	<b>REGRAS GERAIS E CONDIÇÕES PARA AVALIAÇÃO E ESTIMATIVA DA INCERTEZA EM MEDIÇÃO</b>	<b>PROCEDIMENTO N°</b>	
		<b>PI/TMET 2001</b>	
		<b>REVISÃO</b> 00	<b>PÁGINA</b> 1/16

## Sumário

- 1 Objetivo
- 2 Âmbito
- 3 Referências Normativas
- 4 Definições
- 5 Responsabilidades
- 6 Procedimento
- 7 Histórico das Revisões

## Anexos

- A – Componentes de incertezas específicas em área de Calibração.  
 B – Distribuições de probabilidade e seus divisores apropriados para o tipo de componente de incerteza.  
 C - Distribuição das Probabilidades de Abrangência.  
 D - Tabela do valor de k em função do  $v_{eff}$  calculado.

## 1 Objetivo

Estabelecer procedimentos e parâmetros para avaliação e expressão da incerteza de medição aplicável na calibração realizada pela Subdivisão de Meteorologia e expor essa incerteza em certificados de calibração emitidos pela TMET.

## 2 Âmbito

Subdivisão de Meteorologia (TMET).

## 3 Referências Normativas

- NBR ISO/IEC 17025 - Requisitos Gerais para a Capacitação de Laboratórios de Calibração e de Ensaios;
- MQTLAI – Manual da Qualidade da Subdivisão de Metrologia;
- VIM - Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia; e
- PI/TLAI 0001 – Elaboração de Procedimentos Internos e Formulários da Subdivisão de Metrologia (TLAI);
- NBR ISO 9000 – Sistemas de Gestão da Qualidade – Fundamentos e Vocabulário;
- Guia para expressão da incerteza de medição – (ISO GUM);
- NIT-DICLA – 021 – Expressão da incerteza de medição – INMETRO.

## 4 Definições

**4.1 Medição** - Conjunto de operações que tem por objetivo determinar o valor de uma grandeza.

<b>ELABORADO POR:</b>  ALBINO G. da Silva Neto IS BET Assessor da Qualidade	<b>REVISADO POR:</b>  Jorge Luiz COUTINHO G. Barros SO BMT Gerente Técnico	<b>APROVADO POR:</b>  Leandro de Oliveira PEIXOTO CAP QO ENG Chefe da Subdivisão de Meteorologia	<b>DATA DA APROVAÇÃO:</b>  30/12/2015
---	--	--	---

**4.2 Mensurando** - Objeto da medição grandeza específica submetida à medição.

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

**4.3 Resultado da medição** - Valor atribuído a um mensurando obtido por meio de medição.

Observação: 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 medidas.

A expressão do resultado de uma medição deve incluir informações sobre a incerteza de medição.

**4.4 Resultado não corrigido** - Resultado de uma medição antes da correção, devido aos erros sistemáticos.

**4.5 Resultado corrigido** - Resultado de uma medição após a correção, devido aos erros sistemáticos. **Resultado corrigido (RC) = Resultado + Correção.**

**4.6 Exatidão de medição** - Grau de concordância entre o resultado de medição e um valor verdadeiro do mensurando.

Observação: Exatidão é um conceito qualitativo, e o termo precisão não deve ser utilizado como exatidão.

**4.7 Incerteza de medição** - Parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando.

Observação: 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.

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, são avaliados por meio de distribuição de probabilidades assumidas, baseadas na experiência ou em outras informações.

**4.8 Valor verdadeiro de uma grandeza** - Valor consistente com a definição de uma dada grandeza específica.

Observação: É um valor que seria obtido por uma medição perfeita. Valores verdadeiros são por natureza, indeterminados.

**4.9 Valor verdadeiro convencional** - Valor atribuído a uma grandeza específica e aceito, às vezes por convenção, como tendo uma incerteza apropriada para uma dada finalidade.

<b>ELABORADO POR:</b>	<b>REVISADO POR:</b>	<b>APROVADO POR:</b>	<b>DATA DA APROVAÇÃO:</b>
ALBINO G. da Silva Neto IS BET Assessor da Qualidade	Jorge Luiz COUTINHO G. Barros SO BMT Gerente Técnico	Leandro de Oliveira PEIXOTO CAP QO ENG Chefe da Subdivisão de Meteorologia	30/12/2015

Observação :

“Valor verdadeiro convencional” é às vezes denominado valor designado, ou melhor, estimativa do valor, valor convencional ou valor de referência.

Freqüentemente, um grande número de resultados de medições de uma grandeza é utilizado para estabelecer um valor verdadeiro convencional, ou mais especificamente a média aritmética dos resultados obtidos.

**4.10 Erro de medição** - Resultado de uma medição menos o valor verdadeiro do mensurando.

Observação :

Uma vez que o valor verdadeiro não pode ser determinado, utiliza-se, na prática, um valor verdadeiro convencional.

**4.11 Erro relativo** - Erro de medição dividido por um valor verdadeiro do objeto de medição. (Determinação, por exemplo, de erro percentual de um instrumento).

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

Observação: Estas condições são denominadas condições de repetitividade. Condições de repetitividade incluem:

Mesmo procedimento de medição;

Mesmo observador;

Mesmo instrumento de medição utilizado nas mesmas condições;

Mesmo local, e

Repetição em curto período de tempo.

**4.13 Sistema de medição** - Conjunto completo de instrumentos de medição e outros equipamentos acoplados para executar uma medição específica.

Observação: O sistema pode incluir medidas materializadas;

Um sistema de medição que é instalado de forma permanente, pode ser denominado instalação de medição.

**4.14 Desvio** – Valor menos seu valor de referência.

**4.15 Instrumento de medição** – Dispositivo utilizado para uma medição, sozinho ou em conjunto com dispositivo(s) complementar (es).

**4.16 Erro (de indicação) de um instrumento de medição** – Indicação de um instrumento de medição menos um valor verdadeiro da grandeza de entrada correspondente.

Observação: Este conceito aplica-se, principalmente, quando o instrumento é comparado com um padrão de referência.

**4.17 Valor de uma divisão de escala** – Diferença entre os valores da escala correspondente a duas marcas sucessivas.

Observação: O valor de uma divisão é expresso na unidade marcada sobre a escala, qualquer que

<b>ELABORADO POR:</b>	<b>REVISADO POR:</b>	<b>APROVADO POR:</b>	<b>DATA DA APROVAÇÃO:</b>
ALBINO G. da Silva Neto IS BET Assessor da Qualidade	Jorge Luiz COUTINHO G. Barros SO BMT Gerente Técnico	Leandro de Oliveira PEIXOTO CAP QO ENG Chefe da Subdivisão de Meteorologia	30/12/2015

seja a unidade do mensurando.

**4.18 Resolução (de um dispositivo mostrador)** – Menor diferença entre as indicações de um dispositivo mostrador que pode ser significativamente percebida

Observação: A sua avaliação é definida em função do instrumento:

- 1) Para dispositivos mostrador digital, é a variação na indicação quando o dígito menos significativo varia de uma unidade.
- 2) Para mostradores analógicos dependerá do instrumento, pois a resolução usual adotada na calibração de instrumentos com indicadores analógicos é:  **$R = VD$ ;  $R = VD/2$ ;  $R = VD/4$ ;  $R = VD/5$  ou  $R = VD/10$ .**

Onde: R= Resolução e VD = Valor de uma divisão de escala.

**4.19 Erro aleatório** – Resultado de uma medição menos a média que resultaria de um infinito números de medições do mesmo mensurando, efetuados sob condições de repetitividade.

Observação: Erro Aleatório é igual ao erro menos o erro sistemático.

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

Observação: Erro sistemático é igual ao erro menos o erro aleatório. Analogamente ao valor verdadeiro o erro sistemático e suas causas não podem ser completamente conhecidos; Para um instrumento de medição ver tendência.

**4.21 Tendência (de um instrumento de medição)** – Erro sistemático da indicação de um instrumento de medição.

Observação: Tendência de um instrumento de medição é normalmente estimada pela média dos erros de indicação de um número apropriado de medições repetidas.

**4.22 Deriva** – Variação lenta de uma característica metrológica de um instrumento de medição.

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

Observação: Quando a estabilidade for fornecida em relação a uma outra grandeza que não o tempo, isto deve ser explicitamente mencionado.

**4.24 Correção** – valor adicionado algebricamente ao resultado não corrigido de uma medição para compensar um erro sistemático.

Observação: A correção é igual ao erro sistemático estimado como sinal trocado.

**CORREÇÃO (C) = - TENDÊNCIA (Td).**

**4.25 Fator de Correção** – Fator numérico pelo qual o resultado não corrigido de uma medição é multiplicado para compensar um erro sistemático.

Observação: Uma vez que o erro sistemático não pode ser perfeitamente conhecido, a compensação

<b>ELABORADO POR:</b>	<b>REVISADO POR:</b>	<b>APROVADO POR:</b>	<b>DATA DA APROVAÇÃO:</b>
ALBINO G. da Silva Neto IS BET Assessor da Qualidade	Jorge Luiz COUTINHO G.Barros SO BMT Gerente Técnico	Leandro de Oliveira PEIXO TO CAP QO ENG Chefe da Subdivisão de Meteorologia	30/12/2015

não pode ser completa.

**4.26 Resultado de uma medição** – Valor atribuído a um mensurando obtido por medição.

Observação: 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 variações. Uma expressão completa do resultado de uma mesma medição inclui informações sobre a incerteza de medição. **RM = (RC ± Incerteza) Unidade do SI**

Onde: **RM** = Resultado de medição e **RC** = Resultado corrigido.

**4.27 Espaço Amostral** – Conjunto de todos os resultados possíveis de experimento aleatório.

**4.28 Experimento aleatório** – Um experimento que pode fornecer diferentes resultados, muito embora, seja repetido toda vez da mesma maneira.

**4.29 Distribuição de probabilidade** – Uma função que fornece a probabilidade de uma variável aleatória assumir qualquer valor dado ou pertencer a um dado conjunto de valores. Pode ser: retangular, triangular, normal ou gaussiana e “tipo U”.

**4.30 Probabilidade de abrangência** – Fração usualmente grande da distribuição de valores como resultado de uma medição que pode razoavelmente ser atribuído ao mensurando.

## 5 Responsabilidades

**5.1** A responsabilidade pela implementação deste Procedimento Interno é do Chefe do Laboratório (TMEC).

**5.2** O Gerente Técnico de cada laboratório é responsável por determinar a utilização deste procedimento nos trabalhos de calibração dos seus respectivos laboratórios, cabendo também a ele a coordenação das atividades.

## 6 Procedimento

**6.1** Para a especificação da incerteza de uma medição deve ser associada à participação das estimativas de entrada que são as incertezas do tipo A e do tipo B, que são agrupadas de acordo com o método empregado para apreciar seu valor numérico, sendo :

- **Tipo A -  $\mu_A$**  – É o método de avaliação da incerteza obtido diretamente através de medições e análise estatística de uma série de observações.
- **Tipo B -  $u(X_i)$**  – É o método de avaliação da incerteza por outros meios que não a análise estatística de uma série de observações.

### 6.2 Determinação dos componentes das incertezas

#### 6.2.1 Incertezas do Tipo A ( $\mu_A$ )

A avaliação da incerteza padrão do tipo A é obtida a partir de repetições no processo de medição. Se houver um número n (com  $n > 1$ ), de valores de medições independentes ( $X_i$ ), sob as mesmas condições de medição, a melhor estimativa par o resultado é a média aritmética, dado por:

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROVADO POR:	DATA DA APROVAÇÃO:
ALBINO G. da Silva Neto IS BET Assessor da Qualidade	Jorge Luiz COUTINHO G. Barros SO BMT Gerente Técnico	Leandro de Oliveira PEIXOTO CAP QO ENG Chefe da Subdivisão de Meteorologia	30/12/2015

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

$\bar{x}$  = valor médio das  $n$  medições

$X_i$  =  $i$ -ésimo valor medido da variável  $x$

O desvio padrão dos valores medidos (repetições) é obtida através da equação a seguir:

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

$s(x_i)$  = desvio padrão experimental da variável  $x$ .

A variância experimental  $S^2(X_i)$  informa uma estimativa de quanto às observações individuais diferem em valor por causa das variações aleatórias intrínsecas do processo de medição. Assim, para uma grandeza de entrada  $X_i$  determinada por “ $n$ ” observações repetidas independentes, pode-se afirmar que a incerteza padrão da média é o desvio padrão experimental da média, por conseguinte denominada de incerteza padrão avaliada pelo tipo A, considerando um número “ $n$ ” adequado de observações.

Entretanto, como a finalidade é determinar o intervalo de confiança da média tem-se:

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

$s(\bar{x})$  = desvio padrão experimental do valor médio

Desse modo a incerteza padrão do tipo A ( $u_A$ ) será :  $u(x_i) = s(\bar{x})$

Nota<sub>1</sub>: A incerteza padrão do tipo A apresenta distribuição de probabilidade Normal ou gaussiana, que corresponde a um desvio padrão.

### 6.2.2 Incertezas do Tipo B ( $\mu_B$ )

É avaliada por julgamento científico, baseando-se em todas as informações disponíveis sobre a variabilidade de  $X_i$ . Assim, esse conjunto de informações pode incluir:

Certificados de calibração e outros certificados;

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROVADO POR:	DATA DA APROVAÇÃO:
ALBINO G. da Silva Neto IS BET Assessor da Qualidade	Jorge Luiz COUTINHO G. Barros SO BMT Gerente Técnico	Leandro de Oliveira PEIXOTO CAP QO ENG Chefe da Subdivisão de Meteorologia	30/12/2015

Variações seculares (estabilidade do material no tempo);  
 Estimativas baseadas na experiência;  
 Variação ou gradientes de temperatura;  
 Resolução;  
 Livros e manuais técnicos;  
 Deriva;  
 Especificação do fabricante; e  
 Variabilidade das leituras; etc.

Nota<sub>2</sub>: Não são considerados como incerteza os valores que corrigem o resultado de uma medição, isto é, correção de erros sistemáticos.

Ao ser feita tal avaliação e conhecendo o comportamento que pode ser assumido por diferentes conjuntos de dados, podemos classificar a disposição dos mesmos de acordo com as distribuições de probabilidade.

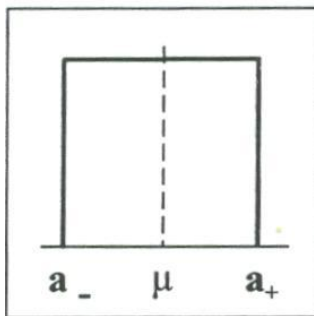
Quando não há conhecimento específico sobre os valores possíveis  $X_i$  dentro de um intervalo ( $a_-$  até  $a_+$ ), pode-se somente assumir que é igualmente provável que  $X_i$  esteja em qualquer lugar dentro dele, neste caso é assumido uma distribuição de probabilidade retangular:

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

$\mu(x_i)$  = incerteza padrão de um valor estimado.

$a_i$  = metade do valor do componente sistemático, com distribuição de probabilidade retangular, com  $i=1,2 \dots n$

É caracterizada por apresentar a mesma densidade de probabilidade para todos os valores dentro dos limites dados por “ $\mu - a$ ” e “ $\mu + a$ ”, e zero fora destes.



Nota<sub>3</sub>: “Quando não existem informações suficientes disponíveis para supor a forma da distribuição de probabilidade de determinada grandeza, assume-se a distribuição retangular por questão de segurança”.

Toda vez que existir um valor central preferencial (indicação de em um instrumento analógico em que se procura centralizar o ponteiro com a marcação da escala, visto que há uma forte tendência de termos valores próximos da média pelo fato de fazermos o ponteiro coincidir com o valor desejado), assume-se a probabilidade triangular, assim:

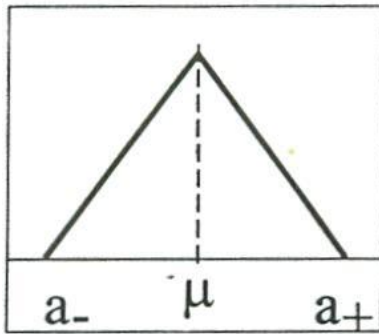
<b>ELABORADO POR:</b>	<b>REVISADO POR:</b>	<b>APROVADO POR:</b>	<b>DATA DA APROVAÇÃO:</b>
ALBINO G. da Silva Neto IS BET Assessor da Qualidade	Jorge Luiz COUTINHO G. Barros SO BMT Gerente Técnico	Leandro de Oliveira PEIXOTO CAP QO ENG Chefe da Subdivisão de Meteorologia	30/12/2015

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

$\mu(x_i)$  = incerteza padrão de um valor estimado.

$a_i$  = metade do valor do componente sistemático, com distribuição de probabilidade retangular, com  $i=1,2 \dots$

É caracterizada por apresentar máxima probabilidade para o valor médio e decrescer linearmente até zero nos limites dados por “ $\mu - a$ ” e “ $\mu + a$ ”, e zero fora destes.



Quando a incerteza é obtida de um certificado de calibração, ou declaração equivalente do fabricante, com um nível de confiabilidade ou fator de abrangência conhecida ( $k$ ), deverá ser transformada em incerteza padrão  $\mu(x_i)$ , tem-se:

$$u(x_i) = \frac{U_p}{k}$$

$\mu(x_i)$  = incerteza padrão de um valor estimado.

$U_p$  = incerteza certificada

$k$  = Fator de abrangência

Quando é conhecido apenas o valor da faixa de trabalho usada para verificar a conformidade a uma especificação, assume-se que a distribuição tenha a forma retangular para a distribuição de probabilidade e assim:

$$u(x_i) = \frac{\text{Faixa de trabalho}}{\sqrt{3}}$$

$\mu(x_i)$  = incerteza padrão de um valor estimado.

Nota<sub>4</sub>: Se o limite de trabalho for especificado com um nível de confiabilidade, a expressão acima será dividida pelo fator  $k$  correspondente no lugar da raiz de três.

Nota<sub>5</sub>: Para expressar todas as componentes de incerteza ( $\mu_i$ ) tipos A e B, correspondentes a um desvio padrão, é necessário dividir o valor de cada contribuição de incerteza, pelo seu respectivo divisor correspondente a distribuição de probabilidade atribuída. Os divisores para algumas distribuições são:

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROVADO POR:	DATA DA APROVAÇÃO:
ALBINO G. da Silva Neto IS BET Assessor da Qualidade	Jorge Luiz COUTINHO G. Barros SO BMT Gerente Técnico	Leandro de Oliveira PEIXOTO CAP QO ENG Chefe da Subdivisão de Meteorologia	30/12/2015



- Normal → 1 (incerteza padrão Tipo A)
- Normal (k) → k (certificado do padrão)
- Retangular →  $\sqrt{3}$
- Triangular →  $\sqrt{6}$
- Forma de U →  $\sqrt{2}$

### 6.3 Coeficiente de sensibilidade ( $C_i$ )

É um valor numérico que transforma para unidade de medida do mensurando o efeito causado no mesmo pela variação de outras grandezas que o afetam. O  $C_i$  é calculado pela deriva parcial da função (modelo matemático) em relação à variável para qual se deseja o  $C_i$ , ou seja:

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

Nota<sub>6</sub>: Quando estimativa de entrada estiver na mesma unidade da estimativa de saída, considerar  $C_i$  igual a 1.

### 6.4 Incerteza Combinada ( $\mu_c$ )

É a combinação de todas as fontes de incertezas de uma medição quando este resultado é obtido por meio dos valores de várias outras grandezas. A determinação da incerteza padrão combinada ( $\mu_c$ ) de medições diretas é obtida como sendo a raiz quadrada positiva da soma quadrática das diversas incertezas padrão ( $\mu_i$ ), não correlacionadas, envolvidas no processo de medição. Possui um nível de confiança de 68,27%. A incerteza total de medição será uma composição das incertezas do tipo A e B.

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_{n-1}^2 + u_n^2}$$

$\mu_c$  = Incerteza combinada

Nota<sub>7</sub>: A medição direta é aquela cuja indicação resulta da aplicação do instrumento de medição sobre o mensurando, informando um valor diretamente na unidade da grandeza medida.

### 6.5 Incerteza expandida ( $U_p$ )

A incerteza expandida é uma grandeza que define um intervalo em torno do resultado de uma medição que pode ser esperado em englobar uma grande fração da distribuição de valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando.

A incerteza expandida  $U_p$  é obtida multiplicando-se a incerteza padrão combinada  $u_c$  pelo fator de abrangência  $k$ , isto é:

$$U_p = k \cdot u_c$$

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROVADO POR:	DATA DA APROVAÇÃO:
ALBINO G. da Silva Neto IS BET Assessor da Qualidade	Jorge Luiz COUTINHO G. Barros SO BMT Gerente Técnico	Leandro de Oliveira PEIXOTO CAP QO ENG Chefe da Subdivisão de Meteorologia	30/12/2015

Assumindo que a distribuição de probabilidade do resultado final seja normal, têm-se os seguintes coeficientes:

- Caso geral:  $k = 2$ , que caracteriza um nível de confiança de 95,45%
- Aplicações críticas:  $k = 3$ , que caracteriza um nível de confiança de 99%

Nota<sub>8</sub>: Essa afirmação será verdadeira se os graus de liberdade tenderem a infinito, caso contrário deve-se pegar o valor de  $k$  na tabela de student.

Para a determinação do  $k$  corrigido usar a equação de **WELCH SATTETHRWAITE** para calcular os graus de liberdade efetivo ( $v_{eff}$ ) associados a Incerteza Combinada.

$$V_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4}{V_i}}$$

$\mu_i$  = Representa cada uma das incertezas padrão  $i$

$V_i$  = Representa os graus de liberdade de cada respectiva  $\mu_i$ .

Para calcular os graus de liberdade ( $V_i$ ) de cada  $\mu_i$ :

- Para incerteza padrão do tipo A usamos a seguinte equação:  $V_i = n-1$ , onde  $n$  é o número de medições realizadas.
- Para incerteza do padrão o valor de  $V_i$  pode ser obtido diretamente no certificado (caso o mesmo seja informado) ou o valor de  $k$  fornecido no certificado, selecionar na Tabela de coeficientes de STUDENT, o número de graus de liberdade correspondente à probabilidade de abrangência de 95,45%, ou o desejado.

Nota<sub>9</sub>: Interpolarmos o valor de  $k$  ou usamos o valor de  $k$  imediatamente acima para obter  $V_i$  que será adotado como graus de liberdade.

- Para as demais incertezas padrão, das quais não temos conhecimento sobre os graus de liberdade, adotamos infinitos graus de liberdade ( $V_i = \infty$ ).

## 6.6 Expressão do resultado

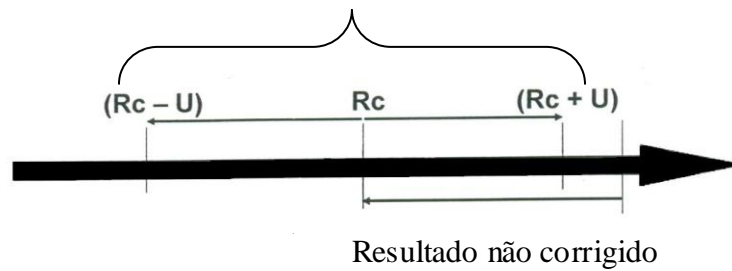
Qualquer resultado de medição deve vir acompanhado de uma incerteza, expressa em termos do nível de confiança atribuído ao resultado, isto pode ser expresso por:

$$RM = Rc \pm U \text{ [Unidade]}$$

Rm = Resultado da medição.

<b>ELABORADO POR:</b>	<b>REVISADO POR:</b>	<b>APROVADO POR:</b>	<b>DATA DA APROVAÇÃO:</b>
ALBINO G. da Silva Neto IS BET Assessor da Qualidade	Jorge Luiz COUTINHO G. Barros SO BMT Gerente Técnico	Leandro de Oliveira PEIXOTO CAP QO ENG Chefe da Subdivisão de Meteorologia	30/12/2015

Intervalo dentro do qual se encontra  
o valor mensurando ( $R_m$ ).



### 6.6.1 Regras de arredondamento.

Condições	Procedimentos	Exemplos
< 5	O último algarismo a permanecer fica inalterado.	53,24 passa a 53,2
> 5	Aumenta-se de uma unidade o algarismo a permanecer.	42,87 passa a 42,9 25,08 passa a 25,1 53,99 passa a 54,0
= 5	(i) Se ao 5 seguir em qualquer casa um algarismo diferente de zero, aumenta-se uma unidade no algarismo a permanecer.	2,352 passa a 2,4 25,6501 passa a 25,7 76,250002 passa a 76,3
	(ii) Se o 5 for o último algarismo ou se ao 5 só seguirem zeros, o último algarismo a ser conservado só será aumentado de uma unidade se for ímpar.	24,75 passa a 24,8 24,65 passa a 24,6 24,7500 passa a 24,8 24,6500 passa a 24,6

**Fonte:** Conforme NBR 5891/1977 – Regras de arredondamento na numeração decimal.

Para relatar um resultado de forma adequada é necessário em alguns casos o arredondamento, para isso a regra recomendada é:

Regra geral:

Exemplo: 8, 151  $\rightarrow$  +1  $\rightarrow$  **8,2**  $\longrightarrow$  8, 251  $\rightarrow$  +1  $\rightarrow$  **8,3**

Se o algarismo a direita do último dígito que se pretende representar for igual a 5:

- a) Adiciona-se uma unidade ao último dígito representado e desprezam-se os demais dígitos à direita se esse for originalmente ímpar:

Exemplo: 8,15  $\rightarrow$  + 1  $\rightarrow$  **8,2**

- b) Apenas são desprezados os demais dígitos à direita se este dígito for originalmente par ou zero:

Exemplo: 8,25  $\rightarrow$  **8,2**

### 6.6.2 Regras de Arredondamento na Avaliação da Incerteza

Para o arredondamento na avaliação da incerteza, os valores numéricos da estimativa e sua incerteza padrão ou expandida. A aplicabilidade do arredondamento de algarismos é inerente, no resultado da operação, na apresentação de resultados de medições e para evitar erros de arredondamento, assume-se:

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROVADO POR:	DATA DA APROVAÇÃO:
ALBINO G. da Silva Neto IS BET Assessor da Qualidade	Jorge Luiz COUTINHO G. Barros SO BMT Gerente Técnico	Leandro de Oliveira PEIXOTO CAP QO ENG Chefe da Subdivisão de Meteorologia	30/12/2015

- a) No processamento matemático dos dados (cálculos)  $\implies$  Arredondar só no final.
- b) Na apresentação da incerteza expandida (U)  $\implies$  Usar 1 ou no máximo 2 algarismos significativos e compatibilizar U com a resolução.
- c) Arredondar a incerteza de medição para cima (a favor da segurança), sempre que, ao aplicar as regras usuais de arredondamento e isso diminuir o valor numérico da mesma em mais de 5%.
- d) Graus de liberdade da incerteza  $\implies$  Truncar os valores e considerar somente o valor inteiro.

### 6.6.3 Exemplo

Medição com um Multímetro de faixa de 150VDC, utilizando como padrão o Calibrador Fluke 550A. Valores lidos (V): 150; 149; 150; 151 e 150.

Este multímetro realiza leituras de uma unidade no último dígito.

Componente de incerteza $X_i$	Valor da componente de incerteza $u$ (V)	Distribuição de Probabilidade	Divisor	Coefficiente de Sensibilidade $c_i$	Contribuição da Incerteza $c_i x u$ (V)	Grau de Liberdade Efetivo $\nu_{eff}$
$S \bar{x}$	0,31623	normal	1	1	0,31623	13
$u_B$ Resolução	0,5	retangular	$\sqrt{3}$	1	0,2887	$\infty$
$u_B$ Cert 5500A	0,00067	normal	K=2	1	0,000333	$\infty$
$u_B$ fabricante	0,0126	retangular	$\sqrt{3}$	1	0,007275	$\infty$
				$u_c =$	0,4283	13
	K=	2,21		$U_{exp} =$	0,9472	

$$\bar{x} \text{ Resultado : } R_m = \pm U = 150 \pm 1V$$

Nota<sub>11</sub>: A incerteza expandida reportada da medição é a incerteza combinada da medição multiplicada pelo fator de abrangência  $k=2,21$ , que para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95,45%.

## 7 Histórico das Revisões

- Atualização da Chefia da Subdivisão de Metrologia.
- Atualizada a sigla da Subdivisão de Metrologia de TTME para TLAI.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROVADO POR:	DATA DA APROVAÇÃO:
ALBINO G. da Silva Neto IS BET Assessor da Qualidade	Jorge Luiz COUTINHO G. Barros SO BMT Gerente Técnico	Leandro de Oliveira PEIXOTO CAP QO ENG Chefe da Subdivisão de Meteorologia	30/12/2015

## ANEXO A

## COMPONENTES DE INCERTEZA ESPECÍFICA EM ÁREA DE CALIBRAÇÃO.

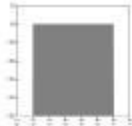

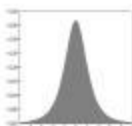
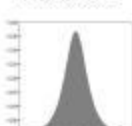
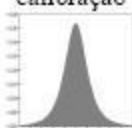
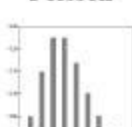
Área de Calibração	Componentes de incerteza específicas
Eletricidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) incerteza herdada da calibração</li> <li>b) deriva do padrão</li> <li>c) condições ambientais</li> <li>d) incerteza de correções para erros sistemáticos</li> <li>e) efeitos das resoluções do padrão e do instrumento em calibração</li> <li>f) desvio padrão da média das medições</li> </ul>
Massa	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) incerteza herdada da calibração da massa de referência</li> <li>b) deriva do padrão</li> <li>c) desvio padrão da média das medições</li> <li>d) efeito da resolução da balança</li> <li>e) condições ambientais</li> <li>f) empuxo do ar</li> </ul>
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) incerteza herdada da calibração do termômetro de referência</li> <li>b) deriva do padrão</li> <li>c) efeitos das resoluções do padrão e do instrumento em calibração</li> <li>d) instabilidade e heterogeneidade do banho termostático</li> <li>e) correção da coluna emergente, quando da calibração de termômetros de imersão parcial</li> <li>f) tensão parasita da chave comutadora, quando da calibração de termopares</li> <li>g) temperatura da junção de referência, quando da calibração de termopares</li> <li>h) cabo de compensação, quando da calibração de termopares</li> <li>i) desvio padrão da média das medições</li> </ul>
Dimensional	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) incerteza herdada da calibração do padrão</li> <li>b) deriva do padrão</li> <li>c) condições ambientais</li> <li>d) compressão elástica, relacionada à força de medição aplicada</li> <li>e) erro de cosseno</li> <li>f) erros geométricos (planeza e paralelismo)</li> <li>g) efeitos das resoluções do padrão e do instrumento em calibração</li> <li>h) desvio padrão da média das medições</li> </ul>
Pressão	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) incerteza herdada da calibração do padrão</li> <li>b) deriva do padrão</li> <li>c) incerteza de correções para erros sistemáticos</li> <li>d) efeitos das resoluções do padrão e do instrumento em calibração</li> <li>e) desvio padrão da média das medições</li> <li>f) incerteza da diferença de altura entre o padrão e o instrumento em calibração</li> </ul>
Torque	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) incerteza herdada da calibração do padrão</li> <li>b) deriva do padrão</li> <li>c) incerteza de correções para erros sistemáticos</li> <li>d) erro de posicionamento do ponteiro do instrumento em calibração</li> <li>e) efeito da resolução do padrão</li> </ul>

Componentes de incerteza específicas em áreas de calibração

<b>ELABORADO POR:</b>	<b>REVISADO POR:</b>	<b>APROVADO POR:</b>	<b>DATA DA APROVAÇÃO:</b>
ALBINO G. da Silva Neto IS BET Assessor da Qualidade	Jorge Luiz COUTINHO G. Barros SO BMT Gerente Técnico	Leandro de Oliveira PEIXO TO CAP QO ENG Chefe da Subdivisão de Meteorologia	30/12/2015

## ANEXO B

## DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE E SEUS DIVISORES APROPRIADOS PARA O TIPO DE COMPONENTE DE INCERTEZA.

Tipo de Componente de Incerteza	Distribuição de Probabilidade	Divisor
Quando se conhecem apenas os valores máximos e mínimos de variação ( $\pm a$ ): por exemplo, o erro máximo admissível para um determinado equipamento ou o efeito causado pela resolução finita do equipamento utilizado	Retangular 	$\sqrt{3}$
Quando se conhecem os valores máximos e mínimos de variação ( $\pm a$ ) e o valor mais provável: por exemplo, o erro de posicionamento de um instrumento em uma marca de escala	Triangular 	$\sqrt{6}$
Desvio padrão da média de um conjunto de $N$ medições repetidas	t-Student 	$\sqrt{N}$
Desvio padrão de dados históricos de repetitividade e/ou reprodutibilidade, na situação em que o resultado do ensaio/calibração é obtido por meio de uma única medição e não por uma média	t-Student 	1
Incerteza herdada da calibração de equipamentos e padrões	Normal ou t-Student, conforme certificado de calibração 	Valor de $k$ informado no certificado de calibração
Desvio padrão de um processo de contagem de elementos discretos, com média $m$ e desvio padrão $\sqrt{m}$	Poisson 	1

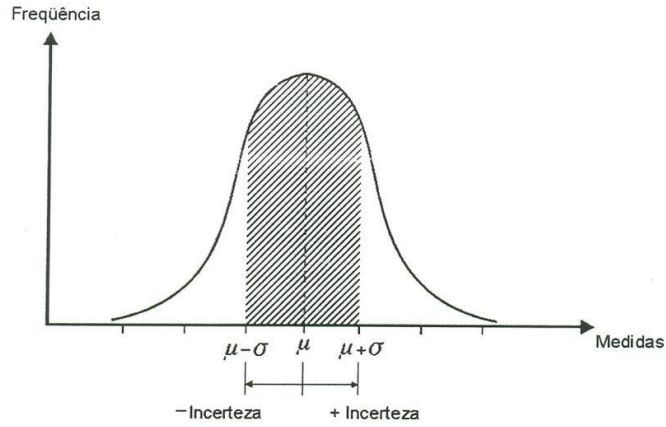
Distribuições de probabilidade e seus divisores apropriados para o tipo de componente de incerteza

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROVADO POR:	DATA DA APROVAÇÃO:
ALBINO G. da Silva Neto IS BET Assessor da Qualidade	Jorge Luiz COUTINHO G. Barros SO BMT Gerente Técnico	Leandro de Oliveira PEIXOTO CAP QO ENG Chefe da Subdivisão de Meteorologia	30/12/2015

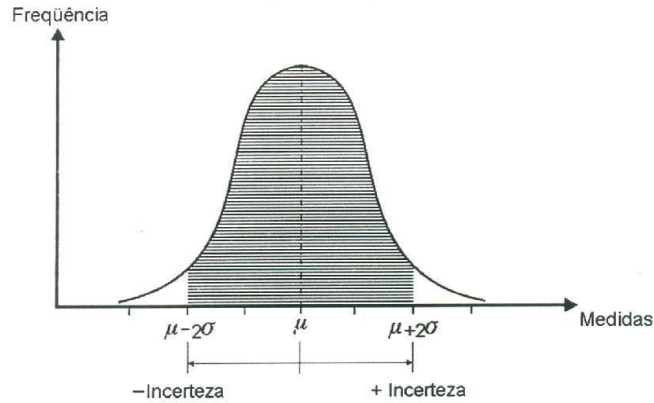
**ANEXO C**

**DISTRIBUIÇÃO DAS PROBABILIDADES DE ABRANGÊNCIA**

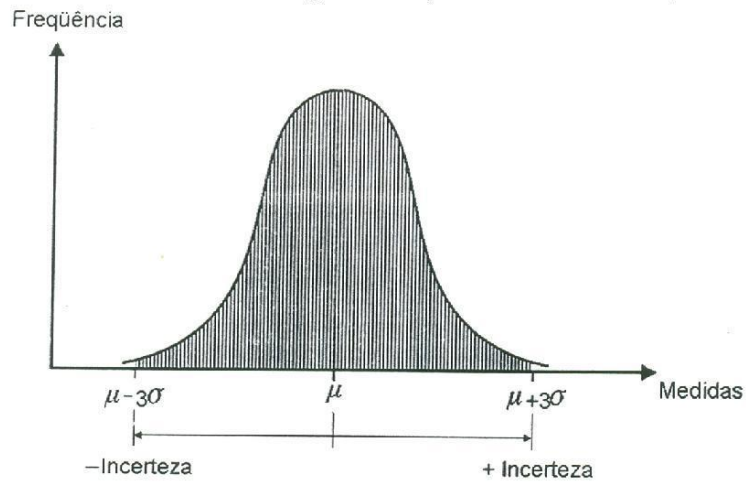
**Probabilidade de abrangência de aproximadamente 68,27%**



**Probabilidade de Abrangência de aproximadamente 95,45%**



**Probabilidade de Abrangência de aproximadamente de 99,73%**



<b>ELABORADO POR:</b>  ALBINO G. da Silva Neto IS BET Assessor da Qualidade	<b>REVISADO POR:</b>  Jorge Luiz COUTINHO G. Barros SO BMT Gerente Técnico	<b>APROVADO POR:</b>  Leandro de Oliveira PEIXO TO CAP QO ENG Chefe da Subdivisão de Meteorologia	<b>DATA DA APROVAÇÃO:</b>  30/12/2015
---	--	---	---



## ANEXO D

TABELA DO VALOR DE k EM FUNÇÃO DO  $V_{\text{eff}}$  CALCULADOValores de  $t = f(V)$  nível de confiança 95,45%

$v$ ou $v_{\text{eff}}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,32	2,28
$v$ ou $v_{\text{eff}}$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
k	2,25	2,23	2,21	2,20	2,18	2,17	2,16	2,15	2,14	2,13
$v$ ou $v_{\text{eff}}$		25	30	35	40	45		50	100	$\infty$
k		2,11	2,09	2,07	2,06	2,06		2,05	2,025	2,000

Valores de  $t = f(V)$  nível de confiança 99,73%

$v$ ou $v_{\text{eff}}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k	235,8	19,21	9,22	6,62	5,51	4,90	4,53	4,28	4,09	3,96
$v$ ou $v_{\text{eff}}$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
k	3,85	3,76	3,69	3,64	3,59	3,54	3,51	3,48	3,45	3,42
$v$ ou $v_{\text{eff}}$		25	30	35	40	45		50	100	$\infty$
k		3,33	3,27	3,23	3,20	3,18		3,16	3,077	3,000

 $V = n - 1$ 

n: número de amostras

 $V$  : graus de liberdade k: fator de abrangência = t (coeficiente de "Student")

<b>ELABORADO POR:</b>  ALBINO G. da Silva Neto IS BET Assessor da Qualidade	<b>REVISADO POR:</b>  Jorge Luiz COUTINHO G. Barros SO BMT Gerente Técnico	<b>APROVADO POR:</b>  Leandro de Oliveira PEIXOTO CAP QO ENG Chefe da Subdivisão de Meteorologia	<b>DATA DA APROVAÇÃO:</b>  30/12/2015
---	--	--	---