

## ESTIMATIVA DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO. UMA ABORDAGEM PRÁTICA!

### ABNT NBR ISO/IEC: 17025

A incerteza de medição é a expressão qualitativa da confiança do resultado da medição a que se refere, ou seja, é a declaração da qualidade do resultado de uma medição.

**A NBR ISO/IEC: 17025** tem como uma das suas diretrizes garantir a confiabilidade dos resultados de medição, para tanto, um dos seus requisitos estabelece a necessidade de expressão da incerteza do resultado e que isto seja feito de forma padronizada.

A estimativa da incerteza de medição depende de fatores como:

- os requisitos do método de ensaio;
- os requisitos do cliente;
- a existência de limites estreitos nos quais são baseadas as decisões sobre a conformidade a uma especificação.

Quando for estimada a incerteza de medição, todos os componentes de incerteza que são importantes para uma determinada situação devem ser considerados usando-se métodos apropriados.

As fontes que contribuem para a incerteza incluem, mas não são necessariamente limitadas aos padrões de referência e materiais de referência utilizados, métodos e equipamentos usados, condições ambientais, propriedades e condição do item ensaiado ou calibrado e o operador.

#### **Apresentação de resultados**

Os relatórios de ensaio devem, onde necessário para a interpretação dos resultados de ensaio, incluir:

- **Declaração da incerteza estimada da medição**, quando relevante para a validade ou aplicação dos resultados ou quando a incerteza afetar a conformidade a um limite de especificação;
- **Incerteza de medição** ou declaração de conformidade a uma especificação metrológica identificada.

Desta forma, cumprindo os passos seguintes pode-se operacionalizar o processo da estimativa de medição.

### ESPECIFICAR O MENSURANDO:

- Declarar o que está sendo medido, passando por todas as fases intermediárias do processo analítico;
- Mostrar a equação ou equações sucessivas;
- Identificar as unidades utilizadas nestas equações.

### IDENTIFICAR AS FONTES DE INCERTEZA:

- Elaborar simultaneamente o diagrama de Ishikawa e a lista extensa de fontes de incerteza<sup>(1)</sup>, sem se preocupar, por enquanto, com a sua quantificação;
- O diagrama de Ishikawa<sup>(2)</sup> inicia-se com os termos da equação, quando existe, e/ou com os componentes mais importantes de incerteza (dados de validação e/ou dados principais de equipamentos), montando assim as ramificações principais.

(1) Fontes típicas de incerteza:

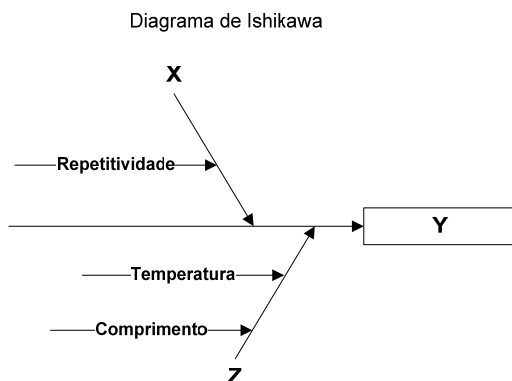
- Amostragem
- Incertezas das massas e materiais volumétricos
- Incertezas devidas às condições ambientais
- Pureza dos reagentes

Desvio na leitura de instrumentos

(2) Diagrama de Ishikawa:

- Lista das fontes de incerteza, registrando considerações e hipóteses;
- Para cada ramificação, acrescentar fatores contributivos até os efeitos se tornarem desprezíveis.

Evoluir em direção às extremidades das ramificações a partir dos efeitos principais.



## QUANTIFICAR OS COMPONENTES DA INCERTEZA:

- Classificar as fontes de incerteza como tipo “A ou tipo B”<sup>(3)</sup> e calcular / estimar cada uma delas;
- Estabelecer simultaneamente a “Planilha de Componentes de Incerteza”<sup>(4)</sup>;
- O registro dos cálculos para cada componente, com respectivas considerações e hipóteses.

(3) Os componentes da incerteza de medição são classificados como “A” ou “B” em função do tipo de avaliação, mas todos estes componentes são modelados pelo tipo de distribuição de probabilidade e quantificados pela variância ou pelo desvio padrão.

### Incerteza Tipo A:

- Cálculo do desvio padrão para uma série de observações independentes (Realizar “7” ou mais replicatas em condições de repetitividade e calcular a média e o desvio padrão experimental);
- Utilização do método dos mínimos quadrados para ajustar uma curva de dados, a fim de estimar parâmetros da curva e seu desvio padrão;
- Identificar e quantificar efeitos aleatórios em certos tipos de medições, quando efetuando análise de variância;
- Expressão Geral da Incerteza de Medição Tipo A:

$$u(x_p) = \frac{s(x_p)}{\sqrt{n}}$$

### Incerteza Tipo B:

- Dados de medições anteriores;
- Experiência ou conhecimento geral do comportamento dos instrumentos;
- Especificações do fabricante;
- Dados provenientes de calibrações ou outros certificados;
- Incertezas atribuídas a dados de referência da literatura;
- Procedimentos Operacionais;
- Efeitos das Condições Ambientais;
- Expressão Geral da Incerteza de Medição Tipo B:

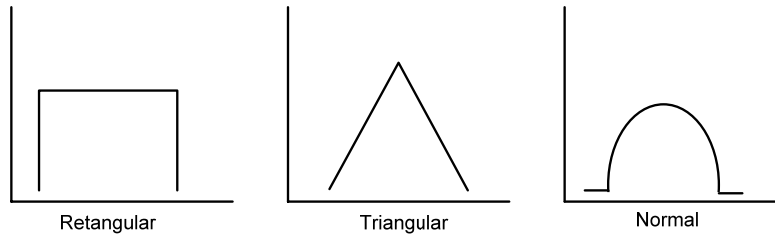
$$U = k \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2}$$

↳ Incerteza Padrão Combinada

↳ Incerteza Padrão Expandida

## Distribuição de Probabilidades dos Componentes de Incerteza

Indica a probabilidade da forma como um componente de medição está distribuído e depende da natureza do componente.



### (a) Distribuição Retangular:

- A Distribuição Retangular aplica-se:
  - Quando não se tem informação sobre a natureza do componente;
  - Para leitura de equipamentos digitais;
  - Para variações de volume devido à diferença de temperatura;
  - Para exatidão declarada dos equipamentos;
  - Vidraria não classe A.
- É feita uma estimativa sob a forma de uma faixa máxima ( $\pm a$ ):

$$u(x) = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

### (b) Distribuição Triangular:

- A Distribuição Triangular aplica-se:
  - Para vidrarias, equipamentos e instrumentos calibrados;
  - Para leitura em equipamentos analógicos.
- Valores próximos de  $\bar{x}$  são mais prováveis do que próximos dos limites;
- É feita uma estimativa sob a forma de uma faixa máxima ( $\pm a$ ) descrita por uma distribuição simétrica:

$$u(x) = \frac{a}{\sqrt{6}}$$

### (c) Distribuição Normal:

- A Distribuição Normal aplica-se:
  - Quando está declarada no certificado de calibração.

- A incerteza vem acompanhada de um intervalo de confiança, assim temos o fator para transformar a incerteza combinada e expandida ( $x \pm c$ ) para 95% confiança ou outro percentual:

$$u(x_p) = \frac{c}{2}$$

(para “c” aproximadamente a 95% confiança: 95,45%)

- $u(x_i)$ : incerteza padrão combinada
- $U(x)$ : incerteza expandida;
- k: fator de abrangência

(4) Planilha de Componentes de Incerteza (RQ-POP-054-XXX-01)

Grandeza	Valor da Incerteza	Unidade	Distribuição	Divisor	Graus de Liberdade	Coef. de Sensibilidade	Incerteza Padrão	Incerteza

Este RQ é mantido em planilha eletrônica.

**CALCULAR A INCERTEZA COMBINADA  $u_c(x_i)$**

Depois de determinar a incerteza associada a cada um dos elementos que compõem a análise, para termos o valor final, será necessário realizar a combinação de cada uma destas incertezas;

Esta combinação é realizada utilizando-se a “Teoria de Propagação das Incertezas” <sup>(5)</sup>.

(5) Propagação das Incertezas

Com ou sem equação disponível, há 3 maneiras básicas de calcular a incerteza:

- Método por combinação de incertezas absolutas e relativas;
- Método por cálculo de derivadas;
- Método por simulação.

A seguir temos as “Regras de combinação de Incertezas”, metodologia adotada:

**- Soma e Subtração**

$$y = a + b + c + \dots + n$$

$$u_c(y) = \sqrt{u_a^2 + u_b^2 + \dots + u_n^2}$$

Ou seja, uma soma quadrática de desvios-padrão absolutos.

**- Produto e Quociente**

$$y = abc$$

$$y = \frac{a}{bc}$$

$$u_c(y) = \sqrt{\left(\frac{u_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{u_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{u_c}{c}\right)^2}$$

Ou seja, uma soma quadrática de desvios-padrão relativos.

– **Expoente**  $y = a^n$

$$u(y) = n \frac{u(a)}{a}$$

$a$  = valor medido

$n$  = constante

– **“Dica” importante**

É mais conveniente decompor o modelo matemático original em expressões, consistindo unicamente de operações cobertas por uma das regras anteriores.

$$y = \frac{x_1 + x_2}{x_3 + x_4} \Rightarrow y = \frac{a}{b}$$

$$u_a = \sqrt{u_{x_1}^2 + u_{x_2}^2}$$

$$u_b = \sqrt{u_{x_3}^2 + u_{x_4}^2}$$

$$u(y) = \sqrt{\left(\frac{u_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{u_b}{b}\right)^2}$$

**CALCULAR A INCERTEZA EXPANDIDA  $U(x_i)$ :**

$$U = k u_c(x_i)$$

Onde  $k$  = fator de abrangência

A incerteza expandida fornece um intervalo que abrange uma grande fração da distribuição de valores que podem razoavelmente ser atribuídos ao mensurando.

Ao adotar o nível de confiança de 95,45 % (~95 %), “ $k$ ” será igual a “2” para quase todos os fins (vide tabela “t Student”).

Porém, quando o número de “graus de liberdade” <sup>(6)</sup> for pequeno, este valor de “ $k$ ” deverá ser calculado, devido ao valor “ $k = 2$ ”, nestes casos, ser insuficiente.

Isto acontece na prática quando a contribuição dos componentes de tipo “A” é significativa em relação à incerteza combinada.

(6) Graus de Liberdade Efetivo –  $v_{ef}$

$$v_{ef} = \frac{(u_c)^4}{\sum_{i=1}^n \frac{(u_i)^4}{v_i}} \rightarrow \text{Equação de Welch - Satterthwaite}$$

Onde

- $v_{ef}$  = número de graus de liberdade efetivo
- $v_i$  = número de graus de liberdade associado a cada incerteza
- Incerteza Tipo A:  $v = (n - 1)$ , onde “ $n$ ” é o número de medições

Incerteza Tipo B:  $v \rightarrow \infty$

### **ANALISAR AS CONTRIBUIÇÕES DAS INCERTEZAS:**

Construir o gráfico de incertezas e analisar o “peso” da contribuição relativa de cada uma das incertezas na incerteza total.

### **APRESENTAR O RESULTADO:**

A incerteza expandida de medição declarada é baseada em uma incerteza padrão multiplicada pelo fator de abrangência “ $k=2$ ”, com nível de confiança de aproximadamente de 95 %.

Incertezas são normalmente expressas em termos bilaterais ( $\pm$ ), na mesma unidade do mensurando.

Recomenda-se que o valor numérico da incerteza de medição seja fornecido com no máximo dois algarismos significativos.

O valor numérico do resultado da medição, na declaração final, deve ser arredondado para o último algarismo significativo do valor da incerteza expandida, atribuída ao resultado da medição.

$$R = q \pm U$$

Engº Fábio Souza  
Consultor Associado  
Luis Borges Assessoria em Gestão Ltda  
comercial@techman.com.br