

AS PLANILHAS DE CÁLCULO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO PARA OS SERVIÇOS DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS REALIZADAS PELO LABORATÓRIO DE MARINGÁ DO IPEM-PR

Maciel, M. A. D.¹

¹Instituto de Pesos e Medidas do Estado do Paraná

Resumo. O Laboratório de Maringá do IPEM-PR, acreditado pela Coordenação de Acreditação do INMETRO sob o número 129, realiza calibrações de balanças na faixa de 1 mg até 300 kg.

As estimativas da incerteza destas calibrações são efetuadas de acordo com a Versão Brasileira do documento de referência EA4/02 – Expressão da Incerteza de Medição em Calibração anexo à Norma NIT-Dicla-021, revisão 09 – Expressão da incerteza de medição por laboratórios da calibração emitida pelo INMETRO.

O objetivo deste trabalho é apresentar as componentes de incerteza que integram a incerteza expandida de medição das calibrações de balanças realizadas no Laboratório de Maringá.

Palavras-chave. Balança, Calibração, Incerteza.

1. INTRODUÇÃO

O Laboratório de Maringá do IPEM-PR – LAMAR realiza calibrações de balanças, nas instalações de clientes, na faixa de 1 mg até 300 kg. Para estas calibrações utiliza-se o método de comparação direta com padrões calibrados e rastreados ao Sistema Internacional de Unidades – SI. Este serviço é acreditado pela Coordenação de Acreditação do INMETRO sob o número 129 desde 13 de dezembro de 1999.

Além disso, o LAMAR também é acreditado para os serviços de calibração de pesos padrão na faixa de 50 kg até 2000 kg e medição de massa de peças diversas na faixa de 2000 kg até 5000 kg.

Nas calibrações de balanças, o LAMAR, dependendo da faixa de medição, utiliza os pesos padrão descritos na tabela 1, cujas incertezas declaradas são para uma probabilidade de abrangência de 95% e um coeficiente de abrangência $k = 2$.

Faixa de medição	Padrão utilizado	Incerteza Máxima
1 mg até 10 g	Conjunto de aço inoxidável, classe F1	0,029 mg
20 g até 500 g	Conjunto de aço inoxidável, classe F1	0,25 mg
1 kg até 5 kg	Conjunto de aço inoxidável, classe F2	13 mg
10 kg	Conjunto de ferro fundido, classe M1	50 mg
50 kg	Conjunto de aço inoxidável, classe E2	80 mg
100 kg	Conjunto de aço laqueado, classe F2	700 mg

Tabela 1 – Características dos padrões utilizados na calibração de balanças

O escopo acreditado para os serviços de calibração de balanças estão divididos segundo a Tabela 2.

Faixa de medição	Capacidade de medição e calibração (CMC)
1 mg até < 1 g	0,02 mg até 0,03 mg
1 g até < 10 g	0,03 mg até 0,05 mg
10 g até < 100 g	0,05 mg até 0,40 mg
100 g até < 500 g	0,4 mg até 2,0 mg
500 g até < 1 kg	2 mg até 3 mg
1kg até < 5 kg	5 mg até 10 mg
5 kg até < 20 kg	10 mg até 1000 mg
20 kg até < 120 kg	1,0 g até 2,0 g
120 kg até 300 kg	2 g até 15 g

Tabela 2 – Escopo de serviços e capacidade de medição e calibração

2. MÉTODO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS

No Laboratório de Maringá é utilizado o método de comparação direta com padrões rastreados ao Sistema Internacional de Unidades SI nas instalações de uso da balança. A calibração consiste em submeter um sistema de medição a

valores conhecidos do mensurando e, em condições bem definidas, avaliar sua resposta, conforme é ilustrado na figura 1.



Figura 1 – Calibração de balança

Uma das formas para o cálculo do peso de um objeto colocado sobre o prato da balança, onde deve-se determinar, para cada ponto, a média aritmética das leituras ($L_{médio}$), de acordo com a equação 1:

$$L_{médio} = \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) / n$$

Onde:

X_i - leitura em cada ponto, em g;

n – número de leituras em cada ponto.

Além disso, o erro de indicação e_i para cada carga é então determinado aplicando-se a equação 2:

$$e_i = L_{médio} - (VN + E_p)$$

Onde:

e_i – erro de indicações, em g;

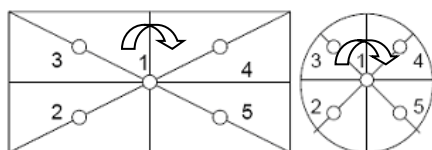
$L_{médio}$ – média das leituras, em g;

VN – Valor nominal do padrão, em g;

E_p – erro do padrão, em g.

A excentricidade da balança é calculada pela diferença de leitura, em relação ao centro, quando uma determinada massa, entre $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{3}$ da capacidade máxima, é

colocada em diferentes pontos do prato da balança, de acordo com esquema a seguir.



O valor da excentricidade é a maior diferença entre a indicação do carregamento no ponto 1 (centro) e nos outros pontos.

3. ESTIMATIVA DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Na estimativa da incerteza de medição de todas as calibrações realizadas o Laboratório de Maringá segue a recomendação do ISO GUM 95 – Guia para a expressão da incerteza de medição publicado em anexo a norma NIT-DICLA-021 – Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração, revisão 09, onde a incerteza relatada é a incerteza expandida, declarada como incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k igual a 2, o qual para uma distribuição t com v_{eff} declarado, corresponde a uma probabilidade de abrangência de, aproximadamente, 95%, cujas contribuições são listadas na Tabela 3.

Nome da fonte de incerteza	Contribuição das Incertezas Individuais (I_i)	Graus de liberdade (v_i)
Incerteza atribuída ao Padrão utilizado (I_{pad})	Valor da incerteza do padrão dividido pelo fator de abrangência k	∞
Incerteza devida à deriva do Padrão em Função do Tempo (I_{der})	Valor da deriva do padrão dividido por $\sqrt{3}$	∞
Resolução do Instrumento Calibrado (I_{res})	Valor da resolução do instrumento dividido por 2, dividido por $\sqrt{3}$	∞
Incerteza devida à Repetitividade das Indicações (I_{rep})	Valor do desvio padrão amostral das indicações dividido por $\sqrt{n}$	(n-1)
Incerteza relativa ao empuxo do ar (I_{emp})	1 ppm do valor nominal do peso-padrão dividido por $\sqrt{3}$ para objetos de aço inoxidável e níquel 2 ppm do valor nominal do peso-padrão dividido por $\sqrt{3}$ para objetos de ferro fundido 3 ppm por milhão do valor nominal do peso-padrão dividido por $\sqrt{3}$ para objetos de latão	∞

Tabela 3 – Fontes de incerteza consideradas na calibração de balanças.

4. DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO

4.1. Incerteza atribuída ao Padrão Utilizado (I_{pad})

É o valor da incerteza do padrão utilizado dividido pelo fator de abrangência k , ambos fornecidos pelo certificado de calibração.

$$I_{pad} = I_{cer} / k \quad (1)$$

Onde:

I_{cer} – incerteza declarada no certificado de calibração do padrão, em g;

k – fator de abrangência declarado no certificado de calibração do padrão, em g.

4.2. Incerteza devida à deriva do Padrão em Função do Tempo (I_{der})

O valor da deriva pode ser obtido de três formas:

- Para padrões não-ajustados e com histórico de calibração conhecido, subtrai-se do erro do último certificado válido a média dos erros obtidos em todas as calibrações dos padrões divididos por $\sqrt{3}$.

$$I_{der} = (e_p - e_{média}) / \sqrt{3} \quad (2)$$

Onde:

e_p – erro do padrão, em g;

$e_{média}$ – média dos erros obtidos de todos os certificados de calibração anteriores do padrão, em g.

- Para padrões novos (sem histórico de calibração conhecido) utiliza-se:

$$I_{der} = I_p / \sqrt{3} \quad (3)$$

Onde:

I_p – incerteza do padrão fornecida pelo último certificado de calibração, em g.

- Para padrões ajustados utiliza-se:

$$I_{der} = (e_{\text{após ajuste}} - e_{\text{antes do ajuste}}) / \sqrt{3} \quad (4)$$

Onde:

$e_{\text{após ajuste}}$ – erro do padrão após o ajuste, em g;

$e_{\text{antes do ajuste}}$ – erro do padrão anterior ao ajuste, em g.

4.3. Incerteza devido à resolução do Instrumento Calibrado (I_{res})

É o valor da resolução do instrumento calibrado dividido por 2, dividido por $\sqrt{3}$.

$$I_{res} = (Res/2)/\sqrt{3} \quad (5)$$

Onde:

Res – valor da resolução do instrumento calibrado, em g.

4.4. Incerteza devida à Repetitividade das Indicações (I_{rep})

É o valor associado ao desvio padrão amostral das sequências de leituras. O desvio padrão é calculado por meio da equação 6:

$$S = (\sum_{i=1}^n (L_{\text{médio}} - L_i)^2 / (n - 1))^{1/2} \quad (6)$$

Onde:

s – desvio padrão amostral das sequências de leituras, em g;

n – número de sequências de leitura;

$L_{\text{médio}}$ – leitura média para cada ponto, em g;

L_i – leitura em cada sequência para um mesmo ponto, em g.

A Incerteza devida à Repetitividade das indicações (I_{rep}) é definida pela equação 7:

$$I_{rep} = s / \sqrt{n} \quad (7)$$

Onde:

s – Desvio padrão amostral das sequências de leituras, em g;

n – número de sequências de leitura.

4.5. Incerteza relativa ao Empuxo do Ar (I_{emp})

O empuxo do ar é estimado em função da influência da força contrária gerada

pelo volume de ar deslocado durante o carregamento de um peso-padrão sobre o receptor de carga da balança, e sua contribuição é dada pela tabela 3.

4.6. Incerteza combinada (I_c):

A incerteza combinada é determinada pela raiz quadrada da soma quadrática das contribuições individuais das fontes de incerteza, e fornece o valor da incerteza de medição para uma probabilidade de abrangência de, aproximadamente, 68% (equação 8).

$$I_c = (I_{rep}^2 + I_{pad}^2 + I_{der}^2 + I_{res}^2 + I_{emp}^2)^{1/2} \quad (8)$$

Onde:

I_{rep} – Incerteza devida à repetitividade da balança, em g;

I_{pad} – Incerteza atribuída ao Peso-Padrão, em g;

I_{der} – Incerteza devida à deriva do Peso-Padrão em Função do Tempo, em g;

I_{res} – Incerteza devida à Resolução do Comparador de Massa, em g;

I_{emp} – Incerteza relativa ao Empuxo do Ar, em g.

4.7. Incerteza expandida (I)

A incerteza expandida fornece o valor da incerteza de medição para uma probabilidade de abrangência de, aproximadamente, 95%, e é dada pela equação 10.

$$I = k \cdot I_c. \quad (9)$$

Onde:

I - Incerteza expandida;

I_c - Incerteza combinada;

k - fator de abrangência, para uma probabilidade de abrangência de, aproximadamente, 95%;

4.8. As fontes de incerteza consideradas, bem como suas respectivas contribuições e os graus de liberdade associados, são apresentadas na Tabela 4 e a Figura 2 mostra a composição linear das componentes da incerteza de

medição do ponto 100 g de uma balança analítica digital de capacidade máxima de 220 g e resolução de 0,1 mg realizada pelo Laboratório de Maringá.

Fontes de incerteza	Valor (mg)	Distribuição	Divisor	Coefficiente de sensibilidade	Incerteza (mg)	Graus de liberdade (ν_i)
Incerteza do Padrão	0,016	Normal	2	1	0,008	4
Deriva do Padrão	0,0091	Normal	$\sqrt{3}$	1	0,005	∞
Resolução do Instrumento	0,1	Retangular	$\sqrt{3}$	1	0,029	∞
Repetitividade das Indicações	0,1	Normal	$\sqrt{3}$	1	0,058	2
Empuxo do ar	1	Normal	$\sqrt{3}$	1	0,001	∞
Incerteza Combinada	-	Normal	-	-	0,002	6
Incerteza Expandida	-	Normal K = 2,52 95%	-	-	0,005	-

Tabela 4 – Fontes de incerteza de medição de balanças.

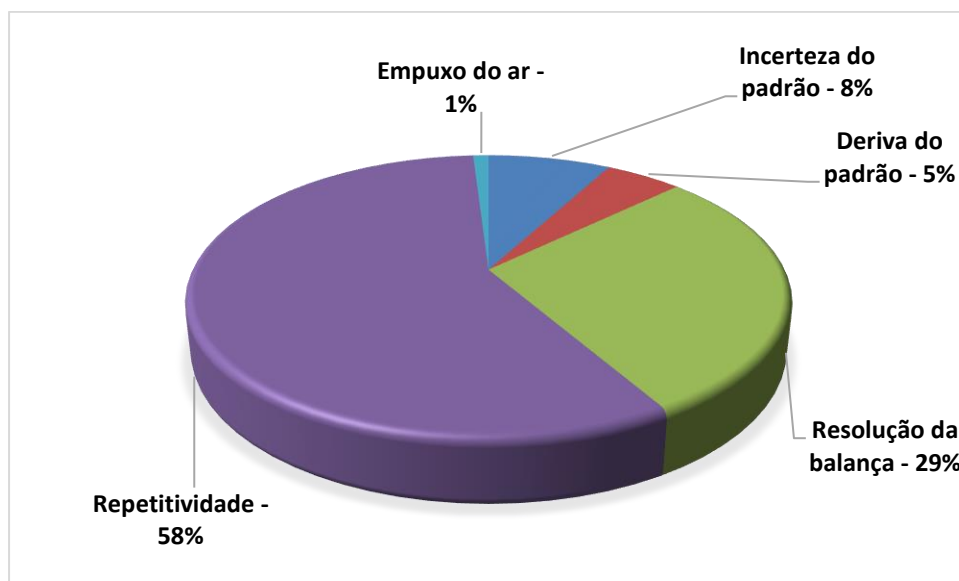


Figura 2 – Composição linear das componentes das incertezas

CONCLUSÕES

A planilha de incertezas apresentada, como exemplo para a calibração de uma balança analítica, evidencia que as componentes da incerteza de medição mais significativas são referentes ao instrumento sob calibração, isto é, a repetitividade das indicações e a resolução do instrumento que representam 58% e 29% da incerteza expandida, respectivamente.

Devido à contribuição da componente da incerteza referente à repetitividade das medições ter apresentado um valor bastante significativo na incerteza total na calibração da balança analítica sugere-se um controle rígido das condições ambientais na calibração deste tipo de instrumentos.

REFERÊNCIAS

Avaliação de dados de medição – Guia para a expressão da incerteza de medição – GUM 2008. Duque de Caxias, RJ: INMETRO, 2012.

NIT-DICLA-021, rev.: 09 – Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração. Duque de Caxias, RJ: INMETRO, 2013.

Maciel, Marco A. D., A Rastreabilidade de medição no Laboratório de Maringá do IPEM/PR. Curitiba. 2019. Disponível em

www.ipem.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo133

Abstract. *The Mass Laboratory of Maringá of the IEM-PR makes calibrations in balances. All the uncertainties of these calibrations are estimated according to ISO gum 95 (International Organization for Standardization, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1993 revised and reprinted in 1995).*

The objective of this work is to show the uncertainty compounds that integrate the measurement expanded uncertainty of all balances calibration made in the Mass Laboratory of Maringá of the IPEM-PR.