



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA
Núcleo de Qualidade Metrológica

Proc. 1104/11/16133

REVISÃO DAS MELHORES INCERTEZAS DE MEDIÇÃO DO LABORATÓRIO CENTRAL DE APOIO METROLÓGICO DO LNEC EM 2008

Estudo realizado no âmbito do Projecto de Investigação
"Reforço das Capacidades Metrológicas nos Domínios
das Grandezas Comprimento, Massa, Pressão
e Temperatura"

Lisboa • Maio de 2008

I&D INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO 183/2008 – NQM

**Revisão das Melhores Incertezas de Medição do Laboratório Central de
Apoio Metrológico do LNEC em 2008**

Resumo

O relatório apresenta uma descrição do procedimento de avaliação de incertezas de medição de acordo com o GUM, a estrutura das tabelas de balanço de incertezas e o quadro de melhores incertezas de medição do LCAM em 2008, relativas às calibrações e ensaios metrológicos desenvolvidos pelo laboratório no âmbito da sua acreditação no Sistema Português da Qualidade.

**Review of the Best Measurement Uncertainties of LNEC's Laboratório Central
de Apoio Metrológico in 2008**

Abstract

This report presents a description of the measurement uncertainties evaluation procedure according with GUM, the structure of the uncertainties tables, and the expression of the best measurement uncertainties of LCAM in 2008, regarding the testing performed under the Portuguese Quality System Accreditation.

**Revision des Meilleurs Incertitudes des Mesures réalisées par Laboratório
Central de Apoio Metrológico du LNEC dans l'année de 2008**

Résumé

Ce rapport presente une procédure pour l'évaluation des incertitudes de mesure, la structure du bilan des incertitudes e une table avec les meilleurs incertitudes associées aux étalonnages réalisés par ce laboratoire métrologique dans l'année de 2008.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	CONTEÚDO DO RELATÓRIO	3
3	METODOLOGIA GUM PARA AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS DE MEDIÇÃO	5
3.1	Fase de formulação	6
3.2	Fase de cálculo	8
3.3	Tabelas de Balanço de Incertezas	15
4	MELHORES INCERTEZAS DE MEDIÇÃO DO LCAM EM 2008	17
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
 Anexo 1 <i>Tabelas de Balanço das Melhores Incertezas do LCAM em 2008</i>		21

REVISÃO DAS MELHORES INCERTEZAS DE MEDIÇÃO DO LABORATÓRIO CENTRAL DE APOIO METROLÓGICO DO LNEC EM 2008

1. INTRODUÇÃO

A acreditação de Laboratórios Metrológicos no âmbito do Sistema Português da Qualidade envolve o cumprimento de vários requisitos, um dos principais consiste na evidenciação das melhores incertezas de medição relativas aos seus processos de calibração e de ensaio metrológico.

A concretização deste objectivo assume uma importância particular. Com efeito, a declaração das melhores incertezas de medição possui um interesse que se reflecte nos três níveis de actividade que se encontram interligados nos processos referidos, desenvolvidos no âmbito de uma acreditação de um laboratório: a entidade acreditadora; o laboratório acreditado; e os clientes.

A entidade acreditadora (IPAC - Instituto Português da Acreditação) necessita de tomar conhecimento destas melhores incertezas de medição, constituindo um dos requisitos normativos avaliado na auditoria externa que realiza anualmente, validando essa informação que será posteriormente publicada nos certificados de acreditação do laboratório e estará acessível aos potenciais clientes interessados nestes serviços.

O laboratório acreditado, que declara um conjunto de melhores incertezas de medição, encontra nessa forma o modo de explicitar as suas melhores capacidades e, por outro lado, utiliza essa informação para estabelecer critérios de aceitação dos seus padrões após calibração.

Os potenciais clientes, utilizadores dos serviços do laboratório, têm acesso prévio a essa informação (melhores incertezas de medição) aplicável a um determinado tipo de equipamento, traduzindo a capacidade deste concretizar adequadamente os serviços de calibração ou ensaio pretendidos de acordo com as suas expectativas.

Este enquadramento justifica, portanto, o cumprimento do requisito normativo mediante a declaração no que se refere às suas melhores incertezas de medição.

Quanto ao facto de esta declaração necessitar de uma renovação periódica, tal decorre de dois factores: a realização de auditorias externas com periodicidade anual, constituindo a ocasião propícia para se reavaliarem as contribuições de incerteza associadas a componentes que se alteram ao longo do tempo (nomeadamente, a incerteza de calibração dos padrões e a deriva de

longo prazo) visando a actualização dos registos da entidade acreditadora no que se refere às condições de acreditação; e a aplicação, no Laboratório Central de Apoio Metrológico do LNEC (LCAM/LNEC), de um plano de calibração periódica de padrões e equipamentos de referência que corresponde também, numa parte significativa dos casos, a uma periodicidade de calibração anual, determinando que seja necessário proceder, com idêntica periodicidade, reavaliação das condições em que se estabeleceram as melhores incertezas de medição.

Refira-se, porém, que esta actualização das melhores incertezas não impede que, cada vez que um padrão é sujeito a uma operação de calibração, os ficheiros que suportam o cálculo específico das incertezas de medição em cada calibração ou ensaio não seja actualizado. O requisito normativo, nestes casos, impede apenas que o laboratório acreditado possa declarar uma incerteza de medição inferior à melhor incerteza de medição em vigor (no certificado de acreditação do IPAC), validada na auditoria mais recente. Assim, este estudo periódico das melhores incertezas serve, também, para promover reajustamentos das melhores incertezas face à dinâmica de algumas das fontes de incerteza cujas contribuições são consideradas nos cálculos.

2. CONTEÚDO DO RELATÓRIO

No presente relatório encontram-se os elementos que determinam a quantificação das melhores incertezas de medição do LCAM/LNEC relativas ao ano de 2008.

No capítulo 3 apresenta-se uma descrição resumida da metodologia proposta pelo *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (GUM) [1] aplicável na avaliação de incertezas de medição e a descrição da estrutura das tabelas de balanço de incertezas de medição, as quais sintetizam o procedimento recomendado no GUM.

No capítulo 4 encontra-se o Quadro contendo o resumo das melhores incertezas de medição de 2008 declaradas pelo LCAM/LNEC no âmbito da sua acreditação.

No Anexo 1 são apresentadas as tabelas de balanço de incertezas organizadas de acordo com três níveis diferenciadores. No primeiro, a subdivisão resulta da distinção entre grupos de grandezas físicas (comprimento, massa, pressão, temperatura e humidade relativa). Dentro de cada um destes grupos, um segundo nível de diferenciação resulta de se distinguirem os diferentes tipos de equipamentos sujeitos a calibração ou ensaio metrológico. Finalmente, no terceiro nível de diferenciação, efectua-se uma subdivisão, para cada tipo de equipamento, por gamas de medição, pela resolução, por valores nominais ou por outros aspectos de caracterização metrológica, quando estes determinam diferentes contribuições para a incerteza de medição e, simultaneamente, afectam significativamente os resultados finais.

3. METODOLOGIA GUM PARA AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS DE MEDIÇÃO

A evolução recente da Metrologia tem como uma das suas principais consequências a introdução do conceito de incerteza de medição como parâmetro inerente ao resultado da medição (associado ao valor da estimativa de uma grandeza mensurável), constituindo este o elemento indicativo do grau de exactidão da medição.

A metodologia que suporta a sua determinação encontra-se no GUM¹[1] e foi adoptado internacionalmente pela comunidade metrológica contendo, entre outros aspectos: o enquadramento da medição no contexto probabilístico actualmente adoptado; os conceitos e definições aplicáveis; as fontes genéricas que contribuem para a avaliação da incerteza; e o procedimento de avaliação de incertezas de medição incorporando a conhecida Lei de Propagação de Incertezas (cujas designação abreviada adoptada neste documento é “LPI”).

A informação que se encontra no GUM deve ser complementada com a consulta do conjunto de definições que se encontra no Vocabulário Internacional de Metrologia [2], também publicado pela ISO, encontrando-se no momento actual a decorrer a sua 3ª revisão.

Com o intuito de facilitar a compreensão das tabelas de balanço de incertezas de medição, elementos fundamentais na apresentação das melhores incertezas do laboratório, promove-se, então, a descrição que se segue.

Qualquer procedimento de avaliação das incertezas de medição e, em particular, aquele que é preconizado pelo GUM tem na sua base duas fases distintas: a fase de formulação e a fase de cálculo.

É na concretização destas fases que se estabelece o modelo matemático essencial para traduzir o problema físico envolvido e que se constitui a Lei de Propagação de Incertezas necessária à avaliação pretendida.

¹ De acordo com a revisão do GUM em curso, envolvendo a introdução de alguns documentos anexos, a nova sigla adoptada é “GUF” apontando o âmbito do Guia para um contexto mais alargado (Framework) englobando diversos métodos de avaliação de incertezas de medição.

3.1 Fase de formulação

Esta fase contém como elemento fundamental o modelo matemático descritivo do problema metrológico, no qual se baseia a estimativa de uma grandeza mensurável e a incerteza associada a essa estimativa.

Assim, o modelo matemático relaciona a grandeza de saída – a mensuranda – Y , com um conjunto de grandezas de entrada, X_i , através do que se designa por relação funcional:

$$Y = f(X_1, \dots, X_N). \quad (1)$$

Este modelo matemático traduz a realidade experimental de uma forma, necessariamente, imperfeita devido às limitações naturais da instrumentação, das metodologias e de outros factores condicionantes, determinando a existência, num plano conceptual, de um erro de medição. A concretização da medição reflecte-se em observações e estimativas de grandezas, \hat{x}_i , associadas a variáveis aleatórias do modelo matemático, conduzindo a uma estimativa da grandeza mensurável de saída, \hat{y} , cuja expressão é dada por:

$$\hat{y} = f(\hat{x}_1, \dots, \hat{x}_N). \quad (2)$$

A definição de *erro (absoluto) da medição*, ε , diz-nos que este representa a *diferença entre o valor da estimativa ou observação (\hat{A}) e o valor verdadeiro da grandeza (\tilde{A})*. Sendo este último, no enquadramento actual da medição, considerado inatingível, de onde resulta a impossibilidade prática da sua quantificação.

$$\varepsilon = \hat{A} - \tilde{A}. \quad (3)$$

Este facto, no entanto, não impede que seja possível identificar as fontes que contribuem para esse erro e distinguir, nestas, as componentes cuja contribuição é de natureza sistemática ou aleatória.

Em relação a estas contribuições, de acordo com o disposto no GUM, considera-se que o conhecimento das componentes sistemáticas do erro – de natureza determinística – impõe a sua correcção, enquanto que as contribuições aleatórias – de natureza estocástica –

devem ser incorporadas num intervalo de dispersão associado à estimativa da grandeza mensurável de saída. Essa dispersão designa-se por: incerteza de medição.

No que se refere à sua origem, as *componentes aleatórias do erro* resultam de variações imprevisíveis de natureza espacial ou temporal, sendo provocadas por *grandezas de influência*, manifestando-se na variação das observações da grandeza no que se designa por *efeitos aleatórios*. O GUM aponta algumas das origens de incerteza:

- *definição incompleta da mensuranda;*
- *realização imperfeita da definição da mensuranda;*
- *não-representatividade da amostra;*
- *conhecimento inadequado ou a medição imperfeita dos efeitos das condições ambientais na determinação da mensuranda;*
- *derivas na leitura efectuada por operadores de instrumentos com indicadores analógicos;*
- *resolução ou a discriminação finita dos instrumentos de medição;*
- *valores inexactos de padrões e de materiais de referência;*
- *valores inexactos de constantes e outros parâmetros obtidos mediante o recurso a fontes externas e usados em algoritmos computacionais;*
- *aproximações e os valores assumidos, os quais são incorporados no método e no procedimento de medição;*
- *variações obtidas em observações repetidas da mensuranda em condições aparentemente idênticas (próximas das condições ideais de repetibilidade).*

É do cômputo das contribuições de natureza aleatória provenientes destas fontes que resulta, então, a quantificação da incerteza de medição, sendo esta definida como [1]: “o parâmetro, associado ao resultado da medição, caracterizando a dispersão de valores que podem, razoavelmente, ser atribuídos à mensuranda”.

De acordo com esta definição admite-se, implicitamente, que em resultado da medição não é possível atribuir um valor único – verdadeiro – da mensuranda mas, antes, um intervalo de valores prováveis (de acordo com a concepção contemporânea da medição, de enquadramento probabilístico).

3.2 Fase de cálculo

A fase de cálculo sucede à fase de formulação e tem como finalidade obter a incerteza de medição expandida associada à grandeza mensurável de saída, sendo este objectivo atingido mediante a aplicação da metodologia GUM (e dos seus pressupostos) envolvendo um conjunto de etapas, reflectindo conceitos e expressões, de cuja compreensão depende a sua aplicação.

Desde logo, é conveniente ter presente que as observações associadas às grandezas de entrada têm uma natureza aleatória e, como tal, possuem uma dispersão de valores que é determinada pelos parâmetros: variância e desvio-padrão experimental. Logo, a primeira etapa do procedimento GUM estabelece a necessidade de distinguir as componentes de incerteza consoante a origem da informação que lhes permite estabelecer uma parametrização adequada. Esta parte constitui um elemento fundamental para a análise a desenvolver, uma vez que a validade da origem de informação e a parametrização são determinantes para o resultado final.

No GUM admitem-se duas vias para a obtenção dos parâmetros estatísticos: a amostra experimental; ou o conhecimento prévio do tipo de distribuição de probabilidade. No primeiro caso, diz-se que essa avaliação faz-se de acordo com o “*método tipo A*” e no segundo caso, de acordo com o “*método tipo B*”.

Tendo em vista o objectivo de obter o parâmetro estimador dessa dispersão, o desvio-padrão experimental e sabendo que este se determina a partir da variância, $s^2(x_i)$, torna-se necessário, portanto, concretizar a quantificação deste último parâmetro.

No caso em que se adopta o *método do tipo A*, subentende-se que se determina a contribuição para a incerteza de medição a partir da estatística da variância de uma amostra experimental de observações (de acordo com uma perspectiva frequencista do problema). No caso de adopção do método do tipo B, considerando apropriada a utilização de determinada função densidade de probabilidade, cujos limites se estabelecem com base em

conhecimento previamente adquirido², utiliza-se a expressão analítica da variância dessa distribuição para quantificar a pretendida contribuição para a incerteza de medição (neste caso, a abordagem segue a perspectiva bayesiana do problema).

Do ponto de vista prático, quando se recorre ao *método do tipo A*, recorre-se a uma amostra experimental de uma grandeza de entrada Q , contendo observações q_i , obtendo-se o seu valor médio – utilizado na determinação da estimativa da grandeza de acordo com o modelo matemático (1) – cuja expressão é:

$$\hat{q} = \bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i . \quad (4)$$

A variância experimental da média é determinada por:

$$s^2(\bar{q}) = \frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2 , \quad (5)$$

de onde se obtém o pretendido valor do desvio-padrão experimental da média:

$$s(\bar{q}) = \sqrt{s^2(\bar{q})} . \quad (6)$$

Em alternativa, a utilização do *método do tipo B*, admite que se possui informação suficiente para se estipular qual a função densidade de probabilidade, os seus parâmetros e o grau de confiança inerente a esse conhecimento (considera-se que esta abordagem para a quantificação de componentes de incerteza possui um elevado grau de subjectividade e, como tal, deve ser aplicado com particular cuidado). Com base nesta informação, recorrendo às expressões analíticas, é possível determinar a variância e o respectivo desvio-padrão. Em Metrologia, as distribuições de probabilidade que mais frequentemente são adoptadas encontram-se descritas no Quadro 1 que apresenta, igualmente, as expressões das variâncias.

Estas distribuições traduzem, de certa forma, as três situações mais comuns, i.e., idêntica probabilidade de ocorrência em todo o intervalo, ou maior probabilidade de

² Por exemplo: dados relativos a medições anteriores; experiência ou conhecimento comum relativo ao comportamento e propriedades de materiais e instrumentos de medição; especificações de fabricantes e documentação de carácter técnico e científico;

ocorrência no centro da distribuição ou nas suas extremidades. Faz-se notar que, de acordo com um requisito de aplicação da metodologia, todas as distribuições adoptadas são simétricas.

Conhecendo-se a forma de determinar a dispersão das grandezas de entrada, x_i , independentemente de estas resultarem de abordagens de acordo com o *método do tipo A* ou *do tipo B*, a etapa seguinte consiste em estabelecer a forma como estas se combinam, conduzindo à determinação da incerteza de medição da grandeza de saída, y .

Quadro 1: distribuições de probabilidade, limites de variação e expressões da variância

Função distribuição de probabilidade	Limites de variação	Expressão da variância
Denominação do tipo	Configuração característica	
Uniforme (centrada)		$\pm a$ $\frac{a^2}{3}$
Triangular (centrada)		$\pm a$ $\frac{a^2}{6}$
Configuração U ou arcoseno (centrada)		$\pm a$ $\frac{a^2}{2}$
Normal (centrada)		$\pm s$ s^2

A metodologia proposta no GUM tem como suporte teórico uma abordagem que recorre ao desenvolvimento em Série de Taylor de 1ª ordem (no GUM é fornecida, também, a contribuição dos termos de 2ª ordem, caso seja necessária a sua incorporação no cálculo) para obter a Lei de Propagação de Incertezas (LPI).

dados obtidos em calibrações e certificados.

Considerando que o modelo matemático admite as estimativas x_i de N grandezas de entrada X_i , para as quais existem valores esperados (μ_1, \dots, μ_N) , o desenvolvimento em Série de Taylor de 1ª ordem em torno de μ_i conduz a:

$$y = f(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N) + \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \cdot (x_i - \mu_i) + r_2(x_i), \quad (7)$$

Conduzindo a soluções exactas apenas quando se utilizam modelos matemáticos lineares³. Na expressão anterior, $f(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N)$ representa o valor esperado μ_y , da mensuranda y e r_2 representa o resto de 2ª ordem do desenvolvimento em Série de Taylor.

Sabendo que, $\mu_y = f(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N)$, a expressão anterior adquire a forma,

$$y - \mu_y = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \cdot (x_i - \mu_i) + r_2(x_i), \quad (8)$$

cujo primeiro termo é uma componente da definição de variância aplicado à grandeza mensurável de saída, y , permitindo estabelecer a relação seguinte:

$$s_y^2 = \hat{\sigma}_y^2 = E \left[(y - \mu_y)^2 \right] = E \left[\left(\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \cdot (x_i - \mu_i) \right)^2 \right]. \quad (9)$$

Utilizando as propriedades do “valor esperado”, E , obtem-se a expressão genérica da Lei de Propagação de Incertezas:

$$s^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot E \left[(x_i - \mu_i)^2 \right] + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial x_j} \right) \cdot E \left[(x_i - \mu_i) \cdot (x_j - \mu_j) \right] \quad (10)$$

³ Modelos matemáticos que não sejam fortemente não-lineares podem admitir a aplicação desta expressão enquanto aproximação ou, em alternativa, poder-se-ão incorporar termos do desenvolvimento de ordem superior, notando-se que estes introduzem um aumento significativo do grau de complexidade, nomeadamente, pela introdução de diversos termos que combinam derivadas parciais.

que, na sua formulação exposta no GUM, substitui os termos $s^2(y)$ por $u^2(y)$, reportando-se à incerteza de medição (“ u ” de “*uncertainty*”) e apresenta a simbologia convencional para representar as variâncias e covariâncias.

$$u^2(y) = s^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot s_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial x_j} \right) \cdot s_{ij}. \quad (11)$$

No GUM, as derivadas parciais designam-se por “coeficientes de sensibilidade”, e são representadas por c_i . Esta modificação simbólica reflecte-se numa expressão alternativa para a LPI, que é a mais difundida,

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N c_i^2 \cdot u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N c_i \cdot c_j \cdot u(x_i) \cdot u(x_j) \cdot r(x_i, x_j), \quad (12)$$

onde r_{ij} representa o coeficiente de correlação para o par de variáveis x_i e x_j .

A expressão anterior é simplificável quando não existe ou quando não é significativa a correlação entre os pares de grandezas de entrada, resultando, nesse caso:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N c_i^2 \cdot u^2(x_i) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y). \quad (13)$$

As expressões (12) e (13) determinam o valor da incerteza de medição padrão nas condições apresentadas.

O conhecimento do resultado da aplicação da LPI permite partir para a etapa seguinte da fase de cálculo: a avaliação da incerteza de medição expandida.

Esta avaliação parte do pressuposto (inerente ao GUM) de aplicabilidade do Teorema do Limite Central, determinando que a distribuição de probabilidade da grandeza mensurável de saída, y , possui uma configuração do tipo Gaussiano. Sendo assim, a incerteza de medição expandida, $U_p(y)$, resulta do produto da *incerteza de medição padrão*, $u_c(y)$, por um *factor de expansão*, k_p , que é função do intervalo de confiança pretendido.

$$U_p(y) = k_p \cdot u_c(y). \quad (14)$$

Nos casos em que a dimensão da amostra permita, de facto, confirmar este pressuposto, então, a incerteza de medição padrão obtida usando a LPI equivale a um desvio-padrão experimental que, de acordo com esta distribuição, representa um intervalo de confiança da ordem de 68%. A sua expansão para um intervalo de confiança de 95% implica que se multiplique este valor por um *factor de expansão* conhecido, que é igual a 2,00.

$$U_{95}(y) = k_{95} \cdot u_c(y) = 2,00 \cdot u_c(y). \quad (15)$$

Contudo, grande parte das medições não dispõe de amostras com dimensão suficientemente grande para que se possa aceitar a convergência subjacente ao Teorema do Limite Central. É, portanto, necessário recorrer a uma abordagem alternativa aplicável nestes casos (e igualmente recomendada num dos anexos do GUM⁴), baseada na distribuição de probabilidade *t*-Student. Uma consequência imediata consiste na substituição da expressão (15) por outra, que traduz a necessidade de ter em consideração a limitação associada à dimensão da amostra,

$$U_p(y) = t_p(\nu) \cdot u_c(y), \quad (16)$$

em que o novo *factor de expansão* é, $t_p(\nu)$, o qual depende funcionalmente do número de graus de liberdade efectivos, ν_{ef} , da grandeza de saída.

A obtenção deste factor de expansão associada à distribuição de probabilidade *t*-Student, resulta da aplicação da fórmula de Welch-Satterthwaite, fornecida no GUM,

$$\nu_{ef} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}}, \quad (17)$$

4 O GUM refere que “reconhecendo a dificuldade de confirmar experimentalmente a presunção de aplicabilidade da distribuição normal aos casos reais, apontam-se circunstâncias em que esta adequação se pode assumir, designadamente, quando os casos de aplicação possuem, pelo menos, 3 componentes distintas de incerteza, com distribuições de probabilidade bem comportadas e provenientes de grandezas independentes, por exemplo, distribuições normais e distribuições uniformes, contribuindo para a estimativa da incerteza de medição padrão com quantidades comparáveis. Nessas circunstâncias (e considerando que as amostras que as suportam também o permitem), admite-se que se está no âmbito de validade do Teorema do Limite Central e, consequentemente, que a distribuição de probabilidade da grandeza de saída (mensuranda) é, com elevado grau de aproximação, do tipo normal. Do mesmo modo, considera-se que este critério é atingido se nenhuma das componentes de incerteza obtidas por um método do tipo A for baseada numa amostra inferior a 10 observações”.

Contendo, no numerador, uma potência de 4ª ordem da incerteza de medição padrão da grandeza mensurável de saída e, no denominador, os rácios das diversas potências de 4ª ordem das contribuições para a incerteza, cada qual, dividida pelo número de graus de liberdade respectivo.

Para completar a exposição acerca deste processo de avaliação da incerteza de medição expandida, é necessário indicar a forma como se obtêm os diferentes parâmetros que se encontram no denominador.

Relativamente às componentes contributivas da incerteza de medição, elas são determinadas, admitindo a inexistência de correlação, por:

$$u_i^2(y) = c_i^2 \cdot u^2(x_i). \quad (18)$$

Quanto ao número de graus de liberdade relativo a cada grandeza de entrada, este determina-se consoante a componente de incerteza em causa resulta da aplicação de um método do tipo A ou de um método do tipo B, conforme se expõe a seguir:

- *No caso de componentes de incerteza obtidas por um método do tipo A, essa avaliação é directa, uma vez que, sendo a dimensão da sua amostra constituída por n observações, o número de graus de liberdade, v_i , corresponde a (n-1) valores independentes (válido, necessariamente, considerando que $n > 1$);*
- *No caso de componentes de incerteza obtidos por um método do tipo B, utiliza-se a expressão apresentada no GUM, visando determinar o número de graus de liberdade com base no estabelecimento de um grau de fiabilidade da informação utilizada⁵:*

$$v_i = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2}. \quad (19)$$

A relação estabelecida entre o número de graus de liberdade efectivos e o *factor de expansão t-Student* origina os valores que constam do Quadro seguinte.

⁵ Considerando que se exprime o grau de fiabilidade por, R , então, $R=1-[\Delta u(x_i)/u(x_i)]$, onde $\Delta u(x_i)$ representa a estimativa da percentagem de “incerteza” inerente ao valor limite atribuído à incerteza de medição, $u(x_i)$. Um exemplo: considerando que o rácio $\Delta u(x_i)/u(x_i)$ é igual a 0,1 (i.e., 10%), o grau de fiabilidade da informação corresponde a 0,9 (ou seja, admite-se que se dispõe de um intervalo de confiança de 90% das possibilidades) e, conseqüentemente, $v_i = \frac{1}{2} \cdot [0,1]^{-2} = 50$ graus de liberdade.

Quadro 2: Factor de expansão *t*-Student relacionado com o número de graus de liberdade efectivos da grandeza mensurável de saída (para um intervalo de confiança de 95%)

ν_{ef}	k_p	ν_{ef}	k_p	ν_{ef}	k_p	ν_{ef}	k_p
1	13,97	8	2,37	15	2,18	30	2,09
2	4,53	9	2,32	16	2,17	35	2,07
3	3,31	10	2,28	17	2,16	40	2,06
4	2,87	11	2,25	18	2,15	45	2,06
5	2,65	12	2,23	19	2,14	50	2,05
6	2,52	13	2,21	20	2,13	> 50	2,00
7	2,43	14	2,20	25	2,11		

3.3 Tabelas de Balanço de Incertezas

O procedimento de avaliação de incertezas de medição é sintetizado em Quadros designados por “*Tabelas de Balanço de Incertezas*”, de acordo com duas abordagens tipo: uma, aplicável quando se admite que é válida a aproximação normal; outra, aplicável quando se admite que é válida a distribuição *t*-Student.

Na primeira, associada à distribuição normal, a *Tabela de Balanço de Incertezas* tem a forma que se apresenta no Quadro 3. Neste caso, a incerteza de medição expandida é obtida usando a expressão (15).

Quadro 3: Tabela de balanço de incertezas de medição (distribuição normal)

Grandezas de entrada	Estimativas	Incertezas padrão	Coefficientes de sensibilidade	Contribuições para a incerteza de medição padrão
X_i	x_i	$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$
X_1	x_1	$u(x_1)$	c_1	$u_1(y)$
X_2	x_2	$u(x_2)$	c_2	$u_2(y)$
...
X_N	x_N	$u(x_N)$	c_N	$u_N(y)$
Y	y			$u_c(y)$

Na segunda, admitindo a representação suportada na distribuição de probabilidade *t*-Student, torna-se necessário introduzir, no Quadro anterior, um conjunto de informação adicional, designadamente, o número de graus de liberdade relacionados com cada componente de incerteza das grandezas de entrada, os graus de liberdade e o respectivo *factor de expansão*, originando a forma da Tabela de Balanço de Incertezas que se apresenta a seguir.

Quadro 4: Tabela de balanço de incertezas de medição (distribuição t-Student)

Grandezas de entrada	Estimativas	Incertezas padrão	Coefficientes de sensibilidade	Contribuições para a incerteza de medição padrão	Graus de liberdade
X_i	x_i	$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$	ν_i
X_1	x_1	$u(x_1)$	c_1	$u_1(y)$	ν_1
X_2	x_2	$u(x_2)$	c_2	$u_2(y)$	ν_2
...
X_N	x_N	$u(x_N)$	c_N	$u_N(y)$	ν_N
		<i>Incerteza de medição padrão</i>		$u_c(y)$	
		<i>Graus de liberdade efectivos</i>			ν_{ef}
Y	y	<i>Factor de expansão</i>			$t_p(\nu_{ef})$
		<i>Incerteza de medição expandida</i>		$U_p(y)$	

Estes Quadros são adoptados internacionalmente como suporte à avaliação de incertezas de medição, cumprindo a função de simplificar a elaboração deste tipo de avaliação numérica mas, também, servindo um importante propósito de permitir, de forma simples, a compreensão, a partilha e a discussão deste tipo de informação no contexto internacional constituindo, por essa razão, uma das mais importantes contribuições do GUM para a normalização de um procedimento fundamental no contexto da Metrologia.

4. MELHORES INCERTEZAS DE MEDIÇÃO DO LCAM EM 2008

A elaboração do Quadro 5 tem como suporte o conjunto de Tabelas com os *Balances das Melhores Incertezas de Medição Expandidas do LCAM/LNEC (2008)* que se encontra no Anexo 1. Estas Tabelas encontram-se agrupadas de acordo com as grandezas (comprimento, massa, temperatura e humidade relativa e pressão) que constam do âmbito de acreditação do laboratório, e usam os modelos matemáticos desenvolvidos para cada um dos instrumentos e padrões de medição sujeitos a calibração, que são descritos nos respectivos procedimentos de calibração desenvolvidos no LCAM. Os valores que constam destas Tabelas correspondem àqueles que minimizam o resultado obtido (incerteza de medição) de acordo com as orientações inerentes ao processo de acreditação do laboratório no âmbito do Sistema Português da Qualidade.

Acerca dos valores apresentados, refira-se que estes se modificam ao longo do tempo, devido a factores que afectam o desempenho da instrumentação, como: a calibração periódica dos padrões de referência; a evolução das suas características metrológicas provocadas por acções mecânicas, fadiga de componentes ou outras causas; a alteração de condições na realização dos ensaios (método, operador, etc.).

Desta evolução pode resultar que, durante o período de tempo entre auditorias sucessivas, as melhores incertezas possam aumentar ou diminuir em função das calibrações dos padrões. No primeiro caso, essa situação reflecte-se directamente nas incertezas declaradas nos certificados de calibração. No segundo caso, apesar dos valores de incerteza obtidos poderem ser menores que as melhores incertezas, o laboratório efectua a majoração desses valores para aqueles que constam das Tabelas de Melhores Incertezas respectivas, cumprindo os requisitos normativos aplicáveis. Na auditoria seguinte, os valores actualizados são apresentados à entidade acreditadora e, após a validação e a conclusão do processo, substituirão as melhores incertezas anteriormente declaradas.

As razões invocadas determinam a necessidade de se promover este tipo de avaliação periódica das melhores incertezas de medição do laboratório (expressão das suas melhores capacidades) e o facto de se fazer coincidir esta operação com a proximidade da realização anual da auditoria externa.

Quadro 5: Melhores incertezas de medição expandida do LCAM

Equipamento	Características	Melhores incertezas de medição expandida	Norma / procedimento	Calibração (C) ou ensaio metrol. (EM)
Micrómetros de exteriores	Alc. 25 mm / Resol. 0,001 mm	$\pm (1,4 \cdot 10^{-3} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm *	ISO 3611	C
Comparadores	Alc. 50 mm / Resol. 0,001 mm	$\pm (1,3 \cdot 10^{-3} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm *	NF E 11 050	C
Apalpa-folgas	Espessura até 5 mm	$\pm (1,3 \cdot 10^{-3} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm *	Proced. 3.01	C
Peneiros	Malha metálica	$\pm (1,7 \cdot 10^{-3})$ mm	ISO 3310-1	C
	Chapa perfurada	$\pm (1,7 \cdot 10^{-3})$ mm	ISO 3310-2	C
Paquímetros	Alc. 300 mm / Resol. 0,01 mm	$\pm (1,2 \cdot 10^{-2} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm *	DIN 862	C
Cabeças micrométricas	Alc. 50 mm / Resol. 0,001 mm	$\pm (1,3 \cdot 10^{-3} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm *	Proced. 18.01	C
Moldes metálicos: cilíndricos, tripos e prismáticos	Alcance 1500 mm (OX)	$\pm (3,2 \cdot 10^{-3} + 8,6 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm *	NP EN 196-1	EM
	Alcance 1000 mm (OY)	$\pm (2,8 \cdot 10^{-3} + 8,6 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm *		
	Alcance 1000 mm (OZ)	$\pm (3,8 \cdot 10^{-3} + 8,6 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm *		
Transdutores de deslocamento <i>in situ</i>	Alc. 300 mm / Resol. 0,001 mm	$\pm (5,8 \cdot 10^{-3} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm *	Proc. Interno E33.01	C
Calibrador de extensómetros	Alc. 25 mm / Resol. 0,001 mm	$\pm (2,0 \cdot 10^{-3} + 2,0 \cdot 10^{-5} \cdot L)$ mm *	Proc. Interno E34.01	C
Extensómetros com indicador dedicado	Alc. 25 mm / Resol. 0,005 mm	$\pm (7,0 \cdot 10^{-3} + 4,1 \cdot 10^{-5} \cdot L)$ mm *	Proc. Interno E35.01	C
Ensaio dimensionais <i>in situ</i>	Alc. 20 m	$\pm (5,6 \cdot 10^{-4} + 8,6 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm *	Proc. Interno E32.01	EM
Geometria de pratos de prensa	Alc. 1 m x 1 m	$\pm (6,1 \cdot 10^{-3} + 9,4 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm *	Proc. Interno E31.01	EM
Instrumentos de Pesagem	Resol.: 0,01 mg / peso: 1mg	$\pm 8,0 \cdot 10^{-3}$ mg	EN 45 501	C
	Resol.: 0,01 mg / peso: 10 mg	$\pm 8,0 \cdot 10^{-3}$ mg		
	Resol.: 0,01 mg / peso: 100 mg	$\pm 1,0 \cdot 10^{-2}$ mg		
	Resol.: 0,01 mg / peso: 1 g	$\pm 1,3 \cdot 10^{-2}$ mg		
	Resol.: 0,01 mg / peso: 10 g	$\pm 2,2 \cdot 10^{-2}$ mg		
	Resol.: 0,1 mg / peso: 100 g	$\pm 9,7 \cdot 10^{-2}$ mg		
	Resol.: 0,1 mg / peso: 200 g	$\pm 1,5 \cdot 10^{-1}$ mg		
	Resol.: 1 mg / peso: 500 g	$\pm 7,8 \cdot 10^{-1}$ mg		
	Resol.: 1 mg / peso: 1 kg	$\pm 1,8$ mg		
	Resol.: 1 mg / peso: 2 kg	$\pm 2,4$ mg		
	Resol.: 10 mg / peso: 5 kg	$\pm 9,8$ mg		
	Resol.: 10 mg / peso: 10 kg	± 12 mg		
	Resol.: 100 mg / peso: 30 kg	$\pm 0,082$ g		
	Resol.: 100 mg / peso: 60 kg	$\pm 0,75$ g		
Pesos não classificados	Alcance 700g / Resol.I.P. 0,001mg	$\pm 2,6 \cdot 10^{-3}$ g	Proced. 2.04	C
	Alcance 12 kg / Resol.I.P. 0,1g	$\pm 8,8 \cdot 10^{-2}$ g		
Manómetros e Transd de pressão	1 bar a 60 bar (Resol. 0,01 bar)	$\pm 0,008$ bar	NP EN 837-1	C
	10 bar a 600 bar (Resol. 0,1 bar)	$\pm 0,08$ bar		
Manómetros e Transd. <i>in situ</i>	Alcance 35 kPa	± 6 kPa	Proced. 3.07	C
	Alcance 135 kPa	± 12 kPa		
Termómetros de Dilatação de líq.	Resol. 0,1°C / Gama -20°C a 80°C	$\pm 0,10$ °C	ISO 386	C
	Resol. 0,1°C / Gama 80°C a 250°C	$\pm 0,11$ °C		
	Resol. 1°C / Gama: -20°C a 80°C	$\pm 0,6$ °C		
	Resol. 1°C / Gama: 80°C a 250°C	$\pm 0,6$ °C		
Estufas	Gama: 0 °C a 180 °C	$\pm 0,09$ °C	DIN 12 880	EM
Câmaras condicionadas	Gamas: 0 °C a 180 °C / 35% a 80% hr	$\pm 0,09$ °C $0,5$ %hr	DIN 12 880	EM
Banhos com regulação térmica	Gama: 0 °C a 180 °C	$\pm 0,09$ °C	Proced. 10.15	EM

Muflas e fornos	Gama: ambiente a 100 °C	± 1,2 °C	Proced. 9.15	EM
	Gama: 100 °C a 400 °C	± 1,3 °C		
	Gama: 400 °C a 500 °C	± 2,0 °C		
	Gama: 500 °C a 800 °C	± 2,8 °C		
	Gama: 800 °C a 1100 °C	± 4 °C		
Termómetros	Resol. 0,1°C/ Gama -20°C a 80°C	± 0,10 °C	Proced. 13.15	C
digitais	Resol. 0,1°C/ Gama 80°C a 250°C	± 0,11 °C		
	Resol. 1°C/ Gama -20°C a 80°C	± 0,6 °C		
	Resol. 1°C/ Gama 80°C a 250°C	± 0,6 °C		
Termistores	Gama: 0 °C a 80 °C	± 0,094 °C	Proced. 17.15	C
Termómetros de resist. de platina	Gama: - 10 °C a 80 °C	± 0,015 °C	Proced.s 8.15/18.15	C
	Gama: 80 °C a 230 °C	± 0,015 °C		
Termohigrógrafos e ternohigrómetros	Gamas: 0 °C a 50 °C / Resolução 0,1 °C 20 %hr a 95 % hr / 0,1 % hr	± 0,16 °C ± 0,68 %hr	Proc. Interno E03.15	C
Higrómetros de espelho	Gamas: - 15 °C a 50 °C / Resol. 0,1 °C 20 %hr a 95 % hr / 0,1 % hr	± 0,16 °C ± 0,68 %hr	Proc. Interno E22.15	C
Termohigrógrafos mecânicos	Gamas: 0 °C a 50 °C / Resol. 0,5 °C 20 %hr a 95 % hr / 0,5 % hr	± 0,33 °C ± 1,2 %hr	Proc. Interno E21.15	C
Termoanemómetros	Gama: 0 °C a 50 °C / Resol. 0,1 °C	± 0,12 °C	Proc. Interno E23.15	C
Termopares	Gama: 250 °C a 450 °C	± 1,4 °C	Proc. Interno E12.15	C
	Gama: 450 °C a 1100 °C	± 1,7 °C		

^{*} L em mm

O conteúdo do quadro anterior inclui os valores de referência do laboratório no que respeita aos valores mínimos de incerteza de medição expandida que podem ser declarados nos certificados emitidos em 2008, após aceitação pela entidade acreditadora (IPAC – Instituto Português de Acreditação) como Melhores Incertezas de Medição, sendo válidos até à conclusão da auditoria externa seguinte. A informação nele contida é, também, disponibilizada aos clientes de serviços do laboratório, fornecendo um conjunto adicional de indicações relevantes acerca das capacidades vigentes para a realização de calibrações ou ensaios metrológicos, apoiando a sua decisão no que se refere à concordância entre estas capacidades declaradas pelo laboratório e o grau de exactidão exigido à instrumentação que estes pretendam calibrar.

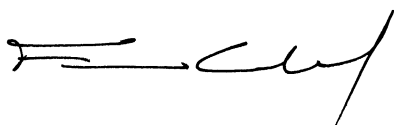
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Guide for the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)*. Genève (Suiça). International Organization for Standardization (ISO). 1993, re-editado em 1995.
- [2] *VIM – International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology*. Genève (Suiça). International Organization for Standardization (ISO). 1994.

LNEC, Lisboa, Maio de 2008

VISTOS

O Director do CIC



Francisco Carvalho
Investigador Coordenador

AUTORIA



Álvaro Silva Ribeiro
Lic.º Física Tecnológica, Doutor
Investigador Auxiliar, Chefe do NQM

ANEXO 1

Tabelas de Balanço das Melhores Incertezas de Medição do LCAM em 2008

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Grandeza: Comprimento

Micrómetros de exteriores (Alcance 25 mm, resolução 0,001 mm)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$	ν_i
L_s	Valor convencional	N	^(a) $4,775 \cdot 10^{-5}$ mm	1	$4,77 \cdot 10^{-5}$ mm	50
d	Desvio de calibração	N			$2 \cdot 10^{-4}$ mm	9
$d_{r,eq}$	Repetibilidade instrumental	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	9
$d_{reprod,eq}$	Reprodutib. instrumental	N	0	1	0	
$d_{reprod,met}$	Reprodutib. do método	N	0	1	0	
$d_{reprod,op}$	Reprodutib. de operadores	N	0	1	0	
D_{op}	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
		R	^(b) $4,08 \cdot 10^{-2}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
		T	^(c) $2,04 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$1 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3,7 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
		R	^(d) $7,348 \cdot 10^{-1}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
		R	^(e) $4,08 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$0,5 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	$2,5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,44 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp./ erro zero	R	$2 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	0	1	0	
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	0	1	0	
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	0	1	0	
$\delta L_{s,l}$	Correcção de valores de ref.	N	0	1	0	
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	-1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	^(f) $(5,774 \cdot 10^{-4} + 1,7587 \cdot 10^{-6} L)$ mm	1	$(5,77 \cdot 10^{-4} + 1,76 \cdot 10^{-6} L)$ mm (L em mm)	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

^(a) Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

^(b) Variação de temperatura: $u(\delta\theta) = \sqrt{2} \cdot u(\theta) = [\sqrt{2} \cdot 0,003 / \sqrt{3}] \text{ } ^\circ\text{C}$

^(c) Variação do coef. dilatação térmica: $u(\delta\theta) = 0$.

^(d) Variação da temperatura durante o ensaio: $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C} = [0,2 + 1^2 / 2]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C}$

^(e) Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica: $u(\delta\alpha) = \sqrt{2} \cdot u(\alpha) = [\sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3})] \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ^(f) Desvio assoc. à montagem: $= (1 - (1 \cdot \cos(0,2 \cdot \pi / 180))) / 2$.

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm (7,0 \cdot 10^{-4} + 4,6 \cdot 10^{-6} L)$ mm

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 96

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm (1,4 \cdot 10^{-3} + 9,2 \cdot 10^{-6} L)$ mm

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Comparadores (Alcance 50 mm, resolução 0,001 mm)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(X_i)$	c_i	$u_i(y)$	ν_i
L_s	Valor convencional	N	^(a) $1,25 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$1,25 \cdot 10^{-4}$ mm	50
d	Desvio de calibração	N			$2 \cdot 10^{-4}$ mm	9
$d_{r,eq}$	Repetibilidade instrumental	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	9
$d_{reprod,eq}$	Reprodutib. instrumental	N	0	1	0	
$d_{reprod,met}$	Reprodutib. do método	N	0	1	0	
$d_{reprod,op}$	Reprodutib. de operadores	N	0	1	0	
D_{op}	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot \text{var}[\delta\theta]$	$[\delta\theta] = (\theta_x - \theta_s)$	R	^(b) $4,08 \cdot 10^{-2}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \delta\theta^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}]$	$[\bar{\alpha}] = (\alpha_x - \alpha_s) / 2$	T	^(c) $2,04 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$1 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \cdot \text{var}[\delta\theta]$					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3,7 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \delta\alpha^2 \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$	$[\Delta\bar{\theta}] = \left[\frac{\theta_x + \theta_s}{2} \right] - \theta_0$	R	^(d) $7,348 \cdot 10^{-1}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \Delta\bar{\theta}^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha]$	$[\delta\alpha] = [\alpha_x - \alpha_s]$	R	^(e) $4,08 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$0,5 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha] \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	T	$5,25 \cdot 10^{-4} / \sqrt{6}$ mm	1	$2,14 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp. / erro de zero	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	$5 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	$4,1 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$4,1 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	-1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	^(f) $(5,774 \cdot 10^{-4} + 1,7587 \cdot 10^{-6} L)$ mm	1	$(5,77 \cdot 10^{-4} + 1,76 \cdot 10^{-6} L)$ mm (L em mm)	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

^(a) Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

^(b) Variação de temperatura: $u[\delta\theta] = [\sqrt{2} \cdot u(\theta)] = [(\sqrt{2} \cdot 0,05) / \sqrt{3}]^\circ \text{C}$; ^(c) Variação do coeficiente de dilatação térmica: $[\delta\theta] = 0$.

^(d) Variação da temperatura durante o ensaio: $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \text{C} = [0,2 + 1^2 / 2]^{1/2} \text{C}$.

^(e) Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica: $u[\delta\alpha] = [\sqrt{2} \cdot u(\alpha)] = [\sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3})]^\circ \text{C}^{-1}$ ^(f) Desvio associado à montagem: $= (1 - (1 \cdot \cos(0,2 \cdot \pi / 180))) / 2$.

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm (6,3 \cdot 10^{-4} + 4,6 \cdot 10^{-6} L)$ mm

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 156

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm (1,3 \cdot 10^{-4} + 9,2 \cdot 10^{-6} L)$ mm

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Apalpa-folgas** (Espessura 5 mm)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X _i		u(X _i)	C _i	u _i (y)	v _i
L _s	Valor convencional	N	^(a) 2,885·10 ⁻⁴ mm	1	2,885·10 ⁻⁴ mm	50
d	Desvio de calibração	N			1·10 ⁻⁴ mm	5
d _{req}	Repetibilidade instrumental	N	1·10 ⁻⁴ mm	1	1·10 ⁻⁴ mm	5
d _{reprod,eq}	Reprodutib. instrumental	N	0	1	0	
d _{reprod,met}	Reprodutib. do método	N	0	1	0	
d _{reprod,op}	Reprodutib. de operadores	N	0	1	0	
D _{op}	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			2,1·10 ⁻⁵ ·L mm (L em mm)	50
L ² · $\bar{\alpha}^2$ ·var[$\delta\theta$]	[$\delta\theta$] = ($\theta_x - \theta_s$)	R	^(b) 4,08·10 ⁻² K	1,15·10 ⁻⁵ ·L mm/K	4,70·10 ⁻⁷ ·L mm	50
L ² · $\delta\theta^2$ ·var[$\bar{\alpha}$]	[$\bar{\alpha}$] = ($\alpha_x - \alpha_s$)/2	T	^(c) 2,04·10 ⁻⁵ K ⁻¹	1·L K·mm	2,04·10 ⁻⁵ ·L mm	50
L ² ·var[$\bar{\alpha}$]·var[$\delta\theta$]					1,18·10 ⁻⁷ ·L mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					3·10 ⁻⁶ ·L mm (L em mm)	50
L ² · $\delta\alpha^2$ ·var[$\Delta\bar{\theta}$]	[$\Delta\bar{\theta}$] = [$\frac{\theta_x + \theta_s}{2}$] - θ_o	R	^(d) 7,348·10 ⁻¹ K	1,15·10 ⁻⁵ ·L mm/K	7,348·10 ⁻⁷ ·L mm	50
L ² · $\Delta\bar{\theta}^2$ ·var[$\delta\alpha$]	[$\delta\alpha$] = [$\alpha_x - \alpha_s$]	R	^(e) 4,08·10 ⁻⁵ K ⁻¹	0,5·L K·mm	2,04·10 ⁻⁵ ·L mm	50
L ² ·var[$\delta\alpha$]·var[$\Delta\bar{\theta}$]					3·10 ⁻⁶ ·L mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	1·10 ⁻⁴ /√3 mm	1	5,77·10 ⁻⁵ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp. / erro de zero	R	1·10 ⁻⁴ /√3 mm	1	5,77·10 ⁻⁵ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	0	1	0	
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	0	1	0	
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	1·10 ⁻⁴ /√3 mm	1	5,77·10 ⁻⁵ mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	1·10 ⁻⁴ mm	1	1·10 ⁻⁴ mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	0	-1	0	
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	^(f) (5,774·10 ⁻⁴ + 1,7587·10 ⁻⁶ L) mm	1	(5,77·10 ⁻⁴ + 1,76·10 ⁻⁶ L) mm (L em mm)	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

^(a) Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

^(b) Variação de temperatura: $u[\delta\theta] = [\sqrt{2} \cdot u(\theta)] = [\sqrt{2} \cdot 0,05] / \sqrt{3} \text{ } ^\circ\text{C}$; ^(c) Variação do coeficiente de dilatação térmica: ; [$\delta\theta$] = 0.

^(d) Variação da temperatura durante o ensaio: $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C} = [0,2 + 1^2 / 2]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C}$.

^(e) Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica: $u[\delta\alpha] = [\sqrt{2} \cdot u(\alpha)] = [\sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3})] \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ^(f) Desvio associado à montagem: = (1 - (1 · cos(0,2 · π / 180))) / 2.

u(y)	Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± (6,7·10 ⁻⁴ + 4,6·10 ⁻⁶ L) mm
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 90
v _{ef}	Factor de expansão: 2,00
U ₉₅ (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± (1,3·10 ⁻³ + 9,2·10 ⁻⁶ L) mm

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Peneiros**

(Malha metálica ou chapa perfurada)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(X_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
L_s	Valor convencional	N	^(a) $5 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$5 \cdot 10^{-4}$ mm	50
d	Desvio de calibração	N			$3,28 \cdot 10^{-4}$ mm	16
$d_{r,eq}$	Repetibilidade instrumental	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	9
$d_{reprod,eq}$	Reprodutib. instrumental	N	0	1	0	
$d_{reprod,met}$	Reprodutib. do método	N	0	1	0	
$d_{reprod,op}$	Reprodutib. de operadores	N	0	1	0	
D_{op}	Repetibilidade operador	N	$2,6 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2,6 \cdot 10^{-4}$ mm	9
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot \text{var}[\delta\theta]$	$[\delta\theta] = (\theta_x - \theta_s)$	R	^(b) $4,08 \cdot 10^{-2}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \delta\theta^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}]$	$[\bar{\alpha}] = (\alpha_x - \alpha_s)/2$	T	^(c) $2,04 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$	$1 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \cdot \text{var}[\delta\theta]$					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \delta\alpha^2 \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$	$[\Delta\bar{\theta}] = \left[\frac{\theta_x + \theta_s}{2} \right] - \theta_0$	R	^(d) $7,348 \cdot 10^{-1}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \Delta\bar{\theta}^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha]$	$[\delta\alpha] = [\alpha_x - \alpha_s]$	R	^(e) $4,08 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$	$0,5 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha] \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp. / erro de zero	R	$2 \cdot 10^{-5}/\sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	$2 \cdot 10^{-5}/\sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	$2 \cdot 10^{-5}/\sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	$5 \cdot 10^{-4}/\sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	$5 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$5 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	0	-1	0	
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	0	1	0	

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

^(a) Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

^(b) Variação de temperatura: $u[\delta\theta] = \sqrt{2} \cdot u(\theta) = \left[\sqrt{2} \cdot 0,05 / \sqrt{3} \right] \text{ } ^\circ\text{C}$; ^(c) Variação do coeficiente de dilatação térmica: ; $[\delta\theta] = 0$.

^(d) Variação da temperatura durante o ensaio: $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C} = [0,2 + 1^2 / 2]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C}$

^(e) Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica: $u[\delta\alpha] = \sqrt{2} \cdot u(\alpha) = \left[\sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3}) \right] \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm (8,6 \cdot 10^{-4} + 4,3 \cdot 10^{-6} L)$ mm

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 95

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm (1,7 \cdot 10^{-3})$ mm

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Paquímetros** (Alcance 300 mm; resolução 0,01 mm)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _i P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(X_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
L_s	Valor convencional	N	^(a) $1,05 \cdot 10^{-3}$ mm	1	$1,05 \cdot 10^{-3}$ mm	50
d	Desvio de calibração	N			$2,86 \cdot 10^{-3}$ mm	15
$d_{r,eq}$	Repetibilidade instrumental	N	$2 \cdot 10^{-3}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-3}$ mm	4
$d_{reprod,eq}$	Reprodutibilidade Erro de Abbe	N	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{6}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-3}$ mm	50
$d_{reprod,met}$	Reprodutib. do método	N	0	1	0	
$d_{reprod,op}$	Reprodutib. de operadores	N	0	1	0	
D_{op}	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot \text{var}[\delta\theta]$	$[\delta\theta] = (\theta_x - \theta_s)$	R	^(b) $4,08 \cdot 10^{-2}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \delta\theta^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}]$	$[\bar{\alpha}] = (\alpha_x - \alpha_s) / 2$	T	^(c) $2,04 \cdot 10^{-5}$ K ⁻¹	$1 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \cdot \text{var}[\delta\theta]$					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \delta\alpha^2 \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$	$[\Delta\bar{\theta}] = \left[\frac{\theta_x + \theta_s}{2} \right] - \theta_0$	R	^(d) $3,8 \cdot 10^{-1}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \Delta\bar{\theta}^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha]$	$[\delta\alpha] = [\alpha_x - \alpha_s]$	R	^(e) $4,08 \cdot 10^{-5}$ K ⁻¹	$0,5 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha] \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	$3,8 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,19 \cdot 10^{-3}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp. / erro de zero	R	0	1	0	
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	0	1	0	
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	0	1	0	
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	0	1	0	
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	0	1	0	
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mm	-1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	^(f) $(2,89 \cdot 10^{-3} + 1,7587 \cdot 10^{-6} L)$ mm	1	$(2,89 \cdot 10^{-3} + 1,76 \cdot 10^{-6} L)$ mm (L em mm)	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

^(a) Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

^(b) Variação de temperatura: $u[\delta\theta] = [\sqrt{2} \cdot u(\theta)] = [\sqrt{2} \cdot 0,05] / \sqrt{3} \text{ } ^\circ\text{C}$; ^(c) Variação do coeficiente de dilatação térmica: ; $[\delta\theta] = 0$.

^(d) Variação da temperatura durante o ensaio: $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C} = [0,2 + 1^2 / 2]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C}$.

^(e) Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica: $u[\delta\alpha] = [\sqrt{2} \cdot u(\alpha)] = [\sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3})] \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ^(f) Desvio associado à montagem: $= (1 - (1 - \cos(0,2 \cdot \pi / 180))) / 2$.

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm (6,0 \cdot 10^{-3} + 4,6 \cdot 10^{-6} L)$ mm

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 309

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm (1,2 \cdot 10^{-2} + 9,2 \cdot 10^{-6} L)$ mm

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: Cabeças micrométricas

(Alcance 50 mm, resolução 0,001 mm)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _i P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u(y)$	ν_i
L_s	Valor convencional	N	^(a) $4,8 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$4,8 \cdot 10^{-4}$ mm	50
d	Desvio de calibração	N			$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{r,eq}$	Repetibilidade instrumental	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{reprod,eq}$	Reprodutib. instrumental	N	0	1	0	
$d_{reprod,met}$	Reprodutib. do método	N	0	1	0	
$d_{reprod,op}$	Reprodutib. de operadores	N	0	1	0	
D_{op}	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot \text{var}[\delta\theta]$	$[\delta\theta] = (\theta_x - \theta_s)$	R	^(b) $4,08 \cdot 10^{-2}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \delta\theta^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}]$	$[\bar{\alpha}] = (\alpha_x - \alpha_s) / 2$	T	^(c) $2,04 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$	$1 \cdot L \text{ K} \cdot \text{mm}$	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \cdot \text{var}[\delta\theta]$					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \delta\alpha^2 \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$	$[\Delta\bar{\theta}] = \left[\frac{\theta_x + \theta_s}{2} \right] - \theta_0$	R	^(d) $7,348 \cdot 10^{-1} \text{ K}$	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \Delta\bar{\theta}^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha]$	$[\delta\alpha] = [\alpha_x - \alpha_s]$	R	^(e) $4,08 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$	$0,5 \cdot L \text{ K} \cdot \text{mm}$	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha] \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	$6 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$3,46 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp. / erro de zero	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	$5 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	$5 \cdot 10^{-5}$ mm	1	$5 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	-1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	^(f) $(2,89 \cdot 10^{-4} + 1,7587 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	1	$(2,89 \cdot 10^{-4} + 1,76 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm (L em mm)	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

^(a) Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

^(b) Variação de temperatura: $u[\delta\theta] = [\sqrt{2} \cdot u(\theta)] = [\sqrt{2} \cdot 0,05] / \sqrt{3} \text{ } ^\circ\text{C}$; ^(c) Variação do coeficiente de dilatação térmica: $[\delta\theta] = 0$.

^(d) Variação da temperatura durante o ensaio: $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C} = [0,2 + 1^2 / 2]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C}$.

^(e) Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica: $u[\delta\alpha] = [\sqrt{2} \cdot u(\alpha)] = [\sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3})] \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ^(f) Desvio associado à montagem: $= (1 - (1 - \cos(0,2 \cdot \pi / 180))) / 2$.

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm (6,7 \cdot 10^{-4} + 4,6 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 93

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm (1,3 \cdot 10^{-3} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: Instrumentos de pesagem (Patamar 1 mg, resolução 0,01 mg)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
δm_{cal}	Calibração dos padrões	N	$1 \cdot 10^{-3}$ mg	1	$1 \cdot 10^{-3}$ mg	50
δm_{dep}	Depreciação dos padrões	R	$3 \cdot 10^{-3} / \sqrt{12}$ mg	1	$8,7 \cdot 10^{-4}$ mg	50
δm_R	Resolução do I.P.	R	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ mg	50
δm_{rep}	Repetibilidade	R	$2 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mg	1	$1,15 \cdot 10^{-3}$ mg	4
δm_{cv}	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
δm_{imp}	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 1) / \sqrt{12}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-7}$ mg	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 4 \cdot 10^{-3}$ mg
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 35
ν_{ef}	Factor de expansão: 2,07
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 8 \cdot 10^{-3}$ mg

Equipamento: Instrumentos de pesagem (Patamar 10 mg, resolução 0,01 mg)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
δm_{cal}	Calibração dos padrões	N	$1 \cdot 10^{-3}$ mg	1	$1 \cdot 10^{-3}$ mg	50
δm_{dep}	Depreciação dos padrões	R	$3 \cdot 10^{-3} / \sqrt{12}$ mg	1	$8,7 \cdot 10^{-4}$ mg	50
δm_R	Resolução do I.P.	R	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ mg	50
δm_{rep}	Repetibilidade	R	$2 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mg	1	$1,15 \cdot 10^{-3}$ mg	4
δm_{cv}	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
δm_{imp}	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 10) / \sqrt{12}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-6}$ mg	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 4 \cdot 10^{-3}$ mg
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 35
ν_{ef}	Factor de expansão: 2,07
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 8 \cdot 10^{-3}$ mg

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: Instrumentos de pesagem (Patamar 100 mg, resolução 0,01 mg)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X _i		u(x _i)	C _i	u _i (y)	v _i
δm_{cal}	Calibração dos padrões	N	2,5·10 ⁻³ mg	1	2,5·10 ⁻³ mg	50
δm_{dep}	Depreciação dos padrões	R	4·10 ⁻³ /√12 mg	1	1,15·10 ⁻³ mg	50
δm_R	Resolução do I.P.	R	5·10 ⁻³ /√3 mg	1	2,89·10 ⁻³ mg	50
δm_{rep}	Repetibilidade	R	2·10 ⁻³ /√3 mg	1	1,15·10 ⁻³ mg	4
δm_{cv}	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
δm_{imp}	Efeito de impulsão	N	(1·10 ⁻⁶ ·100)/√12 mg	1	2,89·10 ⁻⁵ mg	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± 4·10⁻³ mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 22

v_{ef} Factor de expansão: 2,13

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): ± 1,0·10⁻² mg

Equipamento: Instrumentos de pesagem (Patamar 1 g, resolução 0,01 mg)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X _i		u(x _i)	C _i	u _i (y)	v _i
δm_{cal}	Calibração dos padrões	N	5·10 ⁻³ mg	1	5·10 ⁻³ mg	50
δm_{dep}	Depreciação dos padrões	R	8·10 ⁻³ /√12 mg	1	2,3·10 ⁻³ mg	50
δm_R	Resolução do I.P.	R	5·10 ⁻³ /√3 mg	1	2,89·10 ⁻³ mg	50
δm_{rep}	Repetibilidade	R	2·10 ⁻³ /√3 mg	1	1,15·10 ⁻³ mg	4
δm_{cv}	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
δm_{imp}	Efeito de impulsão	N	(1·10 ⁻⁶ ·10 ³)/√12 mg	1	2,89·10 ⁻⁴ mg	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± 6,5·10⁻³ mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 248

v_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): ± 1,3·10⁻² mg

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Instrumentos de pesagem** (Patamar 10 g, resolução 0,01 mg)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
δm_{cal}	Calibração dos padrões	N	$1 \cdot 10^{-2}$ mg	1	$1 \cdot 10^{-2}$ mg	50
δm_{dep}	Depreciação dos padrões	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{12}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ mg	50
δm_R	Resolução do I.P.	R	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ mg	50
δm_{rep}	Repetibilidade	R	$2 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mg	1	$1,15 \cdot 10^{-3}$ mg	4
δm_{cv}	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
δm_{imp}	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4) / \sqrt{12}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ mg	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 1,1 \cdot 10^{-2}$ mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 503

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 2,2 \cdot 10^{-2}$ mg

Equipamento: **Instrumentos de pesagem** (Patamar 100 g, resolução 0,1 mg)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
δm_{cal}	Calibração dos padrões	N	$2,5 \cdot 10^{-2}$ mg	1	$2,5 \cdot 10^{-2}$ mg	50
δm_{dep}	Depreciação dos padrões	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{12}$ mg	1	$1,44 \cdot 10^{-2}$ mg	50
δm_R	Resolução do I.P.	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-2}$ mg	50
δm_{rep}	Repetibilidade	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ mg	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ mg	4
δm_{cv}	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
δm_{imp}	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5) / \sqrt{12}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-2}$ mg	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 4,6 \cdot 10^{-2}$ mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 24

ν_{ef} Factor de expansão: 2,13

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 9,7 \cdot 10^{-2}$ mg

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: Instrumentos de pesagem (Patamar 200 g, resolução 0,1 mg)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _i P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
δm_{cal}	Calibração dos padrões	N	$5 \cdot 10^{-2}$ mg	1	$5 \cdot 10^{-2}$ mg	50
δm_{dep}	Depreciação dos padrões	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{12}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-2}$ mg	50
δm_R	Resolução do I.P.	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-2}$ mg	50
δm_{rep}	Repetibilidade	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ mg	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ mg	4
δm_{cv}	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
δm_{imp}	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^4) / \sqrt{12}$ mg	1	$5,77 \cdot 10^{-2}$ mg	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 6,8 \cdot 10^{-2}$ mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 10

ν_{ef} Factor de expansão: 2,28

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 1,5 \cdot 10^{-1}$ mg

Equipamento: Instrumentos de pesagem (Patamar 500 g, resolução 1 mg)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _i P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
δm_{cal}	Calibração dos padrões	N	$1,25 \cdot 10^{-1}$ mg	1	$1,25 \cdot 10^{-1}$ mg	50
δm_{dep}	Depreciação dos padrões	R	$1,5 \cdot 10^{-1} / \sqrt{12}$ mg	1	$4,33 \cdot 10^{-2}$ mg	50
δm_R	Resolução do I.P.	R	$5 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-1}$ mg	50
δm_{rep}	Repetibilidade	R	$2 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ mg	1	$1,15 \cdot 10^{-1}$ mg	4
δm_{cv}	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
δm_{imp}	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^5) / \sqrt{12}$ mg	1	$1,44 \cdot 10^{-1}$ mg	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 3,8 \cdot 10^{-1}$ mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 32

ν_{ef} Factor de expansão: 2,09

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 7,8 \cdot 10^{-1}$ mg

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: Instrumentos de pesagem (Patamar 1 kg, resolução 1 mg)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _i P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
δm_{cal}	Calibração dos padrões	N	$7,5 \cdot 10^{-1}$ mg	1	$7,5 \cdot 10^{-1}$ mg	50
δm_{dep}	Depreciação dos padrões	R	$1/\sqrt{12}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-1}$ mg	50
δm_R	Resolução do I.P.	R	$5 \cdot 10^{-1}/\sqrt{3}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-1}$ mg	50
δm_{rep}	Repetibilidade	R	$2 \cdot 10^{-1}/\sqrt{3}$ mg	1	$1,15 \cdot 10^{-1}$ mg	4
δm_{cv}	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
δm_{imp}	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^6) / \sqrt{12}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-1}$ mg	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 8,8 \cdot 10^{-1}$ mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 429

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 1,8$ mg

Equipamento: Instrumentos de pesagem (Patamar 2 kg, resolução 1 mg)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _i P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
δm_{cal}	Calibração dos padrões	N	$7,5 \cdot 10^{-1}$ mg	1	$7,5 \cdot 10^{-1}$ mg	50
δm_{dep}	Depreciação dos padrões	R	$3/\sqrt{12}$ mg	1	$8,66 \cdot 10^{-1}$ mg	50
δm_R	Resolução do I.P.	R	$5 \cdot 10^{-1}/\sqrt{3}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-1}$ mg	50
δm_{rep}	Repetibilidade	R	$2 \cdot 10^{-1}/\sqrt{3}$ mg	1	$1,15 \cdot 10^{-1}$ mg	4
δm_{cv}	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
δm_{imp}	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^6) / \sqrt{12}$ mg	1	$5,77 \cdot 10^{-1}$ mg	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 1,2$ mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 166

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 2,4$ mg

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: Instrumentos de pesagem (Patamar 5 kg, resolução 10 mg)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(X_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
δm_{cal}	Calibração dos padrões	N	1,9 mg	1	1,9 mg	50
δm_{dep}	Depreciação dos padrões	R	10/ $\sqrt{12}$ mg	1	2,89 mg	50
δm_R	Resolução do I.P.	R	5/ $\sqrt{3}$ mg	1	2,89 mg	50
δm_{rep}	Repetibilidade	R	2/ $\sqrt{3}$ mg	1	1,15 mg	4
δm_{cv}	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
δm_{imp}	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-8} \cdot 5 \cdot 10^6) / \sqrt{12}$ mg	1	1,44 mg	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 4,9$ mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 87

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 9,8$ mg

Equipamento: Instrumentos de pesagem (Patamar 10 kg, resolução 10 mg)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(X_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
δm_{cal}	Calibração dos padrões	N	3,75 mg	1	3,75 mg	50
δm_{dep}	Depreciação dos padrões	R	10/ $\sqrt{12}$ mg	1	2,89 mg	50
δm_R	Resolução do I.P.	R	5/ $\sqrt{3}$ mg	1	2,89 mg	50
δm_{rep}	Repetibilidade	R	2/ $\sqrt{3}$ mg	1	1,15 mg	4
δm_{cv}	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
δm_{imp}	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^7) / \sqrt{12}$ mg	1	2,89 mg	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 5,9$ mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 168

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): ± 12 mg

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: Instrumentos de pesagem (Patamar 30 kg, resolução 100 mg)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _i P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
δm_{cal}	Calibração dos padrões	N	10 mg	1	10 mg	50
δm_{dep}	Depreciação dos padrões	R	$30/\sqrt{12}$ mg	1	8,68 mg	50
δm_R	Resolução do I.P.	R	$50/\sqrt{3}$ mg	1	28,9 mg	50
δm_{rep}	Repetibilidade	R	$20/\sqrt{3}$ mg	1	11,5 mg	4
δm_{cv}	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
δm_{imp}	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^7) / \sqrt{12}$ mg	1	8,66 mg	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± 0,041 g

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 53

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,082 g

Equipamento: Instrumentos de pesagem (Patamar 60 kg, resolução 1 g)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _i P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
δm_{cal}	Calibração dos padrões	N	42 mg	1	42 mg	50
δm_{dep}	Depreciação dos padrões	R	$70/\sqrt{12}$ mg	1	20 mg	50
δm_R	Resolução do I.P.	R	$500/\sqrt{3}$ mg	1	289 mg	50
δm_{rep}	Repetibilidade	R	$200/\sqrt{3}$ mg	1	115 mg	4
δm_{cv}	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
δm_{imp}	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^7) / \sqrt{12}$ mg	1	17 mg	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± 0,35 g

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 29

ν_{ef} Factor de expansão: 2,11

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,75 g

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Pesos não classificados** (Alcance, 700 g, resolução I.P.: 0,001 g)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
δm_{cal}	Calibração do padrão	N	$(4 \cdot 10^{-4})$ g	1	$(4 \cdot 10^{-4})$ g	50
δm_{interp}	interpolação da escala	R	$(5 \cdot 10^{-4}/\sqrt{3})$ g	1	$(2,9 \cdot 10^{-4})$ g	50
δm_{dep}	Depreciação do padrão	R	$(5 \cdot 10^{-4}/\sqrt{12})$ g	1	$(1,5 \cdot 10^{-4})$ g	50
δm_{rep}	Repetibilidade	N	$(2 \cdot 10^{-4})$ g	1	$(2 \cdot 10^{-4})$ g	9
δm_{imp}^1	Efeito de impulsão	R	$(4 \cdot 10^{-3})/\sqrt{12}$ g	1	$(1,15 \cdot 10^{-3})$ g	50
δm_{conv}^2	Efeito de convexão	R	$(7 \cdot 10^{-4})/\sqrt{12}$ g	1	$(2 \cdot 10^{-4})$ g	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

¹ Valor correspondente a ± 5 mg/kg (Relatório LNEC 154/05)

² Valor correspondente a $\pm 0,1$ mg/ 100 g para uma variação de temperatura de 1 °C (Relatório LNEC 154/05)

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 1,3 \cdot 10^{-3}$ g
k	Graus de liberdade efectivos (700 g): 78
ν_{ef}	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 2,6 \cdot 10^{-3}$ g

Equipamento: **Pesos não classificados** (Alcance, 12 kg, resolução I.P.: 0,1 g)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
δm_{cal}	Calibração do padrão	N	$(4 \cdot 10^{-2})$ g	1	$(4 \cdot 10^{-2})$ g	50
δm_{interp}	interpolação da escala	R	$(5 \cdot 10^{-3}/\sqrt{3})$ g	1	$(2,9 \cdot 10^{-3})$ g	50
δm_{dep}	Depreciação do padrão	R	$(5 \cdot 10^{-3}/\sqrt{12})$ g	1	$(1,5 \cdot 10^{-3})$ g	50
δm_{rep}	Repetibilidade	N	$(2 \cdot 10^{-3})$ g	1	$(2 \cdot 10^{-3})$ g	9
δm_{imp}^1	Efeito de impulsão	R	$(6 \cdot 10^{-3})/\sqrt{12}$ g	1	$(1,7 \cdot 10^{-2})$ g	50
δm_{conv}^2	Efeito de convexão	R	$(1,2 \cdot 10^{-4})/\sqrt{12}$ g	1	$(3,5 \cdot 10^{-3})$ g	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

¹ Valor correspondente a ± 5 mg/kg (Relatório LNEC 154/05)

² Valor correspondente a $\pm 0,1$ mg/ 100 g para uma variação de temperatura de 1 °C (Relatório LNEC 154/05)

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 4,4 \cdot 10^{-2}$ g
k	Graus de liberdade efectivos (700 g): 69
ν_{ef}	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 8,8 \cdot 10^{-2}$ g

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Manómetros e transdutores de pressão “in situ”** (Alcance, 35 kPa)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X _i		u(x _i)	C _i	u _i (y)	v _i
δp _{cal}	Calibração do padrão	N	1 kPa	1	1 kPa	50
δp _{interp}	interpolação da escala	R	(5·10 ⁻¹ /√3) kPa	1	(2,9·10 ⁻¹) kPa	50
δp _{res}	Resolução	R	(5/√3) kPa	1	2,9 kPa	50
δp _{rep}	Repetibilidade	N	(1·10 ⁻¹) kPa	1	(1·10 ⁻¹) kPa	9
δp _{met}	Método	R	(1·10 ⁻¹) /√3 kPa	1	(5,8·10 ⁻²) kPa	50
δp _e	Estabilidade	R	(2·10 ⁻¹) /√3 kPa	1	(1,15·10 ⁻¹) kPa	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N –Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

u(y)	Incerteza de medição padrão: ± 3 kPa
k	Graus de liberdade efectivos (700 g): 63
v _{ef}	Factor de expansão: 2,00
U ₉₅ (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± 6 kPa

Equipamento: **Manómetros e transdutores de pressão “in situ”** (Alcance, 135 kPa)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X _i		u(x _i)	C _i	u _i (y)	v _i
δp _{cal}	Calibração do padrão	N	4,5 kPa	1	4,5 kPa	50
δp _{interp}	interpolação da escala	R	(5/√3) kPa	1	2,9 kPa	50
δp _{res}	Resolução	R	(5/√3) kPa	1	2,9 kPa	50
δp _{rep}	Repetibilidade	N	(1·10 ⁻¹) kPa	1	(1·10 ⁻¹) kPa	9
δp _{met}	Método	R	(1·10 ⁻¹) /√3 kPa	1	(5,8·10 ⁻²) kPa	50
δp _e	Estabilidade	R	(2·10 ⁻¹) /√3 kPa	1	(1,15·10 ⁻¹) kPa	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N –Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

u(y)	Incerteza de medição padrão: ± 6 kPa
k	Graus de liberdade efectivos (700 g): 124
v _{ef}	Factor de expansão: 2,00
U ₉₅ (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± 12 kPa

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: Termómetros de dilatação de líquido-em-vidro

(gama de medição – 20 °C a + 80 °C, resolução 0,1 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(X_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
$\delta w_{s,cal}$; $\delta R_{s,ind}$; $\delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	1	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{s,i}$	Interpolação da escala	R		1	$1 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,vpat}$	Efeito da variação da pressão atmosférica	R	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,px}$	Efeito de paralaxe	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,ds}$	Deriva secular	R	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,col}$	Temperatura da coluna de imersão	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,050$ °C
k	Graus de liberdade efectivos: 139
ν_{ef}	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,10$ °C

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: Termómetros de dilatação de líquido-em-vidro

(gama de medição 80 °C a 250 °C, resolução 0,1 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _i P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente d sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
$\delta W_{s,cal}$; $\delta R_{s,ind}$; $\delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	1	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{s,i}$	Interpolação da escala	R		1	$1 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do banho regulado	R	$4 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,3 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,vpat}$	Efeito da variação da pressão atmosférica	R	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,px}$	Efeito de paralaxe	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,ds}$	Deriva secular	R	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,col}$	Temperatura da coluna de imersão	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,056$ °C
k	Graus de liberdade efectivos: 188
ν_{ef}	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,11$ °C

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: Termómetros de dilatação de líquido-em-vidro

(gama de medição -20 °C a $+80\text{ °C}$, resolução 1 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _i P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
$\delta W_{s,cal}$, $\delta R_{s,ind}$; $\delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$3,5 \cdot 10^{-2}\text{ °C}$	1	$3,5 \cdot 10^{-2}\text{ °C}$	50
$\delta \theta_{s,i}$	Interpolação da escala	R		1	$1 \cdot 10^{-2}\text{ °C}$	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}\text{ °C}$	1	$1,15 \cdot 10^{-2}\text{ °C}$	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}\text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-3}\text{ °C}$	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}\text{ °C}$	1	$2,89 \cdot 10^{-1}\text{ °C}$	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,vpat}$	Efeito da variação da pressão atmosférica	R	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}\text{ °C}$	1	$2,89 \cdot 10^{-3}\text{ °C}$	50
$\delta \theta_{Tx,px}$	Efeito de paralaxe	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}\text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2}\text{ °C}$	50
$\delta \theta_{Tx,ds}$	Deriva secular	R	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,col}$	Temperatura da coluna de imersão	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}\text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-3}\text{ °C}$	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,33\text{ °C}$
k	Graus de liberdade efectivos: 80
ν_{ef}	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,7\text{ °C}$

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: Termómetros de dilatação de líquido-em-vidro

(gama de medição 80 °C a 250 °C, resolução 1 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente d sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
$\delta W_{s,cal}$; $\delta R_{s,ind}$; $\delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	1	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{s,i}$	Interpolação da escala	R		1	$1 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do banho regulado	R	$4 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,3 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-1}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,vpat}$	Efeito da variação da pressão atmosférica	R	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,px}$	Efeito de paralaxe	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,ds}$	Deriva secular	R	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,col}$	Temperatura da coluna de imersão	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,33$ °C
k	Graus de liberdade efectivos: 81
ν_{ef}	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,7$ °C

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Estufas** (gama de medição 0 °C a + 180 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _i P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente d sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
$\delta\theta_{s,cal}$	Calibração dos padrões	N	$4 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	1	$4 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{ponte}$	Ponte de medição	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$1,15 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{interp}$	Interpolação da escala	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$1,15 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
δm_{der}	Deriva de longo prazo	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-3} \text{ °C}$	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 0,44 \text{ °C}$

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 50

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,9 \text{ °C}$

Equipamento: **Câmaras condicionadas** (gama de medição 0 °C a + 180 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _i P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente d sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
$\delta\theta_{s,cal}$	Calibração dos padrões	N	$4 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	1	$4 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{ponte}$	Ponte de medição	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$1,15 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{interp}$	Interpolação da escala	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$1,15 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
δm_{der}	Deriva de longo prazo	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-3} \text{ °C}$	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 0,44 \text{ °C}$

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 50

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,9 \text{ °C}$

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Banhos c/ regulação térmica** (gama de medição 0 °C a + 180 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente d sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(X_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
$\delta\theta_{s,cal}$	Calibração dos padrões	N	$4 \cdot 10^{-2}$ °C	1	$4 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta\theta_{ponte}$	Ponte de medição	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta\theta_{interp}$	Interpolação da escala	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50
δm_{der}	Deriva de longo prazo	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 0,44$ °C

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 50

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,9$ °C

Equipamento: **Fornos e Muflas** (gama de medição temp. ambiente a + 100 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente d sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(X_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
$\delta\theta_{s,cal}$	Calibração dos padrões	N	$5 \cdot 10^{-2}$ °C	1	$5 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta\theta_{ponte}$	Ponte de medição	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta\theta_{desvio}$	Desvios de calibração	R	$1 / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-1}$ °C	50
$\delta\theta_{interp}$	Interpolação da escala	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-2}$ °C	50
δm_{der}	Deriva de longo prazo	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-2}$ °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 0,59$ °C

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 50

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 1,2$ °C

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Fornos e Mufas** (gama de medição + 100 °C a + 400 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _i P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente d sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X _i		u (X _i)	C _i	u _i (y)	v _i
$\delta\theta_{s,cal}$	Calibração dos padrões	N	1·10 ⁻¹ °C	1	1·10 ⁻¹ °C	50
$\delta\theta_{ponte}$	Ponte de medição	R	1·10 ⁻¹ / √3 °C	1	5,78·10 ⁻² °C	50
$\delta\theta_{desvio}$	Desvios de calibração	R	1,1 / √3 °C	1	6,35·10 ⁻¹ °C	50
$\delta\theta_{interp}$	Interpolação da escala	R	1·10 ⁻¹ / √3 °C	1	5,78·10 ⁻² °C	50
δm_{der}	Deriva de longo prazo	R	1·10 ⁻¹ / √3 °C	1	5,78·10 ⁻² °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

u(y)	Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± 0,65 °C
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 50
v _{ef}	Factor de expansão: 2,00
U ₉₅ (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± 1,3 °C

Equipamento: **Fornos e Mufas** (gama de medição + 400 °C a + 500 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _i P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente d sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X _i		u (X _i)	C _i	u _i (y)	v _i
$\delta\theta_{s,cal}$	Calibração dos padrões	N	1,5·10 ⁻¹ °C	1	1,5·10 ⁻¹ °C	50
$\delta\theta_{ponte}$	Ponte de medição	R	1·10 ⁻¹ / √3 °C	1	5,78·10 ⁻² °C	50
$\delta\theta_{desvio}$	Desvios de calibração	R	1,7 / √3 °C	1	9,8·10 ⁻¹ °C	50
$\delta\theta_{interp}$	Interpolação da escala	R	1·10 ⁻¹ / √3 °C	1	5,78·10 ⁻² °C	50
δm_{der}	Deriva de longo prazo	R	1·10 ⁻¹ / √3 °C	1	5,78·10 ⁻² °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

u(y)	Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± 0,99 °C
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 50
v _{ef}	Factor de expansão: 2,00
U ₉₅ (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± 2,0 °C

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Fornos e Mufas** (gama de medição + 500 °C a + 800 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente d sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(X_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
$\delta\theta_{s,cal}$	Calibração dos padrões	N	$8 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	1	$8 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{ponte}$	Ponte de medição	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{desvio}$	Desvios de calibração	R	$1,9 / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$1,1 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{interp}$	Interpolação da escala	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
δm_{der}	Deriva de longo prazo	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 1,4 \text{ °C}$

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 50

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 2,8 \text{ °C}$

Equipamento: **Fornos e Mufas** (gama de medição + 800 °C a + 1100 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente d sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(X_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
$\delta\theta_{s,cal}$	Calibração dos padrões	N	$1,25 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	1	$1,25 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{ponte}$	Ponte de medição	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{desvio}$	Desvios de calibração	R	$2,7 / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$1,56 \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{interp}$	Interpolação da escala	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
δm_{der}	Deriva de longo prazo	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 2 \text{ °C}$

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 50

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 4 \text{ °C}$

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Termómetros digitais** (gama de medição 0 °C a + 80 °C, resolução 0,1 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente d sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
$\delta w_{s,cal}$; $\delta R_{s,ind}$; $\delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	1	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{s,i}$	Interpolação da escala	R		1	$1 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,col}$	Temperatura da coluna de imersão	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,048$ °C
k	Graus de liberdade efectivos: 124
ν_{ef}	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,10$ °C

Equipamento: **Termómetros digitais** (gama de medição + 80 °C a + 180 °C, resolução 0,1 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente d sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
$\delta w_{s,cal}$; $\delta R_{s,ind}$; $\delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	1	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{s,i}$	Interpolação da escala	R		1	$1 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do banho regulado	R	$4 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,3 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,col}$	Temperatura da coluna de imersão	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,054$ °C
k	Graus de liberdade efectivos: 162
ν_{ef}	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,11$ °C

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Termómetros digitais** (gama de medição 0 °C a + 80 °C, resolução 1 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente d sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(X_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
$\delta w_{s,cal}$; $\delta R_{s,ind}$; $\delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	1	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{s,i}$	Interpolação da escala	R		1	$1 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-1}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,col}$	Temperatura da coluna de imersão	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,3$ °C
k	Graus de liberdade efectivos: 51
ν_{ef}	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,6$ °C

Equipamento: **Termómetros digitais** (gama de medição + 80 °C a + 180 °C, resolução 1 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente d sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(X_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
$\delta w_{s,cal}$; $\delta R_{s,ind}$; $\delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	1	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{s,i}$	Interpolação da escala	R		1	$1 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do banho regulado	R	$4 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,3 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-1}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,col}$	Temperatura da coluna de imersão	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,3$ °C
k	Graus de liberdade efectivos: 52
ν_{ef}	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,6$ °C

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Termístores** (gama de medição 0 °C a + 80 °C, resolução 0,1 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente d sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
$\delta\theta_{T,cal}$	Calibração dos padrões	N	$2 \cdot 10^{-4}$ °C	1	$2 \cdot 10^{-4}$ °C	50
$\delta\theta_{T,s}$	Estabilidade de longo prazo	T	$1 \cdot 10^{-3} / \sqrt{6}$ °C	1	$4 \cdot 10^{-4}$ °C	50
$\delta w_T ; \delta R_s$	Ponte e resistência padrão externa	N			$1 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta\theta_{B,s}$	Estabilidade do banho regulado	R	$4 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,3 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta\theta_{B,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta\theta_{I,F250}$	Cadeia de medição	R	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta\theta_{sh}$	Auto-aquecimento	R	$4 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,3 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta\theta_{Tx,res}$	Resolução da cadeia de medição	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta\theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,058$ °C
k	Graus de liberdade efectivos: 52
ν_{ef}	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,12$ °C

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Termómetros de resistência de platina** (gama de medição – 10 °C a + 80 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _i P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente d sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X _i		u(x _i)	C _i	u _i (y)	v _i
$\delta\theta_{T,cal}$	Calibração dos padrões	N	2·10 ⁻⁴ °C	1	2·10 ⁻⁴ °C	50
$\delta\theta_{T,s}$	Estabilidade de longo prazo	T	1·10 ⁻³ / √6 °C	1	4·10 ⁻⁴ °C	50
$\delta w_T ; \delta R_s$	Ponte e resistência padrão externa (med. PRT 25 Ω)	N			3·10 ⁻⁴ °C	50
$\delta\theta_{B,s}$	Estabilidade do banho regulado	R	4·10 ⁻² / √3 °C	1	2,3·10 ⁻² °C	50
$\delta\theta_{B,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	1·10 ⁻² / √3 °C	1	5,78·10 ⁻³ °C	50
$\delta w_{T,i} ; \delta R_{s,i}$	Ponte e resistência padrão externa (med. PRT 100 Ω)	N			1·10 ⁻³ °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

u(y)	Incerteza de medição padrão: ± 0,0075 °C
k	Graus de liberdade efectivos: 99
v _{ef}	Factor de expansão: 2,00
U ₉₅ (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,015 °C

Equipamento: **Termómetros de resistência de platina** (gama de medição – 10 °C a + 80 °C)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _i P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente d sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X _i		u(x _i)	C _i	u _i (y)	v _i
$\delta\theta_{T,cal}$	Calibração dos padrões	N	2·10 ⁻⁴ °C	1	2·10 ⁻⁴ °C	50
$\delta\theta_{T,s}$	Estabilidade de longo prazo	T	1·10 ⁻³ / √6 °C	1	4·10 ⁻⁴ °C	50
$\delta w_T ; \delta R_s$	Ponte e resistência padrão externa (med. PRT 25 Ω)	N			3·10 ⁻⁴ °C	50
$\delta\theta_{B,s}$	Estabilidade do banho regulado	R	4·10 ⁻² / √3 °C	1	2,3·10 ⁻² °C	50
$\delta\theta_{B,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	1·10 ⁻² / √3 °C	1	5,78·10 ⁻³ °C	50
$\delta w_{T,i} ; \delta R_{s,i}$	Ponte e resistência padrão externa (med. PRT 100 Ω)	N			1·10 ⁻³ °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

u(y)	Incerteza de medição padrão: ± 0,0075 °C
k	Graus de liberdade efectivos: 99
v _{ef}	Factor de expansão: 2,00
U ₉₅ (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,015 °C

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Câmaras condicionadas** (gama de medição 35 %hr a + 80 %hr)

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
δhr_{cal}	Calibração do padrão	N	0,6 %	1	0,6 %	50
δhr_R	Resolução	R	0,1 %	1	$5,77 \cdot 10^{-2}$ %	50
δhr_{interp}	Interpolação de leituras	R	0,5 %	1	$2,89 \cdot 10^{-1}$ %	50
δhr_d	Deriva entre calibrações	R	1,0 %	1	$5,77 \cdot 10^{-1}$ %	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 0,9$ %

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 50

ν_{ef} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 1,8$ %

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Pedido de Extensão do âmbito de Acreditação do LCAM/LNEC em 2007

Grandeza: Comprimento

Equipamento: Transdutores de deslocamento *in situ*

Características metrológicas: Alcance 300 mm, resolução 0,001 mm.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X _i		u(x _i)	C _i	u(y)	v _i
L _s	Valor convencional	N	^(a) (1,25·10 ⁻⁵ + 3,5·10 ⁻⁷ ·L) mm	1	(1,25·10 ⁻⁵ + 3,5·10 ⁻⁷ ·L) mm	50
d	Desvio de calibração	N			2·10 ⁻⁴ mm	4
d _{r,eq}	Repetibilidade instrumental	N	2·10 ⁻⁴ mm	1	2·10 ⁻⁴ mm	4
d _{reprod,eq}	Reprodutibilidade instrumental	N	0	1	0	
d _{reprod,met}	Reprodutibilidade do método	N	0	1	0	
d _{reprod,op}	Reprodutibilidade de operadores	N	0	1	0	
D _{op}	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			2,1·10 ⁻⁶ ·L mm (L em mm)	50
L ² · $\bar{\alpha}^2$ · var[$\delta\theta$]	[$\delta\theta$] = (θ _x - θ _s)	R	^(b) 4,08·10 ⁻² K	1,15·10 ⁻⁵ ·L mm/K	4,70·10 ⁻⁷ ·L mm	50
L ² · $\delta\theta^2$ · var[$\bar{\alpha}$]	[$\bar{\alpha}$] = (α _x - α _s)/2	T	^(c) 2,04·10 ⁻⁵ K ⁻¹	1·L K·mm	2,04·10 ⁻⁶ ·L mm	50
L ² · var[$\bar{\alpha}$] · var[$\delta\theta$]					1,18·10 ⁻⁷ ·L mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					3,7·10 ⁻⁶ ·L mm (L em mm)	50
L ² · $\delta\alpha^2$ · var[$\Delta\bar{\theta}$]	[$\Delta\bar{\theta}$] = $\left[\frac{\theta_x + \theta_s}{2}\right] - \theta_0$	R	^(d) 7,348·10 ⁻¹ K	1,15·10 ⁻⁵ ·L mm/K	7,348·10 ⁻⁷ ·L mm	50
L ² · $\Delta\bar{\theta}^2$ · var[$\delta\alpha$]	[$\delta\alpha$] = [α _x - α _s]	R	^(e) 4,08·10 ⁻⁵ K ⁻¹	0,5·L K·mm	2,04·10 ⁻⁶ ·L mm	50
L ² · var[$\delta\alpha$] · var[$\Delta\bar{\theta}$]					3·10 ⁻⁶ ·L mm	50
δL _{s,D}	Deriva entre calibrações	R	5·10 ⁻⁶ /√3 mm	1	2,89·10 ⁻⁶ mm	50
δL _{s,L}	Varição de comp. / erro de zero	R	2·10 ⁻⁵ /√3 mm	1	1,15·10 ⁻⁵ mm	50
δL _{s,H}	Erro de reversibilidade	R	0/√3 mm	1	0 mm	50
δL _{s,E}	Erro de estabilidade	R	2·10 ⁻⁵ /√3 mm	1	1,15·10 ⁻⁵ mm	50
δL _{s,Rp}	Resolução do padrão de ref.	R	1·10 ⁻⁶ /√3 mm	1	5,7·10 ⁻⁷ mm	50
δL _{s,I}	Correcção de valores de ref.	N	2·10 ⁻⁶ mm	1	2·10 ⁻⁶ mm	50
δL _{s,R}	Resolução do inst. a calibrar	R	5·10 ⁻⁴ /√3 mm	-1	2,89·10 ⁻⁴ mm	50
δL _{s,M}	Montagem e erros mecânicos	R	^(f) (2,89·10 ⁻³ + 1,7587·10 ⁻⁶ ·L) mm	1	(2,89·10 ⁻³ + 1,76·10 ⁻⁶ ·L) mm (L em mm)	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

^(a) Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

^(b) Variação de temperatura: $u[\delta\theta] = \sqrt{2} \cdot u(\theta) = [\sqrt{2} \cdot 0,05] / \sqrt{3} \text{ } ^\circ\text{C}$; ^(c) Variação do coeficiente de dilatação térmica: ; [$\delta\theta$] = 0.

^(d) Variação da temperatura durante o ensaio: $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C} = [0,2 + 1^2 / 2]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C}$.

^(e) Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica: $u[\delta\alpha] = \sqrt{2} \cdot u(\alpha) = [\sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3})] \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ^(f) Desvio associado à montagem: = (1 - (1 · cos(0,2 · π / 180))) / 2.

u(y) Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± (2,9·10⁻³ + 4,6·10⁻⁶ L) mm

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 51

v_{eff} Factor de expansão: 2,00

U₉₅(y) Incerteza de medição expandida (95%): ± (5,8·10⁻³ + 9,2·10⁻⁶ L) mm

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Calibrador de extensómetros**

Características metrológicas: Alcance 25 mm, resolução 0,001 mm

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
L_s	Valor convencional	N	^(a) $(8 \cdot 10^{-4} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	1	$(8 \cdot 10^{-4} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	50
d	Desvio de calibração	N			$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{r,eq}$	Repetibilidade instrumental	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{reprod,eq}$	Reprodutibilidade instrumental	N	0	1	0	
$d_{reprod,met}$	Reprodutibilidade do método	N	0	1	0	
$d_{reprod,op}$	Reprodutibilidade de operadores	N	0	1	0	
D_{op}	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot \text{var}[\delta\theta]$	$[\delta\theta] = (\theta_x - \theta_s)$	R	^(b) $4,08 \cdot 10^{-2}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \delta\theta^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}]$	$[\bar{\alpha}] = (\alpha_x - \alpha_s) / 2$	T	^(c) $2,04 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$	$1 \cdot L \text{ K} \cdot \text{mm}$	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \cdot \text{var}[\delta\theta]$					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3,7 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \delta\alpha^2 \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$	$[\Delta\bar{\theta}] = \left[\frac{\theta_x + \theta_s}{2} \right] - \theta_0$	R	^(d) $7,348 \cdot 10^{-1}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \Delta\bar{\theta}^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha]$	$[\delta\alpha] = [\alpha_x - \alpha_s]$	R	^(e) $4,08 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$	$0,5 \cdot L \text{ K} \cdot \text{mm}$	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha] \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp. / erro de zero	R	$2 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	$0 / \sqrt{3}$ mm	1	0 mm	50
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	$2 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	-1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	^(f) $(2,89 \cdot 10^{-3} + 1,7587 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	1	$(2,89 \cdot 10^{-3} + 1,76 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm (L em mm)	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

^(a) Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

^(b) Variação de temperatura: $u[\delta\theta] = \sqrt{2} \cdot u(\theta) = \left[\frac{\sqrt{2} \cdot 0,05}{\sqrt{3}} \right] \cdot \text{C}$; ^(c) Variação do coeficiente de dilatação térmica: $[\delta\theta] = 0$.

^(d) Variação da temperatura durante o ensaio: $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \cdot \text{C} = \left[0,2 + 1^2 / 2 \right]^{1/2} \cdot \text{C}$.

^(e) Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica: $u[\delta\alpha] = \sqrt{2} \cdot u(\alpha) = \left[\sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3}) \right] \cdot \text{C}^{-1}$ ^(f) Desvio associado à montagem: $= (1 - (1 \cdot \cos(0,2 \cdot \pi / 180))) / 2$.

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm (6,0 \cdot 10^{-3} + 1 \cdot 10^{-5} L)$ mm

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 109

ν_{eff} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm (2 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-5} L)$ mm

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)
(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Extensómetros com indicador dedicado**

Características metrológicas: Alcance 25 mm, resolução 0,005 mm

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(X_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
L_s	Valor convencional	N	^(a) $(2,2 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	1	$(2,2 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	50
d	Desvio de calibração	N			$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{r,eq}$	Repetibilidade instrumental	N	$1 \cdot 10^{-3}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{reprod,eq}$	Reprodutibilidade instrumental	N	0	1	0	
$d_{reprod,met}$	Reprodutibilidade do método	N	0	1	0	
$d_{reprod,op}$	Reprodutibilidade de operadores	N	0	1	0	
D_{op}	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot \text{var}[\delta\theta]$	$[\delta\theta] = (\theta_x - \theta_s)$	R	^(b) $4,08 \cdot 10^{-2}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \delta\theta^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}]$	$[\bar{\alpha}] = (\alpha_x - \alpha_s)/2$	T	^(c) $2,04 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$	$1 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \cdot \text{var}[\delta\theta]$					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3,7 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \delta\alpha^2 \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$	$[\Delta\bar{\theta}] = \left[\frac{\theta_x + \theta_s}{2} \right] - \theta_0$	R	^(d) $7,348 \cdot 10^{-1}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \Delta\bar{\theta}^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha]$	$[\delta\alpha] = [\alpha_x - \alpha_s]$	R	^(e) $4,08 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$	$0,5 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha] \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp. / erro de zero	R	$1 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mm	1	$5,78 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	$0 / \sqrt{3}$ mm	1	0 mm	50
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	$1 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mm	1	$5,78 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	$1 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mm	1	$5,78 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	$1 \cdot 10^{-3}$ mm	1	$1 \cdot 10^{-3}$ mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	$2,5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mm	-1	$1,44 \cdot 10^{-3}$ mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	^(f) $(2,89 \cdot 10^{-3} + 1,7587 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	1	$(2,89 \cdot 10^{-3} + 1,76 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm (L em mm)	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

^(a) Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

^(b) Variação de temperatura: $u[\delta\theta] = \sqrt{2} \cdot u(\theta) = \left[\sqrt{2} \cdot 0,05 / \sqrt{3} \right] \text{ } ^\circ\text{C}$; ^(c) Variação do coeficiente de dilatação térmica: $[\delta\theta] = 0$.

^(d) Variação da temperatura durante o ensaio: $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C} = [0,2 + 1^2 / 2]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C}$.

^(e) Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica: $u[\delta\alpha] = \sqrt{2} \cdot u(\alpha) = \sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3}) \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ^(f) Desvio associado à montagem: $= (1 - (1 \cdot \cos(0,2 \cdot \pi / 180))) / 2$.

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm (3,5 \cdot 10^{-3} + 2,1 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 309

ν_{eff} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm (7,0 \cdot 10^{-3} + 4,1 \cdot 10^{-5} \cdot L)$ mm

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Ensaio dimensionais *in situ***

Características metrológicas: Alcance 20 m.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
L_s	X_i Valor convencional	N	$u(x_i)$ (^a) $(2,8 \cdot 10^{-4} + 2,3 \cdot 10^{-9} \cdot L)$ mm	C_i 1	$u_i(y)$ ($1,25 \cdot 10^{-5} + 3,5 \cdot 10^{-7} \cdot L$) mm	ν_i 50
d	Desvio de calibração	N			$2 \cdot 10^{-6}$ mm	4
$d_{r,eq}$	Repetibilidade instrumental	N	$2 \cdot 10^{-6}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-6}$ mm	4
$d_{r,prod,eq}$	Reprodutibilidade instrumental	N	0	1	0	
$d_{r,prod,met}$	Reprodutibilidade do método	N	0	1	0	
$d_{r,prod,op}$	Reprodutibilidade de operadores	N	0	1	0	
D_{op}	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot \text{var}[\delta\theta]$	$[\delta\theta] = (\theta_x - \theta_s)$	R	(^b) $4,08 \cdot 10^{-2}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \delta\theta^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}]$	$[\bar{\alpha}] = (\alpha_x - \alpha_s) / 2$	T	(^c) $2,04 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$	$1 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \cdot \text{var}[\delta\theta]$					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3,7 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \delta\alpha^2 \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$	$[\Delta\bar{\theta}] = \left[\frac{\theta_x + \theta_s}{2} \right] - \theta_0$	R	(^d) $7,348 \cdot 10^{-1}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \Delta\bar{\theta}^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha]$	$[\delta\alpha] = [\alpha_x - \alpha_s]$	R	(^e) $4,08 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$	$0,5 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha] \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	$5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-6}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Variação de comp. / erro de zero	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	$0 / \sqrt{3}$ mm	1	0 mm	50
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	$1 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3}$ mm	1	$5,78 \cdot 10^{-7}$ mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	$2 \cdot 10^{-6}$	1	$2 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	$0 / \sqrt{3}$ mm	1	0 mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	(^f) $1 \cdot 10^{-6} \text{ L}$ mm	1	$5,77 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm (L em mm)	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

(^a) Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

(^b) Variação de temperatura: $u[\delta\theta] = \sqrt{2} \cdot u(\theta) = \left[\frac{(\sqrt{2} \cdot 0,05) / \sqrt{3}}{\sqrt{3}} \right] \cdot \text{C}$; (^c) Variação do coeficiente de dilatação térmica: $[\delta\theta] = 0$.

(^d) Variação da temperatura durante o ensaio: $u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta) \text{ }^{1/2} \cdot \text{C} = \left[0,2 + 1^2 / 2 \right]^{1/2} \cdot \text{C}$.

(^e) Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica: $u[\delta\alpha] = \sqrt{2} \cdot u(\alpha) = \left[\sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3}) \right] \cdot \text{C}^{-1}$ (^f) Desvio associado à montagem: $= (1 - (1 \cdot \cos(0,2 \cdot \pi / 180))) / 2$.

$u(y)$ Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm (2,8 \cdot 10^{-4} + 4,3 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 53

ν_{eff} Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$ Incerteza de medição expandida (95%): $\pm (5,6 \cdot 10^{-4} + 8,6 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: Geometria de pratos de prensa

Características metrológicas: Alcance 1 m x 1 m.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
L_s	X_i Valor convencional	N	$u(X_i)$ (a) $(6,5 \cdot 10^{-4} + 8 \cdot 10^{-7} \cdot L)$ mm	C_i 1	$u_i(y)$ $(6,5 \cdot 10^{-4} + 8 \cdot 10^{-7} \cdot L)$ mm	ν_i 50
d	Desvio de calibração	N			$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{e,eq}$	Repetibilidade instrumental	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{reprod,eq}$	Reprodutibilidade instrumental	N	0	1	0	
$d_{reprod,met}$	Reprodutibilidade do método	N	0	1	0	
$d_{reprod,op}$	Reprodutibilidade de operadores	N	0	1	0	
D_{op}	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot \text{var}[\delta\theta]$	$[\delta\theta] = (\theta_x - \theta_s)$	R	(b) $4,08 \cdot 10^{-2}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \delta\theta^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}]$	$[\bar{\alpha}] = (\alpha_x - \alpha_s) / 2$	T	(c) $2,04 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$	$1 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \cdot \text{var}[\delta\theta]$					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \delta\alpha^2 \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$	$[\Delta\bar{\theta}] = \left[\frac{\theta_x + \theta_s}{2} \right] - \theta_0$	R	(d) $7,348 \cdot 10^{-1}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \Delta\bar{\theta}^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha]$	$[\delta\alpha] = [\alpha_x - \alpha_s]$	R	(e) $4,08 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$	$0,5 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha] \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	$6 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$3,46 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp. / erro de zero	R	$2 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	$2 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	$2 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	$5 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$5 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	$0 / \sqrt{3}$ mm	-1	0 mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	(f) $(2,89 \cdot 10^{-3} + 1,7587 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	1	$(2,89 \cdot 10^{-3} + 1,76 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm (L em mm)	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

(a) Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

(b) Variação de temperatura: $u[\delta\theta] = \sqrt{2} \cdot u(\theta) = \left[(\sqrt{2} \cdot 0,05) / \sqrt{3} \right] \cdot \text{C}$; (c) Variação do coeficiente de dilatação térmica: ; $[\delta\theta] = 0$.

(d) Variação da temperatura durante o ensaio: $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \cdot \text{C} = [0,2 + 1^2 / 2]^{1/2} \cdot \text{C}$.

(e) Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica: $u[\delta\alpha] = \sqrt{2} \cdot u(\alpha) = \sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3}) \cdot \text{C}^{-1}$ (f) Desvio associado à montagem: $= (1 - (1 \cdot \cos(0,2 \cdot \pi / 180))) / 2$.

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm (3,0 \cdot 10^{-3} + 4,7 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm
k	Graus de liberdade efectivos (100 mm): 86
ν_{eff}	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm (6,1 \cdot 10^{-3} + 9,4 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Grandezas: Temperatura e Humidade relativa

Equipamento: Termohigrógrafos e termohigrómetros com indicador dedicado

Características metrológicas: Resolução de 0,1°C/0,1%hr e gamas de medição de 0°C a 50°C / 20% a 95%.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X _i		u(x _i)	C _i	u _i (y)	v _i
$\delta w_{s,cal}; \delta R_{s,ind}; \delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	2,5·10 ⁻² °C	1	2,5·10 ⁻² °C	50
$\delta \theta_{s,i}$	Estabilidade de longo prazo	T	1·10 ⁻² /√6 °C	1	2,89·10 ⁻³ °C	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do meio regulado	R	1,4·10 ⁻² /√3 °C	1	8,1·10 ⁻³ °C	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do meio regulado	R	1,2·10 ⁻¹ /√3 °C	1	7,0·10 ⁻² °C	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	5·10 ⁻² /√3 °C	1	2,89·10 ⁻² °C	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	2·10 ⁻² °C	1	2·10 ⁻² °C	
$\delta \theta_{Tx,a}$	Auto-aquecimento	R	10 ⁻² /√3 °C	1	5,78·10 ⁻³ °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

u(y)	Incerteza de medição padrão: ± 0,082 °C
k	Graus de liberdade efectivos: 55
v _{ef}	Factor de expansão: 2,00
U ₉₅ (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,16 °C

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X _i		u(x _i)	C _i	u _i (y)	v _i
δhr_{cal}	Calibração do padrão	N	2,5·10 ⁻¹ %	1	2,5·10 ⁻¹ %	50
δhr_e	Estabilidade de longo prazo	T	2·10 ⁻¹ /√6 %	1	8,16·10 ⁻² %	50
δhr_s	Estabilidade do meio regulado	R	1,2·10 ⁻¹ /√3 %	1	7,0·10 ⁻² %	50
δhr_u	Uniformidade do meio regulado	R	3,5·10 ⁻¹ /√3 %	1	2,0·10 ⁻¹ %	50
$\delta hr_{s,res}$	Resolução do eq. de referência	R	5·10 ⁻² /√3 %	1	2,89·10 ⁻² %	
δhr_d	Deriva	R	10 ⁻¹ /√3 %	1	5,78·10 ⁻² %	50
$\delta hr_{x,res}$	Resolução eq. a calibrar	R	5·10 ⁻² /√3 %	1	2,89·10 ⁻² %	
$\delta hr_{x,rep}$	Repetibilidade	N	3·10 ⁻² %	1	3·10 ⁻² %	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

u(y)	Incerteza de medição padrão: ± 0,34 %hr
k	Graus de liberdade efectivos: 115
v _{ef}	Factor de expansão: 2,00
U ₉₅ (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,68 %hr

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Higrómetros de espelho

Características metrológicas: gama de medição -15°C a $+50^{\circ}\text{C}$, resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$ / 20% a 95% hr, resolução de $0,1\%$ hr.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	$F_d P^*$	Estimativa da incerteza	Coeficiente de sensibilidade	Temperatura de ponto de orvalho	
					Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u(y)$	ν_i
$\delta w_{s,cal}; \delta R_{s,ind}; \delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$2,5 \cdot 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}$	1	$2,5 \cdot 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}$	50
$\delta \theta_{s,e}$	Estabilidade de longo prazo	T	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{6} \text{ }^{\circ}\text{C}$	1	$2,89 \cdot 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}$	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do meio regulado	R	$1,4 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ }^{\circ}\text{C}$	1	$8,1 \cdot 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}$	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do meio regulado	R	$1,2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ }^{\circ}\text{C}$	1	$7,0 \cdot 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}$	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ }^{\circ}\text{C}$	1	$2,89 \cdot 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}$	50
$\delta \theta_{Tx,a}$	Auto-aquecimento	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ }^{\circ}\text{C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}$	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	$2 \cdot 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}$	1	$2 \cdot 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}$	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N –Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,082 \text{ }^{\circ}\text{C}$
k	Graus de liberdade efectivos: 55
ν_{ef}	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,16 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	$F_d P^*$	Estimativa da incerteza	Coeficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	
					Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u(y)$	ν_i
δhr_{cal}	Calibração do padrão	N	$2,5 \cdot 10^{-1} \%$	1	$2,5 \cdot 10^{-1} \%$	50
δhr_e	Estabilidade de longo prazo	T	$2 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \%$	1	$8,16 \cdot 10^{-2} \%$	50
δhr_s	Estabilidade do meio regulado	R	$1,2 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \%$	1	$7,0 \cdot 10^{-2} \%$	50
δhr_u	Uniformidade do meio regulado	R	$3,5 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \%$	1	$2,0 \cdot 10^{-1} \%$	50
$\delta hr_{s,res}$	Resolução eq. de referência	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \%$	1	$2,89 \cdot 10^{-2} \%$	
δhr_d	Deriva	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \%$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \%$	50
$\delta hr_{x,res}$	Resolução eq. a calibrar	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \%$	1	$2,89 \cdot 10^{-2} \%$	
$\delta hr_{x,rep}$	Repetibilidade	N	$3 \cdot 10^{-2} \%$	1	$3 \cdot 10^{-2} \%$	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N –Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,34 \%$ hr
k	Graus de liberdade efectivos: 115
ν_{ef}	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,68 \%$ hr

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Termohigrógrafos mecânicos (0°C a 50°C / 20% a 95%) – calibração

Características metrológicas: Resolução de 0,5°C/0,5%hr e gamas de medição de 0°C a 50°C / 20% a 95%.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X _i		u(x _i)	C _i	u _i (y)	v _i
$\delta w_{s,cal}$; $\delta R_{s,ind}$; $\delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	3,5·10 ⁻² °C	1	3,5·10 ⁻² °C	50
$\delta \theta_{s,i}$	Estabilidade de longo prazo	T	1·10 ⁻² /√6 °C	1	4,08·10 ⁻³ °C	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do meio regulado	R	2·10 ⁻² /√3 °C	1	1,15·10 ⁻² °C	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do meio regulado	R	5·10 ⁻² /√3 °C	1	2,89·10 ⁻² °C	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	2,5·10 ⁻¹ /√3 °C	1	1,44·10 ⁻¹ °C	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	5·10 ⁻² °C	1	5·10 ⁻² °C	
$\delta \theta_{Tx,m}$	Montagem	R	1·10 ⁻¹ /√3 °C	1	5,78·10 ⁻² °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N –Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: ± 0,17 °C
k	Graus de liberdade efectivos: 86
v_{ef}	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,33 °C

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X _i		u(x _i)	C _i	u _i (y)	v _i
δhr_{cal}	Calibração do padrão	N	3,5·10 ⁻¹ °C	1	3,5·10 ⁻¹ °C	50
δhr_e	Estabilidade de longo prazo e correcção	T	1 /√6 °C	1	2,89·10 ⁻¹ °C	50
δhr_s	Estabilidade do meio regulado	R	2·10 ⁻¹ /√3 °C	1	1,15·10 ⁻² °C	50
δhr_u	Uniformidade do meio regulado	R	5·10 ⁻¹ /√3 °C	1	2,89·10 ⁻¹ °C	50
$\delta hr_{s,res}$	Resolução eq. de referência	N	5·10 ⁻² /√3 %	1	2,89·10 ⁻² %	
δhr_d	Deriva e montagem	R	2·10 ⁻¹ /√3 °C	1	1,15·10 ⁻¹ °C	50
$\delta hr_{x,res}$	Resolução eq. a calibrar	N	2,5·10 ⁻¹ /√3 %	1	1,44·10 ⁻¹ %	
$\delta hr_{x,rep}$	Repetibilidade	N	2·10 ⁻¹ %	1	2·10 ⁻¹ %	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N –Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: ± 0,61 %hr
k	Graus de liberdade efectivos: 227
v_{ef}	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): ± 1,2 %hr

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: Termoanemómetros / Escala de temperatura

Características metrológicas: gama de medição 0°C a + 50°C, resolução 0,1°C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
$\delta W_{s,cal}$; $\delta R_{s,ind}$; $\delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	1	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{s,i}$	Estabilidade de longo prazo	T	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{6}$ °C	1	$4,08 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do meio regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do meio regulado	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	$2 \cdot 10^{-2}$ °C	1	$2 \cdot 10^{-2}$ °C	
$\delta \theta_{Tx,a}$	Auto-aquecimento	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,058$ °C
k	Graus de liberdade efectivos: 196
ν_{ef}	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,12$ °C

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Termopares**

Características metrológicas: gama de medição 0°C a + 250°C, resolução 0,1°C.

Vide termómetros com indicador digital

Equipamento: **Termopares**

Características metrológicas: gama de medição +250°C a +450°C, resolução 0,1°C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X _i		u(x _i)	C _i	u _i (y)	v _i
$\delta\theta_{Fx}$	Estabilidade do forno	N	4·10 ⁻² °C	1	4·10 ⁻² °C	50
$\delta\theta_{Vx}$	Calibração do voltímetro	N	2·10 ⁻² °C	1	2·10 ⁻² °C	50
δV_X	Resolução do voltímetro	R	5·10 ⁻⁴ /√3 mV	129°C/mV	3,7·10 ⁻² °C	50
δV_{Xp}	FEM parasitas	R	5·10 ⁻⁴ /√3 mV	129°C/mV	3,7·10 ⁻² °C	50
δV_{Xcc}	Cabos de compensação	R	1·10 ⁻³ /√3 mV	129°C/mV	7,5·10 ⁻² °C	50
$\Delta\theta_X$	Desvio da temp. de referência	N	5·10 ⁻¹ °C	1	5·10 ⁻¹ °C	119
$\delta\theta_{0X}$	Temperatura de referência	N	5·10 ⁻² °C	1	5·10 ⁻² °C	50
δV_{Xh}	Não homogen. do TC referência	R	5·10 ⁻³ /√3 mV	129°C/mV	3,7·10 ⁻¹ °C	50
$\delta\theta_{Fu}$	Uniformidade do forno	R	3·10 ⁻¹ /√3 °C	1	1,7·10 ⁻² °C	50
$\delta\theta_{X,rep}$	Repetibilidade	N	2·10 ⁻³ mV	129°C/mV	2,6·10 ⁻¹ °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N –Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

u(y)	Incerteza de medição padrão: ± 0,70°C
k	Graus de liberdade efectivos: 141
v _{ef}	Factor de expansão: 2,00
U ₉₅ (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± 1,4°C

Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2008)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

Equipamento: **Termopares**

Características metrológicas: gama de medição +450 °C a +850 °C, resolução 0,1°C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _d P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X _i		u(x _i)	C _i	u _i (y)	v _i
$\delta\theta_{Fx}$	Estabilidade do forno	N	1·10 ⁻¹ °C	1	1·10 ⁻¹ °C	50
$\delta\theta_{Vx}$	Calibração do voltmetro	N	2·10 ⁻² °C	1	2·10 ⁻² °C	50
δV_X	Resolução do voltmetro	R	5·10 ⁻⁴ /√3 mV	108°C/mV	3,1·10 ⁻² °C	50
δV_{Xp}	FEM parasitas	R	5·10 ⁻⁴ /√3 mV	108°C/mV	3,1·10 ⁻² °C	50
δV_{Xcc}	Cabos de compensação	R	1·10 ⁻³ /√3 mV	108°C/mV	6,2·10 ⁻² °C	50
$\Delta\theta_X$	Desvio da temp. de referência	N	5·10 ⁻¹ °C	1	7,6·10 ⁻¹ °C	142
$\delta\theta_{0X}$	Temperatura de referência	R	5·10 ⁻¹ /√3 °C	1	5,78·10 ⁻² °C	50
δV_{Xh}	Não homogen. do TC referência	R	5·10 ⁻³ /√3 mV	108°C/mV	3,1·10 ⁻¹ °C	50
$\delta\theta_{Fu}$	Uniformidade do forno	R	5·10 ⁻¹ /√3 °C	1	2,89·10 ⁻¹ °C	50
$\delta\theta_{X,rep}$	Repetibilidade	N	4·10 ⁻³ mV	108°C/mV	2,5·10 ⁻¹ °C	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

u(y)	Incerteza de medição padrão: ± 0,86°C
k	Graus de liberdade efectivos: 185
v _{ef}	Factor de expansão: 2,00
U ₉₅ (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± 1,7°C

