

Os conceitos de erro e incerteza

Por mais que o sujeito que faz as medidas em um laboratório seja competente e caprichoso, os dados experimentais nunca terão precisão e exatidão absoluta; porém, alguns dados são mais precisos (ou exatos) do que outros, e é necessário estabelecer uma medida que permita verificar quão bom é o valor da medição. Para isso dois novos conceitos são necessários, os conceitos de erro e incerteza.

O Conceito de Erro

Na nomenclatura do Guia para Expressão da Incerteza da Medição (JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY, 2008a), a palavra “erro” é empregada exclusivamente para indicar a diferença entre o valor verdadeiro e o resultado de uma medição. Assim, para saber o erro de uma medida exatamente, é preciso conhecer seu valor verdadeiro². Como o valor verdadeiro da maioria das grandezas de interesse experimental é desconhecido *a priori*³, o conceito de erro tem pouco uso prático, pois

$$\text{Resultado da Medição} = \text{Valor Verdadeiro} + \text{Erro}$$

Por exemplo, sabendo que a velocidade da luz no vácuo é definida exatamente como $c = 299.792.458$ m/s, é possível calcular o erro de qualquer medição dessa grandeza subtraindo o resultado obtido no experimento pelo valor verdadeiro (conhecido por definição). Assim, o cálculo exato do erro só é possível se soubermos, de antemão, qual é o valor verdadeiro em questão. Porém, apesar de ter pouco uso prático, o conceito de erro é fundamental para se compreender de que maneira e por que motivos os resultados das medições se desviam dos seus respectivos valores verdadeiros.

² Em parte, as controvérsias em torno do conceito de valor verdadeiro foram apresentadas no primeiro texto desta unidade. Assim, é importante lembrar que valores verdadeiros são definidos a partir de modelos. Feita essa ressalva, para os objetivos desta disciplina, sempre poderemos imaginar que estamos lidando com grandezas que possuem valores verdadeiros únicos e bem definidos.

³ *A priori* é uma expressão da filosofia que, nesse caso, pode ser interpretada como “antes de realizar qualquer experimento”.

A questão das fontes de erro

Erro é a diferença entre o valor obtido em uma medição e seu alvo, seu valor verdadeiro. De fato, existem vários fatores em um processo de medição que produzem erro, ou

<p>Fatores que contribuem para que os resultados das medições se desviem dos seus valores verdadeiros são chamados fontes de erro.</p>

seja, que contribuem para que o resultado da medição se desvie do seu alvo. Esses fatores são chamados fontes de erro.

Em um experimento real há, geralmente, várias fontes de erro. Sem a pretensão de esgotar todas as fontes de erro possíveis de ser observar em um experimento, chamamos atenção às seguintes:

- a) Calibração do instrumento. Todo o instrumento de medição deve ser calibrado direta ou indiretamente com relação a um padrão internacional de referência. Como nenhum processo de calibração é perfeito, temos aí uma fonte de erro. Quanto mais imperfeita for a calibração do instrumento, tanto mais desviado será o valor obtido do seu valor verdadeiro. Por exemplo, a distância de 1,00 m em uma trena comercial é, certamente, um pouco diferente (para mais ou para menos) da distância que verdadeiramente corresponderia a 1,00 m segundo padrões internacionais.
- b) Condições de uso e armazenamento do instrumento. Dependendo do material com que é fabricado, das suas condições de uso e armazenamento, o instrumento pode se desviar do seu estado original. Por exemplo, uma régua de plástico pode se dilatar, trincar ou deformar com o uso. Uma balança pode sofrer pequenos danos físicos a cada vez que é transportada do armário para a bancada de trabalho. Da mesma maneira, todos os instrumentos estão sujeitos, ao longo do tempo, a perderem sua calibração original. Temos aí outra fonte de erro.
- c) Interação instrumento-objeto. A interação entre o instrumento e o objeto da

medição pode alterar o valor verdadeiro da grandeza medida. Por exemplo, ao medir a espessura de uma resma de papel com um paquímetro, é sempre necessário pressionar a resma um pouco para retirar o ar que fica preso entre as folhas. Porém, podemos estar comprimindo a resma de papel além do necessário para eliminar o ar entre as folhas, alterando, assim, sua espessura verdadeira. Ao mesmo tempo, se o paquímetro não a pressiona, é possível que um pouco de ar fique preso entre as folhas. Assim, devido à interação entre o instrumento e objeto, é possível que o resultado da medição se desvie (para mais ou para menos) do seu valor verdadeiro ou valor alvo. Esse tipo de erro é evidente em instrumentos elétricos, pois a simples introdução do instrumento no circuito em observação altera as características do circuito.

- d) Variáveis que não conseguimos (ou não desejamos) controlar. As grandezas físicas estão relacionadas umas às outras. Por isso, para obter uma boa medida de uma grandeza, é fundamental que consigamos controlar as variáveis às quais essa grandeza está relacionada. Por exemplo, se desejamos medir o alcance de um projétil, é fundamental que consigamos controlar seu ângulo de inclinação, sua altura de lançamento e sua velocidade inicial. Quanto mais essas grandezas variarem além do nosso controle, tanto mais o alcance variará. Assim, cada grandeza que não conseguirmos (ou não desejarmos) controlar precisamente contribui para que o valor que obtemos ao final de cada medição se desvie do seu alvo.

Embora seja impossível neutralizar completamente todas as fontes de erro em um experimento, é fundamental tentar controlá-las. As fontes de erro acima são toleradas na medida em que são inevitáveis. Todo o resultado experimental possui algum erro e algumas fontes de erro estão presentes até nas medidas feitas pelos pesquisadores mais

cuidadosos sob as melhores condições de trabalho. Porém, é importante destacar que a impossibilidade de controlar completamente as fontes de erro não justifica que o experimento seja feito com desleixo, que você realize as medições sem saber o que está fazendo ou que empregue os instrumentos de maneira inadequada. Em atividade experimental, alguns erros são perdoáveis porque são inevitáveis, mas nem todos são inevitáveis...!

O conceito de incerteza da medição

Por definição, incerteza é uma estimativa que quantifica a confiabilidade do resultado de uma medição. Quanto maior for a incerteza, tanto menor será a confiabilidade desse resultado. Paralelamente, é importante destacar que incerteza não é erro. O cálculo do erro depende de conhecermos o valor verdadeiro daquilo que estamos medindo. Em contrapartida, o cálculo da incerteza não tem esse tipo de restrição. A incerteza pode (e deve) ser calculada mesmo quando não temos nenhuma ideia do valor verdadeiro em jogo. Por isso a incerteza é um conceito muito mais instrumental e com mais aplicabilidade que o conceito de erro.

Há dois tipos de incerteza: do tipo A e do tipo B.

As incertezas são de tipos diferentes porque são calculadas por procedimentos distintos. No primeiro grupo de procedimentos de avaliação da incerteza estão todos os métodos que envolvem a análise estatística de uma série de observações. No outro grupo, o restante.

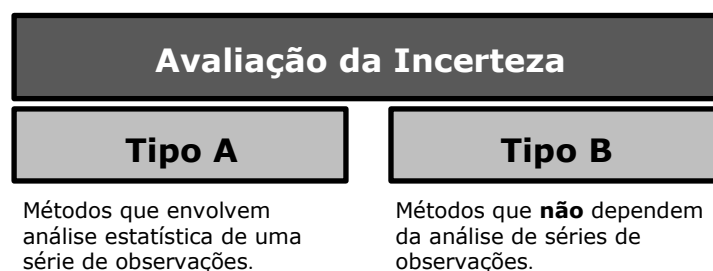


Figura 2. Representação dos tipos de procedimento para avaliação da incerteza.

Por definição, as avaliações da incerteza do tipo A dependem que seja feita uma série de observações da mesma grandeza física. Nesta disciplina, a avaliação da incerteza do tipo A ocorre essencialmente quando calculamos o desvio padrão da média de uma série de observações. Nesses casos, o resultado da medição é a média das observações.

As avaliações da incerteza do tipo B são utilizadas principalmente quando é muito difícil realizar observações repetidas (ou quando não faz sentido realizar tais observações). Do ponto de vista teórico, os procedimentos de avaliação da incerteza do tipo B são bastante sofisticados, mas não precisam ser discutidos agora.

Nos casos em que é muito difícil realizar uma série de observações, recorre-se à avaliação da incerteza do tipo B.

Assim como ocorre com a incerteza do tipo A, o resultado da avaliação da incerteza do tipo B pode ser

Incertezas do tipo A e B podem ser interpretadas como desvios padrão!

interpretado como um desvio padrão. Ou seja, tanto a incerteza do tipo A quanto a incerteza do tipo B pode ser utilizada para construir intervalos de confiança (conforme veremos adiante). Enfim, o Quadro 2 resume os procedimentos e definições apresentados.

Este texto de apoio foi escrito com pretensões introdutórias, levando em consideração o que é usualmente necessário em laboratórios de Ensino de Física. Para uma apresentação mais completa e especializada dos procedimentos de determinação da incerteza da medição, consulte as referências ao final deste livro.

Quadro 2. Conceitos-chave da nomenclatura atual de metrologia.

Nome	Significado/Definição	Observações
Erro	É igual á diferença entre o resultado da medição e o valor verdareiro.	É muito útil para compreender de que maneira e por que motivos a medida se desvia do seu valor verdadeiro. Contudo, tem pouco uso instrumental, pois seu cálculo requer conhecer de antemão o valor verdadeiro em questão.
Incerteza	Estimativa que quantifica a confiabilidade do resultado de uma medição. Quanto maior for a incerteza, tanto menor será a confiabilidade desse resultado.	Pode ser obtida por meio de uma avaliação do tipo A ou do tipo B. Incerteza não é erro!
Incerteza do tipo A	Incerteza calculada a partir de um procedimento que envolve observações repetidas.	Nesse caso, o resultado de uma medição é igual á média das observações e a incerteza (do tipo A) é igual ao desvio padrão dessa média.
Incerteza do tipo B	Incerteza calculada a partir de um procedimento que não envolve observações repetidas.	Nesse caso, o resultado da medição é igual ao resultado da primeira (e única) observação. Assim como a incerteza do tipo A, a incerteza do tipo pode ser interpretada como um desvio padrão.

Avalie sua compreensão!

Responda às questões a seguir sobre o texto de apoio “**Os conceitos de erro e incerteza**”.

1. O que é o erro de uma medição?
2. Quais são as possíveis fontes de erro em uma medição?
3. O que é incerteza?
4. Qual é a diferença entre procedimentos de avaliação da incerteza do tipo A e do tipo B?
5. Julgue as afirmações a seguir, marcando F para falso e V para verdadeiro.
 - a. Na nomenclatura do Guia para Expressão da Incerteza da Medição, a palavra “erro” é empregada exclusivamente para indicar a diferença entre o valor verdadeiro e o resultado de uma medição.
 - b. A incerteza é uma estimativa que quantifica a confiabilidade do resultado de uma medição.
 - c. Incerteza do tipo A é aquela obtida pela análise estatística de uma série de observações.
 - d. Incerteza do tipo B é a incerteza obtida por qualquer procedimento, exceto os do tipo A.
 - e. A incerteza do tipo A sempre pode ser interpretada como um desvio-padrão; a incerteza do tipo B nem sempre pode.
6. Atribua números de 1 a 4 às afirmações a seguir conforme elas forem correspondentes aos seguintes conceitos: (1) Erro; (2) Incerteza; (3) Incerteza do tipo A; (4) Incerteza do tipo B.
 - a. Estimativa que permite quantificar a confiabilidade do resultado de uma medição.
 - b. O resultado de uma medição é igual à média das observações e a incerteza é igual ao desvio padrão dessa média.
 - c. Igual à diferença entre o resultado da medição e o valor verdadeiro.
 - d. Incerteza calculada a partir de um procedimento que não envolve observações repetidas.
 - e. Tem pouco uso instrumental. É preciso conhecer de antemão o valor verdadeiro do mensurando para calculá-lo exatamente.
 - f. Incerteza calculada a partir de um procedimento que envolve observações repetidas.
 - g. Pode ser obtida por meio de uma avaliação do tipo A ou do tipo B. Pode ser utilizada para construir intervalos de confiança.