

Exercício: Avaliação de incerteza na medição

Parte 1 – Avaliação Tipo A da incerteza.

Determinaremos a incerteza Tipo A de uma medição realizada com o mesmo tipo de equipamento, micrômetro.

Procedimento:

1. Acesse os dados no link a ser fornecido pelo professor. Com os dados obtidos, calcule a média e o desvio padrão. Para o cálculo do desvio padrão, usar a função direta na calculadora, planilha Excel, ou a fórmula a seguir, usando as colunas complementares da tabela:

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

Medição	Valor medido (mm), x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Média $\bar{x} =$		$\sum (x_i - \bar{x})^2 =$	

2. Anote o valor do Desvio Padrão: $s(x_i) =$ _____
3. O valor da incerteza Tipo A, $I_A = s(\bar{x})$, será dado pela equação abaixo. Calcule seu valor:

$$I_A = s(\bar{x}) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}}$$

Parte 2 – Avaliação Tipo B da incerteza.

Em muitos casos a avaliação Tipo A da incerteza não é suficiente. Assim, o Guia fornece as orientações para a avaliação Tipo B. Essa avaliação é bastante abrangente e pode envolver muitos fatores, que incluem, por exemplo:

- Dados de medições prévias
- Comportamento e propriedades dos materiais
- Especificações dos fabricantes dos instrumentos de medição
- Incertezas extraídas de manuais e normas

Por isso, nas situações reais, é importante verificar a regulamentação ou as exigências do projeto, e consultar o Guia para detalhes no procedimento.

Nesse experimento, assumiremos algumas premissas e dados, e utilizamos as incertezas padrão, a saber:

- $I_A \Rightarrow$ Incerteza Tipo A
- $I_C \Rightarrow$ Incerteza de calibração
- $I_C \Rightarrow$ Incerteza de resolução
- $I_T \Rightarrow$ Incerteza devido à variação de temperatura

Procedimento

1. Incerteza Tipo A. Anote o valor calculado anteriormente:

$$I_A = \underline{\hspace{2cm}} mm$$

2. Incerteza na calibração I_C . Esse valor é calculado com os dados fornecidos no certificado de calibração do instrumento. Sua fórmula é:

$$I_C = \frac{U_{95\%}}{k}$$

Suponha que o certificado informe $U_{95\%}=0,0022$ mm e $k=1,9$ (nível de confiança de 95% e grau de liberdade estimado). Calcule a incerteza I_C na calibração:

3. Incerteza da resolução de leitura I_R . Seu valor é calculado pela equação:

$$I_R = \frac{res}{\sqrt{12}}$$

No nosso exemplo, a resolução do micrômetro é de $res = 0,01 \text{ mm}$. Calcule a incerteza na resolução I_R :

4. Incerteza devido à temperatura I_T . É dada pela equação:

$$I_T = \Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Onde L é a dimensão sendo controlada, α é o coeficiente de dilatação do material ($\alpha_{aço} = 11,5 \mu\text{m}/\text{mK}$) e ΔT a diferença entre a temperatura ambiente na medição e a temperatura de aferição do micrômetro, que consta no certificado (considerar 20°C). Considere que a sala esteja a 28°C . Calcule a incerteza devido à temperatura:

5. Para o cálculo da incerteza combinada u_c , realizamos a soma quadrática dos valores obtidos:

$$u_c = \sqrt{I_A^2 + I_C^2 + I_R^2 + I_T^2}$$

Calcule o valor da incerteza combinada para nosso experimento:

Experimento 3 – Incerteza expandida

A incerteza expandida U é calculada pela seguinte equação:

$$U = k \cdot u_c$$

Onde k é o fator de abrangência, calculado a seguir, assumindo uma confiabilidade de 95%, e adotando a distribuição probabilística *t-student*, já que o número de amostras é menor que 30. Para obter o valor de k , é necessário o valor do número de graus de liberdade efetivo ν_{ef} .

Procedimento

1. Cálculo do número de graus de liberdade efetivo ν_{ef} . O número de graus de liberdade efetivo, necessário para o cálculo de k , é obtido por meio da equação:

$$\nu_{ef} = \frac{u_c^4}{\sum \frac{u_i^4}{\nu_i}}$$

Onde:

$\nu_{ef} \Rightarrow$ número de graus de liberdade efetivos (será usado no próximo passo)

$u_c \Rightarrow$ incerteza de medição combinada (calculada anteriormente)

$u_i \Rightarrow$ cada uma das demais fontes de incerteza (calculadas anteriormente)

$\nu_i \Rightarrow$ graus de liberdade respectiva a cada fonte de incerteza. Os graus de liberdade correspondem ao número de amostras menos um:

$$\nu_i = n - 1$$

Quando o número de medições (amostras) é desconhecido, considera-se $\nu_i = 0$, e, $I_R = 0$ e $I_T = 0$.

Preencha a seguinte tabela para o cálculo de ν_{ef} :

	u_i	u_i^4	ν_i	$\frac{u_i^4}{\nu_i}$
I_A				
I_C				
I_R				
I_T				
				$\sum \frac{u_i^4}{\nu_i} =$

Com os dados acima, calcule o valor de ν_{ef} usando a fórmula informada acima, arredondando para o número inteiro imediatamente superior, caso necessário:

$$\nu_{ef} = \frac{u_c^4}{\sum \frac{u_i^4}{\nu_i}}$$

2. Obtenção do valor do fator de abrangência k . Com o valor de ν_{ef} calculado acima, obtenha o valor de k na tabela ao lado (t -student, nível de confiança 95%):

O valor de k a ser usado é: _____

3. Com o valor acima, determine a incerteza expandida U :

$$U = k \cdot u_c$$

4. Expresse a medida média encontrada mais a incerteza expandida, no formato indicado:

$\bar{x} \pm U \Rightarrow$ _____

ν_{ef}	K_{95}	ν_{ef}	K_{95}
1	12,71	17	2,11
2	4,30	18	2,10
3	3,18	19	2,09
4	2,78	20	2,09
5	2,57	21	2,08
6	2,45	22	2,07
7	2,36	23	2,07
8	2,31	24	2,06
9	2,26	25	2,06
10	2,23	26	2,06
11	2,20	27	2,05
12	2,18	28	2,05
13	2,16	29	2,05
14	2,14	30	2,04
15	2,13	Infinito	2,00

Bibliografia

SILVA Neto, J. C. **Metrologia e controle dimensional**: conceitos, normas e aplicações. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012

INMETRO. **Avaliação de dados de medição**: Guia para a expressão de incerteza de medição – GUM 2008. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012