

**SUMÁRIO:**

- 1. Objetivo**
- 2. Aplicação**
- 3. Instrução**
- 4. Registros da Qualidade**
- 5. Registros de revisões e alterações**

**1. OBJETIVO**

Estabelecer procedimento para definição da sistemática de cálculo de incertezas tipo B na área de pressão.

**2. APLICAÇÃO**

Esta instrução pode ser aplicada aos medidores de pressão relativa, internos da TRESCAL ou de clientes, para cálculo de incertezas obtidas na calibração. Esta instrução não se aplica a medidores de pressão absoluta.

**3. INSTRUÇÃO****3.1. DOCUMENTOS COMPLEMENTARES**

- Guia para Expressão da Incerteza de Medição (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement - ISO GUM)
- PQ-016.04 - Procedimento para Cálculo de Incerteza

**3.2. ROTEIRO**

Estabelecer quais as grandezas que são significativas na expressão do modelo matemático que representa o processo de calibração. Estas grandezas podem ser obtidas de fontes de erros conhecidas, informações em manuais, catálogos ou de experiências anteriores. Baseando-se neste modelo, definir a distribuição de probabilidades para as componentes do tipo B, verificando quais são as significativas e calcular a incerteza padrão correspondente, como segue:

Revisão	Data	Elaborado/Revisado por	Aprovado por
07	18/12/2025	Caio Lucas Duarte Costa	Pablo Tassi Tomaz

### 3.2.1. Manômetro e Vacuômetro

#### a- Incerteza devido ao padrão de referência, Up.

Distribuição normal, divisor = k, coeficiente de sensibilidade = 1.

$U_{Pad.}$  = incerteza declarada no certificado de calibração do padrão

k = fator de abrangência declarado no certificado de calibração do padrão

$$U_P = \frac{U_{Pad.}}{k}$$

#### b- Incerteza devido a resolução do instrumento em calibração, Urm.

Resolução =  $\frac{\text{valor de uma divisão}}{\text{fator de interpolação}}$

Fator de interpolação para instrumentos analógicos pode ser 1, 2, 4, 5 ou 10, visto que depende da distância entre marcas e da largura do ponteiro.

Resolução para instrumentos analógicos =  $\frac{\text{valor de uma divisão}}{(1, 2, 4, 5 \text{ ou } 10)}$

Fator de interpolação para instrumentos digitais = 2

Resolução para instrumentos digitais =  $\frac{\text{valor de uma divisão}}{2}$

$$U_{rm} = \frac{\text{Resolução}}{\text{Divisor}}$$

Divisor =  $\sqrt{6}$  para instrumentos analógicos com indicação inteira (ponteiro sobre o traço ou marca).

Divisor =  $\sqrt{3}$  para instrumentos digitais e para instrumentos analógicos com interpolação.

#### c- Incerteza devido a variação da temperatura no pistão/cilindro de balanças de pressão, na calibração de medidores de pressão, em relação a 20 °C.

O maior valor calculado para balanças da MEC-Q é de 4,6 Pa, que é um valor desprezível em relação às demais componentes, portanto, na calibração de medidores de pressão utilizando balança de pressão, considera-se a influência igual a zero.

Revisão	Data	Elaborado/Revisado por	Aprovado por
07	18/12/2025	Caio Lucas Duarte Costa	Pablo Tassi Tomaz

**d- Incerteza devido ao erro de temperatura do padrão calibrador digital de pressão, Uetcd.**  
distribuição retangular, divisor =  $\sqrt{3}$ .

$$Uetcd = \frac{\text{(erro de temperatura)}}{\sqrt{3}}$$

Onde o erro de temperatura é informado no manual do fabricante do calibrador digital de pressão, em %/ $^{\circ}\text{C}$ .

**e- Incerteza devido a paralaxe do ponteiro indicador do instrumento, Upx.**  
distribuição retangular, divisor =  $\sqrt{3}$ .

$Upx = 0$  para instrumentos digitais

$$\text{estimativa paralaxe} = \frac{\text{Resolução}}{4} =$$

$$\text{Resolução para instrumentos analógicos} = \frac{\text{valor de uma divisão}}{\text{fator de interpolação}}$$

Fator de interpolação para instrumentos analógicos pode ser 1, 2, 4, 5 ou 10, visto que depende da distância entre marcas e da largura do ponteiro.

$$\text{Resolução} = \frac{\text{valor de uma divisão}}{5}$$

$$\text{estimativa da paralaxe} = \frac{\text{resolução}}{4}$$

$$\text{estimativa da paralaxe} = \frac{(\text{valor de uma divisão/fator de interpolação})}{4} =$$

$$Upx = \frac{(\text{estimativa da paralaxe})}{\text{divisor}} =$$

$$Upx = \frac{(\text{estimativa da paralaxe})}{\sqrt{3}} =$$

$$Upx = \frac{(\text{valor de uma divisão/fator de interpolação})}{4\sqrt{3}} =$$

Revisão	Data	Elaborado/Revisado por	Aprovado por
07	18/12/2025	Caio Lucas Duarte Costa	Pablo Tassi Tomaz

**f- Incerteza devido a estabilidade temporal, Uet.**  
distribuição retangular, divisor =  $\sqrt{3}$ .

**Uet** = (maior diferença dos valores médios entre calibrações, obtido dos certificados de calibração do padrão, em um mesmo ponto calibrado) /  $\sqrt{3}$

= ((valor médio de um ponto calibrado em um certificado de calibração – valor médio do mesmo ponto calibrado em uma calibração anterior) maior valor entre todos os pontos calibrados) /  $\sqrt{3}$

### 3.2.2. Transdutor de Pressão ou Vácuo

**a- Ajuste por mínimos quadrados de reta de calibração de transdutor de pressão para incertezas desconhecidas:** conforme item H.3.2 do ISO GUM, terceira edição. O procedimento abaixo está em formato exemplificado, em relação as unidades utilizadas e quantidade de pontos de calibração.

Tabela exemplificando entrada de valores de corrente em mA ou tensão em volts e da pressão de referência em psi (ou outra unidade de pressão):					
Pontos	Corrente ou tensão do transdutor	Pressão de referência	$P^2$	$I^*P$	
n	I (mA) ou V (V)	P (psi ou outra unidade)			
1					
2					
3					
4					
5					
Resultados das somatórias =	$\Sigma I$	$\Sigma P$	$\Sigma P^2$	$\Sigma I^*P$	

$$n = 5$$

$$D = (n * \Sigma P^2) - (\Sigma P)^2$$

$$a = (1 / D) * ((n * \Sigma I^*P) - (\Sigma P * \Sigma I))$$

$$b = (1 / D) * ((\Sigma I * \Sigma P^2) - (\Sigma P * \Sigma I^*P))$$

$$(\text{psi})^2$$

$$(\text{mA} / \text{psi})$$

$$(\text{mA})$$

n	$I - (aP+b)$ em (mA)	$(I - (aP+b))^2$ em (mA) <sup>2</sup>
1		
2		
3		
4		
5		

$$\text{Somatória} = \Sigma(I - (aP+b))^2$$

$$\sigma^2 = \Sigma (I - (aP+b))^2 / (n-2) \quad (\text{mA})^2$$

$$\sigma_a = \sqrt{(n * \sigma^2) / D} \quad (\text{mA} / \text{psi})$$

$$\sigma_b = \sqrt{(\sigma^2 * \Sigma P^2) / D} \quad (\text{mA})$$

$$I = a * P + b \quad (\text{mA}), \text{ equação da reta de calibração ajustada.}$$

$$r_{a,b} = -(\Sigma P) / \sqrt{n * \Sigma P^2}, \text{ coeficiente de correlação.}$$

Revisão	Data	Elaborado/Revisado por	Aprovado por
07	18/12/2025	Caio Lucas Duarte Costa	Pablo Tassi Tomaz

**b- Incerteza de um valor previsto ( $u_{A2}$ ), conforme item H.3.4 do ISO GUM, terceira edição.**

$$u_{A2} = \sqrt{1 * (\sigma_b)^2 + (\sigma_a)^2 * P^2 + 2 * P * \sigma_a * \sigma_b * r_{a,b}} \quad \text{em (mA)}$$

**c-  $U_{\text{Pref}}$  = Incerteza da pressão de referência.**

$$U_{\text{Pref}} = \frac{a * U_{\text{exp}} (\%) * P_n}{k * 100}$$

onde:

a = constante da equação da reta ajustada, obtida através do método dos mínimos quadrados, conforme ISO GUM, para incertezas desconhecidas.

$U_{\text{exp}} (\%)$  = incerteza expandida obtida no certificado de calibração do padrão de pressão, em %.

$P_n$  = amplitude da faixa de indicação do padrão de pressão.

k = fator de abrangência declarado no certificado de calibração do padrão de pressão.

**d-  $U_{\text{rm}}$  = Incerteza devido à resolução do instrumento.**

$$k = \sqrt{3}$$

$$U_{\text{rm}} = \frac{\text{resolução}}{k}$$

**e- Incerteza devido ao padrão multímetro,  $U_{\text{pm}}$ .**

Distribuição normal, divisor = k, coeficiente de sensibilidade = 1.

$U_{\text{Pad.}}$  = incerteza declarada no certificado de calibração do padrão multímetro

k = fator de abrangência declarado no certificado de calibração do padrão

$$U_{\text{pm}} = \frac{U_{\text{Pad.}}}{k}$$

**f- Incerteza devido a resolução do indicador, Uri.**

$$Uri = \frac{\text{Resolução}}{\text{Divisor}}$$

Divisor =  $\sqrt{3}$  para instrumentos digitais

Revisão	Data	Elaborado/Revisado por	Aprovado por
07	18/12/2025	Caio Lucas Duarte Costa	Pablo Tassi Tomaz

**g- Incerteza devido a variação da temperatura no pistão/cilindro de balanças de pressão, na calibração de medidores de pressão, em relação à 20 °C.**

O maior valor calculado para balanças da MEC-Q é de 4,6 Pa, que é um valor desprezível em relação às demais componentes, portanto, na calibração de medidores de pressão utilizando balança de pressão, considera-se a influência igual a zero.

**h- Incerteza devido ao erro de temperatura do padrão calibrador digital de pressão, Uetcd.**  
distribuição retangular, divisor =  $\sqrt{3}$ .

$$U_{etcd} = \frac{\text{(erro de temperatura)}}{\sqrt{3}}$$

Onde o erro de temperatura é informado no manual do fabricante do calibrador digital de pressão, em %/°C.

**i- Incerteza devido a estabilidade temporal, Uet.**  
distribuição retangular, divisor =  $\sqrt{3}$ .

$$U_{et} = \frac{\text{(maior diferença entre calibrações, obtido dos certificados de calibração do padrão, em um mesmo ponto calibrado)}}{\sqrt{3}}$$

j- As componentes de incerteza tipo B em unidades de pressão, poderão ser convertidas para as unidades de corrente ou tensão, com o auxílio da própria equação da reta obtida pelo método dos mínimos quadrados, possibilitando desta forma o cálculo da incerteza combinada sem a necessidade da introdução de coeficientes de sensibilidade diferentes de 1.

k- A equação da reta ajustada pelo método dos mínimos quadrados será expressa no certificado de calibração.

**4. REGISTROS DA QUALIDADE**

Os cálculos de incerteza para os serviços realizados devem ser introduzidos no SGAC, tendo como base o estabelecido nas planilhas de cálculo de incertezas para cada tipo de instrumento.

**5. REGISTRO DE REVISÕES E ALTERAÇÕES**

DATA	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL	REVISÃO N°
18/12/2025	Revisão geral do documento para padronização do novo modelo, itens 3.2.1 e 3.2.2 retirando cálculos da componente tipo A referente a Incerteza devido ao ajuste da curva de calibração do padrão	Caio Costa	07

Revisão	Data	Elaborado/Revisado por	Aprovado por
07	18/12/2025	Caio Lucas Duarte Costa	Pablo Tassi Tomaz