



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Campus Joinville

Diretrizes gerais de calibração

Balança Digital

DG-METEQ-CAL-006-01

DIRETRIZES GERAIS PARA CALIBRAÇÃO DE BALANÇA DIGITAL

1. OBJETIVO

Este documento tem como objetivo apresentar as diretrizes básicas (recomendações) para a calibração de balanças com indicação digital de classe I, II, III e IV.

Este documento reúne informações obtidas em normas e documentos reconhecidos, buscando facilitar a interpretação e aplicação desses, auxiliando os laboratórios de calibração na elaboração de procedimentos internos.

2. PARÂMETROS A SEREM AVALIADOS NA CALIBRAÇÃO

- Erro de indicação;
- Erro de excentricidade.

3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- EURAMET Calibration Guide No. 18: Guidelines on the Calibration of Non-Automatic Weighing Instruments. Version 4.0 EURAMET, 2015.
- VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados. Inmetro, 2012.
- NIT-DICLA-021: Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração. Revisão 9. Dicla/Inmetro, 2013. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/Sidog/pesquisa_link.asp?seq_tipo_documento=4&cod_uo_numero_racao=00587&num_documento=021.
- MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012. 518 p.
- OIML R 111-1 Edition 2004 (E): Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M1–2, M2, M2–3 and M3 Part 1: Metrological and technical requirements.
- OIML R76-1 Edition 2006 (E): Non-automatic weighing instruments Part 1: Metrological and technical requirements – Tests.
- Portaria INMETRO nº 236 de 22 de dezembro de 1994. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/rtac/pdf/rtac000180.pdf>>;
- M Gläser 1999 Metrologia 36 183.

4. EXEMPLOS DE INSTRUMENTOS CONTEMPLADOS NA DIRETRIZ



Figura 1 - Balança digital de bancada
<http://www.toledobrasil.com.br>



Figura 2 - Balança digital
<http://www.toledobrasil.com.br>



Figura 3 - Balança analítica
<http://www.toledobrasil.com.br>

5. DEFINIÇÕES

- a) Valor Convencional (VC): valor atribuído ao padrão utilizado;
- b) Indicação: leitura realizada no instrumento em calibração;
- c) Erro de indicação (EI): Diferença entre a indicação no instrumento e o Valor Convencional;
- d) Erro de excentricidade: Erro devido ao posicionamento da carga fora do centro do prato da balança.

6. CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Mudanças no ambiente podem afetar a performance do equipamento já calibrado ao ser transportado de volta para o local de trabalho. Por isso, a calibração do instrumento deve ser realizada no local onde esse é normalmente utilizado.

7. PADRÕES E ACESSÓRIOS

As figuras abaixo apresentam exemplos de padrões utilizados na calibração.



Figura 3 – Conjunto de pesos-padrão
<http://brasilcalibracao.com.br>



Figura 4 – Peso-padrão
<http://brasilcalibracao.com.br>

As classes de peso-padrão são divididas entre E1, E2, F1, F2, M1, M2 e M3. A classe E1 é a mais exata e a M3 a menos exata, conforme especificado no documento de referência OIML R 111-1.

1. Para cada classe de balança, a recomendação é utilizar específicas classes de pesos-padrão:

- Balança Classe I – Pesos F1, E2;
- Balança Classe II – Pesos F2, F1;
- Balança Classe III – Pesos M3, M2, M1;
- Balança Classe IIII – Pesos M3.

8. CONDUÇÃO DA CALIBRAÇÃO

Os métodos aqui descritos não são os únicos métodos de calibração válidos, mas são recomendados para serem usados preferencialmente:

- a) **Pontos de calibração:** selecionar os pontos de acordo com a amplitude da faixa de medição da balança a ser calibrada. Os pontos de calibração devem conter as cargas mínimas (ou Zero) e máximas do instrumento. No mínimo 6 pontos espaçados ao longo da faixa de medição devem ser calibrados. Para balanças das classes I, a recomendação é a calibração de 11 pontos.
- b) **Chechagem visual:** Realizar uma inspeção do instrumento no que se refere aos aspectos funcionais e de conservação, como por exemplo: o estado da tampa e apoio do instrumento e a presença de corrosões e danos visíveis. Cumprir o tempo necessário para estabilização da balança e climatização dos pesos-padrão.
- c) **Ajuste do Zero:** Quando necessário, nivelar a balança e cumprir o tempo necessário para sua estabilização. Realizar o ajuste de zero (tara) da balança.
- d) **Calibração da balança, quanto aos erros de indicação:**
 - Aplicar a carga correspondente ao primeiro ponto de calibração, no centro do prato;
 - Realizar a calibração no ponto seguinte, e assim sucessivamente até atingir a carga máxima;

- Realizar, no mínimo 2 ciclos de medição. (Se a incerteza expandida apresentar um fator de abrangência (k) maior de 2,65, é recomendável realizar mais ciclos de medição).
 - Ao final de ciclo de medição, checar a regulagem do zero da balança.
- e) **Calibração da balança, quanto a repetibilidade:**
- Selecionar um peso-padrão com valor nominal próximo ao meio da faixa de medição da balança;
 - Realizar o ajuste de zero (tara) da balança;
 - Repetir a medição, no mínimo 5 vezes, com reposição do peso-padrão no centro do prato do instrumento de medição.
- f) **Calibração da balança, quanto a Excentricidade:**
- Selecionar um peso-padrão com valor nominal igual ou superior a 1/3 da carga máxima;
 - Realizar as medições sequencialmente sobre as posições 1 a 5, conforme indicado na figura 6 e retornar para a posição 1, realizando uma segunda medição nesta posição. A cada medição, checar o ajuste zero da balança.

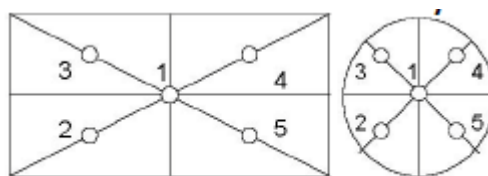


Figura 6 – Medição do erro de excentricidade de balança
 Fonte: EURAMET cg-18: Guidelines on the Calibration of Non-Automatic Weighing Instruments. EURAMET, 2015

9. CÁLCULO DAS CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS

9.2 Cálculo do Erro de Indicação.

O erro de indicação é calculado através da Equação 1, onde $\bar{x}$ é a média das medições realizadas em cada ponto calibrado e (VC) é o valor convencional do peso-padrão.

$$\text{Erro de indicação} = \bar{x} - VC \quad (\text{Eq. 1})$$

9.3 Cálculo do Erro de Excentricidade.

O erro de excentricidade será a maior diferença, em módulo, entre a indicação em um dos quatro pontos e a indicação no centro do prato (Equação 2).

$$\text{Erro de excentricidade} = \text{Max } |Med_i - Ref| \quad i = 2, 3, 4, 5 \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde “Ref” é o valor de referência, obtido da média entre as duas medições realizadas no ponto 1 da Figura 6. “Med_i” é a indicação em cada um dos quatro pontos distribuídos no prato da balança (pontos 2 a 5 na Figura 6).

10. INCERTEZA DE MEDIÇÃO

10.1. Possíveis fontes de Incerteza de Medição na determinação do erro de indicação:

- a) Repetibilidade;
- b) Resolução da balança com carga;
- c) Resolução da balança sem carga;
- d) Efeito do empuxo;
- e) Efeito da convecção;
- f) Erros não corrigidos e incerteza da calibração dos padrões utilizados;
- g) Deriva dos pesos-padrão.

10.2. Formato da planilha para cálculo da Incerteza de medição

Fonte de incerteza	Tipo	Valor	Divisor	$u(x_i)$		Dist. Probab.	c_i	$u_i(y)$	v_i
								$u(y):$	$V_{eff}:$
								U:	k:

Legenda: $u(x_i)$ – Incerteza-padrão de entrada c_i – Coeficiente de sensibilidade $u_i(y)$ – Contribuição para incerteza-padrão v_i – Graus de liberdade $u(y)$ – Incerteza combinada ou incerteza-padrão de saída V_{eff} – Graus de liberdade efetivos k – Fator de abrangência para P(95,45%) U – Incerteza expandida	Fórmulas: $u(x_i) = \frac{\text{Valor}}{\text{divisor}}$ $u_i(y) = c_i \cdot u(x_i)$ $u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2(y)}$ $v_{eff} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$ $U = k \cdot u(y)$
---	--

Apêndice A: Exemplo de calibração de balança digital com faixa de medição de 0 a 500 g com resolução de 0,001 g.

A.1.1 Registro de Calibração

		REGISTRO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇA						
		☒ Digital		☐ Analógica				
1 – DADOS								
N° da balança: <i>Bal-XXX</i>						Data: <i>XX/XX/20XX</i>		
Faixa de Medição: <i>0 - 500 g</i>						Nr. Registro: <i>DIM-XXX</i>		
Resolução: <i>0,001 g</i>						Classe: <i>II</i>		
Fabricante: <i>XYZ</i>						Executante: <i>Fulano de Tal</i>		
2 – Padrões utilizados						3 – Condições ambientais		
• <i>Jogo de pesos padrão</i>						Temperatura Inicial: <i>20,3°C</i> Temperatura Final: <i>20,5°C</i>		
4 – Medições para o Erro de Indicação								
V.C. (g)	Medidas (g)					Média (g)	Erro de indicação (g)	Desvio Padrão (g)
	1° Ciclo	2° Ciclo	3° Ciclo	4° Ciclo	5° Ciclo			
1,0000	<i>0,998</i>	<i>0,999</i>	<i>0,998</i>	<i>0,998</i>	<i>0,998</i>	<i>0,9982</i>	<i>-0,0018</i>	<i>0,00045</i>
49,9999	<i>50,001</i>	<i>50,000</i>	<i>50,000</i>	<i>50,001</i>	<i>50,001</i>	<i>50,0006</i>	<i>0,0007</i>	<i>0,00055</i>
100,0003	<i>100,003</i>	<i>100,002</i>	<i>100,003</i>	<i>100,003</i>	<i>100,002</i>	<i>100,0026</i>	<i>0,0023</i>	<i>0,00055</i>
200,0009	<i>200,005</i>	<i>200,004</i>	<i>200,005</i>	<i>200,004</i>	<i>200,005</i>	<i>200,0046</i>	<i>0,0037</i>	<i>0,00055</i>
350,0045	<i>350,007</i>	<i>350,008</i>	<i>350,006</i>	<i>350,008</i>	<i>350,008</i>	<i>350,0074</i>	<i>0,0029</i>	<i>0,00089</i>
499,9998	<i>500,011</i>	<i>500,012</i>	<i>500,012</i>	<i>500,012</i>	<i>500,012</i>	<i>500,0118</i>	<i>0,0120</i>	<i>0,00045</i>
5 – Medições Para o Erro de excentricidade								
Ponto de medição		Medidas (g)		Diferença com o valor de referência (g)				
1		<i>200,005</i>		<i>-</i>				
2		<i>200,004</i>		<i>-0,001</i>				
3		<i>200,003</i>		<i>-0,002</i>				
4		<i>200,003</i>		<i>-0,002</i>				
5		<i>200,004</i>		<i>-0,001</i>				
1		<i>200,005</i>		<i>-</i>				

A.1.2 Cálculo de Incerteza de Medição

A.1.2.1 Incerteza de medição para o Erro de Indicação para o ponto de medição de 350 g.

$u_i(y)$, $u(y)$, U em g

Fonte de incerteza	Tipo	Valor	Divisor	$u(x_i)$	Dist. Probab.	c_i	$u_i(y)$	v_i
Re	A	0,0009	$\sqrt{5}$	0,00040	t	1	0,00040	4
Res_{carga}	B	0,001	$2\sqrt{3}$	0,00029	R	1	0,00029	∞
$Res_{s.carga}$	B	0,001	$20\sqrt{3}$	0,00003	R	1	0,00003	∞
$U_{PP(50)}$	B	0,00010	2,00	0,00005	N	1	0,00005	∞
$U_{PP(100)}$	B	0,00015	2,00	0,000075	N	1	0,000075	∞
$U_{PP(200)}$	B	0,00030	2,00	0,00015	N	1	0,00015	∞
$D_{(50)}$	B	0,00010	$\sqrt{3}$	0,00006	R	1	0,00006	∞
$D_{(100)}$	B	0,00015	$\sqrt{3}$	0,00009	R	1	0,00009	∞
$D_{(200)}$	B	0,00030	$\sqrt{3}$	0,00017	R	1	0,00017	∞
							$u(y) = 0,00056$	$v_{eff}:15$
							$U:0,0012$	$k=2,18$

Detalhamento das fontes de incerteza:

a) Repetibilidade (Re):

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

s = desvio-padrão das cinco indicações em 350 g
 n = quantidade de medidas utilizadas no cálculo da média
 Distribuição de probabilidade: t

$$c_i = 1$$

$$v_i = n^*$$

n^* = número de medições - 1

b) Resolução da balança com carga (Res_{carga}):

$$u(x_i) = \frac{Res}{2 * \sqrt{3}}$$

Res = Resolução da balança digital

Distribuição de probabilidade: Retangular

$$c_i = 1$$

$$v_i = \infty$$

c) Resolução da balança sem carga ($Res_{s.carga}$):

$$u(x_i) = \frac{Res}{2 * 10 * \sqrt{3}}$$

Res = Resolução da balança digital

Distribuição de probabilidade: Retangular

$$c_i = 1$$

$$v_i = \infty$$

d) Incerteza do peso-padrão (U_{PP}):

$$u(x_i) = \frac{U_{PP}}{k_{PP}}$$

U_{PP} = Incerteza expandida, extraída do certificado de calibração.

k_{PP} = Fator de abrangência para P(95,45%), extraído do certificado de calibração.

Distribuição de Probabilidade: Normal

$$c_i = 1$$

$$v_i = \infty$$

e) Deriva do peso-padrão (D):

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

D = Deriva do peso-padrão em 50, 100 e 200g

Distribuição de probabilidade: Retangular

$$c_i = 1$$

$$v_i = \infty$$

A.1.3 Cálculo de Incerteza de Medição do Erro de Excentricidade.

A.1.3.1 Incerteza de medição para o Erro de excentricidade para o ponto de medição de 200 g.

$u_i(y)$, $u(y)$, U em gramas

Fonte de incerteza	Tipo	Valor	Divisor	$u(x_i)$	Dist. Probab.	c_i	$u_i(y)$	v_i
Re_{centro}	B	0,00055	$\sqrt{2}$	0,00039	N	1	0,00039	4
Re_{ext}	B	0,00055	$\sqrt{1}$	0,00055	N	1	0,00055	4
Res_{centro}	B	0,001	$2\sqrt{3}$	0,00029	R	1	0,00029	∞
Res_{ext}	B	0,001	$2\sqrt{3}$	0,00029	R	1	0,00029	∞
							$u(y)=0,00079$	$v_{eff}=3$
							U:0,0017	k=2,21

Detalhamento das fontes de incerteza:

a) Repetibilidade (Re):

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

s = desvio-padrão das cinco indicações em 200g

n = quantidade de medidas utilizadas no cálculo da média

Distribuição de probabilidade: t

$$c_i = 1$$

$$v_i = n^*$$

n^* = número de medições - 1

b) Resolução da balança (Res):

$$u(x_i) = \frac{Res}{2 * \sqrt{3}}$$

Res = Resolução da balança digital em relação ao centro e ao ponto extremo

Distribuição de probabilidade: Retangular

$$c_i = 1$$

$$v_i = \infty$$



Calibramax Ltda - Laboratório de Metrologia

Rua dos Testes, 100

Cidade – UF

Folha: 01/02

Certificado de calibração n° **DIM-XX**

1 – DADOS:

Solicitante: Exemplus Ltda

Denominação: Balança digital

Faixa Nominal: 500 g

Resolução indicada: 0,001 g

Classe: II

Fabricante: XYZ

Nº do instrumento: BA-XX

Data de calibração: XX/XX/20XX

Valor de divisão de verificação: 0,01 g

2 - DEFINIÇÕES:

Valor Convencional (V.C.): valor atribuído ao padrão utilizado.

Erro de indicação: Diferença entre o valor medido no centro da balança e o valor convencional do peso-padrão;

Erro de excentricidade: Erro devido ao posicionamento da carga fora do centro do prato da balança.

3 - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO:

PROC-C-006-01 Revisão XX: Calibração de Balança Digital.

Os erros de indicação de medição foram obtidos através da comparação com os pesos-padrão.

Foram realizados cinco ciclos de medição no centro da balança para determinação do erro de indicação.

Para o erro de excentricidade, foi realizada uma medição em cada posição pré-determinada e duas medições no centro do prato da balança.

Condições ambientais: 20°C ± 1°C

4 - PADRÃO UTILIZADO:

Jogo de Pesos Padrão (P-XXX), calibrado em XX de XXX de 20XX, por *ReferenciaPlus* – Certificado de calibração – RF-0XX. Próxima calibração: XX/20XX.



Calibramax Ltda - Laboratório de Metrologia
Rua dos Testes, 100
Cidade - UF

Certificado de calibração n° DIM-XX

Folha: 02/02

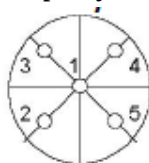
5 – RESULTADOS (g):

Erro de Indicação						
V.N. (g)	V.C. (g)	Médias obtidas* (g)	Erro de indicação (g)	Incerteza de medição (g)	Fator de abrangência (k)	Graus de liberdade (v_{eff})
1,00000	1,0000	0,9982	-0,0018	0,0007	2,07	38
50,0000	49,9999	50,0006	0,0007	0,0008	2,11	25
100,0000	100,0003	100,0026	0,0023	0,0008	2,10	27
200,0000	200,0009	200,0046	0,0037	0,0009	2,06	42
350,0000	350,0045	350,0074	0,0029	0,0012	2,18	15
500,0000	499,9998	500,0118	0,0120	0,0013	2,00	∞

*Os resultados referem-se à média de 5 ciclos de medição

Erro de Excentricidade				
Posição *	Referência-2	Referência-3	Referência-4	Referência-5
Medidas obtidas (g)	-0,001	-0,002	-0,002	-0,001
Erro de Excentricidade (g)	Incerteza de medição (g)	Fator de abrangência (k)		Graus de liberdade (v_{eff})
0,002	0,0017	2,21		13

*As posições foram definidas de acordo com a figura a seguir, sendo referência a média entre as duas medidas na posição 1.



6 – OBSERVAÇÕES:

Notas:

- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k , o qual para uma distribuição t com v_{eff} graus de liberdade efetivos correspondem a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02 M:2013.
- Os resultados de k e (v_{eff}) estão na tabela de resultados de calibração.
- Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer lotes.
- Não é permitida a reprodução parcial deste certificado.

Apêndice B: Exemplo de calibração de balança analítica com faixa de medição de 0 a 220 g com resolução de 0,0001 g.

B.1.1 Registro de Calibração

		REGISTRO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇA							
		☒ Digital				☐ Analógica			
1 – DADOS									
N° da balança: <i>Bal-XXX</i>						Data: <i>XX/XX/20XX</i>			
Faixa de Medição: <i>0 - 220 g</i>						Nr. Registro: <i>DIM-XXX</i>			
Resolução: <i>0,0001 g</i>						Classe: <i>I</i>			
Fabricante: <i>XYZ</i>						Executante: <i>Fulano de Tal</i>			
2 – Padrões utilizados						3 – Condições ambientais			
<i>• Jogo de pesos padrão</i>						Temperatura Inicial: <i>20,3°C</i> Temperatura Final: <i>20,5°C</i>			
4 – Indicação									
V.N. (g)	V.C. (g)	Medidas (g)				Média (g)	Erro de indicação (g)		
		1	2	3	4				
0,0100	0,0103	0,0101	0,0101	-	-	0,0101	-0,0002		
0,5000	0,5001	0,5000	0,5002	-	-	0,5001	0,0000		
2,0000	2,0003	1,9997	1,9999	-	-	1,9998	-0,0005		
5,0000	5,0001	5,0003	4,9999	-	-	5,0001	0,0000		
10,0000	9,9997	9,9999	10,0001	-	-	10,0000	0,0003		
20,0000	20,0001	19,9999	20,0001	-	-	20,0000	-0,0001		
50,0000	49,9998	50,0002	50,0000	-	-	50,0001	0,0003		
100,0000	100,0003	100,0006	100,0004	-	-	100,0005	0,0002		
150,0000	150,0002	150,0005	150,0001	-	-	150,0003	0,0001		
200,0000	200,0003	199,9999	200,0001	-	-	200,0000	-0,0003		
220,0000	219,9998	220,0004	220,0002	-	-	220,0003	0,0005		
5 – Repetibilidade									
V.N. (g)	Medidas (g)					Número de medidas	Desvio padrão (g)		
	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo	4º ciclo	5º ciclo				
100	100,0001	100,0003	100,0003	100,0002	100,0003	10	0,000088		
	100,0002	100,0001	100,0003	100,0001	100,0002				
6 – Excentricidade									
V.N. (g)	Medidas						Maior	Menor	Erro de Excent.
	1	2	3	4	5	1			
100	100,0006	100,0004	100,0005	100,0007	100,0005	100,0006	100,0007	100,0004	0,0002

B.1.2 Cálculo de Incerteza de Medição

B.1.2.1 Incerteza de medição para o Erro de Indicação para o ponto de medição de 100 g.

Fonte de incerteza	Tipo	Valor	Divisor	$u(x_i)$	Dist. Probab.	c_i	$u_i(y)$	v_i
Re	A	0,000088	$\sqrt{2}$	0,000062	t	1	0,000062	9
Res_{carga}	B	0,0001	$2\sqrt{3}$	0,000028	R	1	0,000028	∞
$Res_{s.carga}$	B	0,0001	$20\sqrt{3}$	0,0000028	R	1	0,0000028	∞
U_{pp}	B	0,00015	2,00	0,000075	N	1	0,000075	∞
D	B	0,00015	$\sqrt{3}$	0,000086	R	1	0,000086	∞
B	B	0,000008	1	0,000008	R	1	0,000008	∞
Ecc	B	0,0002	$\sqrt{3}$	0,00012	R	1	0,00012	∞
Conv	B	0,00008	$\sqrt{3}$	0,000046	R	1	0,000046	∞
							$u(y)=0,00018$	$v_{eff}: \infty$
							U:0,00036	k= 2,00

Detalhamento das fontes de incerteza:

a) Empuxo (B):

$$u(x_i) = \sqrt{1,07 \times 10^{-4} + 1,33 \times 10^{-6} \Delta T^2} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_c} + \frac{mpe}{4m_n \sqrt{3}}$$

$$v_i = \infty$$

$$c_i = 1$$

ρ_0 = densidade padrão do ar, 1,2 kg/m³

ρ_c = densidade padrão do peso padrão, 8000 kg/m³

mpe = erro máximo admissível para o peso-padrão. Para o exemplo foi utilizado um peso-padrão classe F1.

m_n = massa nominal do peso-padrão

ΔT = máxima variação de temperatura do ambiente. Para o exemplo foi considerado $\Delta T = 5^\circ\text{C}$
Ver apêndice 3

Distribuição de probabilidade: Retangular

b) Excentricidade (Ecc):

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

I_{ecc} = Erro de excentricidade

Distribuição de probabilidade: Retangular

$$c_i = 1$$

$$v_i = \infty$$

c) Convecção (Conv):

$$u(x_i) = \frac{\Delta m_{conv}}{\sqrt{3}}$$

Δm_{conv} = Mudança aparente de massa, em mg, devido a diferença de temperatura entre o peso padrão e o ar ambiente.

Para o exemplo foi considerado $\Delta T = 2^\circ\text{C}$
Ver apêndice 4

Distribuição de probabilidade: Retangular

$$c_i = 1$$

$$v_i = \infty$$

B.1.3 Modelo de Certificado de Calibração



Calibramax Ltda - Laboratório de Metrologia

Rua dos Testes, 100

Cidade – UF

Folha: 01/02

Certificado de calibração n° **DIM-XX**

1 – DADOS:

Solicitante: Exemplus Ltda

Denominação: Balança digital

Faixa Nominal: 220 g

Resolução indicada: 0,0001 g

Classe: I

Fabricante: XYZ

N° do instrumento: BA-XX

Data de calibração: XX/XX/20XX

Valor de divisão de verificação: 0,001 g

2 - DEFINIÇÕES:

Valor Convencional (V.C.): valor atribuído ao padrão utilizado.

Erro de indicação: Diferença entre o valor medido no centro da balança e o valor convencional do peso-padrão;

Erro de excentricidade: Erro devido ao posicionamento da carga fora do centro do prato da balança.

3 - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO:

PROC-C-006-01 Revisão XX: Calibração de Balança Digital.

Os erros de indicação de medição e de excentricidade foram obtidos através da comparação com os pesos-padrão.

Foram realizados dois ciclos de medição no centro da balança para determinação do erro de indicação.

Para o erro de excentricidade, foi realizada uma medição em cada posição pré-determinada.

Condições ambientais: 20°C ± 5°C

4 - PADRÃO UTILIZADO:

Jogo de Pesos Padrão (P-XXX), calibrado em XX de XXX de 20XX, por *ReferenciaPlus* – Certificado de calibração – RF-0XX. Próxima calibração: XX/20XX.



Calibramax Ltda - Laboratório de Metrologia

Rua dos Testes, 100

Cidade - UF

Certificado de calibração n° **DIM-XX**

Folha: 02/02

5 – RESULTADOS (g):

Erro de Indicação						
V.N. (g)	V.C. (g)	Médias obtidas* (g)	Erro de indicação (g)	Incerteza de medição (g)	Fator de abrangência (k)	Graus de liberdade (v_{eff})
0,0100	0,0103	0,0101	-0,0002	0,0008	2,00	∞
0,5000	0,5001	0,5001	0,0000	0,0003	2,00	∞
2,0000	2,0003	1,9998	-0,0005	0,0003	2,00	∞
5,0000	5,0008	5,0001	0,0000	0,0003	2,00	∞
10,0000	9,9991	10,0000	0,0003	0,0003	2,00	∞
20,0000	20,0001	20,0000	-0,0001	0,0003	2,00	∞
50,0000	49,9989	50,0001	0,0003	0,0003	2,00	∞
100,0000	100,0008	100,0005	0,0002	0,0004	2,00	∞
150,0000	150,0010	150,0003	0,0001	0,0004	2,00	∞
200,0000	200,0009	200,0000	-0,0003	0,0006	2,00	∞
220,0000	219,9998	200,0003	0,0005	0,0006	2,00	∞

*Os resultados referem-se à média de 2 ciclos de medição

6 – OBSERVAÇÕES:

Notas:

- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com v_{eff} graus de liberdade efetivos correspondem a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02 M:2013.
- Os resultados de (k) e (v_{eff}) estão na tabela de resultados de calibração.
- Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer lotes.
- Não é permitida a reprodução parcial deste certificado.

Apêndice C: Empuxo

Para o ajuste de um instrumento de pesagem deve ser usado um peso-padrão já calibrado, ou seja, para a densidade padrão do ar, a balança deve indicar a massa convencional desse peso-padrão, existente em seu certificado de calibração.

C.1.1 Correção do empuxo

A correção do empuxo é realizada quando se possui informação sobre a densidade do ar e, em geral, é aplicável quando o instrumento foi sujeito a um ajuste antes da calibração:

$$\delta m_b = -m_c(\rho_a - \rho_0)\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_c}\right) \quad (\text{Eq. 3})$$

A densidade do ar é calculada através da seguinte fórmula:

$$\rho_a = \frac{0,34848p - 0,009RH \exp(0,061t)}{273,15 + t} \quad (\text{Eq. 4})$$

C.1.2 Incerteza padrão relacionada ao empuxo

C.1.2.1 Cálculo da incerteza relativa do efeito do empuxo, caso a correção do empuxo tenha sido realizada:

$$u_{rel}^2(\delta m_b) = u^2(\rho_a) \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_c} \right)^2 + \frac{(\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho)}{\rho^4} \quad (\text{Eq. 5})$$

Para o cálculo da incerteza da densidade do ar $u(\rho_a)$, tem-se que:

$$u(\rho_a) = \left(\sqrt{(1 \times 10^{-5} \cdot u(p))^2 + (-4 \times 10^{-3} \cdot u(T))^2 + (-9 \times 10^{-3} \cdot u(RH))^2 + (2,4 \times 10^{-4})^2} \right) * \rho_a \quad (\text{Eq. 6})$$

tal que,

$$u(p) = P, \text{ em hPA}$$

$$u(T) = \Delta T / \sqrt{12}, \Delta T = T_{max} - T_{min}$$

$$u(RH) = \Delta RH / \sqrt{12}, \Delta RH = RH_{max} - RH_{min}, \text{ sem unidade}$$

A formula pode ser simplificada, considerando $\mu(p) = 10\text{hPa}$ e variação máxima da Umidade Relativa de 100%, sendo ΔT em °C:

$$u(\rho_a) = \left(\sqrt{1,07 \times 10^{-4} + 1,33 \times 10^{-6} \Delta T^2} \right) * \rho_a \quad (\text{Eq. 7})$$

C.1.2.2 Cálculo da incerteza relativa do efeito do empuxo, se o instrumento for ajustado antes da calibração:

$$u_{rel}(\delta m_b) \approx mpe / (4m_n \sqrt{3}) \quad (\text{Eq. 8})$$

C.1.2.3 Cálculo da incerteza relativa do efeito do empuxo, se o instrumento não for ajustado antes da calibração:

$$u_{rel}(\delta m_b) \approx (0,1\rho_0/\rho_c + mpe/(4m_n))/\sqrt{3} \quad (\text{Eq. 9})$$

C.1.2.4 Cálculo da incerteza relativa do efeito do empuxo, se o instrumento não foi ajustado antes da calibração, mas se pode o instrumento assumir informação de variação de temperatura:

$$u_{rel}(\delta m_b) \approx \sqrt{1,07 \times 10^{-4} + 1,33 \times 10^{-6} \Delta T^2} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_c} + \frac{mpe}{4m_n\sqrt{3}} \quad (\text{Eq. 10})$$

em que a temperatura ambiente pode ser assumida a partir das seguintes condições:

- $17^\circ\text{C} \leq t \leq 27^\circ\text{C}$ para laboratórios ou escritórios fechados com janelas,
- $\Delta T \leq 5^\circ\text{C}$ para quartos fechados sem janelas no centro de um prédio,
- $-10^\circ\text{C} \leq t \leq +30^\circ\text{C}$ ou $\Delta T \leq 40^\circ\text{C}$ para oficinas ou fábricas.

C.1.3 Símbolos

Símbolos	Definição
m_c	valor convencional
mpe	erro máximo permitido
m_n	valor nominal
ρ	densidade peso-padrão
ρ_a	densidade do ar, em kg/m^3
ρ_{as}	densidade do ar antes da calibração
ρ_0	densidade padrão do ar, $\rho_0 = 1,2 \text{ kg/m}^3$
ρ_c	densidade padrão do peso-padrão, $\rho_c = 8000 \text{ kg/m}^3$
RH	umidade relativa, em %
p	pressão barométrica, em hPa
t	temperatura, em $^\circ\text{C}$
$u(\rho)$	Incerteza densidade do peso padrão

Apêndice D: Convecção

A diferença de temperatura (ΔT , em $^{\circ}\text{C}$) entre o peso-padrão utilizado e o ar ambiente, gera um fluxo de ar que causa forças de atrito na superfície vertical e, forças de tração e compressão na horizontal, resultando em uma mudança de massa aparente (Δm_{conv}).

$$u(\delta m_{conv}) = \frac{\Delta m_{conv}}{\sqrt{3}} \quad (\text{Eq. 11})$$

em que, Δm_{conv} pode ser calculado por:

$$\Delta m_{conv} = -k_v m^{3/4} \frac{\Delta T}{|\Delta T|^{1/4}} - k_h m \Delta T \quad (\text{Eq. 12})$$

tal que, $K_v = 2,15 \times 10^{-7}$ e $K_h = 7,54 \times 10^{-8}$, são constantes relacionadas ao fluxo de ar, obtidas da tabela 4 do documento de referência (h).