



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

- Mestrado - Doutorado -

**ESTIMAÇÃO DA DIFUSIVIDADE TÉRMICA DE IOGURTES
COMERCIAIS – APLICAÇÃO DO METÓDO FLASH**

por

Edilma Pereira Oliveira

*Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Federal da
Paraíba para obtenção do grau de Mestre.*

João Pessoa - Paraíba

Agosto, 2009

EDILMA PEREIRA OLIVEIRA

**ESTIMAÇÃO DA DIFUSIVIDADE TÉRMICA DE
IOGURTES COMERCIAIS – APLICAÇÃO DO MÉTODO
FLASH**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Zaqueu Ernesto da Silva

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, quando algumas vezes, sentindo-me desacreditada e perdida nos meus objetivos e ideais, me fez vivenciar a delícia da vitória.

Aos meus pais, **Geraldo** e **Socorro** por todo amor e incentivo, por compartilharem dos meus sonhos e conquistas, alegrias e tristezas, por nunca terem medido esforços para me proporcionar uma formação digna.

As minhas Tias, **Letícia** e **Hosana** (*in memoriam*).

Aos meus irmãos **Evilma**, **Eliane**, **Elaine** e **Enoques**, por todo amor, apoio e compreensão durante as ausências.

E a **Gabriel** por ser o meu presente mágico nos dias difíceis...

AGRADECIMENTOS

A **DEUS**, pela permissão de realizar mais um sonho e pela presença constante em todos os momentos da minha vida.

Ao Professor. **Dr. Zaqueu Ernesto da Silva** pela amizade, carinho, incentivo, apoio e pela excelente orientação. E por ter me passado uma das maiores virtudes do ser humano: o conhecimento. Obrigada pelos ensinamentos e por ter acreditado em mim.

Aos Professores membros da Banca Examinadora pelas importantes sugestões para a finalização da dissertação.

Aos docentes e funcionários do Laboratório de Energia Solar (LES).

Ao professor **Dr. Antonio Gouveia de Souza**, a professora **Dr^a Iêda Maria Garcia dos Santos** e a toda equipe do Laboratório de Combustíveis e Materiais (LACOM), pela importante contribuição na parte experimental do trabalho.

Aos amigos, **Mirtes, Kelly, Andrea, Pereira** e **Sebastian** que foram anjos, sempre dispostos a colaborar, através de seus conhecimentos ou com uma conversa para descontrair.

A CAPES pelo apoio financeiro.

A todos que de alguma forma contribuem para o meu crescimento pessoal e profissional.

ESTIMAÇÃO DA DIFUSIVIDADE TÉRMICA DE IOGURTES COMERCIAIS – APLICAÇÃO DO MÉTODO FLASH

RESUMO

A análise das propriedades de transferência de calor e massa em alimentos tem recebido maior atenção recentemente devida sua importância fundamental na modelagem, na otimização e nos projetos de equipamentos para processos. Neste trabalho, procedimentos experimentais foram realizados com iogurtes comerciais do tipo natural e desnatados, obtidos no mercado local com o objetivo de estimar a difusividade térmica. O procedimento experimental foi desenvolvido para líquidos entre placas metálicas e uma amostra líquida e mediu a avaliação da temperatura sobre a face frontal, a partir da qual foi obtida a difusividade térmica. O procedimento experimental foi realizado em um aparelho micro-flash, modelo LFA 457 da Netzsch e o calor específico foi determinado no calorímetro modelo 2920 Modulated marca TA. Os resultados obtidos para a difusividade térmica e condutividade térmica apresentam boa concordância com os valores disponíveis na literatura.

Palavras chave: condutividade térmica, difusividade térmica, método flash, iogurte

ESTIMATION OF THERMAL DIFFUSIVITY OF YOGURT COMMERCIAL - THE METHOD FLASH

ABSTRACT

The analysis of properties of heat and mass transfer in foods has recently received increased attention due to its importance in modeling, and in the optimization of equipments and processes. In this work, an experimental procedure was performed with commercial-type, natural and skimmed yoghurt purchased from the local market, in order to estimate the thermal diffusivity. The experimental procedure was developed for liquid sample. The sample was placed between two metal plates. The thermal diffusivity was obtained from measurements of frontal temperature. The experimental procedure was performed in a micro-flash apparatus, model 457 LFA and thermal conductivity was determined in the calorimeter model 2920 mark TA Modulated. The results for thermal diffusivity and thermal conductivity present a good agreement with the available values from the literature.

Keys words: Thermal conductivity; Thermal diffusivity; FLASH Method; yogurt

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO.....	15
Objetivo Geral.....	18
Objetivos Específicos.....	18

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1-INTRODUÇÃO.....	19
2.2-CONDUTIVIDADE TÉRMICA.....	20
2.2.1-Métodos de Medição da Condutividade Térmica em Alimentos.....	20
2.3-DIFUSIVIDADE TÉRMICA.....	22
2.3.1-Métodos de Medição da Difusividade Térmica em Alimentos.....	24
2.4-MÉTODO DO LASER FLASH.....	26
2.5-MODELOS MATEMÁTICOS.....	30
2.5.1-O Modelo de Parker <i>et al</i> (1961).....	30
2.5.2-O Modelo de Cowan (1961 e 1963).....	32
2.5.3-O Modelo de Cape e Lehman (1963).....	35
2.5.4-O Modelo de Clark e Taylor (1975).....	36
2.5.5-O Modelo de Andre e Degiovanni (1995).....	36
2.5.6-O Modelo de Silva (1997).....	40
2.5.7-O Modelo de Mehling <i>et al.</i> (1998).....	42
2.5.8-O Modelo de Lazard <i>et al.</i> (2004).....	43

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
--------------------------	----

3.1.-ESTIMATIVA DA DIFUSIVIDADE TÉRMICA E CONDUTIVIDADE TÉRMICA.....	45
---	----

3.2.- CÁPSULA PARA DETERMINAÇÃO DA DIFSIVIDADE TÉRMICA.....	54
---	----

3.3- ESTIMATIVA DO CALOR ESPECÍFICO.....	55
--	----

3.4- AMOSTRAS.....	55
--------------------	----

3.5-EQUAÇÃO DA ENERGIA.....	57
-----------------------------	----

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
-----------------------------	----

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES.....	70
-----------------	----

PERSPECTIVAS.....	71
-------------------	----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
---------------------------------	----

ANEXOS.....	79
-------------	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Método Flash.....	28
Figura 2.2	Medida da difusividade térmica, de acordo com PARKER.....	32
Figura 2.3	Efeito da perda de calor na face traseira, de acordo com COWAN.....	33
Figura 2.4	Termograma experimental da face oposta para uma amostra com grande espessura ótica.....	38
Figura 2.5	Termograma experimental da face oposta de uma amostra com grande espessura ótica.....	39
Figura 2.6	Termograma teórico da face oposta, caso unidimensional.....	41
Figura 2.7	Comparação entre o termograma experimental e o termograma teórico recalculado com valores de λ e c_p . ($T_e = 298 \text{ K}$).....	41
Figura 2.8	Degrau devido a transferência de calor radiativa entre as faces.....	43
Figura 2.9	Curva do aumento de temperatura da face posterior.....	44
Figura 3.1	Netzsch Microflash LFA457.....	46
Figura 3.2	Netzsch Microflash LFA 457 operando no LAMAT.....	46

Figura 3.3	Suporte das amostras.....	47
Figura 3.4	Tela de Programa de Ensaio LFA 457.....	49
Figura 3.5	Dados do ensaio experimental.....	49
Figura 3.6	Caracterização termofísicas do material.....	50
Figura 3.7	Propriedades conhecida da amostra e do porta-amostra.....	50
Figura 3.8	Banco de dados do software.....	51
Figura 3.9	Programação das temperaturas dos testes.....	51
Figura 3.10	Tela do software Proteus.....	52
Figura 3.11	Tela para a escolha do modelo usado no cálculo de α	52
Figura 3.12	Tela para recalcular a difusividade térmica e calcular o calor específico.....	53
Figura 3.13	Tela de Database do LFA.....	53
Figura 3.14	Célula para determinação da difusividade térmica de metais líquidos Netzsch.....	54
Figura 3.15	Esquema do balanço de energia na amostra.....	59
Figura 4.1	Curva teórica da evolução de temperatura – Modelo Adiabático.....	65
Figura 4.2	Curva da teórica evolução de temperatura – Modelo com perdas de calor.....	65
Figura 4.3	Curva do calor específico em função da temperatura para o iogurte natural...	66

Figura 4.4	Curva do calor específico em função da temperatura para o iogurte desnatado.....	66
Figura 4.5	Curva da difusividade térmica do iogurte desnatado em função da temperatura.....	68
Figura 4.6	Curva da difusividade térmica do iogurte natural em função da temperatura.	68
Figura 4.7	Curva da difusividade térmica do iogurte natural em função da temperatura.	69
Figura 4.8	Curva da condutividade térmica do iogurte natural em função da temperatura.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Difusividade térmica de vários tipos de alimentos.....	23
Tabela 3.1	Espessura da amostra para a determinação das propriedades termofísicas de líquidos.....	47
Tabela 4.1	Modelo de três camadas com perdas de calor e correção de pulso para valores de densidade e calor específico encontrados na literatura.....	63
Tabela 4.2	Modelo de três camadas adiabático com correção de pulso para valores de densidade e calor específico encontrados na literatura.....	64
Tabela 4.3	Modelo de três camadas com perdas e correção de pulso.....	67
Tabela 4.4	Modelo de três camadas adiabático com correção de pulso.....	67

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

Nomenclatura

A	Área de transferência de calor normal ao fluxo de calor (m^2)
C_p	Calor específico (J/kg °C)
$delay$	Espaço de tempo entre o começo da medida e o começo do pulso de energia
h	Coefficiente global de transferência de calor ($W/m^2 K$)
h_{conv}	Coefficiente de convecção de calor ($W/m^2 K$)
k	Constante de proporcionalidade conhecida como condutividade térmica (W/mK)
Q'	Fluxo de calor por unidade de superfície da irradiação do Flash (W/m^2)
$\bar{q}_t, \bar{q}_r, \bar{q}_c$ e \bar{q}_{conv}	Fluxo de calor total, radiativo, condutivo e convectivo (W/m^2)
q	É a taxa de calor (W)
R_a	Número de Rayleigh
R_{max}	Raio externo do cilindro de latão (m)
r	Coordenada radial (m)
T	Temperatura (°C)
T_{ext}	Temperatura externa (K)
T_s	Temperaturas de superfície na horizontal e vertical (K)
t	Tempo (s)
z	Coordenada axial (m)

Símbolos Gregos

α	Difusividade térmica (m ² /s)
ρ	Densidade (kg/m ³)
σ	Constante Stefan-Boltzmann ($\approx 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$)
$\frac{\partial T}{\partial x}$	Gradiente de temperatura ao longo da direção do fluxo de calor (K/m)
ε	Emissividade global da superfície externa da célula
τ	Duração da irradiação do Flash (s)
$\tau_1, \tau_2, \text{ e } \tau_3$	Constantes de tempo automaticamente determinado para ajustar o pulso
τ_{end}	Constante do ponto no tempo do decaimento rápido
φ	Coordenada relativa ao ângulo polar (rad)
χ	Espessura de penetração da energia radiativa pelo Flash (m)

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A qualidade dos produtos alimentícios e a sua influência sobre a nutrição e a saúde humana vêm merecendo lugar de destaque nos meios científicos. Essa preocupação se deve ao grande número de produtos alimentícios existentes e a uma tendência atual de se ingerir produtos naturais. Dentre esses produtos destaca-se o iogurte, produto resultante da fermentação láctica, está presente na dieta alimentar humana desde os tempos remotos, quando a fermentação era utilizada como forma de preservação do leite.

A produção mundial e o consumo de iogurtes cresceram muito durante o último quarto deste século, com a introdução dos iogurtes aromatizados com frutas. A adição de frutas aumenta de maneira eficaz a aceitação do produto, pois nem todos os consumidores preferem o iogurte na sua forma natural.

A legislação brasileira (Decreto nº 2.244/97) define o iogurte como “o produto obtido pela fermentação láctica através da ação do *Lactobacillus delbrueckii* ssp *bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus* sobre o leite integral, desnatado ou padronizado”. Pode-se fazer acompanhar de outras bactérias lácticas que, por sua atividade, contribuem para a determinação das características do produto acabado (BRASIL, 1997).

Muitos alimentos possuem características físicas que tornam a condução o modo primário de transferência de calor durante o processamento térmico. Estes alimentos são mais difíceis de aquecer, pois o corpo do alimento serve como isolante entre a fonte de calor e o centro do alimento. Para condições de transferência de calor por condução, as relações tempo/temperatura de um dado alimento podem ser calculadas se as condições de contorno de transferência de calor e a geometria do alimento forem matematicamente tratáveis e se a difusividade térmica do alimento for conhecida. O maior obstáculo para a

aproximação matemática é a falta de dados das propriedades térmicas dos alimentos (SIMÕES et al., 2000).

Propriedades como a condutividade térmica, calor específico e massa específica têm uma importante função na análise de alimentos processados e no projeto de equipamentos. Em situações em que a transferência de calor ocorre em regime transiente à propriedade chamada difusividade térmica é a mais usada.

De acordo com INCROPERA & DEWITT (2006), condutividade térmica da matéria é uma propriedade de transporte que indica a taxa pela qual a energia é transferida pelo processo de difusão. Ela depende da estrutura física da matéria, atômica e molecular, que por sua vez, está relacionada ao estado da matéria. Os problemas de transferência de calor em materiais biológicos durante a produção ou durante o manuseio e processamento podem incluir as interfaces sólido-líquido, sólido-gás, líquido-líquido e líquido-gás, como o aquecimento, resfriamento, congelamento, secagem ou desidratação de uma massa de sólidos ou de sólidos unitários. Em alguns casos, a transferência de calor é também acompanhada pela transferência de massa tal como ocorre nos processos de secagem e de desidratação (MOHSENIN, 1980). A condutividade térmica depende principalmente da composição do produto, incluindo a presença de espaços vazios e do grau de homogeneidade estrutural.

Existem vários métodos para determinação da condutividade térmica de um material. Esses métodos são: métodos diretos e métodos inversos.

Nos métodos diretos a experiência é projetada para se obter as propriedades desejadas de uma maneira simples e direta. Inicialmente todas as condições de limite e todos os parâmetros ou propriedades relevantes devem ser conhecidos. O experimento é de tal forma que a relação entre os valores medidos e as propriedades (condutividade térmica, difusividade térmica, emissividade) pode ser escritos como uma fórmula matemática que permitam expressar as propriedades diretamente em termos das medições (MENDONÇA et al, 2005).

O método inverso é uma técnica que permite o uso eficiente de dados para a estimativa de constantes que aparecem nos modelos matemáticos e para ajudar na modelagem de um fenômeno físico (SILVA, 2007). A abordagem é mais ambiciosa que os diretos, uma vez que um dos objetivos é a estimar um número de parâmetros possíveis a partir de uma única experiência. Tipicamente, um teste mede a resposta temperatura de uma espécie submetida a aquecimento ou resfriamentos transientes e determina as

propriedades diretamente como uma função da temperatura, i.e., uma grande quantidade de informações devem ser extraídas de um único teste transiente (MENDONÇA *et al.*, 2005).

A difusividade térmica de produtos alimentares depende da umidade e da temperatura da amostra, assim como da composição e da porosidade da mesma. Como a temperatura e a umidade do produto podem mudar durante o processamento, a difusividade também é modificada. Muitas vezes, os valores de difusividades térmicas são publicados na literatura, sem informar as condições em que os experimentos foram efetuados. É de fundamental importância que a temperatura, a umidade, a massa específica e a porosidade do meio sejam informadas, conforme o caso (CARBONERA *et al.*, 2003).

Segundo ARAUJO *et al.* (2004), o calor específico, cujo valor é significativamente afetado pela quantidade de água presente no material e pelo estado físico desta água, é entendido como a quantidade de calor necessária para alterar a temperatura de uma unidade de massa, sendo, portanto, fundamental para se determinar a quantidade de energia a ser adicionada ou removida nos processos de aquecimento e resfriamento.

Quando um alimento é transportado, estocado ou embalado, é importante saber a massa específica do material. A massa específica inclui o volume do material sólido, líquido e todos os poros de um produto alimentício.

A literatura apresenta como método mais usual para a determinação da difusividade térmica em alimentos é o método do cilindro infinito, proposto por DICKERSON (1965), que é um método baseado na transferência de calor transiente em que as temperaturas da amostra aumentam linearmente com o tempo. Esse método foi estudado por MUNIZ *et al.*, (2006), LIMA *et al.* (2003), e SIMÕES *et al.* (2000), que determinaram a difusividade térmica para polpas de frutas. E MOURA *et al.*, (2001) determinou para soluções de modelos similares de creme de leite. KIM *et al.* (1997) para iogurte e CARBONERA *et al.*, (2003) determinou a difusividade térmica em massa de tomates usando o método de BALL, e OLSON (1957) que estima a evolução da diferença entre a temperatura transiente em uma posição central da amostra (T_C) e a temperatura do meio de aquecimento (T_1), em função do tempo.

A condutividade térmica foi determinada usando o método transiente da sonda linear de calor desenvolvido por BLACKWELL, (1954). Ele supõe uma fonte linear, imersa em um meio infinito, isotrópico e homogêneo com temperatura inicial igual a T_0 , cujas propriedades não variam com a temperatura, foi estudada por MATTIO *et al.*,

(2005), QUEIROZ, (2001), para a determinação da condutividade da massa de pão congelada e do pão francês respectivamente.

A massa específica é determinada usando os métodos de deslocamento de volumes onde o mais usual é o método do picnômetro de comparação por ar, que foram estudados por ARAUJO *et al.*, (2003) para polpa de Cupuaçu, CARBONERA *et al.*, (2003) para massa de tomates comerciais e MOURA *et al.*, (2001) para soluções de modelos similares a creme de leite.

O método clássico de determinação de calor específico é o método do calorímetro de mistura, foi estudado por LIMA *et al.* (2003) para polpa de cupuaçu, e por KIM *et al.* (1997) para iogurte.

Neste trabalho, as propriedades termofísicas de iogurte comerciais são estimadas. O calor específico é obtido através da técnica de calorimetria de varredura diferencial; a difusividade térmica é obtida através de uma experiência laser flash e finalmente a condutividade térmica é obtida da definição de difusividade térmica.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este Trabalho tem por objetivo a determinação das propriedades térmicas do iogurte natural e desnatado através da utilização do método Laser Flash, a partir do termograma experimental.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Estimar a difusividade térmica e a condutividade térmica pelo método flash, no equipamento Micro Flash modelo LFA 457 da Netzsch para o iogurte natural e desnatado;
- ❖ Determinar o calor específico pelo método do calorímetro de varredura diferencial modelo 2920 (DSC) da TA Instruments;
- ❖ Comparar os resultados experimentais com os obtidos na literatura, usando outros modelos.
- ❖ Analisar a evolução temporal da temperatura obtido para o modelo adiabático e o modelo que considera as perdas de calor por convecção.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta os principais temas relacionados à determinação das propriedades termofísicas dos alimentos, os métodos de determinação da difusividade térmica e condutividade térmica, o método do LASER FLASH e os modelos matemáticos abordando-se de forma objetiva na área de alimentos.

2.1 - INTRODUÇÃO

As propriedades de transferência de calor e massa em alimentos têm recebido maior atenção recentemente devida sua importância fundamental na modelagem, na otimização e nos projetos de equipamentos para processos. Antigamente, para análises de transferência de calor durante o aquecimento e resfriamento de produtos alimentícios, eram utilizados valores constantes de propriedades térmicas. Essas análises eram muito simplificadas e imprecisas. As técnicas atuais permitem determinar com maior precisão propriedades térmicas de alimentos de geometria irregular que variam com o tempo, a temperatura e o local do produto quando ele é submetido a um processo de transferência de calor e massa. Além disso, a mudança da temperatura de um produto alimentício pode causar variações significativas em suas propriedades físicas e químicas (QUEIROZ, 2001).

A literatura mostra que não existe um número importante de trabalhos destinados a caracterização térmica dos iogurtes, em particular, direcionados para a estimação da difusividade térmica.

2.2 - CONDUTIVIDADE TERMICA

A condutividade térmica é uma propriedade do material que descreve a taxa com que o fluxo de calor escoar sobre a influência de um gradiente de temperatura que é descrito pela equação de Fourier da condução de calor (INCROPERA & DEWITT, 2006).

$$q = kxAx \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.1)$$

onde:

$q \rightarrow$ É a taxa de calor (W)

$A \rightarrow$ Área de transferência de calor normal ao fluxo de calor (m²)

$k \rightarrow$ Constante de proporcionalidade conhecida como condutividade térmica (W / m K)

$\frac{\partial T}{\partial x} \rightarrow$ Gradiente de temperatura ao longo da direção do fluxo de calor (K / m)

Em alimentos, que são compostos de várias substâncias em vários estados, o calor transferido por condução ocorre de várias formas. O efeito resultante da temperatura sobre a condutividade térmica não é facilmente estabelecido pelo emprego dos conhecimentos básico dos mecanismos de transferência de calor em sólidos, líquidos e gases. Além disso, em produtos alimentícios o aumento da temperatura pode causar várias mudanças em suas propriedades físicas e químicas. Assim a condutividade térmica de alimentos depende tanto da sua composição como de qualquer fator que afete o fluxo de calor através do material como: a porosidade, o tamanho, a forma, o arranjo dos poros, a orientação das fibras etc. (QUEIROZ, 2001).

2.2.1 – Métodos de Medição da Condutividade Térmica em Alimentos

Para determinar a condutividade térmica em produtos alimentícios existem técnicas que estão divididas em três grupos: as técnicas de medição em estado estacionário, as técnicas de medição em estado semi-estacionário e as técnicas em estado transiente.

Devido a sua simplicidade o método de medição em estado estacionário, foi um dos primeiros métodos utilizados para matérias biológicas. Neste caso, a temperatura constante é mantida em cada superfície da amostra teste. O fluxo de calor constante, obtido após o equilíbrio, é medida para uma dada área seccional perpendicular ao fluxo e ao gradiente de temperatura. Aplica-se a 1ª Lei de Fourier de Transferência de Calor (equação 2.1) e a condutividade térmica pode ser calculada (ITO, 2003).

As vantagens das medições em estado estacionário são a simplicidade das equações e o alto grau de controle das variáveis experimentais que geram resultados bastante precisos. As desvantagens do método é o longo tempo para atingir o estado estacionário, a necessidade de geometria definida da amostra, a eventual migração da umidade da amostra devido ao longo tempo e no caso, de materiais com alto conteúdo de água, a presença do mecanismo de convecção. O método da placa quente é um equipamento que consiste de um sistema onde a amostra fica envolvida por uma fonte de calor, com as extremidades isoladas de modo a evitar perda de calor (RAHMEN, 1995). Esse método é padronizado pela Sociedade Americana para teste em Materiais (ASTM). No entanto é recomendada para amostras “secas”, uma característica apresentada somente por alimentos desidratados.

PARK, ITO e LEITE (2002) determinaram a condutividade térmica de grãos triturados de soja a diferentes granulométricas e dimensões. Utilizaram um equipamento de coluna fechada, construído por SHIKI e PARK (1998), que opera em regime permanente. Os resultados obtidos mostram que a migração de umidade deve ser considerada na determinação da condutividade.

As técnicas de medição da condutividade térmica em estado semi-estacionário são baseadas na transferência de calor através da amostra, o método mais comum é o método de Fitch.

O método de Fitch é usado para medir a condutividade térmica em condutores pobres. A técnica consiste em de uma fonte de calor ou recipiente na forma de um vaso preenchido com um líquido a temperatura constante e outro na forma de um condutor de cobre isolado por todos os lados. A amostra é disposta como um sanduíche entre o vaso e a fase não isolada do condutor (QUEIROZ, 2001).

A técnica mais citada para medir a condutividade térmica em alimentos no estado transiente é o método da sonda linear de aquecimento devido a sua conveniência, rapidez, baixo custo e adequado para pequenas amostras. A técnica da sonda linear de aquecimento consiste basicamente de um fio aquecedor e um sensor de temperatura. Entre os sensores

de temperatura os mais utilizados são os termopares devido a suas variedades de tamanho, facilidade para instalar, durabilidade e baixo custo.

A sonda linear de aquecimento foi estudada por OLIVIERA, et. al. (2001) para determinar a condutividade térmica do suco de laranja, para a construção da sonda, foi usado uma agulha hipodérmica contendo no seu interior um fio aquecedor de constantan e termopar de cobre-constantan. Uma corrente contínua de 260 mA foi usada para aquecer a sonda. Os resultados mostraram que a condutividade térmica varia na faixa de 0,2 a 0,57 W/m C, e os resultados experimentais estão baseados sobre o conteúdo de água.

QUEIROZ, (2001) construiu uma sonda linear de aquecimento para determinar a condutividade térmica do pão francês durante o aquecimento e identificou que a condutividade térmica do pão francês diminuía durante o tempo de aquecimento, verificando que essas variações ocorreram devido a variação de outras propriedades como o conteúdo de água (base úmida) e a densidade aparente.

RESENTE *et. al* (2002) mediu a condutividade térmica efetiva de modelos de polpas de frutas no estado congelado através da sonda linear de aquecimento, os experimentos foram conduzidos na faixa de -25 a 0°C com modelos alimentícios, Os valores calculados da condutividade térmica foram ajustados em termos de funções polinomiais, divididas em quatro faixas de temperatura e podem ser usadas na resolução dos problemas de transferência de calor, nos processos de congelamento.

2.3 - DIFUSIVIDADE TÉRMICA

Na análise de transferência de calor, a razão entre a condutividade térmica e a capacidade calorífica volumétrica é uma propriedade importante chamada de difusividade térmica (α)

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (2.2)$$

onde:

$\alpha \rightarrow$ Difusividade térmica (m²/s)

$\rho \rightarrow$ Densidade (kg/m³)

$C_p \rightarrow$ Calor específico (J/kg °C)

A precisão de cálculos de engenharia depende da exatidão na qual as propriedades termofísicas são conhecidas. Inúmeros exemplos de falhas em equipamentos ou no projeto de processos poderiam ser citados ou então de não entendimento das especificações de desempenhos, que poderiam ser atribuídos a falta de informações quando da seleção de valores de propriedades chaves usadas na análise inicial dos sistemas. A seleção de dados confiáveis para as diversas propriedades é uma parte integrante de qualquer análise criteriosa de engenharia (INCROPERA & DEWITT, 2006)

Vários modelos empíricos úteis na predição da difusividade térmica existem na literatura, a maioria desses modelos é específico do alimento estudado.

MARTENS (1980) apud SINGH (1982) investigou a influência da água, da gordura, da proteína, do carboidrato e da temperatura na difusividade térmica de alimentos. Em análises estatísticas, MARTENS verificou que a temperatura e o conteúdo de água são os fatores de maior influência sobre a difusividade térmica.

A maior parte dos alimentos possui difusividade térmica entre 1.2 e $1.9 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ de acordo com a tabela 2.1, relatada na literatura.

Tabela 2.1 - Difusividade térmica de vários tipos de alimentos.

Alimentos	Difusividade Térmica ($10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$)	Autores
Carne Bovina	1.35–1.52	MARKOWSKI et al. (2004)
	1.22–1.82	SHERIDAN e SHILTON (2002)
	1.11–1.30	SANZ et al. (1987)
	1.18–1.33	SINGH (1982)
	1.19–1.21	DONALD et al. (2002)
	1.25–1.32	TSAI et al. (1998)
Carne de Porco	1.12–1.83	SOSA-MORALES et al. (2006)
	1.17–1.25	SANZ et al. (1987)
	1.28–1.66	KENT et al. (1984)
	1.18–1.38	SINGH (1982)
Carne de Frango	1.36–1.42 (Branco) e 1.28–1.33 (Escuro)	SIRIPON et al. (2007)
	1.46–1.48 (Branco)	VÉLEZ-RUIZ et al. (2002)
	1.08–1.39	SANZ et al. (1987)
Peixe	1.09–1.60	SANZ et al. (1987)
	0.996–1.73	KENT et al. (1984)
	1.22–1.47	SINGH (1982)

Frutas	1.12–1.40 (Maçã),	SINGH (1982)
	1.42 (Banana)	
	1.07 (Limão)	
	1.39 (Pêssego)	
	1.27 (Morango)	
Vegetais	1.68 (Feijões)	SINGH (1982)
	1.82 (Ervilhas)	
	1.23–1.70 (Batata)	
	1.71 (Abóbora)	
	1.06–1.91 (Batata Doce)	
	1.48 (Tomate)	
Derivados do Leite	1.26 - 1.48 (Leite Integral)	TAVMAN et al.(1999)
	1.27-1.49 (Leite Desnatado)	
	1.57 (Iogurte Natural)	
	1.567 (Iogurte Desnatado)	
	1.11-1.59 (Creme de Leite)	MOURA et al. (2001)
Chocolate	1.9795-1.4516 (Chocolate Amargo)	VISSOTTO et al. (1997)
	1.7905-1.4516 (Chocolate ao Leite)	
	1.2905-1.3532 (Chocolate Branco)	

2.3.1 - Métodos de Medição da Difusividade Térmica em Alimentos

SINGH (1982) apresenta vários métodos experimentais de determinação de difusividade térmica em alimentos, dentre esses, o autor destacou quatro técnicas mais utilizadas: estimativa dos mínimos quadrados, usos de curva de penetração de calor, uso de cartas de tempo-temperatura, e uso de soluções analíticas.

1. Estimativa dos mínimos quadrados→ A história da temperatura é registrada no ponto interior de um meio de geometria bem definida como um cilindro finito, uma placa plana finita ou uma esfera. Uma solução analítica apropriada de uma equação diferencial parcial é programada no computador para prever a temperatura em vários tempos para alguns valores arbitrariamente selecionados da difusividade térmica. Usando técnicas iterativas o valor da difusividade térmica pode ser alterado até que os valores da difusividade térmica teórica e experimental se tornem estatisticamente desprezíveis.

2. Uso de curvas de penetração de calor→ Para situações em que a amostra é exposta por um longo período de tempo. A base do método é a relação exponencial entre a mudança da temperatura do produto e tempo após certo período de aquecimento.

3. Uso de cartas tempo-temperatura→ Soluções analíticas de equações diferenciais parciais governantes que descrevem a transferência de calor por condução, foram reduzidas a carta de tempo-temperatura. Essas cartas contem números adimensionais como o número

de Biot, Fourier e temperatura adimensional. Se a temperatura adimensional for determinada para um local dentro do objeto a um tempo conhecido, as cartas tempo-temperatura podem ser usadas para estimar o número de Fourier e a difusividade térmica pode ser determinada pelo número de Fourier.

4. Soluções analíticas → Quando o número de Fourier calculado for maior que 0.2 as soluções das séries convergem rapidamente depois de certo tempo e a temperatura determinada experimentalmente no local conhecido é usada no primeiro termo da série para calcular a difusividade térmica.

Os métodos 1, 3 e 4 foram observados por GARFFNEY et al. (1980) apud SINGH (1982) apresentados anteriormente requerem medidas exatas de temperatura inicial do produto, da temperatura no local conhecido do produto e da temperatura ambiente ao redor do alimento. O método 2 é o mais usado porque tem a vantagem de usar a inclinação de um grande número de pontos ao invés de um único ponto para determinar a difusividade térmica.

Normalmente a difusividade térmica é obtida por métodos de determinação transientes. O método mais usado para determinação da difusividade térmica em alimentos é o método do cilindro infinito proposto por DICKERSON (1965) que descreveu um equipamento que permite determinar a difusividade térmica em alimentos baseado na transferência de calor transiente em que as temperaturas da amostra aumentam linearmente com o tempo.

VISSOTTO, (1997) determinou a difusividade térmica de chocolate tipo cobertura utilizando-se experimentalmente um tubo de difusividade, conforme proposto por DICKERSON (1965). Para a faixa de temperaturas de 5 - 25°C foram encontrados valores de difusividade térmica de $1.9795 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ e para chocolate amargo, $1.790510^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ para o chocolate ao leite e $1.2905 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ para o chocolate branco.

MOURA, (2001) determinou a difusividade para modelos similares de creme de leite e baseado no método de DICKERSON (1965), empregando-se o seguinte aparato: uma célula, formada por um tubo de aço inox, com 5,0cm de diâmetro e 29,8cm de altura, com dois termopares acoplados, devidamente calibrados – um na superfície, para tomadas de medidas de temperatura nesta posição, outro, tipo agulha, disposto no plano central da amostra. Nessa determinação, faz-se necessária a eliminação de correntes convectivas no interior da célula, devido a esse fato utiliza-se pectina BTM, a 5%, combinada com CaCl_2 , a 4% do total de pectina, na formulação da amostra, levando à gelificação do produto,

sendo esta uma técnica eficiente mesmo com elevação de temperatura. Considera-se que a forma gel não altera substancialmente a determinação da propriedade difusividade.

LIMA et al (2003) utilizou um aparato similar ao utilizado por DICKERSON (1965), que consiste em um cilindro metálico (2,45cm de raio interno e 23,0cm de comprimento interno útil), com rolhas plásticas nas extremidades e termopares para acompanhamento das temperaturas, um inserido na superfície externa e outro internamente, no centro da secção cilíndrica. Os valores experimentais da difusividade térmica para polpa de umbu se encontram próximos da faixa de valores entre $1.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ e $2.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ decrescendo à medida que aumenta o teor de sólidos solúveis na amostra, e esses resultados estão de acordo com a literatura.

2.4 – METÓDO FLASH

Em 1961, Parker e colaboradores publicaram um trabalho pioneiro no desenvolvimento de métodos para identificação de propriedades termofísicas em materiais sólidos. Esse método consiste numa amostra pequena e fina de um material sujeito a um pulso de energia de alta intensidade e curta duração. A energia do pulso é absorvida em uma face da amostra e o aumento de temperatura é medida na face oposta, conforme ilustrado na Fig. 2.1. O valor da difusividade térmica foi calculado por Parker *et al.* (1961) em função da espessura da amostra (L) e o tempo necessário para a face oposta alcançar 50% do seu valor máximo ($t_{0,5}$). Esse aumento de temperatura deve ser pequeno, para que a hipótese de propriedades constantes seja válida. O calor específico também pode ser calculado como uma extensão desse método, embora ele não tenha sido desenvolvido especificamente para isto. Para se determinar a difusividade térmica em uma faixa de temperatura, deve-se realizar o teste em cada temperatura correspondente. As principais vantagens desse método são:

- Geometria simples e pequenas dimensões do corpo de prova;
- Rapidez das medidas;
- Larga faixa de difusividade térmica (10^{-7} a $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$);
- Grande faixa de temperatura (75 a 2800 K);

O Método Flash se tornou um padrão ASTM (ASTM 1461-01, 2001). Os componentes necessários do equipamento baseado nesse método são:

- Fonte de Energia;
- Suporte da Amostra;
- Forno (Opcional);
- Detector de Temperatura;
- Sistema de Aquisição de Dados.

A fonte de energia pode ser um laser, uma lâmpada de flash, uma lâmpada de Xenônio ou qualquer mecanismo capaz de gerar um pulso de curta duração com grande energia. A duração do pulso de energia deve ocorrer em tempo menor que 2% do tempo necessário para a face traseira atingir 50% de sua temperatura máxima. O pulso deve incidir uniformemente na superfície da amostra (ASTM 1461-01, 2001). Os lasers mais usados são o rubi, Nd: Vidro, e Nd: YAG (próximo do infravermelho). A lâmpada de Xenônio é uma alternativa de baixo custo e pequena manutenção em relação ao laser. Um forno é necessário para testes realizados acima da temperatura ambiente, onde deve haver uma janela transparente ao pulso de energia. Na parte superior do forno deve existir outra janela, se for utilizado um detector óptico de temperatura. Em tais casos, o detector óptico deve ser protegido da exposição direta do pulso de energia com o uso de filtros. O forno pode ser horizontal ou vertical. O suporte da amostra deverá ser construído de forma a minimizar trocas térmicas com o corpo de prova. O suporte da amostra pode alojar uma ou mais amostras de uma vez, sendo a última opção melhor, pois gera uma grande economia de tempo entre um teste e outro. (ASTM 1461-01, 2001).

O detector de temperatura pode ser um termopar, detector de infravermelho, pirômetro óptico ou qualquer outro componente capaz de prover uma saída elétrica linear, proporcional a um pequeno aumento de temperatura, assim como deverá ser capaz de detectar uma mudança de 0.05 K sobre a temperatura inicial da amostra. O detector e o amplificador de sinal devem ter um tempo de resposta menor que 2% do valor de $t_{0.5}$ (i.e., $t_{resposta} < 0.02 t_{0.5}$) (ASTM E-1461-01, 2001). Hoje em dia, o método Flash não usa mais termopar para a medida de temperatura por causa de sua resposta lenta, seu caráter intrusivo e efeito de aleta. Detectores de infravermelho se tornaram seguros e com exatidão suficientes para as pequenas variações de temperatura e a curta duração do Método Flash.

O Método Flash é um método primário para a identificação da difusividade térmica de materiais homogêneos e de uma única camada; por isso, não requer calibração. Porém, a execução do teste está sujeita a erros sistemáticos e randômicos. Dessa maneira, é

importante verificar o desempenho do aparato para estabelecer a influência destes erros nas medidas. Isto pode ser feito testando uma ou várias amostras de materiais com difusividade térmica conhecida. Apesar de não haver nenhum Material Padrão (*Standard Reference Material - SRM*) disponível para a difusividade térmica, uma grande quantidade de dados está disponível na literatura para vários materiais de referência. Entre eles podemos citar o Grafite POCO, Pyrex, Alumina, Pyroceram entre outros (ASTM E-1461-01, 2001).

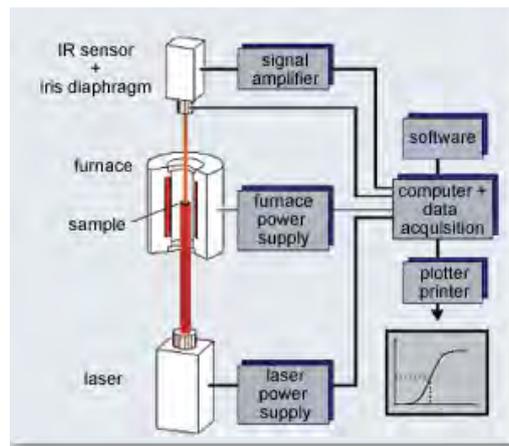


Figura 2.1 - Método Flash

O Método Flash também pode ser usado para a determinação do calor específico, comparando-se a curva do aumento de temperatura do material testado com a de um material de referência (Parker et al., 1961). Entretanto, deve-se tomar cuidado ao realizar o cálculo do calor específico, pois como o método depende de um material de referência, nem sempre se consegue garantir rigorosamente a mesma condição de pulso para as duas experiências (no material analisado e no material de referência) (ASTM E - 1461-01, 2001). No teste de difusividade térmica, a quantidade de energia absorvida pela amostra só é necessária para gerar um sinal suficiente para o aumento da temperatura da face oposta à qual o pulso de energia incidiu (Parker et al., 1961). Entretanto, a energia absorvida deve ser conhecida, controlável e com repetibilidade para a identificação do calor específico. Neste caso, o aumento da temperatura do material de referência é usado para se determinar (ou calibrar) a energia absorvida. Existem várias condições que devem ser satisfeitas para este processo ser válido (ASTM E-1461-01, 2001), como:

- A fonte de energia deve ser capaz de reproduzir o pulso com as mesmas condições, tanto para o corpo de prova como para o material de referência;
- O detector deve manter sua sensibilidade durante o teste realizado no material de referência e no corpo de prova;
- O material de referência deve ter tamanho semelhante ao corpo de prova;
- O corpo de prova e o material de referência devem ser cobertos com uma camada de grafite uniforme e fina, para assegurar que a emissividade das duas seja a mesma;
- O material de referência e o corpo de prova devem ser homogêneos, isotrópicos e com uma única camada;
- A amostra de referência e o corpo de prova devem ser testados na mesma temperatura e no mesmo ambiente. Preferivelmente, o teste deve ser feito com o material de referência e o corpo de prova lado a lado, e com um pequeno intervalo de tempo entre eles;
- A verificação do processo poderá ser feita usando a amostra de referência como desconhecida e a desconhecida como referência;
- O mesmo teste deve ser executado com três espessuras diferentes, para se obter uma medida com pequena incerteza.

Após a determinação da difusividade térmica e do calor específico, a condutividade térmica pode ser calculada a partir da definição da difusividade térmica. Para isso, é necessário medir a massa e volume corpo de prova (ASTM E-1461-01, 2001). Para obter a difusividade térmica a partir do tempo necessário para a temperatura da superfície posterior alcançar 50% de seu valor de máximo, PARKER *et al.* (1961) usaram um modelo de condução de calor unidimensional, desprezando perdas de calor e assumindo que a energia é absorvida instantaneamente em uma pequena profundidade do corpo de prova. Para que a formulação matemática se aproximasse das condições físicas reais do experimento, onde as perdas não podem ser desprezadas e com uma duração de pulso finita, outros autores propuseram modelos matemáticos para o problema de condução de calor no corpo de prova. (COWAN, 1961 e 1963; CAPE e LEHMAN, 1963; e CLARK e TAYLOR, 1975). Recentemente, modelos lidando com transferência acoplada condução-radiação no corpo de prova foram propostos para materiais semitransparentes (HEPING *et al.*, 1991; ANDRE E DEGIOVANNI, 1995; HAN *et al.*, 1996; SILVA 1997, MEHLING *et al.*, 1998;

ANDRE e DEGIOVANNI, 1998; TAN *et al.*, 1999; LAZARD *et al.*, 2004; REMY e DEGIOVANNI, 2005).

2.5 - MODELOS MATEMÁTICOS

Outros modelos podem ser encontrados na literatura para o Método Flash. O objetivo deste trabalho, entretanto, é somente focar em alguns modelos que mostram de uma forma suficientemente geral os diferentes fatores que afetam a variação da temperatura do corpo de prova.

2.5.1 - O Modelo de Parker *et. al.* (1961)

Parker *et. al.* (1961) desenvolveram o primeiro modelo matemático para identificação da difusividade térmica com o Método de Flash. Considerando-se a distribuição inicial de temperatura no sólido de espessura L como $T(x,0)$, a distribuição de temperatura em qualquer instante de tempo pode ser descrita como:

$$T(x,t) = \frac{1}{L} \int_0^L T(x,0) dx + \frac{2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \exp\left(\frac{-n^2 \pi^2 \alpha t}{L^2}\right) \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \int_0^L T(x,0) \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx \quad (2.3)$$

onde α é a difusividade térmica. Os autores consideraram que um pulso de energia Q é instantaneamente e uniformemente absorvido (largura do pulso nula) em uma camada fina (g) do corpo de prova em $x=0$, e que as propriedades termofísicas eram constantes com o pequeno aumento de temperatura. Além disso, também assumiram que a condução de calor no corpo de prova era unidimensional, e que as perdas de calor poderiam ser desprezadas. Sob estas condições, a distribuição inicial de temperatura pode ser dada por:

$$T(x,0) = \begin{cases} \frac{Q}{\rho C_p g}, & 0 < x < g \\ 0, & g < x < L \end{cases} \quad (2.4)$$

Com esta condição inicial, a temperatura na face posterior ($x = L$) do sólido para qualquer instante de tempo pode ser descrita como segue:

$$T(L,t) = \frac{Q}{\rho C_p L} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \exp\left(-n^2 \pi^2 \frac{\alpha t}{L^2}\right) \right] \quad (2.5)$$

A Eq. (2.5) pode ser escrita na forma adimensional, usando-se os seguintes parâmetros:

$$\Theta = T(L,t) / T_m \quad (2.6)$$

$$\tau = \alpha t / L^2 \quad (2.7)$$

onde T_m é a temperatura máxima na superfície traseira [$T_m = T(L, t \rightarrow (\infty))$]. Substituindo Eqs. (2.6) e (2.7) na Eq.(2.5), obtemos:

$$\Theta(\tau) = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \exp(-n^2 \pi^2 \tau) \quad (2.8)$$

A Fig. 2.2 mostra a variação da temperatura adimensional Θ como uma função de τ , à partir da Eq.(2.8). De acordo com Parker *et al.* (1961), a difusividade térmica pode ser determinada pela Eq.(2.8) e Fig. 2.2, no ponto onde a temperatura adimensional Θ é igual a 0.5. Neste ponto, o tempo adimensional τ é igual a 0.1388, e a partir da Eq.(2.2):

$$\alpha = 0.1388 L^2 / t_{0.5} \quad (2.9)$$

onde $t_{0.5}$ é o tempo necessário para que a temperatura da superfície posterior do corpo de prova alcance a metade da temperatura máxima. Então, a difusividade térmica α pode ser determinada diretamente pela Eq.(2.9), medindo-se o tempo onde a temperatura adimensional Θ é igual a 0.5 ($t_{0.5}$). É importante observar que não é necessário conhecer a quantidade de energia absorvida no corpo de prova para se determinar a difusividade térmica com este modelo, que só depende da forma da curva temperatura *versus* tempo (Fig. 2.2) e da espessura do corpo de prova.

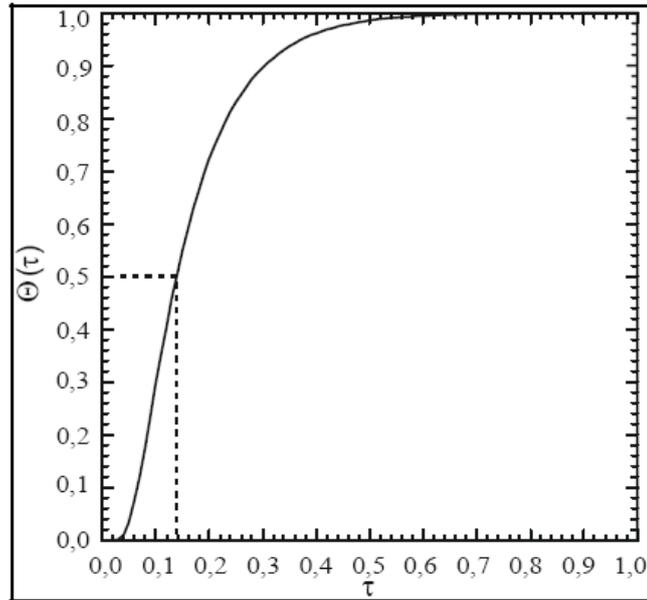


Figura 2.2 - Medida da difusividade térmica, de acordo com PARKER *et al.* (1961).

PARKER *et al.* (1961) compararam os dados obtidos da Eq.(2.9) com outros valores disponíveis na época, obtendo uma boa concordância e desvios na ordem de $\pm 5\%$. Entretanto este modelo é limitado, pois despreza as perdas de calor, e o pulso de energia é considerado instantâneo. Os efeitos da duração finita do pulso são mais evidentes durante testes em amostras finas de materiais com difusividade térmica alta. Esse efeito retarda o tempo de aumento da temperatura da face posterior.

Os efeitos de perda de calor são mais significativos em amostras espessas em temperaturas altas. Esse efeito faz com que a amostra não atinja sua temperatura máxima, e faz com que após atingir seu máximo ocorra um resfriamento devido às perdas convectivas nas faces.

2.5.2 - O Modelo de Cowan (1961 e 1963)

O primeiro artigo que levou em conta as perdas de calor no Método Flash foi publicado antes do trabalho de PARKER *et al.* (1961). Em julho de 1961, COWAN (1961) publicou um artigo propondo um novo método (o qual não denominou Método Flash) para a identificação da difusividade térmica. O método de COWAN (1961) era idêntico ao Método Flash proposto por PARKER *et al.* (1961). Entretanto, o artigo de COWAN (1961) foi submetido para publicação no dia 03 de janeiro de 1961, enquanto PARKER *et al.*

(1961) submeteram o artigo para publicação no dia 29 de setembro de 1960. Enquanto o foco de COWAN (1961) estava no modelo matemático e nos aspectos teóricos para a identificação da difusividade térmica usando medidas de amplitude e/ou fase da variação de temperatura da superfície, o foco de PARKER *et al.* (1961) estava na implementação prática do Método Flash com um modelo matemático simples, que era apropriado para as suas condições experimentais.

O modelo de COWAN (1961) é unidimensional, considerando absorção instantânea do pulso energia na superfície de amostra. As perdas em ambas as superfícies da amostra são dependentes da temperatura, como uma condição de contorno radiativa linearizada. COWAN (1961) considerou o feixe de energia como uma onda quadrada ou como onda senoidal.

Em 1963, COWAN (1963) usou o modelo matemático de 1961 para apontar os efeitos de perda de calor no resultado do teste. Quando existe perda de calor na superfície do corpo de prova, a curva temperatura *versus* tempo alcança seu máximo em uma temperatura mais baixa, quando comparada com o caso adiabático. Após o máximo, a temperatura cai devido ao efeito da perda de calor, como ilustrado na Fig. (2.3)

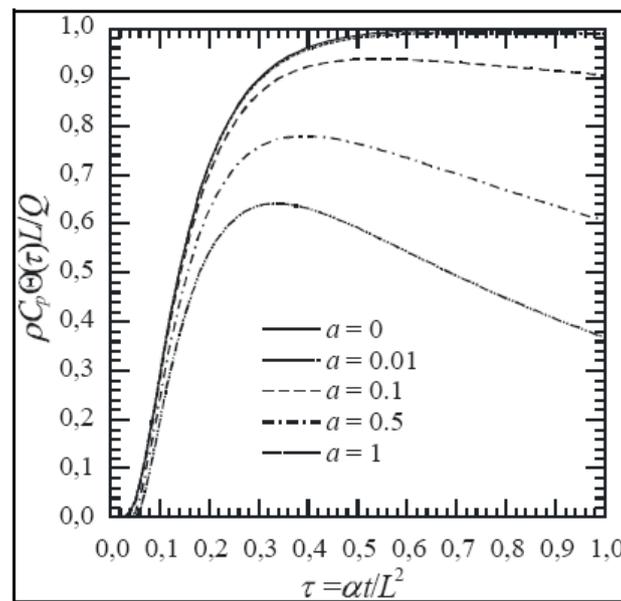


Figura 2.3 - Efeito da perda de calor na face posterior, de acordo com COWAN (1961 e 1963)

A expressão para a temperatura de superfície traseira derivada por COWAN (1963) é:

$$\Theta(\tau) = \frac{Q}{\rho C_p L} \left[\exp(-a\tau) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \exp(-n^2 \pi^2 \tau) \right] \quad (2.10)$$

onde τ está definido pela Eq.(2.7) e $\Theta(t) = T(L,t) - T_0$. O parâmetro adimensional a no primeiro termo à direita da Eq.(2.10) depende das perdas de calor, e é determinado por:

$$a = L \left[\frac{1}{k} \left(\frac{dW}{dT} \right)_{x=0} + \frac{1}{k} \left(\frac{dW}{dT} \right)_{x=L} \right] \quad (2.11)$$

onde W é o fluxo de calor perdido (W/m^2) na superfície em $x=0$ e $x=L$, e k é a condutividade térmica. Se não há nenhuma perda de calor nas superfícies, $a = 0$ e Eq.(2.11) reduz a Eq.(2.9) do modelo de PARKER *et al* (1961).

O modelo de COWAN (1961 e 1963) requer o conhecimento do valor de a , pelo menos aproximadamente, para uma máxima exatidão. No caso de perdas somente por radiação, uma estimativa aproximada da emissividade ε da amostra, pode fornecer a com exatidão suficiente:

$$a \approx 2.3 \times 10^5 \left\{ \left[1 + (T_L / T_0)^3 \right] (T / 1000)^3 (\varepsilon L / k) \right\} \quad (2.12)$$

Como a Eq.(2.10) correlaciona θ e τ como uma função de a , uma aproximação alternativa para a difusividade térmica é medir experimentalmente as relações:

$$\Theta(5t_{0.5}) / \Theta(t_{0.5}) \quad \text{ou} \quad \Theta(10t_{0.5}) / \Theta(t_{0.5}) \quad (2.13)$$

e então achar o valor de τ para uma determinada estimativa de perda de calor. Quando não há perda de calor no corpo de prova ($a = 0$), a temperatura da superfície traseira permanece constante depois de alcançar seu máximo e a relação $\theta(5t_{0.5}) / \theta(t_{0.5})$ ou $[\theta(10t_{0.5}) / \theta(t_{0.5})]$ se torna 2. O tempo adimensional τ na Eq.(2.10) então se torna 0.1388 como na análise de PARKER *et al*. (1961).

Correções usando a parte do resfriamento da curva são difíceis sob o ponto de vista experimental, principalmente pelo fato de ser comum o feixe de laser não ser uniforme. Os efeitos do aquecimento não uniforme são maiores após a temperatura atingir seu ponto máximo, quando a condução dentro da amostra se torna tridimensional. As perdas pelo suporte da amostra também são mais significantes em tempos maiores que aqueles correspondendo à temperatura máxima.

2.5.3 - O Modelo de Cape e Lehman (1963)

Em 1963 CAPE e LEHMAN (1963) apresentaram um modelo bidimensional para o método Flash, assumindo que a amostra tem uma forma cilíndrica com raio r_0 , e espessura L . A condução de calor na amostra foi considerada axi-simétrica. A energia absorvida pela amostra, inicialmente à temperatura T_0 , foi considerada como um termo fonte na equação de energia. O termo-fonte é uma função das coordenadas radiais e longitudinais e da variável de tempo. As perdas pelas superfícies da amostra foram levadas em conta como um termo de radiação linearizada.

O modelo de CAPE e LEHMAN (1963) é dado por:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial \delta(r, x, t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 \delta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \delta}{\partial r} + \frac{\partial^2 \delta}{\partial x^2} + \frac{q(r, x, t)}{k} \quad 0 < x < L, \quad 0 < r < r_0, \quad t > 0 \quad (2.14)$$

$$-\frac{\partial \delta}{\partial x} + v_x \delta = 0, \quad x = 0 \quad 0 < r < r_0, \quad t > 0 \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial x} + v_x \delta = 0, \quad x = L, \quad 0 < r < r_0, \quad t > 0 \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial x} + v_r \delta = 0 \quad r = r_0, \quad 0 < x < L, \quad t > 0 \quad (2.17)$$

$$\delta = 0, \quad t = 0, \quad 0 < x < L, \quad 0 < r < r_0 \quad (2.18)$$

onde:

$$\delta(r, x, t) = T(r, x, t) - T_0 \quad (2.19)$$

$$v_{x,r} = \frac{4\sigma \varepsilon_{x,r} T_0^3}{k} \quad (2.20)$$

onde, na Eq. (2.20), σ é a constante de Stefan-Boltzman e ε é a emissividade da superfície.

CAPE e LEHMAN (1963) resolveram as Equações (2.14) a (2.18) analiticamente (OZISIK, 1993), assumindo que o fluxo de energia era uniforme na superfície e que era completamente absorvido em $x = 0$. CAPE e LEHMAN (1963) apresentaram resultados obtidos com a solução analítica para níveis diferentes de perda de calor e para pulsos na forma de uma função degrau e de uma variação triangular.

2.5.4 - O Modelo de Clark e Taylor (1975)

Em 1975, Clark e Taylor (1975) propuseram um procedimento de correção para a identificação da difusividade térmica, baseado no modelo matemático de Cape e Lehman (1975). Porém, ao invés de analisar a parte do resfriamento da curva, como Cowan (1961 e 1963), o procedimento de Clark e Taylor (1975) estava baseado na análise da parte de aquecimento da curva (*i.e.*, antes da temperatura da superfície oposta alcançar seu máximo). Clark e Taylor (1975) determinaram cinco pontos na escala de tempo que correspondem a cinco temperaturas adimensionais diferentes θ , medidos na curva de aumento de temperatura. Esses tempos são $t_{0,2}$, $t_{0,3}$, $t_{0,4}$, $t_{0,7}$ e $t_{0,8}$. Eles desenvolveram uma relação teórica entre o tempo adimensional τ e as seguintes relações de tempo:

$$\Theta(t_{0,7})/\Theta(t_{0,3}), \Theta(t_{0,8})/\Theta(t_{0,4}), \text{ e } \Theta(t_{0,8})/\Theta(t_{0,2}) \quad (2.21)$$

Os resultados destas relações são muito próximos, e então é calculada a média para computar um valor com maior exatidão da difusividade térmica.

2.5.5 - O Modelo de Andre e Degiovanni (1995)

Com o desenvolvimento de aparatos comerciais e de pesquisa baseados no Método Flash, o método foi sendo estendido gradualmente a materiais não homogêneos e semitransparentes, assim como líquidos (ASTM E-1461-01, 2001).

Andre e Degiovanni (1995) apresentaram um modelo matemático para a transferência de calor combinada (condução-radiação) para diferentes respostas térmicas associadas a condições experimentais diferentes para a determinação da condutividade térmica de vidros. Um esquema de diferenças finitas foi usado para resolver a equação de

energia. O acoplamento com a equação de transferência radiativa foi conseguido através do termo fonte que depende do divergente do fluxo radiativo. (FONSECA, 2007)

O problema estudado pelos autores foi um corpo semi-transparente de um meio emissivo-absortivo, de faces planas e paralelas. No instante de tempo $t_0 = 0$, o corpo é sujeito a um pulso de calor em sua face frontal. As faces do material foram cobertas com ouro ou com grafite de alta emissividade e absorvidade, para que as condições de contorno consideradas fossem opacas ou reflexivas. Superfícies polidas cobertas de ouro foram consideradas, pois diminuindo a rugosidade da superfície aumenta-se a refletividade, desde que a rugosidade seja pequena em comparação com o comprimento de onda da radiação incidente, mesmo a aproximadamente 800K. Além do mais, o uso de ouro garante uma emissividade que permanece independente do comprimento de onda e da temperatura.

O comportamento transiente da temperatura em um material homogêneo, isotrópico pode ser encontrado resolvendo-se a equação de energia:

$$\rho C_p \frac{\partial T(z,t)}{\partial t} = -\frac{\partial q_c}{\partial z} - \frac{\partial q_r}{\partial z} \quad 0 < z < e \quad t > 0 \quad (2.22)$$

Onde q_c é o fluxo de calor por condução, $-k_{ph}(\partial T(z,t)/\partial z)$ e q_r é o fluxo radiativo, responsável pelo acoplamento da temperatura, onde k_{ph} é a condutividade térmica devido apenas ao efeito da condução. As condições de contorno consideradas foram do terceiro tipo. A equação foi resolvida pelo método de Cranck-Nicolson.

Termogramas obtidos no método Flash por Andre e Degiovanni (1995) são mostrados nas figuras Fig. 2.4 e Fig. 2.5 e mostram a dificuldade de se determinar a difusividade por esse método. A curva 1 da Fig. 2.4 mostra que para um vidro com paredes escuras, a resposta térmica difere do caso de um material opaco. Um pico inicial aparece em um curto espaço de tempo. Ele é causado por uma troca direta entre os dois contornos negros através de um meio de pequena resistência radiativa. A face oposta se comporta como se fosse à face perturbada pelo pulso de energia. A temperatura cai, passa por um mínimo e aumenta sobre a influência progressiva de um fluxo de calor conectado ao mecanismo acoplado de condução e radiação. Esse termograma foi reproduzido por simulação numérica. Se as faces da amostra forem cobertas com um filme de ouro (paredes refletivas), obtém um termograma clássico (curva 2) da Fig. 2.4. A resposta térmica é similar a um material opaco e é então possível usar o processo tradicional de identificação,

do método Flash. O problema é determinar se a difusividade é ou não um parâmetro aparente (que inclui o fenômeno de transporte radiativo) ou representa a verdadeira difusividade fônica. Para ilustrar porque é importante saber exatamente o que é medido no caso de uma transferência acoplada, foram apresentados termogramas obtidos com vidro com alta concentração de Fe_2O_3 (agente colorido) e uma alta espessura ótica (Fig. 2.5). A influência dos limites radiativos não podem mais ser distinguida, mesmo em altas temperaturas. Pode-se então imaginar que não há efeitos radiativos, e que a difusividade identificada nesse experimento pelos dois termogramas é a correta. Entretanto isso não é verdade, e nesse caso específico o parâmetro medido ainda contém uma contribuição não desprezível da radiação.

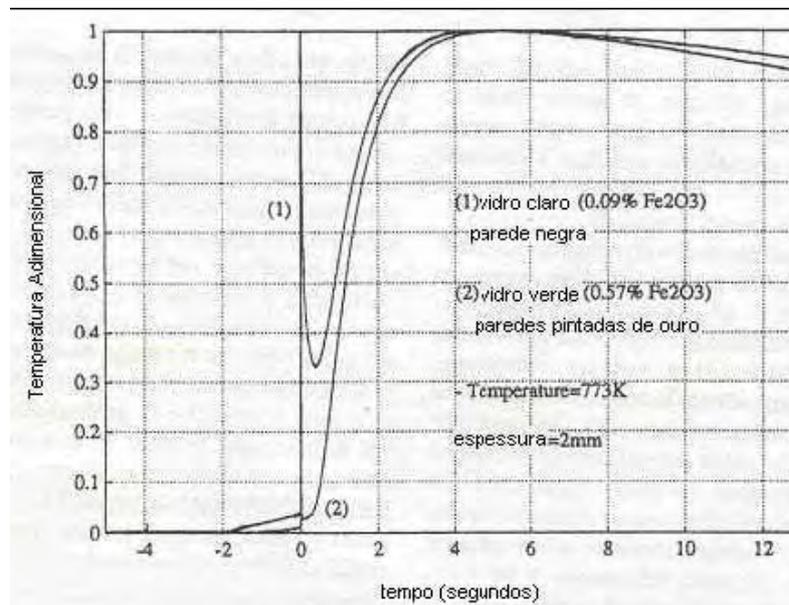


Figura 2.4 - Termograma experimental da face oposta para uma amostra com grande espessura ótica

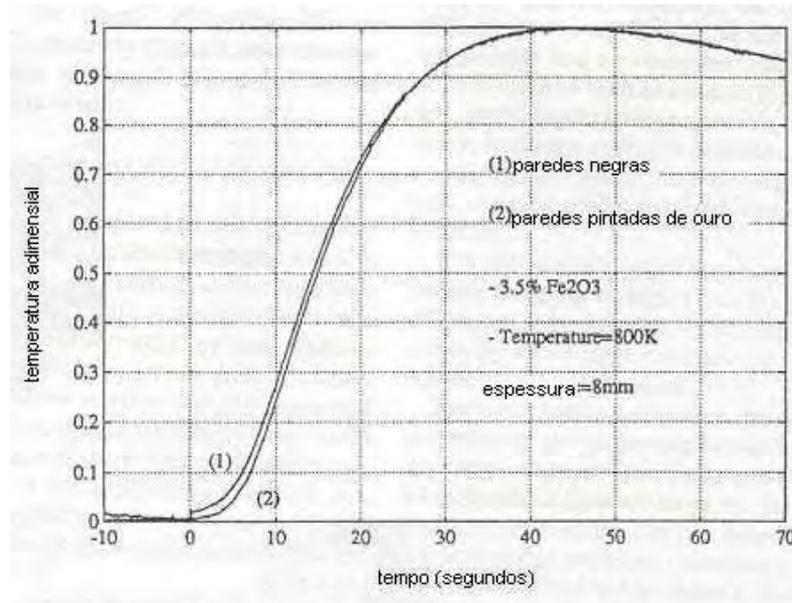


Figura 2.5 - Termograma experimental da face oposta de uma amostra com grande espessura ótica

A influência da espessura da amostra de diferentes tipos de vidros (diferentes coeficientes de absorção cinza) também foi examinada. Simulações foram feitas em altas temperaturas para aumentar os efeitos da radiação. As duas condições de reflexão perfeita e paredes negras foram consideradas.

Segundo os autores, com o modelo proposto é possível determinar a difusividade fônica. Entretanto, essa medida só vale para certos valores de espessura da amostra e condições de contorno. Paredes reflexivas retardam o efeito da espessura na condutividade medida. Para o caso específico estudado pelos autores, o seguinte critério deve ser satisfeito para garantir a medida da difusividade fônica: Para um material semitransparente, com superfícies reflexivas, e uma espessura ótica menor ou igual a 0.1, o método flash medirá diretamente a difusividade fônica. Ou seja, é possível definir condições operacionais para o qual o método Flash tem transferência de calor na amostra com contribuição radiativa desprezível.

2.5.6 - O Modelo de Silva (1997)

Silva. (1998) apresentou um modelo matemático para a transferência de calor combinada (condução-radiação) com aplicação do método flash para materiais semitransparentes usando método inverso. O método utiliza o conceito de coeficiente de sensibilidade aos parâmetros para determinar a difusividade térmica através do método de Levenberg-Marquardt. As equações em diferenças finitas foram obtidas pela aproximação volume de controle e o campo de temperatura obtido pelo método de Newton. A parte de radiação foi resolvida pelo método das ordenadas discretas.

As experiências foram conduzidas com vidro a base de sílica (SUPRASIL) e em equipamento flash desenvolvido no CETHIL. A equação da energia que governa o acoplamento da condução-radiação e suas respectivas condições de contornos e iniciais são apresentadas abaixo:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \frac{1}{\lambda} \nabla \cdot \mathbf{q}^r = \frac{\rho c_p}{\lambda} \frac{\partial T}{\partial t} \quad 0 < r < R, 0 < z < e, t > 0 \quad (2.23)$$

onde $\nabla \cdot \mathbf{q}^r$, é o divergente do fluxo de calor radiativa.

Da forma mais geral as condições de limite podem ser obtidas a partir de um balanço energético sobre as superfícies:

$$(1 - \rho_i) q_z^r + H_r T_a + H T_\infty = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} + H T + H_r T + \varepsilon_i n^2 \bar{\sigma} T^4 \quad (2.24)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = H_1 (T - T_e) + q_{\text{net}1}^r \quad z = e, t > 0 \quad (2.25)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = H_2 (T - T_e) + q_{\text{net}2}^r \quad z = 0, t > 0 \quad (2.26)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial r} = H_3 (T - T_e) + q_{\text{net}3}^r \quad r = R, t > 0 \quad (2.27)$$

E a condição inicial:

$$T_i - T_e = \frac{q_{\text{flash}}}{\rho c_p \varepsilon} ; \quad 0 < z < \varepsilon, t=0 \quad (2.28)$$

$$T_i = T_e ; \quad \varepsilon < z < e, t=0 \quad (2.29)$$

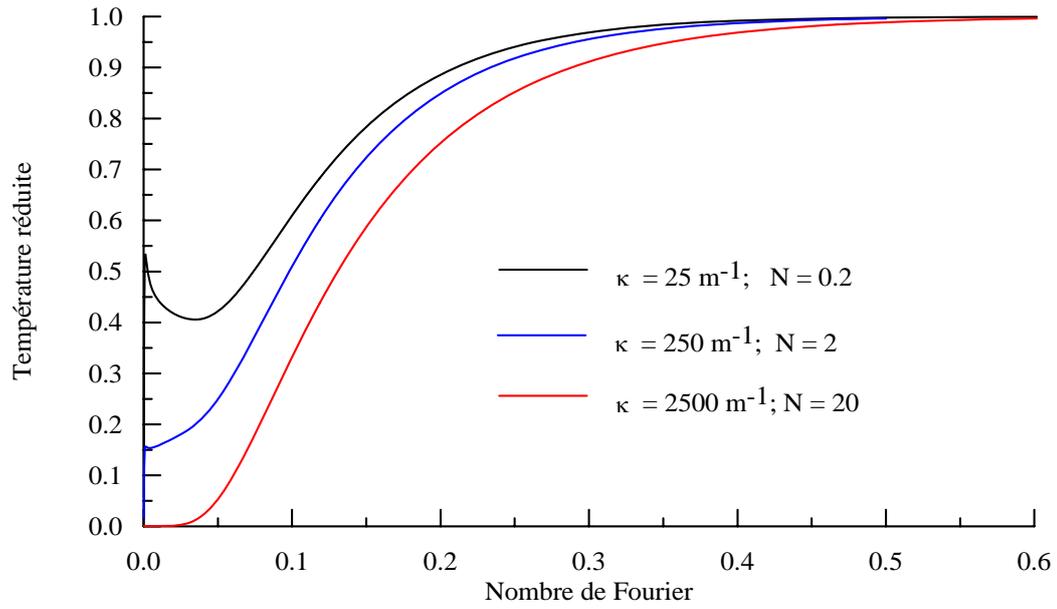


Figura 2.6 - Termograma teórico da face oposta, caso unidimensional

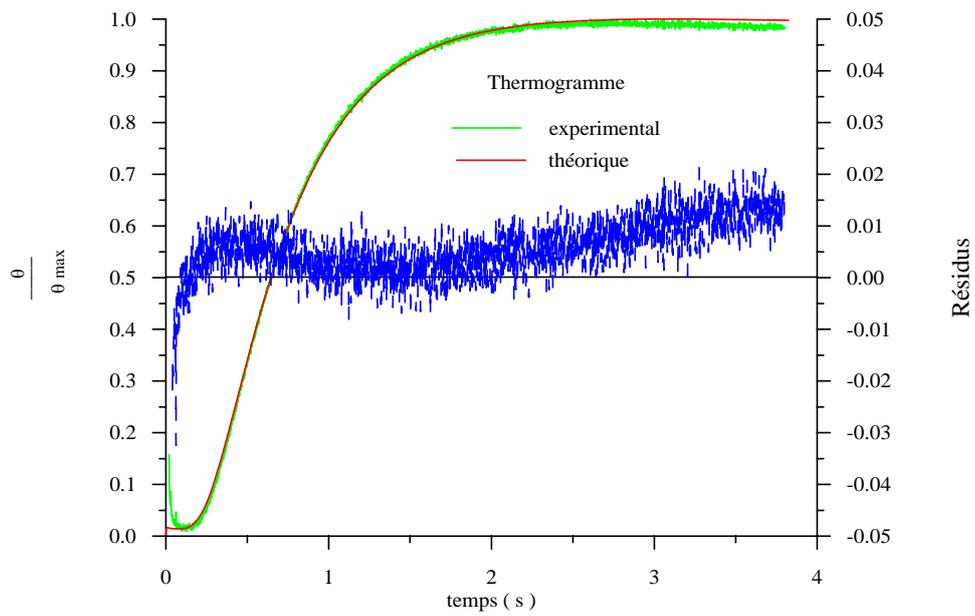


Figura 2.7 – Comparação entre o termograma experimental e o termograma teórico recalculado com valores de λ e c_p . ($T_e = 298$ K)

2.5.7 - O Modelo de Mehling *et al.* (1998)

Mehling *et al.* (1998) apresentaram um modelo matemático para materiais semi-transparentes, não absorventes (não participativos) e não espalhantes.

A determinação da difusividade térmica com o Método de Flash geralmente requer uma camada de grafite para absorver o pulso de energia e para aumentar a emissão na faixa infravermelha (para a leitura da variação de temperatura da superfície posterior feita com um detector de infravermelho). Para materiais semitransparentes e finos, o uso de uma camada reflexiva abaixo da camada de grafite permite o uso de métodos convencionais para a identificação da difusividade térmica, como os descritos acima (Mehling *et al.*, 1998). Porém, essa camada reflexiva normalmente é obtida por depósito de vapor de ouro, que é um processo caro e demorado (Mehling *et al.*, 1998). Para evitar o uso da cobertura de ouro, a transferência de calor por radiação na amostra precisa ser levada em conta no modelo matemático usado no método Flash.

Mehling *et al.* (1998) desenvolveram um modelo onde a radiação é levada em conta em um meio não-participativo. Nesse modelo, além de condução de calor na amostra, uma transferência radiativa entre as superfícies dianteira e traseira é levada em conta em uma formulação unidimensional. Como o meio é considerado não participativo, a transferência de calor por radiação só depende da temperatura nas fronteiras. O modelo proposto por Mehling *et al.* (1998) é dado por:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial \delta(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 \delta}{\partial x^2} \quad \text{em } 0 < x < L, t > 0 \quad (2.30)$$

$$-\frac{\partial \delta}{\partial x} + v\delta(0,t) + v\eta[\delta(0,t) - \delta(L,t)] = 0 \quad \text{em } x = 0, t > 0 \quad (2.31)$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial x} + v\delta(L,t) + v\eta[\delta(0,t) - \delta(L,t)] = 0 \quad \text{em } x = L, t > 0 \quad (2.32)$$

onde δ e v estão definidos através de equações (2.19) e (2.20) respectivamente. O fator η aparecendo nas equações (2.30) e (2.31) levam em conta a localização e a largura das regiões espectrais totalmente transparentes. A condição inicial do modelo de Mehling (1998) é a mesma usada por Parker *et al.* (1961) que considera que o pulso de energia é instantaneamente absorvido em uma fina camada na superfície irradiada. Mehling *et al.*

(1998) mostram que o modelo é capaz de capturar o degrau da temperatura de superfície traseira, resultante da transferência de calor radiativa entre as superfícies de amostra, conforme mostra experimentalmente a Fig. 2.6.

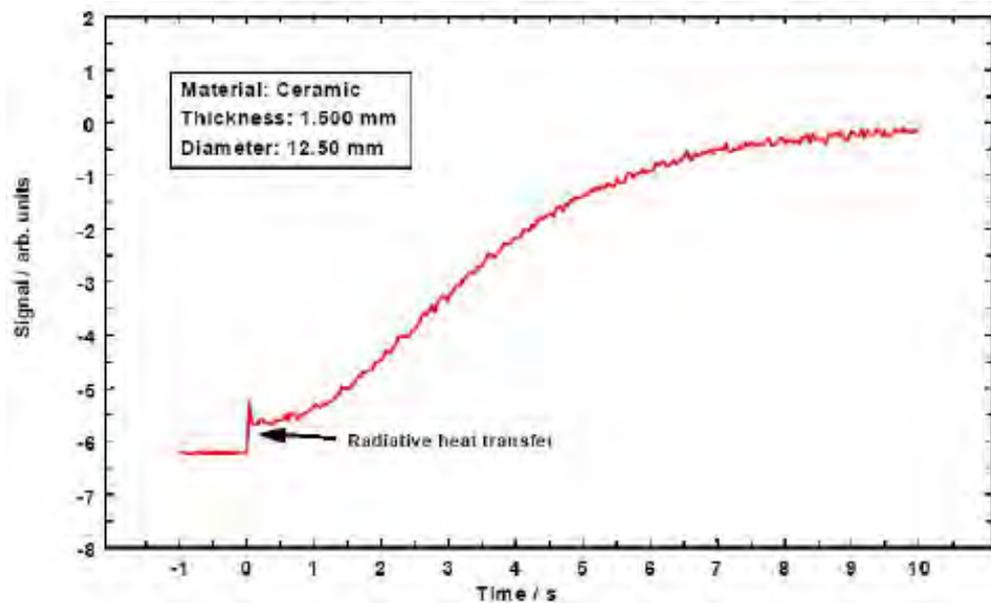


Figura 2.8 - Degrau devido à transferência de calor radiativa entre as faces

2.5.8 - O Modelo de Lazard *et. al.* (2004)

Em um recente artigo, Lazard *et. al.* (2004) apresentaram um modelo acoplado para condução-radiação em uma amostra com um meio absorvente, emissivo e com espalhamento anisotrópico. Com esse modelo, a maior restrição do meio ser não participativo presente no modelo de Mehling (1998) foi resolvida.

Resultados experimentais foram apresentados por Lazard *et. al.* (2004) para materiais não espalhantes, como o vidro. O uso desse modelo também evita o uso da cobertura de ouro, mas requer a estimativa de dois parâmetros adicionais.

É uma tarefa muito difícil escolher o melhor modelo para a determinação da difusividade térmica. Geralmente, (por exemplo, Lazard *et. al.*, 2004) técnicas estatísticas (por exemplo, Mínimos Quadrados) (Beck e Arnold, 1977; e Ozisik e Orlande, 2000) são usadas para a identificação dos parâmetros desconhecidos que aparecem no modelo matemático usado para as condições experimentais em questão.

Dessa maneira, a análise dos resíduos (diferença entre a temperatura medida e a estimada), assim como os parâmetros estatísticos como o coeficiente de correlação, permitem uma avaliação qualitativa/quantitativa do melhor modelo para correlacionar os dados experimentais, conforme ilustrado na Fig. 2.7. Geralmente o modelo mais apropriado para uma determinada experiência é o que apresenta resíduos menores e não correlacionados, que resulta em um coeficiente de correlação próximo da unidade (Beck e Arnold, 1977).

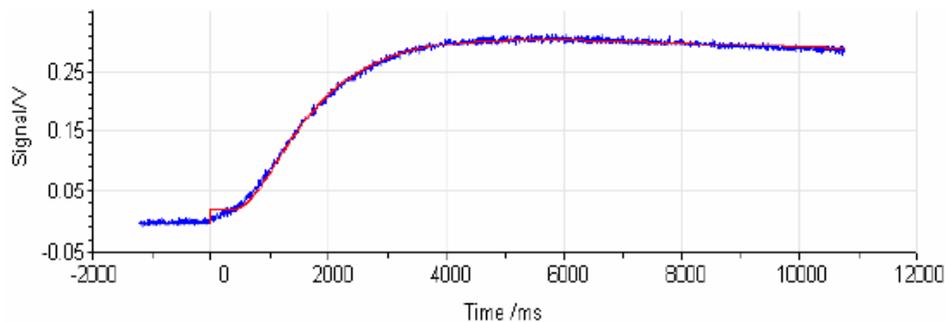


Figura 2.9 - Curva do aumento de temperatura da face posterior

No presente trabalho, que envolve a identificação das propriedades de líquidos alimentícios (iogurte), é usado um reservatório especial construído para as amostras, o qual é descrito no capítulo 3. Neste caso, o modelo matemático a ser usado envolve a formulação de uma amostra com 3 camadas.

O modelo utilizado pelo software de análise do Micro-Flash LFA 457 foi desenvolvido por Juergen Hartmann (NETZSCH, 2008) em sua tese de mestrado e foi melhorado pela NETZSCH.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os procedimentos e métodos experimentais adotados na estimação da difusividade térmica, calor específico e da condutividade térmica para o iogurte natural e desnatado, bem como, especificação dos equipamentos usados para estes fins. Em primeiro lugar, o difusivímetro (Micro-Flash LFA 457), o calorímetro de varredura diferencial. Finalmente, introduz o programa de análise de dados (PROTEUS) que dispõe de diversos modelos matemáticos que descreve o comportamento transiente da face posterior da amostra durante uma experiência Flash, inclusive, os modelos de condução em três camadas adiabáticas e o modelo mais real que inclui as perdas de calor por convecção e radiação durante o ensaio flash.

3.1 ESTIMATIVA DA DIFUSIVIDADE TÉRMICA E CONDUTIVIDADE TÉRMICA

O LFA 457 é um instrumento utilizado para medir difusividade térmica, calor específico e condutividade térmica de metais, grafite, revestimentos, compósitos, cerâmicas, polímeros, líquidos e outros materiais, numa faixa de temperatura de 20 a 1100°C, baseado no método Flash. A fonte de energia para gerar o aumento de temperatura na amostra é um laser de alta potência. O LFA 457 usa um detector de InSb-IR na faixa de comprimento de onda de 2000 a 5500 nm, resfriado por nitrogênio líquido, que permite uma leitura de temperatura rápida e sem contato direto com a amostra. Um forno integrado (aquecedor) mantém a temperatura da amostra estável durante a medida. O aquecedor é integrado ao suporte da amostra, que tem uma massa térmica baixa, permitindo altas taxas de aquecimento/resfriamento. As medidas de temperatura da amostra são feitas no suporte

por um tempo. Um Chiller Julabo é usado para auxiliar o controle de temperatura do forno.

O laser emite uma energia de 15 J por pulso, no único comprimento de onda de 1064 nm. O software também permite que o comprimento do pulso de energia seja ajustado em 0.5 a 1 ms. A Figura 3-1 mostra um esquema do equipamento. A Figura 3-2 mostra o equipamento operando no LAMET (Laboratório de Metrologia Térmica do LES).

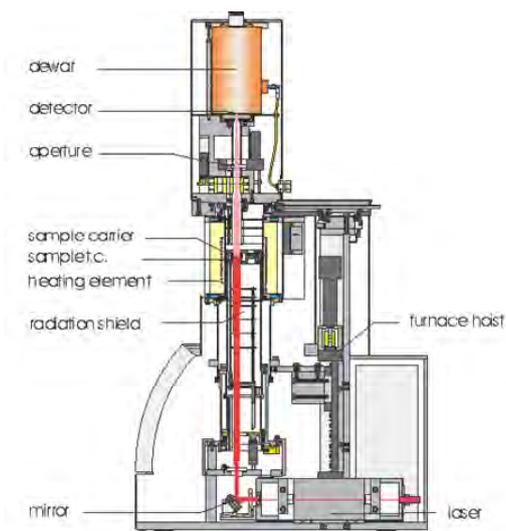


Figura 3.1 - Netzsch Microflash LFA 457



Figura 3.2 - Netzsch Microflash LFA 457 operando no LAMET

O suporte da amostra permite testes em até 3 amostras diferentes, conforme mostrado na Figura 3-3.



Figura 3.3 - Suporte das amostras

Cada amostra é movida automaticamente para a posição de medida. O posicionamento é controlado pelo software de controle. O suporte da amostra usa peças intercambiáveis para amostras cilíndricas com diâmetro de 12.7 mm que foi a utilizada para desenvolvimento do trabalho e 25.4 mm. Para esse estudo, foi necessário utilizar uma cápsula especialmente projetada para esse fim, conforme mostrado na Fig. 3-4. Ela consiste em um recipiente para alojar o líquido, de forma que a análise das propriedades termofísicas seja considerada como a de um material de três camadas, ou seja, a primeira camada é o copo da cápsula constituído de latão, a camada intermediária é o iogurte e a terceira camada é a tampa da cápsula constituída de latão. As propriedades termofísicas de pelo menos duas camadas devem ser conhecidas, assim como o calor específico da camada cuja difusividade térmica se deseja determinar.

A espessura ideal da amostra depende da faixa de difusividade térmica. A tabela abaixo mostra as espessuras de amostras possíveis de acordo com a faixa de difusividade térmica.

Tabela 3.1 – Espessura da amostra para a determinação das propriedades termofísicas de líquidos.

Faixa de Difusividade Térmica	Possíveis Espessuras da Amostra (mm)
Matérias de baixa difusividade, por exemplo, polímeros ($0.01-1\text{mm}^2/\text{s}$)	0,05 a 3
Matérias de média difusividade, por exemplo, cerâmicos ($1-50\text{mm}^2/\text{s}$)	0.5 a 5
Matérias de alta difusividade, por exemplo, cobre ($50-1200\text{mm}^2/\text{s}$)	1 a 5

O equipamento é controlado pelo software Micro Flash, conforme ilustrado na Fig. 3-5 e Fig. 3-6. A partir desse software, todos os parâmetros do teste são selecionados. Primeiro, define-se qual tipo de material está localizado em cada posição do suporte de amostra, entrando com o valor da espessura, do lado (se a amostra de seção quadrada) ou do diâmetro (caso seja de seção circular), da massa específica, calor específico, coeficiente de expansão térmica e da espessura da amostra e o modelo matemático para o cálculo da difusividade. Definidas as amostras, o próximo passo é definir os parâmetros do teste.

A seqüência de operação do equipamento consiste de:

- Colocar nitrogênio líquido no sensor de IR
- Coloca a amostra
- Ligar o Controlador do LFA
- Ligar a potencia do laser
- Ligar o computador
- Ligar o circulador e começar o teste, devendo ser respeitado um tempo de 1 hora para que todo o equipamento atinja o equilíbrio.

A preparação da unidade de medida LFA-457 Micro Flash para realização do ensaio consiste de:

Passo 1 - Entrar com a identificação dos parâmetros tais como identidade da amostra, operador, o nome do Laboratório, tipo de detector infravermelho e programa de calibração da temperatura (fig. 3-4);

Passo 2 - Entrar com os diferentes parâmetros do modelo – nome, tipo de revestimento, diâmetro, tipo do modelo, material, espessura (fig. 3-5);

Passo 3 – Definir as condições iniciais do ensaio – ganho do amplificador, duração da aquisição do sinal, voltagem do laser, escolha do filtro de transmissão.

Passo 4 – Definir um programa de temperatura de ensaio (fig. 3-9);

Passo 5 – Definir as condições finais – definir a temperatura de segurança, desligar o forno após o final do teste.

Passo 6 – Análise de resultados através do Programa de Proteus que possui modelos matemáticos para a análise dos dados (fig. 3-10, 3-12);

Passo 7 – Emissão de relatórios. (fig. 3-13);

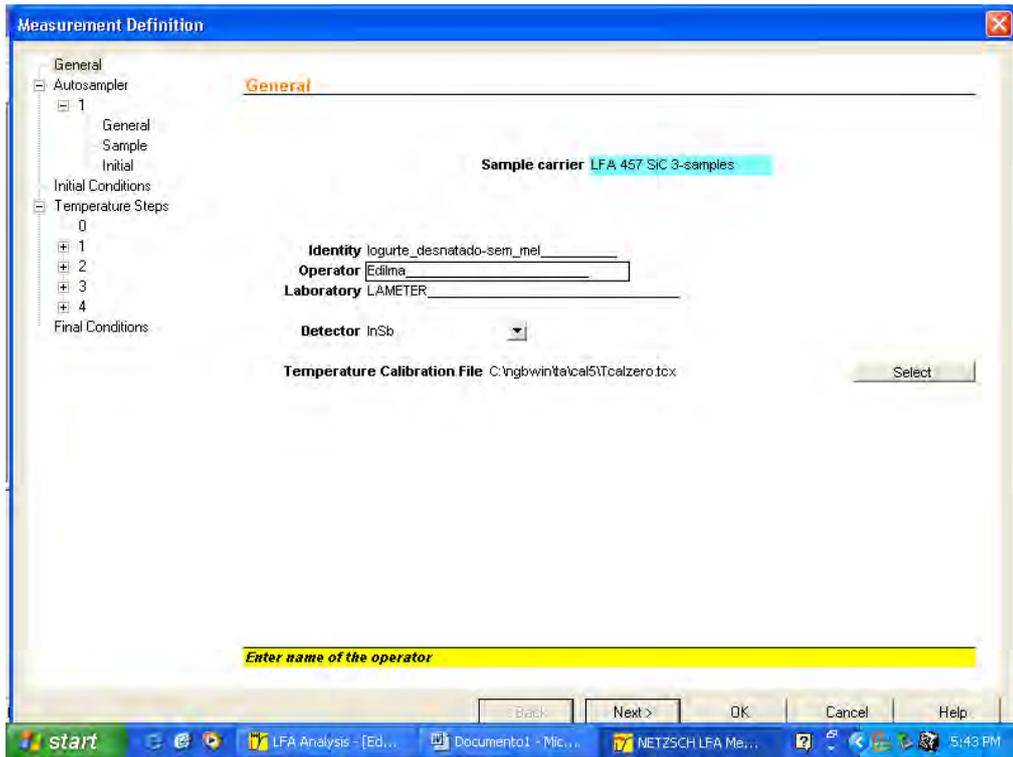


Figura 3.4 - Tela de Programa de Ensaio LFA 457

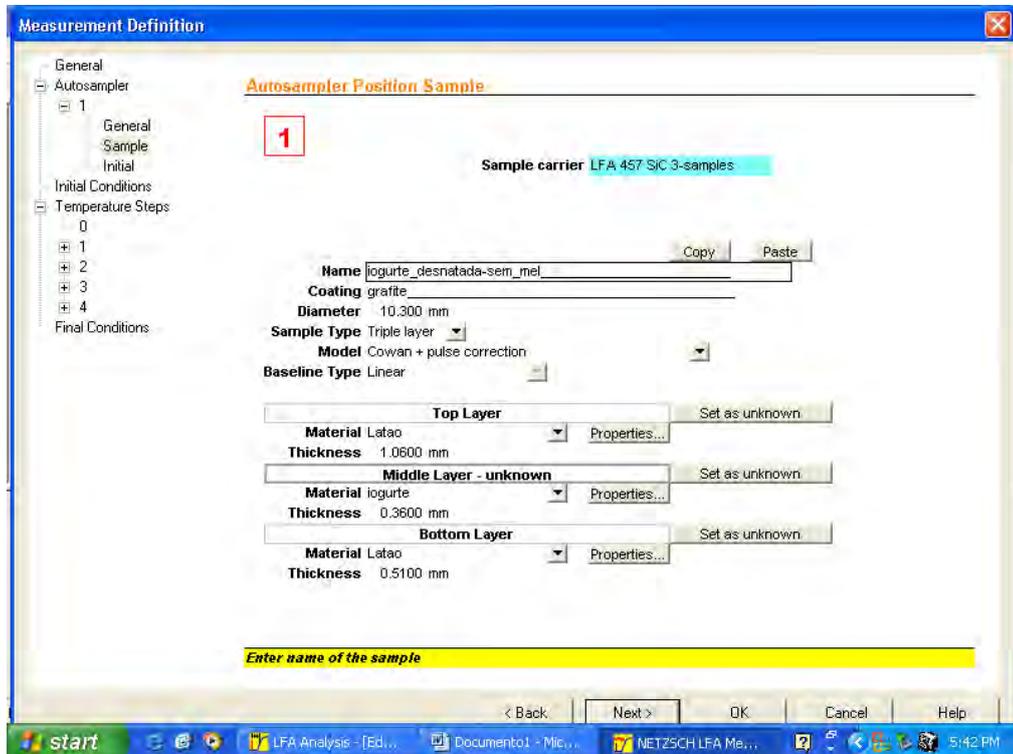


Figura 3.5 - Dados do ensaio experimental

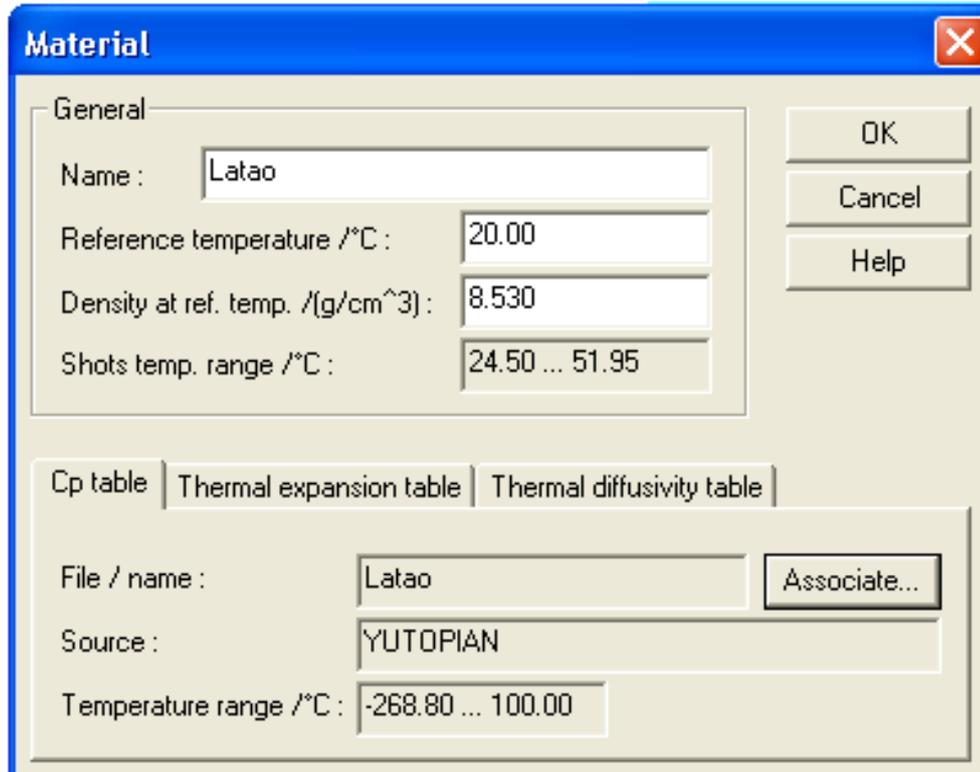


Figura 3.6 - Caracterização termofísicas do material

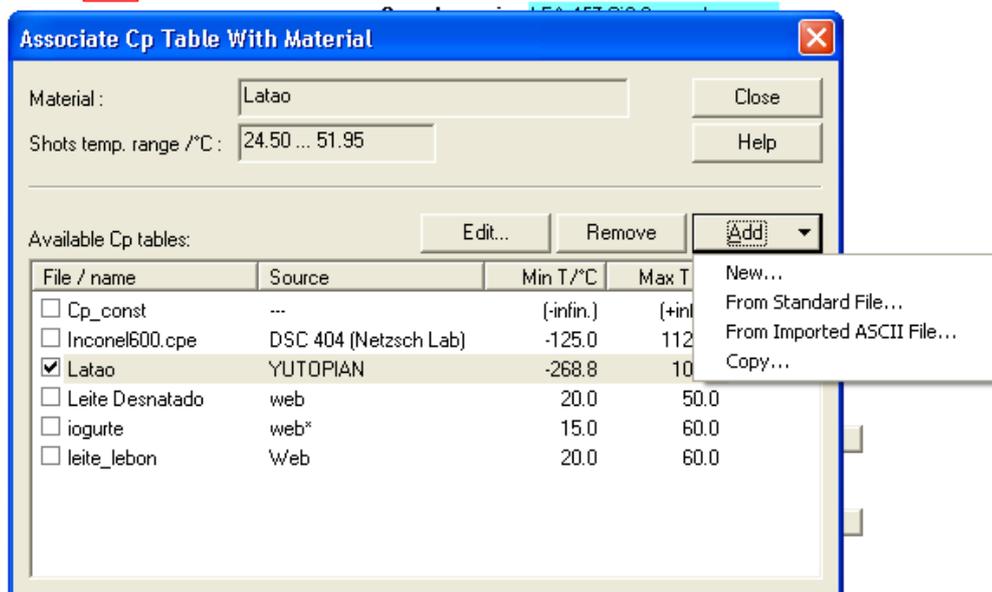


Figura 3.7 - Propriedades conhecida da amostra e do porta-amostra

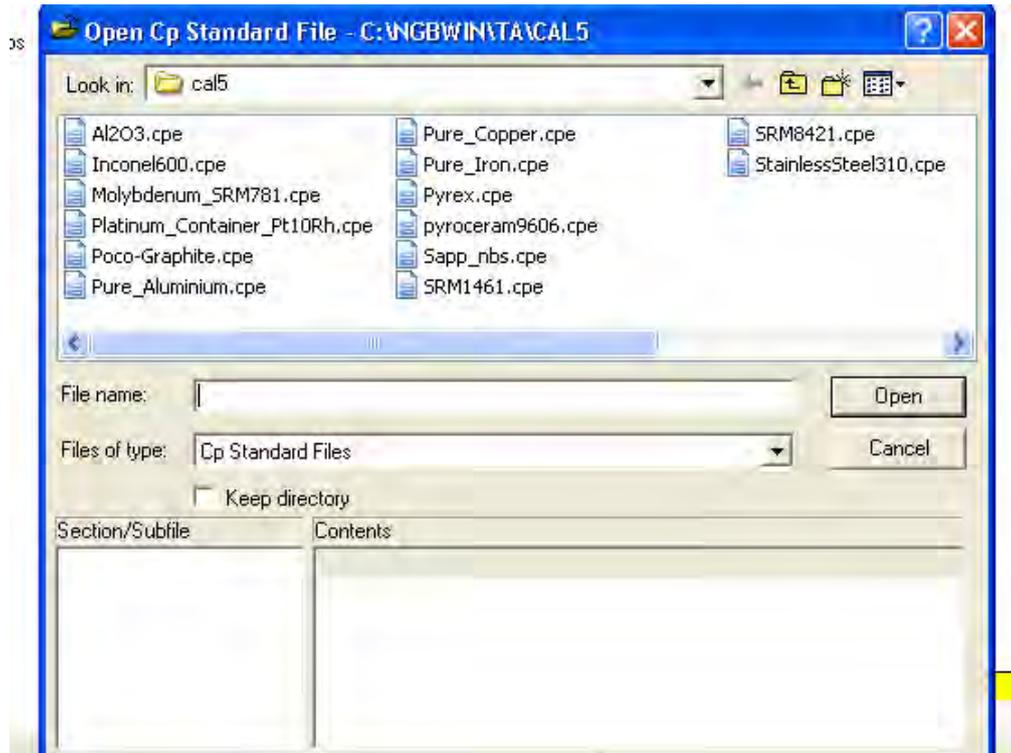


Figura 3.8 - Banco de dados do software

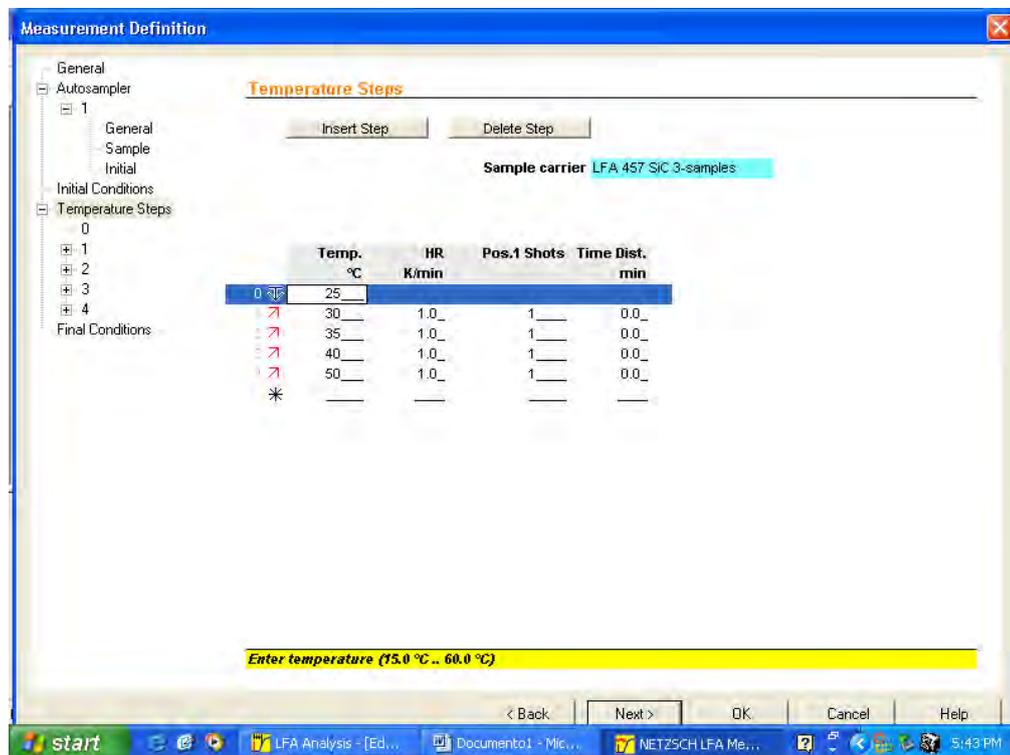


Figura 3.9 - Programação das temperaturas dos testes

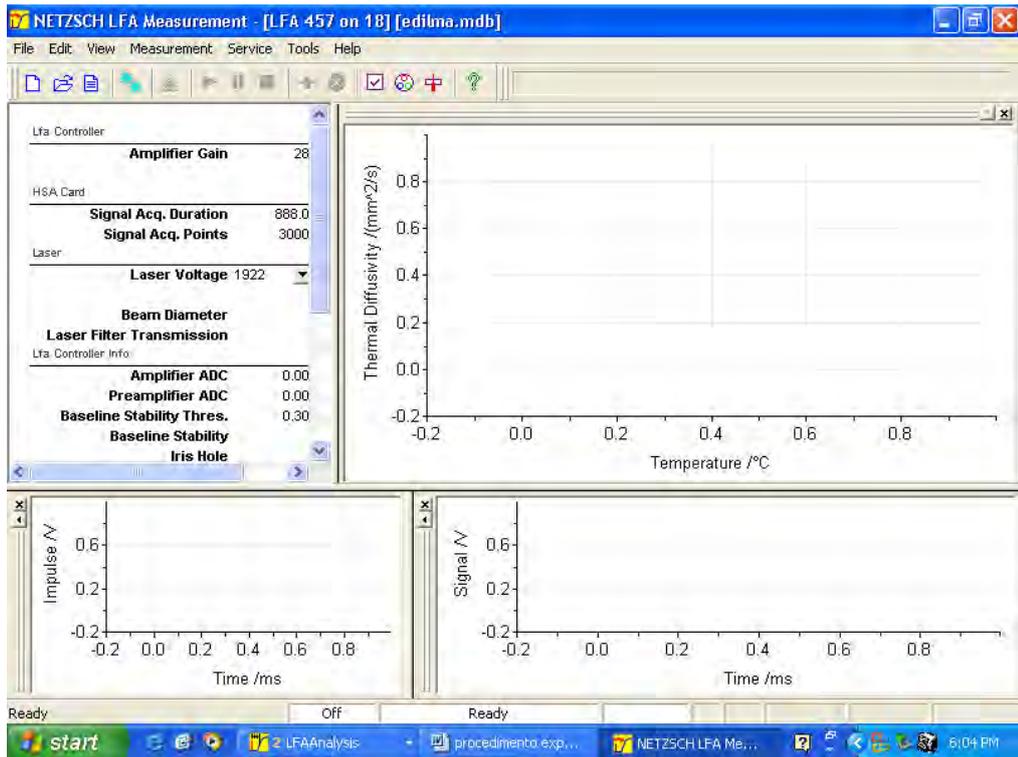


Figura 3.10 - Tela do software Proteus

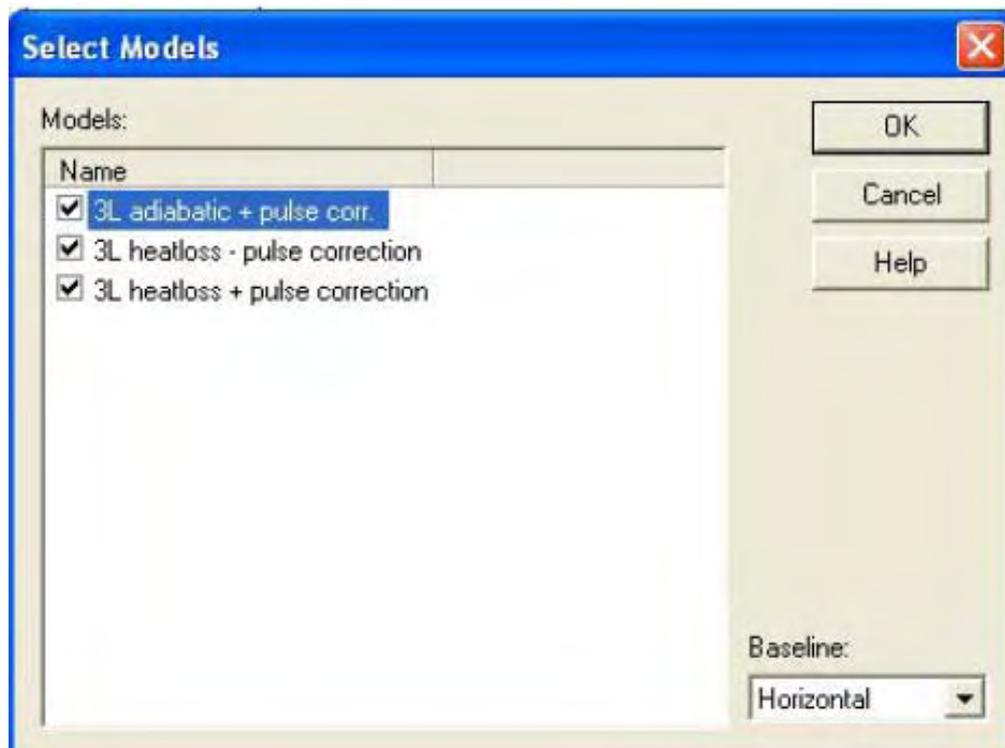


Figura 3.11 - Tela para a escolha do modelo usado no cálculo de α

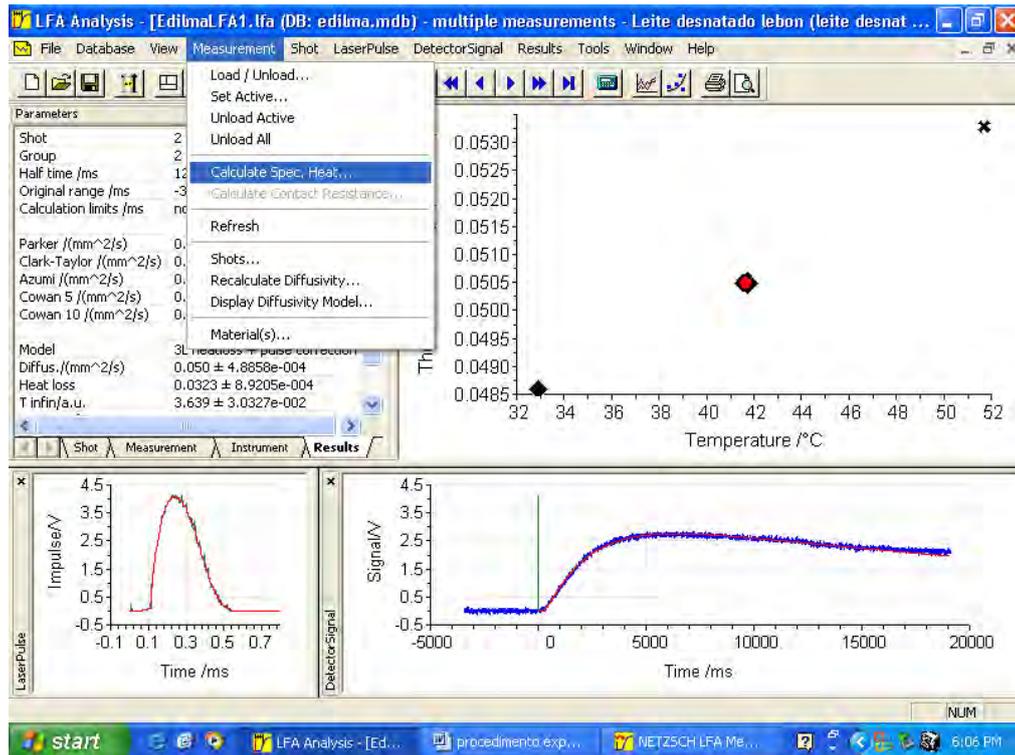


Figura 3.12 - Tela para recalcular a difusividade térmica e calcular o calor específico

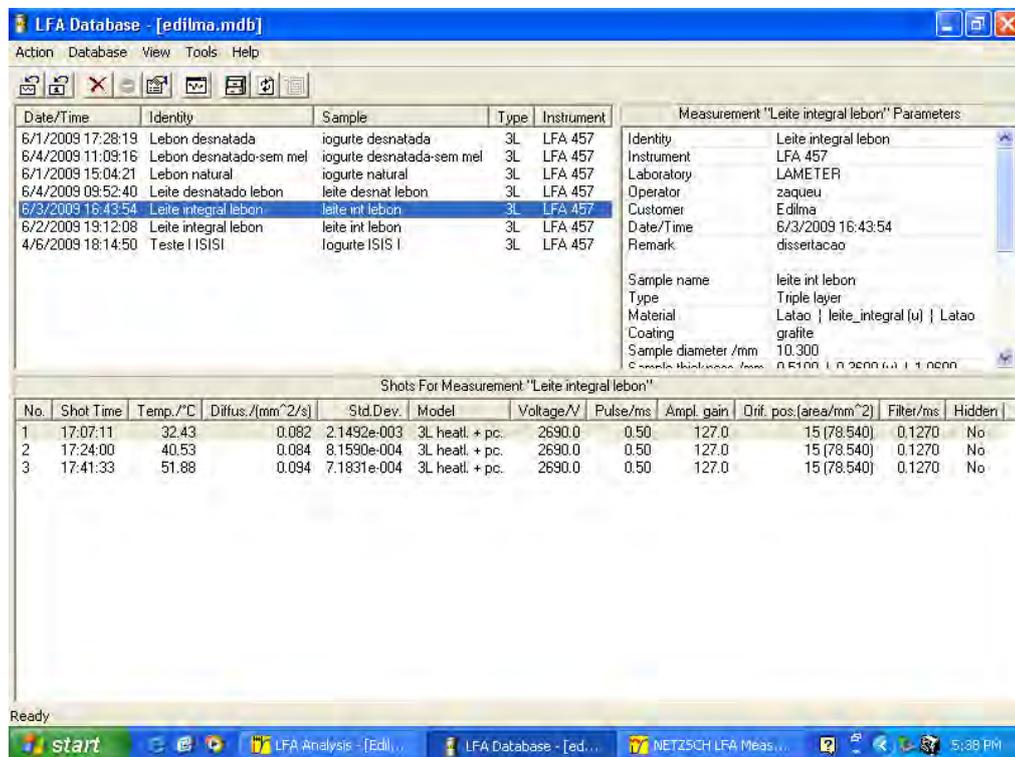


Figura 3.13 - Tela de Database do LFA

Uma das condições que influenciam o experimento é o tempo de pulso comparável com o tempo da difusão de calor. O pulso de energia tem uma duração curta, mas finita. Se a duração do pulso for próxima do tempo necessário para o aquecimento da amostra, deve-se fazer uma correção de pulso. No software Proteus, esta correção de pulso pode ser levada em conta, de acordo com Lechner e Hahne (1993), com a seguinte aproximação:

$$pulse = \begin{cases} 0 & ; \text{for } t < delay \\ [1 - \exp(-t / \tau_1)] \exp(-t / \tau_2) & ; \text{for } delay \leq t \leq t_{end} \\ [1 - \exp(-t_{end} / \tau_1)] \exp(-t_{end} / \tau_2) \exp[-(t - t_{end}) / \tau_3] & ; \text{for } t_{end} < t \end{cases} \quad (3.1)$$

onde τ_1 , τ_2 , e τ_3 , são as constantes de tempo automaticamente determinado para ajustar o pulso, *delay* é o espaço de tempo entre o começo da medida e o começo do pulso de energia. O aumento do impulso de laser é determinado pela constante τ_1 , o decaimento pela constante τ_2 . O parâmetro τ_{end} determina o ponto no tempo do decaimento rápido, que acontece com a constante de tempo τ_3 .

3.2 CÁPSULA PARA DETERMINAÇÃO DA DIFUSIVIDADE TÉRMICA

O método FLASH clássico não pode ser aplicado a materiais líquidos ou pastosos, por que requer uma amostra de determinada forma e dimensão fixas. Assim, foi necessário desenvolver um recipiente em que a amostra a ser testada pode ser introduzida e sua difusividade térmica medida. A figura 3.14 mostra a concepção de uma cápsula, construída em safira, para determinação da condutividade de metais líquidos.

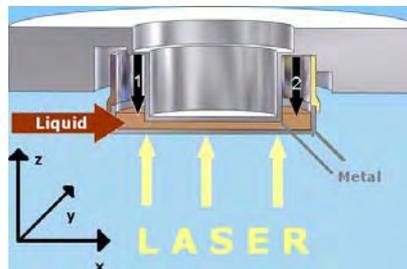


Figura 3.14 - Célula para determinação da difusividade térmica de metais líquidos
(Netzsch)

Nesse trabalho, foi feito um projeto e construção de uma célula para medição da difusividade térmica de iogurte. A célula consiste uma cavidade cilíndrica e tampa de latão, o raio externo do cilindro de latão é $R_{\max} = 0.00515$ m, o que corresponde ao padrão clássico do raio da amostra testada. As propriedades termofísicas do latão que compõe a célula são: condutividade térmica ($k_{\text{latão}}=110$ W/m/K), a densidade ($\rho_{\text{latão}}=8530$ kg/m³), calor específico ($C_{p\text{latão}}=380$ J/kg/K) e difusividade térmica de latão ($\alpha_{\text{latão}} \approx 33,9 \times 10^{-6}$ m²/s), caracterizado no Micro Flash LFA 457 e comparada com os valores da literatura.

3.3 ESTIMATIVA DO CALOR ESPECÍFICO

O experimento foi realizado em um calorímetro, marca TA Instruments, modelo 2920 (DSC) Modulated, com modulação $\pm 1^\circ\text{C}$ a 60°C , razão de aquecimento de $5^\circ\text{C}.\text{min}^{-1}$, na faixa de temperatura de 20°C até 50°C , no Laboratório de Combustíveis e Matérias (LACOM) da Universidade Federal da Paraíba.

As amostras de iogurte natural e desnatado foram pesadas em uma balança analítica de precisão e modelo e colocadas em cápsulas de alumínio hermeticamente fechado. As amostras foram colocadas uma por vez no calorímetro, que mede a diferença de energia absorvida pela amostra (iogurte natural e iogurte desnatado), em relação a um material de referência, em função da temperatura, enquanto a amostra e a referência eram submetidas a uma programação de temperatura.

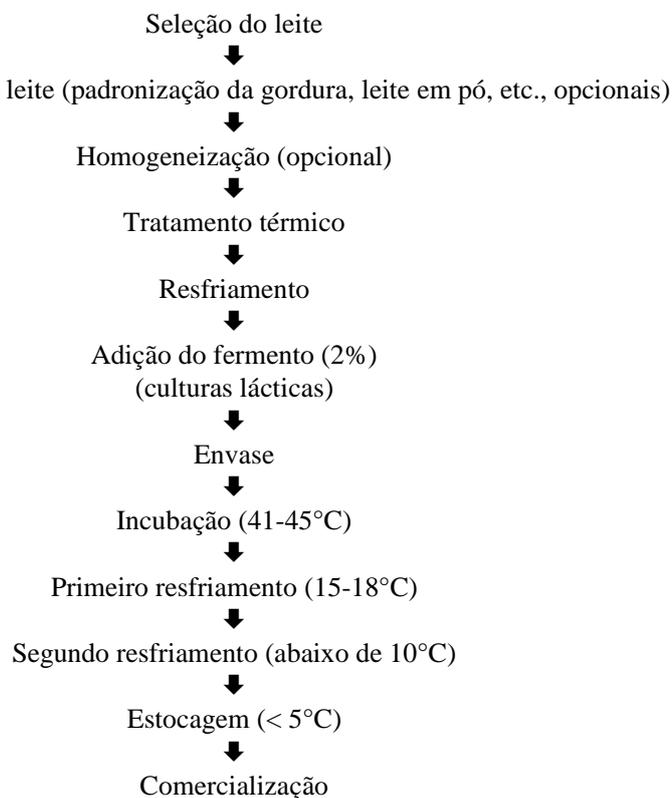
3.4 AMOSTRAS

O iogurte é um produto fermentado do leite com um sabor ligeiramente azedo obtido pela fermentação láctica através da ação do *Lactobacillus delbrueckii* ssp *bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus* sobre o leite integral, desnatado ou padronizado. Pode-se fazer acompanhar de outras bactérias lácticas que, por sua atividade, contribuem para a determinação das características do produto acabado (BRASIL, 1997). Os iogurtes são classificados quanto ao teor de matéria gorda estabelecidos pela legislação:

- Com Creme: matéria-gorda mínima de 6g/100g;
- Integrais: matéria-gorda mínima de 3g/100g;
- Parcialmente desnatados: matéria-gorda máxima de 2,9g/100g;
- Desnatados: matéria-gorda máxima de 0,5g/100g.

Além da sua riqueza nutricional, são alimentos probióticos, ou seja, contêm microrganismos vivos na sua constituição que quando ingeridos oferecem benefícios para a saúde e podem ser encontrados em diversas variedades: natural, com pedaços ou polpa de frutos, aromatizado e com mel, líquido, cremoso ou sólido, magro ou gordo. É uma excelente fonte de múltiplas vitaminas e minerais, incluindo proteína, cálcio, potássio, fósforo, vitaminas B₆ e B₁₂, riboflavina, ácido fólico e niacina. O iogurte auxilia na produção de anticorpos, hormônios e enzimas, importantes para o metabolismo, contribuindo para reforçar o sistema imunológico e, conseqüentemente, retardar o envelhecimento (CENTRO DE INFORMAÇÕES DO IOGURTE, 2009).

O iogurte é produzido a partir da ação de uma cultura mista dos microorganismos *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus bulgaricus*. Essas bactérias consomem a lactose, para obterem energia e em contrapartida eliminam o ácido láctico. O leite coalhado preserva a gordura, os minerais e o conteúdo de vitaminas do leite puro, mas apresenta bem menos lactose, sendo então um alimento de mais fácil digestão que o leite. A produção do iogurte tem início na seleção das matérias primas, como o leite em pó e açúcar, que são de alta qualidade. Após esta fase o processamento, que é dividido em várias etapas, a seguir o fluxograma do processamento de iogurtes.



No processo de fabricação de iogurtes temos dois microrganismos ou bactérias lácticas que atuam em simbiose ou associação, o *Streptococcus salivarius termhophilus* e o *Thermobacterium bulgaricum*. Estes microrganismos possuem uma temperatura ótima de crescimentos de 40 a 45°C e um pH de entre 5,0 e 5,7. (CONSERVAS RITTER S.A.)

A lactose presente no leite torna-se ácido láctico, que por sua vez age sobre o caseinato de cálcio (outro componente do leite). Este, ao se desfazer deixa livre a caseína que se precipita em forma gelatinosa, tornando-se muito digerível. Durante o período de incubação a relação entre as bactérias pode sofrer variações, para no final novamente ser restabelecido.

A causa principal da variação é que o *Lactobacillus bulgaricus* desdobra facilmente as proteínas, e origina, assim, o aminoácido valina. Este vai favorecer o desenvolvimento do *Streptococcus thermophilus*. A proporção entre ambos influi essencialmente sobre a aromatização do iogurte. (CONSERVAS RITTER S.A.)

Os iogurte utilizados nos experimento são do tipo desnatado e natural, os quais foram adquiridos na sua forma resfriada, diretamente comprada de um supermercado de João Pessoa, PB.

Durante o processamento, o iogurte passa por fases de aquecimento e resfriamento, no qual, deve ser analisada com precisão a taxa de transferência de calor envolvida e as propriedades térmicas devem ser conhecidas. Existem muitos fatores que podem afetar a condutividade e a difusividade térmica do iogurte e de outros produtos alimentícios, por exemplo: a composição, densidade, porosidade, temperatura do produto, e o tratamento térmico e outras propriedades da substância em particular. (TAVMAN *et. al.*, 1999).

3.4 EQUAÇÃO DA ENERGIA

O balanço de energia em um material submetido a uma transferência de calor transiente é governada pela equação da energia relativa à variação da temperatura local para os divergentes dos fluxos de calor.

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = -\Delta(\vec{q}_t) = -[\Delta(\vec{q}_r) + \Delta(\vec{q}_c) + \Delta(\vec{q}_{conv})] \quad (3.2)$$

onde:

ρ - Densidade (kg m^{-3})

C_p - Calor específico ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)

T - Temperatura (K)

t - Tempo (s)

$\bar{q}_t, \bar{q}_r, \bar{q}_c$ e \bar{q}_{conv} - Fluxo de calor total, radiativo, condutivo e convectivo (W m^{-2})

No nosso caso, o meio em que ocorre a transferência de calor (amostra) é composto por três camadas (latão, amostra e latão), com diferentes propriedades termofísicas. No entanto, todos os materiais que compõem a amostra poderiam ser considerados como recipiente opaco no IR e, assim, a transferência radiativa de calor pode ser desprezada. No que diz respeito à transferência de calor convectiva no caso de materiais líquidos, se nós computamos, por exemplo, o número de Rayleigh na água para uma elevação de temperatura máxima da face superior no valor de 0,2 K, nós encontramos $R_a \approx 500$. Mas, para um número Rayleigh menor do que 1400 pode-se considerar que os fenômenos de convecção natural são desprezíveis. Conseqüentemente, a transferência de calor por convecção pode também ser desprezível em todas as partes da amostra. Então, a transferência de calor é puramente condutiva na amostra inteira (COQUARD, et. al., 2008).

A fim de simplificar a resolução da equação da energia, pode-se observar que nossa amostra é simétrica e, assim, a distribuição de temperatura na amostra é uma função radial, axial e em coordenadas polares r, z e φ . Se assumíssemos que as propriedades físicas dos materiais que compõem a amostra são homogêneos e isotrópicos, a temperatura é independente do ângulo polar φ e equação da energia em cada parte da amostra reduz a:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} k \frac{\partial T}{\partial r} + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (3.3)$$

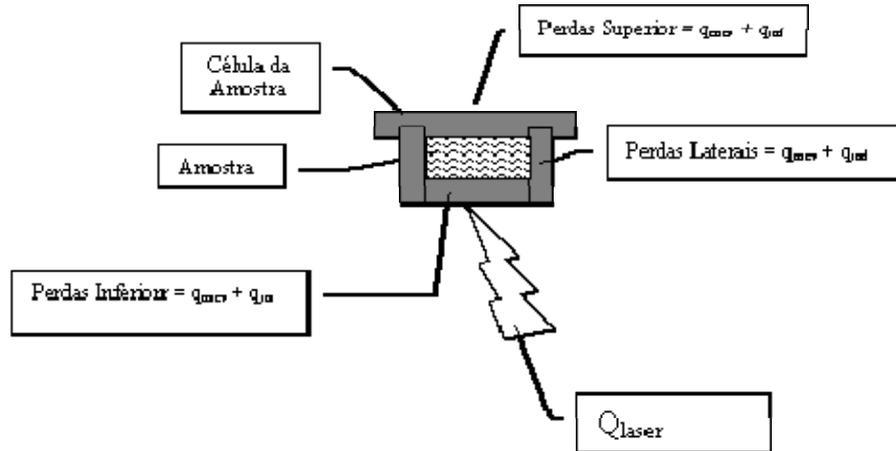


Figura 3.15 - Esquema do balanço de energia na amostra

No que diz respeito às condições iniciais, a temperatura média é uniforme antes do início do aquecimento. Esta temperatura (T) é a temperatura externa (T_{ext}), então:

$$\forall r \text{ e } z, T(r, z, 0) = T_{ext} \quad (3.4)$$

Durante o pulso de irradiação da amostra pelo FLASH (duração τ), a face frontal da amostra absorve energia por unidade de área. Em nosso modelo numérico, assumimos que a energia radiativa é completamente absorvida após uma pequena penetração de espessura de χ e que o calor é gerado é uniforme ao longo do seu caminho no latão. Assim, a geração de calor pode ser tratada como uma fonte interna de calor. Se partirmos do princípio de que o aquecimento é uniforme em todas as partes da superfície, então: $0 < z < \chi$; $0 < r < R_{max}$

$$\rho C_{\text{latão}} \frac{\partial T_{\text{latão}}(r, z, t)}{\partial t} \chi = \dot{Q} \quad \text{para } 0 < z < \tau \quad (3.5)$$

Dado que a amostra é composta de diferentes materiais com diferentes propriedades termofísicas, várias condições fronteira também ocorrem na interface entre as diferentes partes:

➤ Na horizontal as interfaces entre o latão e a amostra ($z=e$ e $z=L$ com $r < R_{\text{latão}}$), se negligenciar a resistência térmica, o fluxo de calor condutivo conduz a:

$$\left(k_{\text{latão}} \frac{\partial T_{\text{latão}}}{\partial z} \right)_{z=e^-} = \left(k_{\text{amostra}} \frac{\partial T_{\text{amostra}}}{\partial z} \right)_{z=e^+} \text{ e } \left(k_{\text{latão}} \frac{\partial T_{\text{latão}}}{\partial z} \right)_{z=(L-e)^+} = \left(k_{\text{amostra}} \frac{\partial T_{\text{amostra}}}{\partial z} \right)_{z=(L-e)^-} \quad (3.6)$$

onde $k_{\text{latão}}$ e k_{amostra} são respectivamente a condutividade térmica do latão e da amostra ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)

➤ Analogamente, na horizontal as interfaces entre o latão e latão são ($z=e$ e $z=L-e$ com $R_{\text{max}} > r > R_{\text{latão}}$), temos:

$$\left(k_{\text{latão}} \frac{\partial T_{\text{latão}}}{\partial z} \right)_{z=e^-} = \left(k_{\text{latão}} \frac{\partial T_{\text{latão}}}{\partial z} \right)_{z=e^+} \text{ e } \left(k_{\text{latão}} \frac{\partial T_{\text{latão}}}{\partial z} \right)_{z=(L-e)^+} = \left(k_{\text{latão}} \frac{\partial T_{\text{latão}}}{\partial z} \right)_{z=(L-e)^-} \quad (3.7)$$

➤ A interface na vertical entre a amostra e o lado do recipiente ($e < z < L-e$ e $r = R_{\text{latão}}$), temos:

$$k_{\text{latão}} \frac{\partial T_{\text{latão}}}{\partial r} = k \frac{\partial T_{\text{amostra}}}{\partial r} \quad (3.8)$$

As superfícies externas da amostra também são submetidas às condições de contornos devido à transferência de calor convectiva e radiativa com o ambiente externo.

A taxa de troca de calor por radiação é igual $\varepsilon\sigma(T_s^4 - T_{\text{ext}}^4)$. Assim, para uma diferença de temperatura relativamente pequena a troca de calor por radiação, pode ser aproximada por: $\varepsilon\sigma(T_s^4 - T_{\text{ext}}^4) \approx \varepsilon\sigma T_s^3(T_s - T_{\text{ext}})$. Consequentemente, a transferência total de calor entre as superfícies externas podem ser resumidos em um único coeficiente h , que leva em conta o coeficiente convectivo e radiativo: $h = h_{\text{conv}} + \varepsilon\sigma T_s^3$. Se também assumíssemos que os coeficientes de convecção h_{conv} e as temperaturas das superfícies T_s na horizontal e vertical são idênticos, as condições contornos térmico sobre estas superfícies são os mesmos e reduzirá a:

$$k_{lat\tilde{a}o} \frac{\partial T_{lat\tilde{a}o}}{\partial r} = -h(T_{lat\tilde{a}o} - T_{ext}) \quad (3.9)$$

onde:

\mathcal{E} → Emissividade global da superfície externa da célula

σ → Constante Stefan-Boltzmann ($\approx 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$)

T_s Temperatura da superfície externa (K)

h_{conv} Coeficiente de transferência de calor convectivo ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)

h Coeficiente global de transferência de calor ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)

Para a superfície é definida por $r = R_{lat\tilde{a}o}$, $e < z < L - e$

$$k_{lat\tilde{a}o} \frac{\partial T_{lat\tilde{a}o}}{\partial r} = -h(T_{lat\tilde{a}o} - T_{ext}) \quad (3.10)$$

Para superfície definida por: $r = R_{lat\tilde{a}o}$, $0 < z < e$ e $r = R_{lat\tilde{a}o}$; $L - e < z < L$

$$\left(k_{lat\tilde{a}o} \frac{\partial T_{lat\tilde{a}o}}{\partial z} \right)_{z=0} = h(T_{lat\tilde{a}o} - T_{ext})_{z=0} \quad \text{e} \quad \left(k_{lat\tilde{a}o} \frac{\partial T_{lat\tilde{a}o}}{\partial z} \right)_{z=L} = -h(T_{lat\tilde{a}o} - T_{ext})_{z=L} \quad (3.11)$$

Para superfície definida por $z = 0$, $0 < r < R_{max}$ e $z = L$; $0 < r < R_{max}$, respectivamente.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados de condutividade térmica e difusividade térmica obtidos pelo método flash e calor específico obtido por calorímetro. Os experimentos foram realizados no laboratório LAMET/LES/UFPB e no laboratório LACOM/UFPB, para a mesma faixa de temperatura (20°C – 50°C). Os dados obtidos foram comparados com os dados encontrados na literatura. Os testes foram feitos em iogurte desnatado e natural adquiridos no mercado local.

A difusividade térmica de produtos lácteos é, em geral, determinada a partir do conhecimento da condutividade térmica, do calor específico e da densidade. Essas propriedades são estimadas na literatura pelo método da sonda linear de aquecimento. Essas experiências permitem obter expressões a partir de regressões polinomiais que conduzem correlações empíricas em função do teor de umidade ou da temperatura, ou em função de ambos, temperatura e teor de umidade. As correlações para a densidade, calor específico e condutividade térmica permitem avaliar a difusividade térmica estimada a partir de sua definição, ou seja, a razão entre a condutividade térmica e a capacidade térmica do produto.

Nesse trabalho, a difusividade térmica estimada através do Método Flash, inicialmente, é usada para determinar a condutividade térmica utilizando valores do calor específico e da densidade disponíveis na literatura. Esse procedimento teve como objetivo, testar a viabilidade do método flash para medir a difusividade térmica de produtos lácteos. Com esta finalidade, a condutividade térmica do iogurte natural e desnatado foi estimada, utilizando-se os valores médios do calor específico de 1597 a 3520 J/KgK (AFONSO et. al., 2003) e da densidade 1050 a 1033 kg/m³ (TAVMAN et. al., 1999). Os resultados

destas estimações são mostrados na tabela 4.1 (modelo adiabático em três camadas, Capítulo 2, item 2.5.1, página 31) e na tabela 4.2 (modelo com perdas em três camadas, Capítulo 3, Item 3.4, página 58).

Os resultados obtidos para a condutividade térmica estão na faixa de 0.330 - 0.574 W/m K. Esses resultados foram comparados com os valores para iogurtes disponíveis na literatura, 0.540 a 0.596 W/m K (TAVMAN et. al., 1999) e 0.510 a 0.523 W/m K (AFONSO et. al., 2003). Considerando a dependência da condutividade térmica com o teor de umidade, os valores do calor específico e densidade utilizada para os cálculos, da condutividade térmica não correspondem aos valores reais do produto testado, e mesmo assim, os valores encontrados para a condutividade térmica são coerentes com os valores disponíveis na literatura. Pode – se avaliar que o modelo de difusão de calor em três camadas é perfeitamente adequado para se estimar a difusividade térmica do iogurte através do Método Flash.

Em relação aos dois métodos, pode-se observar que o método que considera as perdas de calor, nos leva aos valores menores da difusividade térmica. Considerando que esse modelo é mais realista, pois considera eventuais perdas por convecção, pode-se acreditar que este modelo permita obter resultados mais precisos para difusividade térmica.

Tabela 4.1: Modelo de três camadas com perdas de calor e correção de pulso para valores de densidade e calor específico encontrados na literatura

Iogurte	Temperatura (°C)	Difusividade Térmica ($\times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$)	Desvio Padrão	Condutividade Térmica (W/mK)	Calor Específico (J/gK)	Densidade (kg/m^3)
Natural	34.42	1.11	1.1221×10^{-3}	0.410	3520	1050
	51.09	1.23	1.0628×10^{-3}	0.402	3520	1050
Desnatado	31.91	0.91	1.2535×10^{-3}	0.330	3520	1033
	41.59	1.39	9.3829×10^{-4}	0.505	3520	1033
	51.95	1.03	8.9211×10^{-4}	0.574	3520	1033

Tabela 4.2: Modelo de três camadas adiabático com correção de pulso para valores de densidade e calor específico encontrados na literatura.

Iogurte	Temperatura (°C)	Difusividade Térmica ($\times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$)	Desvio Padrão	Condutividade Térmica (W/mK)	Calor Específico (J/kgK)	Densidade (kg/m^3)
Natural	34.42	1.18	6.8363×10^{-4}	0.436	3520	1050
	51.09	1.28	6.5858×10^{-4}	0.473	3520	1050
Desnatado	31.91	0.91	1.2535×10^{-3}	0.330	3520	1033
	41.59	1.39	9.4654×10^{-4}	0.505	3520	1033
	51.95	1.15	7.0837×10^{-4}	0.418	3520	1033

A figura 4.1 (modelo adiabático) e a figura 4.2 (modelo com perdas $T=34.42^\circ\text{C}$ e iogurte natural) mostram a evolução do sinal em função do tempo de aquisição. Inicialmente temos o gráfico do modelo adiabático para a $T=34.42^\circ\text{C}$ do iogurte natural. Podemos observar que a partir do instante em que o feixe de radiação do laser incide na face anterior da amostra, um processo de difusão de calor por condução tem lugar na amostra no sentido da face oposta. Assim, a temperatura da face oposta começa a aumentar exponencialmente até atingir um valor máximo e constante durante certo intervalo de tempo. Pode-se observar que após 6000 ms, a temperatura da face posterior começa a diminuir devido as perdas de calor para o ambiente (forno). Esta diferença se deve ao fato de que o modelo teórico não considera as perdas, justificando a permanência da temperatura constante, o que não é fisicamente real, onde percebemos uma queda nos valores da temperatura. Enquanto que a figura 4.2 para a $T=34.42^\circ\text{C}$ do iogurte natural apresenta um modelo que considera as perdas e os resultados mostram a consistência do modelo matemático com a evolução temporal da temperatura obtida experimentalmente.

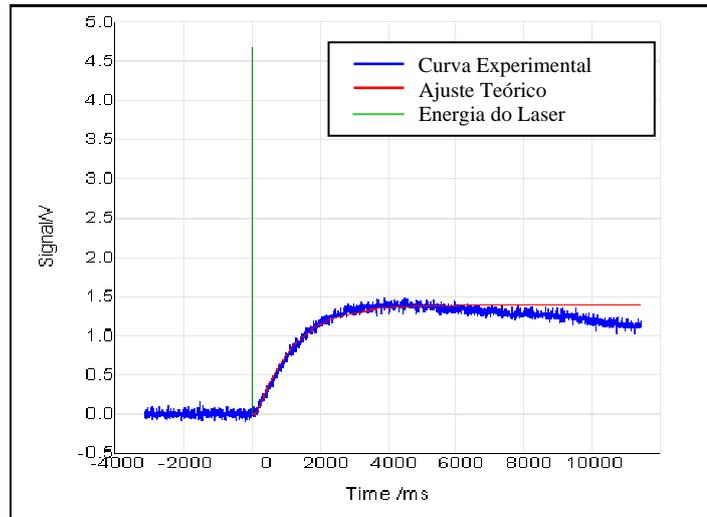


Figura 4.1 - Curva teórica da evolução de temperatura – Modelo Adiabático

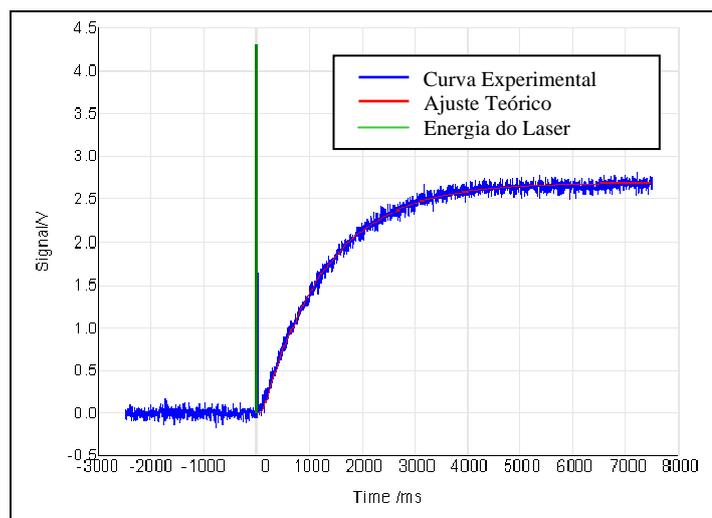


Figura 4.2 Curva da teórica evolução de temperatura – Modelo com perdas de calor

A segunda fase do experimento contempla a estimação do calor específico e da difusividade térmica do iogurte.

Neste trabalho, o calor específico do iogurte foi determinado via calorímetro tipo DSC-Differential Scanning *Calorimetry* obtidas nas condições de atmosfera dinâmica de gás nitrogênio, para essa faixa de temperatura de 20°C até 50°C, no LACOM – Laboratório

de Combustíveis e Matérias e a difusividade e condutividade térmicas foram estimadas diretamente através do Método Flash no Laboratório de Energia Solar.

As curvas obtidas para calor específico nessa faixa de temperatura estão apresentadas na figura 4.3 para o iogurte natural e na figura 4.4 para o iogurte desnatado. E os resultados obtidos para o calor específico na faixa de 20°C – 50°C, variam levemente nesse faixa de temperatura e o valor médio em torno de 1590 J/Kg.K, estão bem abaixo do valor constante de 3520 J/Kg.K utilizado na primeira fase de experiência, na qual se queria verificar a viabilidade do Método Flash para o iogurte, porém, perfeitamente coerente com valores disponíveis na literatura para iogurte de baixo teor de umidade.

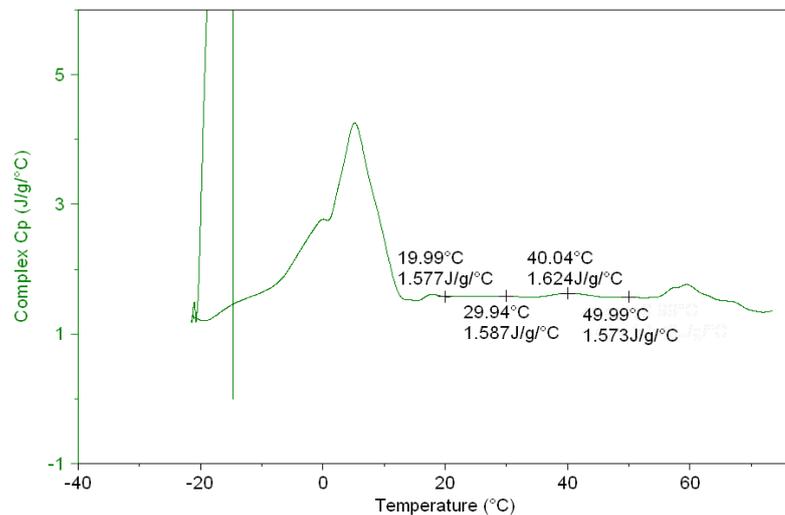


Figura 4.3 - Curva do calor específico em função da temperatura para o iogurte natural

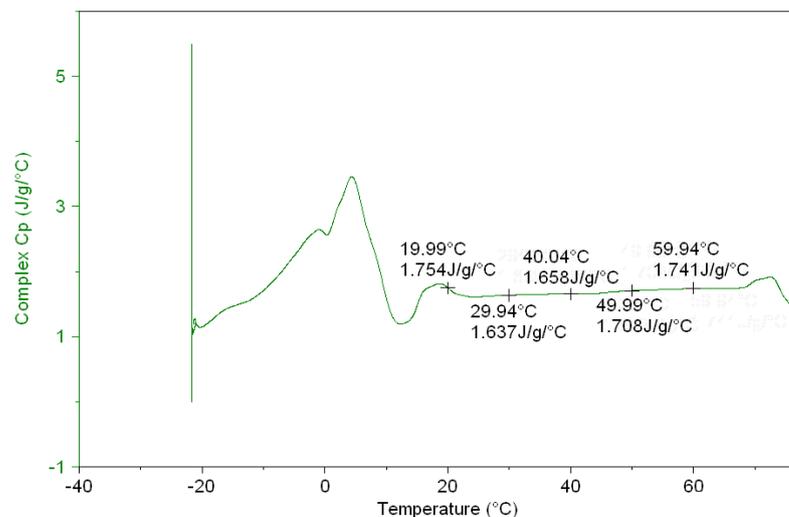


Figura 4.4 - Curva do calor específico em função da temperatura para o iogurte desnatado

A Tabela 4.3 (modelo adiabático) e Tabela 4.4 (modelo com perdas) mostram os resultados para a difusividade térmica e para condutividade térmica estimadas pelo Método Flash na faixa de temperatura 30 – 50°C. Os valores estimados para a condutividade térmica utilizam os valores do calor específico medidos pelo calorímetro DSC e com os valores da densidade a 20°C adquirido na literatura para o iogurte natural e desnatado.

Tabela 4.3 - Modelo de três camadas com perdas e correção de pulso

Iogurte	Temperatura (°C)	Difusividade Térmica ($\times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$)	Desvio Padrão	Condutividade Térmica (W/mK)	Calor Específico (J/KgK)	Densidade (Kg/m^3)
Natural	29,61	1.79	2.7357×10^{-3}	0.307	1638	1050
	34.42	1.86	2.0591×10^{-3}	0.319	1634	1050
Desnatado	31.91	1.49	2.4817×10^{-3}	0.255	1631	1033
	32.18	1.45	2.1016×10^{-3}	0.248	1631	1033
	40.87	1.74	2.1133×10^{-3}	0.417	1663	1033
	51.95	1.67	1.4990×10^{-4}	0.437	1716	1033

Tabela 4.4 - Modelo de três camadas adiabático com correção de pulso

Iogurte	Temperatura (°C)	Difusividade Térmica ($\times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$)	Desvio Padrão	Condutividade Térmica (W/mK)	Calor Específico (J/kgK)	Densidade (kg/m^3)
Natural	29,61	2.27	1.3432×10^{-3}	0.390	1638	1050
	34.42	2.17	2.1512×10^{-3}	0.373	1634	1050
Desnatado	31.91	1.98	2.0625×10^{-3}	0.338	1631	1033
	32.18	1.90	1.4110×10^{-3}	0.325	1631	1033
	40.87	2.09	1.6350×10^{-3}	0.417	1663	1033
	51.95	2.04	1.4382×10^{-3}	0.437	1716	1033

A difusividade térmica apresentada nas figuras 4.5 (iogurte desnatado) e 4.6 (iogurte natural) e condutividade térmica representada pelas figuras 4.7 (iogurte desnatado) e 4.8 (iogurte natural) foram determinadas diretamente no Micro-flash LFA 457 usando o software Proteus da NETZSCH. Foram usados na análise de dados 02 (dois) modelos matemáticos. O modelo adiabático e um modelo que considera eventuais perdas por convecção inerentes aos processos de troca de calor.

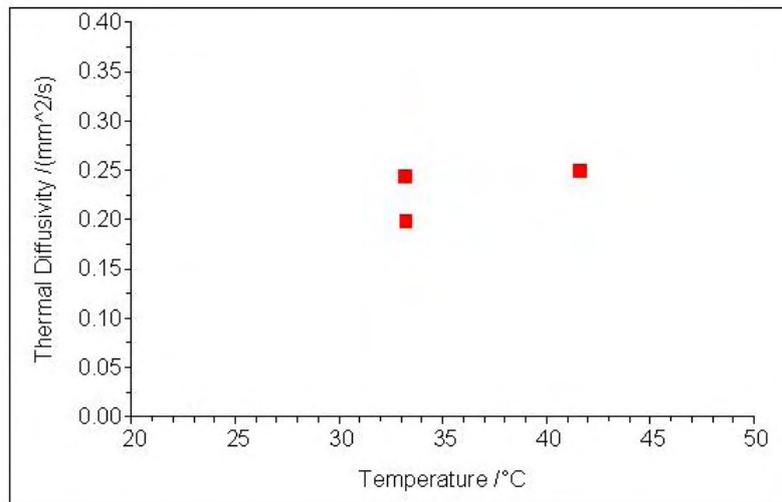


Figura 4.5 - Curva da difusividade térmica do iogurte desnatado em função da temperatura

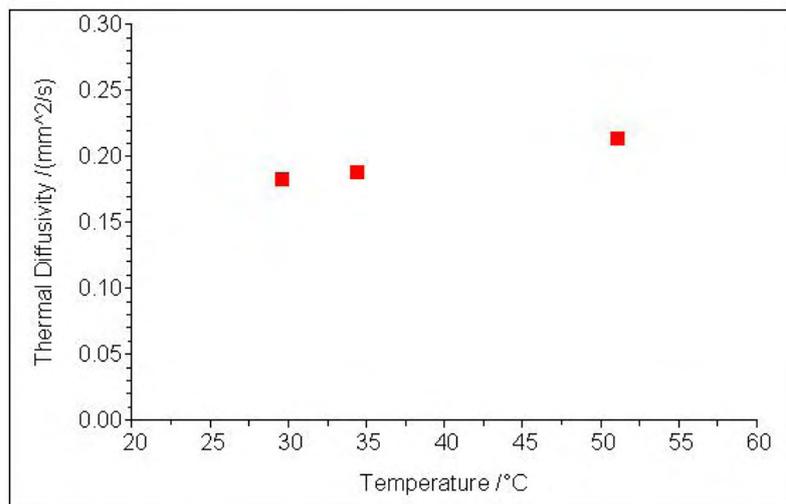


Figura 4.6 - Curva da difusividade térmica do iogurte natural em função da temperatura

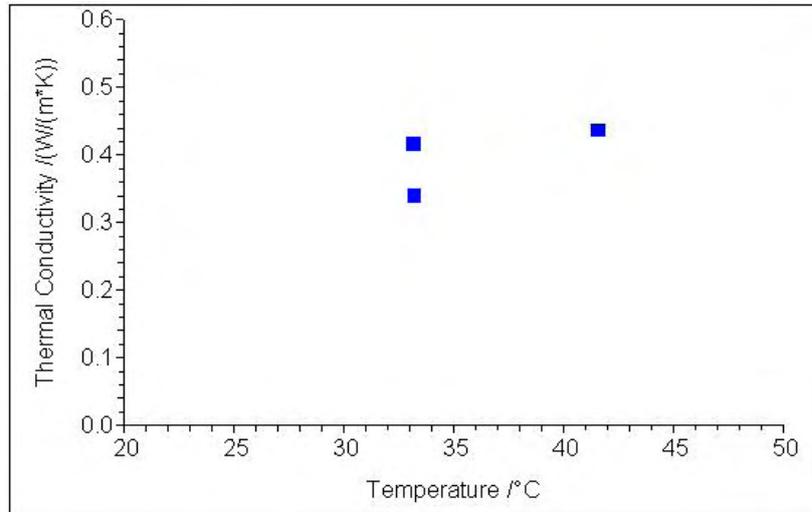


Figura 4.7 - Curva da Condutividade térmica do iogurte desnatado em função da temperatura

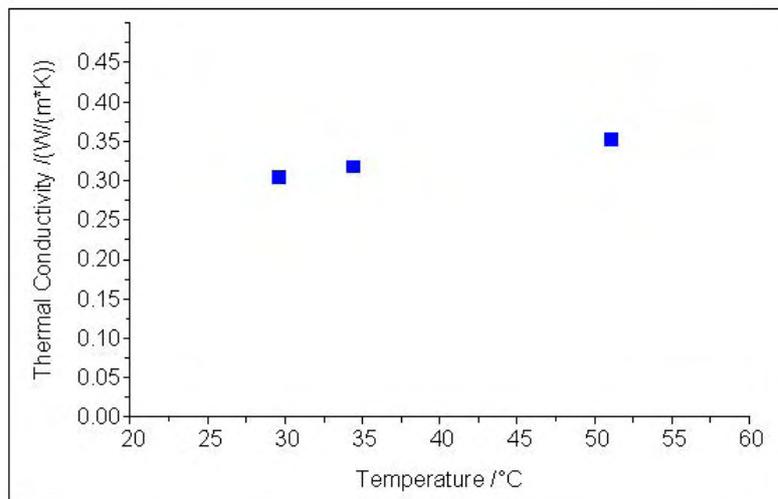


Figura 4.8 - Curva da condutividade térmica do iogurte natural em função da temperatura

Os valores estimados para a difusividade térmica e condutividade térmica são levemente superior aos estimados através de regressão linear. Assim, considerando o rigor experimental, a técnica utilizada e a qualidade dos equipamentos utilizados, acreditamos que os resultados obtidos são quantitativamente mais preciso que aqueles obtidos através de relações empíricas.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

A difusividade térmica e o calor específico de iogurtes comerciais foram estimados, através do método flash e a calorimetria diferencial, respectivamente. As experiências foram conduzidas para uma faixa de temperatura de 20°C – 50°C. Foi projetada e construída uma cápsula em latão para acomodar uma amostra de material líquido ou pastoso. A função da cápsula é justamente para dar à forma necessária a amostra durante o ensaio através do método flash. Os valores determinados para o calor específico, difusividade térmica e condutividade térmica mostram que os produtos testados eram de baixo teor de umidade.

Nesse estudo, o procedimento de estimação foi baseado em um modelo de difusão de calor transiente em três camadas considerando simetria cilíndrica. Dois modelos foram utilizados: um modelo que considera as perdas de calor por convecção e outro modelo adiabático. Os modelos, disponível no programa de análise de dados, leva em consideração a influência da cápsula sobre a temperatura de face posterior e requer o conhecimento das dimensões e composição de amostra. Em nosso estudo o modelo de Cowan foi usado para identificar a difusividade térmica.

O programa de análise as diferentes fontes de erro: incertezas relacionadas com a medição, temperatura, tempo, correção de pulso, incertezas concernentes e as dimensões e propriedades da cápsula. Isto nos permitiu estimar o desvio padrão. Em nosso caso, a ordem de grandeza é de 10^{-3} . O presente estudo mostra que o método flash foi utilizado com sucesso para amostras líquidas, o que indica a possibilidade de então ser utilizado para se estimar com precisão a difusividade térmica e condutividade térmica para os produtos aqui considerados. No entanto, pode-se acreditar que o método pode ser estendido para outros produtos, tais como, líquido, pastosos, gels e similares.

PERSPECTIVAS

A determinação precisa das propriedades termofísicas dos produtos alimentícios é muito importante para a concepção, simulação, otimização, controle e processamento de alimentos, como a evaporação, troca de calor, secagem por pulverizador, e assim por diante. Geralmente, são utilizados métodos polinomiais de predição destas propriedades com base em estudos empíricos correlação de dados experimentais.

Propõe-se os seguintes avanços para o estudo e identificação das propriedades termofísicas de Produtos Lácteos pelo Método Flash.

- Estudar um modelo matemático para uma amostra de iogurte limitada por uma cavidade cilíndrica submetida a um pulso energético de curta duração;
- Dimensionar e construir uma cápsula cilíndrica para uma experiência flash;
- Estudar um o problema direto de condução de calor para amostra submetida a uma experiência Flash, e resolver um problema inverso de condução de calor para identificação dos parâmetros do modelo teórico;
- Realizar um estudo de sensibilidade aos parâmetros para identificar a influência de cada parâmetro na evolução temporal da temperatura;
- Realizar experiências flash para obtenção da evolução temporal da temperatura;
- Realizar experiências com calorímetro diferencial para obtenção do calor específico dependente da temperatura; Realizar experiências com densímetro para obtenção da densidade dos produtos lácteos;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFONSO, Isabel M.; HES ,Lubos; MAIA, João M.; MELO, Luis F. (2003), “Heat Transfer and Rheology of Stirred yoghurt during cooling in plate heat exchangers”, *Journal of Food Engineering* v. 57, pp. 179–187.
- ARAÚJO, Josalice de Lima; QUEIROZ, Alexandre José de Melo; FIGUEIREDO, Rossana Maria Feitosa de, 2004, “Propriedades Termofísicas da Polpa do Cupuaçu com diferentes Teores de Sólidos”, *Ciências agrotecnicas, Lavras*, v. 28, n. 1, p. 126-134.
- ASTM, D 5334-00, Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure.
- ASTM, D 5930-97, Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Plastic By Means of a Transient Line Source Technique.
- ASTM, E 1461-01, Standard Test Method for Thermal Diffusivity by the Flash Method, BLACKWEL, J. H., 1954, “A Transient-Flow Method for Determination of Thermal Constants of Insulating Materials in Bulks”, *Journal of Applied Physics*, v. 25, 2, pp.137-144.
- BAERDEMAEKER, J. and NICOLAI, B. M., 1995, Equipment considerations for sous vide cooking. *Food Control*, v 6,n. 4, pp 229–236.
- BRASIL. Leis, decretos, etc. Decreto nº 2.224 de 4 de junho de 1997, artigo 682, Diário Oficial da União, Brasília, 5 jun. 1997, Seç. I, p. 11555 (altera dispositivos do Dec. nº 30.691 de 29 de março de 1952).

CAPE J. and LEHMAN, g. 1963, “Temperature and Finite Pulse-Time Effects in the Flash Method for Measuring Thermal Diffusivity”, *Journal Applied Physics*, v. 34, n. 7, pp. 1909-1913.

CARBONERA, Leonardo; CARCIOFIE, Bruno Matar; HUBER, Eduardo; LAURINDO, João Borges, 2003, “Determinação Experimental da Difusividade Térmica de uma Massa de Tomate Comercial” *Brazilian Journal of Food Technology*, v.6, n.2, pp. 285-290.

CARCIOFI, Bruno A.M.; FAISTEL, Jonhy; ARAGÃO, Glaucia M.F.; LAURINDO, João B., 2002, “Determination of thermal diffusivity of mortadella using actual cooking process data”, *Journal of Food Engineering* v. 55, pp. 89–94.

Centro de Informações do Iogurte. Disponível em http://www.iogurte.com/index.php?action=destaquetipo&subaction=1&id_noticia=106>Acessado em: 29/06/2009

CLARK III, L. and TAYLOR, R., 1975, “Radiation Loss in the Flash Method for Diffusivity”, *Journal Applied Physics*, v. 46, n. 2, pp. 714-719.

Conservas Ritter S.A. Disponível em: http://www.ritter.com.br/foodservice/dir_arquivos/manual.pdf> Acessado em 29/06/2009

COQUARD, R., PANEL, B., 2008, “Adaptation of the FLASH Method to the Measurement of the Thermal Conductivity of Liquids or Pasty Materials”, *International Journal of Thermal Sciences*, v. 48 pp. 747–760.

COWAN, R., 1961, “Proposed Method of Measuring Thermal Diffusivity at High Temperature”, *Journal Applied Physics*, v. 32, n. 7, pp. 1363-1369.

COWAN, R., 1963, “Pulse Method of Measuring Thermal Diffusivity at High Temperatures”, *Journal Applied Physics*, v. 34, n. 4, pp. 926-927.

- DONALD, Karl Mc; SUN, Da-Wen; LYNG, James G., 2002, “Effect of Vacuum Cooling on the Thermophysical Properties of a Cooked Beef Product”, *Journal of Food Engineering*, v. 52, pp. 167-176.
- FONSECA, Henrique Massard, 2007, “*Caracterização Termofísica de Nanofluidos*” **Dissertação** de M.Sc., COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P, 2006, *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa* capítulo 2, 4 ed. Rio de Janeiro LTC.
- ITO, Ana Paula, 2003, “*Determinação da Condutividade e Difusividade Térmica de Grãos de Soja*”. **Dissertação** de M.Sc. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP, Brasil.
- JARAMILLO-FLORES, M.E.; HERNANDEZ-SANCHEZ H., (2000), “Thermal Diffusivity of Soursop (*Annona muricata* L.) Pulp”, *Journal of Food Engineering* v. 46, pp. 139±143
- KENT, M.; CHRISTIANSEN, K.; HANEGHEM, I. A. Van; HOLTZ, E.; MORLEY, M. J.; NESVADBA, P.; POULSEN, P., 1984, “Cost 90 Collaborative Measurement of the Thermal Properties of Food”, *Journal of Food Engineering*, v. 3, pp. 117-150.
- KIM, Suk Shin; BHOWMIK’, Santi R., 1997, “Thermophysical Properties of Plain Yogurt as Functions of Moisture Content”, *Journal of Food Engineering* v. 32, pp. 109-124.
- LIMA, Ítalo José Evangelista de; QUEIROZ, Alexandre José de Melo; FIGUEIREDO, Rossana Maria Feitosa de, 2003, “Propriedades Termofísicas da Polpa de Umbu”, *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, Especial, n.1, pp.31-42.
- MARKOWSKI, Marek; IRENEUSZ, Bialobrzewski; CIERACH, Marek; PAULO, Agnieszka, 2004, “Determination of Thermal Diffusivity of Lyoner Type Sausages

During Water Bath Cooking and Cooling”, *Journal of Food Engineering*, v. 65, pp. 591-598.

MATTIO, Fernando; MATUTA, Tatiane Guinoza; TADINI, Carmen Cecília; 2006, “Construção de uma Sonda Linear de Aquecimento para Determinação da Condutividade Térmica da Massa de Pão Congelada” PIC-EPUSP N.3.

MENDONÇA, M. M., FILHO, C. R. E SILVA, Z. E., 2005, “Transient Conduction in Spherical Fruits: method to Estimate the Thermal Conductivity and Volumetric Thermal Capacity”, *Jornal of Food Engineering*, v. 67, pp.261-266.

MOHSENIN, N. N., 1980 “Thermal Properties of Foods and Agricultural Materials”, New York Gordon and Breach Science, pp 407.

MOURA, Silvia Cristina Sobottka Rolim de; VITALI, Alfredo de Almeida, FRANÇA, Vitor Correia Lima, (2001), “Propriedades Termofísicas de Soluções Modelo Similares a Creme de Leite”, *Ciências Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 21, n. 2, pp. 209-215.

MUNIZ, Marcelo B., QUEIROZ, Alexandre José de M., FIGUEIRÊDO, Rossana M. F. de; DUARTE Maria Elita M.; 2006, “Caracterização termofísicas de Polpas de Bacuri”, *Ciências Tecnologia. Alimentos*, Campinas, v. 26, n. 2, pp. 360-368.

NETZSCH, instruments Inc., Gerätebau GmbH: Instruction Manual LFA 457 MicroFlashTM, 2008.

OLIVEIRA, Simone Duarte; CAMARGO, Darmil; MACHADO, Pedro Paulo; BORGES Soraia Vilela, 2001, “Condutividade Térmica do Suco de Laranja” *Revista Brasileira De Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.3, n.1, pp.101-104.

PARK, K. J.; ITO, A. P.; LEITE, J. T. C. “Influência da granulométrica, do diâmetro e do comprimento de amostras de grãos triturados de soja na determinação de coeficientes simultâneos de transferência”, *Ciência e tecnologia de alimentos*, Campinas, v. 22, n. 2, pp. 136-142, 2002.

- PARKER, W., JENKINS, R., BUTLER, et al., 1961. "Flash Method of Determining Thermal Diffusivity, Heat Capacity and Thermal Conductivity", *Journal Applied Physics*, v. 32, 9, pp. 1679-1684.
- QUEIROZ, G. M., 2001, "*Determinação das Propriedades Termofísicas do Pão tipo Francês*". **Dissertação** de M.Sc. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, Brasil.
- RAHMEN, S., 1995, "Food Properties Handbook". New York, CRC Press.
- RESENDE, Jaime Vilela de; SILVEIRA JR Vivaldo, 2002, "Medidas da Condutividade Térmica Efetiva de Modelos de Polpas de Frutas no Estado Congelado", *Revista Ciências Tecnologia Alimentos*, Campinas, v. 22, n. 2, pp. 177-183.
- SANG, P. D.; ALONSO, M. D.; MASCHERONI, R. H., 1987, "General Bibliography and Experimental Values", *Trans of the ASAE*, v. 30, pp. 283-289, 296.
- SANTOS, W. N. dos, 2005. "Métodos Transientes de Troca de Calor na Determinação das Propriedades Térmicas de Materiais Cerâmicos: I - O método de pulso de energia", *Cerâmica*, v.51, pp. 205-213.
- SARRIA, SAUL D.; HONÓRIO SYLVIO L., 2004, "Condutividade e Difusividade Térmica do Figo (*Ficus Carica* L.) Roxo de Valinhos", *Engenharia Agrícola*., Jaboticabal, v.24, n.1, p.185-194.
- SHERIDAN P. S., SHILTON, N. C., 2002, "Determination of the Thermal Diffusivity of Ground Beef Patties Under Infrared Radiation Oven-Shelf Cooking" *Journal of Food Engineering*, v.: 52, pp.: 39-45.
- SHIKI, M. P.; PARK, K. J., 1998, "Determination of simultaneous heat and mass transfer coefficients for food products". *Drying 98: Proceedings of the 11th International drying symposium*. Thessaloniki-Greece.

- SILVA, C. K. F., 2007, “*Aplicação da Análise Inversa ao Modelo Difuncional de Transferência de Massa*”. **Dissertação** de M.Sc. UFPB, João Pessoa, Brasil.
- SILVA, Z. E. da, 1997 “*Transfers Couplés Conduction-Radiation: Application de la Méthode Flash aux Milieu Semi-transparentes*”, **Tese**. D.Sc., INSA, Lyon, France.
- SIMÕES, Márcia Regina; MURR, Fernanda Elizabeth Xidieh; 2000, “Determinação da difusividade térmica da polpa de manga”, *Acta Scientiarum* v. 22, n. 5, pp. 1225-1228, ISSN 1415-6814.
- SIMPSON, M. V.; SMITH, J. P.; SIMPSON, B. K.; RAMASWAMY H.; DODDS, K. L., 1997, “Storage Studies on a Sous Vide Spaghetti and Meat Sauce Product”, *Food Microbiology*, v. 11, pp. 5-14.
- SINGH, R. P., (1982), “Thermal Diffusivity in Food Processing”, *Food Technology*, v. 36, n. 2, pp. 87-91.
- SINGH, R. P., (1982), “Thermal Diffusivity in Food Processing”, *Food Technology*, v. 36, n. 2, pp. 134-137.
- SIRIPON, Kritsana; TANSAKUL, Ampawan; MITTAL, Gauri S., 2007, “Heat Transfer Modeling of Chicken Cooking in Hot Water”, *Food Research International*, v. 40, pp. 923-930.
- SOSA-MORALES, M. E.; ORZUNA-ESPÍRITU, R.; VÉLEZ-RUIZ, J. F., 2006, “Mass, Thermal and Quality Aspects of Deep-Fat Frying Of Pork Meat, *Journal of Food Engineering*, v.: 77, pp.: 731-738.
- TAVMAN, I. H. and TAVMAN, S. 1999, “Measurement of thermal conductivity of dairy products” *Journal of Food Engineering*, v. 41, pp. 109±114.
- TSAI, Shwu-Jene; UNKLESBAY, Nan; UNKLESBAY, Kenneth; CLARKE, Andrew, 1998, “Thermal Properties of restructured Beef Products at Different Isothermal Temperature”, *Journal of Food Science*, v.: 63, n. 3, pp.: 481-484.

VÉLEZ-RUIZ, J. F.; VERGARA-BALDERAS, F. T.; SOSA-MORALES, M. E.; XIQUE-HERNÁNDEZ, J., 2002, "Effect of Temperature on the Physical Properties of Chicken Strips During Deep-Fat Frying", *International Journal of Food Properties*, v.: 55, n. 1, pp.: 127-144.

VISSOTTO, Fernanda Zaratini; LUCCAS, Valdecir; VITALI, Alfredo de Almeida; FADINI, Ana Lucia; GENNARO, Isabel Cristina de, 1997, "Determinação Experimental da Difusividade Térmica de Chocolate tipo Cobertura." *Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos*, v. 27, n ½, pp. 112-8.

ANEXOS

Nos anexos mostradas às informações gerais sobre os parâmetros para o iogurte desnatado e natural com valores de calor específico e densidade constante disponíveis na literatura e para o iogurte desnatado e natural com valores de calor específico calculados pelo calorímetro de varredura diferencial, respectivamente:

- ❖ Relatório de Resultados, incluindo gráficos da evolução temporal, duração do pulso de valores estimados para a difusividade e condutividade térmica.
- ❖ De controle do LFA 457,
- ❖ Das dimensões das amostras,
- ❖ Modelos utilizados,

NETZSCH LFA Analysis : Shot (1) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon desnatado-sem mel	Remark(mment) :	art cobem
Date/time :	6/4/2009 11:09:16	Cp table :	iogurte desnatadocp ctc
Material :	iogurte	Expansion table :	dL_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte desnatada-sem mel	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (32.18 °C) /(J/g*K)	0.376	0.376
Density (32.18 °C) /(g/cm ³) :	8.524	8.524
Thermal diffusivity (32.18 °C) /(mm ² /s) :	30.915	30.915
Thickness (32.18 °C) /mm :	0.5101	1.0602

Shot information

Shot :	1 of 4	Remark(shot) :	---
Group :	1 of 4	Thickness (32.18 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	32.18	Cp (32.18 °C) /(J/g*K) :	3.520
Shot type :	Isothermal	Density (32.18 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (32.18 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	1034.659
Date/time :	11:16:16	Original range /ms :	-2500.500 ... 7498.166
Duration /ms :	10002.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	3000	Tau1 :	0.04405081
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	0.76572268
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.07678345
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.21663246
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.09964212
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	4.88520526
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.11062322
Atmosphere :	Air	Real int. :	0.97847185
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	4.85944724
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L heatloss + pulse correction	0.996	1.000	1.072		
Diffus./(mm ² /s)				0.091	9.6660e-004
Heat loss				0.021	1.5642e-003
T infin/a.u.				2.850	
3L adiabatic + pulse corr.	0.994	1.660	1.072		
Diffus./(mm ² /s)				0.103	6.1548e-004
T infin/a.u.				2.5401	

NETZSCH LFA Analysis : Shot (2) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon desnatado-sem mel	Remark(mment) :	art cobem
Date/time :	6/4/2009 11:09:16	Cp table :	iogurte desnatadocp ctc
Material :	iogurte	Expansion table :	dL_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte desnatada-sem mel	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (31.91 °C) /(J/g*K)	0.376	0.376
Density (31.91 °C) /(g/cm ³) :	8.524	8.524
Thermal diffusivity (31.91 °C) /(mm ² /s) :	30.908	30.908
Thickness (31.91 °C) /mm :	0.5101	1.0602

Shot information

Shot :	2 of 4	Remark(shot) :	—
Group :	2 of 4	Thickness (31.91 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	31.91	Cp (31.91 °C) /(J/g*K) :	3.520
Shot type :	Isothermal	Density (31.91 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (31.91 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	844.499
Date/time :	11:23:37	Original range /ms :	-3218.067 ... 13330.413
Duration /ms :	16554.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	2999	Tau1 :	0.03347601
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	69.55846664
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.08061935
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.20470052
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.13182302
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	3.98060365
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.11250530
Atmosphere :	Air	Real int. :	0.97776781
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	3.97646681
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L heatloss + pulse correction	0.995	1.000	1.089		
Diffus./(mm ² /s)				0.091	1.2536e-003
Heat loss				0.023	1.7479e-003
T infin/a.u.				2.575	
3L adiabatic + pulse corr.	0.990	1.858	1.089		
Diffus./(mm ² /s)				0.107	9.5406e-004
T infin/a.u.				2.2569	

NETZSCH LFA Analysis : Shot (3) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon desnatado-sem mel	Remark(mment) :	art cobem
Date/time :	6/4/2009 11:09:16	Cp table :	iogurte desnatadocp ctc
Material :	iogurte	Expansion table :	dL_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte desnatada-sem mel	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (40.87 °C) /(J/g ³ K)	0.377	0.377
Density (40.87 °C) /(g/cm ³) :	8.524	8.524
Thermal diffusivity (40.87 °C) /(mm ² /s) :	31.061	31.061
Thickness (40.87 °C) /mm :	0.5101	1.0602

Shot information

Shot :	3 of 4	Remark(shot) :	---
Group :	3 of 4	Thickness (40.87 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	40.87	Cp (40.87 °C) /(J/g ³ K) :	3.520
Shot type :	Isothermal	Density (40.87 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (40.87 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	880.218
Date/time :	11:33:53	Original range /ms :	-3080.736 ... 10426.760
Duration /ms :	13512.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	3000	Tau1 :	0.03313207
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	69.96068359
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.08079805
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.20420193
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.13337950
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	3.98009601
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.11138391
Atmosphere :	Air	Real int. :	0.97619188
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	3.97115902
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L heatloss + pulse correction	0.995	1.000	1.078		
Diffus./(mm ² /s)				0.104	1.0676e-003
Heat loss				0.013	1.1701e-003
T infin/a.u.				2.836	
3L adiabatic + pulse corr.	0.993	1.496	1.078		
Diffus./(mm ² /s)				0.115	7.7905e-004
T infin/a.u.				2.6297	

NETZSCH LFA Analysis : Shot (4) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon desnatado-sem mel	Remark(mment) :	art cobern
Date/time :	6/4/2009 11:09:16	Cp table :	iogurte desnatadocp ctc
Material :	iogurte	Expansion table :	dL_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte desnatada-sem mel	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

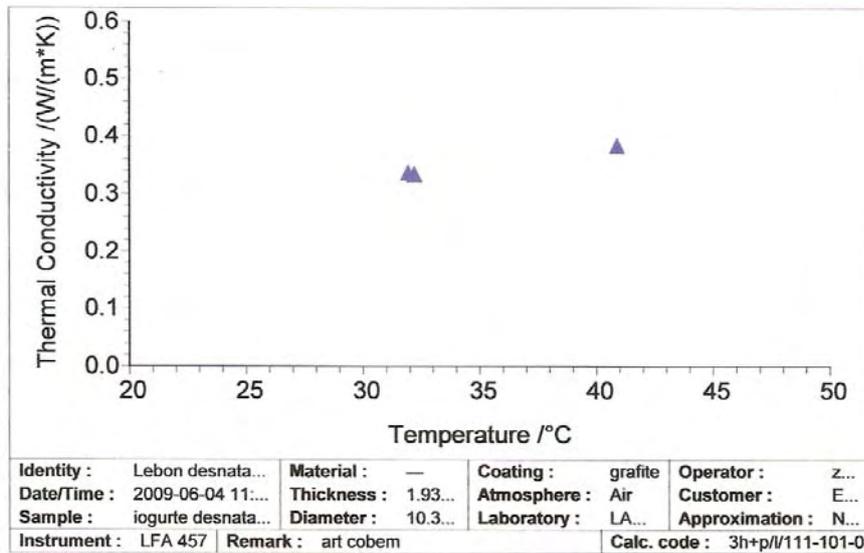
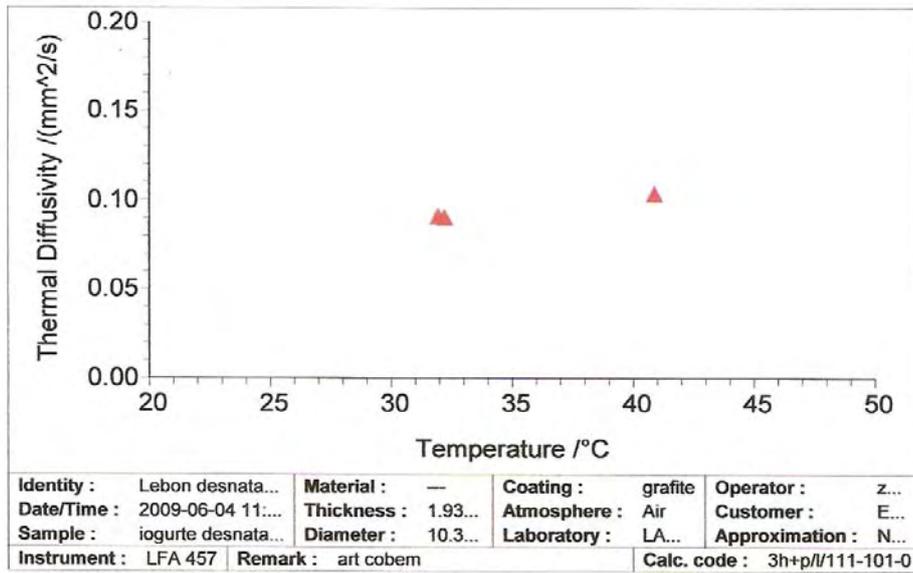
	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (51.95 °C) /(J/g*K) :	0.377	0.377
Density (51.95 °C) /(g/cm ³) :	8.520	8.520
Thermal diffusivity (51.95 °C) /(mm ² /s) :	31.414	31.414
Thickness (51.95 °C) /mm :	0.5102	1.0604

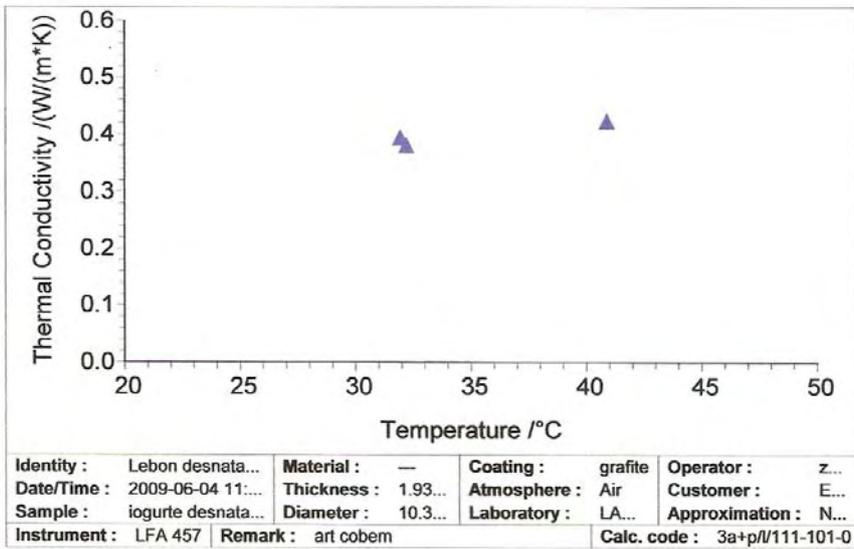
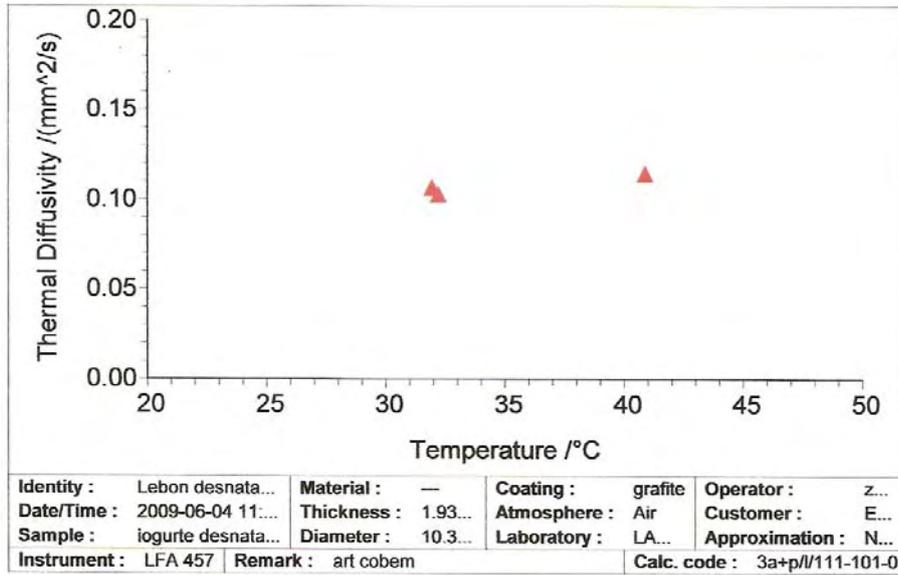
Shot information

Shot :	4 of 4	Remark(shot) :	---
Group :	4 of 4	Thickness (51.95 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	51.95	Cp (51.95 °C) /(J/g*K) :	3.520
Shot type :	Isothermal	Density (51.95 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (51.95 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	872.320
Date/time :	11:49:20	Original range /ms :	-3113.160 ... 10964.145
Duration /ms :	14082.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	2999	Tau1 :	0.03489416
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	81.00599411
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.08220289
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.20373922
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.14907244
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	3.99260678
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.11175191
Atmosphere :	Air	Real int. :	0.97614690
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	3.98645674
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L heatloss + pulse correction	0.997	1.000	1.080		
Diffus./(mm ² /s)				0.103	8.9232e-004
Heat loss				0.015	1.0140e-003
T infin/a.u.				3.844	
3L adiabatic + pulse corr.	0.994	2.069	1.080		
Diffus./(mm ² /s)				0.115	7.0863e-004
T infin/a.u.				3.5239	





NETZSCH LFA Analysis : Shot (1) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon desnatada	Remark(mment) :	art cobem
Date/time :	6/1/2009 17:28:19	Cp table :	iogurte desnatadocp ctc
Material :	iogurte	Expansion table :	dL_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte desnatada	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (33.21 °C) /(J/g*K) :	0.376	0.376
Density (33.21 °C) /(g/cm ³) :	8.524	8.524
Thermal diffusivity (33.21 °C) /(mm ² /s) :	30.938	30.938
Thickness (33.21 °C) /mm :	0.5101	1.0603

Shot information

Shot :	1 of 3	Remark(shot) :	—
Group :	1 of 3	Thickness (33.21 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	33.21	Cp (33.21 °C) /(J/g*K) :	3.520
Shot type :	Isothermal	Density (33.21 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (33.21 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	983.807
Date/time :	17:42:39	Original range /ms :	-2497.166 ... 7501.500
Duration /ms :	10002.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	3000	Tau1 :	0.07234439
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	0.32730410
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.07321535
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.22423426
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.06621074
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	7.15990567
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.11109406
Atmosphere :	Air	Real int. :	0.99094212
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	7.19885624
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L adiabatic + pulse corr.	0.994	1.000	1.072		
Diffus /(mm ² /s)				0.111	7.2769e-004
T infin/a.u.				2.6710	
3L heatloss + pulse correction	0.994	1.000	1.072		
Diffus /(mm ² /s)				0.111	7.2077e-004
Heat loss				0.000	0.0000e+000
T infin/a.u.				2.6711	

NETZSCH LFA Analysis : Shot (2) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon desnatada	Remark(mment) :	art cobern
Date/time :	6/1/2009 17:28:19	Cp table :	iogurte desnatadocp.ctc
Material :	iogurte	Expansion table :	dL_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte desnatada	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (33.19 °C) /(J/g*K) :	0.376	0.376
Density (33.19 °C) /(g/cm ³) :	8.524	8.524
Thermal diffusivity (33.19 °C) /(mm ² /s) :	30.938	30.938
Thickness (33.19 °C) /mm :	0.5101	1.0603

Shot information

Shot :	2 of 3	Remark(shot) :	---
Group :	2 of 3	Thickness (33.19 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	33.19	Cp (33.19 °C) /(J/g*K) :	3.520
Shot type :	Isothermal	Density (33.19 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	1	Table diffus. (33.19 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	727.890
Date/time :	17:52:42	Original range /ms :	-3018.606 ... 9277.292
Duration /ms :	12300.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	2999	Tau1 :	0.03305736
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	86.22803292
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.08101395
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.20419535
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.13585575
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	3.97405799
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.11066303
Atmosphere :	Air	Real int. :	0.99271501
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	4.03075800
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L adiabatic + pulse corr.	0.994	1.000	1.082		
Diffus. /(mm ² /s)				0.133	9.1739e-004
T infin/a.u.				2.3770	
3L heatloss + pulse correction	0.994	1.001	1.082		
Diffus. /(mm ² /s)				0.133	9.0908e-004
Heat loss				0.000	0.0000e+000
T infin/a.u.				2.3770	

NETZSCH LFA Analysis : Shot (3) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon desnatada	Remark(mment) :	art cobem
Date/time :	6/1/2009 17:28:19	Cp table :	iogurte desnatadocp ctc
Material :	iogurte	Expansion table :	dl_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte desnatada	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SIC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

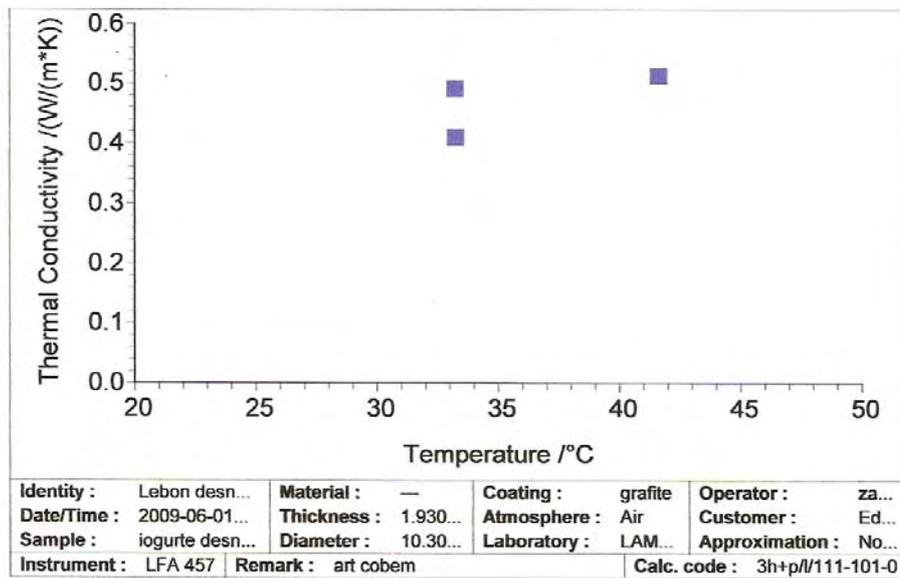
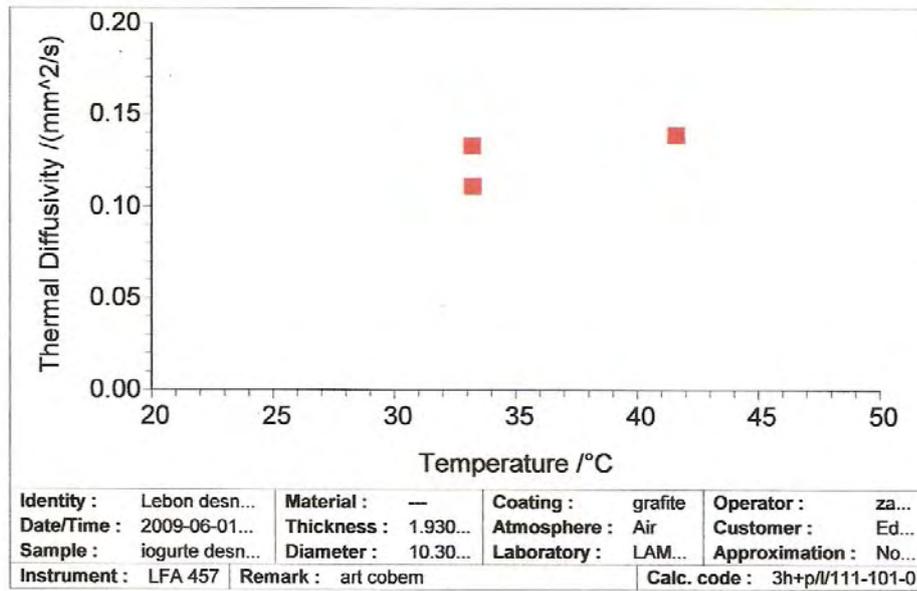
	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (41.59 °C) /(J/g*K) :	0.377	0.377
Density (41.59 °C) /(g/cm ³) :	8.524	8.524
Thermal diffusivity (41.59 °C) /(mm ² /s) :	31.073	31.073
Thickness (41.59 °C) /mm :	0.5101	1.0602

Shot information

Shot :	3 of 3	Remark(shot) :	—
Group :	3 of 3	Thickness (41.59 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	41.59	Cp (41.59 °C) /(J/g*K) :	3.520
Shot type :	Isothermal	Density (41.59 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (41.59 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	689.748
Date/time :	18:06:10	Original range /ms :	-2907.618 ... 8734.500
Duration /ms :	11646.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	3000	Tau1 :	11.30352398
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	0.12073025
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.06187826
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.25147531
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	0.96307528
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	1042.59315051
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.10963789
Atmosphere :	Air	Real int. :	1.00022753
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	1053.34799398
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L adiabatic + pulse corr.	0.994	1.000	1.081		
Diffus./(mm ² /s)				0.139	9.4668e-004
T infin/a.u.				2.8190	
3L heatloss + pulse correction	0.994	1.001	1.081		
Diffus./(mm ² /s)				0.139	9.3827e-004
Heat loss				0.000	0.0000e+000
T infin/a.u.				2.8190	



NETZSCH LFA Analysis : Shot (3) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon natural	Remark(mment) :	art cobem
Date/time :	6/1/2009 15:04:21	Cp table :	iogurte desnatadocp cl
Material :	iogurte	Expansion table :	dL_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte natural	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (51.09 °C) /(J/g*K) :	0.377	0.377
Density (51.09 °C) /(g/cm ³) :	8.520	8.520
Thermal diffusivity (51.09 °C) /(mm ² /s) :	31.370	31.370
Thickness (51.09 °C) /mm :	0.5102	1.0604

Shot information

Shot :	3 of 3	Remark(shot) :	—
Group :	3 of 3	Thickness (51.09 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	51.09	Cp (51.09 °C) /(J/g*K) :	3.520
Shot type :	Isothermal	Density (51.09 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (51.09 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	744.964
Date/time :	16:11:35	Original range /ms :	-2995.470 ... 9030.520
Duration /ms :	12030.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	3000	Tau1 :	0.03324065
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	88.92924589
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.08119248
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.20441656
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.13813008
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	3.97050021
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.11250974
Atmosphere :	Air	Real int. :	1.14342120
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	4.63938968
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L heatloss + pulse correction	0.997	1.000	1.080		
Diffus./(mm ² /s)				0.123	1.0630e-003
Heat loss				0.007	1.1445e-003
T infin/a.u.				4.100	
3L adiabatic + pulse corr.	0.996	1.219	1.080		
Diffus./(mm ² /s)				0.128	6.5874e-004
T infin/a.u.				3.9638	

NETZSCH LFA Analysis : Shot (1) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon natural	Remark(mment) :	art cobem
Date/time :	6/1/2009 15:04:21	Cp table :	iogurte desnatadocp ctc
Material :	iogurte	Expansion table :	dL_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte natural	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (34.42 °C) /(J/g ^{°K}) :	0.376	0.376
Density (34.42 °C) /(g/cm ³) :	8.524	8.524
Thermal diffusivity (34.42 °C) /(mm ² /s) :	30.962	30.962
Thickness (34.42 °C) /mm :	0.5101	1.0603

Shot information

Shot :	1 of 3	Remark(shot) :	---
Group :	1 of 3	Thickness (34.42 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	34.42	Cp (34.42 °C) /(J/g ^{°K}) :	3.520
Shot type :	Isothermal	Density (34.42 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (34.42 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	879.996
Date/time :	15:31:20	Original range /ms :	-2497.166 ... 7501.500
Duration /ms :	10002.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	3000	Tau1 :	0.03308757
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	69.73722515
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.08059814
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.20473287
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.13161150
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	3.97416468
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.11070096
Atmosphere :	Air	Real int. :	1.07534807
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	4.36769642
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L heatloss + pulse correction	0.996	1.000	1.072		
Diffus./(mm ² /s)				0.111	1.1222e-003
Heat loss				0.010	1.3785e-003
T infin/a.u.				3.137	
3L adiabatic + pulse corr.	0.995	1.230	1.072		
Diffus./(mm ² /s)				0.118	6.8369e-004
T infin/a.u.				2.9831	

NETZSCH LFA Analysis : Shot (2) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon natural	Remark(mment) :	art cobern
Date/time :	6/1/2009 15:04:21	Cp table :	iogurte desnatadocp ctc
Material :	iogurte	Expansion table :	dL_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte natural	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

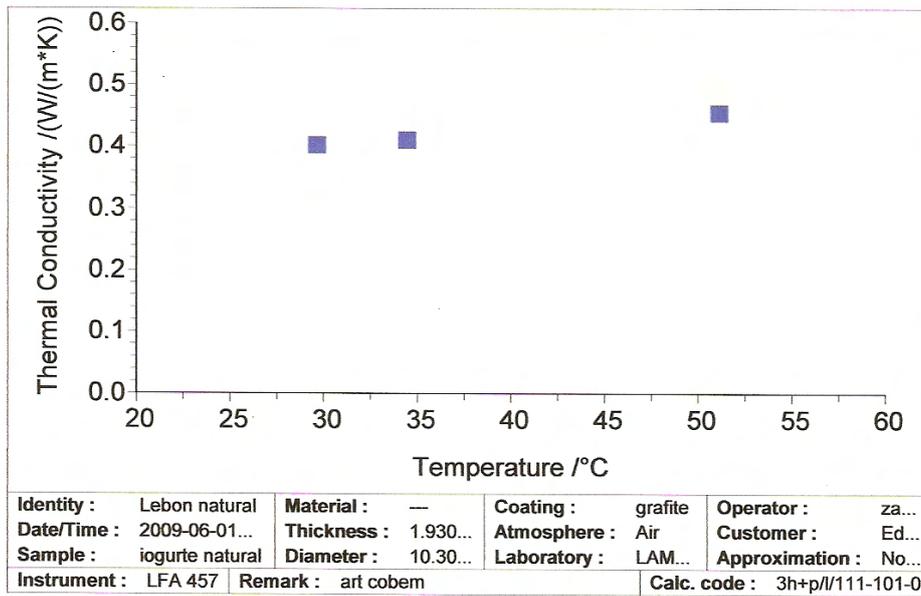
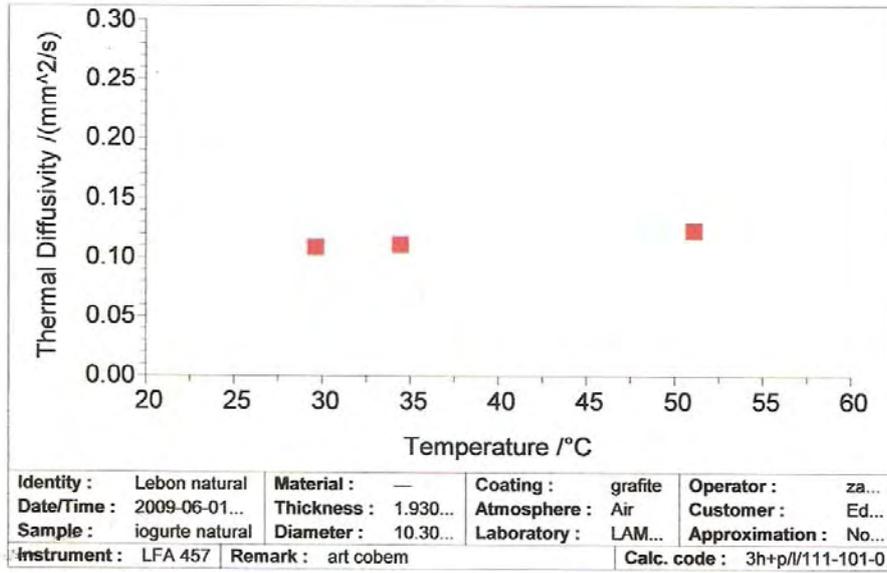
	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (29.61 °C) /(J/g*K)	0.375	0.375
Density (29.61 °C) /(g/cm ³) :	8.524	8.524
Thermal diffusivity (29.61 °C) /(mm ² /s) :	30.842	30.842
Thickness (29.61 °C) /mm :	0.5101	1.0602

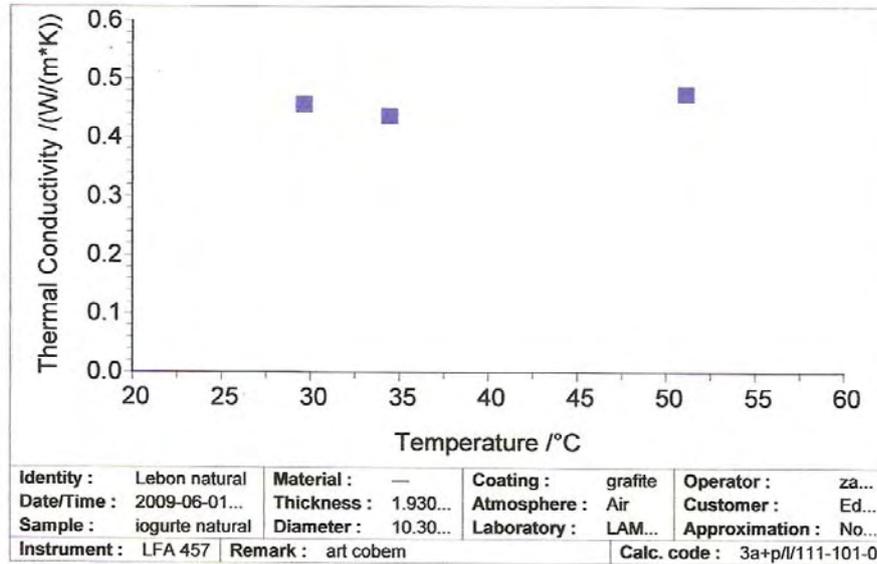
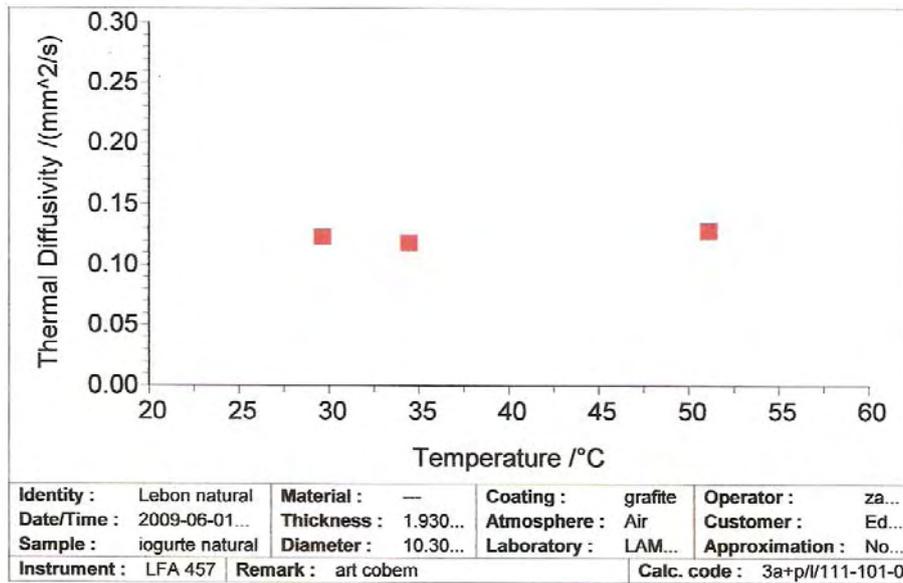
Shot information

Shot :	2 of 3	Remark(shot) :	---
Group :	2 of 3	Thickness (29.61 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	29.61	Cp (29.61 °C) /(J/g*K) :	3.520
Shot type :	Isothermal	Density (29.61 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (29.61 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	752.057
Date/time :	15:53:42	Original range /ms :	-3113.160 ... 10964.145
Duration /ms :	14082.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	2999	Tau1 :	0.03265924
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	62.70080869
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.07912231
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.20648531
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.11639187
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	3.96381228
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.11097654
Atmosphere :	Air	Real int. :	1.08107378
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	4.37463589
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L heatloss + pulse correction	0.995	1.000	1.086		
Diffus. /(mm ² /s)				0.109	1.3811e-003
Heat loss				0.020	1.7681e-003
T infin/a.u.				2.619	
3L adiabatic + pulse corr.	0.991	1.623	1.086		
Diffus. /(mm ² /s)				0.123	1.0040e-003
T infin/a.u.				2.3620	





NETZSCH LFA Analysis : Shot (1) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon desnatada	Remark(mment) :	art cobem
Date/time :	6/1/2009 17:28:19	Cp table :	iogurte_desnatado
Material :	iogurte	Expansion table :	dL_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte desnatada	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (33.21 °C) /(J/g*K) :	0.376	0.376
Density (33.21 °C) /(g/cm ³) :	8.524	8.524
Thermal diffusivity (33.21 °C) /(mm ² /s) :	30.938	30.938
Thickness (33.21 °C) /mm :	0.5101	1.0603

Shot information

Shot :	1 of 3	Remark(shot) :	---
Group :	1 of 3	Thickness (33.21 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	33.21	Cp (33.21 °C) /(J/g*K) :	1.631
Shot type :	Isothermal	Density (33.21 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (33.21 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	983.807
Date/time :	17:42:39	Original range /ms :	-2497.166 ... 7501.500
Duration /ms :	10002.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	3000	Tau1 :	0.03768657
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	5.24809173
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.08764013
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.20029816
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.20815963
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	4.11139187
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.10887833
Atmosphere :	Air	Real int. :	0.99094212
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	4.13016064
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L heatloss + pulse correction	0.995	1.000	1.072		
Diffus./(mm ² /s)				0.198	2.7194e-003
Heat loss				0.004	1.7123e-003
T infin/a.u.				2.754	
3L adiabatic + pulse corr.	0.995	1.020	1.072		
Diffus./(mm ² /s)				0.203	1.2816e-003
T infin/a.u.				2.7010	

NETZSCH LFA Analysis : Shot (2) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon desnatada	Remark(mment) :	art cobem
Date/time :	6/1/2009 17:28:19	Cp table :	iogurte_desnatado
Material :	iogurte	Expansion table :	dL_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte desnatada	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (33.19 °C) /(J/g*K) :	0.376	0.376
Density (33.19 °C) /(g/cm ³) :	8.524	8.524
Thermal diffusivity (33.19 °C) /(mm ² /s) :	30.938	30.938
Thickness (33.19 °C) /mm :	0.5101	1.0603

Shot information

Shot :	2 of 3	Remark(shot) :	---
Group :	2 of 3	Thickness (33.19 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	33.19	Cp (33.19 °C) /(J/g*K) :	1.631
Shot type :	Isothermal	Density (33.19 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	1	Table diffus. (33.19 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	727.890
Date/time :	17:52:42	Original range /ms :	-3018.606 ... 9277.292
Duration /ms :	12300.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	2999	Tau1 :	0.03935251
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	5.22286626
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.08804019
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.19941217
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.21187439
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	4.14868640
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.10672640
Atmosphere :	Air	Real int. :	0.99271501
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	4.18394310
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L adiabatic + pulse corr.	0.996	1.000	1.082		
Diffus./(mm ² /s)				0.243	1.4765e-003
T infin/a.u.				2.4028	
3L heatloss + pulse correction	0.996	1.000	1.082		
Diffus./(mm ² /s)				0.243	1.4715e-003
Heat loss				0.000	0.0000e+000
T infin/a.u.				2.4028	

NETZSCH LFA Analysis : Shot (3) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon desnatada	Remark(mment) :	art cobem
Date/time :	6/1/2009 17:28:19	Cp table :	iogurte_desnatado
Material :	iogurte	Expansion table :	dL_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte desnatada	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

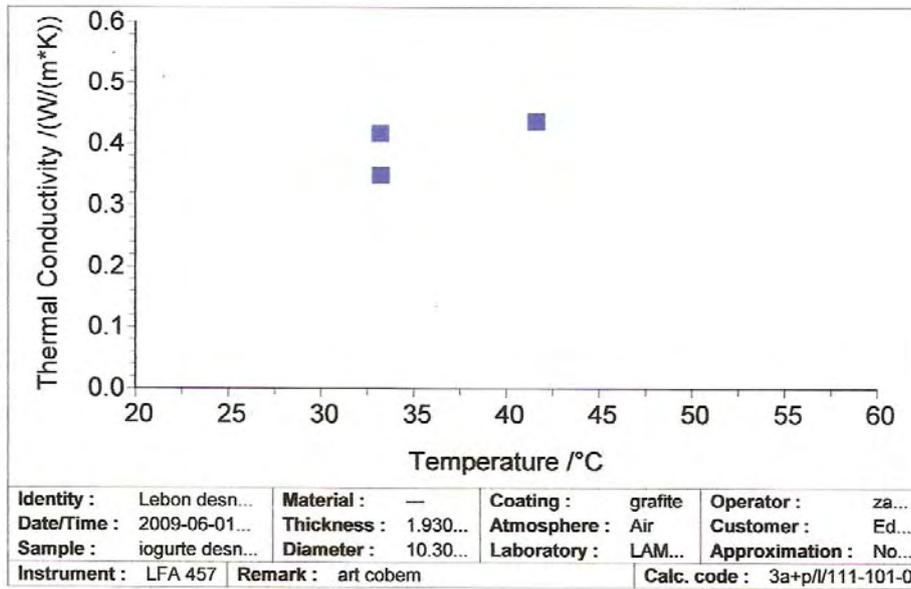
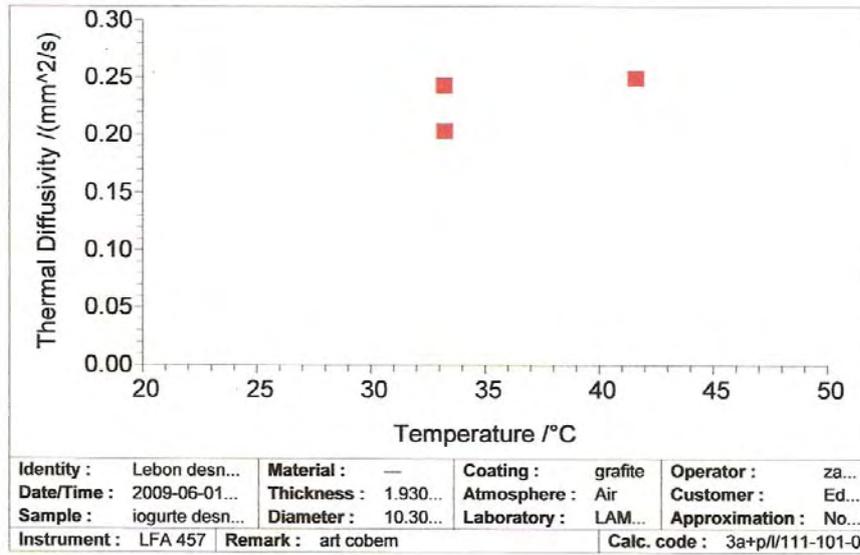
	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (41.59 °C) /(J/g*K) :	0.377	0.377
Density (41.59 °C) /(g/cm ³) :	8.524	8.524
Thermal diffusivity (41.59 °C) /(mm ² /s) :	31.073	31.073
Thickness (41.59 °C) /mm :	0.5101	1.0602

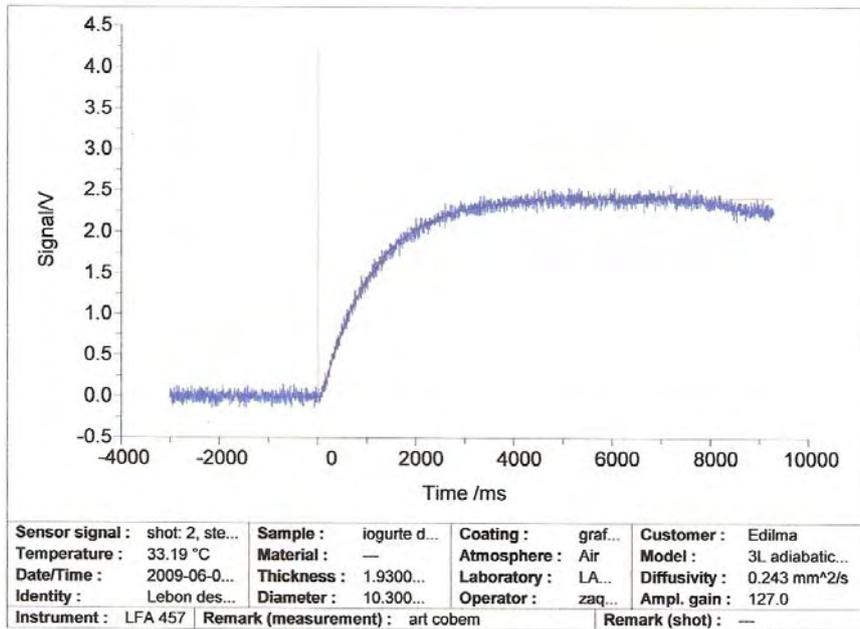
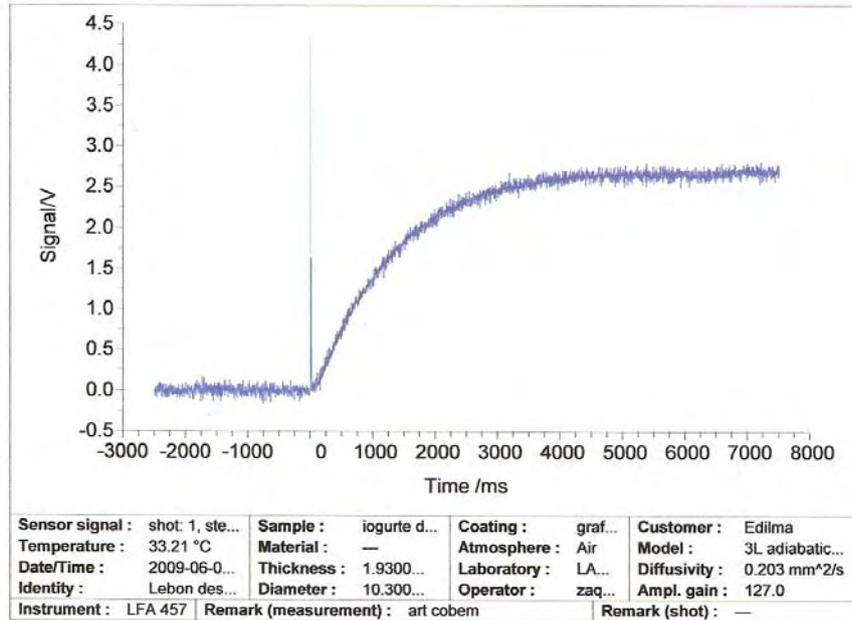
Shot information

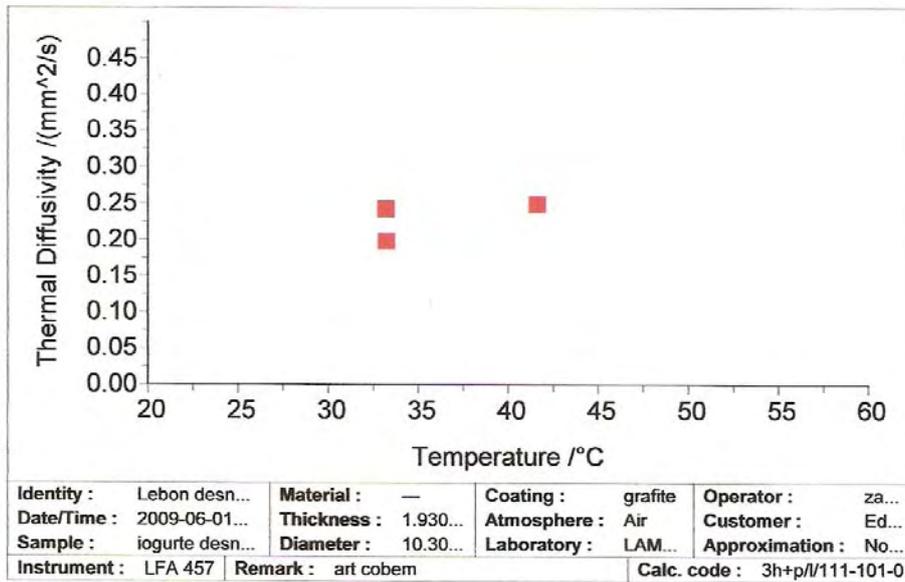
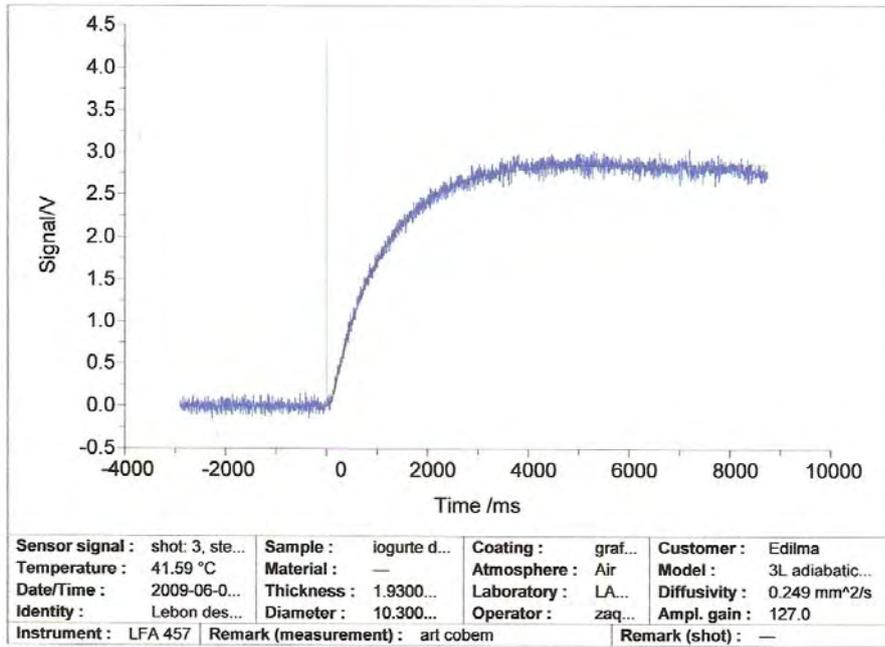
Shot :	3 of 3	Remark(shot) :	---
Group :	3 of 3	Thickness (41.59 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	41.59	Cp (41.59 °C) /(J/g*K) :	1.667
Shot type :	Isothermal	Density (41.59 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (41.59 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	689.748
Date/time :	18:06:10	Original range /ms :	-2907.618 ... 8734.500
Duration /ms :	11646.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	3000	Tau1 :	0.03596631
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	309.73971675
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.08558189
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.20228411
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.18647579
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	3.97451711
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.10902675
Atmosphere :	Air	Real int. :	1.00022753
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	4.19052987
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

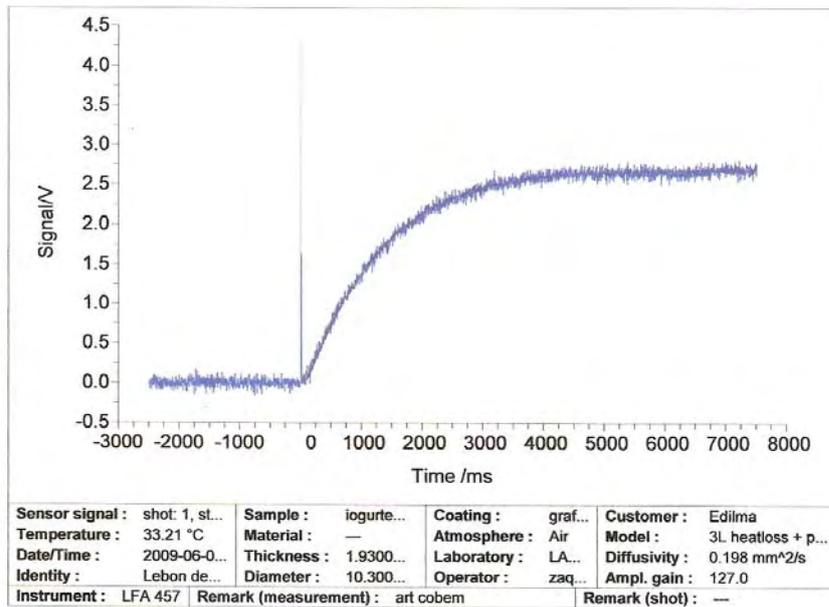
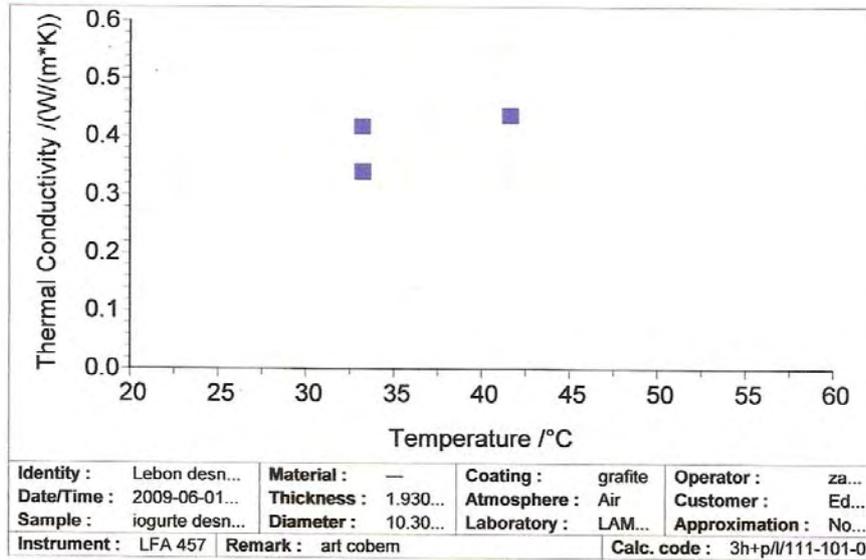
Results

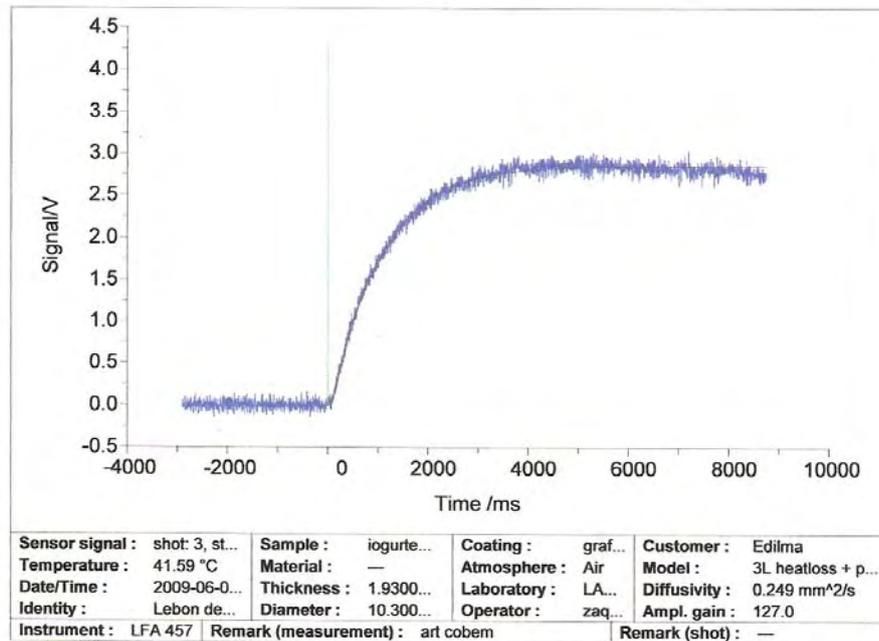
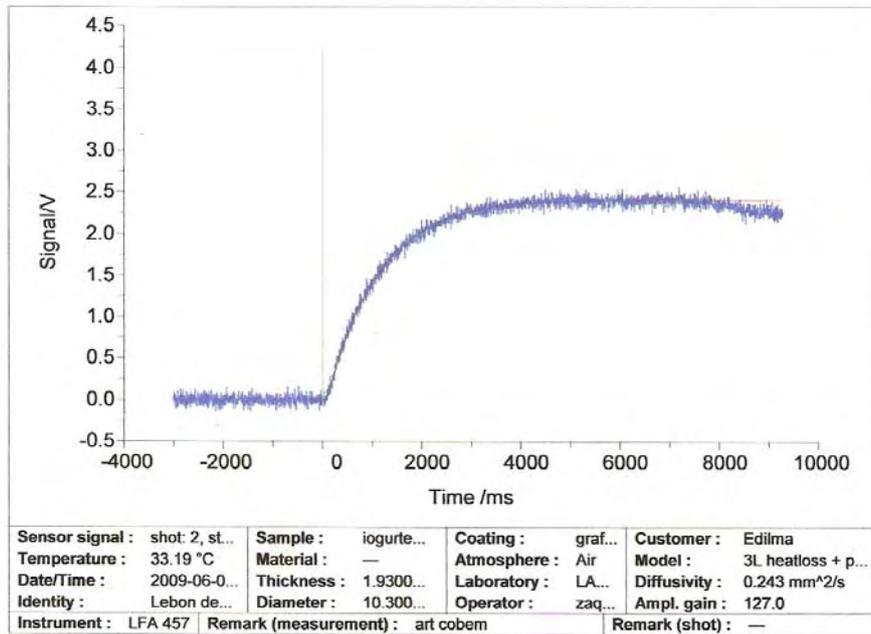
Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L adiabatic + pulse corr.	0.996	1.000	1.081		
Diffus. /(mm ² /s)				0.249	1.4327e-003
T infin/a.u.				2.8493	
3L heatloss + pulse correction	0.996	1.000	1.081		
Diffus. /(mm ² /s)				0.250	1.4181e-003
Heat loss				0.000	0.0000e+000
T infin/a.u.				2.8492	











NETZSCH LFA Analysis : Shot (1) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon desnatado-sem mel	Remark(mment) :	art cobem
Date/time :	6/4/2009 11:09:16	Cp table :	iogurte_desnatado
Material :	iogurte	Expansion table :	dL_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte desnatada-sem mel	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (32.18 °C) /(J/g*K)	0.376	0.376
Density (32.18 °C) /(g/cm ³) :	8.524	8.524
Thermal diffusivity (32.18 °C) /(mm ² /s) :	30.915	30.915
Thickness (32.18 °C) /mm :	0.5101	1.0602

Shot information

Shot :	1 of 4	Remark(shot) :	---
Group :	1 of 4	Thickness (32.18 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	32.18	Cp (32.18 °C) /(J/g*K) :	1.631
Shot type :	Isothermal	Density (32.18 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (32.18 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	1034.659
Date/time :	11:16:16	Original range /ms :	-2500.500 ... 7498.166
Duration /ms :	10002.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	3000	Tau1 :	0.04405081
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	0.76572268
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.07678345
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.21663246
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.09964212
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	4.88520526
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.11062322
Atmosphere :	Air	Real int. :	0.97847185
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	4.85944724
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L heatloss + pulse correction	0.997	1.000	1.072		
Diffus. /(mm ² /s)				0.145	2.1016e-003
Heat loss				0.039	1.9658e-003
T infin/a.u.				3.233	
3L adiabatic + pulse corr.	0.992	2.256	1.072		
Diffus. /(mm ² /s)				0.190	1.4111e-003
T infin/a.u.				2.5668	

NETZSCH LFA Analysis : Shot (2) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon desnatado-sem mel	Remark(mment) :	art cobem
Date/time :	6/4/2009 11:09:16	Cp table :	iogurte_desnatado
Material :	iogurte	Expansion table :	dL_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte desnatada-sem mel	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (31.91 °C) /(J/g*K) :	0.376	0.376
Density (31.91 °C) /(g/cm ³) :	8.524	8.524
Thermal diffusivity (31.91 °C) /(mm ² /s) :	30.908	30.908
Thickness (31.91 °C) /mm :	0.5101	1.0602

Shot information

Shot :	2 of 4	Remark(shot) :	—
Group :	2 of 4	Thickness (31.91 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	31.91	Cp (31.91 °C) /(J/g*K) :	1.631
Shot type :	Isothermal	Density (31.91 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (31.91 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	844.499
Date/time :	11:23:37	Original range /ms :	-3218.067 ... 13330.413
Duration /ms :	16554.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	2999	Tau1 :	0.03347601
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	69.55846664
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.08061935
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.20470052
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.13182302
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	3.98060365
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.11250530
Atmosphere :	Air	Real int. :	0.97776781
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	3.97646681
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L heatloss + pulse correction	0.995	1.000	1.089		
Diffus./(mm ² /s)				0.149	2.4817e-003
Heat loss				0.037	1.9906e-003
T infin/a.u.				2.864	
3L adiabatic + pulse corr.	0.988	2.528	1.089		
Diffus./(mm ² /s)				0.198	2.0626e-003
T infin/a.u.				2.2769	

NETZSCH LFA Analysis : Shot (3) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon desnatado-sem mel	Remark(mment) :	art cobem
Date/time :	6/4/2009 11:09:16	Cp table :	iogurte_desnatado
Material :	iogurte	Expansion table :	dl_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte desnatada-sem mel	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (40.87 °C) /(J/g*K) :	0.377	0.377
Density (40.87 °C) /(g/cm ³) :	8.524	8.524
Thermal diffusivity (40.87 °C) /(mm ² /s) :	31.061	31.061
Thickness (40.87 °C) /mm :	0.5101	1.0602

Shot information

Shot :	3 of 4	Remark(shot) :	—
Group :	3 of 4	Thickness (40.87 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	40.87	Cp (40.87 °C) /(J/g*K) :	1.663
Shot type :	Isothermal	Density (40.87 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (40.87 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	880.218
Date/time :	11:33:53	Original range /ms :	-3080.736 ... 10426.760
Duration /ms :	13512.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	3000	Tau1 :	0.03313207
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	69.96068359
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.08079805
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.20420193
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.13337950
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	3.98009601
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.11138391
Atmosphere :	Air	Real int. :	0.97619188
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	3.97115902
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L heatloss + pulse correction	0.996	1.000	1.078		
Diffus./(mm ² /s)				0.174	2.1141e-003
Heat loss				0.022	1.3169e-003
T infin/a.u.				3.030	
3L adiabatic + pulse corr.	0.991	1.942	1.078		
Diffus./(mm ² /s)				0.209	1.6356e-003
T infin/a.u.				2.6499	

NETZSCH LFA Analysis : Shot (4) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon desnatado-sem mel	Remark(mment) :	art cobem
Date/time :	6/4/2009 11:09:16	Cp table :	iogurte_desnatado
Material :	iogurte	Expansion table :	dl_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte desnatada-sem mel	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

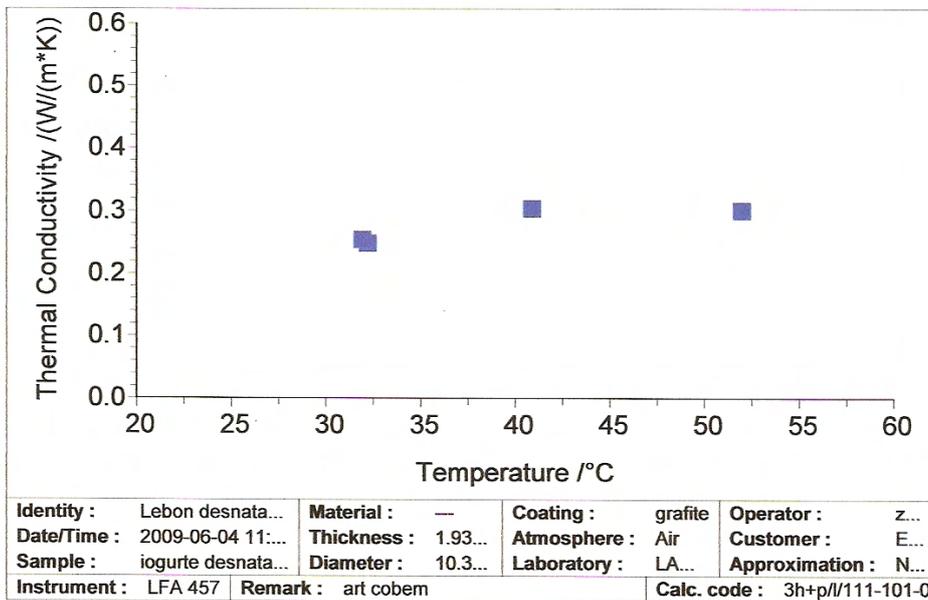
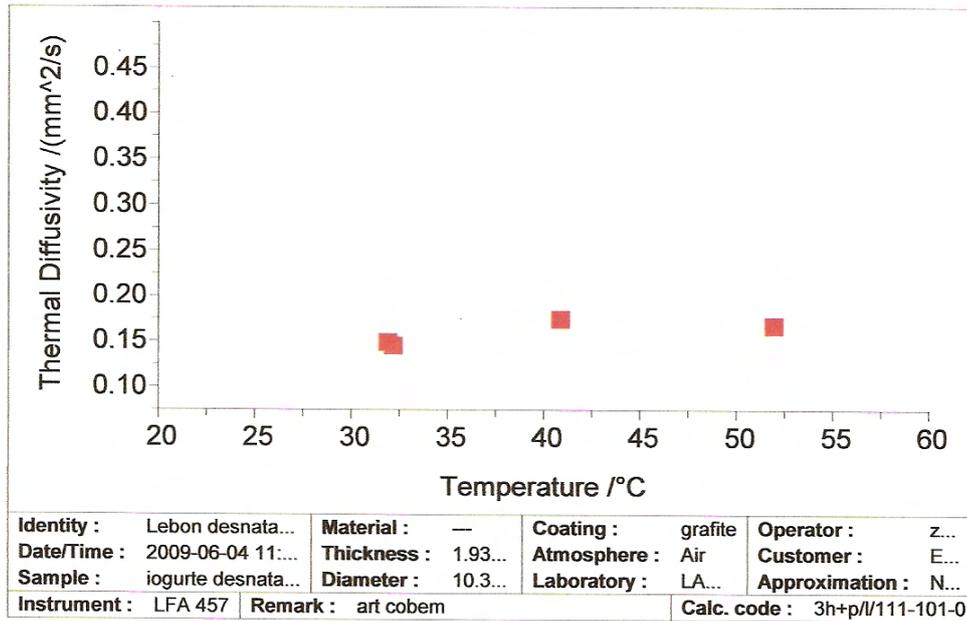
	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (51.95 °C) /(J/g*K) :	0.377	0.377
Density (51.95 °C) /(g/cm ³) :	8.520	8.520
Thermal diffusivity (51.95 °C) /(mm ² /s) :	31.414	31.414
Thickness (51.95 °C) /mm :	0.5102	1.0604

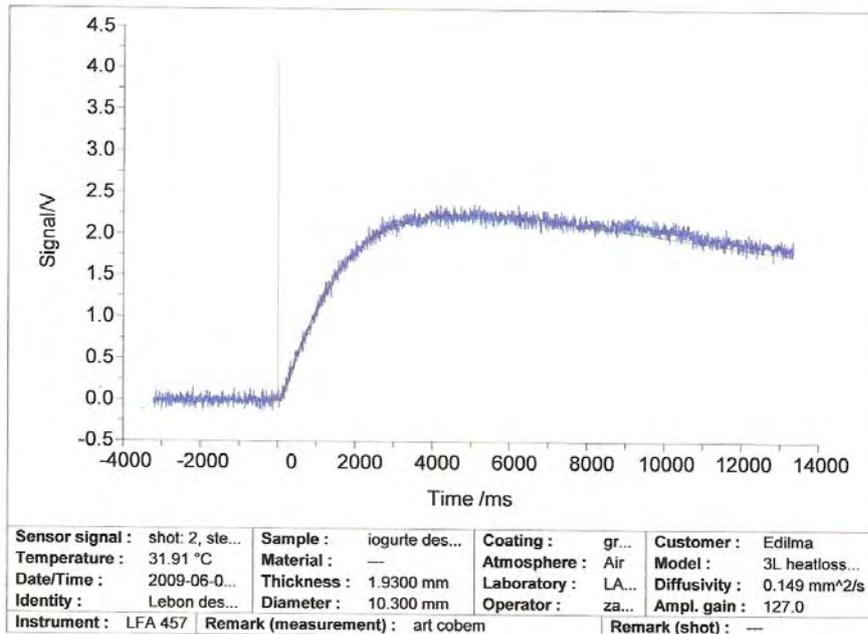
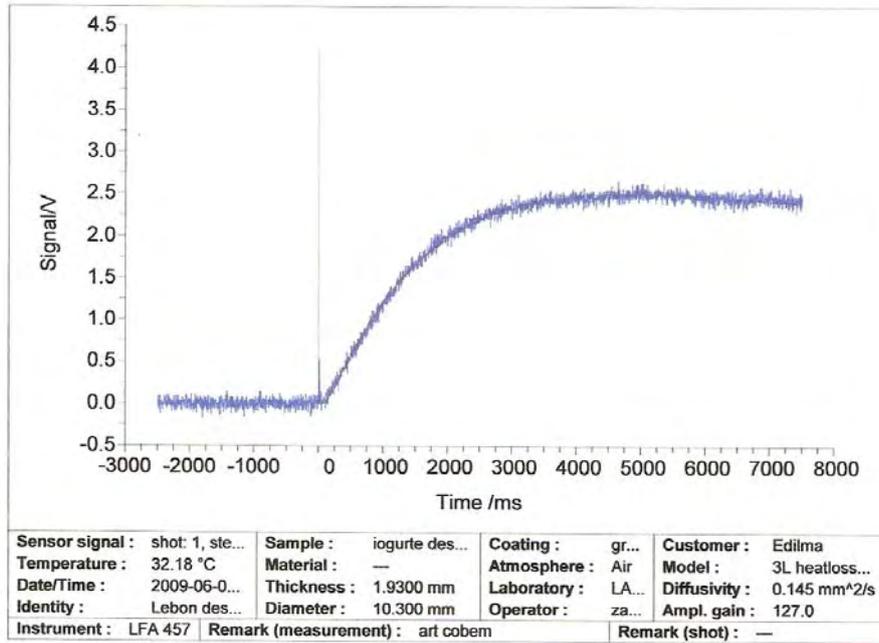
Shot information

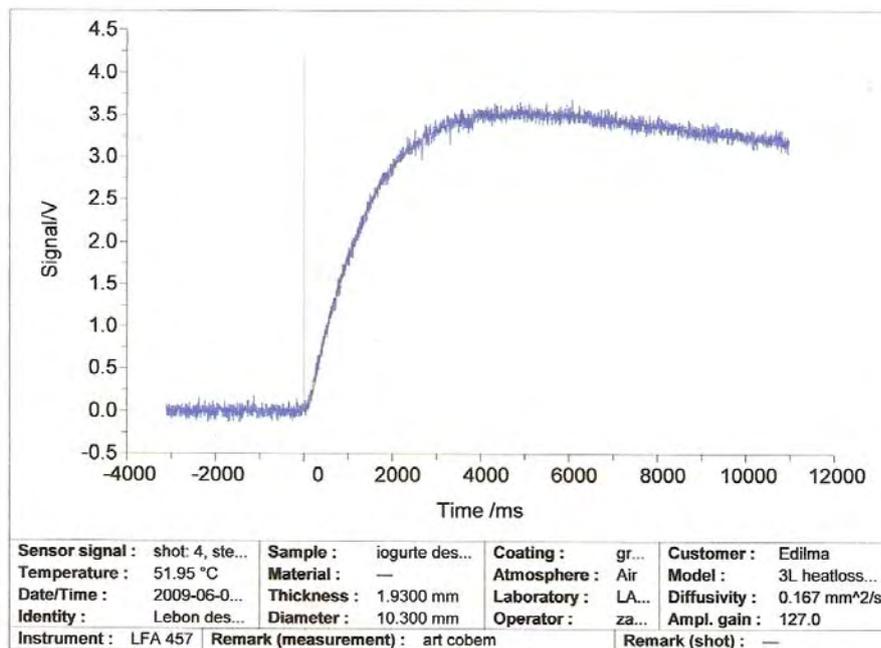
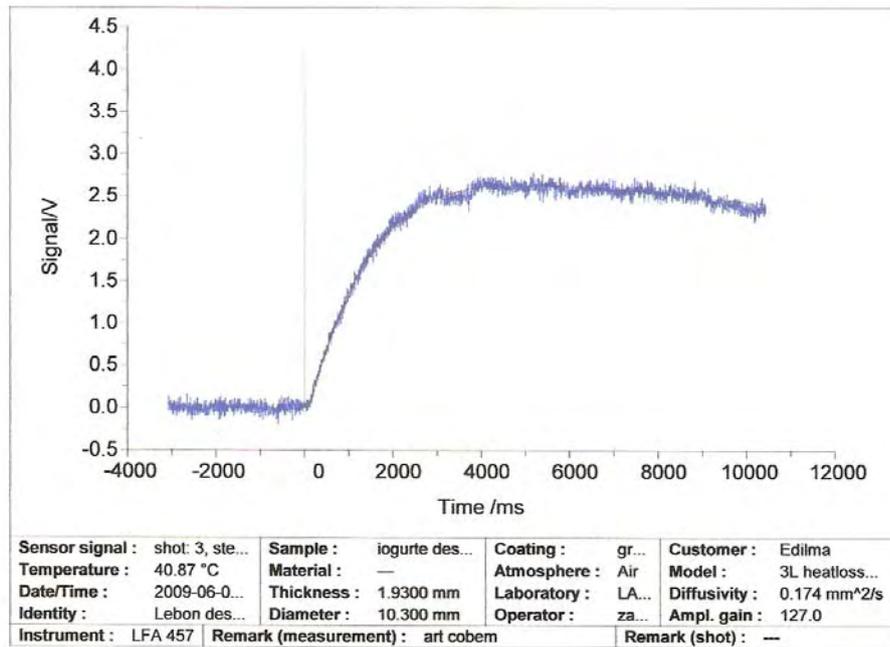
Shot :	4 of 4	Remark(shot) :	---
Group :	4 of 4	Thickness (51.95 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	51.95	Cp (51.95 °C) /(J/g*K) :	1.716
Shot type :	Isothermal	Density (51.95 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (51.95 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	872.320
Date/time :	11:49:20	Original range /ms :	-3113.160 ... 10964.145
Duration /ms :	14082.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	2999	Tau1 :	0.03489416
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	81.00599411
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.08220289
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.20373922
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.14907244
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	3.99260678
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.11175191
Atmosphere :	Air	Real int. :	0.97614690
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	3.98645674
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

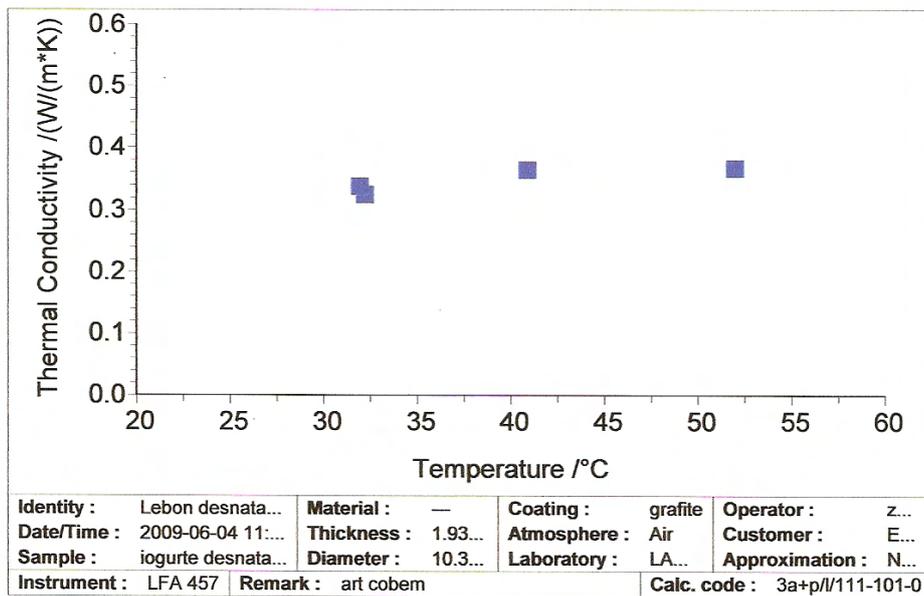
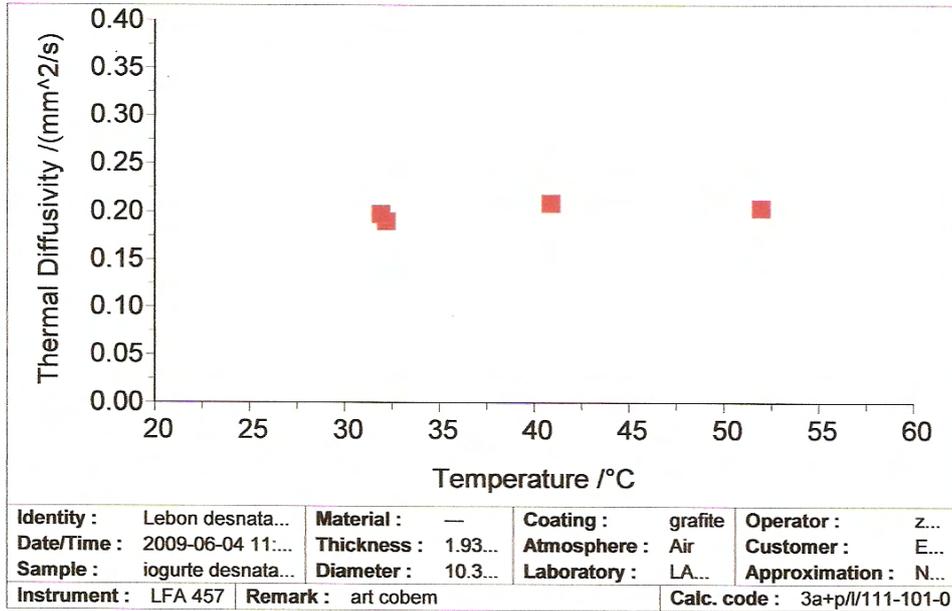
Results

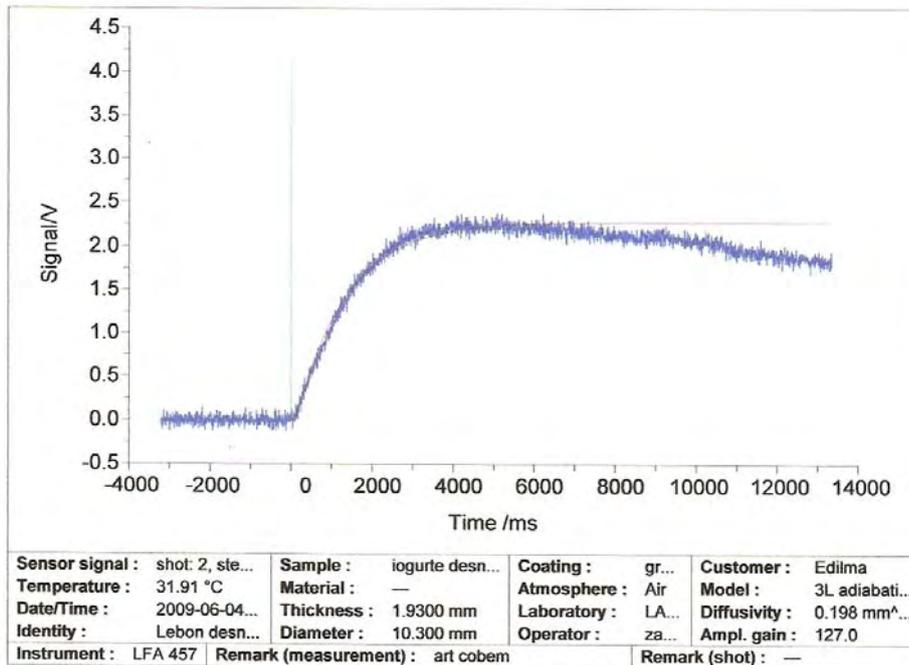
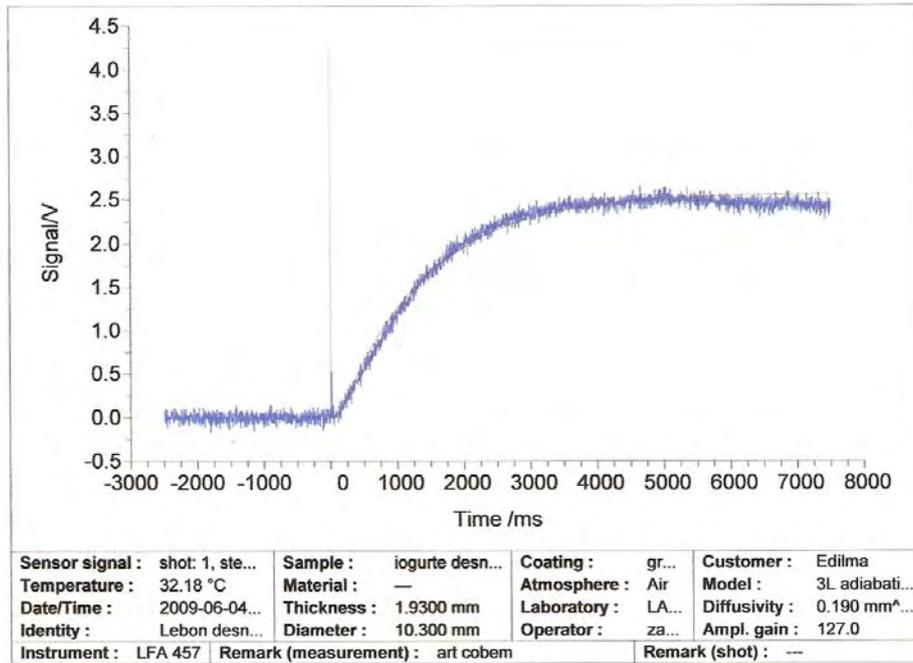
Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L heatloss + pulse correction	0.998	1.000	1.080		
Diffus./(mm ² /s)				0.167	1.4996e-003
Heat loss				0.025	9.9940e-004
T infin/a.u.				4.121	
3L adiabatic + pulse corr.	0.993	3.432	1.080		
Diffus./(mm ² /s)				0.204	1.4389e-003
T infin/a.u.				3.5504	

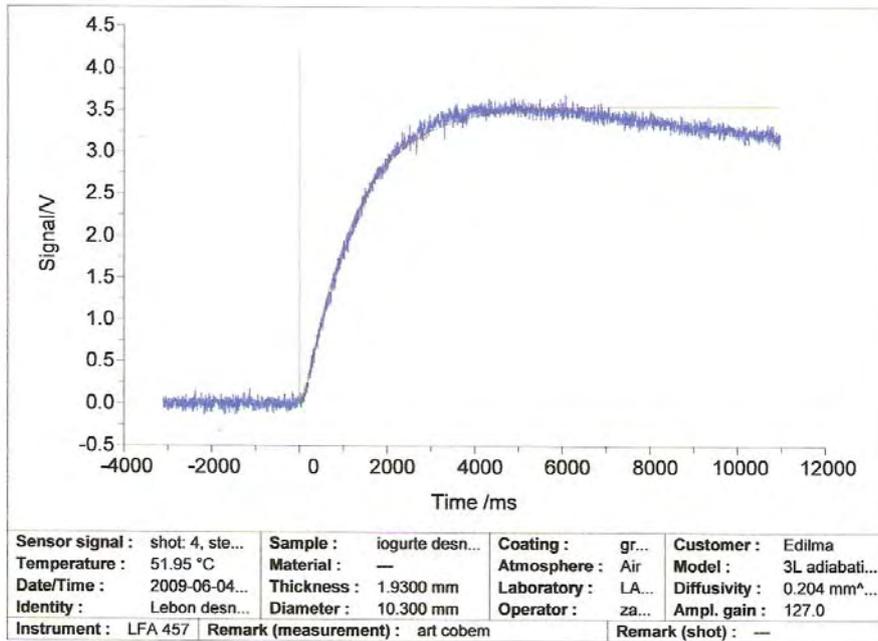
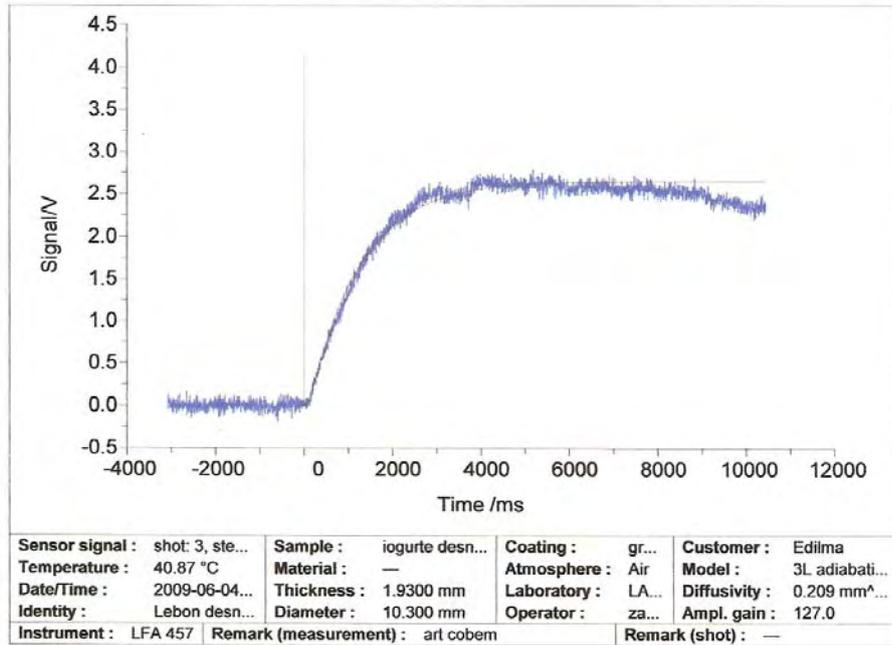












NETZSCH LFA Analysis : Shot (1) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon natural	Remark(mment) :	art cobem
Date/time :	6/1/2009 15:04:21	Cp table :	logurte_natural
Material :	iogurte	Expansion table :	dL_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte natural	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (34.42 °C) /(J/g*K)	0.376	0.376
Density (34.42 °C) /(g/cm ³) :	8.524	8.524
Thermal diffusivity (34.42 °C) /(mm ² /s) :	30.962	30.962
Thickness (34.42 °C) /mm :	0.5101	1.0603

Shot information

Shot :	1 of 3	Remark(shot) :	--
Group :	1 of 3	Thickness (34.42 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	34.42	Cp (34.42 °C) /(J/g*K) :	1.611
Shot type :	Isothermal	Density (34.42 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (34.42 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	879.996
Date/time :	15:31:20	Original range /ms :	-2497.166 ... 7501.500
Duration /ms :	10002.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	3000	Tau1 :	0.03308757
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	69.73722515
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.08059814
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.20473287
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.13161150
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	3.97416468
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.11070096
Atmosphere :	Air	Real int. :	1.07534807
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	4.36769642
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L heatloss + pulse correction	0.997	1.000	1.072		
Diffus./(mm ² /s)				0.188	2.0783e-003
Heat loss				0.023	1.4246e-003
T infin/a.u.				3.402	
3L adiabatic + pulse corr.	0.994	1.770	1.072		
Diffus./(mm ² /s)				0.220	1.3626e-003
T infin/a.u.				3.0122	

NETZSCH LFA Analysis : Shot (2) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon natural	Remark(mment) :	art cobem
Date/time :	6/1/2009 15:04:21	Cp table :	logurte_natural
Material :	iogurte	Expansion table :	dL_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte natural	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (29.61 °C) /(J/g*K) :	0.375	0.375
Density (29.61 °C) /(g/cm ³) :	8.524	8.524
Thermal diffusivity (29.61 °C) /(mm ² /s) :	30.842	30.842
Thickness (29.61 °C) /mm :	0.5101	1.0602

Shot information

Shot :	2 of 3	Remark(shot) :	---
Group :	2 of 3	Thickness (29.61 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	29.61	Cp (29.61 °C) /(J/g*K) :	1.586
Shot type :	Isothermal	Density (29.61 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (29.61 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	752.057
Date/time :	15:53:42	Original range /ms :	-3113.160 ... 10964.145
Duration /ms :	14082.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	2999	Tau1 :	0.03265924
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	62.70080869
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.07912231
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.20648531
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.11639187
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	3.96381228
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.11097654
Atmosphere :	Air	Real int. :	1.08107378
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	4.37463589
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L heatloss + pulse correction	0.995	1.000	1.086		
Diffus./(mm ² /s)				0.183	2.8289e-003
Heat loss				0.035	2.0333e-003
T infin/a.u.				2.888	
3L adiabatic + pulse corr.	0.990	2.203	1.086		
Diffus./(mm ² /s)				0.233	2.2267e-003
T infin/a.u.				2.3836	

NETZSCH LFA Analysis : Shot (3) Data

General information

Database :	edilma.mdb	Operator :	zaqueu
Instrument :	LFA 457	Customer :	Edilma
Identity :	Lebon natural	Remark(mment) :	art cobem
Date/time :	6/1/2009 15:04:21	Cp table :	logurte_natural
Material :	iogurte	Expansion table :	dL_const
Ref. density (20.00 °C) /(g/cm ³) :	1.050	Diffusivity table :	undefined
Sample :	iogurte natural	Temp. recalib. file :	Tcalzero.tcx
Type :	Triple layer	Purge gas :	not used
Unknown layer :	middle (2)	Furnace :	LFA 457 Medium Rg
Coating :	grafite	Sample holder :	unknown
Thickness (RT) /mm :	1.9300 (0.5100+0.3600+1.0600)	Laser :	LFA 457 Laser
Diameter /mm :	10.300	Centering cone :	Std SiC 12.7mm
Sensor :	InSb	Center cone ratio :	0.70
Beam enlargement : /mm	12.7	Furnace TC :	S
Laser filter : /%	100.0	Sample TC :	S
Atmosphere :	Air	Sample Xp / Tn :	3.00 / 0.64
Gas flow : /(ml/min)	0.00	Furnace Xp / Tn :	3.56 / 0.48
Laboratory :	LAMETER		

Known layers

	bottom (1)	top (3)
Material :	Latao	Latao
Ref. temperature /°C	20.00	20.00
Ref. density /(g/cm ³)	8.530	8.530
Cp table :	Latao	Latao
Thermal expansion table :	Latao	Latao
Thermal diffusivity table :	Latao	Latao
Cp (51.09 °C) /(J/g*K) :	0.377	0.377
Density (51.09 °C) /(g/cm ³) :	8.520	8.520
Thermal diffusivity (51.09 °C) /(mm ² /s) :	31.370	31.370
Thickness (51.09 °C) /mm :	0.5102	1.0604

Shot information

Shot :	3 of 3	Remark(shot) :	---
Group :	3 of 3	Thickness (51.09 °C) /mm :	0.3600
Sample temperature /°C :	51.09	Cp (51.09 °C) /(J/g*K) :	1.574
Shot type :	Isothermal	Density (51.09 °C) /(g/cm ³) :	1.050
Retries :	0	Table diffus. (51.09 °C) /(mm ² /s) :	undefined
HR /(K/min) :	1.0	Half time /ms :	744.964
Date/time :	16:11:35	Original range /ms :	-2995.470 ... 9030.520
Duration /ms :	12030.0	Calculation limits /ms :	no limits
No. of points :	3000	Tau1 :	0.03324065
Laser voltage /V :	2690.0	Tau2 :	88.92924589
Laser pulse width /ms :	0.50	Tau3 :	0.08119248
Ampl. gain :	127.0	Time end :	0.20441656
Analog filter /ms :	0.1270	Time final :	1.13813008
Orifice position :	15	Inv. Integr. :	3.97050021
Orifice area /mm ² :	78.540	Delay :	0.11250974
Atmosphere :	Air	Real int. :	1.14342120
Gas flow /(ml/min) :	0.00	Pulse max. :	4.63938968
Pressure /mbar :	unknown	Baseline :	Linear

Results

Model	Corr.-Coeff.	Fexp	F-crit(0.95)	Parameter	Std.Dev.
3L heatloss + pulse correction	0.998	1.000	1.080		
Diffus./(mm ² /s)				0.213	1.7841e-003
Heat loss				0.019	1.0558e-003
T infin/a.u.				4.419	
3L adiabatic + pulse corr.	0.996	2.160	1.080		
Diffus./(mm ² /s)				0.244	1.2951e-003
T infin/a.u.				4.0028	

