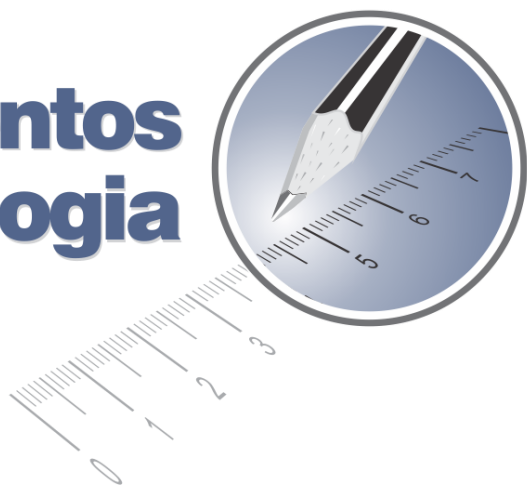


**Fundamentos
da Metrologia**



**e Avaliação da
Conformidade**

Noções de Metrologia



Apresentação

Bem-vindo à aula de Noções de Metrologia.

Nesta aula abordaremos conceitos básicos de metrologia, bem como a importância da metrologia atualmente. Falaremos também sobre o Sistema Internacional de Unidades.

Bons estudos!
Américo Bernardes

Sumário

| | |
|---|----|
| Introdução | 04 |
| Conceitos Fundamentais | 10 |
| Sistema Internacional de Unidades | 15 |
| Síntese..... | 23 |
| Referências..... | 23 |

Noções de Metrologia

Introdução

Quase todo mundo já brincou com um desses brinquedos de montar estruturas, do tipo Lego. As pecinhas se encaixam umas nas outras com incrível perfeição, permitindo construir objetos bem complicados ou mesmo enormes. Existem pontes construídas com esses bloquinhos que podem chegar a quase 40 metros de comprimento¹. Nelas, foram utilizados milhões de blocos de Lego. Para se fazer obras como essas, é necessário que as pequenas peças, que medem poucos centímetros, sejam feitas com muito cuidado. Se as distâncias entre os pinos e buracos forem diferentes, jamais poderíamos ter tais estruturas.

Agora, imagine uma obra gigantesca, como a Ponte Rio-Niterói. É uma das maiores obras de engenharia do planeta e está entre as maiores pontes do mundo. A sua construção também foi feita utilizando blocos. Porém, neste caso, eles são enormes, da ordem de dezenas ou centenas de metros. E aqui também se exige um encaixe perfeito.

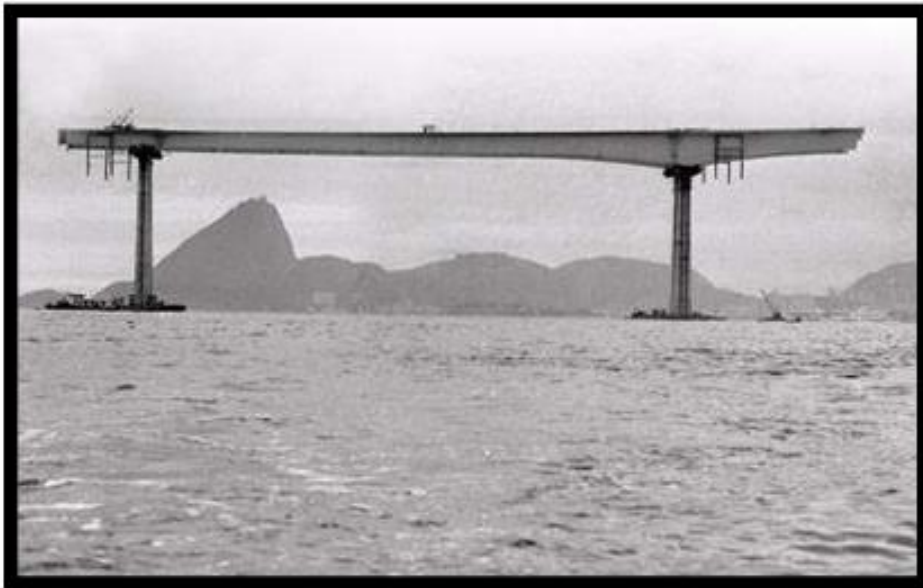


Figura 1: Construção da ponte Rio-Niterói. Ao fundo, o Pão de Açúcar. As peças enormes, pré-fabricadas, se encaixam umas nas outras, com exatidão milimétrica.

¹ Uma descrição livre dos recordes mundiais com peças de Lego pode ser vista em <http://www.recordholders.org/en/list/lego.html>. Acessado em 07 de setembro de 2010.

Não é de hoje que a humanidade se vê frente a este tipo de questão. A construção de objetos ou estruturas em que diversas peças se encaixam exige todo um complexo sistema, envolvendo definições de processos de medição e cálculos de incertezas, como veremos mais adiante.

Para entender melhor alguns dos conceitos envolvidos nos processos de medição, vamos voltar no tempo da construção das pirâmides. Uma pirâmide é formada por um número enorme de peças (blocos de pedra) que se encaixam. Não só sua estrutura externa é notável. Todo um conjunto de câmaras e túneis internos deviam ser feitos, correspondendo aos planos do faraó.

Os projetos de construção de pirâmides eram cuidadosamente feitos por arquitetos. E estes arquitetos, os engenheiros da época, acompanhavam a construção da obra. Inúmeros trabalhadores escravos deviam cortar, mover e encaixar as peças². E os arquitetos deviam verificar se as peças cortadas correspondiam ao projeto, a fim de que seu encaixe se desse conforme o planejado.

A unidade de comprimento da época era o cúbito. Este comprimento correspondia à distância entre o cotovelo e a ponta do dedo do faraó, quando da palma da mão aberta e esticada alinhada ao antebraço.

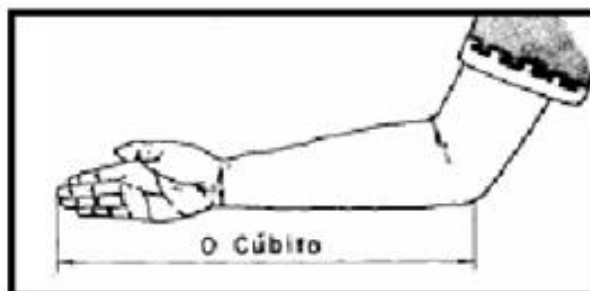


Figura 2: Demonstração de um Cúbito

É claro que o faraó não ficava à disposição dos arquitetos e muito menos dos mestres de obra. Ao longe, ele contemplava o processo de construção. Assim, se construía um padrão em granito, que representava o cúbito real. Este padrão era a referência para todas as medidas. No entanto, este padrão também não poderia ser movido para o canteiro de obras. Sua perda ou dano comprometeria o processo de construção. Ele deveria ficar seguro no palácio do faraó.

Os arquitetos usavam padrões de madeira nas suas medidas cotidianas. Mas um cuidado importante deveria ser tomado. A medida do padrão usado pelos arquitetos, por todos eles, deveria sempre estar de acordo com o tamanho do padrão primário de granito. Ou seja, as medidas feitas pelos arquitetos deveriam ser rastreáveis ao padrão primário.

Os arquitetos do faraó eram obrigados a calibrar seus instrumentos de medição a cada lua cheia. Se não o fizessem, eram enforcados. Apesar da punição, como entendemos hoje em nosso país, ser desmedida para a falha cometida, a preocupação com esse rigor é evidente, pois desse mesmo rigor dependia a justeza de enormes peças que se encaixariam nos monumentos construídos sob o mando dos faraós.

²O processo de construção de monumentos faraônicos pode ser visto no filme "Os Dez Mandamentos", de 1956, dirigido por Cecil B. De Mille.

Desta forma, podemos entender como a necessidade de medir e a exatidão são bastante antigas e remontam à origem das civilizações.

Contudo, por longo tempo, cada país, cada região, teve seu próprio sistema de medidas. Essas unidades de medidas, entretanto, eram geralmente arbitrárias e imprecisas. Como vimos, os primeiros padrões de medida de comprimento correspondiam a partes do corpo de pessoas nobres: o cúbito do faraó, o pé de um rei, o palmo, etc.

Isso criava muitos problemas para o comércio, porque as pessoas de uma região não estavam familiarizadas com o sistema de medição das outras regiões, e também porque os padrões adotados eram, muitas vezes, subjetivos. As quantidades eram expressas em unidades pouco confiáveis, diferentes umas das outras e que não tinham correspondência entre si.

A necessidade de converter uma unidade de medida em outra era tão importante quanto a necessidade de converter uma moeda em outra. Na verdade, em muitos países, inclusive no Brasil, nos tempos do Império, a instituição que cuidava da moeda também cuidava do sistema de medidas.

Em 1789, numa tentativa de resolver esse problema, o Governo Republicano Francês pediu à Academia de Ciência da França que criasse um sistema de medidas baseado numa “constante natural”, ou seja, não arbitrária. Assim foi criado o Sistema Métrico Decimal, constituído inicialmente de três unidades básicas: o metro, que deu nome ao sistema por ter sido a primeira unidade a ser universalizada, o litro e o quilograma.

O metro, unidade básica de medida de comprimento, foi definido como a décima milionésima parte do comprimento do meridiano que, passando pela cidade de Paris, ligava o Polo Norte ao Equador.

O quilograma, unidade básica de medida de massa, foi definido como a massa de um litro de água. O litro foi definido como o volume de um decímetro cúbico. Em 1799, foram criados os padrões materializados de comprimento e massa, sendo o primeiro uma barra de uma liga metálica de platina e irídio e o segundo um cilindro com massa correspondente à massa de um litro de água, e também feito de uma liga de platina e irídio.



Figura 3: Padrões de Massa e de Comprimento

Posteriormente, realizou-se a primeira Convenção Internacional do Metro, em 1875, onde foi assinado um tratado para uniformização do sistema métrico internacional e criado o Birô Internacional de Pesos e Medidas - BIPM³.

Muitos países adotaram o sistema métrico, inclusive o Brasil, aderindo à Convenção do Metro. Entretanto, apesar das qualidades inegáveis do Sistema Métrico Decimal - simplicidade, coerência e harmonia-, não foi possível torná-lo universal. Além disso, o desenvolvimento científico e tecnológico passou a exigir medições cada vez mais precisas e diversificadas. Em 1960, o Sistema Métrico Decimal foi substituído pelo Sistema Internacional de Unidades - SI, mais complexo e sofisticado que o anterior. Mais adiante, iremos fazer uma descrição mais detalhada do SI.

O Sistema Internacional de Unidades - SI foi sancionado em 1960 pela Conferência Geral de Pesos e Medidas e constitui a expressão moderna e atualizada do antigo Sistema Métrico Decimal, ampliado de modo a abranger os diversos tipos de grandezas físicas, compreendendo não somente as medições que ordinariamente interessam ao comércio e à indústria (domínio da Metrologia Legal), mas estendendo-se completamente a tudo o que diz respeito à ciência da medição.

Em 1961, o Brasil criou o Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM). E logo após, o país adotou o Sistema Internacional de Unidades - SI. A Resolução nº 12 de 1988, do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, ratificou a adoção do SI no país, tornando seu uso obrigatório em todo o território nacional.

Em 1973 o INPM foi substituído pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO).

A importância da Metrologia

A Metrologia representa uma ciência estratégica para o desenvolvimento de uma nação, além de ser essencial para o crescimento tecnológico e comercial das organizações.

Para se ter uma ideia da importância da metrologia, estima-se que o custo das operações de medição equivale a cerca de 6% do produto interno bruto das nações industrializadas. Alimentos são comercializados por peso, o consumo de água e eletricidade é medido e isso afeta toda a nossa economia. Os tamanhos de cadeiras podem afetar nosso humor e comprometer o rendimento na escola e no trabalho. A velocidade dos carros, quando excede os limites aceitáveis, é medida por agentes do estado e pode ter consequências financeiras (no nosso bolso, em particular). As quantidades de substâncias ativas em medicamentos e os exames de sangue exigem medidas cada vez mais exatas. O mau uso de instrumentos de medição nas áreas de saúde pode trazer consequências danosas, com muitos casos fatais. É praticamente impossível definir uma atividade de nosso dia-a-dia sem falar em medir ou pesar.

Só para fazer um teste, tente desenvolver uma conversa em que não haja referências a medir ou pesar: “Que horas são?”; “Quantos quilos de feijão?”; “Você viu a velocidade daquele carro?”; “Meu colesterol está acima do limite!”; etc.

Assim, todas as atividades comerciais e seus regulamentos dependem de como pesamos e medimos. O piloto do avião observa cuidadosamente a altitude, o seu curso e o consumo de

³ Para detalhes da história das definições das unidades de medida, podemos consultar a página do Birô Internacional de Pesos e Medidas - BIPM: www.bipm.org

combustível e a velocidade. O inspetor sanitário mede a população de bactérias. Indústrias adquirem matérias-primas por meio de pesos e medidas e especificam seus produtos usando as mesmas unidades. Processos são regulamentados e alarmes disparam por conta de medições. A medição sistemática com a correta avaliação de suas incertezas é um dos pilares do controle de qualidade industrial e, geralmente, nas indústrias modernas, os custos relativos às medições chegam a algo como 10 a 15% do custo de produção. Boas medições podem, entretanto, aumentar significativamente a qualidade, o valor e a efetividade de um produto.

Finalmente, toda a ciência e a atividade científica são completamente dependentes da metrologia. Geólogos medem ondas sísmicas, para avaliar as gigantescas forças por trás dos terremotos; astrônomos medem pacientemente a fraca luz vinda de estrelas distantes, a fim de determinar sua idade; físicos balançam suas mãos no ar quando, ao fazer experimentos em tempos de milionésimos de segundo, são capazes finalmente de confirmar a presença de mais uma infinitesimalmente pequena partícula. A disponibilidade de instrumentos de medição e a habilidade em usá-los efetivamente são essenciais, se os cientistas quiserem ser capazes de documentar de forma objetiva os resultados que alcançaram. A ciência da medição, a metrologia, é provavelmente a mais velha das ciências no mundo e o conhecimento de como é aplicada é uma necessidade fundamental para todas as profissões baseadas no conhecimento científico.

Medição requer uma base comum de conhecimento

A Metrologia representa uma superfície aparentemente calma, cobrindo conhecimentos profundos que são familiares apenas a poucas pessoas. Contudo, todos usam estes conhecimentos, confiantes que estão compartilhando uma compreensão comum do que seja o significado de expressões como metro, quilograma, litro, watt, etc. Confiança é fundamental quando se trata de utilizar a metrologia para ligar atividades humanas através de fronteiras geográficas e profissionais. Essa confiança torna-se cada vez mais forte com o aumento de cooperação em rede, com o uso em comum de unidades de medida e de procedimentos de medição, assim como o reconhecimento, acreditação e testes mútuos de padrões efetuados por laboratórios em diferentes países. A humanidade tem milhares de anos de experiência que confirmam que a vida de fato torna-se mais simples quando os povos cooperam do ponto de vista da metrologia.

Metrologia é a ciência da medição

A metrologia cobre as atividades de medição em três áreas principais:

1. A definição de unidades de medida internacionalmente aceitas, como, por exemplo, o metro.
2. A realização das unidades de medida por meio de métodos científicos, como, por exemplo, a realização do metro por meio do uso de lasers.
3. O estabelecimento de cadeias de rastreabilidade, determinando o valor e a exatidão de uma medição e disseminando este conhecimento. Assim, seguindo nossa linha de exemplos, teríamos a relação documentada entre o parafuso de um micrômetro numa oficina de engenharia de precisão e um laboratório primário de metrologia óptica de comprimento.

A Metrologia é dividida em três categorias com diferentes níveis de complexidade e exatidão:

1. A metrologia científica trata da organização e do desenvolvimento dos padrões de medida e sua manutenção (o nível mais alto).

2. A metrologia industrial cuida do adequado funcionamento dos instrumentos de medição usados na indústria, na produção e nos ensaios, garantindo, desta forma, qualidade de vida para os cidadãos e para a pesquisa acadêmica.

3. A metrologia legal tem seu foco nas medições que influenciam a transparência das transações econômicas, particularmente, onde há exigências de verificações legais dos instrumentos de medição.

A Metrologia é uma das ciências mais relevantes em qualquer nação industrializada e em nosso país não é diferente.

No Brasil, cada vez mais, a metrologia vem-se fortalecendo, e um dos responsáveis por esse fortalecimento é o Inmetro, que, através de investimentos em pesquisas, treinamento e qualificação de seus funcionários e de nossos jovens na área de metrologia, se empenha fortemente no sentido de manter a credibilidade do cidadão brasileiro e do mercado internacional, no que se refere à qualidade dos produtos de importação e exportação.

Com o aumento do comércio interno e a ascensão do Brasil no comércio internacional, tornou-se indispensável que os produtos nacionais tenham uma excelente qualidade.

Dessa forma, a Metrologia é importante para o desenvolvimento de uma nação, além de ser essencial para o crescimento tecnológico e comercial das organizações.

Para o profissional que está envolvido com as técnicas de medição no dia-a-dia de suas atividades, é imprescindível o conhecimento dos fundamentos matemáticos, das ferramentas estatísticas, das técnicas e dos procedimentos operacionais.

Nesta aula, apresentaremos alguns conceitos básicos de Metrologia, para que você possa conhecer de forma sistematizada alguns conceitos acerca da Metrologia.

Conceitos Fundamentais

A partir dessa pequena introdução, vamos definir alguns dos conceitos fundamentais que são a base para a Metrologia.

Existe um documento internacional, um dicionário de termos fundamentais, que foi criado a partir de discussões, entre diversas instituições científicas internacionais, sob a coordenação do Birô Internacional de Pesos e Medidas, num esforço para definir um sistema de medidas coerente e baseado em fenômenos naturais.

Este documento é o Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (VIM) e define a Metrologia como a “ciência da medição e suas aplicações.” (VIM, 2008, p. 24).

Adiciona, ainda, a essa definição que “a metrologia engloba todos os aspectos teóricos e práticos da medição, qualquer que seja a incerteza de medição e o campo de aplicação.” (VIM, 2008, p. 24).

A estrutura deste vocabulário é baseada em conceitos fundamentais que se relacionam. A seguir, iremos explorar alguns destes conceitos. Sugerimos a leitura do VIM, particularmente dos diagramas conceituais, para uma melhor compreensão de sua estrutura.

Grandeza

Em primeiro lugar, o que medimos? Medimos grandezas. Uma grandeza, segundo o VIM, é a “propriedade de um fenômeno, de um corpo ou de uma substância, que pode ser expressa quantitativamente sob a forma de um número e de uma referência.” (VIM, 2008, p. 12).

O comprimento é uma grandeza. A carga elétrica também. O raio de uma circunferência é uma forma individual de comprimento. “A referência” mencionada na definição de grandeza “pode ser uma unidade de medida, um procedimento de medição, um material de referência ou uma combinação destes.” (VIM, 2008, p. 12).

A partir da definição de grandeza, podemos construir um sistema de grandezas. Neste sistema, temos as grandezas de base e as grandezas derivadas. As grandezas de base são aquelas que compõem um “subconjunto escolhido, por convenção, num dado sistema de grandezas, de modo que nenhuma grandeza do subconjunto possa ser expressa em função das outras”. (VIM, 2008, p. 13).

Como exemplo, podemos citar o Sistema Internacional de Unidades, que tem como grandezas de base o comprimento, a massa, o tempo, a corrente elétrica, a temperatura termodinâmica, a quantidade de matéria e a intensidade luminosa. A área pode ser derivada do comprimento (produto de dois comprimentos). A velocidade é o quociente entre comprimento e tempo. E assim por diante.

Unidade de medida

Uma unidade de medida é uma “grandeza escalar real, definida e adotada por convenção, com a qual outras grandezas do mesmo tipo podem ser comparadas, para expressar, na forma de um número, a razão entre duas grandezas.” (VIM, 2008, p. 15).

Como existem grandezas de base e grandezas derivadas, também aqui teremos unidades de base e unidades derivadas. O metro é a unidade de base do Sistema Internacional. Já o metro por segundo é uma unidade derivada.

Medição

A medição é um “processo de obtenção experimental de um ou mais valores que podem ser, razoavelmente, atribuídos a uma grandeza.” (VIM, 2008, p. 24).

O VIM traz esclarecimentos importantes sobre essa definição:

- A medição não se aplica a propriedades qualitativas.
- A medição implica na comparação de grandeza se engloba contagem de entidades.
- A medição pressupõe uma descrição da grandeza que seja compatível com o uso pretendido de um resultado de medição, de um procedimento de medição e de um sistema de medição calibrado que opera de acordo com um procedimento de medição especificado, incluindo as condições de medição.” (VIM, 2008, p. 24).

As medições são impactadas por agentes metrológicos, tais como: o método de medição, a amostra, o operador, o equipamento de medição, as condições ambientais e a rastreabilidade dos equipamentos e padrões. Dessa maneira, podemos entender a medida como sendo o resultado do processo de medição e, nesse sentido, sua qualidade depende de como este processo é gerenciado.

Valor de uma grandeza

Como declarado acima, a medição consiste em um processo experimental para se obter o valor de uma grandeza, que é definido como “conjunto, formado por um número e por uma referência, que constitui a expressão quantitativa de uma grandeza.” (VIM, 2008, p. 20).

Temos, como exemplos, o comprimento de uma determinada haste: 5,34 m ou 534 cm; a massa de um determinado corpo: 0,152 kg ou 152 g; a curvatura de um determinado arco: 112 m⁻¹; a temperatura Celsius de uma determinada amostra: -5 °C.

Precisão de medição

No nosso dia-a-dia, expressamos nossos questionamentos sobre se uma medida é ou não precisa. Este termo é utilizado de forma bastante livre. Para uma definição clara, voltamos ao VIM. Nele, a precisão de uma medição é o “grau de concordância entre indicações ou valores medidos, obtidos por medições repetidas, no mesmo objeto ou em objetos similares, sob condições especificadas.” (VIM, 2008, p. 28).

Para evitar confusões, o VIM traz os seguintes esclarecimentos:

- A precisão de medição é geralmente expressa na forma numérica, por meio de medidas de dispersão como o desvio-padrão, a variância ou o coeficiente de variação, sob condições de medição especificadas.
- As “condições especificadas” podem ser, por exemplo, condições de repetitividade, condições de precisão intermediária ou condições de reprodutibilidade (ver ISO 5725-3: 1994).
- A precisão de medição é utilizada para definir a repetitividade de medição, a precisão intermediária de medição e a reprodutibilidade de medição.
- O termo “precisão de medição” é algumas vezes utilizado, erroneamente, para designar a exatidão de medição.” (VIM, 2008, p. 28).

Incerteza de medição

Incerteza de medição é o “parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas.”

A dispersão de valores está associada à ideia de que realizamos diversas medições (medições repetidas) e que os valores atribuídos a um mensurando (a grandeza que se pretende medir) não coincidem entre si. Existe, portanto, uma dúvida que deve ser quantificada. Os processos de avaliação da incerteza de medição envolvem diversos procedimentos que não serão aqui analisados.

A incerteza de medição não deve ser confundida com o erro de medição, que é a “diferença entre o valor medido de uma grandeza e um valor de referência.” (VIM, 2008, p. 29). Os erros de medição podem ser de dois tipos: aleatórios, que é aquela “componente do erro de medição que, em medições repetidas, varia de maneira imprevisível” e o erro sistemático, que é a “componente do erro de medição que, em medições repetidas, permanece constante ou varia de maneira previsível.” (VIM, 2008, p. 29).

A figura abaixo ilustra a diferença entre os dois tipos de erro. Suponha que são feitos quatro processos de medição, cada um deles com várias medições de uma grandeza. Cada um foi feito por um operador diferente, com instrumentos diferentes. Os valores obtidos são colocados num gráfico na forma de um alvo. O valor de referência é o centro do alvo.

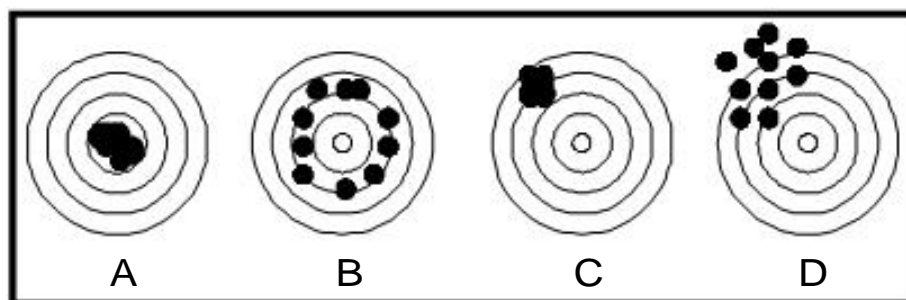


Figura 4: Valor de referência é o centro do alvo

No primeiro caso (A), temos uma pequena dispersão em torno do centro, o que nos indica que os erros aleatórios são pequenos em comparação com o que nos revela a figura (B), onde os erros aleatórios são maiores. No caso (C), a dispersão entre os valores medidos é pequena, mas eles afastam-se bastante do valor de referência. Temos erros aleatórios menores e um erro sistemático, revelado pelo fato de que estes valores medidos encontram-se centrados em um ponto afastado do centro. No último caso, temos de novo uma dispersão maior e também um afastamento em relação ao centro, mostrando um erro sistemático e erros aleatórios maiores que no caso anterior.

Calibração

Lembre-se que, na história do faraó, mencionamos que os arquitetos deviam calibrar suas régua ao padrão primário. Calibração, segundo o VIM, é a “operação que estabelece, numa primeira etapa e sob condições especificadas, uma relação entre os valores e as incertezas de medição, fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas. Numa segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção de um resultado de medição a partir de uma indicação.” (VIM, 2008, p. 38)

A calibração é, geralmente, realizada por um laboratório de calibração e seu resultado é apresentado num documento denominado “certificado de calibração”. Pela análise do certificado de calibração é possível identificar, além dos erros de indicação do instrumento, a rastreabilidade dos padrões utilizados e a incerteza da medição.

Rastreabilidade metrológica

De acordo com o VIM, a rastreabilidade metrológica é a “propriedade de um resultado de medição pela qual tal resultado pode ser relacionado a uma referência, através de uma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição.” (VIM, 2008, p. 35).

Padrões e equipamentos calibrados, e com rastreabilidade garantida, transferem exatidão às medições e possibilitam uma estimativa adequada da incerteza final de medição.

A figura abaixo mostra um esquema do sistema geral que garante as medições que efetuamos.

Desta forma, antes de se efetuar e utilizar o resultado de uma medição como informação relevante para qualquer tomada de decisão é necessário analisar o processo de medição, de modo a se conhecerem todas as fontes de influência associadas aos agentes metrológicos.

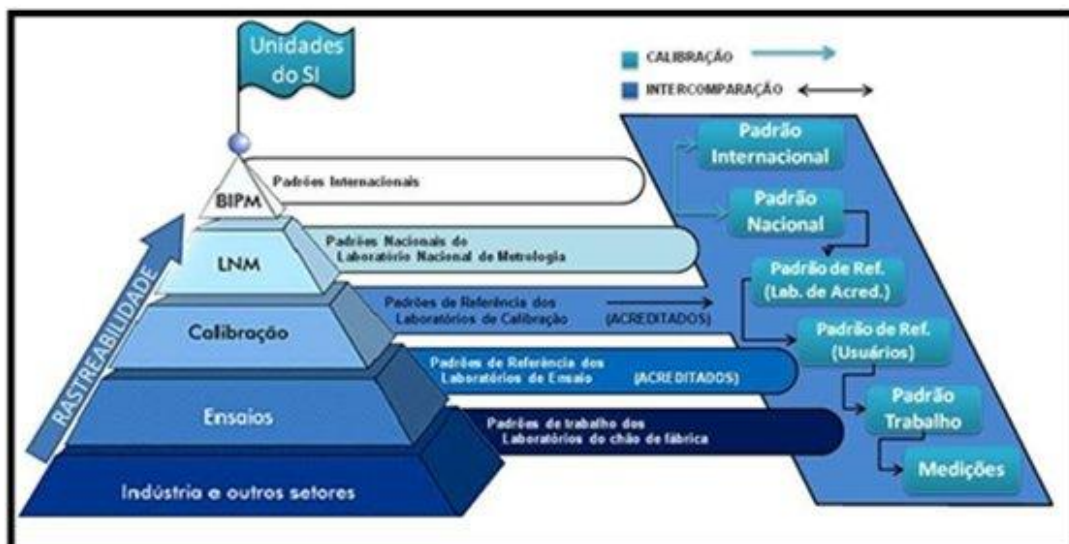


Figura 5: Esquema que garante medições

Estes conceitos fundamentais são a base para a ciência da metrologia. Propomos ao leitor que retorne à história do faraó e busque entender naquela pequena narrativa como cada um destes conceitos se expressa.

A seguir, vamos voltar mais detidamente ao Sistema Internacional de Unidades, o SI.

Sistema Internacional de Unidades

O Sistema Internacional de Grandezas (SI) inclui os nomes e os símbolos das unidades e uma série de prefixos com seus nomes e símbolos, em conjunto com regras de utilização, adotados pela Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM).

Vamos retornar a alguns conceitos básicos e expressá-los no âmbito do SI.

Grandezas e unidades

Como já discutimos, as grandezas são propriedade de um fenômeno, de um corpo ou de uma substância, que pode ser expressa quantitativamente sob a forma de um número e de uma referência. Uma grandeza conforme definida aqui é um escalar. Entretanto, um vetor ou um tensor, cujas componentes são grandezas, é também considerado como uma grandeza. O conceito de “grandeza” pode ser genericamente dividido em, por exemplo, “grandeza física”, “grandeza química” e “grandeza biológica”.

O conceito de “grandeza” pode ser dividido em grandeza de base e grandeza derivada.

Grandezas de base e suas respectivas unidades de base

Grandezas de base são definidas, por convenção, num dado sistema de grandezas, de modo que nenhuma grandeza do subconjunto possa ser expressa em função das outras. As grandezas de base são consideradas como mutuamente independentes, visto que uma grandeza de base não pode ser expressa por um produto de potências de outras grandezas de base.

Assim como as grandezas, temos as unidades de base e derivadas, que acompanham as suas respectivas grandezas.

Unidade de base: Unidade de medida que é adotada por convenção para uma grandeza de base. Em cada sistema coerente de unidades, há apenas uma unidade de base para cada grandeza de base.

O SI é baseado em sete grandezas de base. Os nomes e os símbolos das unidades de base estão contidos na tabela 1.

Tabela 1 - Grandezas e unidades de base do SI

| Grandeza de base | Unidade de base | |
|---------------------------|-----------------|---------|
| | Nome | Símbolo |
| Comprimento | metro | m |
| Massa | quilograma | kg |
| Tempo | segundo | s |
| Corrente elétrica | ampere | A |
| Temperatura termodinâmica | kelvin | K |
| Quantidade de matéria | mol | mol |
| Intensidade luminosa | candela | cd |

Além de conhecermos as grandezas e suas respectivas unidades, é importante conhecermos as definições de cada unidade.

Afinal o que é o metro?

Para responder a essas perguntas de maneira clara e objetiva e definir todas as unidades de base, faremos uso de mais uma tabela, que, desta vez, conterà as definições das unidades de base.

A tabela 2 contém as definições das sete unidades de base.

Tabela 2 - Definições das unidades de base

| Unidade | Definição |
|------------|--|
| metro | O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo, durante o intervalo de tempo de $\frac{1}{299.792.458}$ do segundo. |
| quilograma | O quilograma é a unidade de massa igual à massa do protótipo internacional do quilograma. |
| segundo | O segundo é a duração de 9.192.631.770 períodos da radiação correspondente à transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do césio 133. |
| ampere | O ampere 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. |
| kelvin | O kelvin é a fração $\frac{1}{273,16}$ da temperatura termodinâmica do ponto tríplice da água. |
| candela | A candela é a intensidade luminosa, numa direção dada, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz e cuja intensidade energética naquela direção é de $\frac{1}{683}$ watt por esferorradiano. |
| mol | O mol é a quantidade de matéria de um sistema contendo tantas entidades elementares quantos átomos existem em 0,012 kg de carbono 12. |

Grandezas derivadas e suas respectivas unidades derivadas

Grandezas derivadas são definidas em função das grandezas de base desse sistema. Num sistema de grandezas que tenha como grandezas de base comprimento e massa, a massa específica é uma grandeza derivada definida pelo quociente de uma massa (quilograma) por um volume (comprimento ao cubo).

Unidade derivada é unidade de medida de uma grandeza derivada, definida de acordo com uma unidade de base.

Tabela 3 - Grandezas derivadas e suas respectivas unidades derivadas

| Grandeza derivada | Unidade derivada | |
|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| | Nome | Símbolo |
| Área | metro quadrado | m ² |
| Volume | metro cúbico | m ³ |
| Velocidade | metro por segundo | m/s |
| Aceleração | metro por segundo quadrado | m/s ² |
| Campo Magnético | ampere por metro | A/m |
| Massa Específica | quilograma por metro cúbico | kg/m ³ |
| Força | newton | N |

Tabela 4 - Definições de algumas unidades derivadas

| Unidade | Definição |
|-------------------------------|--|
| metro quadrado | Área de um quadrado cujo lado tem 1 metro de comprimento. |
| metro cúbico | Volume de um cubo cuja aresta tem 1 metro de comprimento |
| metro por segundo | Velocidade de um móvel que, em movimento retilíneo uniforme, percorre a distância de 1 metro em 1 segundo. |
| metro por segundo ao quadrado | Aceleração de um móvel em movimento retilíneo uniformemente variado, cuja velocidade varia de 1 metro por segundo em 1 segundo. |
| ampere por metro | Intensidade de um campo magnético uniforme, criado por uma corrente invariável de 1 ampere, que percorre um condutor retilíneo, de comprimento infinito e de área de seção transversal desprezível, em qualquer ponto de uma superfície cilíndrica de diretriz circular com 1 metro de circunferência e que tem como eixo o referido condutor. |
| quilograma por metro cúbico | Massa específica de um corpo homogêneo, em que um volume igual a 1 metro cúbico contém massa igual a 1 quilograma. |
| newton | Força que comunica à massa de 1 quilograma a aceleração de 1 metro por segundo, por segundo. |

As tabelas 2 e 4 apresentam as definições de algumas unidades do SI. Você poderá encontrar as definições de todas as unidades do SI no site do Inmetro (<http://www.inmetro.gov.br/infotec/publicacoes.asp>), disponível em pdf.

Múltiplos e submúltiplos das unidades de medidas

O múltiplo de uma unidade é obtido pela multiplicação de uma dada unidade de medida por um inteiro maior que um, e submúltiplo é uma unidade de medida obtida pela divisão de uma dada unidade de medida por um inteiro maior que um.

Ex: O milímetro (10^{-3}) é um submúltiplo decimal do metro, pois significa dividir um metro em 1000 partes iguais. Já o quilômetro (10^3) é um múltiplo decimal do metro, pois seria o mesmo que multiplicar o metro por 1000.

Para melhor entendimento, a tabela 5 apresenta os prefixos dos múltiplos e submúltiplos das unidades de medidas.

Tabela 5 - Prefixos dos múltiplos e submúltiplos

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

Por motivos históricos, o nome da unidade SI de massa contém um prefixo. Excepcionalmente e por convenção os múltiplos e submúltiplos dessa unidade são formados pela adjunção de outros prefixos SI à palavra grama e ao símbolo g.

Os prefixos desta tabela podem ser também empregados com unidades que não pertencem ao SI.

As grafias femto e atto serão admitidas em obras sem caráter técnico.

Grandezas que não pertencem ao SI

É comum em nosso cotidiano nos depararmos com algumas grandezas físicas que não fazem parte do SI. A tabela 6 ilustra alguns casos que são usados mais frequentemente em nosso dia-a-dia.

Tabela 6 - Unidade fora do SI

| Grandeza | Unidade | Símbolo | Relação SI |
|-------------|------------------|---------|----------------------------|
| Tempo | minuto | min | 1 min = 60 s |
| | hora | h | 1 h = 3600 s |
| | dia | d | 1 d = 86400 s |
| Exposição | roentgen | R | $2,58 \times 10^{-4}$ C/kg |
| Força | quilograma-força | kgf | 1 kgf = 9,806 65 N |
| Energia | caloria | cal | 1 cal = 4,1868 J |
| Potência | cavalo-vapor | cv | 1 cv = 735,5 W |
| Pressão | bar | bar | 1 bar = 10^5 Pa |
| Comprimento | Polegada | - | 1 pol = 0,0254 m |

O SI é o único sistema de unidades reconhecido internacionalmente. As unidades que não fazem parte do SI são geralmente definidas em termos de unidades do SI.

Podemos citar várias unidades que não fazem parte do SI, o que alongaria mais a nossa aula. Você pode ter acesso a bibliografias específicas onde são apresentadas todas as unidades que pertencem e não pertencem ao SI. Podemos citar o quadro geral de unidades de medidas, disponível para download em: www.inmetro.gov.br/infotec/quadro_geral_um.asp

Grafias dos nomes de unidades

Quando escritos por extenso, os nomes de unidade começam por letra minúscula, mesmo quando têm o nome de um cientista (por exemplo, ampere, kelvin, newton, etc.), exceto o grau Celsius.

Na expressão do valor numérico de uma grandeza, a respectiva unidade pode ser escrita por extenso ou representada pelo seu símbolo (por exemplo, quilovolts por milímetro, ou kV/mm), não sendo admitidas combinações de partes escritas por extenso com partes expressas por símbolo.

Plural dos nomes de unidades

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

a) os prefixos SI são invariáveis;

b) os nomes de unidades recebem a letra “s” no final de cada palavra nos seguintes casos:

□ Quando são palavras simples. Por exemplo: amperes, candelas, curies, farads, grays, joules, kelvins, quilogramas, parsecs, roentgens, volts, webers, etc.

□ Quando são palavras compostas em que o elemento complementar de um nome de unidade não é ligado a este por hífen. Por exemplo: metros quadrados, milhas marítimas, unidades astronômicas, etc.

□ Quando são termos compostos por multiplicação, em que os componentes podem variar independentemente um do outro. Por exemplo: amperes-horas, newtons-metros, ohms-metros, pascals-segundos, watts-horas, etc.

Segundo esta regra, e a menos que o nome da unidade entre no uso vulgar, o plural não desfigura o nome que a unidade tem no singular (por exemplo: becquerels, decibels, henrys, mols, pascals, etc.), não se aplicando aos nomes de unidades certas regras usuais de formação do plural de palavras.

c) os nomes ou partes dos nomes de unidades não recebem a letra “s” no final:

□ Quando terminam pelas letras s, x ou z. Por exemplo: siemens, lux, hertz, etc.

□ Quando correspondem ao denominador de unidades compostas por divisão. Por exemplo, quilômetros por hora, lúmens por watt, watts por esferorradiano, etc.

□ Quando, em palavras compostas, são elementos complementares de nomes de unidades e ligados a estes por hífen ou preposição. Por exemplo, anos-luz, elétron-volts, quilogramasforça, unidades (unificadas) de massa atômica, etc.

Grafia dos símbolos de unidades

A grafia dos símbolos de unidades obedece às seguintes regras básicas:

a) os símbolos são invariáveis, não sendo admitido colocar, após o símbolo, seja ponto de abreviatura, seja “s” de plural, sejam sinais, letras ou índices. Por exemplo, o símbolo do watt é sempre W, qualquer que seja o tipo de potência a que se refira: mecânica, elétrica, térmica, acústica, etc.;

b) os prefixos SI nunca são justapostos no mesmo símbolo. Por exemplo, unidades como GWh, nm, pF etc. não devem ser substituídas por expressões em que se justaponham, respectivamente, os prefixos mega e quilo, mili e micro, etc.;

c) os prefixos SI podem coexistir num símbolo composto por multiplicação ou divisão. Por exemplo, kN.cm, kΩ.mA, kV/mm, MΩ.cm, kV/μs, μW/cm² etc;

d) os símbolos de uma mesma unidade podem coexistir num símbolo composto por divisão. Por exemplo, Ω.mm²/m, kWh/h, etc.;

e) o símbolo é escrito no mesmo alinhamento do número a que se refere, e não como expoente ou índice. São exceções os símbolos das unidades não SI de ângulo plano (o ‘ ‘), os expoentes dos símbolos que têm expoente, o sinal do símbolo do grau Celsius e os símbolos que têm divisão indicada por traço de fração horizontal;

f) o símbolo de uma unidade composta por multiplicação pode ser formado pela justaposição dos símbolos componentes e que não cause ambiguidade (VA, kWh, etc.), ou mediante a colocação de um ponto entre os símbolos componentes, na base da linha ou a meia altura (N.m ou N·m, m.s-1 ou m·s-1 etc);

g) o símbolo de uma unidade que contenha divisão pode ser formado por qualquer das três maneiras exemplificadas a seguir: W/(sr.m²), W.sr-1.m-2, $\frac{W}{sr\ m^2}$, não devendo ser empregada esta última forma quando o símbolo, escrito em duas linhas diferentes, puder causar confusão.

Quando um símbolo com prefixo tem expoente, deve-se entender que esse expoente afeta o conjunto prefixo-unidade, como se o conjunto estivesse entre parênteses.

Por exemplo:

$$dm^3 = 10^{-3} m^3$$

$$mm^3 = 10^{-9} m^3$$

Grafia dos números

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

□ Para separar a parte inteira da parte decimal de um número, é empregada sempre uma vírgula. Quando o valor absoluto do número é menor que 1, coloca-se 0 à esquerda da vírgula.

□ Os números que representam quantias em dinheiro, ou quantidades de mercadorias, bens ou serviços em documentos para efeitos fiscais, jurídicos e/ou comerciais, devem ser escritos com os algarismos separados em grupo de três, a contar da vírgula para a esquerda e para direita, com pontos separando esses grupos entre si.

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

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

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

mil = 10³ = 1.000

milhão = 10⁶ = 1.000.000

bilhão = 10⁹ = 1.000.000.000

trilhão = 10¹² = 1.000.000.000.000

Podendo ser opcionalmente empregados os prefixos SI ou os fatores decimais da tabela 4, em casos especiais (por exemplo: em cabeçalhos de tabelas);

b) para trabalhos de caráter técnico ou científico, é recomendado o emprego dos prefixos SI ou fatores decimais da tabela 4.

Espaçamento entre número e símbolo

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

a) em frases de textos correntes, é dado normalmente o espaçamento correspondente a uma ou a meia letra, mas não se deve dar espaçamento quando há possibilidade de fraude;

b) em colunas de tabelas, é facultado utilizar espaçamentos diversos entre os números e os símbolos das unidades correspondentes.

Pronúncia dos múltiplos e submúltiplos

Na forma oral, os nomes dos múltiplos e submúltiplos decimais das unidades são pronunciados por extenso, prevalecendo a sílaba tônica da unidade. As palavras quilômetro, decímetro, centímetro e milímetro, consagrados pelo uso com o acento tônico deslocado para o prefixo, são as únicas exceções a esta regra. Assim sendo, os outros múltiplos e submúltiplos decimais do metro devem ser pronunciados com acento tônico na penúltima sílaba (mé), por exemplo, megametro, micrometro (distinto de micrômetro, instrumento de medição), manômetro, etc.

Grandezas expressas por valores relativos

É aceitável exprimir, quando conveniente, os valores de certas grandezas em relação a um valor determinado da mesma grandeza tomado como referência, na forma de fração ou percentagem. Tais são, dentre outras, a massa específica, a massa atômica ou molecular, a condutividade, etc.

Síntese

Nesta aula, aprendemos que a Metrologia sempre possui uma função essencial para o país e para a sociedade.

Desde a remota origem da civilização, a Metrologia sempre foi necessária. Cada país possuía seu próprio sistema de medidas, e isso causava dificuldade de um país comercializar com o outro. Para tentar resolver este problema, foi criado em 1789, o Sistema Métrico Decimal, constituído de três medidas: metro, litro e o quilograma.

No Brasil, usamos o Sistema Internacional de Unidades, SI, que facilita o entendimento de informações nas relações comerciais e científicas em todo o mundo.

Estudamos sobre a importância e a necessidade de medirmos as propriedades de objetos ou fenômenos para conhecê-los melhor, tornando assim possível seu aperfeiçoamento e a realização de trocas comerciais.

Observamos que a Metrologia Legal possui funções que consistem em procedimentos estabelecidos por meio de leis e regulamentos, com o objetivo de garantir a qualidade na segurança do cidadão, na saúde e no meio ambiente. Sua área de atuação em produtos pré-medidos e em sistemas de medição utilizados nas transações comerciais, ou seja, em aspectos essenciais para a sociedade.

Referências

DIAS, José Luciano de Mattos. Medida, normalização e qualidade: aspectos da história da metrologia no Brasil. Rio de Janeiro: Inmetro, 1998.

VOCABULÁRIO Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2008). Rio de Janeiro: Duque de Caxias, 2009.