

CONTRIBUIÇÕES PARA A INCERTEZA DE MEDIÇÃO EM METROLOGIA DE MASSA

Preparado por: Comité Consultivo da SADCAS – CLAP	Aprovado por: CEO da SADCAS	Data de aprovação: 2018-03-19 Data de entrada em vigor: 2018-04-01
--	------------------------------------	---

Índice

	Página
1. OBJETO E ÂMBITO DE APLICAÇÃO	3
2. DEFINIÇÕES	3
3. FATORES QUE AFETARIAM A QUALIDADE DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES	3
3.1 Condições ambientais	3
3.2 Instrumentos de pesagem utilizados para calibração de pesos	3
3.3 Pesos de referência	3
3.2 Processo de pesagem	3
4. ORÇAMENTO DE INCERTEZA PARA CALIBRAÇÃO DE PESOS	4
5. ORÇAMENTO DE INCERTEZA PARA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE PESAGEM	6
6. REFERÊNCIAS	7
APÊNDICE A: EXEMPLO DE ORÇAMENTO DE INCERTEZA PARA PESOS	8
APÊNDICE B: EXEMPLO DE ORÇAMENTO DE INCERTEZA PARA INSTRUMENTOS DE PESAGEM	9
APÊNDICE C: REGISTO DE ALTERAÇÕES	11

1. OBJETO E ÂMBITO DE APLICAÇÃO

O objetivo deste documento é especificamente considerar os contribuintes para a incerteza das medições durante o processo de calibração de pesos e instrumentos de pesagem.

Este documento é aplicável aos laboratórios acreditados pelo Sistema de Acreditação da Comunidade de Desenvolvimento da África Austral (SADCAS).

2. DEFINIÇÕES

Aplicam-se as definições constantes dos seguintes documentos:

- Recomendação Internacional da OIML R111-1: 2004 (E) - Pesos das classes E1, E2, F1, F2, M1, M2, M3;
- SADCAS TR 12 - Estimativa da incerteza de medição por laboratórios de calibração e especificação da capacidade de calibração e medição em cronogramas de acreditação;
- SADCAS TR 16 Critérios de acreditação laboratorial em metrologia de massa; e ainda
- Guia para a Expressão da Incerteza na Medição (GUM).

3. FATORES QUE AFETARIAM A QUALIDADE DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES

3.1 Condições Ambientais

A calibração dos pesos deve ser efetuada num laboratório com condições ambientais estáveis para evitar o efeito das alterações de temperatura e humidade relativa nos resultados da pesagem. Ver Tabela 1 em SADCAS TR 16.

A calibração dos instrumentos de pesagem é realizada no local onde os instrumentos são utilizados e as condições ambientais podem não ser controladas.

Se for caso disso, o laboratório deve manter registos adequados para demonstrar e confirmar a humidade, a temperatura, os gradientes de temperatura e a pressão ambiente no laboratório.

3.2 Instrumentos de pesagem utilizados para calibração de pesos

As características metrológicas dos instrumentos de pesagem, tais como resolução, linearidade, repetibilidade e excentricidade, devem ser conhecidas.

Cada instrumento de pesagem está sujeito a qualificação inicial e a requalificação periódica. Os desempenhos metrológicos dos instrumentos de pesagem são monitorizados.

3.3. Pesos de referência

Os pesos de referência devem ser de classe de precisão OIML mais elevada do que os pesos calibrados.

Consulte OIML R111-1.

Quando os pesos são ajustados, registam-se os valores de calibração antes e depois do ajustamento.

3.4 Processo de pesagem

Devem ser considerados os procedimentos aceites para os ciclos de pesagem. Ver métodos de substituição simples e dupla descritos no OIML R111-1.

4. ORÇAMENTO DE INCERTEZA PARA CALIBRAÇÃO DE PESOS

Existem vários fatores que contribuem para a incerteza de medição durante a calibração de pesos. De acordo com a GUM, a avaliação dessas incertezas depende se elas são do Tipo A (com base em análise estatística) ou do Tipo B (com base em outros conhecimentos). A seguir estão os principais contribuintes que precisam aparecer no orçamento de incerteza:

4.1 Repetibilidade (incerteza padrão do processo de pesagem), u_w (tipo A)

$$u_w(\overline{\Delta m_c}) = \frac{s(\Delta m_{ci})}{\sqrt{n}}$$

Em que:

4.1.1 para pesos das classes F2, M1, M2 e M3

$$s(\Delta m_c) = \frac{\max(\Delta m_{ci}) - \min(\Delta m_{ci})}{2 \times \sqrt{3}}$$

4.1.2 para os pesos das classes E1, E2 e F1

$$s^2(\Delta m_c) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta m_{ci} - \overline{\Delta m_c})^2$$

Com $n-1$ graus de liberdade

4.2 Incerteza do peso de referência, $U(m_{cr})$ (Tipo B)

$$u(m_{cr}) = \sqrt{\left(\frac{U}{k}\right)^2 + u_{inst}^2(m_{cr})}$$

Observação: $U(m_{cr})$ pode ser simplesmente encontrado dividindo a incerteza no certificado de calibração pelo fator de cobertura k . $K=2$ a 95% de nível de confiança.

A incerteza da instabilidade (desvio) do peso de referência, $U_{inst}(m_{cr})$, pode ser estimada utilizando o historial de calibração.

4.3 Incerteza devido à resolução do ecrã, U_{ba} (Tipo B)

$$u_d = \left(\frac{d/2}{\sqrt{3}}\right) \times \sqrt{2}$$

Onde d = divisão da escala do saldo digital

4.4 Incerteza da Correção da Flutuabilidade do Ar, U_b (Tipo B)

$$u_b^2 = \left[m_{cr} \frac{(\rho_r - \rho_t)}{\rho_r \rho_t} u(\rho_a) \right]^2 + \left[m_{cr} (\rho_a - \rho_0) \right]^2 \frac{u^2(\rho_t)}{\rho_t^4} + m_{cr}^2 (\rho_a - \rho_0) [(\rho_a - \rho_0) - 2(\rho_{al} - \rho_0)] \frac{u^2(\rho_r)}{\rho_r^4}$$

Em que:

- M_{cr} = massa convencional de peso de referência
- ρ_r = densidade de peso de referência
- ρ_t = densidade de peso do ensaio
- $U(\rho_a)$ = incerteza da densidade do ar (Observe a fórmula na página 68 no OIML R111)
- ρ_a = densidade do ar
- ρ_0 = densidade do ar ao nível do mar = $1,2 \text{ kg m}^{-3}$
- $U(\rho_t)$ = incerteza quanto à densidade do peso do ensaio
- ρ_{al} = densidade do ar durante a calibração anterior

$U(pr)$ = incerteza da densidade do peso de referência

4.5 incerteza devido à deriva dos pesos de referência.

A incerteza de deriva pode ser estimada a partir do seu historial e com base em, pelo menos, duas calibrações sucessivas. Na ausência de antecedentes, pode ser feita uma estimativa da ordem de grandeza da incerteza de calibração.

4.6. Incerteza padrão combinada, $U_c(m_{ct})$

$$u_c(m_{ct}) = \sqrt{u_w^2(\Delta m_c) + u^2(m_{cr}) + u_b^2 + u_{ba}^2}$$

4.7 Incerteza expandida, $U(m_{ct})$

$$U(m_{ct}) = k u_c(m_{ct})$$

5. ORÇAMENTO DE INCERTEZA PARA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE PESAGEM

- 5.1** Os fabricantes de instrumentos de pesagem, incluindo balanças eletrônicas, eletromecânicas e mecânicas, tradicionalmente especificam repetibilidade, excentricidade e linearidade separadamente. Para que o laboratório de calibração possa alegar a conformidade com as especificações, tem de fornecer provas objetivas, baseadas em medições, de que a soma do erro de medição e da incerteza não excede a precisão declarada.
- 5.2** A necessidade de declarar conformidade é ainda mais complicada, uma vez que as especificações não são necessariamente declaradas como fora dos limites, por exemplo, a repetibilidade é frequentemente especificada em $\pm 1 \sigma$, e as especificações da balança são estabelecidas em condições ideais, enquanto a balança submetida para calibração está localizada em um ambiente de trabalho no qual as condições operacionais podem estar dentro das especificações, mas não necessariamente ideais.
- 5.3** Na prática, os laboratórios podem adotar uma abordagem simplificada na estimativa da incerteza de medição para a medição da linearidade de equipamentos de pesagem com menos de 30 000 divisões, em que a incerteza é estimada tendo em conta a incerteza dos pesos, a excentricidade (carga por escanteio), a repetibilidade e/ou a resolução do instrumento de pesagem (consoante o que for maior).

5.4 A incerteza padrão devida à excentricidade (U_e) é estimada como

$$u_e = [d_1/d_2 * D] * 1/\sqrt{3} \text{ (adaptado de R111 / R 76)}$$

Em que:

d_1 = distância entre o centro do recetor de carga e o centro dos pesos

d_2 = distância entre o centro do recetor de carga e um dos cantos

D = desvio entre os valores medidos máximo e mínimo

A relação d_1/d_2 será tipicamente de 2/3 ou 2/4 (Ver SADCAS TR 16)

5.5 Os laboratórios devem fornecer (e dispor de) para avaliação todos os dados relevantes do instrumento de pesagem, tais como fichas de especificação, utilizados na determinação da capacidade de calibração e medição (CMC), juntamente com cópias da estimativa da incerteza de medição. Todos os fatores relevantes devem ser considerados, e só após confirmação de que a contribuição é insignificante podem ser omitidos da estimativa. Este processo deve ser documentado.

5.6 Os laboratórios devem ter em conta, no mínimo, as seguintes contribuições, ao determinarem a incerteza de medição de instrumentos de pesagem com mais de 2 000 000 divisões (normalmente balanças analíticas, semi e micro):

- A incerteza dos pesos;
- A estabilidade dos pesos;
- Flutuabilidade dos pesos;
- A repetibilidade do instrumento de pesagem;
- A resolução do instrumento de pesagem;
- Coeficiente de sensibilidade à temperatura;
- A excentricidade (carga de esquina)

Se se verificar que a repetibilidade da balança é nula, presume-se a repetibilidade declarada pelo fabricante.

6. REFERÊNCIAS

- SADCAS TR 12 : Estimativa da incerteza das medições por laboratórios de calibração e especificação da capacidade de calibração e medição nos calendários de acreditação
- SADCAS TR 16 : Critérios para Acreditação de Laboratórios em Metrologia de Massa
- JCGM 100: 2008 : Guia para a Expressão da Incerteza na Medição (GUM)
- OIML R 111-1 : Recomendação Internacional R 111-1 : 2004 (E) Pesos das classes E1, E2, F1, F2, M1, M2, M3
- Goma : Guia para a Expressão da Incerteza nas Medições (GUM)

APÊNDICE A: EXEMPLO DE ORÇAMENTO DE INCERTEZA PARA PESOS

UNCERTAINTY BUDGET								
Description:		Type:			Metrologist:			
Symbol	Description	Type	Expected Value	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient	Uncertainty contribution	Degree of freedom
U_w	Repeatability	A		Normal	1	1		
$U(m_{cr})$	Calib of std	B		Rectangular	2	1		
U_b	Buoyancy	B		Rectangular				
U_{ba}	Resolution	B		Rectangular	1.732051	1		
				Combined standard uncertainty				
				Expanded Uncertainty				
				Degree of freedom V_{eff}				
				Reliability				

APÊNDICE B: EXEMPLO DE ORÇAMENTO DE INCERTEZA PARA INSTRUMENTOS DE PESAGEM

Símbolo	Incerteza Fonte	Incerteza Estimativa [g]	Probabilidade Distribuição	Divisor	Sensibilidade Coeficiente	Incerteza Contribuição [g]		Graus de liberdade
Ws	Pesos		Normal	2	1			
DS	Deriva		Retangular	1.732050808	1			
d	Resolução		Retangular	1.732050808	1			
E	Excentricidade		Retangular	1.732050808	1		Se aplicável	
CS	Deriva de arranque a frio		Retangular	1.732050808	1		Se aplicável	
Wr	Repetibilidade		Normal	1	1		n-1 =	
u(Lx)			Normal		Std combinado. incerteza		veff	
U					Expandido incerteza		Cobertura fator	2.00

1)	Ws : Obtenha a incerteza da norma a partir do seu certificado de calibração									
2)	δDs: A incerteza de deriva pode ser estimada a partir do seu histórico: diferença entre a última e a segunda última calibração/(meses entre a última e a segunda última calibração) x (meses desde a última calibração).									
	Se for utilizada mais do que uma massa para compensar o peso total de referência, considera-se uma soma algébrica, uma vez que os pesos estão correlacionados.									
	Se os pesos de referência não tiverem antecedentes, estima-se que o desvio seja igual à incerteza comunicada no certificado de calibração.									
3)	δId: A incerteza de resolução é δId/2. Pegue a resolução especificada para o saldo (d) e divida por 2. (ou seja, meia largura de uma distribuição retangular).									
4)	δE : Excentricidade, Principalmente incluídos já na incerteza de repetibilidade OU usar dois terços de diferença entre as leituras mínima e máxima obtidas durante o teste de excentricidade, e tratar como meia largura de uma distribuição retangular.									
5)	δCs: Deriva de arranque a frio. Use uma estimativa de zero de saldo é normalmente ligado o tempo todo. Caso contrário, use a diferença entre as									

Página 11 de 12

APÊNDICE C - REGISTO DE ALTERAÇÕES

Status da revisão	Alteração			Aprovado por	Data de Entrada em Vigor
	Página	Cláusula/Subcláusula	Descrição da Alteração		
Nº 1	-	-	-	SADCAS CEO	2018-04-01