
FICHA TÉCNICA

TÍTULO:

Guia RELACRE 19

CÂMARAS TÉRMICAS

CONCEITOS BÁSICOS, REALIZAÇÃO DO

ENSAIO TÉRMICO E AVALIAÇÃO DO

RELATÓRIO DE ENSAIO

EDIÇÃO: RELACRE

DESIGN GRÁFICO: RELACRE

CAPA: Alda Rosa

DEPÓSITO LEGAL: 211932/04

ISBN: 972 - 8574 - 09 - 6

Guia RELACRE 19

EDIÇÃO: JANEIRO 04

CÂMARAS TÉRMICAS



CONCEITOS BÁSICOS



REALIZAÇÃO DO ENSAIO



TÉRMICO E AVALIAÇÃO DO



RELATÓRIO DE ENSAIO



A presente edição foi elaborada pelo GRUPO DE TRABALHO **GT06**
Câmaras Térmicas

“CÂMARAS TÉRMICAS”

da COMISSÃO TÉCNICA RELACRE CTR04

“METROLOGIA”

O conteúdo é da responsabilidade dos que colaboraram na sua elaboração.

É intenção da RELACRE proceder à revisão deste documento sempre que se revele oportuno.

Colaboraram na elaboração da presente edição:

Graça Campos (<i>Coordenadora</i>)	INETI
Álvaro Ribeiro	LNEC
Fátima Lagrifa	RELACRE
Luís Gonçalves	ISQ
Márcia Reto	INETI
Margarida Duthoit	INETI

Direitos de Autor protegidos segundo
legislação em vigor.
Proibida cópia total ou parcial sem
autorização escrita da RELACRE.

PREÂMBULO	1
1. CONCEITOS BÁSICOS	2
1.1 CONCEITOS GERAIS SOBRE O CALOR E SEUS FENÓMENOS DE TRANSFERÊNCIA	2
1.1.1 CONDUÇÃO	2
1.1.2 CONVECÇÃO.....	3
1.1.3 RADIAÇÃO	4
1.2 CÂMARAS TÉRMICAS E SEU FUNCIONAMENTO	5
1.2.1 TIPOS DE CÂMARAS TÉRMICAS	5
1.2.2 REGULAÇÃO DE TEMPERATURA EM CÂMARAS TÉRMICAS	6
1.3 ENSAIOS TÉRMICOS	9
1.4 INCERTEZAS NAS MEDIÇÕES	10
2. ENSAIO DE CÂMARAS TÉRMICAS: PROCEDIMENTO E CÁLCULOS	12
2.1 OBJECTIVO	12
2.2 NOMENCLATURA / SIMBOLOGIA	12
2.3 EQUIPAMENTO	13
2.4 DISPOSIÇÃO DOS SENSORES	13
2.5 ENSAIO DA CÂMARA TÉRMICA	14
2.5.1 ENSAIO PRÉVIO - VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE TÉRMICA E DETERMINAÇÃO DO PERÍODO DE OSCILAÇÃO.....	14
2.5.2 AQUISIÇÃO DE LEITURAS DO ENSAIO	15
2.6 CÁLCULOS	16
2.6.1 TEMPERATURA MÉDIA EM CADA SENSOR	16
2.6.2 TEMPERATURA MÉDIA NO TERMÓMETRO DA CÂMARA TÉRMICA.....	16
2.6.3 ESTABILIDADE TÉRMICA DE CADA PONTO EM ESTUDO (SENSOR S _x)	17
2.6.4 UNIFORMIDADE TÉRMICA DA CÂMARA	17
2.6.5 INCERTEZA ASSOCIADA À TEMPERATURA DO SENSOR S _x	17
2.6.6 RELATÓRIO DE ENSAIO – APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS.	18
3. AVALIAÇÃO DO RELATÓRIO DE ENSAIO TÉRMICO	19
3.1 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS E DECLARAÇÃO DE CONFORMIDADE	19
3.1.1 ABORDAGEM 1–MÁXIMOS E MÍNIMOS E RESPECTIVA INCERTEZA DE INDICAÇÃO (LEITURA).....	21
3.1.2 ABORDAGEM 2 – CÁLCULO DE INCERTEZAS DA TEMPERATURA NO INTERIOR DA CÂMARA	22
3.2 INDICAÇÕES ÚTEIS	22
ANEXO 1	24
ANEXO 2	27
ANEXO 3	33
REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA	39

PREÂMBULO

Com a implementação dos requisitos da Política da Qualidade, a avaliação do desempenho de câmaras térmicas ex: (estufas, muflas...) tornou-se uma exigência para os Laboratórios. Com essa finalidade, a Relacre criou em 1996 uma Comissão Técnica (CTR04-GT5 - Temperatura/Humidade), que por dificuldades várias não chegou a concluir os seus objectivos.

Sentindo necessidade de orientação na execução e avaliação do desempenho das suas câmaras térmicas, o LIA- Laboratório para a Indústria Alimentar do INETI, elaborou internamente um documento, intitulado “ Controlo de Câmaras térmicas - abordagem prática com cálculo de incertezas” (Graça Campos et al., 2002). Neste documento, são feitas referências à forma de preparar e efectuar estudos de comportamento térmico de câmaras, bem como avaliar a sua adequabilidade às exigências dos processos em que são utilizadas. Foi também feita uma abordagem para cálculo das incertezas associadas aos valores térmicos.

Tendo como base o documento supra citado, a RELACRE criou em Fevereiro de 2003 o Grupo de Trabalho GT06, onde foi efectuada a revisão e melhoramento do documento, entretanto adaptado como guia, de modo a que as suas orientações pudessem abranger um maior número de utilizadores.

É também objectivo deste guia integrar conceitos básicos de metrologia das temperaturas nesta área, como seja uniformidade e estabilidade térmica, na realidade quotidiana dos laboratórios em que, por desempenho não ideal das Câmaras Térmicas existentes, é necessário restringir volumes totais a volumes úteis e referir os valores de estabilidade e uniformidade aos valores de temperatura (escala) que lhes deram origem.

Os autores deste trabalho declaram-se receptivos a comentários e sugestões sobre a abordagem feita nestas matérias. Os comentários recebidos serão avaliados e tidos em conta numa futura re-edição deste guia.

1. CONCEITOS BÁSICOS

1.1 CONCEITOS GERAIS SOBRE O CALOR E SEUS FENÓMENOS DE TRANSFERÊNCIA

A transferência de calor ocorre devido à diferença de temperatura existente entre dois pontos. Essa diferença de temperatura funciona como a força motriz que transporta o calor das coordenadas de temperatura mais alta para as coordenadas de temperatura mais baixa. Este fenómeno visa alcançar uma situação termodinâmica mais estável, resultante da uniformização das temperaturas.

Os fenómenos através dos quais ocorre a transferência de calor são de três tipos: condução, convecção e radiação.

1.1.1 Condução

A transferência de calor por condução faz-se através de um meio suporte sem movimentos macroscópicos, no qual o calor flui das temperaturas mais altas para as zonas de menores temperaturas.

A forma como o calor se propaga está relacionada com os movimentos vibratórios das moléculas e dos electrões que compõem o meio. No caso de um meio sólido, este fenómeno depende também da vibração da rede cristalina. Assim se compreende que a condução do calor tenha propriedades distintas, dependendo das estruturas moleculares que compõem o meio no qual ocorre a transferência de calor.

Genericamente, considerando um meio isotrópico (sem direcções preferenciais para a propagação do calor) e para um volume infinitesimal, a transferência de calor por condução é descrita pela lei de Fourier, através das seguintes 3 equações:

$$\vec{q}_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \cdot \vec{x} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\vec{q}_y = -k \frac{\partial T}{\partial y} \cdot \vec{y} \quad (\text{Equação 2})$$

$$\vec{q}_z = -k \frac{\partial T}{\partial z} \cdot \vec{z} \quad (\text{Equação 3})$$

em que :

\vec{q}_i é o fluxo de calor da direcção i ($\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

k é a condutividade térmica do meio ($\text{J}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)

T é a temperatura (K)

As 3 equações podem ser combinadas, surgindo assim uma abordagem tridimensional do fluxo de calor,

$$\vec{q} = -k \cdot \vec{\nabla} T \quad (\text{Equação 4})$$

em que :

∇T é o gradiente térmico ($\text{K}\cdot\text{m}^{-1}$).

A aplicação destes princípios a diversos meios sólidos e fluídos, bem como a várias geometrias, encontra-se referenciada em bibliografia específica e sai do âmbito deste guia.

1.1.2 Convecção

Esta forma de transferência de calor requer a existência de um fluido, sujeito a movimentos macroscópicos, através do qual o calor se propaga. Os fenómenos de convecção aceleram a uniformização da temperatura uma vez que promovem a condução de calor entre moléculas que inicialmente se encontravam distantes e mantém elevadas as diferenças de temperatura entre a fonte de calor e o meio.

No caso da convecção, há que distinguir dois tipos: convecção natural e convecção forçada. A convecção natural resulta das diferentes propriedades que o aumento de temperatura imprime ao meio, nomeadamente maior excitação molecular e expansão do volume, o que produz movimentos de convecção natural. No dia a dia, este fenómeno é muitas vezes referido de forma simplista dizendo-se que: “o ar quente sobe e o ar frio desce”. Já no caso da convecção forçada, o fluido é sujeito a um movimento que não é originado apenas pela diferença de temperaturas entre as várias zonas do volume considerado. A convecção forçada pode ser induzida por diferentes formas, sendo a mais usual a aplicação de uma quantidade de movimento ao fluido, por meio de hélices. A dinâmica mecânica a que o fluido fica sujeito é responsável pela forma como vai ocorrer a transferência do calor.

A análise de situações deste tipo requer a conjugação de equações de transferência de calor e de transferência de quantidade de movimento; frequentemente são tratadas assumindo geometrias específicas e recorrendo à utilização de números adimensionais (ex. Prandtl, Reynolds, Nusselt e Brinkman) e de relações entre eles.

1.1.3 Radiação

A transferência de calor por radiação é um fenómeno de origem electromagnética, que não necessita de um meio suporte, podendo ocorrer em vácuo e fundamenta-se nas propriedades emissoras dos corpos. Quando a temperatura de um sólido se eleva, os seus átomos e moléculas ficam excitados e adquirem níveis energéticos não fundamentais. Nessa situação eles têm tendência para voltar a estados energéticos mais baixos e a sua superfície emite radiação electromagnética. A radiação electromagnética emitida pode ter vários comprimentos de onda, dependendo da natureza das transições energéticas que ocorrem (electrónicas, vibracionais ou rotacionais). Desta forma, a emissão electromagnética reduz a temperatura do sólido que a originou. O processo inverso ocorre em corpos que sujeitos a radiação electromagnética a absorvem, excitando-se a níveis energéticos elevados, com o conseqüente aumento de temperatura.

A primeira relação entre temperatura e energia de radiação foi explicada por Stefan e Boltzmann. Assim, segundo a lei de Stefan-Boltzmann:

$$q = \sigma \cdot T^4 \cdot \varepsilon \quad (\text{Equação 5})$$

a energia electromagnética emitida é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta (T).

q é o fluxo de calor ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$)

T é a temperatura (K)

ε é a emissividade

Desta forma a transferência de calor por radiação assume particular importância quando existem temperaturas elevadas.

1.2 CÂMARAS TÉRMICAS E SEU FUNCIONAMENTO

1.2.1 Tipos de câmaras térmicas

Neste guia utiliza-se o termo câmaras térmicas para designar, de forma genérica, qualquer tipo de equipamento que permita a obtenção e controlo de uma determinada temperatura, no seu volume interior. Seja qual for a câmara térmica considerada, todas têm componentes comuns: seleccionador de temperatura, sensor de temperatura, termostato (ou sistema electrónico de função similar) e paredes duplas com uma espessa camada isoladora. Muitas delas dispõem ainda de um indicador de temperatura.

Dependendo da relação entre a temperatura no interior da câmara e a temperatura ambiente, as câmaras vêm equipadas com sistemas de aquecimento e/ou de refrigeração. Quando se pretende obter temperaturas superiores à temperatura ambiente, as câmaras possuem sistemas de aquecimento, quase sempre resistências eléctricas. Para obter temperaturas próximas da temperatura ambiente é necessário combinar sistemas de aquecimento com sistemas de refrigeração. Finalmente, quando as temperaturas desejadas são inferiores à temperatura ambiente as câmaras necessitam exclusivamente de um sistema de refrigeração.

Seguidamente descrevem-se algumas características gerais dos grupos de câmaras térmicas mais frequentes [Pombeiro, 1983].

Incubadoras: são utilizadas para uma gama de temperatura compreendida entre a temperatura ambiente, ou ligeiramente superior, e os 100°C. Geralmente possuem portas duplas, têm grandes áreas de aquecimento e fornecem as condições ideais para incubação.

Estufas: permitem a obtenção de temperaturas de funcionamento entre a temperatura ambiente e 300°C. As estufas são, com frequência, usadas para temperaturas de operação superiores às das incubadoras, sendo conhecidos vários tipos de sistemas para o seu aquecimento. Este equipamento possui normalmente um orifício que permite trocas gasosas com o exterior (arejamento).

No aquecimento por convecção gravitacional (ou natural), o ar é aquecido na zona inferior, formando-se correntes de convecção ascendentes. Este aquecimento apresenta uma fraca uniformidade, observando-se um gradiente de temperatura na direcção vertical, tanto mais acentuado quanto maior for a carga da estufa.

Existem estufas com uma câmara de pré-aquecimento em que o ar fresco é aquecido à entrada, permitindo uma maior estabilidade da temperatura da estufa.

Outras estufas utilizam circulação forçada do ar, o que permite obter, de forma mais rápida e mais homogénea, a temperatura desejada. Neste género de estufas o ar fresco é aquecido e misturado com o quente, por acção de um ventilador colocado na parte inferior ou superior, circulando então em fluxo horizontal através das paredes perfuradas.

Existem ainda estufas em que, para além da temperatura de funcionamento, é possível controlar a humidade e a pressão interna.

Fornalbas: este tipo de câmaras é utilizado para temperaturas mais elevadas (300°C-1500°C). Se a fonte de calor está fixa à parede, no exterior do material isolante – refractário, dá-se usualmente, o nome de mufla. As muflas estão particularmente indicadas quando há presença de vapores corrosivos no interior da câmara.

Câmaras de cura: são utilizadas em diferentes processos tecnológicos de produtos alimentares e possibilitam a obtenção de temperaturas superiores ou inferiores à temperatura ambiente. Muitas vezes também têm associados sistemas para controlo de humidade.

Câmaras de armazenagem: normalmente câmaras frigoríficas ou frigoríficos, possuindo nesse caso apenas sistemas de refrigeração.

1.2.2 Regulação de temperatura em câmaras térmicas

Muitas câmaras térmicas possuem no exterior um indicador da temperatura interna, de forma a controlar possíveis desvios relativamente ao valor de temperatura seleccionado. Nas câmaras mais antigas a temperatura do interior é indicada por um termómetro de mercúrio; actualmente a grande maioria destes equipamentos possui indicadores digitais e a temperatura é obtida por termorresistências de Platina ou termopares.

O sistema de controlo mais frequente é do tipo realimentação (*feed-back*) e pode ser esquematizado da seguinte forma:

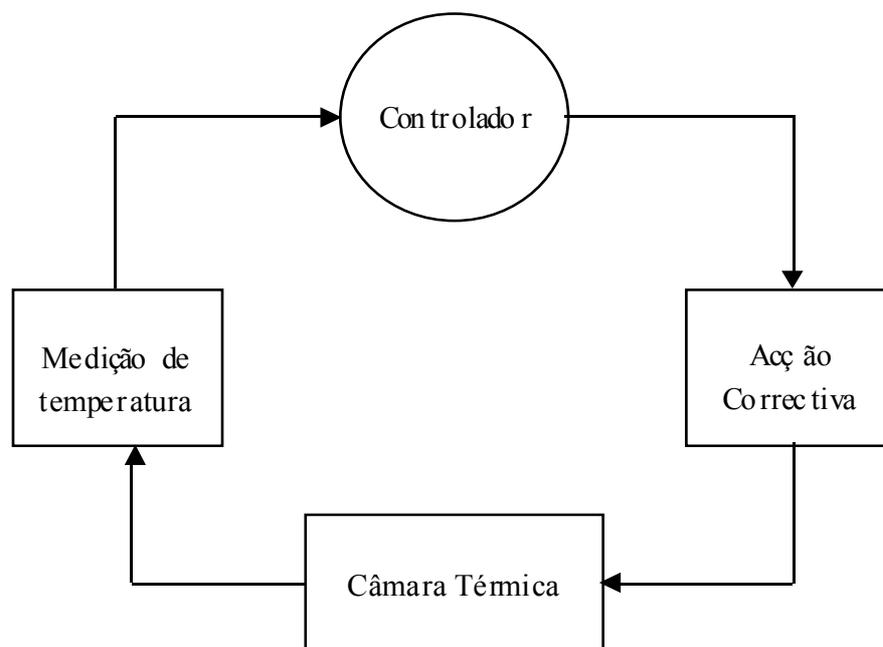


Figura 1 – Esquema genérico de controlo da temperatura por *feed-back* em câmaras térmicas.

Neste esquema o controlador está condicionado por uma temperatura pré estabelecida (*set-point*) e o tipo de actuação que acciona depende da relação entre a temperatura medida pelo sensor e a temperatura seleccionada [Seborg, 1987].

O esquema da Figura 2 exemplifica o algoritmo de funcionamento do controlador de uma estufa com um *set-point* de 90 °C.

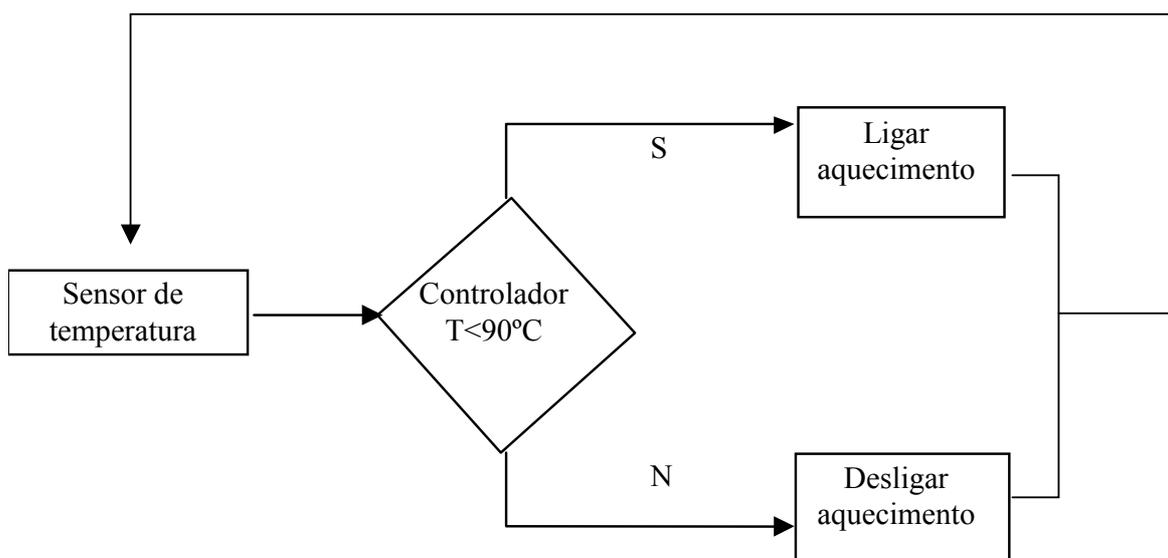


Figura 2 – Esquema genérico de actuação de um controlador de temperatura (*set-point* de 90 °C)

A monitorização da temperatura no interior da estufa conduz, normalmente, a situações como a que é ilustrada na Figura 3. Após o início do funcionamento da estufa, ocorre um aquecimento contínuo até o sensor indicar ao controlador que o *set-point* foi atingido. Devido ao tipo de controlo, realimentação (*feed-back*), é frequente ocorrer um sobre aquecimento antes que o sistema reaja eficientemente no sentido de o compensar. Surgem então oscilações térmicas à volta do *set-point* cuja amplitude vai diminuindo até estabilizar numa determinada amplitude (idealmente nula ou a menor possível). Nessa altura, a estufa encontra-se em estado estacionário e o controlador alterna entre períodos regulares de Actuação/Descanso do sistema de aquecimento.

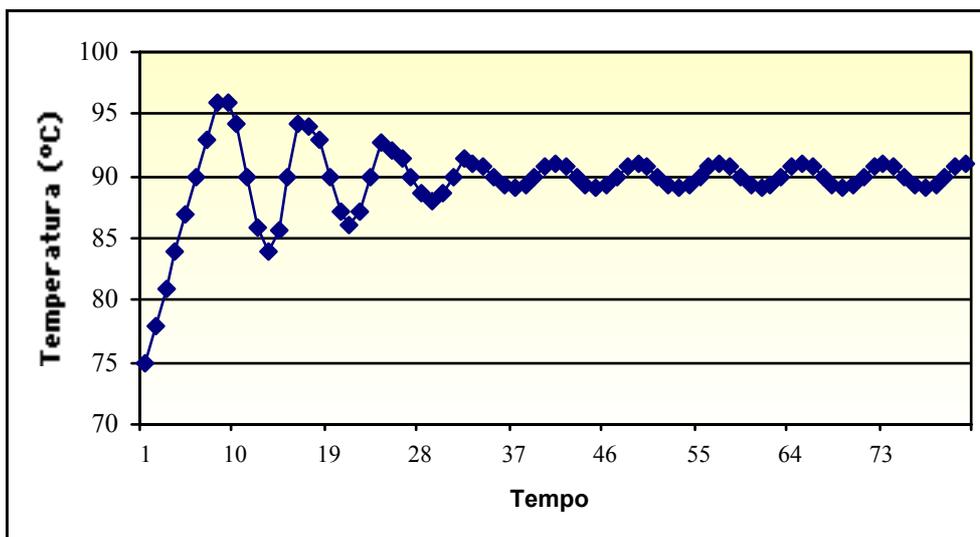


Figura 3 – Gráfico da monitorização das temperaturas no interior de uma estufa, cuja temperatura foi pré seleccionada para 90 °C.

No caso de câmaras que combinem sistemas de aquecimento e de refrigeração, o controlador utiliza um esquema de decisão mais complexo do que o do exemplo mencionado anteriormente. O funcionamento de um frigorífico ou câmara frigorífica é controlado de forma genérica por um sistema evaporador/compressor/condensador. A temperatura a que se evapora um líquido (ou se condensa um vapor) depende da pressão; assim se se utilizar o fluído adequado este evaporar-se-á a uma temperatura baixa no evaporador de baixa pressão (retirando calor do meio) e condensar-se-á a uma temperatura mais alta num condensador de alta pressão (libertando calor). Durante o seu funcionamento existem períodos de tempo de descongelação, cuja periodicidade e duração variam de equipamento para equipamento e durante os quais a temperatura sobe, descendo depois para um valor ligeiramente inferior ao seleccionado. Após estes períodos a temperatura da câmara frigorífica ou de um frigorífico retorna aos valores de funcionamento pretendidos.

1.3 ENSAIOS TÉRMICOS

Uma câmara térmica deve funcionar de forma a cumprir determinados requisitos e por isso deve ser avaliada através de estudos de comportamento térmico. Estes englobam essencialmente a análise da estabilidade e da uniformidade térmica no interior da câmara. Estabilidade térmica pode ser definida como a aptidão de uma câmara para manter a mesma temperatura, ao longo do tempo. Uniformidade térmica pode definir-se como a aptidão de uma câmara para manter a mesma temperatura, nas suas diferentes coordenadas espaciais.

O conhecimento do comportamento térmico de uma câmara é de extrema importância quando se pretende avaliar se esta é ou não adequada para o fim a que se destina (ex. método analítico, processo de maturação ou de conservação, etc.). Esta avaliação é feita através da análise conjunta dos resultados dos estudos da estabilidade e da uniformidade, obtidos no ensaio da câmara, e das exigências térmicas impostas pelo processo que requer a utilização da câmara térmica (ex. tolerância permitida pelo método analítico, tolerância permitida num processo de maturação, etc.).

Estes ensaios térmicos são importantes não só aquando da implementação de um novo tipo de utilização da câmara térmica, mas também posteriormente, em períodos pré-estabelecidos, uma vez que o comportamento térmico da câmara poderá sofrer alterações ao longo do tempo.

Ao avaliar o comportamento térmico de uma determinada câmara devem ser tidos em conta diversos factores que podem interferir com o seu comportamento, nomeadamente:

- ◆ factores externos, como por exemplo: temperatura exterior, variações na disposição de objectos no espaço que rodeia a câmara...
- ◆ factores internos, como por exemplo: variações na carga e na sua disposição no interior da câmara, temperatura interna...

A variação dos factores referidos pode levar a que a câmara térmica apresente diferentes desempenhos pelo que a sua influência não deve ser desprezada na avaliação dos resultados do ensaio térmico.

1.4 INCERTEZAS NAS MEDIÇÕES

A incerteza de medição é um parâmetro que surge associado ao resultado de uma medição e que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser, razoavelmente, atribuídos à mensuranda (VIM, 1996).

No cálculo da incerteza, devem ser contabilizados todos os componentes que afectam o resultado da grandeza medida, nomeadamente: modelo matemático / efeitos físicos desconhecidos; influência do ambiente (temperatura, humidade, poeiras, atmosfera agressiva no local da medição, vibrações, interferências electromagnéticas, reflexões, etc.); calibração dos padrões e dos materiais de referência; método de medição; operadores; etc.

Dependendo do conhecimento que se tenha sobre cada factor considerado, este pode contribuir com uma incerteza do tipo A ou do tipo B. De acordo com o guia EA4.02 “*Expressão da incerteza de medição na calibração*”: “A avaliação de tipo A da incerteza padrão é o método de avaliação da incerteza pela análise estatística de séries de observações (...). A avaliação de tipo B da incerteza padrão é o método de avaliação de incerteza por outros meios que não o da análise estatística de séries de observações. Neste caso, a estimativa da incerteza padrão é baseada noutro conhecimento científico”. A esta categoria pertencem valores provenientes de especificações dos fabricantes, dados retirados de Certificados de Calibração, etc.

Concretamente, para a maioria dos casos de ensaios de câmaras térmicas, a incerteza do tipo A resultará da dispersão dos valores da temperatura, para as várias coordenadas em estudo e a incerteza do tipo B deverá contemplar componentes associados à incerteza de calibração dos sensores, à incerteza do equipamento de medição para a temperatura de trabalho, à influência da temperatura ambiente nas medições, etc. . Como esta incerteza (tipo B) depende do equipamento de medição utilizado e eventualmente do próprio operador, deverá ser cuidadosamente avaliada pelo responsável do ensaio térmico, de forma a incluir os componentes que de algum modo possam afectar o resultado final.*

Nota: *Em muitos casos, na avaliação da incerteza de tipo B, considera-se:

- ◆ contribuição devido à incerteza de calibração dos sensores – retira-se do certificado de calibração o valor da incerteza expandida e divide-se pelo factor de expansão k.
- ◆ contribuição devido à incerteza do equipamento – valor retirado das especificações do fabricante (exemplo: erro máximo admitido), pelo que a estimativa é dada pelo desvio-padrão da função densidade de probabilidade, o que equivale a dividir o valor limite (absoluto) por $\sqrt{3}$.

Depois de identificadas todas as componentes relevantes para o cálculo da incerteza, determina-se a **incerteza padrão** que é dada pela raiz quadrada do somatório de todas as contribuições ao quadrado (soma do quadrado das variâncias, assumindo a não correlação entre as variáveis). O cálculo da incerteza expandida, grandeza que acompanha o resultado final para um grau de confiança de aproximadamente de 95%, obtém-se pelo produto da incerteza padrão com o factor de expansão k. O factor k é retirado de uma tabela de distribuição t e é função do número de graus de liberdade efectivos (v_{ef}). O número de graus efectivos é dado pela fórmula de Welch-Satherwaite:

$$v_{ef} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad (\text{Equação 6})$$

em que $u_i(y)$ é a inésima contribuição para o cálculo da incerteza padrão, v_i o número de graus de liberdade dessa contribuição e $u(y)$ a incerteza padrão associada à medição efectuada.

O cálculo do número de graus efectivos para as contribuições das várias distribuições consideradas pode ser consultado de forma pormenorizada em bibliografia específica. Geralmente assume-se $v_{ef}=50$ para distribuições Gaussianas e $v_{ef}=\infty$ para distribuições Rectangulares (no GUM é apresentada uma expressão que permite determinar os graus de liberdade associado a componentes de incerteza do tipo B, a partir da fiabilidade dos limites de variação considerados). No caso de estimativas de componentes do tipo A: $v_{ef} = n-1$, sendo n o número de amostras experimentais.

2. ENSAIO DE CÂMARAS TÉRMICAS: PROCEDIMENTO E CÁLCULOS

2.1 OBJECTIVO

A segunda parte deste guia tem por objectivo estabelecer, de forma genérica mas pormenorizada, um procedimento para o ensaio de câmaras térmicas, com vista à determinação da uniformidade e da estabilidade. O presente procedimento pode ser aplicado directamente à grande maioria das câmaras térmicas, e/ou pode ser adaptado quando as características ou especificidade do equipamento a controlar assim o exigirem, desde que os requisitos de natureza metrológica sejam salvaguardados.

2.2 NOMENCLATURA / SIMBOLOGIA

Volume útil de trabalho: volume da câmara que reúne as condições exigidas ao seu funcionamento, para determinada função e em determinadas condições.

Uniformidade térmica: aptidão para manter a mesma temperatura nos vários pontos espaciais da câmara.

Estabilidade térmica: aptidão para manter, ao longo do tempo, a mesma temperatura.

s: sensor de temperatura

ΔT_{Esx} : estabilidade térmica do sensor x

ΔT_U : uniformidade térmica da câmara ou do volume útil considerado

ns: n° de sensores utilizados = n° de pontos em estudo

n: n° de medições de cada ponto em estudo

m: n° total de medições efectuadas por todos os sensores no interior da câmara ($m = n \times ns$)

T_k : temperatura seleccionada no controlador da câmara

T_T : temperatura do termómetro da câmara

T_{sx} : temperatura do sensor x; com $x \in \{1, 2, \dots, ns\}$

$\overline{T_{sx}}$: temperatura média do sensor x; com $x \in \{1, 2, \dots, ns\}$

$\overline{T_T}$: temperatura média do termómetro da câmara

i: inésima medição (índice aplicável a T_T e T_{sx})

P: período da oscilação térmica (tempo entre duas fases iguais do ciclo térmico – ex. entre dois máximos)

$A_{T_{sx}}$ - semi-amplitude térmica do sensor s_x

$u_{i,y}$: inésima contribuição para o cálculo da incerteza, associada à incerteza y

U_Y : incerteza expandida associada à grandeza y

2.3 EQUIPAMENTO

O equipamento de medição de temperatura a utilizar no ensaio de câmaras térmicas deve estar calibrado e rastreado, ser adequado à gama de temperaturas a ensaiar e possuir resolução adequada às exigências dos métodos ou funções a que a câmara se destina.

2.4 DISPOSIÇÃO DOS SENSORES

A disposição dos sensores na câmara térmica deve ser feita de forma a otimizar o estudo da variação espacial da temperatura. Numa primeira abordagem, a câmara deve ser ensaiada na sua globalidade, ou pode apenas incidir na zona de utilização (exemplo: uma só prateleira).

As figuras 4 e 5 sugerem formas de disposição dos sensores em câmaras com diferentes volumes.

No caso de volumes muito pequenos, o número de sensores a usar fica condicionado à possibilidade de colocação das mesmas. Assim, poderá haver câmaras em que apenas seja possível estudar um ou dois pontos (ex. muflas).

Os sensores devem ser colocadas com alguma distância das paredes e/ou prateleiras, de forma a que o sensor não contacte com superfícies condutoras (cerca de 1/10 da dimensão).

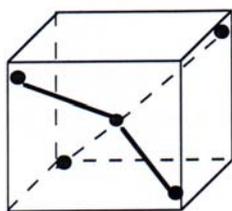


Figura 4 - Disposição tetraédrica numa estufa de volume $\approx 350 \text{ dm}^3$

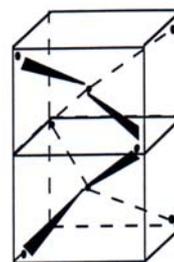


Figura 5 - Disposição bi-tetraédrica numa estufa de volume $\approx 800 \text{ dm}^3$

A Figura 6 - sugere diferentes formas de disposição dos sensores, quando se pretende estudar em pormenor a uniformidade térmica em cada prateleira.

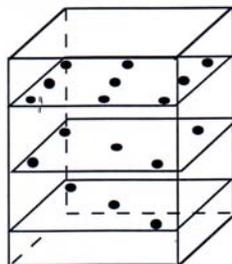


Figura 6 – Exemplos de possíveis disposições de sensores em prateleiras de uma câmara térmica.

2.5 ENSAIO DA CÂMARA TÉRMICA

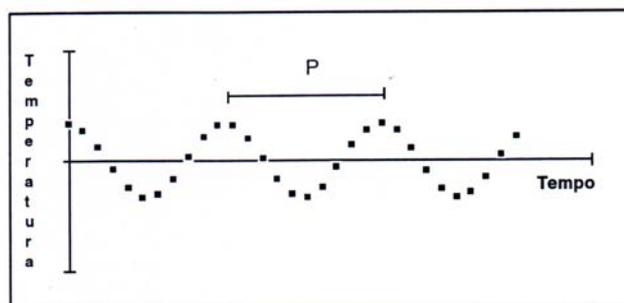
Ao iniciar o ensaio da câmara térmica deve definir-se quais as condições em que é realizado: disposição dos sensores; ventilação; arejamento e carga.

Se a câmara em estudo for ensaiada a várias temperaturas (vários patamares), o estudo deve ser efectuado, em cada patamar, como o descrito nos pontos 2.5.1 e 2.5.2. Os patamares devem ser ensaiados por ordem crescente de temperatura.

2.5.1 Ensaio Prévio - Verificação da estabilidade térmica e determinação do período de oscilação

No início do ensaio de uma câmara térmica, deve verificar-se se o estado estacionário já foi atingido. O estado estacionário caracteriza-se, em cada ponto, por uma oscilação regular de período e amplitude aproximadamente constantes, em torno de um valor médio de temperatura. Esta verificação deve ser feita através da elaboração de um gráfico, semelhante ao da Figura 7, que servirá ainda para determinar o período (P) da oscilação.

Figura 7 – Representação teórica da oscilação térmica, num ponto, em estado estacionário.



O período (P) é característico de cada câmara, do tipo de termostato, da temperatura de trabalho e das condições ambientais.

Algumas câmaras, especialmente as que dispõem de ventilação forçada, podem apresentar uma estabilidade térmica elevada, de tal forma que a amplitude da oscilação seja praticamente nula.

A verificação da existência de estado estacionário e a determinação do período P podem ser feitas do seguinte modo:

I – Colocar os sensores no interior da câmara.

II – Selecionar a temperatura de trabalho e esperar o tempo necessário para atingir o estado estacionário (varia com a temperatura e o tipo de câmara).

III – Visualizar ou anotar sequencialmente as temperaturas medidas por um (ou mais) sensor (es) ao longo do tempo, de forma a construir um gráfico semelhante ao da Figura 7.

Confirmar a existência de estabilidade térmica (oscilação constante em torno do mesmo valor de temperatura). Após obter oscilações completas e estáveis, determinar o período P .

2.5.2 Aquisição de leituras do ensaio

Após a determinação do período (P) da câmara, para a temperatura de trabalho e estando a câmara térmica em estado estacionário, fazer os ciclos de medições adequados (Anexo 1 -Exemplo 1).

Fazer n (com $n \geq 3$) ciclos de medições, com início espaçado por um período de tempo dado por P/n^* . A sequência de leituras, em cada ciclo de medições deve ser feita o mais rapidamente possível e de forma semelhante entre os vários ciclos. Notar que n deve ser tão grande quanto o valor de P o permita (Anexo 1 -Exemplo 2).

Nota:

*Caso não seja possível anotar todas as leituras de um ciclo antes de se atingir o tempo P/n , ao tempo inicial devem ser somados múltiplos do período (P) ($K \times P$ com $K = 1,2,3,\dots$) e adicionado o tempo de defasamento pretendido (P/n , $2 \times P/n$, etc). O Exemplo 3 do Anexo 1 é uma ilustração deste caso.

Cada ciclo de medições é constituído pelos seguintes passos:

Início do ciclo de medições

- 1 - Caso exista, ler e anotar o valor da temperatura no termómetro da câmara (T_{Ti}).
- 2 - Ler e anotar o valor dado pelo 1º sensor.
- 3 - Ler e anotar o valor dado pelo 2º sensor.
(continuar até ao último sensor)
- 4 - Ler e registar o valor dado pela n ésimo sensor.

Fim do ciclo de medições

O ensaio térmico torna-se mais simples quando se dispõe de um sistema automático para registo das temperaturas. Caso se disponha de um sistema deste tipo, deve consultar-se o Anexo 2, que ilustra uma situação de aquisição automática dos valores de temperatura e exemplifica quais os dados a utilizar nos cálculos. Nesse Anexo pode verificar-se que a programação da aquisição dos dados e os valores a utilizar nos cálculos devem respeitar os princípios teóricos estabelecidos nos pontos 2.5.1 (existência de estado estacionário) e 2.5.2 (valores representativos do ciclo térmico da câmara).

2.6 CÁLCULOS

2.6.1 Temperatura média em cada sensor

A média aritmética das n leituras de temperatura efectuadas, para cada ponto estudado, é dada por:

$$\overline{T_{s_x}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} T_{sxi} \quad (\text{Equação 7})$$

2.6.2 Temperatura média no termómetro da câmara térmica

A temperatura média do termómetro da câmara é dada por:

$$\overline{T_T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} T_{Ti} \quad (\text{Equação 8})$$

Nota:

* Quando este exista e se façam registos da sua temperatura simultaneamente com o ensaio térmico.

2.6.3 Estabilidade térmica de cada ponto em estudo (sensor sx)

A estabilidade térmica (desvio temporal da temperatura), para cada ponto estudado, é dada por:

$$\Delta T_{Es_x} = \text{Max}(T_{s_{x_i}}) - \text{Min}(T_{s_{x_i}}) \quad (\text{Equação 9})$$

2.6.4 Uniformidade térmica da câmara

A uniformidade térmica da câmara (desvio espacial da temperatura), de acordo com Norma DIN 12 880 – Parte 2, é dada pela diferença entre o valor médio mais alto e o valor médio mais baixo do conjunto dos sensores usados.

$$\Delta T_U = \text{Max}(\bar{T}_{s_1}, \bar{T}_{s_2}, \dots, \bar{T}_{s_{ns_i}}) - \text{Min}(\bar{T}_{s_1}, \bar{T}_{s_2}, \dots, \bar{T}_{s_{ns_i}}) \quad (\text{Equação 10})$$

2.6.5 Incerteza associada à temperatura do sensor S_x

Considerando que a temperatura em cada ponto tem associada uma dispersão experimental que é dada pela semi-amplitude máxima das temperaturas observadas

$$A_{T_{sx}} = \frac{\text{Max}(T_{s_{x_i}}) - \text{Min}(T_{s_{x_i}})}{2} \quad (\text{Equação 11})$$

2.6.5.1 Contribuições para o calculo da incerteza

No cálculo da incerteza associada ao sensor sx deverão ser contabilizadas:

$u_{1T_{sx}}$ - contribuição devido dispersão dos dados experimentais admitindo uma distribuição rectangular (valor retirado directamente da equação 11 - dividido por $\sqrt{3}$).

$u_{2T_{sx}}$ - contribuição devido à incerteza de calibração do sensor (valor da incerteza expandida, $U_{2T_{sx}}$, retirada directamente do certificado de calibração, dividido por k);

No entanto poderão ainda, se relevantes, ser acrescentadas contribuições devido a outras fontes de incerteza, como por exemplo resolução de indicação, etc.

2.6.5.2 Incerteza expandida associada à temperatura, no sensor s_x

$$U_{T_{sx}} = k \cdot u_{T_{sx}} \quad (\text{Equação 12})$$

sendo $u_{T_{sx}}^2 = u_{1_{T_{sx}}}^2 + u_{2_{T_{sx}}}^2$ e k o coeficiente de expansão considerado.

A incerteza expandida $U_{T_{sx}}$ está associada aos valores individuais de temperatura registados pelo sensor s_x , para os quais se pode usar a temperatura média como o valor esperado. Assim, o intervalo encontrado para os valores individuais de temperatura associados ao sensor s_x , com 95% de confiança, é dado por :

$$\overline{T_{sx}} \pm U_{T_{sx}} \quad (\text{Equação 13})$$

2.6.6 Relatório de ensaio – apresentação de resultados

O relatório de ensaio térmico deve conter os itens especificados no ponto 5.10 da Norma NP EN ISO/IEC 17025:2000. Tal como a própria Norma prevê, no caso de ensaios internos, podem ocorrer algumas simplificações (por ex. omitir a morada do cliente, etc.) mas existem itens que devem ser sempre referidos:

1. Identificação inequívoca do relatório de ensaio com indicação do número total de páginas;
2. Identificação inequívoca do equipamento sujeito ao ensaio
3. Data e local em que se efectuou o ensaio;
4. Condições de funcionamento da câmara térmica durante o ensaio (temperatura seleccionada, ventilação, carga, etc.);
5. Identificação da localização de cada sensor térmico;
6. Identificação do procedimento ou método utilizado;
7. Identificação do equipamento usado nas medições térmicas e sua rastreabilidade;
8. Condições ambientais;
9. Medições e resultados relevantes do ensaio;
10. Fontes de incerteza consideradas e respectivo valor;
11. Data de emissão do relatório do ensaio térmico;
12. Nome e função das pessoas que validam o relatório.

3. AVALIAÇÃO DO RELATÓRIO DE ENSAIO TÉRMICO

3.1 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS E DECLARAÇÃO DE CONFORMIDADE

É objectivo da terceira parte deste guia fornecer linhas de orientação para a interpretação dos resultados do relatório de ensaio térmico, com vista emitir uma Declaração de Conformidade (interna ou externa), nomeadamente chamar a atenção para aspectos cuja análise pode ser mais complexa.

Da conjugação da análise do relatório de ensaio térmico com as especificações térmicas exigidas, resulta a elaboração de uma declaração de conformidade (ou declaração de não conformidade) para o equipamento testado.

Quando uma entidade externa realiza um ensaio térmico, esta elabora, como documento final, um relatório de ensaio em que apresenta os resultados das medições efectuadas, acompanhados das respectivas incertezas (pelo menos para os parâmetros mais importantes). Estes relatórios de ensaio são, frequentemente, inconclusivos quanto à adequabilidade ou não do equipamento para determinada função; são documentos descritivos das condições ensaiadas. Nesta situação, é da maior importância que a entidade que realiza o ensaio da câmara térmica tenha em atenção as condições de utilização desejadas e explicitadas pelo cliente. É o cliente que, posteriormente, vai avaliar este relatório e declarar se a câmara térmica está, ou não, em conformidade com as suas exigências. Embora não seja usual, pode também ser a entidade externa que ensaiou a câmara térmica, a passar a declaração de conformidade (ver ponto 5.10.4.2 da Norma NP EN ISO/IEC 17025:2000).

Quando o ensaio térmico é feito pela própria entidade utilizadora, existe acesso a todos os valores parciais registados durante o ensaio. Este conhecimento possibilita uma atitude interventiva e imediata do utilizador, uma vez que não fica dependente dos valores finais que lhe são apresentados podendo, nomeadamente, fazer uma avaliação interactiva dos primeiros resultados, proceder a ajustes de temperatura e reprocessamento de dados, de forma a otimizar o desempenho do equipamento e/ou, pelo menos, encontrar zonas (volume) em que o equipamento garanta as exigências requeridas.

Se, por exemplo, mais de 50% dos pontos apresentarem valores de temperatura média fora do intervalo pretendido e o desvio observado for sistemático, então, há que corrigir a temperatura seleccionada (baixando-a ou elevando-a) de forma a aproximar a temperatura do interior da câmara da temperatura desejada.

Processo semelhante pode ser efectuado caso as temperaturas médias, dos vários pontos, estejam dentro do intervalo permitido, mas apresentem desvios sistemáticos (no mesmo sentido) ao valor médio desejado. Esta correcção fará com que os novos valores médios (e as respectivas incertezas) estejam mais centrados com o valor de temperatura desejado e com o intervalo da tolerância explicitado.

Este tipo de correcções são do tipo empírico e só após a sua execução (quando necessário) faz sentido avaliar, de forma pormenorizada, os resultados obtidos.

A uniformidade térmica e a estabilidade térmica, que são sempre referidas em estudos de comportamento térmico têm, do ponto de vista prático, que ser vistas com muito sentido crítico. Pelas suas definições elas são uma diferença entre dois valores de temperatura. O seu valor numérico funciona como **condição necessária** para se declarar a conformidade da câmara térmica mas avaliado sem ser referido aos próprios valores que lhe deram origem, nunca é **suficiente para garantir** a conformidade da câmara térmica ao fim em causa. Por exemplo, se determinado processo requer uma temperatura de $150^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ e experimentalmente se obteve uma estabilidade térmica associada a um ponto estudado de 12°C , pode concluir-se que, nesse ponto, não há conformidade. Mas se para a mesma exigência se obtiver uma estabilidade térmica associada a um ponto estudado de 2°C , nada se pode concluir quanto à sua conformidade! Isto sucede porque não há referência aos valores que deram origem ao valor de 2°C para a estabilidade térmica. Se o valor máximo foi 153°C e o mínimo 151°C então esse ponto está conforme; mas se o valor máximo foi 154°C o mínimo 152°C o ponto já não está conforme. O valor de 2°C para a estabilidade térmica, por si só não é conclusivo. Raciocínio análogo pode ser feito para a uniformidade térmica, ou de uma forma mais abrangente para a soma da uniformidade e estabilidade técnica de uma câmara ou sub-volume considerado. O critério por vezes referido, em que se testa se $\text{Uniformidade Térmica} + \text{Estabilidade Térmica} \leq \text{Variação Térmica permitida}$ só é susceptível de ser usado directamente em casos que as temperaturas médias dos sensores sejam concordantes com o valor de temperatura desejado. Infelizmente na realidade dos laboratórios tal

nem sempre acontece e por isso é necessário outro tipo de avaliação que situe estas diferenças térmicas (uniformidade e estabilidade) na própria escala de temperaturas que lhes deu origem.

A utilização de sub “volumes úteis” é sempre uma estratégia de recurso quando a totalidade do volume da câmara térmica não cumpre os requisitos exigidos. Na prática esta é uma situação com que muitos laboratórios se deparam e nesse caso, o responsável pelo equipamento pode estabelecer zonas - volumes úteis - nos quais garanta a existência dos requisitos térmicos. Por exemplo, quando são estudados 5 pontos em 3 prateleiras e se conclui que só os pontos da prateleira superior não estão de acordo com os requisitos térmicos, então pode definir-se com o volume útil dessa câmara o volume correspondente às duas prateleiras inferiores. O importante é que estas restrições espaciais estejam devidamente fundamentadas e bem identificados os volumes úteis e os volumes não conformes. Junto à câmara deverão existir avisos que permitam aos utilizadores identificar facilmente as zonas que estão em conformidade.

Seguidamente são propostas duas abordagens alternativas para avaliação do relatório de ensaio térmico, sendo que as duas seguem a mesma estratégia de análise:

- 1) definir, de acordo com os requisitos térmicos a temperatura desejada e o intervalo de temperatura permitido ($T \pm \text{Tolerância}$) ;
- 2) analisar os dados de cada sensor (s_x), de forma a verificar se cumpre os requisitos térmicos;
- 3) com base na aceitação e rejeição de cada ponto estudado (ponto 2), definir qual o volume útil de trabalho.

3.1.1 Abordagem 1–Máximos e mínimos e respectiva incerteza de indicação (leitura)

Neste tipo de avaliação utiliza-se o valor máximo e mínimo de cada sensor para verificar se a câmara térmica cumpre os requisitos desejados.

Teste A – Para cada sensor s_x testar se:

$$[(\text{Máx}(T_{sx}) + U_{2T_{sx}}) \leq \text{Temp. Máx admitida}] \wedge [(\text{Min}(T_{sx}) - U_{2T_{sx}}) \geq \text{Temp. Min admitida}]$$

Os sensores cujas temperaturas não verificarem a condição do Teste A correspondem a zonas que não satisfazem as exigências do método e por isso não devem ser utilizadas.

Caso se verifique que mais de 50% dos pontos apresentam um desvio sistemático (sempre os máximos ou sempre os mínimos fora do intervalo permitido) deve ajustar-se o controlador para tentar centrar as temperaturas obtidas com a temperatura desejada.

Os sensores que verifiquem as condições do Teste A definem a zona de volume útil da câmara térmica, para as condições de ensaio realizadas. A amplitude térmica no volume útil (uniformidade térmica) é dada pela diferença entre o máximo e o mínimo de todas as leituras de temperatura dos sensores não rejeitadas pelo Teste A.

3.1.2 Abordagem 2 – Cálculo de incertezas da temperatura no interior da câmara

Teste B – Verificar se o intervalo $\bar{T}_{sx} \pm U_{T_{sx}}$, está contido no intervalo estabelecido pelos requisitos térmicos da câmara ($T \pm \text{Tolerância}$).

Calcula-se a temperatura média e a incerteza associada em cada ponto estudado (de acordo com os pontos 2.6.1 e 2.6.5 Os pontos que não verifiquem a condição do Teste B devem ser desprezados, uma vez que tem uma variação térmica que não respeita os requisitos térmicos exigidos.

Caso o Teste B conduza à eliminação de algum(s) ponto(s), define-se um novo volume útil para câmara térmica (eliminando as zonas dos pontos que não respeitaram o Teste B).

A actual ausência de directrizes referentes à avaliação da conformidade de câmaras térmicas permite ao responsável pelo ensaio térmico escolher entre a Abordagem 1 ou 2. Os intervalos de variação térmica de cada ponto, obtidos pelas duas abordagens exemplificadas são, geralmente, muito semelhantes (Anexo 3).

3.2 INDICAÇÕES ÚTEIS

Após a verificação dos testes mencionados anteriormente e, caso se conclua que a câmara está em conformidade com as exigências térmicas para a utilização em causa, poderão ser afixadas em local bem visível as seguintes indicações:

- volume útil da câmara - deve identificar-se inequivocamente quais os pontos que podem ser utilizados (idealmente todo o volume).
- qual a temperatura que deve ser seleccionada no controlador da câmara para se obter a temperatura desejada no seu interior (de acordo com o ensaio térmico)
- qual a temperatura que indica o termómetro da câmara térmica quando esta se encontra à temperatura desejada (caso esse estudo tenha sido efectuado)

Anexo 1

Exemplo 1

A Figura A1 ilustra a importância dos pontos utilizados, para o cálculo da temperatura média num ponto, serem representativos de todo o ciclo térmico. No referido gráfico, se apenas fossem utilizados os Pontos A (por as medições serem feitas aleatoriamente) o valor da temperatura média seria 90,9°C. Caso apenas se tivessem utilizado as medições designadas por pontos B a média já seria 89,1°C.

Ambos os casos falseiam a realidade, já que a média é de 90,1°C.

Este exemplo realça a necessidade de, sobretudo quando a aquisição de dados é feita de forma manual, conhecer bem qual o período da oscilação térmica e adquirir leituras que sejam representativas de todo o ciclo (não sejam tendenciosas).

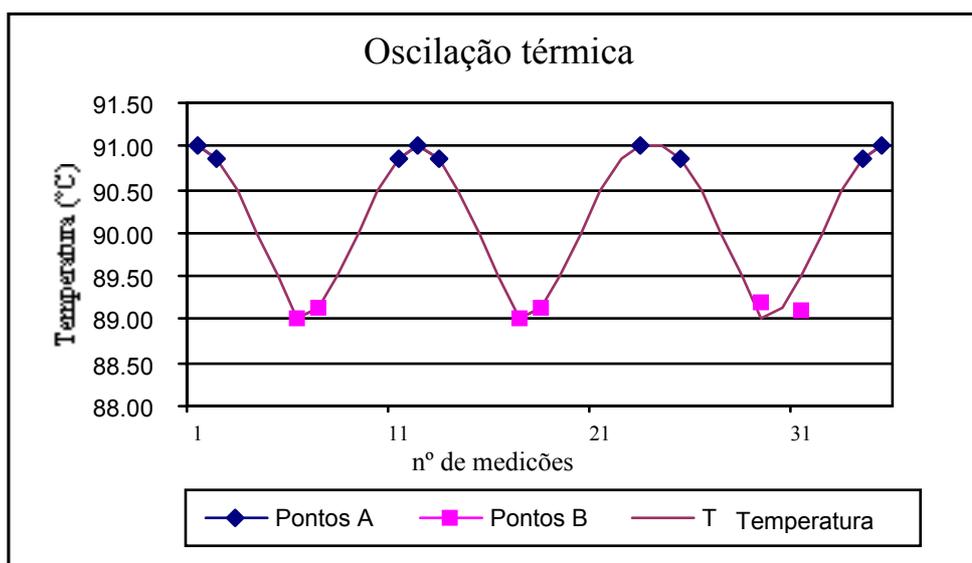


Figura A1 - Representação gráfica das leituras de temperatura num sensor no interior de uma câmara térmica

Exemplo 2

A câmara A tem um período é 540 segundos. Cada ciclo de leituras (ler e anotar o valor de temperatura indicado por cada sensor) demora cerca de 54 segundos. Escolhendo $n = 6$, de forma a deixar algum tempo entre cada ciclo de leituras (o máximo seria $n = 10$), os ciclos devem ser iniciados da seguinte forma:

Fórmula de cálculo	Início do ciclo de medições
$0 \times \frac{540}{6}$	1º Ciclo aos 0 segundos
$1 \times \frac{540}{6}$	2º Ciclo aos 90 segundos
$2 \times \frac{540}{6}$	3º Ciclo aos 180 segundos
$3 \times \frac{540}{6}$	4º Ciclo aos 270 segundos
$4 \times \frac{540}{6}$	5º Ciclo aos 360 segundos

Exemplo 3

O período da câmara B é 90 segundos. Cada ciclo de leituras (ler e registar o valor de temperatura indicado por cada sensor) demora cerca de 54 segundos. Mesmo que n seja igual a 3, valor mínimo admitido para n , constata-se que as medições não podem ser feitas durante um período de oscilação térmica. Então, os ciclos devem ser:

Fórmula de cálculo	Início do ciclo de medições
$0 \times 90 + 0 \times \frac{90}{3}$	1º Ciclo aos 0 segundos
$1 \times 90 + 1 \times \frac{90}{3}$	2º Ciclo aos 120 segundos
$2 \times 90 + 2 \times \frac{90}{3}$	3º Ciclo aos 240 segundos

Anexo 2

Este anexo tem como objectivo ilustrar o ensaio térmico de uma estufa com aquisição automática de dados, exemplificando a confirmação do estado estacionário, a identificação do período de oscilação térmica e análise dos resultados segundo o ponto 12.1 (Abordagem 1- Máximos e mínimos e respectiva incerteza de indicação (retirada do certificado de calibração).

Foi ensaiada uma estufa de 340 dm³ onde foram colocados 5 sensores com disposição tetraédrica. De acordo com as exigências do método em que é usada, a temperatura no seu interior deverá ser 101°C ± 2°C.

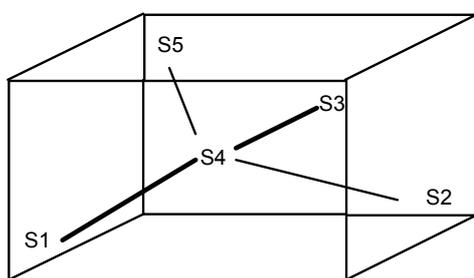


Figura A2 –Disposição dos sensores na câmara.

Os dados começaram a ser adquiridos ao fim de 2 horas, supondo que o estado estacionário já estaria alcançado. A programação foi feita para aquisição de resultados de 15 em 15 segundos, durante 1 hora. A Figura A2 e a Figura A4 mostram a disposição dos sensores e os resultados obtidos.

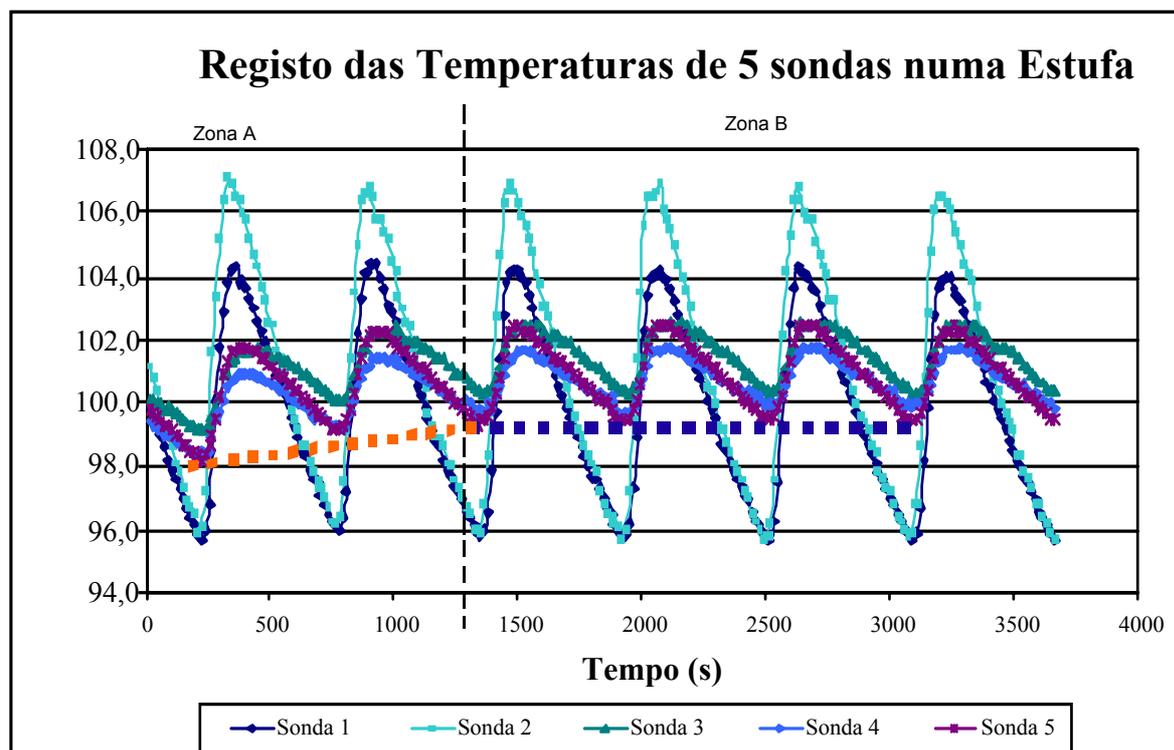


Figura A3 – Temperatura indicada em cada sensor

Da análise da Figura A3 pode verificar-se que, no início da aquisição dos dados, o estado estacionário ainda não tinha sido atingido. Nesse período, identificado como Zona A, vê-se que as oscilações apresentam uma subida sistemática dos seus pontos mínimos (tracejado ascendente). Assim os dados referentes a estes pontos não podem ser considerados, uma vez que não correspondem à situação de estado estacionário. Ao segundo 1335, começa a Zona B, ou seja atinge-se o estado estacionário. As oscilações estão regulares e a linha que une os seus pontos mínimos é horizontal (tracejado horizontal). O período de oscilação é de cerca de 600 segundos (ver Figura A3 e Figura A4).

Neste caso, o cálculo dos valores médios de temperatura, em cada sensor, pode ser feito com os valores referentes a um único ciclo térmico completo, em estado estacionário.

A utilização de mais dados (mais ciclos térmicos completos) é opcional, uma vez que conduz sensivelmente aos mesmos resultados. A ilustração desta ocorrência pode ser vista na Figura A4.

		Sensor 1 (°C)	Sensor 2 (°C)	Sensor 3 (°C)	Sensor 4 (°C)	Sensor 5 (°C)
1º Ciclo térmico (estado estacionário). (1335 a 1920s)	Média	99,8	100,9	101,5	100,7	100,9
	Máximo	104,2	106,9	102,5	101,7	102,4
	Mínimo	95,8	95,7	100,3	99,6	99,3
	Inc. de indicação	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
2º Ciclo térmico (estado estacionário). (1935 a 2520s)	Média	99,8	100,9	101,6	100,8	101,0
	Máximo	104,2	106,9	102,6	101,8	102,5
	Mínimo	95,7	95,7	100,3	99,7	99,4
	Inc. de indicação	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
3º Ciclo térmico (estado estacionário). (2535 a 3120s)	Média	99,8	100,9	101,6	100,8	101,0
	Máximo	104,3	106,8	102,6	101,8	102,5
	Mínimo	95,7	95,8	100,3	99,8	99,4
	Inc. de indicação	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09

Figura A4 – Resultados para a temperatura média, máxima e mínima para cada sensor

Não se devem usar valores referentes a ciclos térmicos incompletos uma vez que tal pode conduzir a valores médios de temperatura não representativos de toda a oscilação térmica.

Uma avaliação global das Figuras A2 e A4 permite verificar que a zona inferior da estufa está sujeita a variações térmicas muito superiores às existentes nas restantes zonas. A avaliação dos valores máximos e mínimos, em cada ponto e na globalidade do volume útil deve ser feita de acordo com as exigências do método ou do processo para que a estufa vai ser utilizada. Neste exemplo as temperaturas devem situar-se no intervalo 99 a 103°C.

De acordo com o descrito no ponto 12.1 (Abordagem 1–Máximos e mínimos e respectiva incerteza de indicação (leitura)). Testa-se para cada sensor, para o segundo ciclo térmico se:

$$[(\text{Máx} + U_{\text{leitura}}) \leq \text{Temp. Máx admitida}] \wedge [(\text{Min} - U_{\text{leitura}}) \geq \text{Temp. Min admitida}]$$

Sensor 1:	$(104,29^{\circ}\text{C} \leq 103^{\circ}\text{C}) \wedge 95,79^{\circ}\text{C} \geq 99^{\circ}\text{C}$	Rejeitada pelo teste
Sensor 2:	$(106,69^{\circ}\text{C} \leq 103^{\circ}\text{C}) \wedge 95,79^{\circ}\text{C} \geq 99^{\circ}\text{C}$	Rejeitada pelo teste
Sensor 3:	$(102,69^{\circ}\text{C} \leq 103^{\circ}\text{C}) \wedge 100,39^{\circ}\text{C} \geq 99^{\circ}\text{C}$	Aceite pelo teste
Sensor 4:	$(101,89^{\circ}\text{C} \leq 103^{\circ}\text{C}) \wedge 99,79^{\circ}\text{C} \geq 99^{\circ}\text{C}$	Aceite pelo teste
Sensor 5:	$(102,59^{\circ}\text{C} \leq 103^{\circ}\text{C}) \wedge 99,49^{\circ}\text{C} \geq 99^{\circ}\text{C}$	Aceite pelo teste

Conclusão: O volume útil desta câmara está restrito à zona média e superior.

Figura A5- Listagem dos dados adquiridos para o exemplo do Anexo 2.

begin measure: 15 hr. 00 11. 04. 2001
duration days:0000 hours 01 min.: 00
interval: 15 seconds

Tempo (s)	Sonda 1	Sonda 2	Sonda 3	Sonda 4	Sonda 5	Tempo (s)	Sonda 1	Sonda 2	Sonda 3	Sonda 4	Sonda 5
15	99,9	101,2	100,1	99,4	99,8	735	96,5	96,7	100,3	99,4	99,4
30	99,6	100,8	100,1	99,3	99,7	750	96,3	96,3	100,2	99,3	99,2
45	99,3	100,4	100,0	99,2	99,6	765	96,1	96,2	100,1	99,3	99,2
60	99,0	99,8	100,0	99,1	99,4	780	96,0	96,4	100,1	99,2	99,1
75	98,6	99,2	99,8	99,0	99,3	795	96,4	97,5	100,1	99,2	99,3
90	98,2	99,1	99,9	98,9	99,3	810	97,2	99,2	100,2	99,3	99,5
105	97,9	98,6	99,8	98,9	99,1	825	98,7	101,4	100,5	99,7	99,8
120	97,6	98,1	99,7	98,8	99,0	840	100,6	103,5	100,9	100,1	100,3
135	97,3	97,8	99,6	98,7	98,9	855	102,2	105,0	101,2	100,5	100,9
150	97,0	97,3	99,5	98,7	98,7	870	103,3	106,4	101,6	100,8	101,5
165	96,7	96,9	99,4	98,6	98,7	885	104,1	106,6	101,7	101,1	101,9
180	96,4	96,7	99,3	98,5	98,5	900	104,4	106,8	102,2	101,2	102,1
195	96,2	96,5	99,3	98,4	98,5	915	104,3	106,5	102,2	101,4	102,3
210	95,8	95,9	99,2	98,4	98,3	930	104,4	105,8	102,3	101,4	102,3
225	95,7	96,1	99,1	98,5	98,2	945	104,0	105,8	102,3	101,4	102,3
240	96,0	97,2	99,2	98,4	98,4	960	103,6	105,4	102,3	101,5	102,2
255	96,8	99,5	99,3	98,5	98,7	975	103,1	105,2	102,3	101,3	102,2
270	98,5	101,6	99,6	98,9	99,0	990	102,9	104,5	102,3	101,4	102,0
285	100,1	103,4	99,9	99,4	99,5	1005	102,6	104,2	102,4	101,4	101,9
300	101,8	105,2	100,2	99,7	100,2	1020	102,3	103,4	102,2	101,2	101,8
315	102,9	106,4	101,0	100,1	100,9	1035	101,8	103,0	102,1	101,2	101,7
330	103,8	107,1	101,0	100,5	101,3	1050	101,5	102,6	102,0	101,1	101,6
345	104,2	107,0	101,3	100,7	101,6	1065	101,2	102,4	102,0	101,1	101,4
360	104,3	106,5	101,5	100,8	101,7	1080	100,9	101,7	101,9	100,9	101,3
375	103,8	106,4	101,7	101,0	101,8	1095	100,5	101,2	101,9	100,9	101,2
390	103,9	106,0	101,6	100,9	101,8	1110	100,2	100,9	101,8	100,8	101,1
405	103,7	105,8	101,6	101,0	101,8	1125	99,9	100,5	101,8	100,8	101,1
420	103,3	105,2	101,6	100,9	101,7	1140	99,5	99,7	101,7	100,7	100,9
435	103,0	104,7	101,7	101,0	101,7	1155	99,1	99,3	101,6	100,7	100,8
450	102,6	104,3	101,8	100,8	101,6	1170	98,8	98,9	101,5	100,6	100,6
465	102,3	103,7	101,7	100,8	101,5	1185	98,6	98,9	101,4	100,4	100,5
480	101,9	103,3	101,6	100,7	101,4	1200	98,2	98,6	101,4	100,3	100,5
495	101,6	102,6	101,6	100,7	101,2	1215	97,9	98,1	101,2	100,2	100,3
510	101,3	102,5	101,5	100,6	101,2	1230	97,7	98,0	101,2	100,2	100,2
525	100,9	101,7	101,4	100,5	100,9	1245	97,4	97,6	101,0	100,0	100,0
540	100,6	101,4	101,4	100,4	100,9	1260	97,2	97,4	100,9	100,0	100,0
555	100,3	101,0	101,3	100,4	100,8	1275	96,9	97,0	100,9	99,9	99,8
570	100,0	100,6	101,3	100,2	100,6	1290	96,6	96,7	100,8	100,1	99,7
585	99,6	99,8	101,2	100,2	100,6	1305	96,4	96,5	100,6	100,0	99,6
600	99,3	99,5	101,2	100,1	100,4	1320	96,1	96,0	100,5	99,8	99,4
615	98,9	99,2	101,1	100,0	100,4	1335	95,9	96,0	100,4	99,6	99,3
630	98,5	98,7	101,0	100,0	100,2	1350	95,8	95,9	100,4	99,8	99,5
645	98,3	98,6	100,9	99,9	100,1	1365	96,0	96,8	100,3	99,6	99,5
660	97,9	98,2	100,8	99,7	100,0	1380	96,6	98,3	100,4	100,0	99,6
675	97,6	97,9	100,7	99,5	99,8	1395	97,9	100,3	100,5	99,8	99,9
690	97,5	97,5	100,6	99,6	99,7	1410	99,7	102,7	100,8	100,2	100,3
705	97,1	97,4	100,5	99,6	99,6	1425	101,4	104,7	101,2	100,5	100,8
720	96,8	97,0	100,4	99,5	99,4	1440	102,8	106,3	101,8	100,9	101,4

Tempo (s)	Sonda 1	Sonda 2	Sonda 3	Sonda 4	Sonda 5
2925	98,4	98,6	101,5	100,6	100,7
2940	98,1	98,5	101,4	100,6	100,5
2955	97,8	97,9	101,3	100,5	100,5
2970	97,6	97,7	101,2	100,4	100,4
2985	97,3	97,4	101,1	100,4	100,2
3000	97,0	97,2	101,0	100,4	100,1
3015	96,8	96,8	100,8	100,4	100,0
3030	96,5	96,4	100,7	100,1	99,8
3045	96,3	96,3	100,6	100,0	99,6
3060	96,0	96,0	100,5	99,9	99,5
3075	95,9	95,8	100,5	100,0	99,5
3090	95,7	95,9	100,3	99,9	99,4
3105	95,9	96,8	100,3	100,0	99,5
3120	96,7	98,7	100,4	100,0	99,7
3135	98,2	100,8	100,5	100,1	100,0
3150	99,9	102,9	100,8	100,4	100,4
3165	101,4	104,8	101,2	100,6	101,0
3180	102,8	106,1	101,7	101,0	101,5
3195	103,7	106,5	102,0	101,3	102,0
3210	103,9	106,5	102,2	101,5	102,2
3225	104,0	106,3	102,4	101,7	102,3
3240	104,0	106,1	102,5	101,7	102,3
3255	103,6	105,6	102,5	101,7	102,5
3270	103,4	105,4	102,5	101,7	102,3
3285	103,2	105,0	102,5	101,8	102,3
3300	102,9	104,4	102,4	101,7	102,2
3315	102,5	104,1	102,3	101,6	102,0
3330	102,1	103,9	102,4	101,6	101,9
3345	101,8	103,1	102,4	101,4	101,9
3360	101,4	102,3	102,3	101,3	101,7
3375	101,1	102,0	102,3	101,3	101,6
3390	100,7	101,7	102,1	101,2	101,5
3405	100,5	101,3	101,9	101,2	101,4
3420	100,1	100,8	101,8	101,0	101,2
3435	99,8	100,4	101,8	101,0	101,2
3450	99,5	100,0	101,8	100,8	101,1
3465	99,2	99,7	101,8	100,8	101,0
3480	98,8	99,4	101,7	100,7	100,8
3495	98,5	99,1	101,6	100,6	100,7
3510	98,2	98,4	101,5	100,5	100,6
3525	98,0	98,3	101,5	100,5	100,5
3540	97,7	97,9	101,2	100,6	100,3
3555	97,5	97,7	101,1	100,4	100,2
3570	97,2	97,3	100,9	100,2	100,2
3585	96,9	96,8	100,8	100,3	100,1
3600	96,6	96,8	100,7	100,1	99,9
3615	96,4	96,4	100,7	100,1	99,8
3630	96,1	96,2	100,5	100,0	99,7
3645	95,9	95,9	100,4	100,0	99,5
3660	95,7	95,7	100,4	99,8	99,5

Anexo 3

Este anexo tem como objectivo exemplificar a determinação do intervalo de variação térmica existente em cada ponto e na globalidade da câmara, pelas duas abordagens expostas em 12.1 e 12.2.

Foi efectuado um ensaio de uma câmara térmica (denominada ETU 17), cuja temperatura deve situar-se entre 36 e 38°C. Foram colocados 5 sensores com disposição tetraédrica e obtiveram-se os seguintes resultados:

Figura A6 – Resultados para a temperatura média, máximos e mínimos para cada sensor

	Sensor 1 (°C)	Sensor 2 (°C)	Sensor 3 (°C)	Sensor 4 (°C)	Sensor 5 (°C)
Média	36,7	36,7	36,7	36,8	36,7
Máximo	36,9	36,9	36,9	37,0	36,9
Mínimo	36,6	36,6	36,6	36,7	36,6

Foram utilizados termopares do tipo T calibradas por entidade acreditada, apresentando a seguinte incerteza expandida (valores retirados do certificado de calibração):

Figura A7 – Valores de incerteza expandida, da calibração, para cada uma dos sensores utilizados (u_{2T_s}).

Sensor 1 (°C)	Sensor 2 (°C)	Sensor 3 (°C)	Sensor 4 (°C)	Sensor 5 (°C)
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

• *Determinação do intervalo de variação térmica de acordo com a abordagem do ponto 12.1.*

Figura A8 – Valores máximos (e mínimos) majorados (ou minorados) com a incerteza de leitura.

	Sensor 1 (°C)	Sensor 2 (°C)	Sensor 3 (°C)	Sensor 4 (°C)	Sensor 5 (°C)
$Max(T_s) + U_{2T_s}$	37,0	37,0	37,0	37,1	37,0
$Min(T_s) - U_{2T_s}$	36,5	36,5	36,5	36,6	36,5

Como se pode observar na figura A8, todos os valores obtidos estão contidos no intervalo térmico 36-38°C. Desta forma a estufa pode ser utilizada sem restrições em todo o volume.

- *Determinação do intervalo de variação térmica de acordo com a abordagem do ponto 12.2.*

Figura A9 apresenta os intervalos térmicos obtidos por aplicação do cálculo da incerteza expandida.

Apresentam-se as folhas de cálculo utilizadas para a determinação das incertezas expandidas para cada sensor usado no ensaio da câmara térmica supra referida. Apresentam-se também os algoritmos numéricos utilizados nos cálculos.

Figura A9 – Valores limites do intervalo $\bar{T} \pm U$

	Sensor 1 (°C)	Sensor 2 (°C)	Sensor 3 (°C)	Sensor 4 (°C)	Sensor 5 (°C)
$\bar{T} + U_{T_{sx}}$	36,9	36,9	36,9	37,0	36,9
$\bar{T} - U_{T_{sx}}$	36,5	36,5	36,5	36,6	36,5

Figura A10– Exemplo de cálculo de incerteza associada à temperatura média do sensor s_1

Cálculo de incerteza associada à temperatura média da sonda s_1

Fonte de incerteza	Semi-amplitude máxima	Incerteza certificado de calibração	Distribuição da probabilidade	Divisor	u_i	u_i^2	Graus de liberdade
Dispersão experimental das temperaturas na coordenada i	0,15		Rectangular	1,73	0,086705	0,00752	∞
Incerteza certificado de calibração		0,1	Normal	2	0,050000	0,00250	50

Variância Total:	0,010
Incerteza:	0,100
s^2 de graus de liberd efec:	128455883
k=	2,00
Incerteza expandida:	0,20

Figura A11- Exemplo de cálculo em Excel da incerteza associada à temperatura média do sensor si

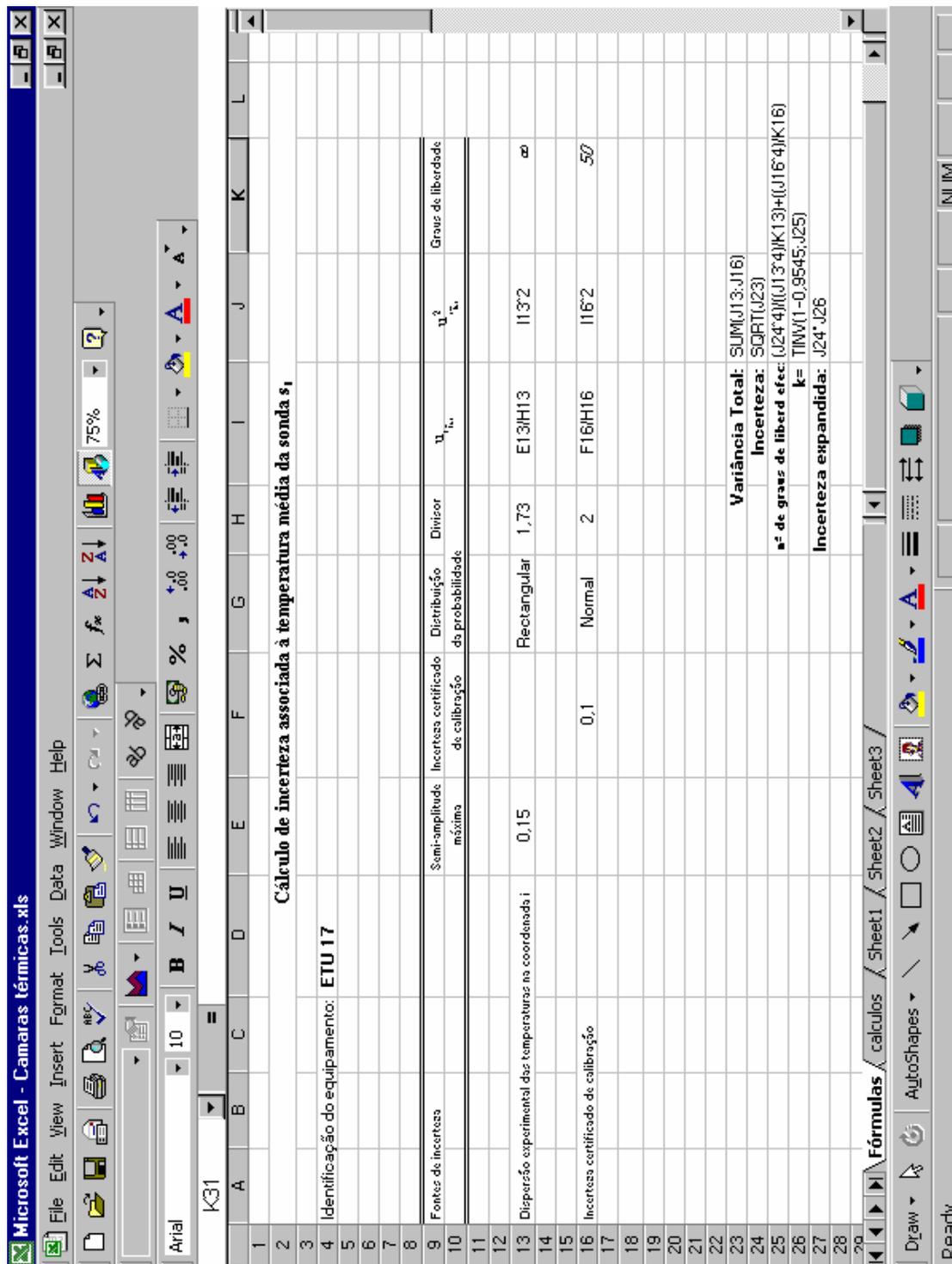


Figura A12 – Valores adquiridos pelos 5 sensores colocados na ETU 17

Tempo (min)	Sensor 1 (°C)	Sensor 2 (°C)	Sensor 3 (°C)	Sensor 4 (°C)	Sensor 5 (°C)
1	36,7	36,7	36,7	36,8	36,7
2	36,8	36,7	36,7	36,9	36,7
3	36,8	36,7	36,7	36,9	36,7
4	36,7	36,7	36,7	36,9	36,7
5	36,7	36,7	36,7	36,8	36,7
6	36,7	36,7	36,7	36,9	36,7
7	36,7	36,7	36,7	36,9	36,7
8	36,7	36,7	36,6	36,9	36,7
9	36,7	36,7	36,7	36,8	36,6
10	36,7	36,7	36,7	36,8	36,7
11	36,7	36,7	36,7	36,8	36,7
12	36,7	36,7	36,7	36,9	36,7
13	36,7	36,7	36,7	36,8	36,6
14	36,8	36,8	36,7	36,8	36,7
15	36,8	36,8	36,7	36,8	36,6
16	36,7	36,7	36,7	36,8	36,7
17	36,8	36,7	36,7	36,8	36,7
18	36,7	36,7	36,7	36,8	36,6
19	36,7	36,7	36,6	36,8	36,7
20	36,8	36,8	36,7	36,8	36,7
21	36,7	36,7	36,6	36,9	36,6
22	36,8	36,7	36,6	36,8	36,6
23	36,7	36,7	36,7	36,8	36,7
24	36,7	36,7	36,6	36,8	36,6
25	36,7	36,7	36,6	36,8	36,6
26	36,7	36,7	36,6	36,8	36,6
27	36,7	36,7	36,7	36,8	36,6
28	36,7	36,7	36,7	36,9	36,7
29	36,7	36,7	36,6	36,8	36,6
30	36,7	36,7	36,6	36,9	36,6
31	36,7	36,7	36,6	36,8	36,6
32	36,7	36,7	36,6	36,9	36,6
33	36,6	36,6	36,6	36,8	36,6
34	36,7	36,7	36,7	36,9	36,7
35	36,7	36,7	36,6	36,8	36,6
36	36,7	36,6	36,6	36,8	36,6
37	36,6	36,6	36,6	36,8	36,6
38	36,7	36,7	36,7	36,8	36,7
39	36,6	36,6	36,6	36,8	36,6
40	36,7	36,7	36,7	36,8	36,7
41	36,7	36,7	36,7	36,8	36,6
42	36,7	36,7	36,7	36,8	36,6
43	36,7	36,6	36,6	36,8	36,6
44	36,7	36,7	36,7	36,8	36,7
45	36,7	36,7	36,6	36,8	36,7
46	36,7	36,7	36,6	36,7	36,7
47	36,7	36,7	36,7	36,8	36,7
48	36,7	36,7	36,6	36,8	36,6
49	36,7	36,7	36,7	36,8	36,6

Tempo (min)	Sensor 1 (°C)	Sensor 2 (°C)	Sensor 3 (°C)	Sensor 4 (°C)	Sensor 5 (°C)
50	36,7	36,7	36,6	36,8	36,6
51	36,7	36,7	36,6	36,8	36,6
52	36,7	36,7	36,7	36,8	36,6
53	36,7	36,7	36,6	36,8	36,6
54	36,6	36,7	36,6	36,8	36,6
55	36,8	36,8	36,8	36,9	36,8
56	36,9	36,9	36,9	37,0	36,9
57	36,9	36,8	36,8	37,0	36,8
58	36,8	36,8	36,8	36,9	36,7
59	36,9	36,8	36,8	36,9	36,8
60	36,8	36,8	36,8	36,9	36,7
61	36,8	36,8	36,8	36,9	36,7
62	36,8	36,8	36,8	36,9	36,7
63	36,7	36,7	36,7	36,9	36,7
64	36,7	36,8	36,6	36,9	36,6
65	36,8	36,7	36,7	36,9	36,7
66	36,7	36,8	36,7	36,9	36,7
67	36,8	36,7	36,7	36,9	36,7
68	36,7	36,8	36,7	36,8	36,7
69	36,7	36,7	36,6	36,9	36,7
70	36,8	36,7	36,7	36,8	36,7
71	36,7	36,7	36,6	36,8	36,6
72	36,7	36,7	36,6	36,8	36,6
73	36,7	36,8	36,7	36,8	36,7
74	36,7	36,7	36,7	36,9	36,7
75	36,7	36,7	36,7	36,8	36,7
76	36,7	36,7	36,6	36,8	36,6
77	36,7	36,7	36,7	36,9	36,7
78	36,7	36,7	36,6	36,8	36,6
79	36,7	36,7	36,7	36,8	36,6
80	36,6	36,6	36,6	36,8	36,6
81	36,7	36,7	36,6	36,9	36,6
82	36,8	36,7	36,7	36,8	36,6
83	36,7	36,6	36,7	36,8	36,6
84	36,7	36,7	36,6	36,8	36,6
85	36,7	36,7	36,7	36,8	36,6
86	36,7	36,7	36,6	36,9	36,6
87	36,6	36,7	36,6	36,8	36,6
88	36,7	36,6	36,6	36,8	36,6
89	36,7	36,7	36,6	36,8	36,6
90	36,6	36,6	36,6	36,8	36,6
91	36,6	36,6	36,6	36,8	36,6
92	36,6	36,6	36,6	36,8	36,6
93	36,6	36,7	36,6	36,8	36,6
94	36,6	36,6	36,6	36,7	36,6
95	36,7	36,7	36,6	36,8	36,6
96	36,6	36,6	36,6	36,8	36,6
97	36,6	36,6	36,6	36,8	36,6
98	36,6	36,6	36,6	36,8	36,6
99	36,7	36,6	36,6	36,8	36,6

Referências e Bibliografia

Bird, R.B.; Stewart, W.E.; Lightfoot, E.N.; Transport Phenomena, Wiley International Edition, 1960.

Bureau International des Poids et Mesures et al. – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement ., 1^a ed. Gêneze: International Organization for standartization, 1993.

Documentação do Curso de Metrologia: Metrologia da Temperatura – Relacre, 1999.

Expressão da Incerteza de Medição na Calibração, Tradução IPQ do Guia EAL- R2, Abril 1997.

Graça Campos, Márcia Reto, Margarida Duthoit; Controlo de Câmaras Térmicas – Abordagem prática com cálculo de incertezas; INETI -DTIA-nº 128 – Estudos, Manuais e Doc. Reflexão -2, 2002

Guia para a expressão da incerteza de medições nos laboratórios de calibração, IPQ, Curso de Estatística para Laboratórios II – Relacre, 1993.

Norma DIN 12 880 – Parte2

Norma NP EN ISO/IEC 17025:2000

Pombeiro, A.J.L.O.; Técnicas e Operações Unitárias em Química Laboratorial, Fundação Calouste Gulbenkian, 1983.

Seborg, D.; Edgar, T. F.; Mellichamp, D.A.; Process Dynamics and Control, John Wiley & Sons, 1989.

VIM - Vocabulário Internacional de Metrologia, 1996

Últimos guias publicados

- 1** CALIBRAÇÃO DE MATERIAL VOLUMÉTRICO
1995; ISBN 972 - 96727 - 0 - 9
- 2** AUDITORIAS INTERNAS DE LABORATÓRIOS QUÍMICOS
1995; ISBN 972 - 96727 - 1 - 7
- 3** VALIDAÇÃO DE RESULTADOS EM LABORATÓRIOS QUÍMICOS
1996; ISBN 972 - 96727 - 2 - 5
- 4** DETERMINAÇÃO DA MELHOR INCERTEZA DE MEDIÇÃO DE UM LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DE FORÇAS
1996; ISBN 972 - 96727 - 3 - 3
- 5** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DOS RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE FORÇAS
1996; ISBN 972 - 96727 - 4 - 1
- 6** ACREDITAÇÃO DE LABORATÓRIOS DE ENSAIOS MICROBIOLÓGICOS
1996; ISBN 972 - 96727 - 5 - X
- 7** ENSAIOS INTERLABORATORIAIS EM QUÍMICA
1996; ISBN 972 - 96727 - 6 - 8
- 8** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DA CALIBRAÇÃO DE MASSAS
1997; ISBN 972 - 96727 - 7 - 6
- 9** ALGUNS EXEMPLOS DE CARTAS DE CONTROLO EM LABORATÓRIOS DE ANÁLISE QUÍMICA
1998; ISBN 972 - 96727 - 8 - 4
- 10** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DOS RESULTADOS DE MEDIÇÃO NA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO NA ÁREA ELÉCTRICA
1999; ISBN 972 - 96727 - 9 - 2
- 10** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DOS RESULTADOS DE MEDIÇÃO NA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO NA ÁREA ELÉCTRICA VOLUME II
1999; ISBN 972 - 96727 - 9 - 2
- 11** ELABORAÇÃO DO MANUAL DA QUALIDADE DE LABORATÓRIOS
1999; ISBN 972 - 8574 - 00 - 2
- 12** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DOS RESULTADOS DE VERIFICAÇÃO DE MÁQUINAS DE ENSAIO DE TRACÇÃO OU COMPRESSÃO
1999; ISBN 972 - 8574 - 01 - 0
- 13** VALIDAÇÃO DE MÉTODOS INTERNOS DE ENSAIO EM ANÁLISE QUÍMICA
2000; ISBN 972 - 8574 - 02 - 9
- 14** QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA SITUAÇÃO DOS LABORATÓRIOS DE ANÁLISES CLÍNICAS FACE À NOVA NORMA EN ISO/IEC 17025
2000; ISBN 972 - 8574 - 03 - 7
- 15** GARANTIA DA QUALIDADE DE SISTEMAS INFORMÁTICOS EM LABORATÓRIOS
2000; ISBN 972 - 8574 - 04 - 5
- 16** DETERMINAÇÃO DA MELHOR INCERTEZA DE MEDIÇÃO ASSOCIADA À CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS MANOMÉTRICAS
2000; ISBN 972 - 8574 - 05 - 3
- 17** ELABORAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DO SISTEMA DA QUALIDADE
2001; ISBN 972 - 8574 - 07 - x
- 18** PONTOS DE CALIBRAÇÃO EM EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DA ÁREA ELÉCTRICA
2004; ISBN 972 - 8574 - 08 - 8
- 19** CÂMARAS TÉRMICAS, CONCEITOS BÁSICOS, REALIZAÇÃO DO ENSAIO TÉRMICO E AVALIAÇÃO DO RELATÓRIO DE ENSAIO
2004; ISBN 972 - 8574 - 09 - 6



Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal

Rua Filipe Folque, 2, 6º Dto
1050-113 LISBOA
Telef. 21 313 98 40
Fax 21 313 98 41
relacre@mail.telepac.pt
www.relacre.pt