

## Expressão dos resultados: influência da homogeneidade de um forno

### Expression of results: homogeneity influence of a furnace

**Itamar Magno Barbosa<sup>1,2</sup>, Moacyr Canaves Júnior<sup>1</sup>, Jorge Fernando Sales Conceição<sup>1</sup>, Guilherme Franco Vieira<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Fomento e Coord. Industrial – IFI, <sup>2</sup> Instituto Tecnol. de Aeronáutica - ITA

E-mail: [magnoimb@ifi.cta.br](mailto:magnoimb@ifi.cta.br); [itamar@ita.br](mailto:itamar@ita.br)

**Resumo:** Foi abordado o comportamento da distribuição da temperatura no forno utilizado para calibração de termopares no laboratório de temperatura do Comando da Aeronáutica, em vistas a melhorar o rigor do cálculo da estimativa da incerteza de calibração. Foram reconhecidos os processos sistemáticos do forno que eram tidos como aleatórios e incertos, até certo grau, quando do cálculo da homogeneidade axial. Os resultados foram comparados com as especificações do fabricante do forno e com os valores dos cálculos de incertezas atuais do laboratório. O conhecimento aprofundado do particular forno resultou em melhoria das expressões dos resultados das calibrações.

**Palavras-chave:** Termometria de Contato, Cálculo de Incertezas, Calibração Térmica

**Abstract:** The behavior of the temperature distribution in a furnace was analyzed. The furnace is used for the calibration of the thermocouples on the best in competence temperature's laboratory at Brazilian Air Force, aiming to improve the precision of the calibration uncertainty evaluation. Furnace's systematic process was analyzed and changed in place of random process in the axial uniformity evaluation. The results were compared to the furnace's manufacturer specifications and also to the laboratory nowadays uncertainties amounts. The thoughtful knowledge of the particular furnace promoted the improvement of expressions of results.

**Keywords:** Contact Thermometry, Uncertainties Evaluation, Temperature Calibration

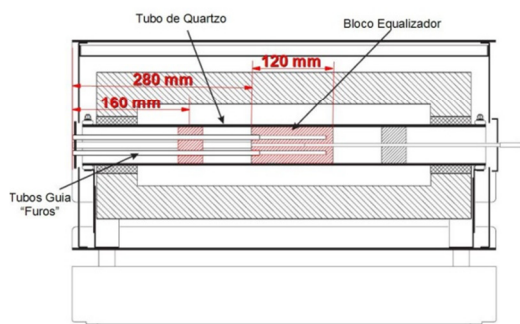
## 1. INTRODUÇÃO

No laboratório de calibração de temperatura de contato (LMT) pertencente ao Instituto de Fomento Industrial - IFI, órgão do DCTA, são realizadas calibrações de termopares. Consiste em comparar leituras de temperatura entre um

calibrando em função das leituras de um padrão. Um meio deve gerar valores da grandeza temperatura estáveis e homogêneos até certo grau [3]. Para isso, existe o confinamento dos sensores nas cavidades do forno. Neste caso o meio é o Forno da Fluke modelo 9112B código interno LMT...10, o qual foi nosso objeto de estudo [1].

### 1.1. O meio

O forno Fluke 9112B possui homogeneidade dependente da temperatura controlada da cavidade de  $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$  ( $300^{\circ}\text{C}$  – menor valor de operação) até  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  ( $1100^{\circ}\text{C}$  – maior valor de operação) conforme especificações do fabricante, vide referência [1]. Uma cavidade no forno de 400 mm de comprimento abriga cinco tubos onde são inseridos os termopares, vide figura 1. Os cinco tubos são fixados em dois blocos homogenizadores dentro da cavidade maior, um a 160mm e outro a 280mm, há espaçamentos entre os blocos homogenizadores. O fabricante não estabelece em forma de valores qual a dependência da homogeneidade ao longo do sentido longitudinal (axial) da cavidade, incluindo os blocos e espaçamentos. Não está também, numericamente estabelecido, o gradiente de temperatura ao longo do eixo axial da cavidade, vide referência [4].



**Figura 1 – Esquema da cavidade de aquecimento do Forno Fluke modelo 9112B. Um tubo de quartzo engasta dois blocos homogeneizadores que por sua vez sustentam os Tubos Guia onde se alocam os sensores de temperatura no processo de calibração. A interface com o ar está à esquerda da Figura. Divulgado em [1].**

As homogeneidades são fontes de incertezas ou de erros sistemáticos nos valores declarados nos certificados do LMT. Já a temperatura deve ser corrigida caso haja variação significativa no eixo axial. Estas características não estão numericamente claras nos documentos do

fabricante, daí reside a necessidade e importância deste trabalho para validação técnica e melhoria contínua da competência laboratorial.

### 1.2. O método

A homogeneidade axial é mensurada inserindo-se o padrão de temperatura em um dos tubos do forno e varia-se equidistantemente a distância de inserção ao longo do tubo, repete-se o procedimento para cada temperatura próxima à usuais do laboratório e para cada furo, finalmente computa-se as maiores diferenças encontradas. O padrão de temperatura utilizado na medição foi um Termopar tipo S. Utiliza-se o certificado de calibração dos padrões para resultar o valor corrigido de erros em unidade de temperatura assim como para estimar a incerteza da indicação. A fórmula para determinação do valor incerteza devido à homogeneidade axial seguiu a sugestão da referência [2],

$$\mu_{ha}^2 = \frac{(t_2 - t_1)^2}{3} \quad (1)$$

Onde  $t_1$  é uma das temperaturas medidas e  $t_2$  é a temperatura subsequente medida.

## 2. RESULTADOS

A tabela T2.1 e o gráfico G2.1 mostram os valores de temperatura encontrados em função dos valores de profundidade de inserção do padrão (primeira coluna) para a faixa de temperatura utilizada no LMT. Os valores no cabeçalho refere-se às temperaturas nominais de medição, ou seja, os valores alvos de medição. Na mesma tabela também são mostrados os valores de homogeneidade axial, decorrentes da medição de temperatura aplicando-se a fórmula 1, os valores são aplicados às faixas indicadas na quinta coluna. A profundidade considerada, a partir de 200 mm, corresponde aos comprimentos de sensores de ou termômetros calibrados no LMT.

O gráfico G2.2 mostra os valores de homogeneidade axial para as temperaturas de

calibração nominais e as faixas de profundidade indicadas na tabela T2.1. Já o gráfico G2.3 é uma visão da dependência dessa homogeneidade com o valor máximo de temperatura (referência medida em 400mm de profundidade).

### 3. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

É notório no gráfico G2.1 que a temperatura da cavidade do forno não é homogênea. A diferença de temperaturas médias medidas de até 31,2°C (temperatura nominal de 420°C) evidenciam a necessidade de equiparar a imersão dos sensores ou corrigir com rigor os erros sistemáticos. Mesmo no chamado Bloco Homogenizador, a partir de 280mm, tal correção é necessária face a significativa diferença entre as temperaturas (médias) neste bloco que foi de 5,05 °C. Como o fabricante contabiliza uma homogeneidade dependente da temperatura de calibração, conclui-se que a homogeneidade também é dependente da imersão dos sensores e que pode ser diferente para o padrão e o calibrando se estiverem submergidos no meio em comprimentos diferentes.

Mediante ao gráfico G2.2 verificamos que o panorama geral para a homogeneidade axial não é diferente ao panorama da temperatura média, ou seja, são valores fortemente dependentes da profundidade de imersão. Além disso, há uma também uma dependência da homogeneidade perante a temperatura de trabalho para cada profundidade, diferenças consideráveis entre a temperatura nominal de 1000°C e a de 420°C chegam a 1,41°C nas medições desta incerteza. Bem diferente do valor de  $\pm 0,3^\circ\text{C}$  informado no manual do fabricante do forno. A curva é um decaimento não suave, existem inflexões entre a região do bloco homogeneizador e a região fora do bloco, onde a flexão da curva passa de côncava para convexa, as contáveis descontinuidades mostram claramente a mudança de comportamento causal da homogeneidade em função profundidade de imersão. Sendo assim,

não é possível especificar uma homogeneidade de ordem de grandeza decimal para todo o comprimento da cavidade do forno, como foi divulgado pelo fabricante.

Já o gráfico G2.3 mostra que a dependência com a profundidade de imersão é preponderante à dependência com a temperatura, contrariando em parte a literatura de referência [1].

### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho rendeu resultados de imediata aplicação no LMT, pelo fato de alterar a contabilização das incertezas utilizadas para homogeneidade axial. Atualmente esse laboratório utiliza-se  $\pm 0,3^\circ\text{C}$  de incerteza para homogeneidade axial, exatamente o valor máximo indicado pelo fabricante, foram encontrados valores de  $\pm 0,01^\circ\text{C}$  até  $\pm 4,9^\circ\text{C}$ .

O trabalho também possibilitou atribuir com melhor rigor os erros na medição da realização da grandeza temperatura para fins de calibração, contabilizando erros sistemáticos envolvidos com o processo de calibração caso haja diferença de imersão entre padrão e calibrando.

### 5. REFERÊNCIAS

- [1] Fluke, Hartz Scientific, *Calibration Furnace User's Guide*, 2005, American Fork, REV 630301, [http://br.flukecal.com/products/obsolete-products/9112b-thermocouple-calibration-furnace?quicktabs\\_product\\_details=2](http://br.flukecal.com/products/obsolete-products/9112b-thermocouple-calibration-furnace?quicktabs_product_details=2)
- [2] EURAMET cg-13, version 3.0 (05/2015) EA 10/13, *Calibration Guide – Calibration of Temperature Block Calibrators*.
- [3] Nicholas J V, White D R, “*Traceable Temperatures – An Introduction to Temperature Measurement and Calibration*”, Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
- [4] Filho A J P, ACA 0115, “*Introdução às Ciências Atmosféricas, Notas de aulas, Gradiente de Temperatura*”, Maio de 2007, São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico -IAG. Disponível: [www.dca.iag.usp.br/www/material/](http://www.dca.iag.usp.br/www/material/)

**Tabela T2.1 – Temperatura medida em função da profundidade de imersão do Termopar no forno. Homogeneidade axial em função dos intervalos de profundidade.**

Profundidade de Imersão (mm)	Temperatura			Profundidade de Imersão Intervalo (mm)	Inhomogeneidade Axial		
	420 °C	700 °C	1000 °C		420 °C	700 °C	1000 °C
200	387,34	666,38	974,14	200 ≤ x < 220	4,90	4,64	3,84
220	395,83	674,42	980,78	220 ≤ x < 240	3,92	3,88	3,04
240	402,62	681,15	986,05	240 ≤ x < 260	3,51	3,21	2,09
260	408,69	686,71	989,68	260 ≤ x < 280	2,77	2,68	1,87
280	413,49	691,35	992,91	280 ≤ x < 300	1,83	1,79	1,05
300	416,66	694,44	995,26	300 ≤ x < 320	0,53	0,44	0,32
320	417,58	695,21	995,26	320 ≤ x < 340	0,25	0,31	0,26
340	418,02	695,75	995,72	340 ≤ x < 360	0,18	0,19	0,22
360	418,32	696,08	996,10	360 ≤ x < 380	0,10	0,12	0,05
380	418,49	696,28	996,19	380 ≤ x < 400	0,03	0,00	0,13
400	418,54	696,27	995,97				

