



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA
Núcleo de Qualidade Metrológica

Proc. 1104/11/17804

PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE COMPARADORES DE ACORDO COM A NORMA DE REFERÊNCIA ISO 463:2006

Estudo realizado no âmbito do Projeto de Investigação
“Desenvolvimento da Qualidade Metrológica de
Instrumentação Científica Aplicada em Engenharia Civil”

Lisboa • março de 2012

I&D INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO 120/2012 – CIC/NQM

**Procedimento de Calibração de Comparadores de Acordo com a Norma de Referência
ISO 463:2006**

Resumo

O presente relatório apresenta um procedimento de calibração de comparadores, de acordo com a norma de referência ISO 463: 2006, desenvolvido no Centro de Instrumentação Científica do LNEC e realizado pelo Laboratório Central de Apoio Metrológico (LCAM) nas suas instalações laboratoriais.

**Calibration Procedure of Dial Gauges According to the Reference Standard
ISO 463:2006**

Abstract

This report presents a calibration procedure of dial gauges, according to the reference standard ISO 463:2006, developed at LNEC's Scientific Instrumentation Centre and performed by the Central Laboratory for Metrological Support (LCAM) at its own laboratory facilities.

**Procédure d'Étalonnage des Comparateurs Selon la Norme de Référence
ISO 463:2006**

Résumé

Ce rapport présente une procédure pour l'étalonnage des comparateurs, selon la norme de référence ISO 463:2006, développée au Centre d'Instrumentation Scientifique du LNEC et réalisée par le Laboratoire Central de Soutien Métrologique (LCAM) dans leurs installations de laboratoire.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. CONTEÚDO DO RELATÓRIO	3
Anexo 1 Procedimento de Calibração E0201 (v. 04) - Comparadores	
Analógicos e Digitais	5

PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE COMPARADORES DE ACORDO COM A NORMA DE REFERÊNCIA ISO 463:2006

1 INTRODUÇÃO

No âmbito do processo “Desenvolvimento da Qualidade Metrológica de Instrumentação Científica Aplicada em Engenharia Civil”, o Núcleo de Qualidade Metrológica (NQM) do Centro de Instrumentação Científica tem promovido, entre outros estudos, a elaboração de procedimentos aplicáveis à calibração de instrumentos de medição e ao ensaio metrológico de equipamentos laboratoriais.

Esta atividade foi inicialmente orientada para a satisfação das necessidades do Laboratório Central de Apoio Metrológico (LCAM), inserido no NQM, dos laboratórios de ensaio acreditados do LNEC e, ainda, de clientes externos ao LNEC. No entanto, a vocação natural de serviço transversal do NQM tem conduzido a uma crescente solicitação deste tipo de atividade por parte de outros setores do LNEC bem como de entidades externas que desenvolvem ações fora do ambiente laboratorial comum, nomeadamente, realizando a medição e monitorização de grandezas em ambiente industrial e em ensaios de campo.

No presente caso trata-se da calibração de um equipamento com significativa utilização na atividade do LNEC, nomeadamente, em laboratórios de ensaios. A versão atual do procedimento de calibração visa dar cumprimento aos requisitos que se encontram descritos na norma de referência ISO 463:2006. A rastreabilidade é estabelecida com base em padrões de referência dimensionais, designadamente, transdutores de deslocamento.

Os procedimentos de calibração e ensaio metrológico desenvolvidos no NQM são, regra geral, baseados em normas portuguesas ou, na ausência destas, em normas estrangeiras ou internacionais. No presente caso, o LCAM desenvolveu um procedimento que visa assegurar o bom desempenho instrumental do equipamento em diversos ensaios experimentais, promovendo-se a identificação dos padrões de referência apropriados, a seleção dos métodos de ensaio adequados à avaliação do nível de exatidão da escala dimensional e a descrição detalhada das etapas do procedimento de calibração.

Num contexto mais amplo refira-se que o procedimento que é objeto do presente relatório faz parte do acervo de mais de 80 procedimentos de calibração e de ensaio metrológico desenvolvidos pelo NQM, os quais contêm indicações pormenorizadas dos

diferentes aspetos que suportam os serviços prestados pelo LCAM constituindo uma parte importante do Sistema de Gestão (da Qualidade) deste laboratório, que se encontra acreditado desde 1994.

A publicação deste tipo de documentos resulta da necessidade de consolidação e disseminação de conhecimento associado à introdução de novos procedimentos (situação que ocorre neste caso), bem como da necessidade de introdução de revisões periódicas dos documentos previamente editados, ditada quer pela evolução dos processos operativos e das capacidades técnicas quer pela adoção de requisitos mais exigentes.

Esta iniciativa serve também para divulgar informação relevante e atualizada, ainda que de uma forma reservada, aos clientes do LCAM, que assim poderão interpretar melhor os resultados das calibrações ou dos ensaios metrológicos realizados e apresentados nos certificados emitidos pelo LCAM.

2 CONTEÚDO DO RELATÓRIO

No Anexo do presente relatório é divulgado o Procedimento E0201 (versão 04) designado por “Procedimento de Calibração de Comparadores Analógicos e Digitais”, elaborado com base na norma de referência ISO 463:2006. Este procedimento visa efetuar a avaliação de um conjunto de requisitos metrológicos que pretendem assegurar a qualidade das medições neste equipamento de medição laboratorial.

O procedimento de calibração é constituído por cinco seções que incluem:

- a avaliação do nível de exatidão da escala de medição dimensional;
- a determinação da repetibilidade;
- a avaliação da força exercida pela haste do comparador.
- o método de avaliação das incertezas de medição, tendo em conta as contribuições associadas aos padrões de referência, ao equipamento a ensaiar, ao método de calibração e à influência do operador (quando aplicável);
- e o conteúdo informativo do certificado de calibração.

A concretização destes ensaios é efetuada pelo LCAM nas suas instalações laboratoriais, com recurso a padrões de referência deste laboratório, rastreados ao padrão primário da grandeza comprimento.

LNEC, Lisboa, março de 2012

VISTOS

O Diretor do CIC,



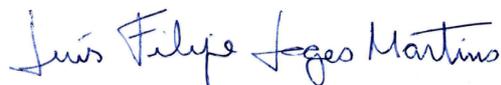
Carlos Oliveira Costa

AUTORIA



Álvaro Silva Ribeiro

Lic.º em Física Tecnológica, Doutor
Investigador Auxiliar, Chefe do NQM



Luís Filipe Lages Martins

Lic.º em Engenharia Mecânica
Bolseiro de Doutoramento

ANEXO 1

Procedimento de Calibração E0201 (v. 04) – Comparadores Analógicos e Digitais



Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Centro de Instrumentação Científica
Laboratório Central de Apoio Metrológico

PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO E0201 (VERS. 4)

Comparadores digitais e analógicos

INDICE

1 - ÂMBITO E EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA	3
2 - PRINCÍPIO DE MEDIÇÃO	3
3 - MÉTODO DE CALIBRAÇÃO	3
4 - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO	3
4.1 - Introdução	3
4.2 - Capacidade do LCAM para calibrar um comparador	4
4.3 - Inspeção visual e preparação da calibração	4
4.4 - Montagem do comparador na instalação de calibração	4
4.5 - Procedimento de calibração	4
4.6 - Determinação dos resultados e da incerteza	6
4.7 - Certificado de calibração	7
5 - GRANDEZAS DE INFLUÊNCIA	8
6 - DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	8
Anexo 1 - Modelo matemático e componentes da avaliação de incertezas	9

RESERVADO

1 – ÂMBITO E EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA

O Laboratório Central de Apoio Metrológico executa a calibração de comparadores digitais e analógicos cuja resolução não ultrapasse 0,001 mm e o intervalo de medição se encontre compreendido entre 0 mm e 50 mm, usando como referência normativa a norma ISO 463 [1] e como suporte de vocabulário o VIM [2].

Para realizar a calibração de comparadores analógicos ou digitais, o LCAM dispõe do seguinte equipamento padrão:

- *transdutores de deslocamento com indicador dedicado, rastreados a um padrão primário da grandeza comprimento;*
- *máquina de medição de coordenadas unidimensional rastreada a um padrão primário da grandeza comprimento;*
- *transdutor de força com indicador dedicado, rastreado a padrões primários da grandeza massa.*

2 - PRINCÍPIO DE MEDIÇÃO

O princípio de medição consiste na aplicação de deslocamentos padrão gerados pelo equipamento de calibração.

3 - MÉTODO DE CALIBRAÇÃO

O método de calibração baseia-se na comparação entre a materialização dos comprimentos de referência e os valores indicados pelos instrumentos a calibrar.

4 - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO

4.1 - Introdução

Apresenta-se, a seguir, um procedimento interno de calibração de comparadores com alcance até 50 mm elaborado pelo LNEC.

4.2 - Capacidade do LCAM para calibrar um comparador

Quando solicitado para calibrar um comparador, o LCAM avaliará a sua capacidade para efetuar a operação tendo em conta o alcance, a exatidão do equipamento de calibração e a resolução do comparador.

4.3 – Inspeção visual e preparação da calibração

Observar o aspecto exterior do comparador e anotar eventuais sinais de degradação na caixa, ponta de contacto, haste, mostrador e ponteiro ou indicador digital.

Colocar o instrumento a calibrar no laboratório pelo menos 1 hora antes de executar o ensaio de calibração.

4.4 – Montagem do comparador na instalação de calibração

- a. *Garantir a compatibilidade entre as dimensões do comparador e do suporte de fixação instalado no equipamento;*
- b. *instalar o comparador no suporte de calibração, colocando o mostrador voltado para o operador, rodando o sistema de aperto até garantir uma correcta fixação;*
- c. *estabelecer o contacto entre a ponta da haste do comparador e a superfície do apalpador do equipamento de referência, estando este recolhido.*

4.5 - Procedimento de calibração

O ensaio de calibração consiste em três partes: a *avaliação da exatidão da escala de medição*; a *avaliação da repetibilidade do ensaio*; e a *avaliação da força exercida pela haste do comparador*.

No caso do ensaio de avaliação da exatidão da escala, pretendem-se determinar os desvios da indicação e o erro de reversibilidade.

A - Ensaio de exatidão da escala

- a. *efetuar o zero do comparador;*
- b. *efetuar o zero do equipamento de referência em coincidência com o zero do comparador;*

- c. *aplicar deslocamentos crescentes à ponta de contacto efetuando medições nos seguintes patamares de ensaio¹: início do intervalo de medição e em todos os patamares seguintes considerando incrementos de 1/10 da amplitude de uma volta completa (correspondendo a 10 patamares por volta), até se atingir o alcance máximo do comparador;*
- d. *anotar os valores obtidos no equipamento de referência e no comparador;*
- e. *ultrapassar ligeiramente o último patamar do ciclo anterior (se possível, 5 unidades de resolução) e iniciar um ciclo de deslocamento decrescente nos mesmos patamares do ciclo descrito em c. registando os valores obtidos;*

Exemplo de uma seleção de patamares de calibração para um instrumento analógico com 10 voltas, alcance igual a 10 mm e resolução igual a 0,001 mm:

0,000 mm; 0,100 mm; 0,200 mm; 0,300 mm; 0,400 mm; 0,500 mm; 0,600 mm; 0,700 mm; 0,800; 0,900;
1,000 mm; 1,100 mm; 1,200 mm; 1,300 mm; 1,400 mm; 1,500 mm; 1,600 mm; 1,700 mm; 1,800; 1,900;
2,000 mm; 2,100 mm; 2,200 mm; 2,300 mm; 2,400 mm; 2,500 mm; 2,600 mm; 2,700 mm; 2,800; 2,900;
3,000 mm; 3,100 mm; 3,200 mm; 3,300 mm; 3,400 mm; 3,500 mm; 3,600 mm; 3,700 mm; 3,800; 3,900;
4,000 mm; 4,100 mm; 4,200 mm; 4,300 mm; 4,400 mm; 4,500 mm; 4,600 mm; 4,700 mm; 4,800; 4,900;
5,000 mm; 5,100 mm; 5,200 mm; 5,300 mm; 5,400 mm; 5,500 mm; 5,600 mm; 5,700 mm; 5,800; 5,900;
6,000 mm; 6,100 mm; 6,200 mm; 6,300 mm; 6,400 mm; 6,500 mm; 6,600 mm; 6,700 mm; 6,800; 6,900;
7,000 mm; 7,100 mm; 7,200 mm; 7,300 mm; 7,400 mm; 7,500 mm; 7,600 mm; 7,700 mm; 7,800; 7,900;
8,000 mm; 8,100 mm; 8,200 mm; 8,300 mm; 8,400 mm; 8,500 mm; 8,600 mm; 8,700 mm; 8,800; 8,900;
9,000 mm; 9,100 mm; 9,200 mm; 9,300 mm; 9,400 mm; 9,500 mm; 9,600 mm; 9,700 mm; 9,800; 9,900;
10,000 mm.

- f. *determinar o erro de reversibilidade dado pela maior diferença obtida, nos mesmos patamares, nos ciclos crescente e decrescente.*

B - Ensaio para determinação do erro de repetibilidade

- a. *Selecionar três patamares: 1/10 da primeira volta, o meio e o fim de escala (sentido ascendente);*
- b. *anotar os valores obtidos no equipamento de referência e no comparador;*
- c. *repetir a operação descrita em b. quatro vezes.*

¹ Em cada patamar deverá acertar-se, em primeiro lugar, a indicação do instrumento a calibrar, sem alteração da sequência crescente ou decrescente do ensaio, e efectuar-se, a seguir, a correspondente leitura no equipamento de referência.

C - Ensaio para determinação da força exercida pela haste do comparador

- a. *Instalar o transdutor de força na posição horizontal sobre uma base apropriada;*
- b. *ligar o equipamento eletrônico associado ao transdutor e aguardar cerca de uma hora antes de se efetuar a medição;*
- c. *instalar o comparador numa coluna de medição vertical, regular a altura e ajustar cuidadosamente a posição relativa dos instrumentos de modo a centrar a ponta da haste do comparador com o eixo do transdutor;*
- d. *subir o comparador até a ponta de medida, desencostar do transdutor e fazer o zero no aparelho indicador de força e naquele instrumento;*
- e. *descer o comparador até que a haste fique recolhida, sucessivamente, 1%, 50% e cerca de 100% do alcance do comparador e registrar os correspondentes valores lidos no indicador de força;*
- f. *repetir 2 vezes as operações d. e e. e calcular o valor médio da força em cada patamar (eventualmente corrigido com um fator de calibração).*

4.6 - Determinação dos resultados e da incerteza

- a. *Para cada patamar de ensaio e, independentemente, para cada ciclo de deslocamento crescente ou decrescente calcular o desvio de calibração dado pela diferença entre o valor lido no comparador e o valor de referência lido no equipamento de referência;*
- b. *determinar o erro de exatidão total, que é definido como a diferença algébrica entre as ordenadas máxima e mínima da curva de calibração; os eixos desta curva compreendem a posição dos pontos utilizados na calibração, em abcissa, e a diferença entre os valores lidos em cada patamar e o valor convencionalmente verdadeiro. A curva de calibração tem assim dois gráficos, correspondentes aos valores dos ciclos ascendente e descendente, respetivamente, os erros máximos em cada 1/10, 1/2 e 1 volta e o erro no fim de escala;*

- c. *determinar o erro de reversibilidade, definido como a maior diferença algébrica das ordenadas de um mesmo ponto de calibração relativamente às curvas de ensaio ascendente e ensaio descendente;*
- d. *determinar a repetibilidade - exprimir a repetibilidade associada aos resultados da calibração como a máxima dispersão dos valores medidos nos diversos patamares, de acordo com [3];*
- e. *determinar a incerteza expandida da calibração para um intervalo de confiança de 95% de acordo com [3,4].*

4.7 - Certificado de calibração

Preencher o certificado de calibração de acordo com [2,3] referindo:

- *a identificação do comparador a calibrar;*
- *a identificação do equipamento de referência utilizado;*
- *a temperatura e a humidade relativa ambientais;*
- *os valores que compõem o quadro de resultados (valores de referência e valores médios);*
- *os valores dos desvios de calibração, do erro de reversibilidade e da repetibilidade;*
- *a incerteza de medição expandida [3,4] para um intervalo de confiança de 95%;*

RESERVADO

5 - GRANDEZAS DE INFLUÊNCIA

A temperatura ambiente é considerada uma grandeza de influência que pode afetar os resultados obtidos na calibração de comparadores.

Embora a calibração mencionada se efetue em condições ambientais de referência, o intervalo de variação da temperatura que ocorre durante o processo de calibração deve ser indicado no certificado de calibração e o efeito induzido de dilatação térmica quer no comparador quer no equipamento de referência deverão ser incorporados como fontes de incerteza na tabela de balanço de incertezas.

6 - DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- [1] ISO 463: 2006 - *Geometrical Product Specifications (GPS) – Dimensional measuring equipment – Design and metrological characteristics of mechanical dial gauges*. ISO, Suíça.
- [2] “*Vocabulário Internacional de Metrologia*”, 3ª Edição, Instituto Português da Qualidade, 1996.
- [3] *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. ISO, IEC, OIML e BIPM, 1995.
- [4] “*Guia para a Expressão da Incerteza de Medição nos Laboratórios de Calibração*” - Instituto Português da Qualidade, 1996.
- [5] “*Avaliação da Incerteza Associada à Calibração de Equipamentos de Medição de Comprimento por Comparação Directa*” – Relatório LNEC 274/01. LNEC, Lisboa, 2001.

RESERVADO

ANEXO 1 – Modelo matemático e componentes da avaliação de incertezas

A calibração de equipamentos de medição dimensional visa a identificação e quantificação de desvios de calibração, δl_i , dados pelas diferenças entre os valores lidos (ou valores nominais, no caso de padrões que materializam uma grandeza dimensional), l_i , e os valores convencionais ou valores de referência, $l_{s,i}$, traduzindo-se esse modelo matemático na seguinte expressão:

$$\delta l_i = l_i - l_{s,i}. \quad (A1)$$

Os valores observados estão sujeitos ao efeito de dilatação térmica devido à variação de temperatura que habitualmente ocorre durante o processo de calibração, pelo que o modelo matemático anterior deverá ser complementado com a contribuição associada à correção devido à diferença da temperatura dos equipamentos relativamente à temperatura de referência de 20 °C:

$$\delta l = l(1 + \alpha \cdot \delta\theta) - l_s(1 + \alpha_s \cdot \delta\theta_s), \quad (A2)$$

em que $\delta\theta = (\theta - \theta_{ref}) = (\theta - 20^\circ\text{C})$ e $\delta\theta_s = (\theta_s - \theta_{ref}) = (\theta_s - 20^\circ\text{C})$.

A expressão (A2) pode ser reformulada da seguinte forma:

$$l = \frac{l_s(1 + \alpha_s \cdot \delta\theta_s) + \delta l}{(1 + \alpha \cdot \delta\theta)}, \quad (A3)$$

$$l = [l_s(1 + \alpha_s \cdot \delta\theta_s) + \delta l] \cdot \left[\frac{1}{1 + \alpha \cdot \delta\theta} \right]. \quad (A4)$$

Considerando que o segundo termo do segundo membro é uma função do tipo $(1 \pm x)^n$, pode-se substituir esse termo pela seu desenvolvimento em série de Taylor (no caso, de terceira ordem), o qual possui a seguinte expressão genérica:

$$(1 \pm x)^n = 1 \pm n \cdot x + \frac{n(n-1)}{2!} \cdot x^2 \pm \frac{n(n-1)(n-2)}{3!} \cdot x^3 + R_3, \quad (A5)$$

onde R_3 representa o termo residual de terceira ordem.

Aplicando (A5) ao segundo termo do segundo membro de (A4) desenvolvido na sua primeira ordem vem

$$(1 + \alpha \cdot \delta\theta)^{-1} = 1 - \alpha \cdot \delta\theta + R_1. \quad (A6)$$

Usando esta aproximação em (A4) resulta

$$\begin{aligned} l &\approx [l_s(1 + \alpha_s \cdot \delta\theta_s) + \delta l] \cdot [1 - \alpha \cdot \delta\theta] \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow l &\approx l_s + \delta l + l_s \cdot \alpha_s \cdot \delta\theta_s - l_s \cdot \alpha \cdot \delta\theta - l_s \cdot \alpha_s \cdot \delta\theta_s \cdot \alpha \cdot \delta\theta - \delta l \cdot \alpha \cdot \delta\theta. \end{aligned} \quad (A7)$$

assumindo que as relações de proporcionalidade seguintes são adequadas tendo em consideração as magnitudes das grandezas em causa,

$$l_s \cdot \alpha_s \cdot \delta\theta_s \cdot \alpha \cdot \delta\theta \ll l_s \cdot \alpha_s \cdot \delta\theta_s, \quad (A8)$$

$$\delta l \cdot \alpha \cdot \delta\theta \ll \delta l. \quad (A9)$$

Aplica-se uma simplificação à expressão (A7) que toma a seguinte forma:

$$l \approx l_s + \delta l + l_s \cdot \alpha_s \cdot \delta\theta_s - l_s \cdot \alpha \cdot \delta\theta \Leftrightarrow \quad (A10)$$

$$\Leftrightarrow l \approx l_s + \delta l + l_s (\alpha_s \delta\theta_s - \alpha \cdot \delta\theta). \quad (A11)$$

O passo final consiste em promover as mudanças de variáveis

$$\Delta\alpha = (\alpha - \alpha_s), \quad (A12)$$

$$\Delta\theta = (\theta - \theta_s), \quad (A13)$$

permitindo obter

$$\begin{aligned} l_s (\alpha_s \cdot \delta\theta_s - \alpha \cdot \delta\theta) &= -l_s (\alpha \cdot \delta\theta - \alpha_s \cdot \delta\theta_s) = \\ &= -l_s (\alpha \cdot \delta\theta - \alpha_s \cdot \delta\theta + \alpha_s \cdot \delta\theta - \alpha_s \cdot \delta\theta_s) = \\ &= -l_s (\delta\theta \cdot \Delta\alpha + \alpha_s \cdot \Delta\theta). \end{aligned} \quad (A14)$$

e, conseqüentemente,

$$l \approx l_s + \delta l - l_s (\delta\theta \cdot \Delta\alpha + \alpha_s \cdot \Delta\theta). \quad (A15)$$

Esta última expressão constitui o modelo matemático aplicável (de acordo com o GUM [3]) a este tipo de medição, de natureza dimensional, representando uma função das seguintes variáveis:

$$l = f(l_s, \delta l, \alpha_s, \delta\theta, \Delta\alpha, \Delta\theta). \quad (A16)$$

A determinação dos coeficientes de sensibilidade aplicada ao modelo matemático adoptado origina as seguintes parcelas:

$$c_{l_s} = \frac{\partial f}{\partial l_s} = 1 - (\delta\theta \cdot \Delta\alpha + \alpha_s \cdot \Delta\theta) \approx 1$$

$$c_{\delta l} = \frac{\partial f}{\partial(\delta l)} = 1$$

$$c_{\alpha_s} = \frac{\partial f}{\partial \alpha_s} = -l_s \cdot \Delta\theta \approx 0$$

$$c_{\delta\theta} = \frac{\partial f}{\partial(\delta\theta)} = -l_s \cdot \Delta\alpha \approx 0$$

$$c_{\Delta\alpha} = \frac{\partial f}{\partial(\Delta\alpha)} = -l_s \cdot \delta\theta$$

$$c_{\Delta\theta} = \frac{\partial f}{\partial(\Delta\theta)} = -l_s \cdot \alpha_s$$

Segue-se a identificação das fontes de incerteza que podem contribuir para a avaliação da incerteza de medição padrão, apontadas no diagrama que se segue e descritas na Tabela A1.1.

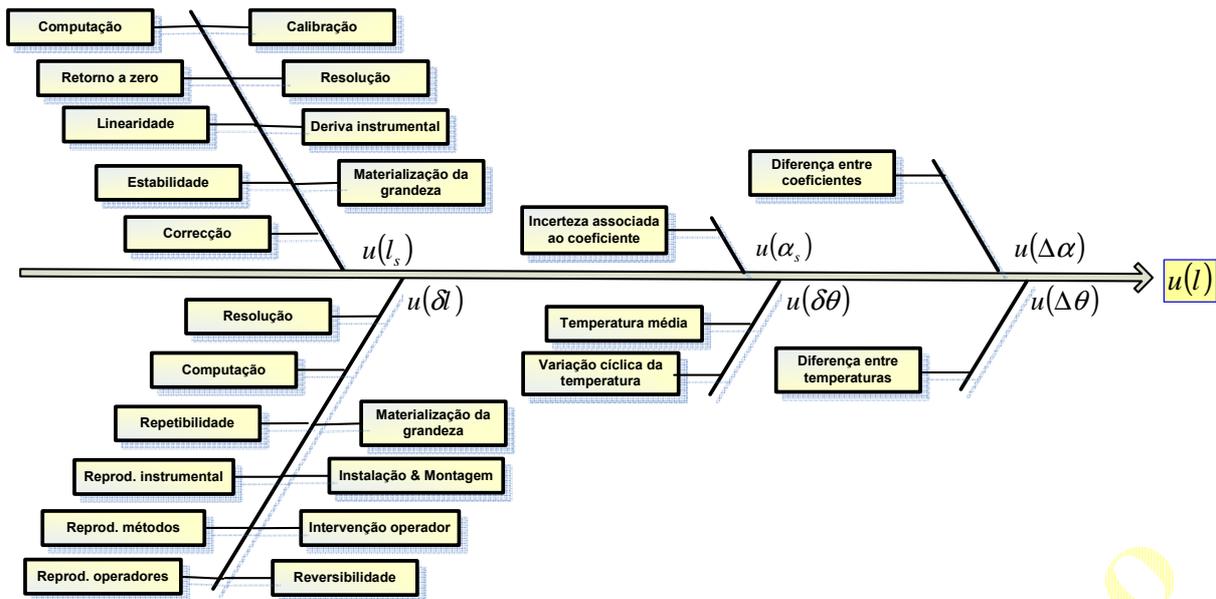


Figura A1.1 – Contribuições para a incerteza de medição do valor lido.

Nota: quando considerado aconselhável ou praticável pela Chefia do Laboratório, as contribuições associadas à calibração, correção dos valores de referência e deriva podem ser agrupadas no parâmetro designado por incerteza instrumental alvo aplicada no critério de confirmação metrológica.

Tabela A1.1 – Descrição de características das componentes de incerteza

Grandeza de entrada	Contribuição	PDF adoptada	Informação de quantificação	Coefficiente de sensibilidade	Graus de liberdade *
I_s	Calibração	Normal	Certificado de calibração (Tipo B)	1	n_{cc}^{**}
	Resolução	Retangular	Caraterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Deriva instrumental	Triangular	Certificado de calibração (Tipo B)	1	50
	Materialização da grandeza	Retangular	Caraterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Aritmética finita / computação	Retangular	Caraterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Retorno a zero	Retangular	Caraterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Linearidade	Retangular	Caraterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Estabilidade	Retangular	Caraterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Correções dos valores de referência	Retangular	Certificado de calibração - regressão (Tipo B)	1	50
δI	Resolução do equipamento a calibrar	Retangular	Caraterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Aritmética finita / computação	Retangular	Caraterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Repetibilidade	Normal	Dados experimentais (Tipo A)	1	$(n - 1)^{***}$
	Reprodutibilidade (instrumental)	Normal	Dados experimentais (Tipo B)	1	n_{pm}
	Reprodutibilidade (métodos)	Normal	Dados experimentais (Tipo B)	1	n_{pm}
	Reprodutibilidade (operadores)	Normal	Dados experimentais (Tipo B)	1	n_{po}
	Materialização da grandeza	Retangular	Caraterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Instalação e montagem	Retangular	Caraterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Intervenção do operador	Retangular	Caraterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Reversibilidade	Retangular	Caracterização metrológica (Tipo B)	1	50
α_s	Valor nominal do coeficiente linear de expansão térmica do equipamento de referência	Retangular	Bibliografia de referência (Tipo B)	$- 0,1 I_s \text{ m}^\circ\text{C}$	50
$\delta\theta$	Diferença média da temperatura do eq. a calibrar relativamente à temperatura de referência.	Retangular	Dados experimentais (Tipo B)	$- 5 \cdot 10^{-6} I_s \text{ m}^\circ\text{C}^{-1}$	50
	Variação cíclica da temperatura no ambiente laboratorial	Arcoseno	Dados experimentais (Tipo B)	$- 5 \cdot 10^{-6} I_s \text{ m}^\circ\text{C}^{-1}$	50
$\Delta\alpha$	Diferença entre coeficientes de expansão térmica (equipamentos a calibrar e de referência).	Retangular	Bibliografia de referência (Tipo B)	$- 0,5 I_s \text{ m}^\circ\text{C}$	50
$\Delta\theta$	Diferença de temperatura entre equip.s a calibrar e de referência.	Retangular	Dados experimentais (Tipo B)	$- 1,15 \cdot 10^{-5} I_s \text{ m}^\circ\text{C}^{-1}$	50

* Os graus de liberdade indicados são aqueles geralmente adoptados, podendo ser modificados quando justificados pelas condições específicas de execução das calibrações.

** Graus de liberdade expressos no certificado de calibração

*** n representa a dimensão da amostra experimental utilizada na determinação da repetibilidade (estimada com base no desvio-padrão experimental da média).

