

**Fundamentos
da Metrologia**



**e Avaliação da
Conformidade**

Erros e Expressão de Medição



SUMÁRIO

Introdução

1. Erros de medição

Erro sistemático

Erro aleatório

2. Expressão dos erros

Erro sistemático

Erro aleatório

Erro de histerese

Erro fiducial

Erro máximo admissível

Síntese da aula

Glossário

Referências

Anexos

Algarismos Significativos

Conversão de Unidades com Potência de 10

Arredondamento

**“A medida de um erro é ao mesmo tempo a medida da
verdade correspondente.”
(Louis Claude de Saint-Martin, filósofo francês)**

Introdução

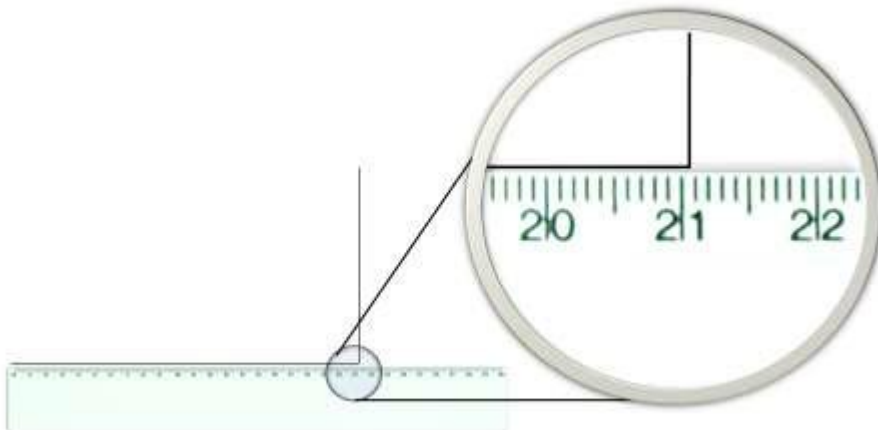
No processo de medição, considera-se que toda grandeza física possui um valor bem definido ou exato, um valor verdadeiro. Este valor é convencional, pois só seria obtido por uma medição perfeita. Na prática, esse valor verdadeiro não é acessível. Nossos processos de medição sempre contam com alguma imprecisão.

Vamos ilustrar essa afirmação com um exemplo bem simples: a medida da largura de uma folha de papel feita com uma régua comum, com marcação em centímetros e milímetros. Você coloca a régua com o zero da parte esquerda coincidindo com a beirada da folha e verifica em que marca na régua está a outra beirada. No detalhe ampliado de nossa ilustração, você percebe que a ponta está quase coincidindo com a marca 21. Fica um pouco à direita, algo entre 21,0 cm e 21,1 cm.

Qual o valor verdadeiro da medida?

É claro que poderíamos fazer esta medição com um instrumento mais preciso. Mas ainda assim persistiria uma dúvida e nunca chegaríamos ao valor verdadeiro.

Para que fique ainda mais claro: pode ser que você consiga afirmar uma determinada estimativa do valor da grandeza, com certa margem de dúvida. Mas um colega seu poderia falar em algo um pouco diferente. Ambos concordariam que o valor está entre 21,0 cm e 21,1 cm, mas poderiam divergir sobre quanto seria maior que 21,0 cm.



Quando repetimos várias vezes a medição de uma grandeza, normalmente os sucessivos resultados não coincidem. Os novos valores da grandeza podem diferir muito pouco do valor inicial, mas dificilmente se consegue uma série de valores idênticos. Este fato reflete a impossibilidade de se conhecer o valor verdadeiro de uma grandeza. As causas destas flutuações são os erros de medição.

1. Erros de medição

Os erros podem ser classificados em dois grupos: sistemáticos e estatísticos.

Erros sistemáticos

São aqueles que ocorrem de forma a gerar desvios de medida (em relação ao que se acredita ser o valor verdadeiro da mesma) sempre no mesmo sentido, isto é:

são aqueles que concorrem para causar um aumento sistemático ou uma diminuição sistemática nas medidas.

Em outras palavras, os erros sistemáticos não possuem um caráter aleatório. Alguns exemplos de erros sistemáticos são:

- erro instrumental: gerado, por exemplo, pela má calibração do instrumento de medida;
- erro ambiental: decorrente da interferência do ambiente através de fatores como temperatura, pressão, umidade, campo magnético terrestre, etc, sobre a experiência;
- erro observacional: decorrente de procedimento inadequado do observador, como por exemplo, o erro de paralaxe quando se mede uma grandeza através de um instrumento de ponteiro, e
- erro teórico: decorrente, em uma medida indireta, do uso de fórmulas teóricas aproximadas ou de valores aproximados de constantes físicas nas mesmas.

Mesmo quando os erros sistemáticos são substancialmente reduzidos e (nem sempre é possível fazê-lo), ainda assim se observa que medidas sucessivas de uma grandeza física são discordantes. Isto se deve à existência de outros tipos de erros, os aleatórios.

Erros aleatórios

São aqueles que produzem os desvios aleatórios que se observam em uma série de medidas e podem ser de naturezas diversas.

Alguns erros aleatórios podem ser reduzidos ou praticamente eliminados. Por exemplo, podemos reduzir as flutuações nas medidas de massa fornecidas por uma balança colocando-a em uma mesa a prova de vibrações. Ou também reduzir as flutuações nas medidas fornecidas por um instrumento eletrônico, minimizando o ruído gerado por sinais eletromagnéticos externos ao circuito do mesmo, através de uma blindagem apropriada.

2. Expressão de erros

Erro de medição:

O erro de medição é definido como a:

Diferença entre o valor medido de uma grandeza e um valor de referência

o que pode ser expresso como:

$$E = X - VV$$

Onde:

E = erro de medição

X = medida

VV = valor verdadeiro

O erro pode ser positivo ou negativo. Um erro positivo denota que a medição do instrumento é maior que o valor verdadeiro. Um erro negativo denota que a medição é menor que o valor verdadeiro.

O VIM traz as seguintes notas sobre o erro de medição:

“NOTA 1: O conceito de “erro de medição” pode ser utilizado:

a) quando existe um único valor de referência, o que ocorre se uma calibração for realizada por meio de um padrão com um valor medido cuja incerteza de medição é desprezível, ou se um valor convencional for fornecido. Nestes casos, o erro de medição é conhecido.

b) caso se suponha que um mensurando é representado por um único valor

verdadeiro ou um conjunto de valores verdadeiros de amplitude desprezível. Neste caso, o erro de medição é desconhecido.

NOTA 2: Não se deve confundir erro de medição com erro de produção ou erro humano.”

Note a diferença entre os casos (a) e (b). No primeiro, temos o conhecimento do erro de medição, já que a incerteza é desprezível. No segundo caso, não podemos conhecer o erro de medição, pois não conhecemos o valor verdadeiro. Abaixo vamos explorar melhor essas questões.

Erro Sistemático

Componente do erro de medição que, em medições repetidas, permanece constante ou varia de maneira previsível.

O VIM traz as seguintes notas sobre erro sistemático:

“NOTA 1: Um valor de referência para um erro sistemático é um valor verdadeiro, ou um valor medido de um padrão com incerteza de medição desprezível, ou um valor convencional.

NOTA 2: O erro sistemático e suas causas podem ser conhecidos ou desconhecidos. Pode-se aplicar uma correção para compensar um erro sistemático conhecido.

NOTA 3: O erro sistemático é igual à diferença entre o erro de medição e o erro aleatório.”

Note que a segunda observação traz uma informação importante sobre a possibilidade de correção de erros sistemáticos, pois os erros sistemáticos causam o afastamento da média de um conjunto de medições do valor verdadeiro convencional.

O erro sistemático pode ser calculado a partir da seguinte definição:

média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando, efetuadas sob condições de repetitividade, menos o valor verdadeiro convencional do mensurando.

$$E_s = \langle X \rangle - VV$$

Onde:

E_s = erro sistemático

$\langle X \rangle$ = média das medições

VV = valor verdadeiro

Tendência

Como na prática não realizamos um número infinito de medições com o instrumento, o que se determina com um número finito de medições é a tendência do instrumento de medição, ou seja, o erro sistemático de indicação de um instrumento.

Exemplo: São feitas quatro medidas de um comprimento, obtendo-se os valores indicados. O valor de referência é conhecido.

Medidas (mm)	Média (mm)	Valor do Padrão (mm)	Erro sistemático (mm)
12,60	12,60	12,65	- 0,050
12,60			
12,60			
12,60			

Erro Aleatório

Componente do erro de medição que, em medições repetidas, varia de maneira imprevisível.

São as seguintes as notas do VIM sobre os erros aleatórios:

“NOTA 1: O valor de referência para um erro aleatório é a média que resultaria de um número infinito de medições repetidas do mesmo mensurando.

NOTA 2: Os erros aleatórios de um conjunto de medições repetidas formam uma distribuição que pode ser resumida por sua esperança matemática ou valor esperado, o qual é geralmente assumido como sendo zero, e por sua variância.

NOTA 3: O erro aleatório é igual à diferença entre o erro de medição e o erro

Tomando as fórmulas anteriores, e combinando-as conforme a NOTA 3, obtemos:

$$Ea = X - \langle X \rangle$$

Onde:

Ea = erro aleatório

X = medição

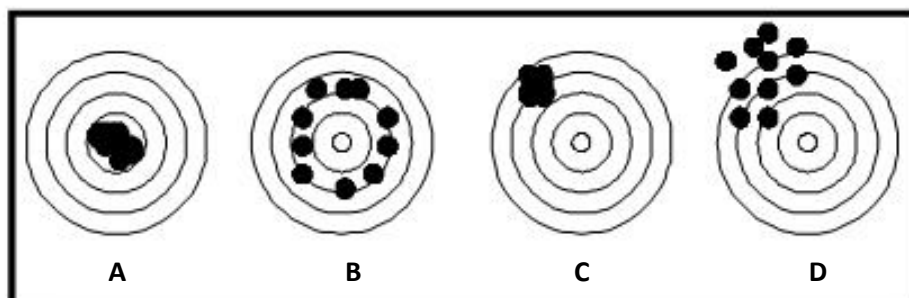
$\langle X \rangle$ = média das medições

Exemplo:

Medidas (mm)	Média (mm)	Erro Aleatório (mm)
12,541	12,549	- 0,008
12,560		0,011
12,539		- 0,010
12,558		0,009

Erro Sistemático e Erro Aleatório

Para melhor entendermos a diferença entre esses dois erros, vamos usar um exemplo ilustrado na figura abaixo. Suponha que temos um alvo e quatro atiradores. As espingardas que eles usam diferem umas das outras, bem como suas capacidades esportivas.



O atirador A conseguiu acertar os tiros no centro do alvo, o que demonstra um erro sistemático baixo (distância da média dos tiros em relação ao centro do alvo) e um erro aleatório (dispersão dos tiros) também baixo.

O atirador B apresentou um espalhamento muito grande em torno do centro do alvo (erro aleatório alto), porém, os tiros estão aproximadamente equidistantes do centro (erro sistemático baixo), demonstrando que ele não possui boa exatidão.

Lembre-se que exatidão é o grau de concordância das medições em relação ao valor de referência (no caso o centro do alvo).

O atirador C apresenta baixa dispersão (reduzido erro aleatório), porém afastados do centro do alvo (grande erro sistemático).

O atirador D apresenta um espalhamento muito grande e não conseguiu que o “centro” dos tiros ficasse próximo do centro do alvo. Este atirador apresenta elevado erro aleatório e sistemático.

Atirador	Erro Sistemático	Erro Aleatório
A	Baixo	Baixo
B	Baixo	Elevado
C	Elevado	Baixo
D	Elevado	Elevado

Comparando os atiradores B, C e D podemos afirmar que C é o melhor, apesar de nenhum dos tiros do atirador C ter acertado o centro do alvo. Entretanto, o seu espalhamento é muito menor. Se a mira do atirador C for ajustada, conseguiremos uma condição próxima à do A, o que jamais poderemos obter com os atiradores B e D.

Podemos concluir, então, que o erro sistemático não é tão crítico quanto o erro aleatório, uma vez que é possível determiná-lo através de uma calibração e efetuar a sua compensação.

Erro de Histerese

A histerese é um fenômeno bastante típico nos instrumentos mecânicos, tendo como fonte de erro, principalmente, folgas e deformações associadas ao atrito.

A histerese é definida como:

A maior diferença entre os valores de carga e descarga de um instrumento de medição

A carga é a medição efetuada quando da aplicação de um sinal crescente de valor; e a descarga é aquela medição efetuada quando da aplicação de um sinal decrescente de valor.

Exemplos típicos de instrumentos que podem apresentar erros de histerese: balanças, dinamômetros e manômetros analógicos.

Sinal entrada (Valor do padrão) kg	Sinal entrada (Valor %)	Indicação do Instrumento na carga (kg)	Indicação do Instrumento na descarga (kg)
0	0	0	0
10	20	11	10
20	40	19	19
30	60	30	30
40	80	39	41
50	100	49	50

Erro Fiducial

É um erro relativo, determinado como um percentual de um valor de referência, ou valor fiducial.

Os valores fiduciais são apresentados, na maioria das vezes, em relação à amplitude da faixa de medição (como nos casos de manômetros e voltímetros). Não é raro encontrar instrumentos cujo erro fiducial é calculado considerando o valor da leitura como o de referência.

$$E_{\text{fiducial}} = \frac{E}{V_r}$$

Onde:

E = erro de medição

V_r = valor de referência

Erro Máximo Admissível

Valores extremos de um erro admissível por especificações, regulamentos ou normas, para um dado instrumento de medição.

Exemplo: A NBR 14105 define os seguintes erros máximos admissíveis para manômetros tipo Bourdon:

Tipos de manômetros	Erros Máximos
Classe de exatidão A4	0,10%
Classe de exatidão A3	0,25%
Classe de exatidão A2	0,50%
Classe de exatidão A1	1,0%

Classe de exatidão

É a classe de instrumentos de medição que satisfazem a certas exigências metrológicas destinadas a conservar os erros dentro de limites especificados

A classe de exatidão é qualitativa e não quantitativa. A aptidão de um instrumento em repetir a margem de erro quando a operação de medição é repetida. Esta medida deve estar próxima ao valor exato.

Podem ser citados os seguintes exemplos:

Pela NBR 14105, a classificação dos manômetros pela classe de exatidão define os seguintes erros máximos admissíveis:

Classes de exatidão	Erros Máximos
A4	0,10%
A3	0,25%
A2	0,50%
A1	1,0%

Segundo as recomendações da OIML (Organização Internacional de Metrologia Legal), as massas padrão usadas na calibração de balanças são classificadas nas classes de exatidão E1, E2, F1, F2, M1 e M2. Uma massa de 100mg, por exemplo, apresenta por classe de exatidão os seguintes erros máximos admissíveis:

Classes de exatidão	Erros Máximos
Classe E1	+0,005 mg
Classe E2	+0,015 mg
Classe F1	+0,05 mg
Classe F2	+0,15 mg
Classe M1	+0,5 mg
Classe M2	+1,5 mg



Síntese da Aula

Ao terminarmos esta aula você deve que ter apreendido que:

Toda medida está sujeita à incerteza. O valor verdadeiro de uma grandeza é, em geral, não conhecido e não pode ser conhecido. Em alguns casos, podem ser adotados valores de referência.

Erro de medição é diferente de incerteza de medição.

Os erros de medição são sistemáticos ou aleatórios. São causas de erros: condições de repetitividade, de meio ambiente, temperatura, pressão, umidade etc. Esses fatores podem interferir nas medições.

Erro de medição: $E = X - VV$

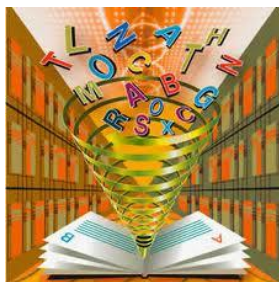
Erro sistemático: $ES = \langle X \rangle - VV$

Erro aleatório: $Ea = X - \langle X \rangle$

Diversos erros podem ser originados nos instrumentos de medição:

Erro de histerese – maior diferença entre carga (medição com sinal frequente em valor) e descarga (medição com sinal decrescente em valor).

Erro fiducial - determinado como um percentual de um valor de referência. (ou valor fiduciário).

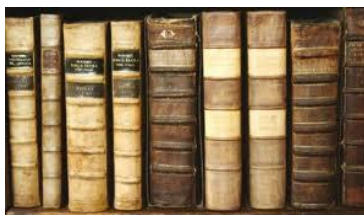


Glossário

Valores fiduciais: é um valor especificado para o instrumento.

Exatidão: grau de concordância entre o resultado de uma medição e um valor verdadeiro do mensurando.

Erro de paralaxe: erro cometido na leitura de uma escala graduada, como consequência de os raios visuais do observador não serem perpendiculares ao plano da escala.



Referências

- LUFT, Celso Pedro, 1921 – *Minidicionário Luft* / colaboradores Francisco de Assis Barbosa, Manuel da Cunha Pereira; organização e supervisão Lya Luft. – São Paulo: Ática 2000.

- *Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de Metrologia*: portaria INMETRO nº. 029 de 1995 / INMETRO, SENAI - Departamento Nacional. 5. ed. – Rio de Janeiro: Ed. SENAI, 2007.

- <http://www.ipem.sp.gov.br/5mt/unidade.asp?vpro=pesa>