

# Uncertainty of Measurement ISO GUM

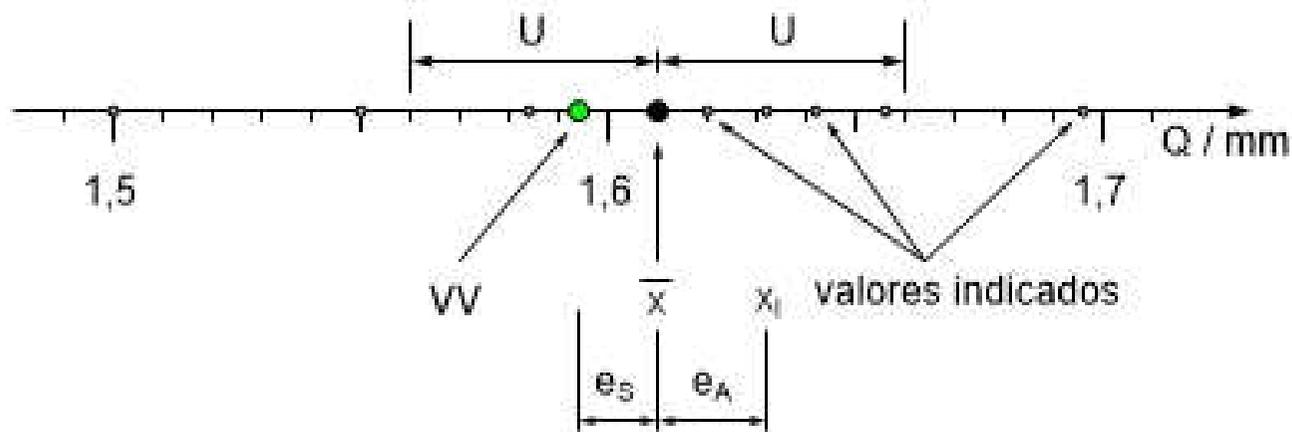
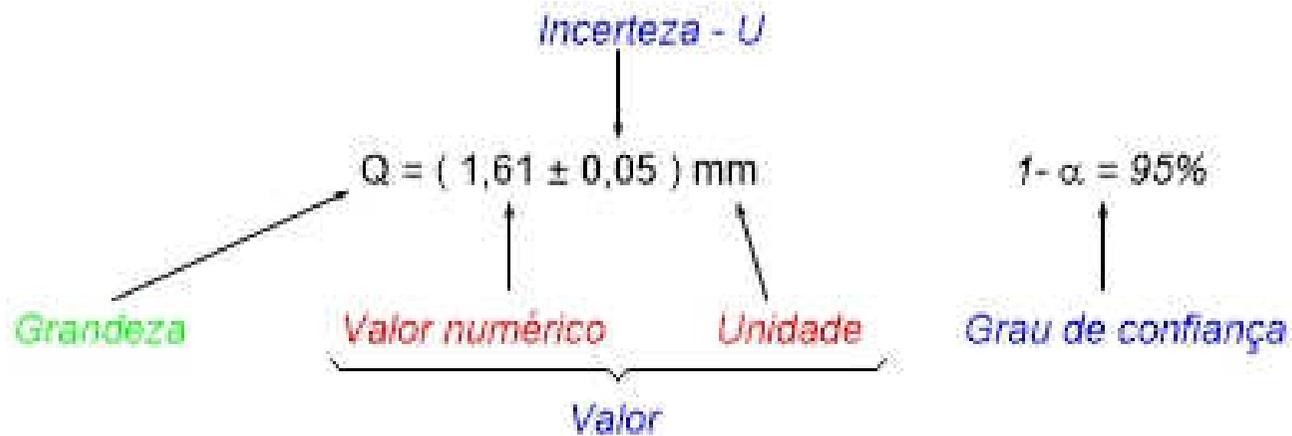
PME4363 ENGENHARIA DA QUALIDADE

*Prof. Walter Ponge-Ferreira*

# Bibliografia

- **DAMASCENO, JAILTON C.** *Incerteza de medição, Divisão de Metrologia de Materiais, Inmetro, 2010 (Apostila de curso)*
- **INMETRO** *Vocabulário Internacional de Metrologia – VIM 2012 Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados, Inmetro, 1º ed. Luso-Brasileira, 2012.*
- **ABNT ISO/IEC Guia 98-3** *Incerteza de medição – Parte 3: Guia para a expressão de incerteza de medição (GUM:1995), ABNT, 2014.*
- **LINK, WALTER.** *Metrologia Mecânica Expressão da Incerteza de Medição. Ed. Mitutoyo. 1999*
- **COLEMAN, HUGH W. & STEELE, W. GLENN.** *Experimentation and Uncertainty Analysis for Engineers. John Wiley & Sons, USA, 1989*
- **ISO 5725** *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. ISO, 1998.*

# Elementos de uma Medida



# Terminologia

# Terminologia

## ***Segundo a ISO Guia 99:2007***

### ***VIM (Vocabulário Internacional de Metrologia)***

- ***Mensurando***

***Grandeza a ser submetida à medição.***

- ***Incerteza de medição***

***Parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando. Representa a dúvida que existe acerca do resultado de medição.***

# Terminologia

- **Calibração**

*Operação que, (...), estabelece uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões, e as indicações correspondentes com as incertezas associadas (...).*

- **Ajuste de um sistema de medição**

*Conjunto de operações efetuadas em um sistema de medição, de modo que ele forneça indicações prescritas correspondentes a determinados valores de uma grandeza a ser medida.*

# Terminologia

- **Regulagem**

*Ajuste de um sistema de medição de modo que o mesmo forneça uma indicação igual a zero correspondente a um valor igual a zero da grandeza a ser medida.*

# Terminologia

- **Veracidade (Trueness)**

*Grau de concordância entre a média de um número infinito de valores medidos repetidos e um valor de referência.*

- **Precisão (Precision)**

*Grau de concordância entre indicações ou valores medidos, obtidos por medições repetidas, no mesmo ou em objeto similares, sob condições especificadas.*

# Terminologia

- **Exatidão (Accuracy)**

*Grau de concordância entre um valor medido e um valor verdadeiro de um mensurando.*

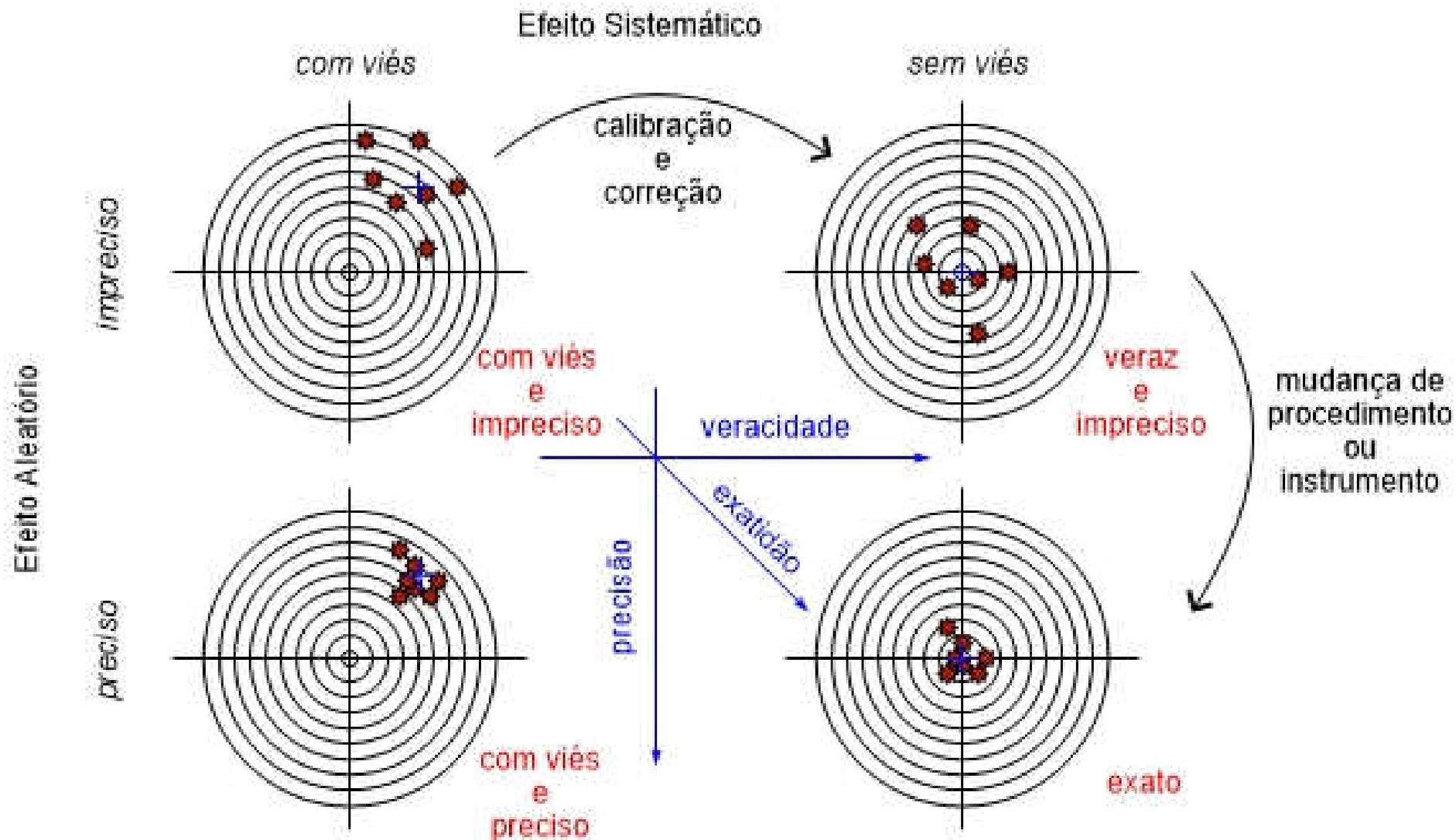
***Exatidão = Veracidade e Precisão***

*Accuracy = Trueness e Precision*

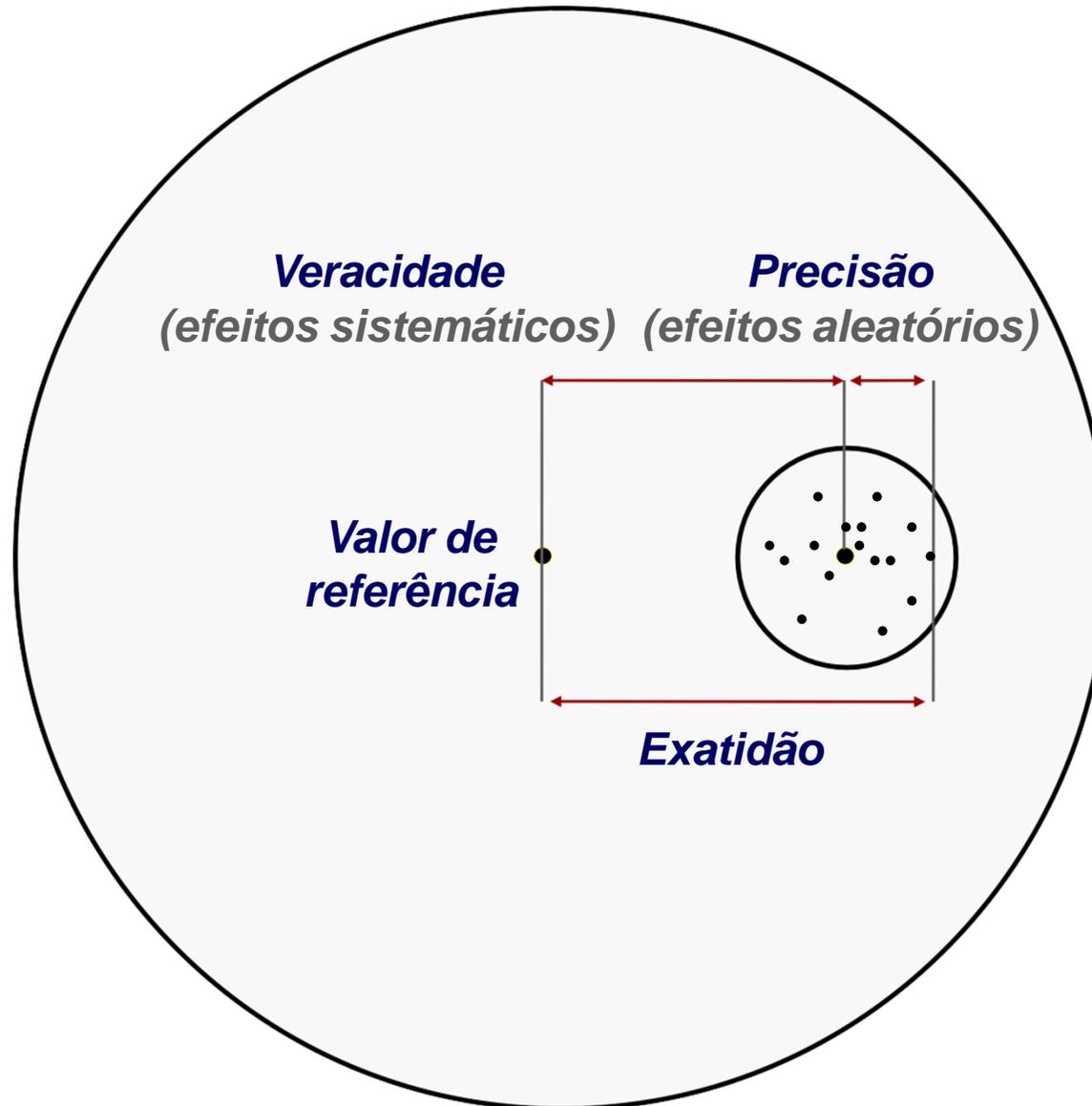
- **Erro**

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

# Tipos de Incerteza de Medição



# Interpretação de uma medição



# Erros

- **Erros Sistemáticos**

- *Associados a instrumentos, técnicas de medida e ao experimentador.*
- *Ocorrem sempre na **mesma direção** e com **mesma magnitude** em cada repetição.*
- *Têm influência sobre a **veracidade**.*

- **Erros Aleatórios**

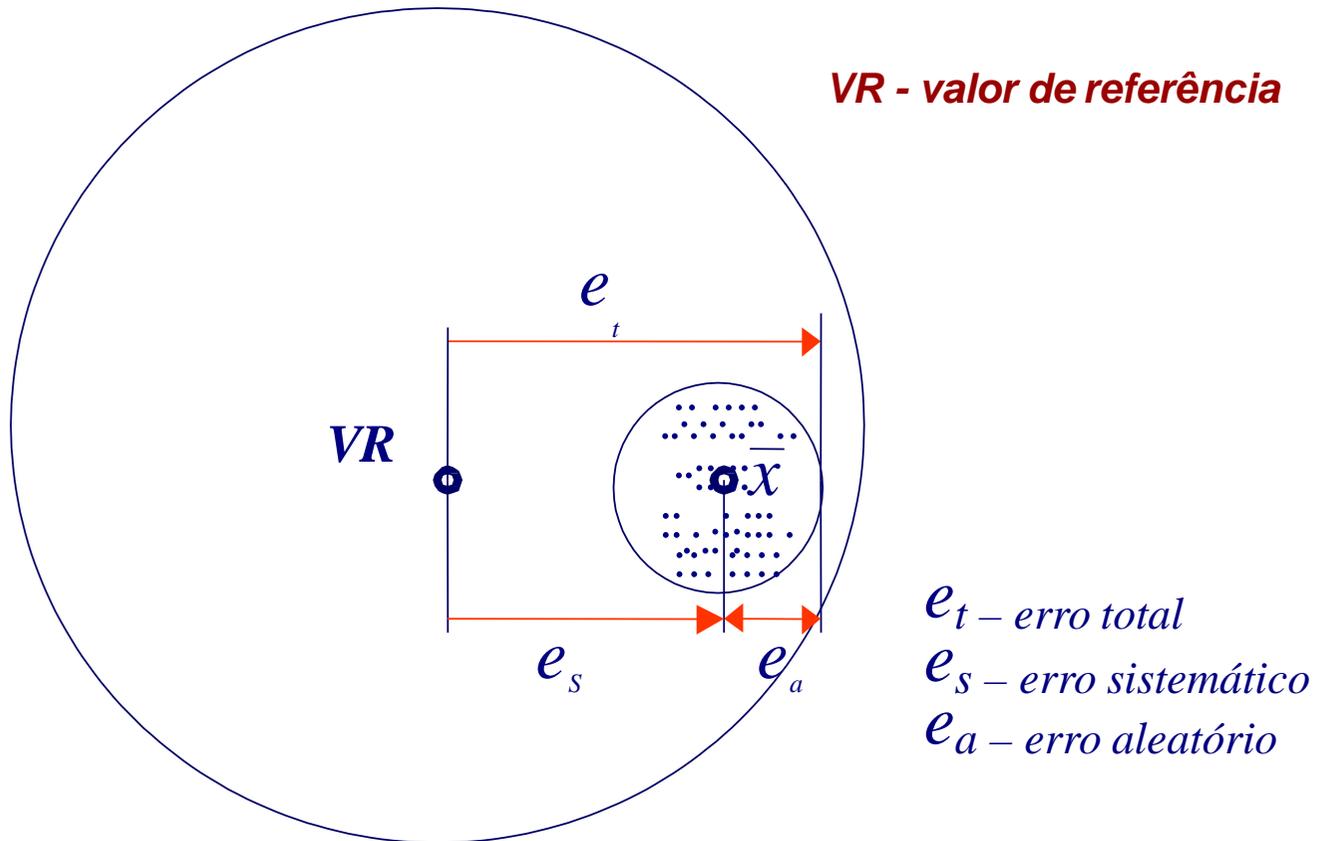
- *Causados por um grande número de **variações imprevisíveis** e desconhecidas durante o experimento.*
- *São de **tamanho e direção imprevisíveis**.*
- *Podem ser analisados estatisticamente.*
- *Têm influência sobre a **precisão**.*

- **Erros Grosseiros**

- *Ocorrem ocasionalmente, levando a resultados que diferem marcadamente dos outros dados de uma série de medições com repetição.*

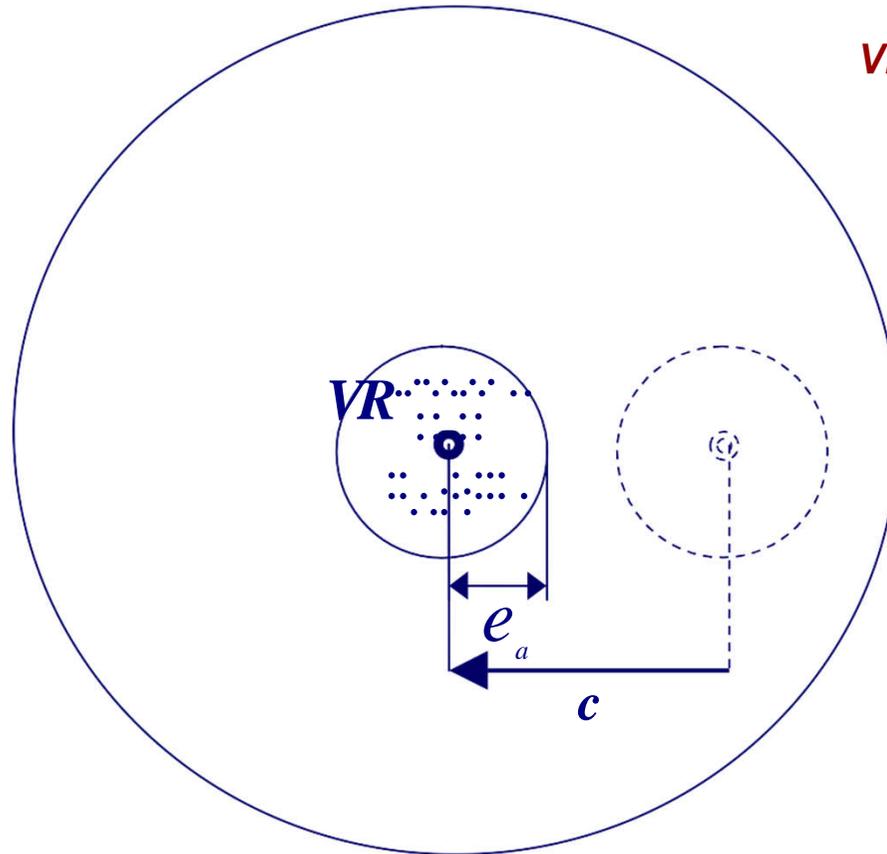
# Erros

- **Valor de medição não corrigido**



# Erros

- **Valor de medição corrigido**



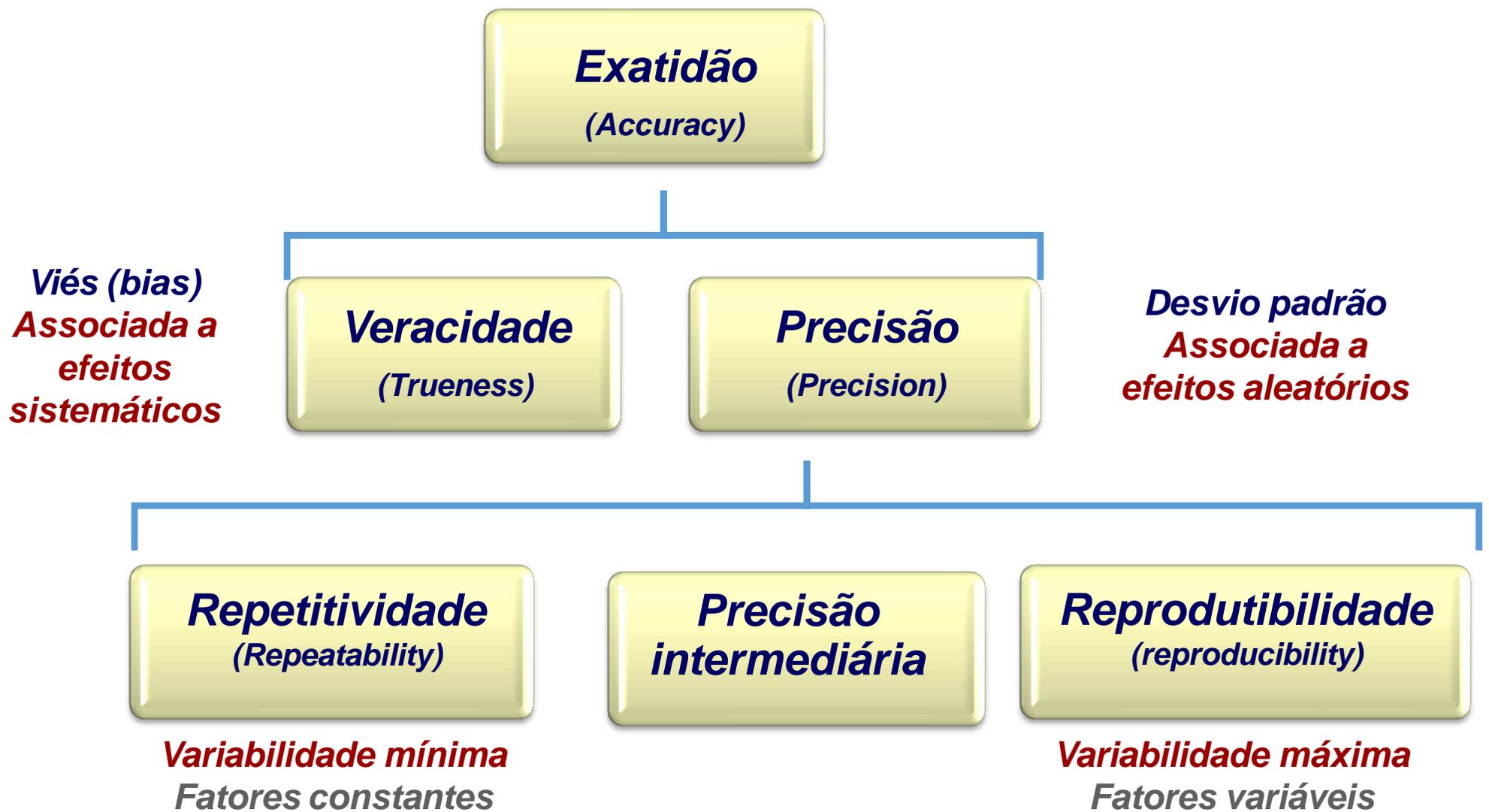
**VR - valor de referência**

$c$  = correção

$e_a$  = erro aleatório

# Terminologia





**Fatores:**

- a) operador
- b) equipamento
- c) calibração do equipamento
- d) condições ambientais
- e) intervalo entre medições

# VIM

- **incerteza (de medição)**

- parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando.
- uma medida do possível erro no valor estimado do mensurando, tal como proporcionado pelo resultado de uma medição;
- uma estimativa caracterizando a faixa de valores na qual o valor verdadeiro de um mensurando se encontra (VIM: 1984, definição 3.09).

# Termos Específicos

- **incerteza-padrão (*standard uncertainty*)** - incerteza do resultado de uma medição expressa como um desvio-padrão
- **avaliação do Tipo A (de incerteza)** - método de avaliação de incerteza pela análise estatística de séries de observações
- **avaliação do Tipo B (de incerteza)** - método de avaliação de incerteza por outros meios que não a análise estatística de séries de observações
- **incerteza-padrão combinada (*combined standard uncertainty*)** - incerteza-padrão do resultado de uma medição, quando esse resultado é obtido por meio dos valores de várias outras grandezas, sendo igual à raiz quadrada positiva de uma soma de termos, que constituem as variâncias ou covariâncias destas outras grandezas, ponderadas de acordo com o quanto o resultado da medição varia com mudanças nestas grandezas
- **incerteza expandida (*expanded uncertainty*)** - quantidade que define um intervalo em torno do resultado de uma medição com o qual se espera abranger uma grande fração da distribuição dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando
- **fator de abrangência (*coverage factor*)** - fator numérico utilizado como um multiplicador da incerteza-padrão combinada de modo a obter uma incerteza expandida

- **valor verdadeiro duma grandeza**

- valor verdadeiro
- *true quantity value ; true value of a quantity ; true value*
- *valeur vraie ; valeur vraie d'une grandeur*
- *valor verdadero de una magnitud ; valor verdadero*

- **Valor duma grandeza compatível com a definição da grandeza.**

- NOTA 1 Na Abordagem de Erro para descrever as **medições**, o valor verdadeiro duma grandeza é considerado único e, na prática, impossível de ser conhecido. A Abordagem de Incerteza consiste no reconhecimento de que, devido à quantidade intrinsecamente incompleta de detalhes na definição duma grandeza, não existe um valor verdadeiro único, mas sim um conjunto de valores verdadeiros consistentes com a definição. Entretanto, este conjunto de valores é, em princípio e na prática, impossível de ser conhecido. Outras abordagens evitam completamente o conceito de valor verdadeiro duma grandeza e avaliam a validade dos **resultados de medição** com auxílio do conceito de **compatibilidade metrológica**.
- NOTA 2 No caso particular duma constante fundamental, considera-se que a grandeza tenha um valor verdadeiro único.
- NOTA 3 Quando a **incerteza definicional**, associada ao **mensurando**, é considerada desprezável em comparação com as outras componentes da **incerteza de medição**, pode-se considerar que o mensurando possui um valor verdadeiro “essencialmente único”. Esta é a abordagem adotada pelo GUM e documentos associados, onde a palavra “verdadeiro” é considerada redundante.

- **2.13 (3.5)**
- **exatidão de medição**
  - exatidão
  - *measurement accuracy ; accuracy of measurement ; accuracy*
  - *exactitude de mesure ; exactitude*
  - *exactitud de medida ; exactitud*
- Grau de concordância entre um **valor medido** e um **valor verdadeiro** dum **mensurando**.
  - NOTA 1 A “exatidão de medição” não é uma **grandeza** e não lhe é atribuído um **valor numérico**. Uma **medição** é dita mais exata quando fornece um **erro de medição** menor.
  - NOTA 2 O termo “exatidão de medição” não deve ser utilizado no lugar de **veracidade de medição**, assim como o termo “precisão de medição” não deve ser utilizado para expressar exatidão de medição, o qual, contudo, está relacionado a ambos os conceitos.
  - NOTA 3 A “exatidão de medição” é algumas vezes entendida como o grau de concordância entre valores medidos que são atribuídos ao mensurando.

## 2.14

### veracidade de medição ; justeza de medição<sup>15</sup>

- veracidade ; justeza
- *measurement trueness ; trueness of measurement ; trueness*
- *justesse de mesure ; justesse*
- *veracidad de medida ; veracidad*

Grau de concordância entre a média dum número infinito de **valores medidos** repetidos e um **valor de referência**.

- NOTA 1 A veracidade de medição não é uma **grandeza** e, portanto, não pode ser expressa
- numericamente. Porém, a norma ISO 5725 apresenta características para o grau de concordância.
- NOTA 2 A veracidade de medição está inversamente relacionada ao **erro sistemático**, porém não está relacionada ao **erro aleatório**.
- NOTA 3 Não se deve utilizar o termo “exatidão de medição” no lugar de “veracidade de medição”.

<sup>15</sup>Nota dos tradutores: uso em Portugal “justeza de medição”, no Brasil veracidade de medição”.

## 2.15

### precisão de medição ; fidelidade ou precisão de medição<sup>16</sup>

- precisão ; fidelidade ou precisão
- *measurement precision ; precision*
- *fidélité de mesure ; fidélité*
- *precisión de medida ; precisión*

Grau de concordância entre **indicações** ou **valores medidos**, obtidos por **medições** repetidas, no mesmo objeto ou em objetos similares, sob condições especificadas.

- NOTA 1 A precisão de medição é geralmente expressa numericamente por características como o desvio-padrão, a variância ou o coeficiente de variação, sob condições especificadas de medição.
- NOTA 2 As “condições especificadas” podem ser, por exemplo, **condições de**
- **repetibilidade, condições de precisão intermediária ou condições de reprodutibilidade** (ver ISO 5725–1:1994).
- NOTA 3 A precisão de medição é utilizada para definir a **repetibilidade de medição**, a **precisão intermediária de medição** e a **reprodutibilidade de medição**.
- NOTA 4 O termo “precisão de medição” é algumas vezes utilizado, erroneamente, para designar a **exatidão de medição**.

## 2.39 (6.11)

**calibração**

***calibration***

***étalonnage***

***Calibración***

Operação que estabelece, sob condições especificadas, numa primeira etapa, uma relação entre os **valores** e as **incertezas de medição** fornecidos por **padrões** e as **indicações** correspondentes com as incertezas associadas; numa segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção dum **resultado de medição** a partir duma indicação.

- NOTA 1 Uma calibração pode ser expressa por meio duma declaração, uma função de calibração, um **diagrama de calibração**, uma **curva de calibração** ou uma tabela de calibração. Em alguns casos, pode consistir duma **correção** aditiva ou multiplicativa da indicação com uma incerteza de medição associada.
- NOTA 2 Convém não confundir a calibração com o **ajuste dum sistema de medição**,
- frequentemente denominado de maneira imprópria de “auto-calibração”, nem com a **verificação** da calibração.
- NOTA 3 Frequentemente, apenas a primeira etapa na definição acima é entendida como sendo calibração.

### 3.11 (4.30)

#### ajuste dum sistema de medição

ajuste

*adjustment of a measuring system ; adjustment*

*ajustage d'un système de mesure ; ajustage*

*ajuste de un sistema de medida ; ajuste*

Conjunto de operações efetuadas num **sistema de medição**, de modo que ele forneça **indicações** prescritas correspondentes a determinados **valores** dum **grandeza** a ser medida.

- NOTA 1 Diversos tipos de ajuste dum sistema de medição incluem o **ajuste de zero**, o ajuste de defasagem<sup>27</sup> (às vezes chamado ajuste de “offset”) e o ajuste de amplitude (às vezes chamada ajuste de ganho).
- NOTA 2 O ajuste dum sistema de medição não deve ser confundido com **calibração**, a qual é um pré-requisito para o ajuste.
- NOTA 3 Após um ajuste dum sistema de medição, tal sistema geralmente deve ser
- recalibrado.

# Lei de propagação das incertezas

# Lei da propagação das incertezas

- *Modelo:*

$$Z = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$$

- *Dadas as incertezas das indicações diretas  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  encontrar a incerteza de saída da grandeza indireta  $Z$ .*

- 
- *Considerando o modelo para o caso de duas grandezas de entrada  $X$  e  $Y$ :*

$$Z = f(X, Y)$$

- *Sendo conhecidas as incertezas de entrada:  $U_x, U_y$*
- *Determinar a incerteza de saída:  $U_z$*

# Lei da propagação das incertezas

Expandindo o modelo  $f(x,y)$  em Série de Taylor em torno do ponto  $(x,y)$ :

$$f(x + \Delta x, y + \Delta y) = f(x, y) + \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{2!} \left[ \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} (\Delta)^2 + 2 \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \Delta x \Delta y + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} (\Delta y)^2 \right] + \frac{1}{3!} [\dots] + \dots$$

$\approx 0$

Desprezando as parcelas de ordem superior

Retendo somente os termos de primeira ordem obtemos a seguinte aproximação linear:

$$\underbrace{f(x + \Delta x, y + \Delta y) - f(x, y)}_{\Delta z = \Delta f(x, y)} = f(x, y) + \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y$$

# Lei da propagação das incertezas

- Dada uma série de medições de cada grandeza  $x$  e  $y$ :

$x$	$y$
$x_1$	$y_1$
$x_2$	$y_2$
...	...
$x_N$	$x_N$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

**Médias Amostras**

$$s_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2$$

**Variâncias Amostras**

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x}$$

$$\Delta y_i = y_i - \bar{y}$$

**Desvios absolutos em rel. às médias**

- Para cada medição, o desvio absoluto da grandeza  $Z$ :

$$\Delta z_i = \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x_i + \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y_i$$

# Lei da propagação das incertezas

- A variância de **Z** pode ser obtida por:

$$\sigma_z^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\Delta z_i)^2 \quad \text{mas} \quad \Delta z_i = \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x_i + \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y_i$$

$$\sigma_z^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x_i + \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y_i \right)^2$$

$$\sigma_z^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x_i \right)^2 + \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N 2 \left( \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x_i \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y_i \right) + \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y_i \right)^2$$

$$\sigma_z^2 = \underbrace{\left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2}_{\sigma_x^2} + \underbrace{\left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2}_{\sigma_y^2} + 2 \left( \frac{\partial f}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right) \underbrace{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\Delta x_i \Delta y_i)}_{\text{cov}(x, y)}$$

**covariância**

# Lei da propagação das incertezas

- Reescrevendo:

$$\sigma_z^2 = \left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 \sigma_x^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \sigma_y^2 + 2 \left( \frac{\partial f}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right) \text{cov}(x, y)$$

onde:

$$\sigma_x^2 = u_x^2$$

$$\sigma_y^2 = u_y^2$$

$$\text{cov}(x, y) = u_x \cdot u_y \cdot \overbrace{r(x, y)}^{\text{Coeficiente de correlação}}$$

- 
- Voltando ao caso geral:  $Z = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_N)$

$$u_z^2 = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u_{x_i}^2 + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \left( \frac{\partial f}{\partial x_j} \right) \text{cov}(x_i, x_j)$$

**Equação geral para a lei de propagação de incertezas**

# Lei da propagação das incertezas

- Quando as grandezas  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$

são independentes, o último termo desaparece:

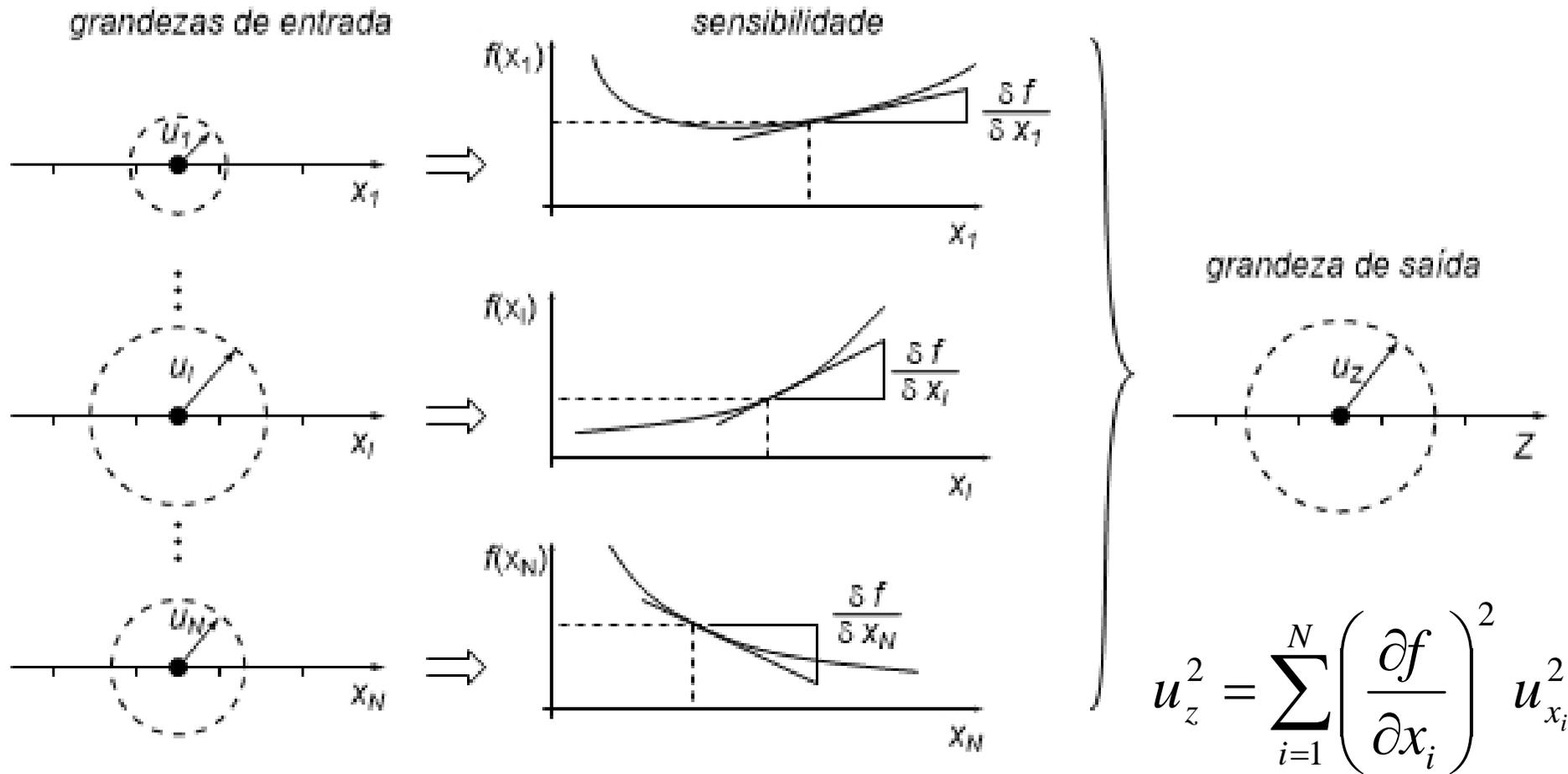
$$\sigma_{xy} = COV(x, y) = 0$$

$$u_z^2 = \sum_{i=1}^N \underbrace{\left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2}_{\text{Coeficiente de sensibilidade}} u_{x_i}^2$$

**Coeficiente de sensibilidade**



$$c_{x_i} = \frac{\partial f}{\partial x_i}$$

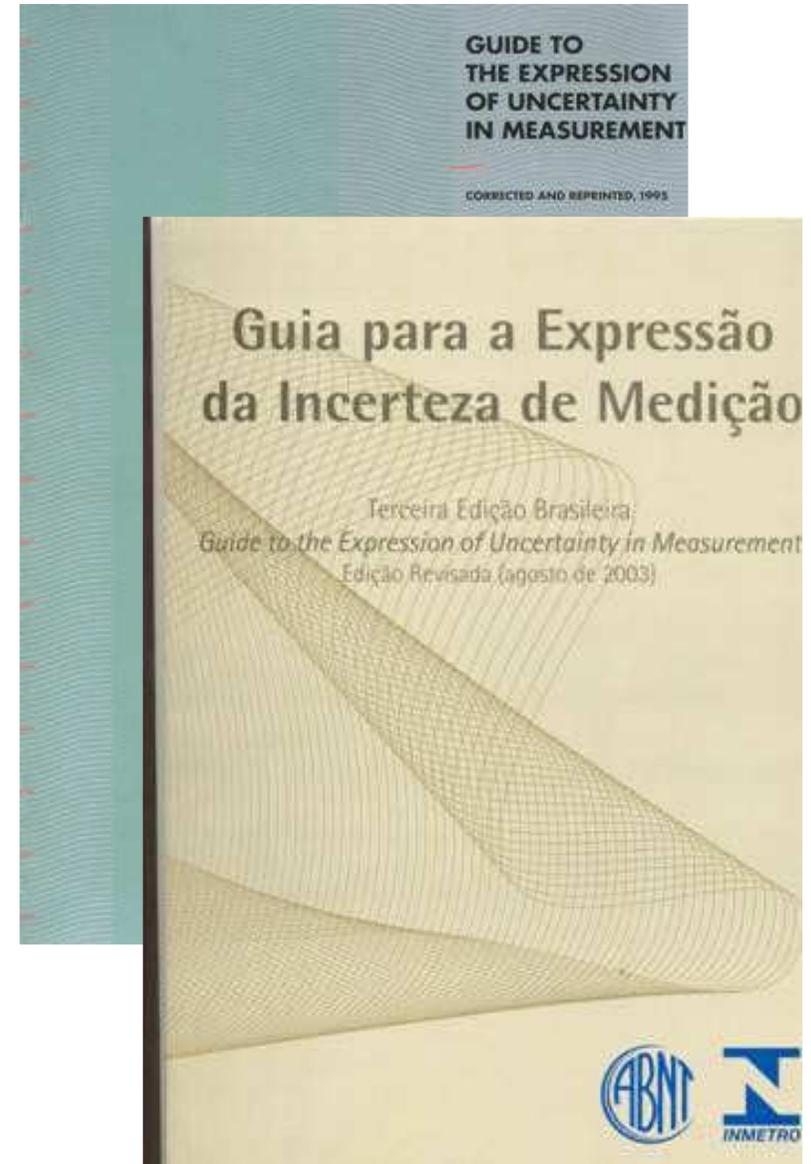


Incerteza Combinada

***Guia para Expressão da Incerteza de  
Medição  
(ISO-GUM)***

# ISO-GUM

- ***Guia internacional para harmonização da estimativa da incerteza de medição***
- ***Baseado na lei de propagação de incertezas (aproximações)***



# ISO GUM

Documento JCGM	Guia ISO/IEC
JCGM 100	ISO/IEC Guide 98-3:2008, <i>Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995)</i>
JCGM 101	ISO/IEC Guide 98-3:2008/Suppl. 1:2008, <i>Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995) – Supplement 1: Propagation of distributions using a Monte Carlo method</i>
JCGM 102	ISO/IEC Guide 98-3:2008/Suppl. 2 <i>Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) – Supplement 2: Models with any number of output quantities</i>
JCGM 103	ISO/IEC Guide 98-3:2008/Suppl. 3 <sup>a</sup> <i>Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) – Supplement 3: Modelling</i>
JCGM 104	ISO/IEC Guide 98-1:2009, <i>Uncertainty of measurement – Part 1: Introduction to the expression of uncertainty assessment</i>
JCGM 105	ISO/IEC Guide 98-2 <sup>a</sup> , <i>Uncertainty of measurement – Part 2: Concepts and basic principles</i>
JCGM 106	ISO/IEC Guide 98-4, <i>Uncertainty of measurement – Part 4: Role of measurement uncertainty in conformity assessment</i>
JCGM 107	ISO/IEC Guide 98-5 <sup>a</sup> <i>Uncertainty of measurement – Part 5: Applications of the least-square method</i>
JCGM 200	ISO/IEC Guide 99:2007, <i>International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)</i>

<sup>a</sup> Previstos

# Estimativa de incerteza de medição

- Definir o mensurando e o seu modelo
- Identificar as fontes de incerteza
- Construir o diagrama causa-efeito (Ishikawa ou espinha de peixe)
- Quantificar as fontes de incerteza
- Calcular os coeficientes de sensibilidade
- Calcular os componentes de incerteza
- Calcular a incerteza padrão combinada
- Calcular o número de graus de liberdade efetivos
- Calcular o coeficiente de abrangência
- Calcular a incerteza expandida
- Declarar o resultado final indicando o valor do coeficiente de abrangência e o nível de confiança (geralmente igual a 95%)

# Estimativa de incerteza de medição

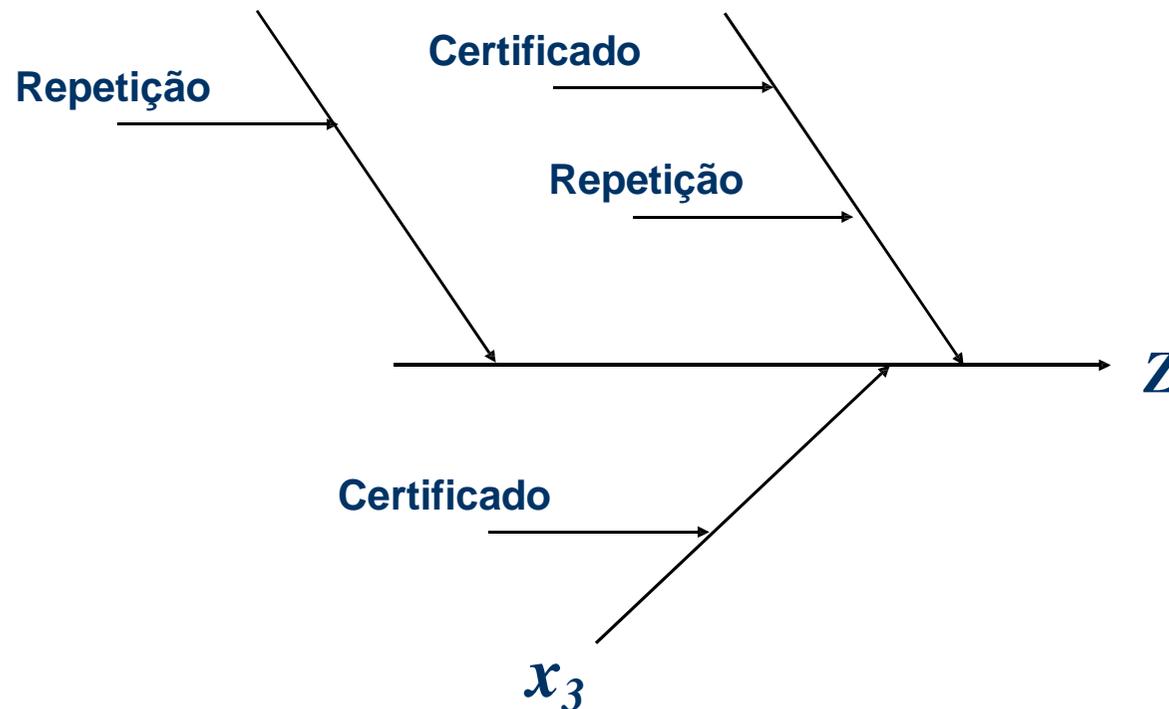
Definir o mensurando e o seu modelo

Identificar as fontes de incerteza

Construir o diagrama causa-efeito  
•  $x_1$     $x_2$

**Modelo**

$$Z = f(x_1, x_2, x_3)$$



# Estimativa de incerteza de medição

Quantificar as fontes de incerteza

## Avaliação de Incerteza Tipo A

- Proveniente de observações repetidas: análise estatística.

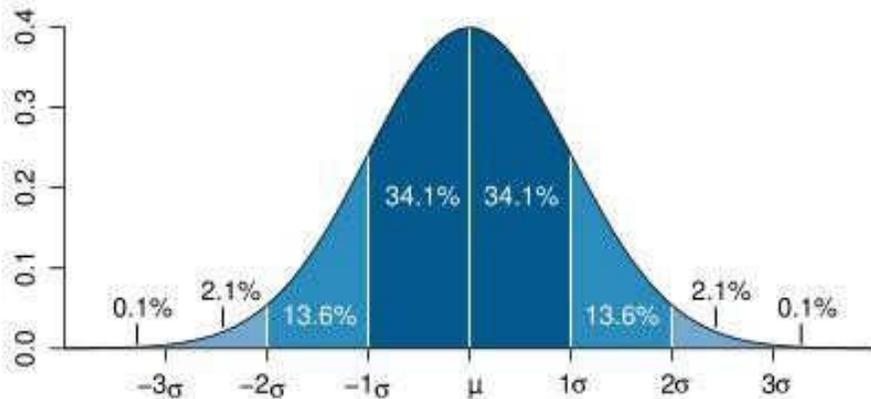
### Distribuição normal

$$u_x = \frac{S_x}{\sqrt{n}}$$

Desvio padrão da média

$S_x$  - desvio padrão

$n$  - número de repetições

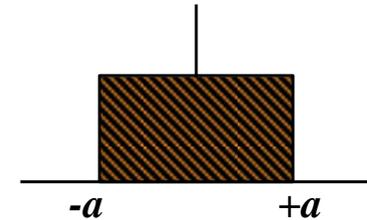


## Avaliação de Incerteza Tipo B

- Avaliada por julgamento científico, histórico de medições, certificados, manuais, etc.

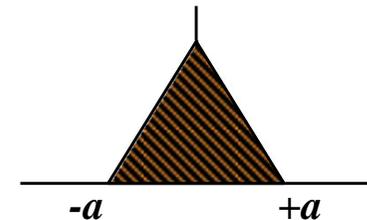
### Distribuição retangular ou uniforme

$$u_x = \frac{a}{\sqrt{3}}$$



### Distribuição triangular

$$u_x = \frac{a}{\sqrt{6}}$$



### Certificado

$$u_x = \frac{U}{k}$$

$U$  - incerteza expandida declarada

$a$  - valor estimado

$k$  - coeficiente de abrangência

# Estimativa de incerteza de medição

- **Princípio da máxima entropia no caso da incerteza tipo B**

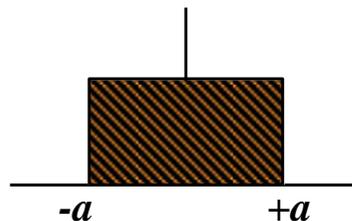
Deve-se considerar a **distribuição mais abrangente** para o nível de informação que se tem a respeito da fonte de entrada.

Ou seja, deve-se atribuir uma distribuição que não transmita mais informação do que aquela que é conhecida.

**Exemplo:**

Se a única informação conhecida for sobre os limites máximo e mínimo de uma variável, deve-se atribuir uma **distribuição uniforme**.

Variável  $x$  com valores  
entre  $-a$  e  $a$   
 $-a < x < a$



**Distribuição uniforme**  
com extremos em  $-a$  e  $a$

# Estimativa de incerteza de medição

Calcular os coeficientes de sensibilidade:

$$c_{x_i} = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad \text{para cada fonte de incerteza}$$

Calcular a incerteza padrão combinada:

$$u_z = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_{x_i}^2 u_{x_i}^2}$$

**Componentes de incerteza**

Corresponde apenas a 1 desvio padrão (1-sigma)  
ou 68% de todas as medidas

**Para uma maior confiabilidade é necessário um intervalo maior**

$$U_z = k u_z$$

# Estimativa de incerteza de medição

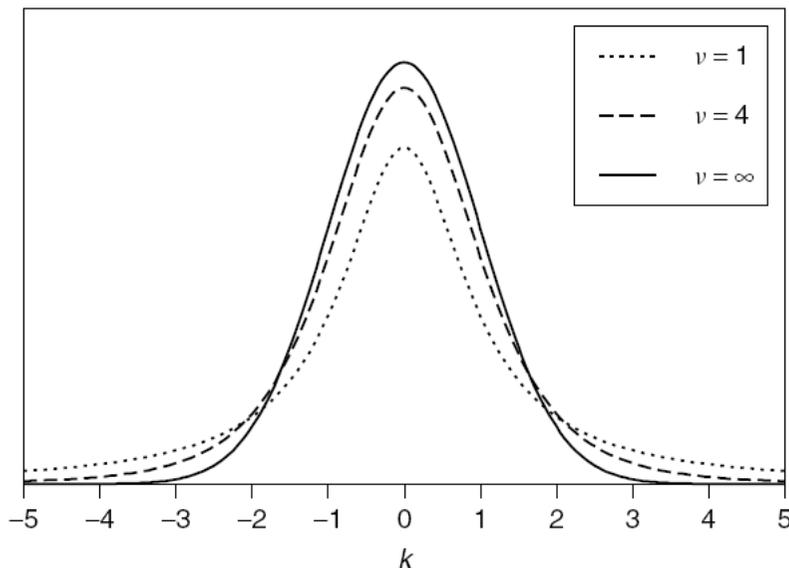
Calcular a incerteza expandida

$$U_z = k u_z$$

coeficiente de abrangência – geralmente entre 2 (~95%) e 3 (~99%)  
considerando uma **distribuição final normal**

## Distribuição t de Student

Aproximar a distribuição final do mensurando por uma distribuição t de Student



**Depende do número de medidas**

Quanto maior o tamanho da amostra,  
maior o número de graus de liberdade.



**Aproxima-se de uma distribuição normal.**

# Estimativa de incerteza de medição

Calcular o número de graus de liberdade efetivos:

$$v_{eff} = \frac{u_z^4}{\sum \frac{u_{x_i}^4}{v_{x_i}}}$$

**Equação de Welch-Satterwaite**

Calcular o coeficiente de abrangência

Usando a tabela de distribuição *t* de Student para um dado **número de graus de liberdade efetivos** e um **nível de confiança** estima-se o valor do **coeficiente de abrangência**.

$$v_{eff} \Rightarrow k$$

$$1 - \alpha \Rightarrow k$$

Student t Table						
Degrees of Freedom	Confidence Interval					
	80% <i>t</i> <sub>90</sub>	90% <i>t</i> <sub>95</sub>	95% <i>t</i> <sub>975</sub>	98% <i>t</i> <sub>99</sub>	99% <i>t</i> <sub>995</sub>	99.73% <i>t</i> <sub>9985</sub>
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	235.800
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	19.207
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	9.219
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	6.620
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.507
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.904
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.530
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.277
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.094
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.975
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.850
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.764
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.694
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.636
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.586
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.544
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.507
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.475
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.447
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.422
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.330
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.270
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.199
60	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.310

# Estimativa de incerteza de medição

Calcular a incerteza expandida

$$U_z = k u_z$$

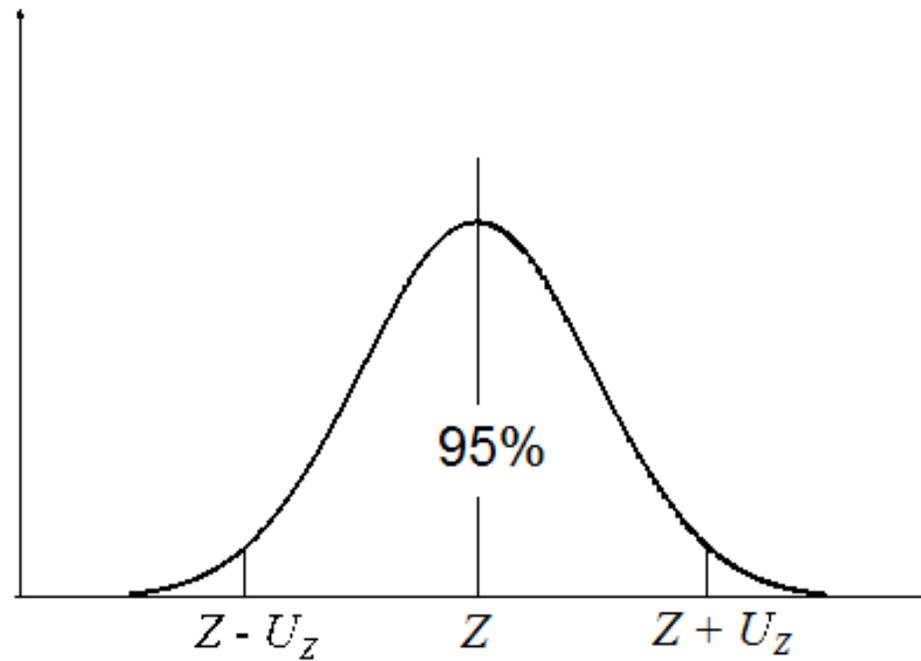
Declaração de incerteza de medição

- Declarar o **resultado final** indicando o valor do **coeficiente de abrangência** e o **nível de confiança** (geralmente igual a 95%)

**Resultado final:**

$$(Z \pm U_z)$$

para  $k = \dots$  e  $NC = \dots$

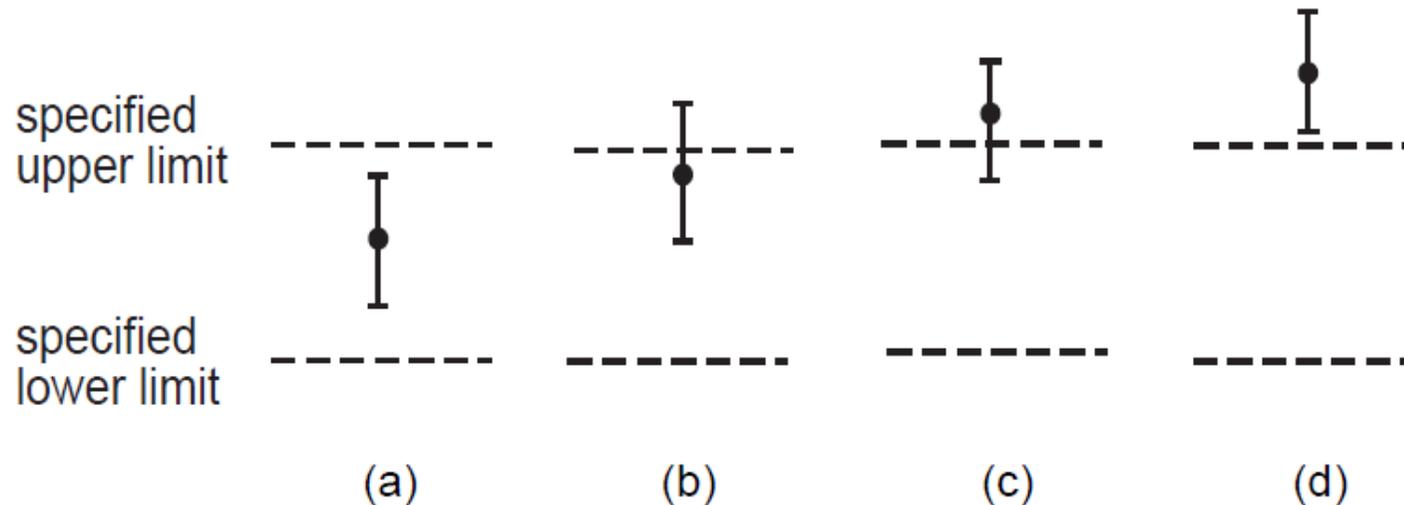


# Cálculo de Incerteza de Medição – ISO GUM

#	Medida	Fonte de Incerteza	Valor Medido	Unidade	Tipo de Incerteza	Distribuição de Probabilidade	Inceteza Padrão do Componente	Coefficiente de Sensibilidade	Contribuição para Incerteza	Número de Graus de Liberdade
i	(designação)	(descrição)	$x_i$	[ $x_i$ ]	(A B)	pdf	$U(x_i)$	$C_i$	$U_i(y)$	$n_i$
1										
2										
3										
4										
5										
								Unidade	Inceteza Combinada	Graus de Liberdade Efetivos
								[Y]	$U_c(y)$	$n_i$
									Inceteza Expandida	Coefficiente de Abrangência
									$U(y)$	k

# Avaliação de Conformidade

## **Atendendo uma especificação – avaliação da conformidade**



- **Caso (a)** – resultado e incerteza dentro dos limites – **conformidade atendida**
- **Caso (d)** – resultado e incerteza fora dos limites especificados – **conformidade não atendida**
- **Casos (b) e (c)** – nem completamente dentro, nem fora – não se pode ter certeza sobre a conformidade

**FIM**