	INSTRUÇÃO DE TRABALHO Instrução para cálculo de incertezas tipo B para calibração na área de pressão	IT-010
		Pág. 1 de 6

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

Quando este documento for impresso ou enviado por correio eletrônico, a cópia não é controlada.
Sua reprodução, total ou parcial, é proibida.

	INSTRUÇÃO DE TRABALHO Instrução para cálculo de incertezas tipo B para calibração na área de pressão	IT-010
		Pág. 2 de 6

3.2.1. Manômetro e Vacuômetro

a- Incerteza devido ao padrão de referência, U_p .

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, U_{rm} .

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

	INSTRUÇÃO DE TRABALHO Instrução para cálculo de incertezas tipo B para calibração na área de pressão	IT-010
		Pág. 3 de 6

d- Incerteza devido ao erro de temperatura do padrão calibrador digital de pressão, U_{etcd}.
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.

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

U_{px} = 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.

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

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

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

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

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

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

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

**Quando este documento for impresso ou enviado por correio eletrônico, a cópia não é controlada.
Sua reprodução, total ou parcial, é proibida.**

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

U_{et} = (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		
n	I (mA) ou V (V)	P (psi ou outra unidade)	P ²	I*P
1				
2				
3				
4				
5				
Resultados das somatórias =	ΣI	ΣP	ΣP^2	$\Sigma I*P$

n = 5

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

(psi)²

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

(mA / psi)

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

(mA)

n	I - (aP+b) em (mA)	(I - (aP+b)) ² em (mA) ²
1		
2		
3		
4		
5		

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

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


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

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

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

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

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

	INSTRUÇÃO DE TRABALHO Instrução para cálculo de incertezas tipo B para calibração na área de pressão	IT-010
		Pág. 5 de 6

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_{Pref} = Incerteza da pressão de referência.

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

onde:

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

$U_{exp}(\%)$ = 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_{rm} = Incerteza devido à resolução do instrumento.

$$k = \sqrt{3}$$

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

e- Incerteza devido ao padrão multímetro, U_{pm} .

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

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

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

$$U_{pm} = \frac{U_{pad.}}{k}$$


f- Incerteza devido a resolução do indicador, U_{ri} .

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

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

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

Quando este documento for impresso ou enviado por correio eletrônico, a cópia não é controlada.
Sua reprodução, total ou parcial, é proibida.

	INSTRUÇÃO DE TRABALHO Instrução para cálculo de incertezas tipo B para calibração na área de pressão	IT-010
		Pág. 6 de 6

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, U_{etcd}.
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, U_{et}.
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

Quando este documento for impresso ou enviado por correio eletrônico, a cópia não é controlada.
Sua reprodução, total ou parcial, é proibida.