

## 4 ABORDAGENS METROLÓGICAS

Neste capítulo são apresentados os termos metrológicos utilizados neste documento. Estes conceitos foram selecionados do Vocabulário Internacional de termos fundamentais e gerais de Metrologia (VIM), apresentam-se também, os cálculos estatísticos aplicados para avaliar os resultados obtidos.

### 4.1. Conceitos Metrológicos Básicos

#### 4.1.1. Grandeza Mensurável [VIM 1.1]

Atributo de um fenômeno, corpo ou substância que pode ser qualitativamente distinguido e quantitativamente determinado.

#### 4.1.2. Medição [VIM 2.1]

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

*Observação:*

As operações podem ser feitas automaticamente.

#### 4.1.3. Princípio de medição [VIM 2.3]

Base científica de uma medição.

#### 4.1.4. Procedimento de medição [VIM 2.5]

Conjunto de operações, descritas especificamente, usadas na execução de medições particulares, de acordo com um dado método.

*Observação:*

Um procedimento de medição é usualmente registrado em um documento, que algumas vezes é denominado procedimento de medição (ou método de medição) e normalmente tem detalhes suficientes para permitir que um operador execute a medição sem informações adicionais.

#### **4.1.5. Mensurando [VIM 2.6]**

Objeto da medição. Grandeza específica submetida à medição.

*Observação:*

A especificação de um mensurando pode requerer informações de outras grandezas como tempo, temperatura ou pressão.

#### **4.1.6. Sinal de medição [VIM 2.8]**

Grandeza que representa o mensurando ao qual está funcionalmente relacionada.

*Observação:*

O sinal de entrada de um sistema de medição pode ser denominado estímulo; o sinal de saída pode ser denominado resposta.

#### **4.1.7. Resultado de uma medição [VIM 3.1]**

Valor atribuído a um mensurando obtido por medição.

*Observações:*

- 1) Quando um resultado é dado, deve-se indicar, claramente, se ele se refere:
  - À indicação;
  - Ao resultado não corrigido;
  - Ao resultado corrigido;E se corresponde ao valor médio de várias medições.
- 2) Uma expressão completa do resultado de uma medição inclui informações sobre a incerteza de medição.

#### 4.1.8.

#### **Indicação de um Instrumento de Medição [VIM 3.2]**

Valor de uma grandeza fornecido por um instrumento de medição;

*Observações:*

- 1) O valor lido no dispositivo mostrador pode ser denominado de indicação direta. Ele é multiplicado pela constante do instrumento para fornecer a indicação.
- 2) A grandeza pode ser um mensurando, um sinal de medição ou uma outra grandeza a ser usada no cálculo do valor do mensurando.
- 3) Para uma medida materializada, a indicação é o valor a ela atribuído.

#### 4.1.9.

#### **Exatidão da Medição [VIM 3.5]**

Grau de concordância entre o resultado de uma medição e um valor verdadeiro do mensurando.

*Observações:*

- 1) Exatidão é um conceito qualitativo.
- 2) O termo precisão não deve ser utilizado como exatidão.

#### 4.1.10.

#### **Repetitividade [VIM 3.6]**

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

*Observações:*

- 1) Estas condições são denominadas condições de repetitividade.
- 2) Condições de repetitividade incluem:
  - Mesmo procedimento de medição;
  - Mesmo observador;
  - Mesmo instrumento de medição, utilizado nas mesmas condições;
  - Mesmo local;
  - Repetição em curto período de tempo.
- 3) Repetitividade pode ser expressa, quantitativamente, em função das características da dispersão dos resultados.

#### 4.1.11. Reprodutibilidade [VIM 3.7]

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

*Observações:*

- 1) Para que uma expressão da reprodutibilidade seja válida, é necessário que sejam especificadas as condições alteradas.
- 2) As condições alteradas podem incluir:
  - Princípio de medição;
  - Método de medição;
  - Observador;
  - Instrumento de medição;
  - Padrão de referência;
  - Local;
  - Condições de utilização;
  - Tempo.
- 3) Reprodutibilidade pode ser expressa, quantitativamente, em função das características da dispersão dos resultados.
- 4) Os resultados aqui mencionados referem-se, usualmente, a resultados corrigidos.

#### 4.1.12. Desvio Padrão Experimental [VIM 3.8]

Para uma série de “n” medições de um mesmo mensurando, a grandeza “s”, que caracteriza a dispersão dos resultados, é dada pela fórmula:

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

Onde  $x_i$  representa o resultado da “iésima” medição e  $\bar{x}$  representa a média aritmética dos “n” resultados considerados.

*Observações:*

- 1) Considerando uma série de “n” valores como uma amostra de uma distribuição,  $\bar{x}$  é uma estimativa não tendenciosa da média  $\mu$ , e  $s^2$  é uma estimativa não tendenciosa da variância desta distribuição.

- 2) A expressão  $s/\sqrt{n}$  é uma estimativa do desvio padrão da distribuição de  $\bar{x}$  e é denominada desvio padrão experimental da média.
- 3) “Desvio padrão experimental da média” é, algumas vezes, denominado incorretamente erro padrão da média.

#### 4.1.13. Incerteza de Medição [VIM 3.9]

Parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentadamente atribuídos a um mensurando.

*Observações:*

- 1) O parâmetro pode ser, por exemplo, um desvio padrão (ou um múltiplo dele), ou a metade de um intervalo correspondente a um nível de confiança estabelecido.
- 2) A incerteza de medição compreende, em geral, muitos componentes. Alguns destes componentes podem ser estimados com base na distribuição estatística dos resultados das séries de medições e podem ser caracterizados por desvios padrão experimentais. Os outros componentes, que também podem ser caracterizados por desvios padrão, são avaliados por meio de distribuição de probabilidades assumidas, baseadas na experiência ou em outras informações.
- 3) Entende-se que o resultado da medição é a melhor estimativa do valor do mensurando, e que todos os componentes da incerteza, incluindo aqueles resultantes dos efeitos sistemáticos, como os componentes associados com correções e padrões de referência, contribuem para a dispersão.

#### 4.1.14. Incerteza Padronizada

Incerteza do resultado expressa como um desvio padrão. A incerteza padrão pode ser de tipo A e de tipo B.

- **Incerteza padrão tipo A:** Método de avaliação da incerteza por análise estatística de uma serie de observações.

- **Incerteza padrão tipo B:** Método de avaliação da incerteza por outros meios que não é a análise estatística de uma série de observações.

#### 4.1.15. Incerteza Padronizada Combinada

A incerteza padronizada de medição é obtida por meio de valores de varias outras grandezas, sendo igual à raiz quadrada positiva de uma soma de termos, sendo estes as variâncias e covariâncias destas outras grandezas, ponderadas de acordo com quanto o resultado de medição varia com as mudanças nestas grandezas.

#### 4.1.16. Incerteza Expandida

A incerteza expandida é a incerteza padronizada multiplicada por um fator de abrangência  $k$ , de forma a se obter um intervalo de confiança.

Para distribuição normal de erros e incerteza padrão experimental, se tem os seguintes níveis de confiança:

Tabela 3- Nível de confiança

| NÍVEL DE CONFIANÇA<br>(%) | FATOR DE ABRANGÊNCIA<br>$k_p$ |
|---------------------------|-------------------------------|
| 68,27                     | 1                             |
| 90                        | 1,645                         |
| 95                        | 1,960                         |
| 95,45                     | 2                             |
| 99                        | 2,576                         |
| 99,73                     | 3                             |

#### 4.1.17. Erro [VIM 3.10]

Resultado de uma medição menos o valor verdadeiro do mensurando.

*Observações:*

- 1) Uma vez que o valor verdadeiro não pode ser determinado, utiliza-se, na prática, um valor verdadeiro convencional (ver os itens 1.19 e 1.20).
- 2) Quando for necessário distinguir “erro” de “erro relativo”, o primeiro é, algumas vezes, denominado erro absoluto da medição. Este termo não deve ser confundido com valor absoluto do erro, que é o módulo do erro.

#### **4.1.18. Erro aleatório [VIM 3.13]**

Resultado de uma medição menos a média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando efetuadas sob condições de repetitividade.

*Observações:*

- 1) Erro aleatório é igual ao erro menos o erro sistemático.
- 2) Em razão de que apenas um finito número de medições pode ser feito, é possível apenas determinar uma estimativa do erro aleatório.

#### **4.1.19. Erro sistemático [VIM 3.14]**

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

*Observações:*

- 1) Erro sistemático é igual ao erro menos o erro aleatório.
- 2) Analogamente ao valor verdadeiro, o erro sistemático e suas causas não podem ser completamente conhecidos.
- 3) Para um instrumento de medição.

#### **4.1.20. Instrumento de medição [VIM 4.1]**

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

#### **4.1.21. Sistema de medição [VIM 4.5]**

Conjunto completo de instrumentos de medição e outros equipamentos acoplados para executar uma medição específica.

*Observações:*

- 1) O sistema pode incluir medidas materializadas e reagentes químicos.
- 2) Um sistema de medição que é instalado de forma permanente é denominado instalação de medição.

#### **4.1.22. Instrumento de medição indicador [VIM 4.6]**

Instrumento de medição que apresenta uma indicação.

*Observações:*

- 1) A indicação pode ser analógica (contínua/ descontínua) ou digital.
- 2) Valores de mais de uma grandeza podem ser apresentados simultaneamente.
- 3) Um instrumento de medição indicador pode, também, fornecer um registro.

#### **4.1.23. Instrumento de medição registrador [VIM 4.7]**

Instrumento de medição que fornece um registro da indicação.

*Observações:*

- 1) O registro (indicação) pode ser analógico (linha contínua ou descontínua) ou digital.
- 2) Valores de mais de uma grandeza podem ser registrados (apresentados) simultaneamente.
- 3) Um instrumento registrador pode, também, apresentar uma indicação.

#### **4.1.24. Sensor [VIM 4.14]**

Elemento de um instrumento de medição ou de uma cadeia de medição que é diretamente afetado pelo mensurando.



#### **4.1.25. Detector [VIM 4.15]**

Dispositivo ou substância que indica a presença de um fenômeno, sem necessariamente fornecer um valor de uma grandeza associada.

*Observações:*

- 1) Uma indicação pode ser obtida somente quando o valor da grandeza atinge um dado limite, denominado às vezes limite de detecção do detector.
- 2) Em alguns campos de aplicação o termo “detector” é usado como conceito de “sensor”.

#### **4.1.26. Faixa nominal [VIM 5.1]**

Faixa de indicação que se pode obter em uma posição específica dos controles de um instrumento de medição.

*Observações:*

Faixa nominal é normalmente definida em termos de seus limites inferior e superior, por exemplo: “100°C a 200°C”. Quando o limite inferior é zero, a faixa nominal é definida unicamente em termos do limite superior, por exemplo: a faixa nominal de 0V a 100V é expressa como “100V”.

#### **4.1.27. Faixa de medição [VIM 5.4]**

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

#### **4.1.28. Condições de utilização [VIM 5.5]**

Condições de uso para as quais as características metrológicas especificadas de um instrumento de medição mantêm-se dentro de limites especificados.

#### **4.1.29. Condições limites [VIM 5.6]**

Condições extremas nas quais um instrumento de medição resiste sem danos e sem degradação das características metrológicas especificadas, as quais são mantidas nas condições de funcionamento em utilizações subseqüentes.

#### **4.1.30. Condições de referência [VIM 5.7]**

Condições de uso prescritas para ensaio de desempenho de um instrumento de medição ou intercomparação de resultados de medições.

*Observações:*

As condições de referencia geralmente incluem os valores de referencia ou as faixas de referencia para as grandezas de influencia que afetam o instrumento de medição.

#### **4.1.31. Sensibilidade [VIM 5.10]**

Varição da resposta de um instrumento de medição dividida pela correspondente variação do estímulo.

*Observações:*

A sensibilidade pode depender do valor do estímulo.

#### **4.1.32. Resolução [VIM 5.12]**

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

*Observações:*

- 1) Para dispositivo mostrador digital, é a variação na indicação quando o dígito menos significativo varia de uma unidade.
- 2) Este conceito também se aplica a um dispositivo registrador.

#### **4.1.33. Estabilidade [VIM 5.14]**

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

**Observações:**

- 1) Quando a estabilidade for estabelecida em relação a uma outra grandeza que não o tempo, isto deve ser explicitamente mencionado.
- 2) A estabilidade pode ser quantificada de várias maneiras, por exemplo.
  - Pelo tempo no qual a característica metrológica varia de um valor determinado, ou
  - Em termos da variação de uma característica em um determinado período de tempo.

**4.1.34.****Tempo de resposta [VIM 5.17]**

Intervalo de tempo entre o instante em que um estímulo é submetido a uma variação brusca e o instante em que a resposta atinge e permanece dentro de limites especificados em torno do seu valor final estável.

**4.2.****Cálculos estatísticos****4.2.1.****Comparação entre duas médias aritméticas:**

Utiliza-se o Teste-t para avaliar se existe diferença significativa entre duas médias aritméticas,  $\bar{x}_1$  e  $\bar{x}_2$ . O procedimento para a sua aplicação está descrito a seguir:

- Escolher o nível de confiança.
- Calcular  $\Delta$ ,  $\Delta = \left| \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \right|$
- Calcular  $s_1$ , estimativa do desvio padrão baseada em  $n_1$  medições.
- Calcular  $s_2$ , estimativa do desvio padrão baseada em  $n_2$  medições.
- Calcular os respectivos graus de liberdade,  $\nu_1$  e  $\nu_2$ . Onde  $\nu_1 = n_1 - 1$  e  $\nu_2 = n_2 - 1$ .

- Estimar o desvio padrão total  $s_T$  a partir das duas estimativas dos valores do desvio padrão ( $s_1$  e  $s_2$ ) e dos graus de liberdade ( $v_1$  e  $v_2$ ).

$$s_T = \sqrt{\frac{v_1 s_1^2 + v_2 s_2^2}{v_1 + v_2}}$$

- Calcular t experimental,  $t_{\text{exp}} = \frac{\Delta}{s_T} x \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 x n_2}}$ ,
- Encontrar o valor crítico para  $t$ , ( $t_c$ ) para  $(v_1 + v_2)$  graus de liberdade.
- Comparar  $t_{\text{exp}}$  com  $t_c$ 
  - Se  $t_{\text{exp}} \leq t_c$ , não há razão para acreditar que exista diferença significativa entre as duas médias aritméticas  $\bar{x}_1$  e  $\bar{x}_2$
  - Se  $t_{\text{exp}} > t_c$ , há razão para acreditar que exista diferença significativa entre as duas médias aritméticas  $\bar{x}_1$  e  $\bar{x}_2$