de energia do café para o termômetro: o bulbo esquenta enquanto o café esfria, até que a temperatura de equilíbrio seja atingida. É esta temperatura, inferior a temperatura inicial do cafezinho, que será indicada pelo termômetro. Este é outro exemplo onde o mensurando é modificado pelo SM.

**FIGURA 3 – ERRO DE RETROAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO
SOBRE A GRANDEZA A MEDIR**



A modificação do mensurando por outros módulos da cadeia de medição, acontece, por exemplo, na conexão indevida de dispositivos registradores. Um exemplo onde o operador modifica o mensurando é quando se instala um termômetro para medir a temperatura no interior de uma câmara frigorífica e, por alguma razão, torna-se necessário entrar nesta câmara para fazer a leitura da temperatura. A presença do operador pode modificar o mensurando, no caso, a temperatura da câmara.

O operador também pode introduzir erros adicionais no processo de medição. Erros de interpolação na leitura, erros inerentes ao manuseio ou à aplicação irregular do SM são exemplos típicos. Sua quantificação é muito difícil, geralmente estimada por medições repetitivas em uma peça de referência, envolvendo diferentes momentos, instrumentos, operadores e nas condições ambientais típicas.

A grande dificuldade trazida por estes diversos fatores é que estas perturbações ocorrem superpostas ao sinal de medição, sendo impossível identificar e separar o que é erro do que é variação do mensurando. Para conviver com estes diversos fatores que influenciam o comportamento do SM, é comum ao fabricante fixar as condições em que o sistema de medição deve operar, por exemplo, temperatura 20 ± 1 °C, tensão da rede 220 ± 15 V, etc. Somente dentro destas faixas é que são garantidas as especificações metrológicas dos sistemas de medição. É necessário estar atento para estes limitantes.

5.6 Avaliação da Incerteza em Medições Diretas

5.6.1. Considerações Iniciais

Para estimar adequadamente a incerteza envolvido num processo de medição é necessário considerar todas as possíveis fontes de incerteza, mesmo aquelas que aparentam ser pouco significantes. Recomenda-se que a decisão da relevância de cada fonte de incerteza não seja tomada a priori. No momento em que, no conjunto, as várias contribuições forem combinadas, ficará claro quais as fontes de incertezas são dominantes e quais são desprezáveis. Não apenas erros internos do próprio sistema de medição, mas também os efeitos de cada grandeza de influência, e mesmo da retroação do sistema de medição sobre o mensurando, devem ser considerados.

É necessário identificar tanto efeitos aleatórios quanto sistemáticos. Na medida do possível, as influências dos efeitos sistemáticos devem ser conhecidas e devidamente compensadas. Entretanto, como não é possível conhecer exatamente o valor do erro sistemático, sua compensação não pode ser perfeita, o que dá origem a uma incerteza residual. No conjunto, estes diversos componentes de incerteza, residuais ou não, devem ser levados em conta no cálculo da incerteza combinada através de procedimentos estatísticos.

Para facilitar a quantificação da contribuição de cada fonte de erro, estas são subdivididas de acordo com o procedimento usado para sua determinação. O "Guia"

recomenda subdividir em avaliação tipo "A" e tipo "B" da incerteza. A avaliação tipo "A" da incerteza é realizada com base em procedimentos estatísticos. A tipo "B" envolve outros meios não estatísticos para a sua avaliação.

Deve ser enfatizado que os modelos e procedimentos adotados neste capítulo são válidos apenas para o caso em que o mensurando seja invariável, isto é, tenha um valor único, bem definido e permaneça estável no período em que a medição está sendo realizada.

5.7 Incerteza Padrão

Cada fonte de erro influi de forma sistemática e aleatória sobre o erro de medição. Após compensar a parcela sistemática, restará ainda a parcela aleatória a ser considerada. Para quantificar a parcela aleatória é comum estimar experimentalmente sua dispersão por meio do desvio padrão.

Define-se então a incerteza padrão de uma fonte de erro como a faixa de dispersão em torno do valor central equivalente a um desvio padrão.

A incerteza padrão deve ser estimada para cada fonte de erro envolvida. É importante fazer uma análise crítica do processo de medição para identificar as fontes significativas de erros e quantificar os valores correspondentes das respectivas incertezas padrão de cada componente. A análise do conjunto destas incertezas padrão levará à estimativa da incerteza combinada.

5.7.1 Avaliação da Incerteza Padrão Tipo A

O procedimento tipo "A" para estimar a incerteza padrão baseia-se em parâmetros estatísticos, estimados a partir de valores de observações repetitivas do mensurando.

Seja q uma variável aleatório. Sejam q_k (para $k = 1, 2, \dots, n$) n valores independentemente obtidos para a variável q . Sua média pode ser estimada por:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (5-1)$$

O desvio padrão experimental da variável q , representado por " s ", é estimado por:

$$s(q) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2}{n - 1}} \quad (5-2)$$

Deve ser lembrado que, para que a estimativa de $s(q)$ pela equação anterior seja confiável, é necessário envolver um número suficientemente grande de observações independentes (é recomendável pelo menos $n > 10$).

Quando é utilizado o valor médio das indicações, obtido a partir da média de um conjunto de "m" indicações de q, o desvio padrão experimental da média de q é estimado por:

$$s(\bar{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{m}} \quad (5-3)$$

Neste caso, a incerteza padrão associada à variável q, representada por u(q), é estimada pelo desvio padrão da média das "m" observações efetuadas. Assim:

$$u(q) = s(\bar{q}) \quad (5-4)$$

Quando não são envolvidas médias de indicações, mas apenas um único valor da indicação, a incerteza padrão coincide com o desvio padrão experimental s(q), que já deve ter sido determinado a priori.

O número de graus de liberdade envolvidos (v) na determinação de u(q) é dado pelo número de medições independentes efetuadas menos um, isto é:

$$v = n - 1 \quad (5-5)$$

5.7.2 Avaliação da Incerteza Padrão Tipo B

Nem sempre é possível ou economicamente viável quantificar a influência de certas fontes de incertezas em uma medição a partir da análise de observações repetitivas. Entretanto, ainda assim, é necessário estimar a influência de cada fonte de incerteza para estimar a incerteza combinada da medição.

A determinação tipo "B" da incerteza padrão de uma fonte de incerteza é realizada por meios não estatísticos. Em geral outras informações conhecidas a priori são consideradas, como medições anteriores, certificados de calibração, especificações do instrumento, de manuais técnicos e outros certificados e mesmo estimativas baseadas em conhecimentos e experiências anteriores do experimentalista.

A estimativa tipo "B" geralmente depende de grande experiência prática do experimentalista e pode ser tão confiável quanto o do tipo "A".

Para facilitar a identificação da forma de tratamento a ser dado nas várias situações comuns na prática, é necessário classificar cada uma das fontes de erro envolvidas em uma das seguintes categorias:

a) Estimativas baseadas em avaliações anteriores

É o caso em que existem levantamentos anteriores que fornecem dados quantitativos confiáveis sobre a influência da fonte de erro considerada. Certificados ou relatórios de calibração de padrões ou módulos do sistema de medição são fontes muito ricas neste tipo de informação. Registros históricos das características metrológicas ou operacionais de elementos utilizados na medição ou das próprias grandezas de influência, devem também ser utilizados.

Se nada for dito em contrário, e se o levantamento de informações envolver um volume expressivo de dados, com base no teorema do limite central, é comum supor que o comportamento da fonte de erro referenciada pode ser razoavelmente bem modelado por uma distribuição normal (ou gaussiana).

Deve-se procurar extrair da documentação disponível estimativas da influência das parcelas sistemática e da incerteza padrão associadas à fonte de incerteza, e seus efeitos sobre o valor indicado pelo sistema de medição.

b) Estimativas baseadas em limites máximos admissíveis

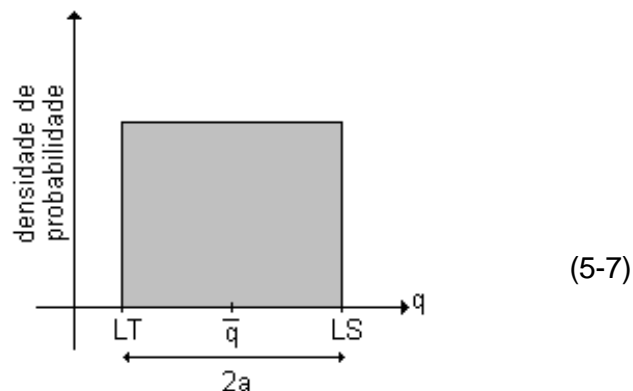
Em algumas situações dispõe-se de estimativas de limites máximos dentro dos quais espera-se que os efeitos da fonte de incertezas estejam contidos. São exemplos:

- a) registros históricos de valores típicos de grandezas de influência;
- b) informações extraídas de folhas de especificações técnicas de sistemas ou padrões;
- c) normas que regulamentam limites máximos admissíveis para a grandeza de influência ou classe de padrões ou instrumentos de referência utilizados;
- d) informações extraídas de curvas de calibração na forma de limites máximos de erros. Nestes casos, caracterizam-se os limites superior (LS) e inferior (LI) dentro do qual se situam os efeitos da fonte de erro sobre a indicação do sistema de medição em análise.

Do ponto de vista estatístico não há informações suficientes para supor a forma da distribuição de probabilidades associada aos efeitos desta fonte de incertezas. Geralmente assume-se, por segurança, a existência de uma distribuição de probabilidades retangular, isto é, há a mesma probabilidade do efeito se situar em qualquer ponto dentro dos limites estabelecidos.

Seja q uma variável aleatória com distribuição retangular contida entre os limites LI. e LS. Seu valor médio e incerteza padrão podem ser estimados respectivamente por:

$$\bar{q} = \frac{LI + LS}{2} \quad (5-6) \quad e$$



onde “a” é dado por:

$$2a = LS - LI \quad (5-8)$$

c) Estimativas quando efeitos sistemáticos não são compensados

Há um grande número de situações encontradas na indústria onde, por questões operacionais ou limitações econômicas ou de tempo, processos de medição são especificados para produzir informações confiáveis mesmo quando efeitos sistemáticos não são compensados. Sabe-se da existência de efeitos sistemáticos que afetam o resultado da medição, mas opta-se por não efetuar sua compensação. Obviamente, embora esta prática eleve os níveis de incertezas presentes no resultado da medição, esta pode ser perfeitamente válida, desde que os níveis de incerteza resultantes sejam ainda suficientemente pequenos para os requisitos da medição sendo efetuada.

Neste caso, com frequência, a distribuição do efeito destes erros não é simétrica em relação ao zero. Seu tratamento do ponto de vista estatístico é mais difícil. Uma série de modelos simplificados tem sido propostos para modelar este problema, levando a resultados ligeiramente diferentes.

d) Outras estimativas

Outras distribuições estatísticas podem vir a representar melhor os efeitos de uma determinada fonte de incertezas sobre a medição efetuada. Distribuições Beta, trapezoidais, triangulares, em "U" e de Student, são alguns exemplos. Embora nestes casos seja possível obter estimativas mais confiáveis das influências das fontes de erros analisadas, geralmente o esforço adicional despendido não justifica o ganho obtido. Estes casos fogem ao escopo deste texto e não serão aqui abordados.

5.8. Balanço de Incertezas

Para estimar a incerteza resultante em um processo de medição, após efetuar o criterioso levantamento e quantificação da influência das várias fontes de incertezas envolvidas, é necessário combiná-las. Para sistematizar a análise destas várias fontes de erro, sugere-se a montagem do balanço de incertezas reunindo os seguintes elementos:

5.8.1 Identificação das Fontes de Incertezas

Cada fonte de incertezas deve ser claramente identificada. Recomenda-se o uso de termos simples e que evitem interpretações ambíguas. Se conveniente, um símbolo pode ser associado à fonte de incertezas.

Recomenda-se também explicitar a unidade em que os valores relativos à fonte de incertezas serão expressos. Se esta unidade difere da unidade do mensurando, recomenda-se que seja também indicado o fator multiplicativo que converte o efeito da fonte de erro em termos de alteração da indicação do sistema de medição. Se esta relação não for linear, deve ser claramente apresentada no memorial de cálculo.

5.8.2 Estimativa dos Efeitos Sistemáticos

Devem ser quantificados os efeitos sistemáticos de cada fonte de incertezas. O desvio da grandeza de influência em relação ao seu valor ideal pode ser apresentado na sua unidade natural, mas a correção decorrente deste efeito sistemático sobre a indicação do sistema de medição deve ser convertida e apresentada na unidade do mensurando.

5.8.3 Estimativa dos Efeitos Aleatórios

Devem ser coletadas informações que permitam estimar a incerteza associada a cada fonte de erro. Recomenda-se apresentar o valor associado aos limites de variação da fonte de incertezas em sua unidade natural e identificar o tipo de distribuição de probabilidade envolvida (normal, quadrada ou outra).

Em função do tipo de distribuição será definido o divisor utilizado para converter o valor conhecido na incerteza padrão. Para distribuições normais este valor geralmente é unitário no caso da avaliação de incerteza tipo "A", ou coincide com o fator de abrangência utilizado na fonte de informação quando a avaliação tipo "B" é considerada. No caso das distribuições retangulares o divisor é $\sqrt{3}$.

A incerteza padrão deve então ser calculada após esta divisão e seu efeito expresso em termos da unidade do mensurando.

Deve ser também indicado o número de graus de liberdade envolvido. Para avaliações de incerteza tipo "A" o número de graus de liberdade (?) da fonte de incertezas é calculado por:

$$v = n - 1 \quad (5-9)$$

onde "n" é o número de medições efetuadas.

No caso das avaliações tipo "B" obtidas de relatórios ou certificados de calibração, o valor de "n" ou de "?" geralmente é informado. Se distribuições normais (com "n" ou "?" desconhecidos) ou retangulares são envolvidas, em termos práticos, um número de graus de liberdade infinito pode ser adotado.

5.8.4 Planilha de Avaliação

Estas informações podem ser organizadas na forma da planilha de avaliação. Estes são os dados necessários para compor a incerteza combinada associada ao processo de medição adotado.

5.8.5 Memorial de Cálculo

É conveniente manter um registro das considerações, das conversões de unidades efetuadas e demais cálculos envolvidos no preenchimento dos vários campos da planilha. Estas informações poderão ser úteis no futuro e atestam o rigor adotado. Além disso, reúnem informações complementares das várias fontes de erro envolvidas.

5.9. Incerteza Combinada em Medições Diretas

Além de estimar a influência individual de cada fonte de erro sobre o desempenho do processo de medição analisado, é necessário chegar a um único número que estime a incerteza combinada destas várias fontes de erro. Se as várias fontes de erro agem de forma independente, este número não pode ser obtido pela simples soma de cada incerteza. Aspectos estatísticos devem ser levados em conta.

Duas variáveis aleatórias são ditas estatisticamente independentes se suas variações se comportam de forma totalmente desvinculadas, isto é, não há nenhuma relação entre o crescimento de uma e o crescimento (ou decrescimento) da outra. Do ponto de vista estatístico estas variáveis são ditas não correlacionadas, e seu coeficiente de correlação é zero. É a situação mais comumente presente entre as fontes de erro em medições diretas. Duas variáveis aleatórias são ditas estatisticamente dependentes se suas variações se dão de forma vinculadas, isto é, há uma relação nitidamente definida entre o crescimento de uma e o crescimento da outra de forma proporcional à primeira. Do ponto de vista estatístico estas variáveis são ditas correlacionadas, e seu coeficiente de correlação é unitário e positivo (+1). Há ainda o caso em que o crescimento da primeira está nitidamente atrelado ao decrescimento proporcional da segunda. Neste caso estas variáveis são ainda ditas correlacionadas, e seu coeficiente de correlação é também unitário porém negativo (-1). Dificilmente fontes de erros estatisticamente dependentes estão presentes em medições diretas.

Sejam "X1" e "X2" duas variáveis aleatórias estatisticamente independentes. Seja "Y" calculado pela soma $Y = X1 + X2$ e "Z" pela diferença: $Z = X1 - X2$. "Y" e "Z" também serão variáveis aleatórias. As médias de "Y" e "Z" podem ser obtidas por:

$$\begin{aligned} \sigma_y &= \sqrt{\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2} \\ \sigma_z &= \sqrt{\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2} \end{aligned} \quad (5-10)$$

Sendo "X1" e "X2" estatisticamente independentes, é possível demonstrar que os desvios padrões de "Y" e "Z" podem ser calculados a partir dos desvios padrões de "X1" e "X2" por:

$$\begin{aligned} \sigma_y &= \sqrt{\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2} \\ \sigma_z &= \sqrt{\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2} \end{aligned} \quad (5-11)$$

As equações (5.11) mostram que, se X1 e X2 são variáveis estatisticamente independentes, o desvio padrão da sua soma e da sua diferença coincidem, e são obtidos pela raiz quadrada da soma dos quadrados de ambos. A expressão (5.11) pode ser estendida para modelar a soma (ou subtração ou combinações de somas e subtrações) de um número ilimitado de termos:

$$\sigma_{(x1 \pm x2 \pm \dots \pm xn)} = \sqrt{\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2 + \dots + \sigma_{xn}^2} \quad (5-12)$$

Freqüentemente na medição direta os efeitos associados às várias fontes de incerteza se manifestam sobre a indicação do sistema de medição de forma aditiva. É como se houvesse uma soma dos efeitos de várias variáveis aleatórias. Assim, neste caso, a incerteza combinada (u_c) da influência das várias fontes de incerteza pode ser estimada a partir das incertezas padrão de cada fonte de erro por:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2} \quad (5-13)$$

É necessário que as incertezas padrão de cada fonte de erro sejam expressas na mesma unidade do mensurando.

A expressão (5.13) só é válida para estimar a incerteza combinada se todas as fontes de incerteza se combinem de forma aditiva e sejam mutuamente estatisticamente independentes.

A ação combinada dos efeitos sistemáticos pode ser estimada através da simples adição algébrica da correção atribuída a cada fonte de incertezas. Também neste caso a correção para cada fonte de erro deve estar expressa na mesma unidade do mensurando. Obtém-se assim a correção combinada (C_c).

5.10. Incerteza Expandida

A incerteza combinada, estimada através da equação (5.13), reflete a influência da ação combinada das várias fontes de erros consideradas. O valor obtido representa uma faixa de valores em torno do valor médio, dentro do qual, com uma probabilidade estatisticamente definida, espera-se encontrar o erro de medição. Tipicamente u_c corresponde a uma probabilidade de enquadramento em torno de 68% e apresenta distribuição normal.

Na engenharia é comum trabalhar com níveis de confiança de 95%. Para atingir aproximadamente 95%, u_c deve ser multiplicado por um coeficiente numérico denominado de fator de abrangência, calculando-se a denominada incerteza expandida (U).

Assim:

$$U = k \cdot u_c \quad (5-14)$$

O valor de k geralmente está entre 2 e 3, mas pode assumir diversos outros valores. A seleção do valor apropriado do fator de abrangência (k) deve levar em conta, além do nível de confiança desejado, o número de graus de liberdade efetivos associados ao caso.

É comum calcular o número de graus de liberdade efetivos (ν_{ef}) através da equação de Welch-Satterwarfe:

$$\nu_{ef} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4}{\nu_i}} \quad (5-15)$$

onde: u_c é a incerteza combinada

u_i é a incerteza padrão associada à i-ésima fonte de incerteza

ν_i é o número de graus de liberdade associado à i-ésima fonte de incerteza

N é o número total de fontes de incertezas analisadas

Da aplicação da equação (5.15) resulta o número de graus de liberdade efetivo. O valor de "k" para confiabilidade de 95% pode então ser obtido da seguinte tabela:

ν_{ef}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16
K_{95}	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,23	2,20	2,17

ν_{ef}	18	20	25	30	35	40	45	50	60	80	100	?
K_{95}	2,15	2,13	2,11	2,09	2,07	2,06	2,06	2,05	2,04	2,03	2,02	2,00

Para valores fracionários de ν_{ef} interpolação linear pode ser usada se $\nu_{ef} > 3$.

Alternativamente o valor de K_{95} correspondente ao valor de ν_{ef} imediatamente inferior na tabela pode ser adotado.

Assim, finalmente a incerteza expandida pode ser calculada por:

$$U_{95} = k_{95} \cdot u_c \quad (5-16)$$

onde o subíndice 95 indica o nível de confiança adotado (95%).

6. Calibração de Sistemas de Medição

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

Este capítulo apresenta, em linhas gerais, aspectos característicos da calibração e de operações a esta relacionadas.

6.1. Operações Básicas para Qualificação de Sistemas de Medição

6.1.1. Calibração

Calibração é um procedimento experimental através do qual são estabelecidas, sob medições específicas, as relações entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões.

Como exemplos, através de uma calibração é possível estabelecer:

- ?? A relação entre temperatura e tensão termoelectrica de um termopar;
- ?? Uma estimativa dos erros sistemáticos de um manômetro;
- ?? O valor efetivo de uma massa padrão;
- ?? A dureza efetiva de uma placa "padrão de dureza" ;
- ?? O valor efetivo de um "resistor padrão".

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

O resultado da calibração geralmente é registrado em um documento específico denominado certificado de calibração. O certificado de calibração apresenta várias informações acerca do desempenho metrológico do sistema de medição analisado e descreve claramente os procedimentos realizados. Frequentemente, como seu principal resultado, apresenta uma tabela, ou gráfico, contendo, para cada ponto medido ao longo da faixa de medição: a) estimativas da correção a ser aplicada; e b) estimativa da incerteza associada à correção. Em função dos resultados obtidos, o desempenho do SM pode ser

comparado com aquele constante nas especificações de uma norma técnica, ou outras determinações legais, e um parecer de conformidade pode ser emitido.

A calibração pode ser efetuada por qualquer entidade, desde que esta disponha dos padrões rastreados e pessoal competente para realizar o trabalho. Para que uma calibração tenha validade oficial, é necessário que seja executada por entidade legalmente credenciada.

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

6.1.2. Ajuste

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

Após o término da operação de ajuste, é necessário efetuar uma recalibração, visando conhecer o novo comportamento do sistema de medição.

6.1.3. Regulagem

É também uma operação complementar, normalmente efetuada após uma calibração, quando o desempenho metrológico de um sistema de medição não está em conformidade com os padrões de comportamento esperados. Envolve apenas ajustes efetuados em controles externos, normalmente colocados à disposição do usuário comum.

6.1.4. Verificação

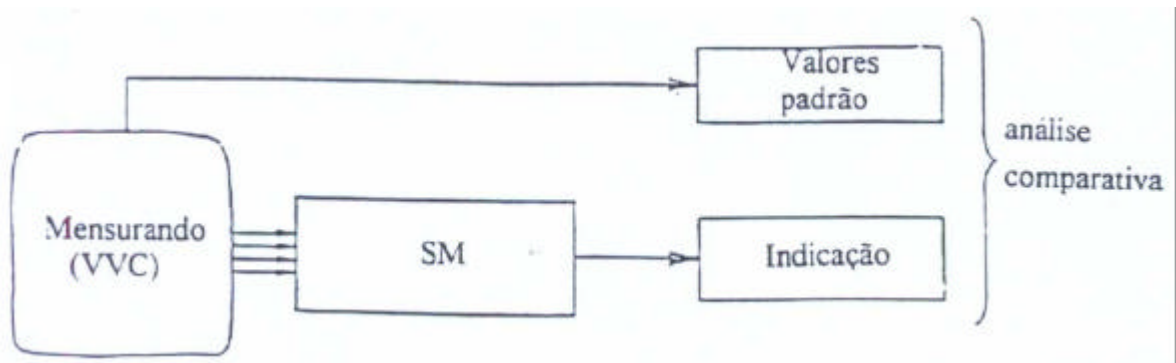
A operação de verificação é utilizada no âmbito da metrologia legal, devendo esta ser efetuada por entidades oficiais denominados de Institutos de Pesos e Medidas Estaduais (IPEM), existentes nos diversos estados da Federação.

6.3. Métodos de Calibração

6.3.1. Calibração Direta

O mensurando é aplicado sobre o sistema de medição por meio de medidas materializadas, cada qual com seu valor verdadeiro convencional suficientemente conhecido.

As indicações dos sistemas de medição são confrontadas com cada valor verdadeiro convencional e a correção e sua incerteza são estimadas por meio de medições repetitivas.

FIGURA 5 – MÉTODO DE CALIBRAÇÃO DIRETO

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

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

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

6.3.3 Padrões para Calibração

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

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

Qualquer sistema de medição deve ser calibrado periodicamente. Este período é, algumas vezes, especificado por normas, ou fabricantes de instrumentos, ou outras fontes como laboratórios de calibração, porém são influenciados pelas condições e/ou frequência de uso. Para a calibração de um SM em uso na indústria, são geralmente usados padrões dos laboratórios da própria indústria. Entretanto, estes padrões precisam ser calibrados

periodicamente, o que é executado por laboratórios secundários da RBC. Mas também estes padrões precisam ser calibrados por outros que, por sua vez, também necessitam de calibração e assim por diante... Estabelece-se assim uma hierarquia que irá terminar nos padrões primários internacionais, ou mesmo, na própria definição da grandeza. A calibração periódica dos padrões garante a rastreabilidade internacional, o que elimina o risco do "metro francês" ser diferente do "metro australiano".

ó.4. Calibração Parcial

Normalmente objetiva-se determinar o comportamento operacional e metrológico do sistema de medição na sua integralidade, isto é, do conjunto formado pelos módulos sensor/transdutor, transmissão ou tratamento de sinal, dispositivo mostrador e demais que compõem a cadeia de medição. Este sistema de medição pode apresentar-se de forma independente (ex: manômetro, máquina de medir por coordenadas) ou pode estar integrado a um sistema composto de vários elementos interligáveis fisicamente (ex: célula de carga + amplificador da máquina de ensaio de materiais, termômetro de um reator nuclear, formado por termopar + cabo de compensação + voltímetro).

Nestes casos, é comum efetuar calibrações separadamente em alguns módulos do sistema, tendo sempre em vista que estes devem apresentar um sinal de saída definido (resposta) para um sinal de entrada conhecido (estímulo). A análise do desempenho individual de cada módulo possibilita a determinação das características de desempenho do conjunto.

6.5. Procedimento Geral de Calibração

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

Recomenda-se sempre usar um procedimento de calibração documentado, segundo exigências de normas NBR/ISO. Quando tais procedimentos de calibração não existirem, devem ser elaborados com base em informações obtidas de normas técnicas, recomendações de fabricantes e informações do usuáriedo SM em questão, complementados com a observância das regras básicas da metrologia e do bom senso.

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

Esta proposta de roteiro genérico de uma calibração está estruturada em oito etapas; Ela é apenas orientativa.

Etapa 1 – Definição dos objetivos:

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

- Dados para ajustes e regulagens;
- Levantamento da curva de erros para futura correção;
- Dados para verificação;
- Avaliação completa do SMC.

Etapa 2 – Identificação do Sistema de Medição e Calibrar (SMC)

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

- Identificar as características metroológicas e operacionais esperadas.
- Conhecer o modo de operação do SMC; na calibração é necessário que se utilize o sistema corretamente e para isso é necessário conhecer todas as recomendações dadas pelo fabricante.
- Documentar o SMC: (número de fabricação, série, modelo, etc.).

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

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

- Informações do usuário do SM em questão, complementados com a observância das regras básicas da metrologia e no bom senso
- a incerteza do SMP nas condições de calibração idealmente não deve ser superior a um décimo da incerteza esperada para o SMC.

Etapa 4 - Preparação do Experimento

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

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

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

Etapa 5 - Execução do Ensaio

Deve seguir o roteiro fixado no procedimento de calibração. É importante não esquecer de verificar e registrar as condições de ensaio (ambientais, operacionais, etc.). Qualquer anomalia constatada na execução dos trabalhos deve ser anotada no memorial de calibração, com identificação cronológica associada com o desenrolar do experimento.

Etapa 6 - Processamento e Documentação dos Dados:

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

Etapa 7 - Análise dos Resultados

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

Etapa 8 - Certificado de Calibração

A partir do memorial, gera-se o Certificado de Calibração, que é o documento final que será fornecido ao requisitante, no qual constam as condições e os meios de calibração, bem como os resultados e os pareceres.

A norma NBR ISO 10012-1 "Requisitos da Garantia da Qualidade para Equipamentos de Medição" prevê que os resultados das calibrações devem ser registrados com detalhes suficientes de modo que a rastreabilidade de todas as medições efetuadas com o SM calibrado possam ser demonstradas, e qualquer medição possa ser reproduzida sob condições semelhantes às condições originais.

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

- a) descrição e identificação individual do SM a calibrar;
- b) data da calibração;

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

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

7. Implementação de Laboratórios de Metrologia

O interesse principal de um laboratório deve ser a qualidade dos serviços que presta, que atendam ao seguinte:

- a) satisfação de uma necessidade bem definida e das expectativas dos seus clientes;
- b) execução das atividades de acordo com as normas e especificações aplicáveis;
- c) obtenção a um custo que proporcione um benefício.

Para cumprir estes objetivos, o laboratório deverá se organizar de tal maneira que os fatores técnicos, administrativos e humanos, que afetam a qualidade de seus ensaios, estejam corretamente controlados. Neste sentido a implementação de um Sistema da Qualidade nos laboratórios é valioso recurso de gestão para otimização e controle da qualidade.

7.1. Confiabilidade Metrológica

A confiabilidade metrológica requer procedimentos, rotinas e métodos apropriados, semelhantes aos usados em controle da qualidade, todos derivados de aplicações de técnicas estatísticas e análise de erros.

Se não houver confiança nos resultados dessas medições, a garantia da qualidade passa a ser inoperante. O programa de confiabilidade metrológica é contínuo, sem interrupção, requerendo tanto o planejamento prévio como a avaliação constante dos resultados alcançados.

Convém esclarecer que laboratório, em Confiabilidade Metrológica, designa local apropriado para medições; assim sendo, inclui desde os grandes laboratórios, que se dividem em laboratórios menores, até postos de inspeção, para os quais se reserva o nome genérico de estações metrológicas.

- Programas interlaboratoriais são um mecanismo eficiente para garantia da credibilidade;
- Qualquer propriedade, não medida, não ensaiada, passa a ser uma incógnita. Ao ser medida, contudo, exige-se credibilidade laboratorial.

8. Credenciamento de Laboratórios de Calibração

O INMETRO é o órgão oficial responsável pelas atividades de Normalização, Certificação da Qualidade e Metrologia no Brasil.

8.2. O Que é o Credenciamento

O credenciamento de um laboratório de calibração concedido pelo INMETRO é o reconhecimento formal de que o laboratório está operando com um sistema da qualidade documentado e é tecnicamente competente para realizar as calibrações específicas, avaliado segundo o documento "Critérios Gerais para o Credenciamento de Laboratórios de Calibração e Ensaio" e aos requisitos estabelecidos no ABNT ISO/IEC Guia 25.

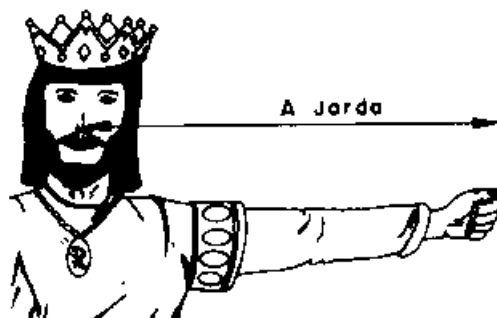
O credenciamento é concedido por área da metrologia, para uma determinada relação de serviços acompanhada das respectivas faixas e incertezas de medição.

O credenciamento é concedido para a realização de serviços de calibração nas próprias instalações do laboratórios e/ou nas dos clientes.

8.3 INSTRUMENTOS CONVENCIONAIS DA METROLOGIA DIMENSIONAL

8.1 O SISTEMA INGLÊS

O sistema inglês ainda é muito utilizado na Inglaterra e nos Estados Unidos, e é também no Brasil devido ao grande número de empresas procedentes desses países. Porém está, aos poucos, sendo substituído pelo sistema internacional de unidades. Esse sistema tem como padrão a **jarda**. Esse termo vem da palavra **yard** que significa “vara”, em referência ao uso de varas nas medições. A jarra teria sido definida, então, como a distância entre a ponta do nariz do rei e a de seu polegar, com o braço esticado.



As relações existentes entre a jarra, o pé e a polegada foi instituída por lei, na qual os reis da Inglaterra fixaram que:

$$1 \text{ JARDA} = 36 \text{ POLEGADAS} = 3 \text{ PÉS}$$

Em 1959, a jarra foi definida em função do metro, valendo 0,91440 m.

A POLEGADA

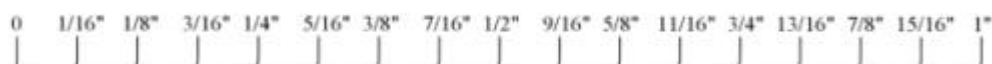
A polegada é outra unidade de medida muito utilizada em mecânica, principalmente nas medições de tubos e nos conjuntos mecânicos fabricados em países como os Estados Unidos e a Inglaterra.

Embora a unificação dos mercados econômicos da Europa, da América e da Ásia tenha obrigado os países a adotarem como norma o sistema internacional de unidades, essa adaptação está sendo feita por etapas. Um exemplo disso são as máquinas de comando numérico computadorizado, ou *cnc-computer numerical control*, que vêm sendo fabricadas com os dois sistemas de medida. Isso permite que o operador escolha o sistema que seja compatível com aquele utilizado em sua empresa.

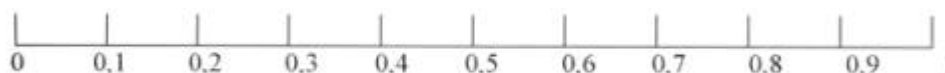
Por essa razão, mesmo que o sistema adotado no Brasil seja o SI, é necessário conhecer a polegada e aprender a fazer as conversões para o nosso sistema.

A polegada pode ser fracionária ou decimal, e corresponde a aproximadamente 25,4 mm, à temperatura de 20°C. A representação de uma medida em polegada é indicada pelo sinal (").

A diferença entre as duas está em suas subdivisões. Assim, a **polegada fracionária** foi dividida em 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, ... Partes iguais.



JÁ A **POLEGADA DECIMAL** FOI DIVIDIDA EM PARTES IGUAIS POR 10, 100, 1000, ...



CONVERSÕES E ESCALAS

Conversões de medidas

Esse cálculo é necessário, por exemplo, quando um operador recebe materiais cujas dimensões estão em polegadas e precisa construir uma peça ou dispositivo cujo desenho apresenta as medidas em milímetros ou frações de milímetros, o que é bastante comum na indústria mecânica.

Sistema Inglês – Fração Ordinária

Temos, então, as seguintes divisões da polegada:

1/2" (meia polegada); **1/4"** (um quarto de polegada); **1/8"** (um oitavo de polegada); **1/16"** (um dezesseis avos de polegada); **1/32"** (um trinta e dois avos de polegada); **1/64"** (um sessenta e quatro avos de polegada); **1/128"** (um cento e vinte e oito avos de polegada)

OBSERVAÇÃO:

Os numeradores das frações devem ser números ímpares: 1/2", 3/4", 5/8", 15/16", ... Quando o numerador for par, deve-se proceder à simplificação da fração.

Exemplo: 6/8" ? 3/4"; 8/64" ? 1/8"

Sistema Inglês – Fração Decimal

A polegada subdivide-se em milésimo e décimos de milésimo. Note que nesse sistema, o ponto indica separação de decimais. Exemplo:

1.003" = 1 polegada e três milésimos

1.1247" = 1 polegada e 1 247 décimos de milésimos

.725 = 725 milésimos de polegada

Nas medições em que se requer maior exatidão, utiliza-se a divisão de milionésimos de polegada, também chamada de micropolegada. Em inglês, “micro inch”, representado por μinch . Exemplo:

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

Conversões

PARA CONVERTER **POLEGADA** EM **MILÍMETRO**, DEVE-SE **MULTIPLICAR** O VALOR EM POLEGADA POR **25,4**. Exemplos:

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

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

$$0.500'' ? 0,500 \times 25,4 = 12,7\text{ mm}$$

$$3/8'' ? 3/8 \times 25,4 = 76,2/8 = 9,525\text{ mm}$$

$$1\ 5/8'' ? 1\ 5/8 \times 25,4 = 13/8 \times 25,4 = 41,275\text{ mm}$$

A CONVERSÃO DE **MILÍMETRO** EM **POLEGADA** É FEITA DE FORMA INVERSA, OU SEJA, **DIVIDINDO-SE** O VALOR EM MILÍMETRO POR **25,4**. Exemplos:

$$12,7\text{ mm} ? 12,7 ? 25,4 = 0.500''$$

$$19,05\text{ mm} ? 19,05 ? 25,4 = 0.750''$$

$$88,90\text{ mm} ? 88,90 ? 25,4 = 3.500''$$

OBSERVAÇÃO:

1. A polegada milesimal é convertida em polegada fracionária quando se multiplica a medida milesimal expressa por uma fração igual a 1 com numerador e denominador representado por números das divisões da polegada. Esse número deverá ser, de

preferência, o da menor divisão que se trabalha, para se obter resultados com mais exatidão. Normalmente, esse valor é 128. Exemplos:

$$0.500'' = 0,500 \times 128/128 = 64/128, \text{ simplificando teremos, } 1/2''$$

$$0.750'' = 0,750 \times 128/128 = 96/128, \text{ simplificando teremos } = 3/4''$$

$$3.500'' = 3,500 \times 128/128 = 448/128 = 3 \frac{64}{128}. \text{ simplificando teremos, } 3 \frac{1}{2}''.$$

2. A polegada fracionária é convertida em polegada milésimal, dividindo-se o numerador pelo denominador da mesma. Exemplos:

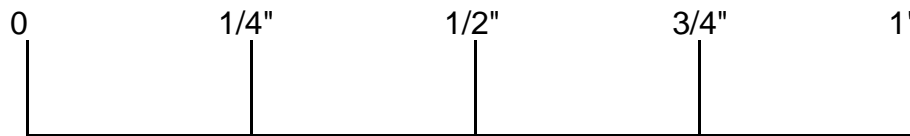
$$1/2'' = 1 \div 2 = 0.500''$$

$$3/8'' = 3 \div 8 = 0.375''$$

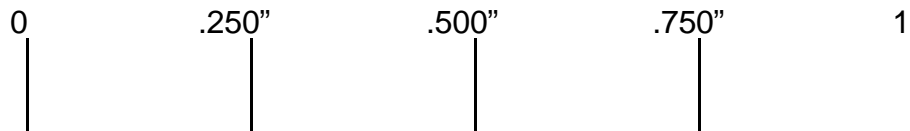
$$1 \frac{5}{8}'' = 13/8 = 13 \div 8 = 1.625''$$

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

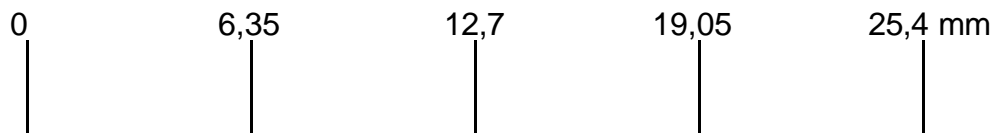
SISTEMA INGLÊS DE POLEGADA FRACIONÁRIA



SISTEMA INGLÊS DE POLEGADA MILESIMAL

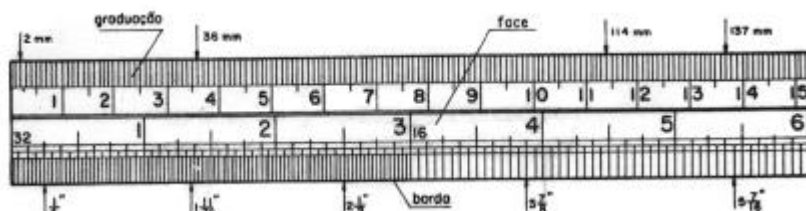


SISTEMA MÉTRICO DECIMAL



Régua Graduada

Este é um dos mais simples entre os instrumentos de medição linear. A régua apresenta-se, normalmente, em forma de lâmina de aço-carbono ou de aço inoxidável. Nessa lâmina estão gravadas as medidas de centímetros (cm) e milímetro (mm), conforme o sistema métrico, e em polegada e suas funções, conforme o sistema inglês. Normalmente, essa graduação equivale a 0,5 mm ou 1/32".



Apresentam-se nas dimensões de 150, 200, 250, 300, 500, 600, 1000, 1500, 2000 e 3000 mm. As mais usadas são as de 150 mm (6") e 300 mm (12").

Alguns tipos e usos

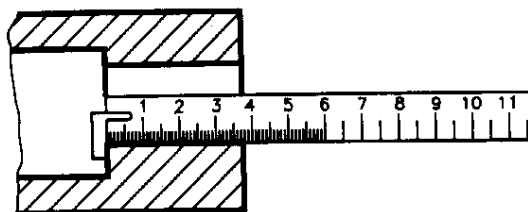
1. Régua de encosto interno: Destinada a medições que apresentem faces internas de referência.

2. Régua sem encosto: Nesse caso, devemos subtrair do resultado o valor do ponto de referência.

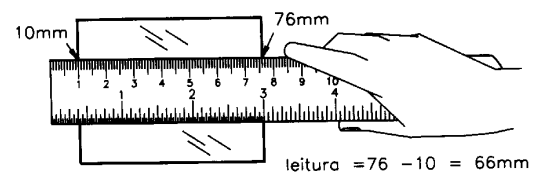
3. Régua com encosto: Destinada à medição de comprimento a partir de uma face externa, a qual é utilizada como encosto

4. Régua de profundidade: Utilizada nas medições de canais ou rebaixos internos.

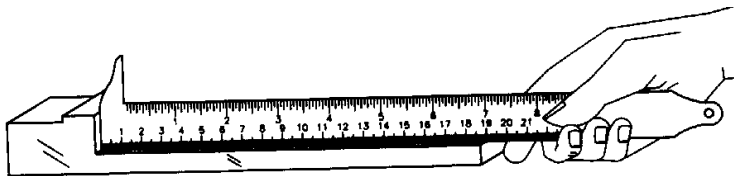
5. Régua de dois encostos: Dotada de duas escalas: uma com referência interna e outra com referência externa. É utilizada principalmente pelos ferreiros.



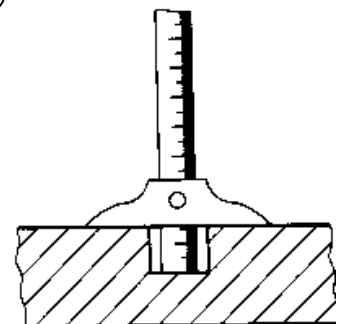
1



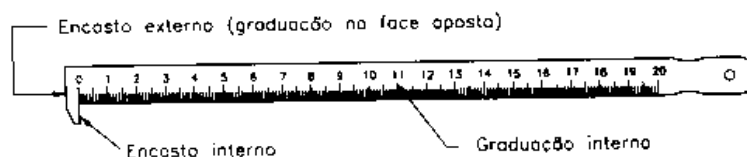
2



3



4



5

Características

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

As régulas de manuseio constante devem ser de aço inoxidável ou de metais tratados termicamente.

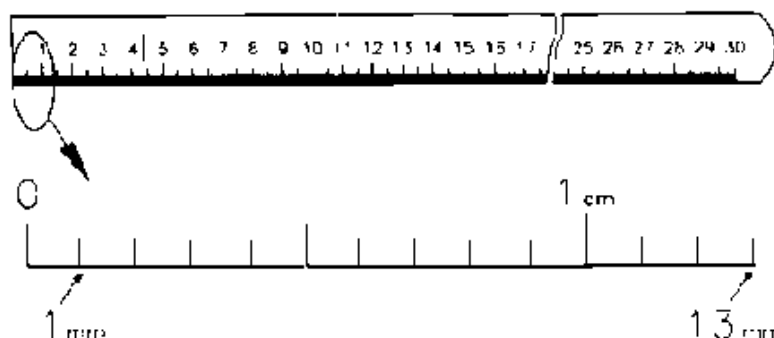
A retitude e o erro máximo admissível das divisões obedecem a normas internacionais.

Conservação

- ?? Evitar quedas e contato com ferramentas de trabalho;
- ?? Evitar riscos ou detalhes que possam prejudicar a leitura da graduação;
- ?? Não flexionar ou torcer, para que não haja quebra ou empenamento;
- ?? Limpar após o uso e aplicar ligeira camada de óleo fino, antes de guardar.

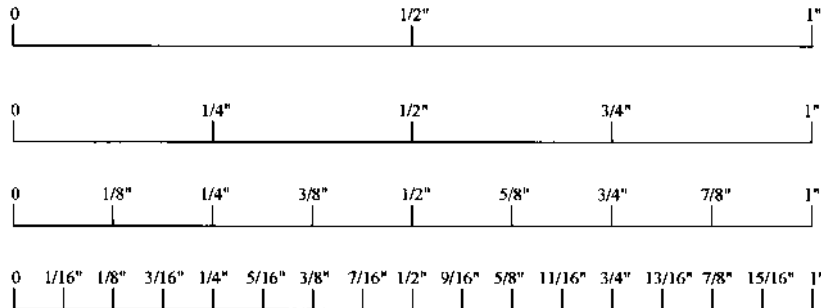
Leitura no sistema métrico

Cada centímetro na escala encontra-se dividido em 10 partes iguais equivalentes a 1 mm, conforme ilustração a seguir.



Leitura no sistema inglês de polegada fracionária

As escalas de maior exatidão chegam a apresentar 32 divisões por polegada. A ilustração a seguir mostra essas divisões, representando a polegada em tamanho ampliado



Trena

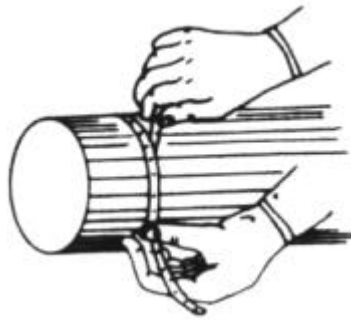
É um instrumento de medição constituído por uma fita de aço, fibra ou tecido. Graduada em uma ou em ambas as faces, nos sistemas si e/ou inglês, ao longo de seu comprimento, com traços transversais.

A fita é acoplada a um estojo ou suporte dotado de um mecanismo com trava ou não, que permita recolher a fita de modo manual ou automático.

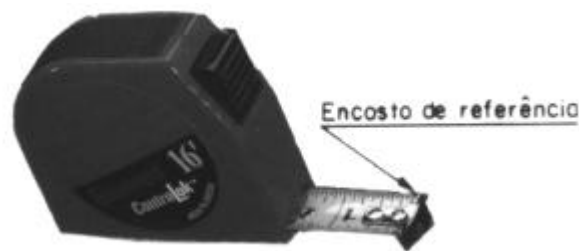


A fita das trenas de bolso são de aço fosfatizado ou esmaltado e apresentam largura de 12,7 mm e comprimento entre 2 m e 5 m.

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

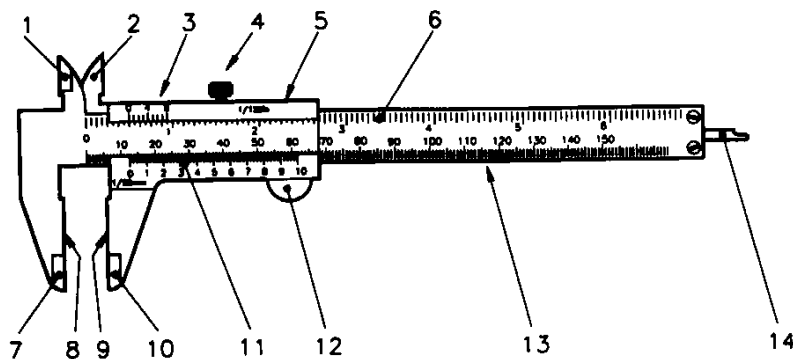


Não se recomenda medir perímetros com trenas de bolso cujas fitas sejam curvas. As trenas apresentam, na extremidade livre, uma pequenina chapa metálica dobrada em ângulo de 90°, chamada *encosto de referência* ou *gancho de zero absoluto*.



3. PAQUÍMETRO

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



- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1. Orelha fixa | 8. Encosto fixo |
| 2. Orelha móvel | 9. Encosto móvel |
| 3. Nônio ou Vernier (Polegada) | 10. Bico móvel |
| 4. Parafuso de trava | 11. Nônio ou Vernier (milímetro) |
| 5. Cursor | 12. Impulsor |
| 6. Escala fixa de polegadas | 13. Escala fixa de milímetro |
| 7. Bico fixo | 14. Haste de profundidade |

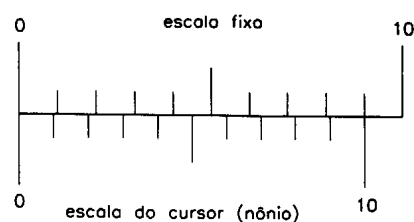
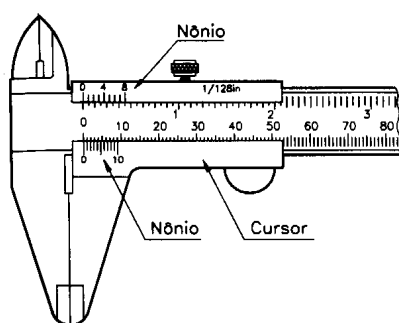
O cursor ajusta-se à régua e permite sua livre movimentação, com um mínimo de folga. Ele é dotado de uma escala auxiliar, chamado **nônio** ou **vernier**. Essa escala permite a leitura de frações da menor divisão da escala fixa.

As superfícies do paquímetro são planas e polidas, e o instrumento geralmente é feito de aço inoxidável, com coeficiente de dilatação linear $\alpha = 11,5 \mu\text{m/m.K}$, de forma que o mesmo tenha comportamento térmico equivalente à maioria das peças. Suas graduações são calibradas a 20 °C.

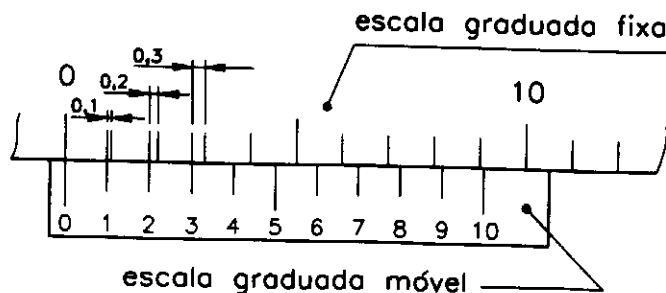
Os principais tipos são: Paquímetro Universal, Paquímetro de profundidade, Paquímetro de nônio duplo, Paquímetro de altura, Paquímetro digital

PRINCÍPIO DO NÔNIO

A escala do cursor é chamada de **nônio** ou **vernier**. Possui uma divisão a mais que a unidade usada na escala fixa.



No sistema métrico, existem paquímetros em que o nônio possui dez divisões equivalentes a nove milímetros. Há, portanto, uma diferença de 0,1mm entre o primeiro traço da escala fixa e o primeiro traço da escala móvel. Essa diferença é de 0,2mm entre o segundo traço de cada escala; de 0,3mm entre o terceiro traço e assim por diante.



CÁLCULO DA RESOLUÇÃO

As diferenças entre a escala fixa e a escala móvel de um paquímetro podem ser calculadas pela sua resolução, que é a menor medida que o instrumento oferece.

$$\text{Resolução} = \frac{UF}{DN}$$

UF – unidade da escala fixa

DN – número de divisões de nônio

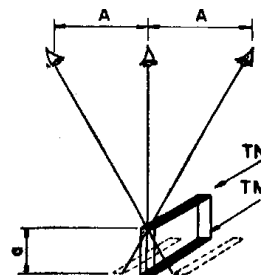
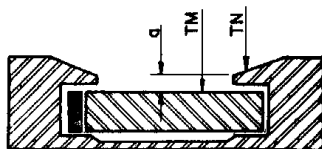
Exemplo:

?? Nônio com 20 divisões

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

COMPORTAMENTO METROLÓGICO

A leitura do nônio deve ser realizada com o paquímetro perpendicular à vista do operador para evitar o **erro de paralaxe**, pelo fato dos traços do nônio estarem mais



elevados que os traços da régua.

A incerteza de medição de um paquímetro depende:

- ?? Dos erros da divisão da escala principal;
- ?? Dos erros da divisão do nônio;
- ?? Da retilineidade dos bicos de medição;

- ?? Da perpendicularidade dos bicos de medição à haste e paralelismo entre si;
- ?? Dos erros da guia do cursor.

É recomendado que a calibração seja feita nas posições interna, média e externa dos bicos, com **força de medição constante**. Esta força de medição, pode resultar numa inclinação do cursor em relação a régua, sendo, portanto, um fator de erro.

As normas recomendam, entre outras características, tolerância da seguinte ordem:

- ?? Planeza dos bicos para medições externas: 15 a 20µm;
- ?? Paralelismo das superfícies dos bicos: 10µm/100mm.

4. PAQUÍMETRO - SISTEMA MÉTRICO (SI)

Leitura da escala fixa

Se deslocarmos o cursor do paquímetro até que o zero do nônio coincida com o primeiro traço da escala fixa, a leitura da medida será 1mm, no segundo traço 2mm, no décimo sétimo traço 17mm, e assim sucessivamente.

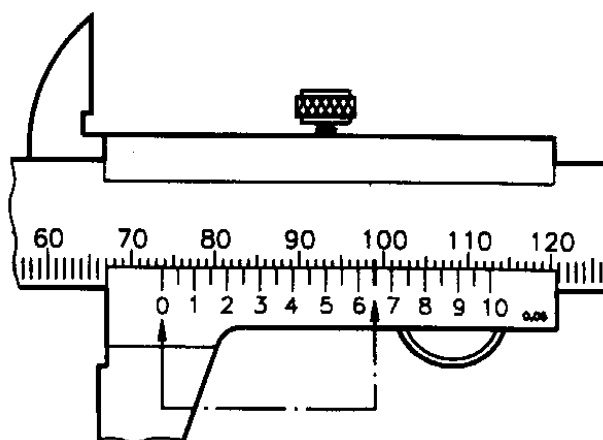
Leitura com uso do nônio (vernier)

Também na escala fixa do paquímetro, faz-se a leitura correspondente em milímetro. Em seguida, deve-se contar os traços do nônio até o ponto em que um deles coincidir com um traço da escala fixa.

Depois soma-se o número que se leu na escala fixa ao número que se leu no nônio.

- ?? Escala em milímetro e nônio com 20 divisões

$$\text{Resolução} = 1\text{mm}/20\text{div.} = 0,05\text{mm}$$



Leitura

73,00mm ? escala fixa

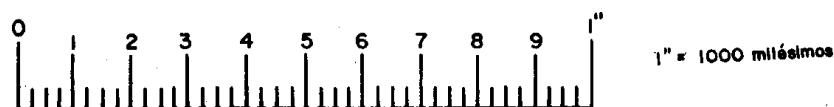
0,65mm ? nônio

73,65mm ? total

PAQUÍMETRO - SISTEMA INGLÊS

Leitura de polegada milésimal

No paquímetro em que se adota o sistema inglês, cada polegada da escala fixa divide-se em 40 partes iguais. Cada divisão corresponde a: 1/40" (que é igual a .025")

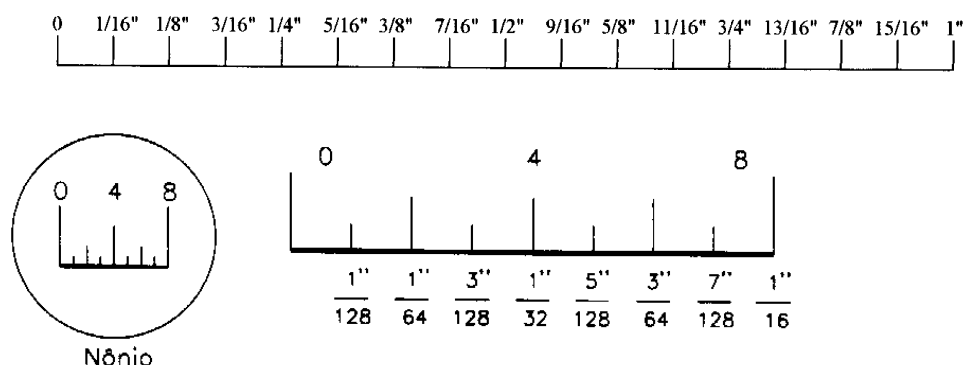


Como o nônio tem 25 divisões, a resolução desse paquímetro é:

$$\text{Resolução} = \frac{UF}{ND} \quad R = .025''/25 = .001''$$

Leitura de polegada fracionária

Para efetuarmos leitura de medidas em um paquímetro do sistema inglês fracionário, faz-se necessário conhecermos bem todos os valores dos traços da escala.



Nesse sistema, a escala fixa do paquímetro é graduada em polegada e frações de polegada. Esses valores fracionários da polegada são complementados com o uso do nônio.

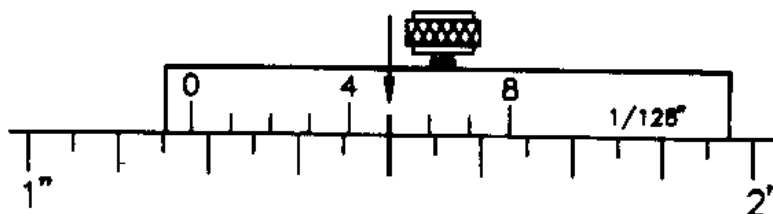
Assim sendo, se deslocarmos o cursor do paquímetro até que o traço zero do nônio coincida com o primeiro traço da escala fixa, a leitura da medida será $1/16''$; no segundo traço, $2/16''$ ou $1/8''$; no décimo traço, $10/16''$ ou $5/8''$.

Obs.: Todas as frações deverão ser apresentadas na forma simplificada.

Para utilizar o nônio, precisamos saber calcular sua resolução:

$$\text{Resolução} = \frac{UF}{ND} \quad R = 1/16'' \div 8 = 1/16 \times 1/8 = 1/128$$

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



Escala fixa ? $1 \frac{3}{16}''$

Nônio ? $5/128''$

Portanto: $1 \frac{3}{16} + 5/128 = 1 \frac{24}{128} + 5/128 = 1 \frac{29}{128}$

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

5. MICRÔMETRO

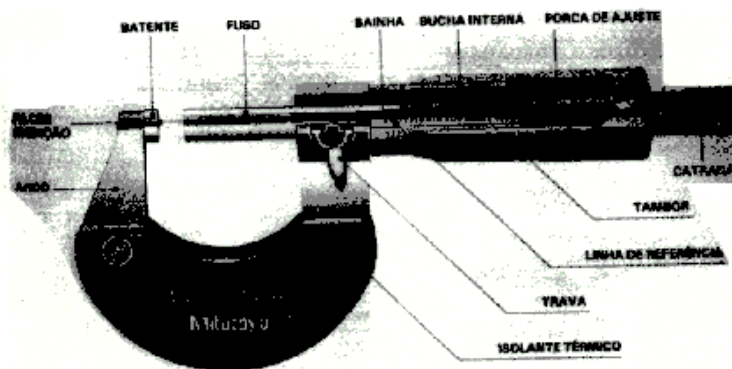
Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento do micrômetro assemelha-se ao do sistema parafuso e porca. Assim, há uma porca fixa e um parafuso móvel que, se der uma volta completa, provocará um deslocamento igual ao seu passo. Desse modo, dividindo-se a “cabeça” do parafuso, pode-se avaliar frações menores que uma volta e, com isso, medir comprimentos menores do que o passo do parafuso.

MICRÔMETRO EXTERNO

Nomenclatura

A figura seguinte mostra os componentes de um micrômetro.



- ?? **arco** é constituído de aço especial ou fundido, tratado termicamente para eliminar as tensões internas.
- ?? O **isolante térmico**, fixado no arco, evita sua dilatação porque isola a transmissão de calor das mãos para o instrumento.
- ?? O **fuso micrométrico**, é constituído de aço especial temperado e retificado para garantir exatidão do passo da rosca.
- ?? As **faces de medição** tocam a peça a ser medida e, para isso, apresentam-se rigorosamente planas e paralelas. Em alguns instrumentos, os contatos são de metal duro, de alta resistência ao desgaste.
- ?? A **porca de ajuste** permite o ajuste da folga do fuso micrométrico, quando isso é necessário.
- ?? O **tambor** é onde se localiza a escala centesimal. Ele gira ligado ao fuso micrométrico. Portanto, a cada volta, seu deslocamento é igual ao passo do fuso micrométrico.
- ?? A **catraca** ou **fricção** assegura uma pressão de medição constante.
- ?? A **trava** permite imobilizar o fuso numa medida determinada.

Características

Os micrômetros caracterizam-se pela:

- ?? Capacidade;
- ?? Resolução;
- ?? Aplicação.

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

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

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

$$\text{Resolução} = \frac{\text{Passo do fuso micrométrico}}{\text{Número de divisões do tambor}} = \frac{0,5}{100} = 0,005\text{mm}$$

Para diferentes aplicações, temos os seguintes tipos de micrômetros: De profundidade, Com arco profundo, Com disco nas hastes, Para medição de roscas, Com contato em forma de V, Para medir parede de tubos, Contador mecânico, Digital eletrônico, etc.

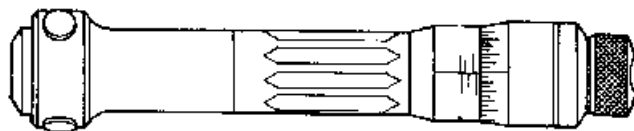
MICRÔMETRO INTERNO

Para medição de partes internas empregam-se dois tipos de micrômetros:

Micrômetro interno de três contatos

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

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

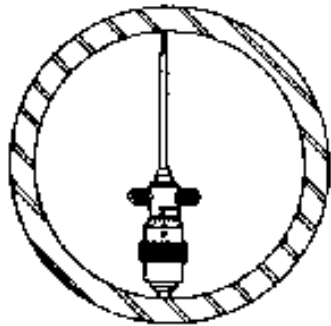


Micrômetros internos de dois contatos

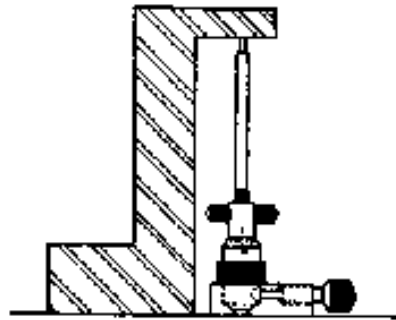
Os micrômetros internos de dois contatos são o tubular e o tipo paquímetro.

Micrômetro interno tubular

O micrômetro tubular é empregado para medições internas acima de 30mm. Atende quase que somente a casos especiais, principalmente as grandes dimensões. Utiliza hastes de extensão com dimensões de 25 a 2.000mm.



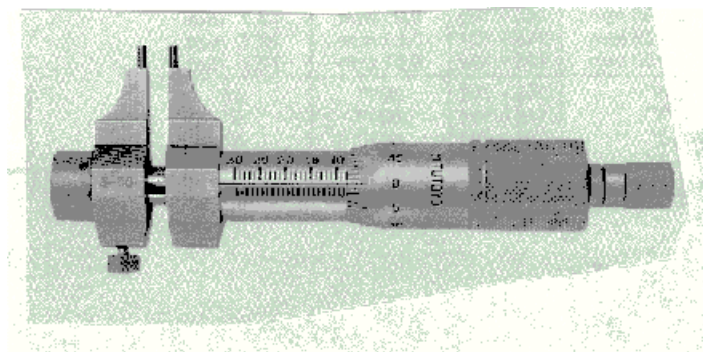
Medição de grandes diâmetros



Convertido em calibre de altura

Micrômetro tipo paquímetro

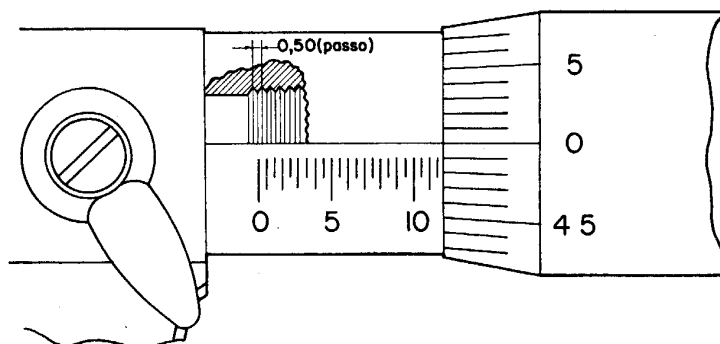
Esse micrômetro serve para medidas acima de 5mm e, a partir daí, varia de 25 em 25mm.



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

6. MICRÔMETRO - Sistema métrico – SI

Inicialmente observaremos as divisões da escala da bainha (luva).



Estando o micrômetro fechado, dando uma volta completa no tambor rotativo, teremos um deslocamento do parafuso micrométrico igual ao seu passo (0,50mm), aparecendo o primeiro traço na escala da bainha. A leitura medida será 0,50mm. Sabendo-se que o tambor está dividido em 50 partes e que a bainha mede 25 mm, se dividirmos o comprimento da escala pelo número de divisões existentes, encontraremos o valor da distância entre as divisões (0,50mm), que é igual ao passo do parafuso micrométrico.

Micrômetro com resolução de 0,01mm

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

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

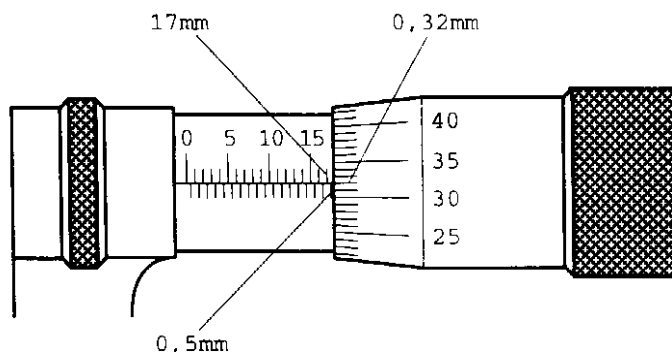
Assim, girando o tambor, cada divisão provocará um deslocamento de 0,01mm do fuso.

Leitura do Micrômetro com resolução de 0,01mm

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

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

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



Exemplos:

17,00mm (escala dos mm da bainha)

0,50mm (escala dos meios mm da bainha)

0,32mm (escala centesimal do tambor)

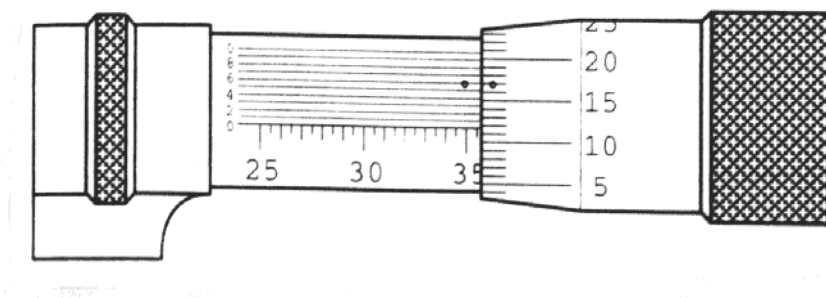
17,82mm Leitura total

Micrômetro com resolução de 0,001mm

Quando no micrômetro houver nônio, ele indica o valor a ser acrescentado à leitura obtida na bainha e no tambor, dividida pelo número de divisões do nônio. Se o nônio tiver dez divisões marcadas na bainha, sua resolução será:

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

Leitura no micrômetro com resolução de 0,001mm. A leitura final será a soma dessas quatro leituras parciais.



35,000mm (escala dos mm da bainha)

0,500mm (escala dos meios mm da bainha)

0,110mm (escala centesimal do tambor)

0,006mm (divisão do nônio que coincide)

35,616mm Leitura total

Sistema Inglês – (leitura)

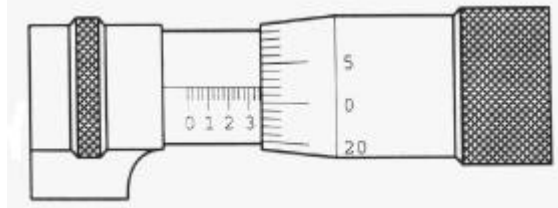
Sabendo-se que uma volta no tambor equivale a $.025''$, tendo o tambor 25 divisões, conclui-se, pelo cálculo da resolução, que cada divisão do tambor equivale a $.001''$.

Exemplo:

Bainha ? $.350''$

Tambor ? $.002''$

Leitura ? $.352''$



Micrômetro com resolução $.0001''$

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

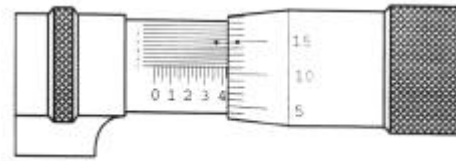
Exemplo:

Bainha ? $.425''$

Tambor ? $.011''$

Nônio ? $.0006''$

Leitura ? $.4366''$



Obs.:

Grande quantidade dos micrômetros não possuem nônio. Neste caso, a leitura correspondente é feita por estimativa.

7. RELÓGIO COMPARADOR

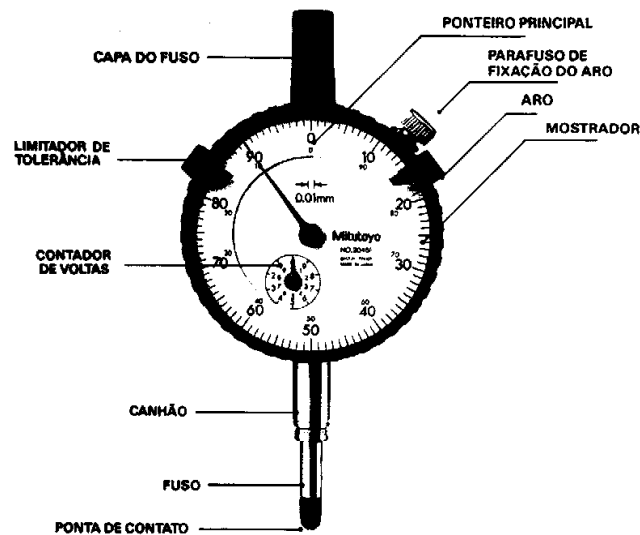
Medir a grandeza de uma peça por comparação é determinar a diferença da grandeza existente entre ela e um padrão de dimensão predeterminada. Daí originou-se o termo *medição indireta*.

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

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

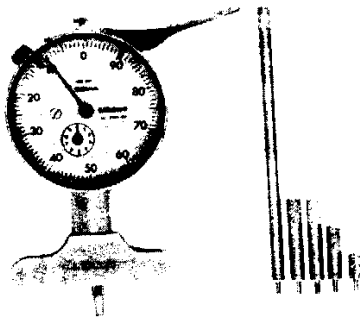
Quando a ponta de contato sofre uma pressão e o ponteiro gira em sentido horário, a diferença é positiva. Isso significa que a peça apresenta maior dimensão que a estabelecida. Se girar em sentido anti-horário, a diferença será negativa.

Existem vários modelos de relógios comparadores. Os mais utilizados possuem resolução de 0,01mm. O curso do relógio também varia de acordo com o modelo, porém os mais comuns são de 1mm, 10mm, .250" ou 1".

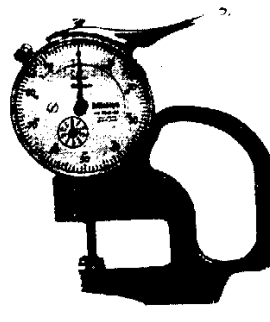


Caso apresentem um curso que implique mais de uma volta, os relógios comparadores possuem, além do ponteiro normal, outro menor, denominado contador de voltas do ponteiro principal.

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



medidores de profundidade



medidores de espessura

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

Relógio comparador eletrônico

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

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



Mecanismos de amplificação

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

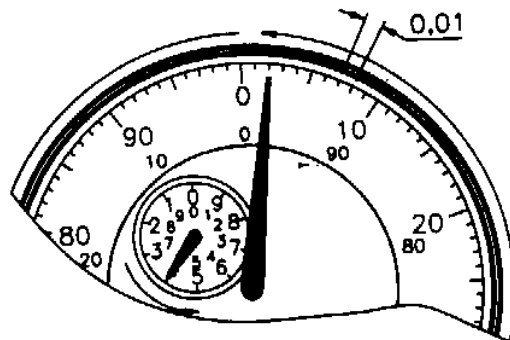
Resolução do instrumento

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

$$\text{Resolução} = \frac{\text{Uma volta completa}}{\text{100 divisões}} = \frac{1\text{mm}}{100} = 0,01\text{mm}$$

Número de divisões
contida na volta

100 divisões



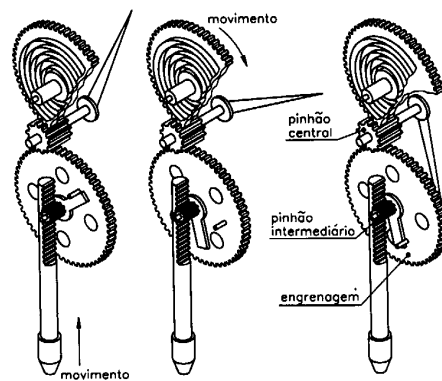
Amplificação por alavanca

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

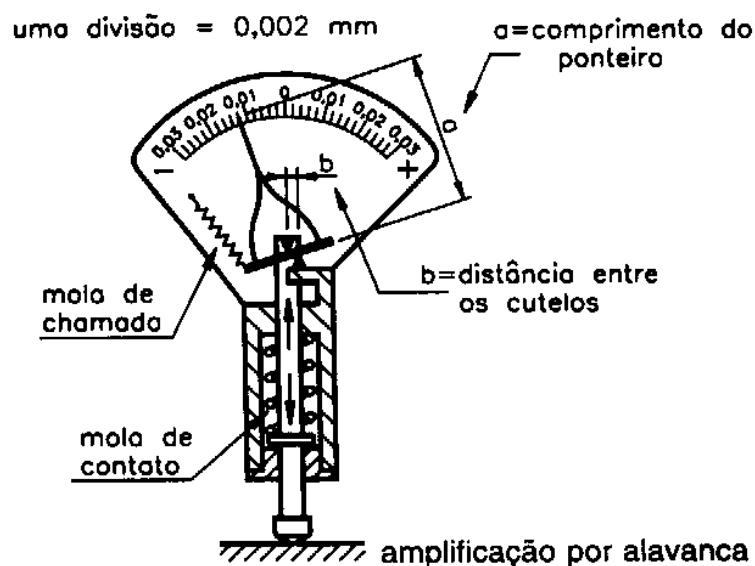
Assim, temos:

$$\text{Relação de amplificação} = \frac{\text{Comprimento do ponteiro (a)}}{\text{Distância entre os cutelos (b)}}$$

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



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



Amplificação mista

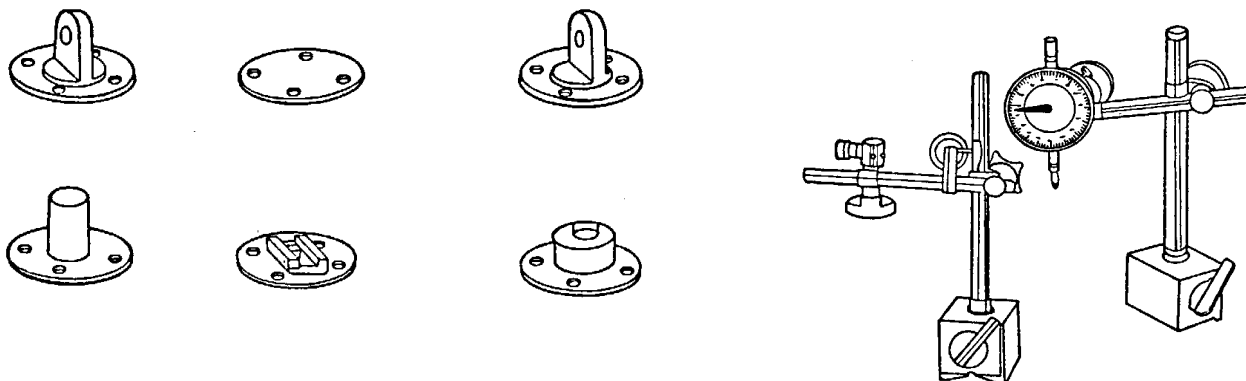
É o resultado da combinação entre alavanca e engrenagem. Permite levar resolução até $0,001\text{mm}$, sem reduzir a capacidade de medição.

Acessórios

São elementos auxiliares nas medições com o relógio comparador, que têm a finalidade de oferecer condições mais confiáveis de utilização deste instrumento, obtendo dessa forma, melhor rendimento em sua aplicação. Alguns acessórios são:

Suporte para relógio comparador - Utilizado para fixar o relógio comparador na posição de medição. A haste de medição do relógio deverá ficar perpendicular à superfície por medir.

Tampas traseiras - Utilizadas para fixar o relógio comparador no suporte. Para facilitarem essa fixação, as tampas apresentam-se de vários tipos.



Condições de uso

Antes de medir, devemos nos certificar das boas condições de uso do relógio.

A verificação de possíveis erros é feita com o auxílio de um suporte de relógio, tomando-se as diversas medidas nos blocos-padrão. São encontrados também calibradores específicos para relógios comparadores.

Pré-carga ou carga inicial

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

Essa pré-carga tem por finalidade permitir que o deslocamento do ponteiro principal se faça nos dois sentidos: horário (variações positivas) e anti-horário (variações negativas).

Aplicações dos relógios comparadores

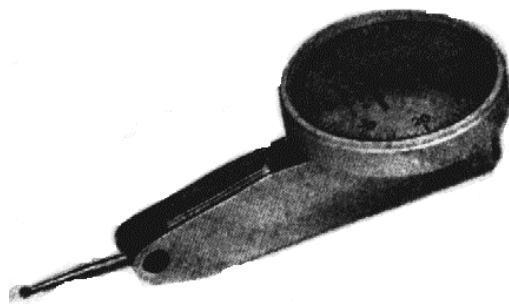
Verificação de excentricidades, concentricidades, planicidades, cilindridades, espessuras, alinhamentos, medições internas, etc.

Relógio com ponta de contato de alavanca (apalpador)

Seu corpo monobloco possui três guias que facilitam a fixação em diversas posições.

O mostrador é giratório com resolução de 0,01mm, 0,002mm, .001" ou .0001".

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



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

Leitura de medidas com relógio comparador (milímetros)

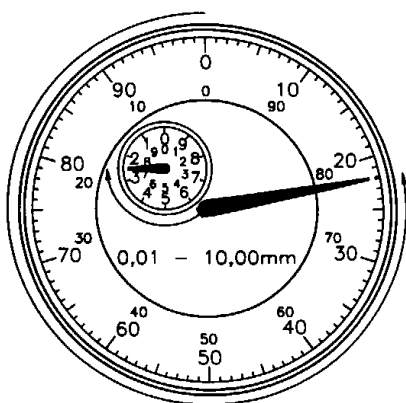
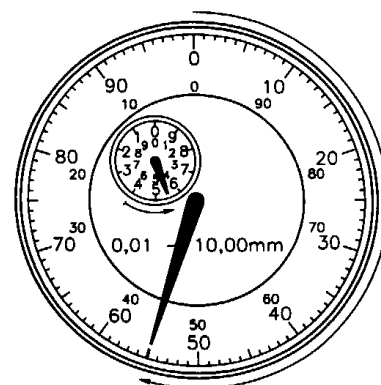
A posição inicial do ponteiro pequeno mostra a pré-carga. Deve ser registrado se a variação é negativa ou positiva.

Pré-carga (relógio menor) ? 4mm

Deslocamento ponteiro menor ? 1 intervalo1,00mm

Deslocamento do ponteiro maior ? 55 divisões: 0,55mm

LEITURA TOTAL1,55mm



Pré-carga (relógio menor) ? 6mm

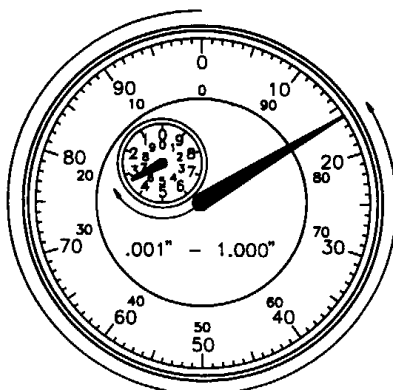
Deslocamento ponteiro menor ? -3 intervalo ...-3,00mm

Deslocamento do ponteiro maior ? 55 divisõe -0,78mm

LEITURA TOTAL-3.78mm

Leitura de medidas com relógio comparador (polegadas)

Pré-carga (relógio menor) ?	.6"
Deslocamento ponteiro menor ? -2 intervalo	-.2"
Deslocamento do ponteiro maior ? -84 divisões.....	<u>-.084"</u>
LEITURA TOTAL	-.284"



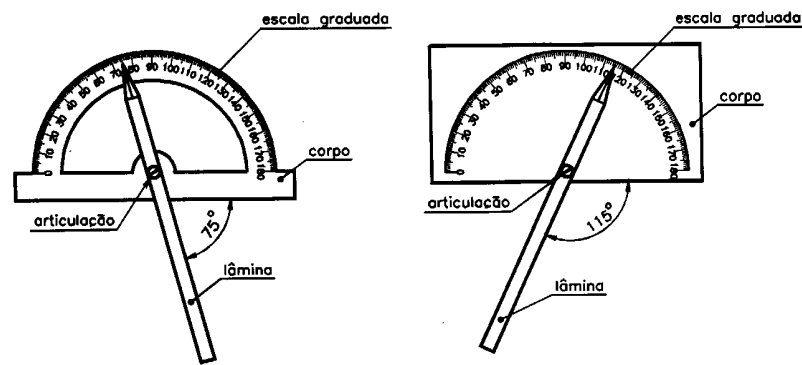
Observação:

- ?? Ao montá-lo no suporte, verifique o aperto de todos os parafusos do suporte.
- ?? Verificar se o relógio é anti-magnético antes de colocá-lo em contato com a mesa magnética.
- ?? Descer suavemente a ponta de contato sobre a peça.
- ?? Levantar um pouco a ponta de contato ao retirar a peça.
- ?? Por ser de construção delicada, evite utilizar o instrumento além de sua capacidade de medição.

8. GONIÔMETRO

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

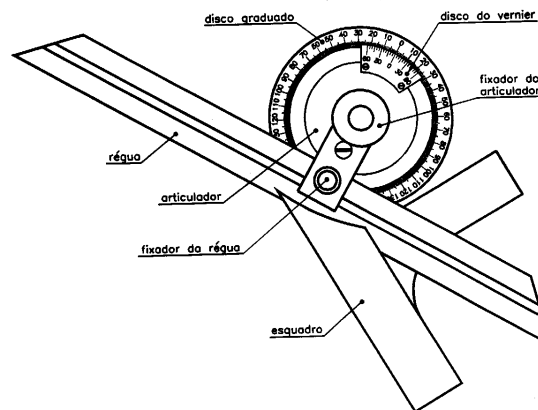
O goniômetro simples, também conhecido como transferidor de grau, é utilizado em medidas angulares que não necessitam extremo rigor. Sua menor divisão é de 1° (um grau).



Na figura que segue, temos um goniômetro de precisão, com disco do vernier.

Cálculo da resolução

Na leitura do nônio, utilizamos o valor de 5' (5 minutos) para cada divisão.



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

$$\text{Resolução} = \frac{\text{Menor divisão do disco graduado}}{\text{Número de divisões do nônio}}$$

ou seja:

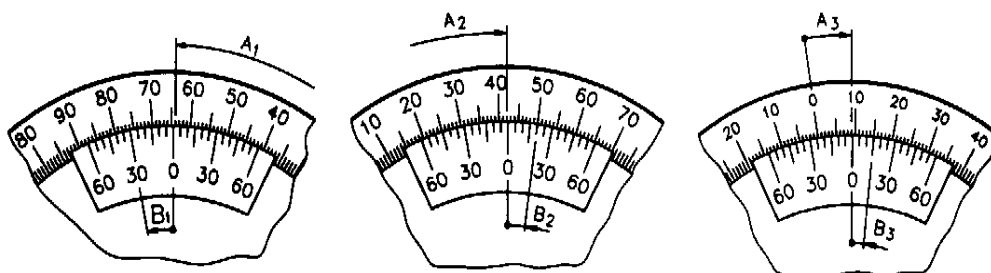
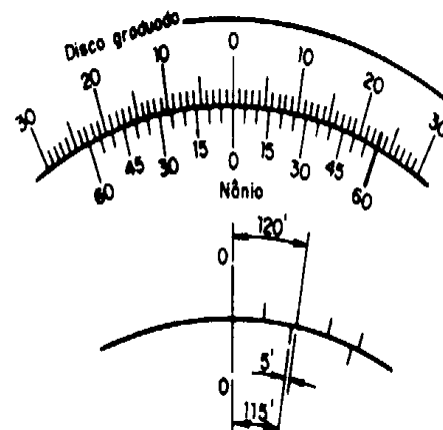
$$\text{Resolução} = \frac{1^\circ}{12} = \frac{60'}{12} = 5'$$

Cada divisão do nônio = $23^{\circ} \div 12 = (23 \times 60') \div 12$
 $= 1380' \div 12 = 115'$

Leitura do goniômetro

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

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



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

$A_1 = 64^{\circ} B_1 = 30'$ leitura completa $64^{\circ}30'$

$A_2 = 42^{\circ} B_2 = 20'$ leitura completa $42^{\circ}20'$

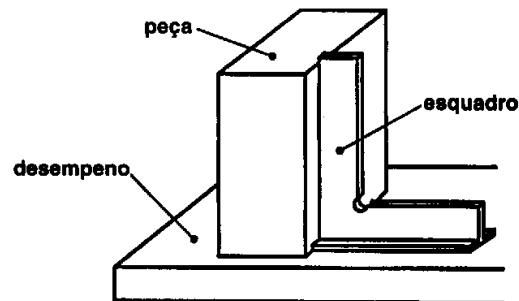
$A_3 = 9^{\circ} B_3 = 15'$ leitura completa $9^{\circ}15'$

Verificadores

Os verificadores são instrumentos relativamente simples, usados para medição indireta. São, geralmente, construídos de aço inoxidável ou aço-carbono, tendo formas e tamanhos variados, em função do tipo de trabalho.

1. Esquadro de precisão

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



Os esquadros são classificados quanto a forma e o tamanho.

Forma: Esquadro simples ou plano de uma só peça; Esquadro de base com lâmina lisa, utilizado também para traçar; Esquadro com lâmina biselada, utilizado para se obter melhor visualização, em virtude de pequena superfície de contato.

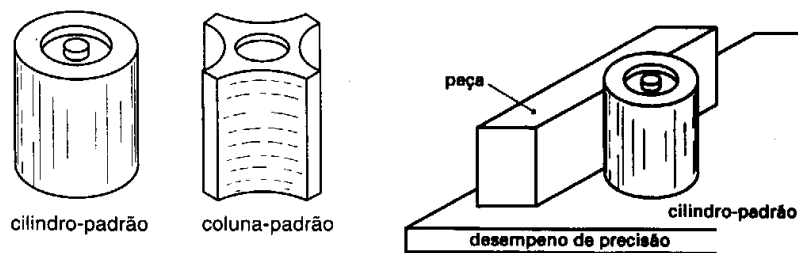
Tamanho

Os tamanhos são dados pelo comprimento da lâmina e da bases: l1 e l2.

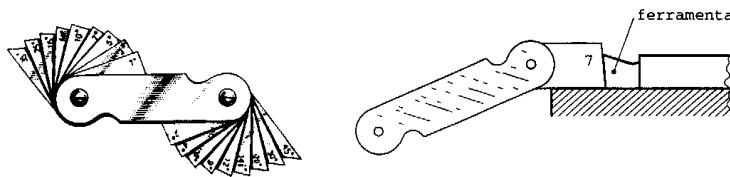
Tabela – Dimensões em mm (de acordo com as normas da ABNT)											
l1 ? l	50	75	100	150	200	250	300	500	750	1000	1500
l2 ? l	40	50	70	100	130	165	200	330	500	660	1000

2. Cilindro – padrão e coluna-padrão

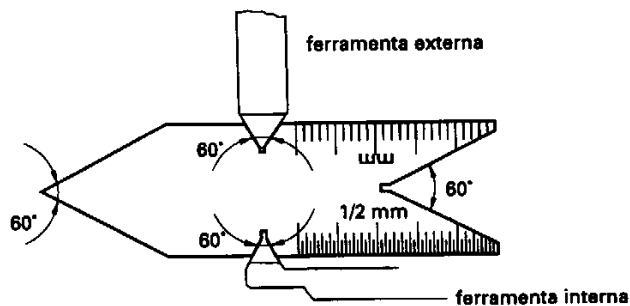
É um esquadro de forma cilíndrica, fabricado de aço carbono temperado e retificado. Usa-se para verificação de superfícies em ângulo de 90°, quando a face de referência é suficientemente ampla para oferecer bom apoio.



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



4. **Escantilhões para roscas métrica e whithworth:** Servem para verificar e posicionar ferramentas para roscar em torno mecânico.

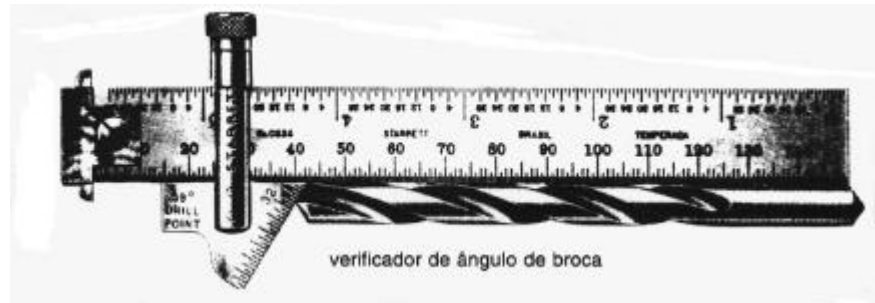


5. **Verificador de roscas:** Usa-se para verificar roscas em todos os sistemas. Em suas lâminas está gravado o número de fios por polegada ou o passo da rosca em milímetros.



6. Verificador de ângulo de broca

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



Bibliografia

Apostila de Metrologia da Fundação CERTI.

INMETRO – Laboratório Nacional de Metrologia – Padrões e Unidades de Medidas – Referências Metrológicas da França e do Brasil.

THEISEN, Álvaro M. de Farias. ***Fundamentos da Metrologia Industrial***. Aplicação no processo de Certificação ISO 9000. Ed. Gráfica EPECÊ.

LIRA, Francisco Adval de. ***Metrologia na Indústria***. Ed. Érica – edição 1

Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia. Portaria nº 29 de 10.03.1995.

Revista Banas Qualidade nº 96 – maio 2000

FOLHA DE CRÉDITO

CTGÁS
UNED/ Unidade de Negócio de Educação

Maria Julia Sana
Coordenadora

Elaboração: CTGAS

Elaborador: Engº José Nunes Filho
Instrutor de Formação Profissional do CTGAS