

MEDIÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA E DO CALOR ESPECÍFICO DE MATERIAIS ISOLANTES

Vicente de Paulo Nicolau

Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas
Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
88010-970 – Florianópolis – SC - Brasil
vicente@lmpt.ufsc.br

Saulo Güths

saulo@lmpt.ufsc.br

Marcel Gava da Silva

marcel@lmpt.ufsc.br

***Resumo.** Um dispositivo experimental, bem como uma metodologia própria são desenvolvidos para a determinação simultânea das propriedades condutividade térmica e calor específico de materiais isolantes. O dispositivo é baseado na utilização de fluxímetros a gradientes tangenciais e aplica-se a amostras planas de formato quadrado. A metodologia consiste no aquecimento de uma das superfícies da amostra através de uma taxa constante, enquanto que a outra superfície é mantida à temperatura constante através do contato com uma placa refrigerada a água. O conjunto parte de uma condição inicial de temperatura uniforme e avança até a condição final de regime permanente, com gradiente de temperatura uniforme sobre o corpo de prova. No instante final, de regime permanente, é calculada a condutividade térmica. O calor específico é calculado à partir da variação de temperatura sofrida pelo corpo de prova e da quantidade de calor absorvida, obtida dos valores de fluxos instantâneos acusados pelos fluxímetros. Um programa de simulação é desenvolvido para avaliação dos procedimentos de medição e dos erros envolvidos no processo. Alguns resultados de medições são apresentados no artigo, sendo descrita toda a metodologia de cálculo utilizada, como também o procedimento de medição.*

***Palavras chave:** condutividade térmica, calor específico, isolante térmico, propriedade termofísica, fluxímetro.*

1. Introdução

A necessidade do conhecimento das propriedades dos materiais diversos, de uso corrente em construção civil ou mecânica, tem motivado o desenvolvimento de diversos métodos de medição e a produção dos respectivos equipamentos. O conhecimento das propriedades é determinante tanto para o engenheiro ou para o técnico que aplica diretamente o material, como também para técnicos, engenheiros ou pesquisadores atuantes na área de simulação numérica, com vistas a obter maior confiabilidade sobre o resultado almejado. Os valores das propriedades podem ser obtidos de manuais ou livros técnicos, mas existe sempre uma limitação quanto ao tipo de material, composição, entre outras informações. Adicionalmente muitos materiais novos têm sido utilizados no dia a dia, existindo uma grande dificuldade em situá-los, considerando o aspecto de propriedades. Esta crescente necessidade tem levado os laboratórios a se equiparem com equipamentos de medição, bem como a desenvolverem novos equipamentos e métodos de medição. Apesar dos fenômenos físicos envolvidos serem simples e de fácil compreensão, não existe um equipamento de uso universal na determinação de uma propriedade para os diversos materiais existentes. Assim, diferentes métodos são utilizados, com diferentes concepções de equipamentos, cada qual tendo um campo de medição característico, definido pelo tipo de material como isolante, condutor ou material intermediário. A crescente demanda por valores de propriedades, mesmo aproximados, pode ser resolvida adotando-se métodos mais simples e rápidos, deixando-se as medições mais precisas para laboratórios de referência. Deste modo, ao lado de métodos padrões como o método da placa quente protegida, que é um método primário, pode-se ter métodos secundários, como os fluximétricos, para as medições mais frequentes.

Alguns métodos de medição são consagrados e normalizados, tal como o de medição da condutividade térmica, seguindo as normas: ISO/DP 8302 (1991), BS 874 (1986), ASTM C-177 (1997) e AFNOR (1972). Trata-se do método da placa quente protegida, um método primário, que utiliza duas amostras planas, para o caso da montagem simétrica, ou apenas uma amostra, para a montagem assimétrica. A medição ocorre em regime permanente, implicando num tempo de execução bastante longo, para o caso de placas de grande inércia. Métodos fluximétricos também são normalizados, citando dentre outras as seguintes normas: ISO 8301 (1991), ASTM C518 (1976), BSI BS 874 (1973). No Brasil, os métodos acima constam, respectivamente, dos seguintes projetos de norma: ABNT 02:135.07-004 (1998) e ABNT 02:135.07-005 (1998).

Programas comparativos têm sido realizados, com vistas a colocar em discussão os métodos, os equipamentos e os procedimentos de medição, face à grande difusão dos mesmos em laboratórios de universidades, laboratórios governamentais, ou mesmo nas indústrias. Cita-se o caso descrito em Salmon e Tye (2000), que relata a campanha desenvolvida no Reino Unido e na Irlanda, com vistas à comparação de resultados obtidos com medições de condutividade térmica de materiais isolantes através do método fluximétrico, utilizando nada menos que 17 diferentes equipamentos. Uma revisão dos métodos transientes é feita por Mathis (2000), comparando métodos como o método do fio ou da sonda aquecida, o método flash e o método da sonda plana transiente, os quais podem servir à medição da condutividade térmica, da difusividade térmica e do calor específico.

O presente método foi testado por Güths (1990), com a utilização de fluxímetros de maior espessura, gerando grandes perdas laterais no conjunto. Outros métodos foram ainda implementados, mas com uma maior complexidade operacional e de equacionamento (Guimarães, 1993). Com a fabricação de fluxímetros e resistências de aquecimento de pequena espessura e baixa inércia, retoma-se o estudo, com o objetivo de se obter um método simples e rápido, para a medição simultânea de duas propriedades.

2. Descrição do equipamento

A medição da condutividade térmica e do calor específico é feita através de um equipamento constituído de uma resistência de aquecimento plana, de um fluxímetro, da amostra a ensaiar, de um segundo fluxímetro e de uma placa fria (Fig. 1), sendo o equipamento fabricado e montado no próprio laboratório. Os fluxímetros são bastante finos, com uma espessura em torno de 1,0 mm, e são construídos com base na técnica de circuito impresso. São chamados de fluxímetros a gradiente tangencial, uma vez que a passagem de calor através dos mesmos gera uma diferença de temperatura que aciona vários termopares tipo cobre-constantan, dispostos de forma tangencial ao sensor (Güths, 1994). Um termopar, também de cobre-constantan, é montado junto à superfície de sensor, de modo a ficar próximo ao contato com a superfície da amostra. O conjunto é aquecido por uma resistência aquecedora em forma de filme, a partir de um filme de kapton revestido de constantan. A amostra tem o formato plano, quadrado, com 10 cm de lado. A espessura é variável, dentro dos limites de medição do equipamento, ou seja, recomenda-se uma espessura de até 15 mm, pois maiores espessuras acarretam maiores perdas laterais de calor e, por consequência, maiores erros de medição. Uma placa refrigerada a água mantida à temperatura ambiente, que define também a temperatura inicial do experimento, forma a base do conjunto e serve como sumidouro de calor. Todo este conjunto é isolado do ambiente, através da colocação de um isolante térmico comum como poliuretano expandido ou fibra cerâmica.

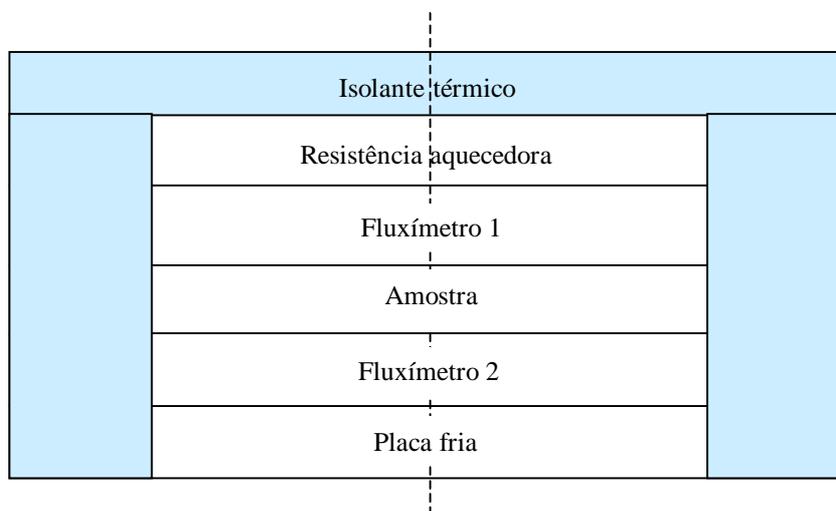


Figura 1. Montagem para a medição do calor específico e da condutividade térmica.

3. Processo de medição e modelo

O processo de medição consiste em partir da situação de uma temperatura inicial uniforme (T_1), igual à temperatura ambiente, fornecendo-se calor a uma taxa constante na resistência aquecedora e deixando o sistema finalmente atingir o regime permanente. Neste caso um gradiente linear se estabelece na amostra, com temperatura T_1 na superfície superior e T_2 , na superfície inferior. Anotando-se todo o fluxo de calor que entra pelo fluxímetro superior e o que sai pelo fluxímetro inferior, pode-se obter a diferença entre os dois, a qual representa a taxa de armazenamento de energia no interior da amostra. Integrando-se ao longo do tempo, tem-se a quantidade de calor armazenada, expressa pelos somatórios da Eq. (1), onde Δt representa o intervalo de tempo na aquisição dos dados de temperatura e de fluxo de calor. A Eq. (1) é, portanto, usada para o cálculo do calor específico da amostra, c_p . Esta possui uma massa específica ρ , determinada por pesagem, uma espessura L e uma área transversal A .

$$c_p = \frac{1}{\rho LA} \left(\sum_{i=1}^n q_1 - \sum_{i=1}^n q_2 \right) \cdot \Delta t / \left(\frac{(T_1 + T_2)}{2} - T_i \right); \quad (1)$$

A condutividade térmica da amostra é obtida na situação de regime permanente, como também ocorre no uso do método da placa quente protegida, seguindo o modelo dado pela Eq. (2). Esta equação é o resultado da aplicação da equação de Fourier ao problema de condução unidimensional, em regime permanente, em um meio plano. A variável k representa a condutividade térmica, q_1 e q_2 são, respectivamente os fluxos (em Watts), nos fluxímetros superior e inferior à amostra, medidos no final do experimento.

$$k = \frac{1}{2} (q_1 + q_2) \frac{L}{A \cdot \Delta T} \quad (2)$$

4. Simulação do experimento

O método de medição em discussão apresenta algumas dificuldades inerentes a qualquer processo de medição similar, como a influência das resistências de contato entre os fluxímetros e a amostra, a dificuldade em se medir as temperaturas superficiais da amostra, a necessidade de calibração dos fluxímetros, entre outras. Entretanto a maior dificuldade provém das fugas laterais de calor que se verifica na amostra e que se torna responsável pela diferença entre os fluxos medidos pelos fluxímetros superior e inferior. Esta diferença de fluxos não é tão importante no processo de medição da condutividade térmica, mas no caso da medição do calor específico significa que um valor definido não é encontrado, pois sempre está ocorrendo uma entrada maior do que a saída de calor da amostra, descontando-se a taxa de armazenamento, por causa das perdas laterais. Para reduzir o efeito destas perdas, correções tornam-se necessárias, sabendo-se que estas devem depender da espessura da amostra utilizada.

Com o intuito de conhecer melhor o problema foi elaborado um programa de simulação do experimento, feito em linguagem Fortran, contando com 179 equações de balanço de calor, em diferenças finitas, sendo uma equação para cada volume elementar típico adotado. Apesar de um longo tempo de cálculo, preferiu-se usar o método explícito, pela facilidade de montagem das equações. Este programa permite estabelecer os perfis de temperatura de cada elemento ao longo do ciclo de medição simulado. Permite também calcular os fluxos de calor entre os diversos elementos como fluxímetros e amostra ou amostra e isolante lateral, de modo a se quantificar estes fluxos, permitindo uma análise das suas reais importâncias.

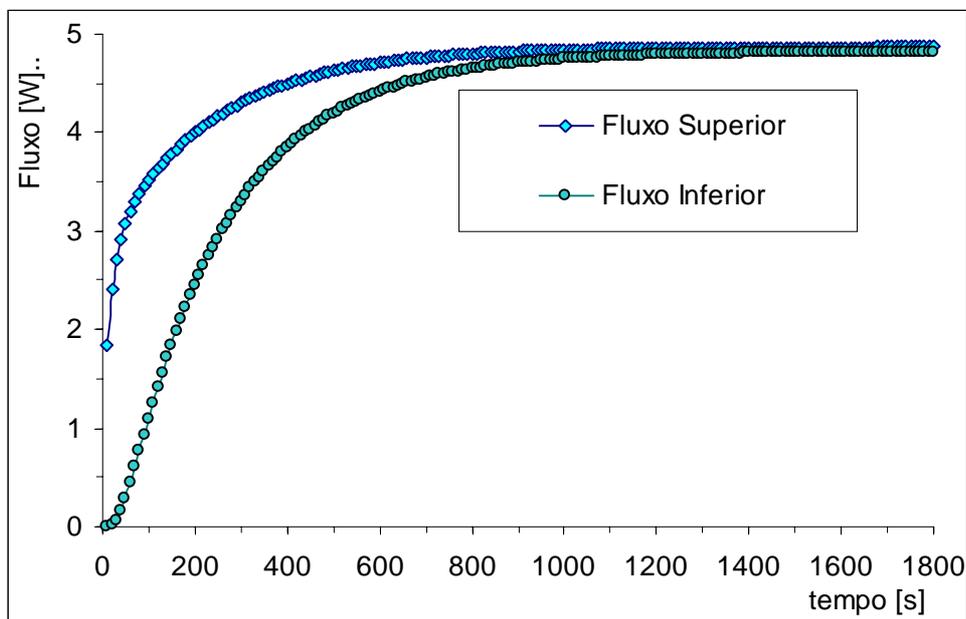


Figura 2 – Fluxos superior (1) e inferior (2), simulados para uma amostra de nylon de 6,2 mm de espessura.

As Fig. 2 e 3 mostram os fluxos de calor simulados nas faces superior e inferior da amostra, respectivamente para amostras de 6,2 mm e 15,3 mm de espessura. Os fluxos são crescentes a partir da condição inicial de fluxos nulos, com a aplicação de uma potência constante à resistência aquecedora. Esta potência é mantida durante todo o experimento, até que o mesmo atinja a condição de regime permanente. Nota-se que o fluxo superior cresce rapidamente, na medida em que a resistência aquecedora e o fluxímetro superior absorvem pouco calor. A amostra também vai sendo aquecida e após um certo tempo o fluxo torna-se constante. No fluxímetro inferior o processo é mais lento, uma vez que a amostra deve ser aquecida antes de permitir a passagem da totalidade da potência. Após um certo tempo, as duas curvas tendem

a se encontrar, enquanto tendem à posição horizontal, de fluxo constante. Este encontro ocorre de uma forma mais aproximada para uma menor espessura, como mostrado na Fig. 2. Na Fig. 3 as curvas atingem a inclinação nula, mas existe uma diferença entre as duas, que manter-se-á ao longo do tempo, na situação de regime permanente. Esta diferença representa as fugas laterais que ocorrem na amostra, que logicamente, são maiores para amostras mais espessas. A área existente entre as duas curvas representa a energia absorvida pela amostra ao longo do processo de medição e será usada no cálculo do calor específico, conforme a Eq. (1).

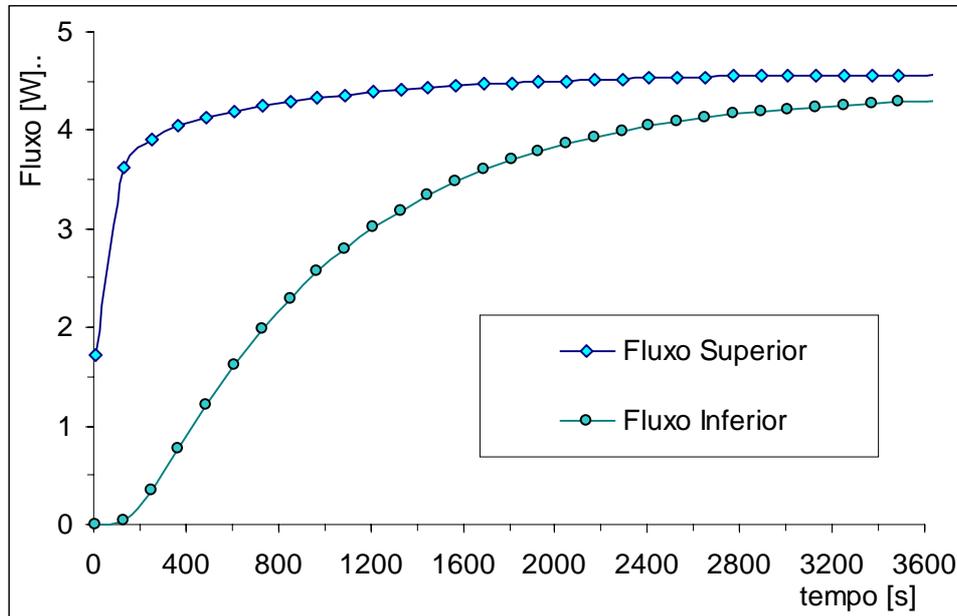


Figura 3 – Fluxos superior(1) e inferior(2), simulados para uma amostra de nylon de 15,3 mm de espessura.

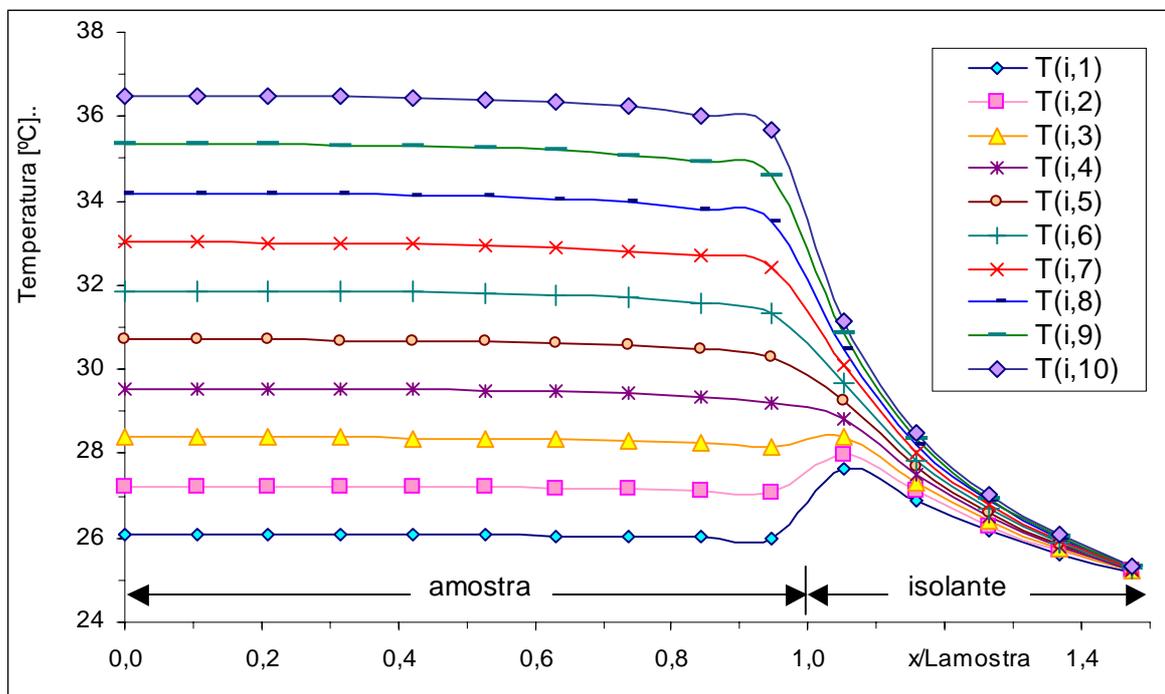


Figura 4 – Distribuições de temperatura em planos paralelos às faces da amostra de 6,2 mm e do isolante lateral.

Na Fig. 4 são apresentadas as distribuições de temperatura em planos paralelos às faces da amostra e do isolante lateral, para uma espessura da amostra de 6,2 mm, ao final do processo de medição. Na face inferior, de menor temperatura, T(i,1), tem-se praticamente uma isoterma sobre toda a face. Em função da simetria do problema está sendo representada apenas a metade da amostra, sendo o ponto de coordenada nula o centro da mesma. Na face superior, mais aquecida, com T(i,10), as temperaturas sofrem uma redução do centro para a periferia, indicando a existência de um fluxo de calor lateral. No isolante lateral as temperaturas caem bruscamente na parte superior, enquanto que na parte

inferior ocorre um acréscimo. Este acréscimo ocorre em função da presença da placa fria apenas sob a amostra, que atua como sumidouro para o próprio calor que se desloca no interior do isolante lateral. Assim, parte do calor dissipado pela lateral da amostra na parte intermediária é atraída para a placa fria. Pode-se dizer que a parte que retorna pela amostra compensa uma pequena parcela da perda lateral, pois será contabilizada no fluxímetro inferior.

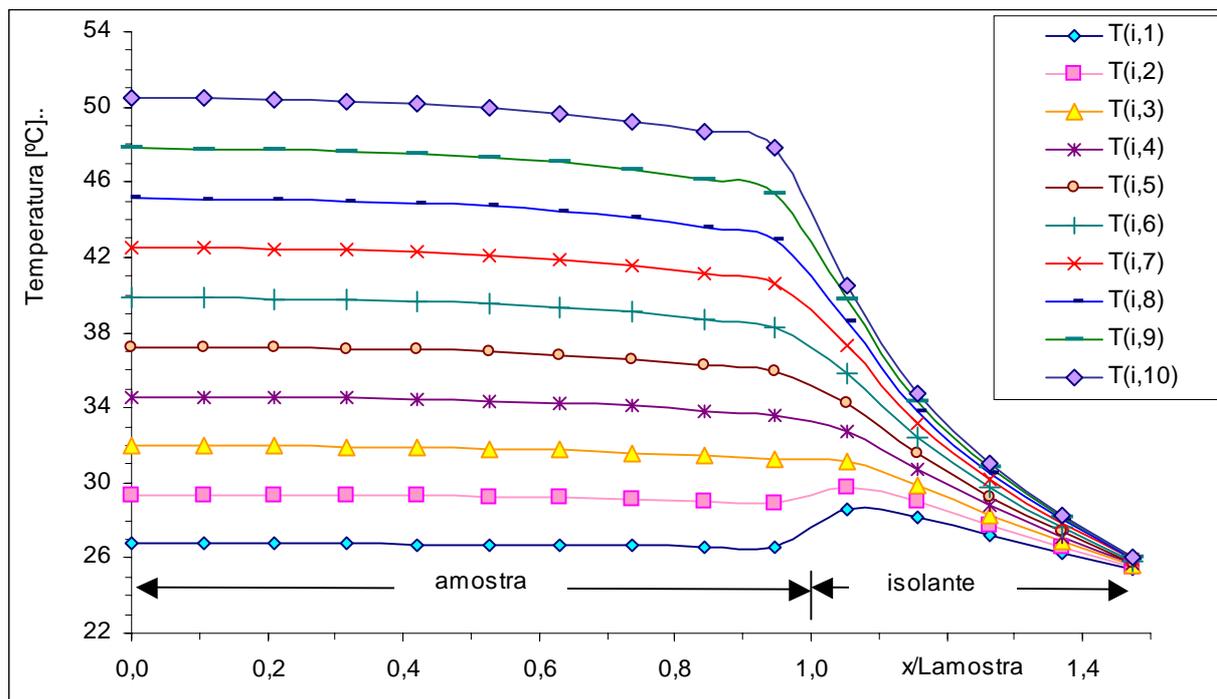


Figura 5 – Distribuições de temperatura em planos paralelos às faces da amostra de 15,3 mm e do isolante lateral.

Um comportamento semelhante ao da Fig. 4, para amostra de 6,2 mm, é observado para a amostra de 15,3 mm, na Fig. 5. Entretanto um gradiente maior de temperatura é observado na superfície superior, indicando a presença de maiores perdas laterais na situação de regime permanente, para a qual a figura foi traçada.

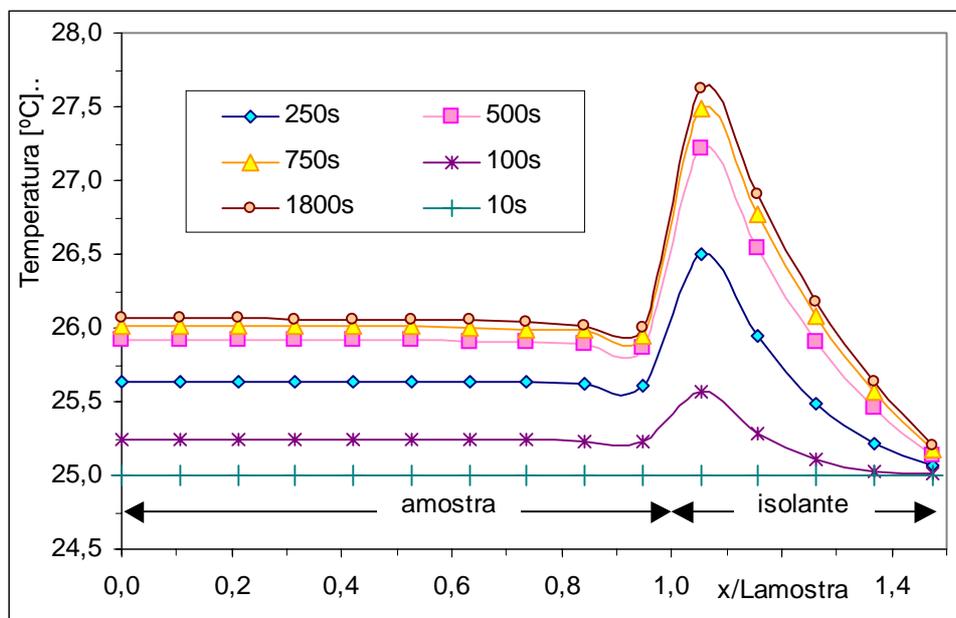


Figura 6 – Distribuições de temperatura na face inferior da amostra de 6,2 mm e do isolante lateral.

Na Fig. 6 são apresentados os resultados da simulação da distribuição de temperatura na face inferior da amostra de 6,2 mm e do isolante lateral ao longo do mesmo plano. As curvas mostram a evolução ao longo do tempo, iniciando-se com a temperatura de 25 °C, tomada como condição inicial. Na superfície inferior da amostra as temperaturas evoluem uniformemente, aumentando para um valor próximo a 26 °C, enquanto que no isolante este aumento é maior, mas

restrito aos valores mostrados nas figuras anteriores (em torno de 1,5 °C). Este efeito ocorre em função do escoamento de calor em direção à placa fria, proveniente da lateral intermediária da mesma.

Na Fig. 7 têm-se as distribuições de temperatura na face superior da amostra em função do tempo. Observa-se que as temperaturas sobre a amostra evoluem mantendo uma certa uniformidade, com pequenos atrasos na extremidade, característicos da presença de perdas laterais. Semelhantes curvas foram obtidas para a espessura de 15,3 mm, com os resultados finais da evolução no tempo já apresentados na Fig. 5.

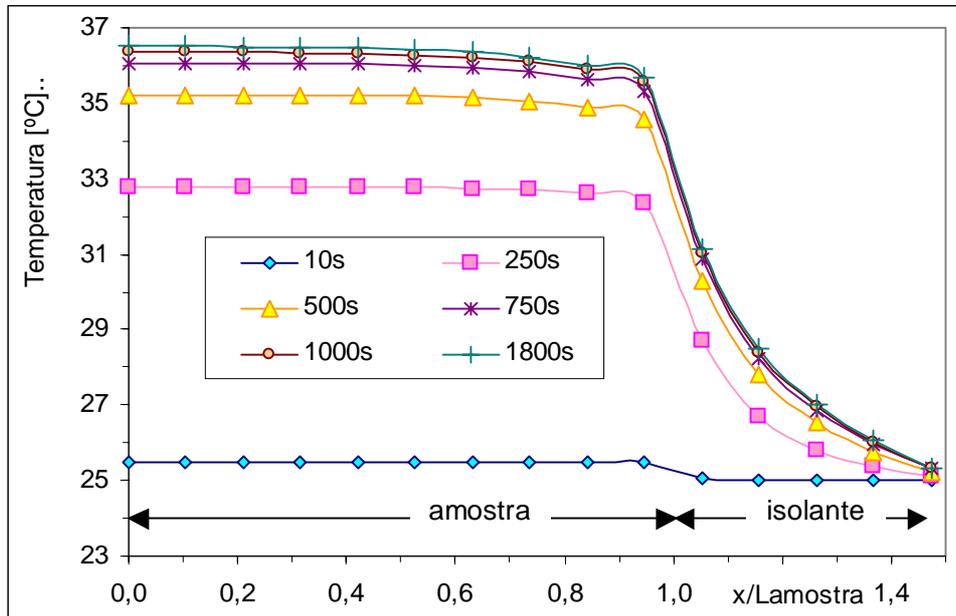


Figura 7 – Distribuições de temperatura na face superior da amostra de 6,2 mm e do isolante lateral.

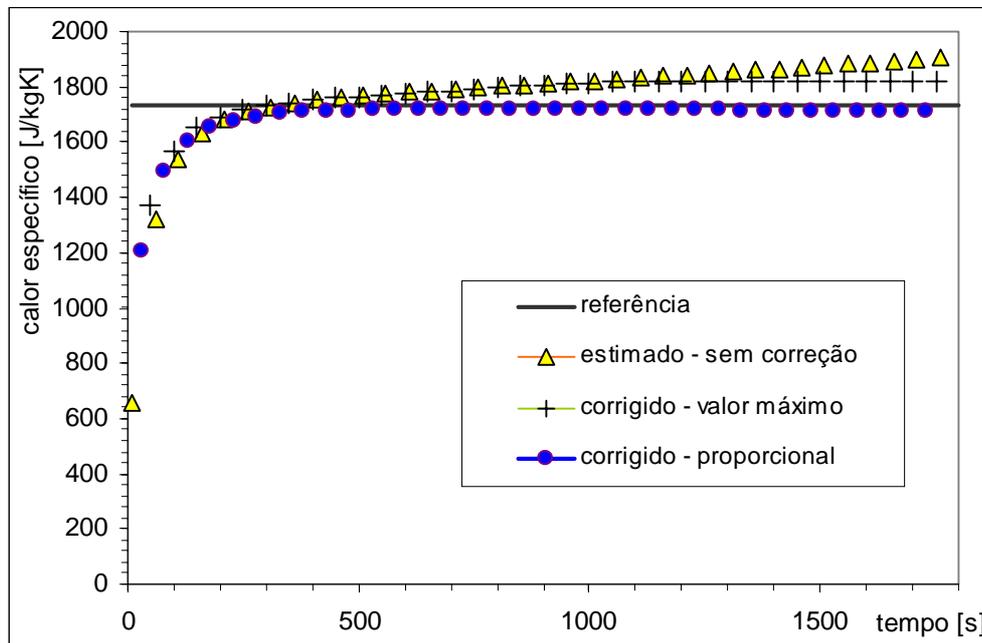


Figura 8 – Cálculo do calor específico ao longo do processo de medição, simulado para a amostra de 6,2 mm.

Ao longo do processo de medição das temperaturas e fluxos de calor, avaliam-se as propriedades da amostra, observando-se a evolução dos seus valores. Na Fig. 8 tem-se o resultado para o calor específico, calculado para cada instante, como se neste determinado instante o experimento já tivesse atingido o seu final. Logicamente na parte inicial os resultados são incoerentes, pois se está longe da situação de regime permanente. Com o passar do tempo, no entanto, tem-se um melhor comportamento. A linha horizontal contínua representa o valor de referência usado na simulação. O valor estimado, sem correção, refere-se ao cálculo efetuado exatamente como prevê a Eq. (1). Observa-se que este valor cresce continuamente pelo fato do fluxo superior ser maior do que o fluxo inferior (Fig. 2), significando que mais e

mais energia está chegando a amostra. Se o processo de medição continua, o valor do calor específico também continua aumentando, justamente em função das perdas. Na tentativa de corrigir esta distorção, propõe-se uma correção no fluxo de calor superior, a ser considerada no cálculo do calor específico através da Eq. (1). Esta correção é feita de duas maneiras distintas: na primeira, chamada de correção pelo valor máximo, simplesmente limita-se o valor do fluxo superior ao longo da medição ao valor do fluxo inferior existente no final do processo. Deste modo ao se atingir um fluxo constante na superfície inferior da amostra supõe-se que este seja o valor do fluxo superior, estabilizando-se o valor calculado para o calor específico. Logicamente as perdas laterais ocorrem desde o início do processo de medição e esta correção pelo valor máximo só atua a partir de um certo instante. Na segunda correção, chamada de proporcional, multiplica-se o fluxo superior pela razão entre o fluxo inferior final e o fluxo superior final. Assim no final o fluxo superior corrigido será igual ao fluxo inferior final, ocorrendo também uma estabilização no cálculo do fluxo de calor. Os resultados são apresentados nas Fig. 8, para uma espessura de 6,2 mm e na Fig. 9, para uma espessura de 15,3 mm.

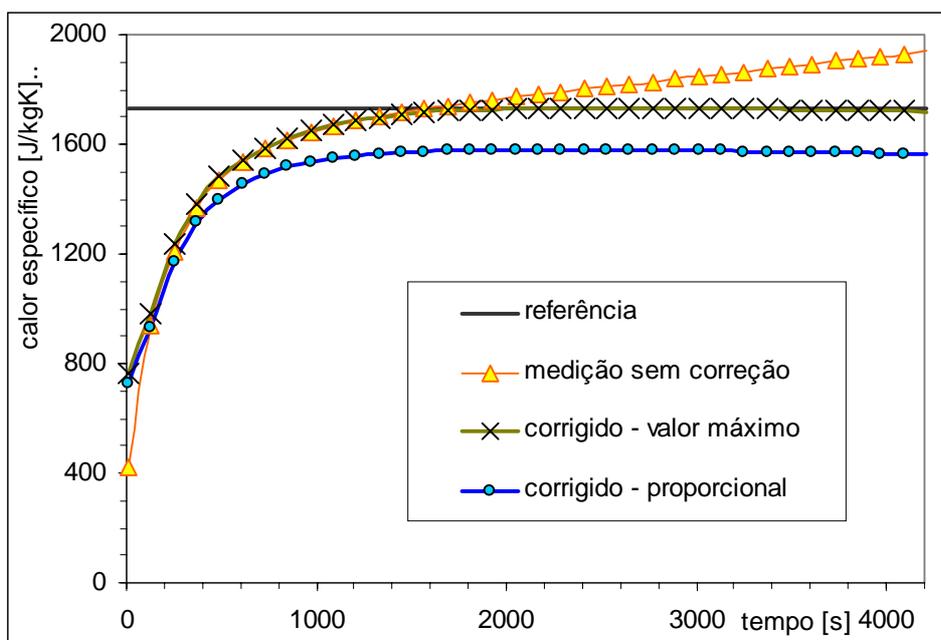


Figura 9 – Cálculo do calor específico ao longo do processo de medição simulado, para a amostra de 15,3 mm.

Na Fig. 8 o método de cálculo do calor específico baseado no corte do fluxo superior pelo valor máximo do fluxo inferior fornece um valor acima do valor de referência, dado pela linha horizontal. O método proporcional, com correções progressivas do fluxo superior desde o início do processo, fornece o resultado mais próximo da referência. Já na Fig. 9, para amostras de 15,3 mm, o melhor resultado ocorre para a correção pelo valor máximo. Os tempos de entrada em regime permanente são bastante diferentes para as duas espessuras, como pode ser observado nas figuras citadas.

Uma outra possibilidade de medição pode ser colocada em prática através da utilização de uma amostra de mesma área transversal, mas com área de medição reduzida à área central dos fluxímetros, com 5 cm de lado. Esta nova modalidade pressupõe a construção de novos fluxímetros com distintas áreas sensíveis: a área central e a área periférica, a exemplo do que ocorre no método da placa quente protegida. No método de simulação esta nova modalidade foi considerada, apresentando os resultados dados nas Fig. 10 e 11, para o cálculo do calor específico. Observa-se que para a amostra de 6,2 mm, Fig. 10, os pontos se agrupam em torno da linha de referência, com o crescimento ainda presente na curva para o calor específico conforme a Eq. (1), sem correção. A correção do fluxo superior pelo valor máximo do fluxo inferior fornece os melhores resultados, enquanto que a correção proporcional fica um pouco abaixo da referência.

A Fig. 11, que simula a medição para a parte central da amostra, com espessura de 15,3 mm, apresenta também como melhor método o da correção do fluxo superior, substituído pelo valor máximo do fluxo inferior. A correção proporcional do fluxo superior fornece resultados abaixo da referência.

Observa-se que nos resultados apresentados nas Fig. 8 a 11, o menor crescimento no valor do calor específico calculado sem correção do fluxo superior, ocorre para o caso da amostra de menor espessura e quando se usa a medição limitada à área central, como seria de se esperar. Entre os dois métodos de correção propostos, a correção pelo valor máximo seria mais adequada a três casos, enquanto que a correção proporcional seria recomendável para a amostra de pequena espessura e com a área de medição igual a área total da amostra. Os erros percentuais de determinação do calor específicos estão colocados na Tab. 1, mostrando os menores valores para a correção pelo valor máximo, salvo o caso da primeira linha, onde a melhor correção seria a proporcional, como enfatizado anteriormente.

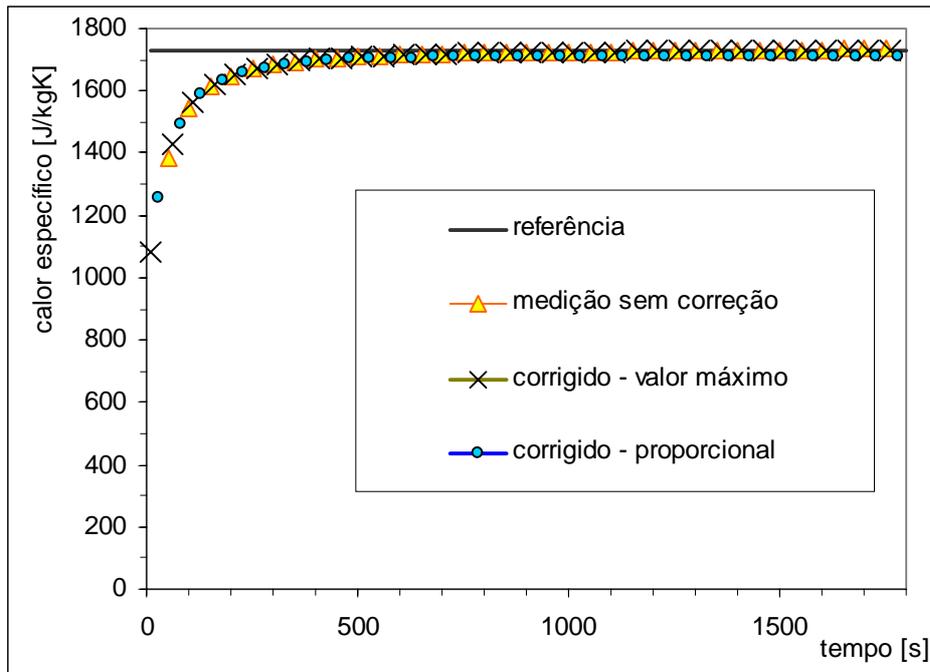


Figura 10 – Calor específico ao longo do processo de simulação, para a parte central da amostra de 6,2 mm.

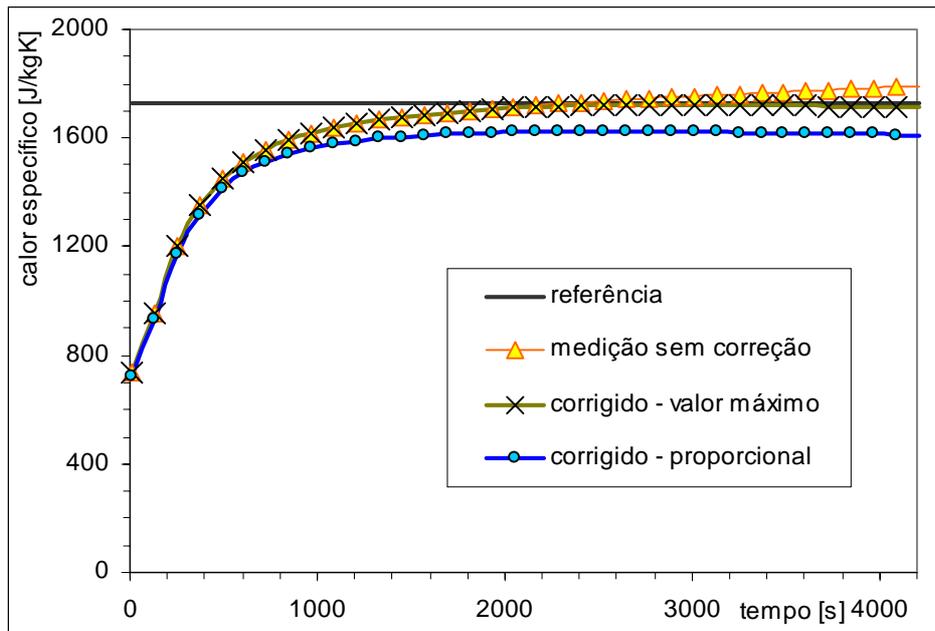


Figura 11 – Calor específico ao longo do processo de simulação, para a parte central da amostra de 15,3 mm.

Tabela 1 – Erros percentuais simulados na determinação do calor específico.

	Medição sem correção	Correção - valor máximo	Correção - proporcional
Espessura de 6,2 mm – área inteira	10,2	5,3	1,0
Espessura de 6,2 mm – área central	0,3	0,0	1,3
Espessura de 15,3 mm – área inteira	12,1	0,6	9,6
Espessura de 15,3 mm – área central	3,6	1,0	6,9

A condutividade térmica deve ser calculada pela Eq. (2), a partir da condição de regime permanente. Entretanto, como demonstram os resultados da simulação, Fig. 12, este cálculo pode ser feito mais cedo, pois os valores já concordam com o valor de referência, tanto para a amostra mais fina, quanto para a mais espessa. As medições de fluxo

com área total ou área central dos fluxímetros, fornecem praticamente os mesmos resultados. Em função da espessura, o tempo de execução do experimento é variável, como mostra a própria Fig. 12.

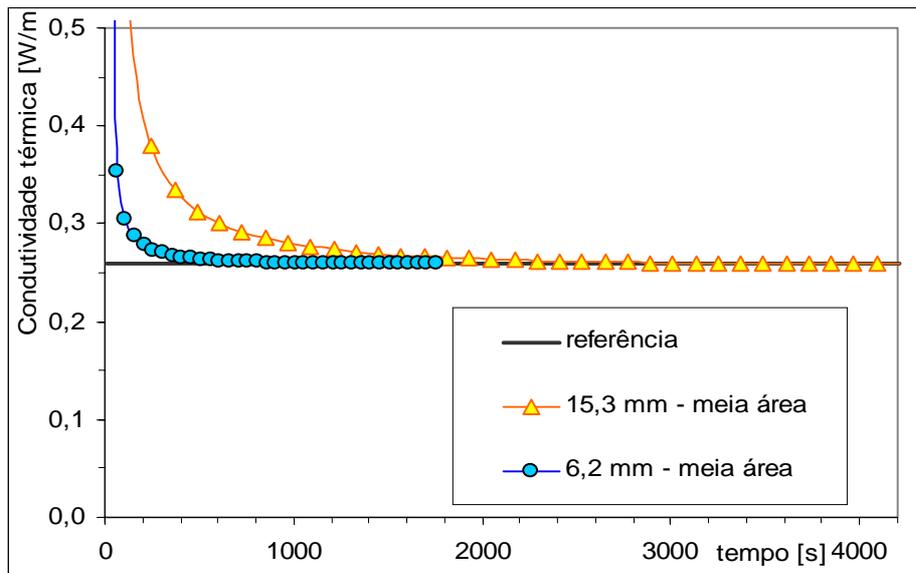


Figura 12 – Cálculo da condutividade térmica ao longo do processo de medição, parte central da amostra.

6. Resultados Experimentais

Alguns resultados experimentais foram obtidos com a medição de amostras de nylon, com o objetivo de verificar o funcionamento do método e serão apresentados na seqüência. Os dados destas amostras serviram para alimentação do programa de simulação, cujos resultados foram apresentados no item anterior. Outros resultados mostrados referem-se ao procedimento prévio à medição, que consiste em se calibrar os fluxímetros e em verificar o desempenho dos mesmos, sem a utilização de amostras. Na seqüência da pesquisa alguns outros materiais serão ainda ensaiados e novos procedimentos de correção dos valores obtidos serão testados.

Na Fig. 13 são mostrados os resultados obtidos com os dois fluxímetros, superior e inferior, submetidos a diversas condições de fluxo, com o objetivo de se observar o comportamento conjunto durante o processo de medição. Pela sua natureza construtiva estes sensores são calibrados individualmente e possuem curvas de calibração diferentes. Assim, antes de serem usados na medição, são testados, observando-se ao longo do processo que a inércia de ambos é baixa. Os fluxímetros seguem praticamente a mesma curva, apenas com pequenos atrasos por parte do fluxímetro inferior na subida e na descida, uma vez que a marcha é imposta resistência de aquecimento, próxima do fluxímetro superior.

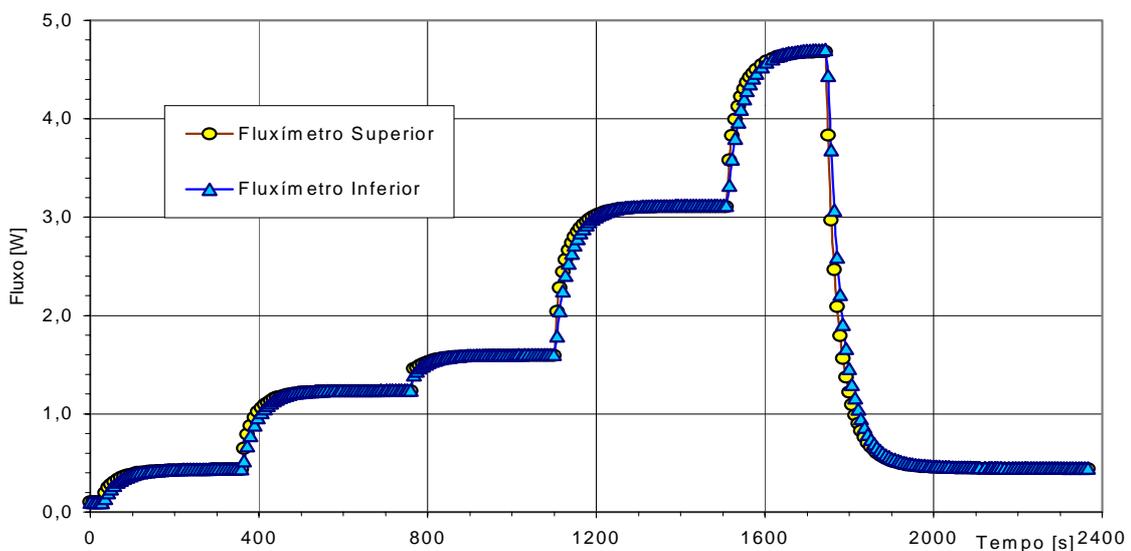


Figura 13 – Verificação do funcionamento dos fluxímetros em medição sem amostra.

Apenas para exemplificação, na Fig. 14 são mostrados os resultados de temperaturas, obtidos durante o ensaio com a amostra de nylon de 15,3 mm. Nota-se o crescimento rápido da temperatura da superfície superior da amostra e um crescimento mais lento da temperatura da superfície inferior. Apesar da proximidade com a placa fria, existe uma pequena resistência térmica entre ambas, constituída pelo fluxímetro e pelas resistências de contato. A estabilidade acontece após um tempo em torno de 1 hora e não é diretamente afetada pela temperatura ambiente, uma vez que o conjunto é bastante isolado e a placa fria recebe água controlada por um banho termostatzado.

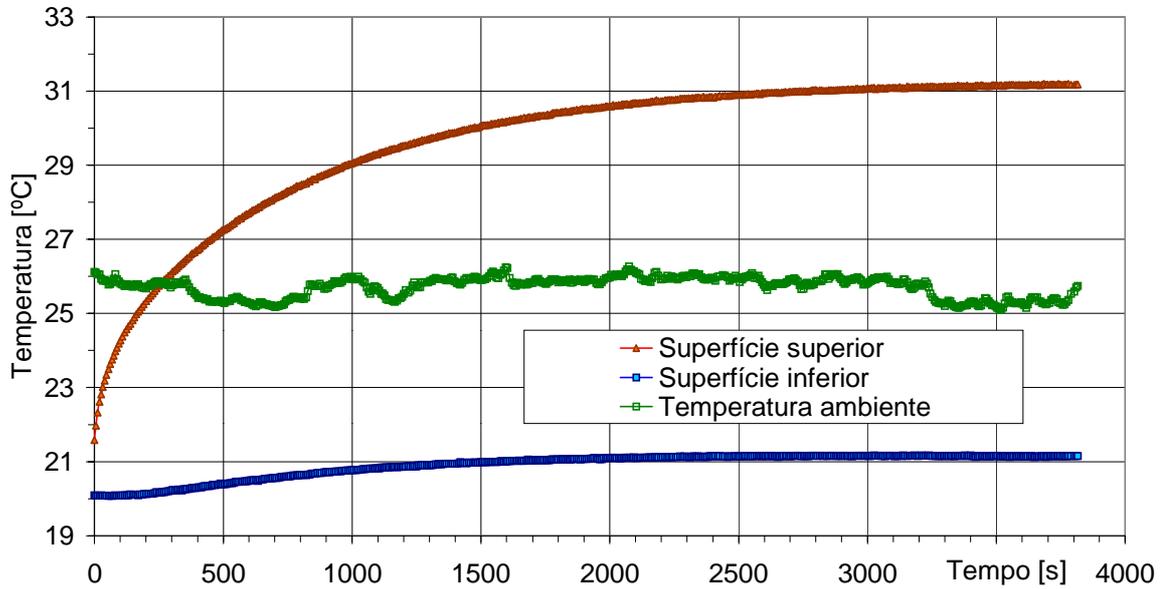


Figura 14 – Temperaturas da amostra e ambiente durante a medição da amostra de nylon de 15,3 mm.

Nas Fig. 15 e 16, apresentam-se os resultados relativos, respectivamente, à condutividade térmica e ao calor específico, para a amostra de nylon de 15,3 mm de espessura. Enquanto que a condutividade térmica já atinge uma certa estabilidade, com a curva mantendo-se horizontal, para o caso do calor específico ocorre um crescimento contínuo, como previsto na simulação, necessitando de correções para que um valor seja definido. O critério usado está baseado ainda na redução do gradiente de temperatura da superfície superior da amostra a um certo valor mínimo. As correções previstas na simulação ainda não foram implementadas no procedimento experimental.

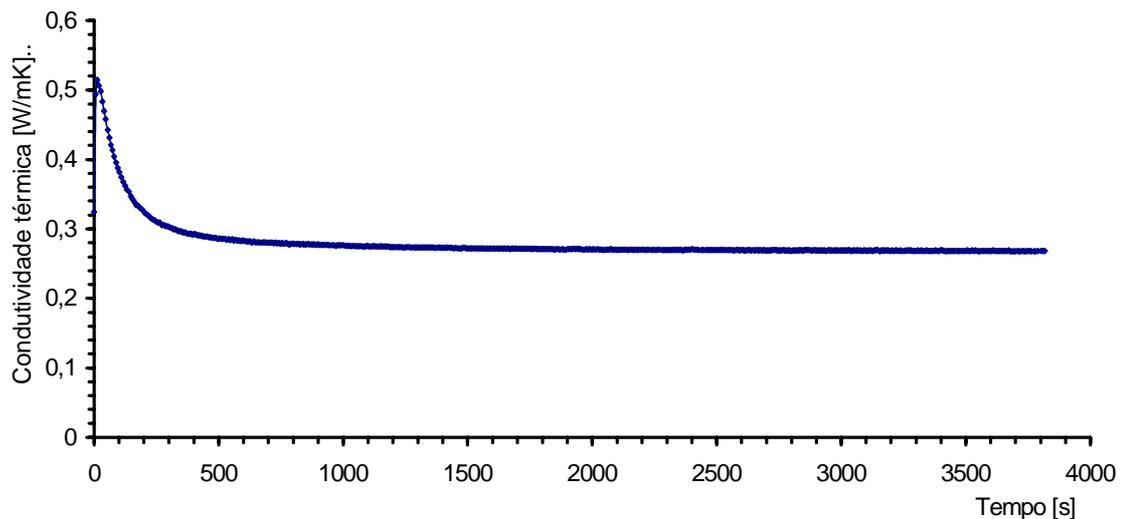


Figura 15 – Valores da condutividade térmica calculados durante a medição da amostra de nylon de 15,3 mm.

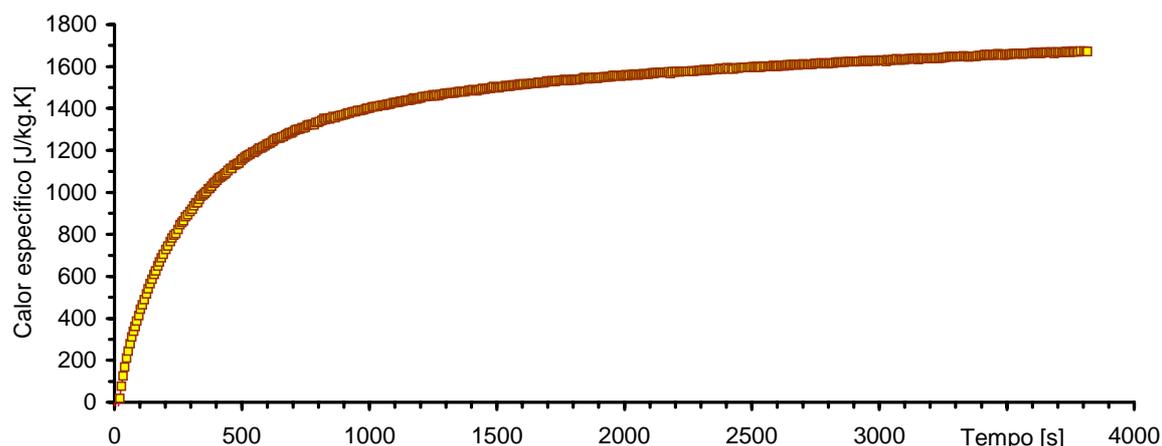


Figura 16 – Valores para o calor específico, calculados durante a medição da amostra de nylon de 15,3 mm.

Tabela 2 – Resultados obtidos para as amostras de nylon.

Material	Massa específica [kg/m ³]	Condutividade térmica [W/mK]	Calor específico [J/kgK]
Nylon 6,2 mm	1152	0,22	1,73 10 ³
Nylon 15,3 mm	1137	0,27	1,74 10 ³
Nylon 6,2 + 15,3 mm	-	0,28	1,73 10 ³

Os resultados finais para as amostras de nylon estão dispostos na Tab. 2, com as espessuras de 6,2 e 15,3 mm. Medições extras foram realizadas para a montagem conjunta das duas amostras, indicando um comportamento próximo para os valores do calor específico. Quanto à condutividade térmica algumas dispersões de resultados estão ainda presentes e podem decorrer da influência das resistências de contato, como também de uma pequena distância existente entre os termopares e a superfície da amostra, uma vez que estes estão colocados no interior dos fluxímetros, próximos à superfície. Os procedimentos de medição vão continuar com o intuito de melhorar o desempenho do método, estabelecendo uma maior confiança nos resultados obtidos.

7. Conclusão

O método apresentado ainda está em desenvolvimento, mas já demonstra um grande potencial de uso como método secundário para a determinação das propriedades citadas. Sua maior vantagem está na simplicidade de montagem, de concepção e de uso. Também a rapidez, quando comparado com o método da placa quente guardada, consiste em uma vantagem, fornecendo ainda duas propriedades no lugar de uma apenas.

Os passos seguintes consistem na implementação do uso dos fluxímetros com redução da área de medição, formada apenas pela área central, mantendo-se ainda a área externa como compensação, com vistas à redução das perdas laterais. Outros procedimentos de correção das medições ainda serão estudados com o objetivo de reduzir ainda mais os erros inerentes a estes procedimentos.

8. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq, através do Projeto Integrado - Processo n^o 520500/98-9.

9. Referências

- ISO/DP 8302, 1991, "Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Guarded hot-plate apparatus".
- BS 874, 1986, "Methods for determining thermal insulating properties - Part 2: Tests for thermal conductivity and related properties - Section 2.1: Guarded Hot-Plate Method".
- ASTM C-177, 1997, "Standard test method for steady-state thermal transmission properties by means of the guarded hot plate apparatus".
- AFNOR NF X10-021, 1972, "Détermination de la conductivité thermique - Méthode de la plaque chaude gardée avec échantillons symétriques".
- ISO 8301, 1991, "Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Heat flow meter apparatus".

- ASTM C518, 1976, “Standard test method for: Steady state thermal transmission properties by means of heat flow meter”.
- BSI BS 874, 1973, “Methods for determining thermal insulating properties with definitions of thermal insulating terms”.
- ABNT 02:135.07-004, 1998, “Desempenho térmico de edificações – parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método da placa quente protegida”.
- ABNT 02:135.07-005, 1998, “Desempenho térmico de edificações – parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico”.
- Salmon, D.R. and Tye, R. P. (2000), An intercomparison of heat flux meter apparatus within the United Kingdom and Eire, High Temperatures – High Pressures, vol. 32, pp 19-28.
- Mathis, N., 2000, “Transient thermal conductivity measurements: comparison of destructive and non-destructive techniques”, High Temperatures – High Pressures, vol. 32, pp. 321-327.
- Güths, S., 1990, “Um método transiente para a medição de propriedades térmicas”, Dissertação de Mestrado, PG em Eng. Mecânica – UFSC.
- Güths, S., 1994, “Anémomètre a Effet Peltier et Fluxmètre Thermique: Conception et Réalisation. Application à l’Etude de la Convection Naturelle”. Thèse de Doctorat, Université d’Artois, France.
- Guimarães G., 1993, “Estimacao de parâmetros no domínio da frequência para a determinação simultânea da condutividade e difusividade térmica”, Tese de doutorado. PG em Engenharia Mecânica, UFSC.

THERMAL CONDUCTIVITY AND SPECIFIC HEAT MEASUREMENT OF INSULATION MATERIALS

Vicente de Paulo Nicolau

Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas

Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

88010-970 – Florianópolis – SC - Brasil

vicente@lmpt.ufsc.br

Saulo Güths

saulo@lmpt.ufsc.br

Marcel Gava da Silva

marcel@lmpt.ufsc.br

Abstract. *An experimental set-up and a particular procedure are developed in order to determine, simultaneously, the properties thermal conductivity and specific heat. Special heat fluxmeters, based on tangential gradient, and plane square sample are used. One of the sample surfaces is heated with a constant rate, while the other surface is maintained at a low-constant temperature, in contact with a cold plate, refrigerated by water. The system starts from a state of uniform temperature and progress towards a final condition of steady state, with a uniform temperature gradient on the sample. In the final steady-state condition calculation of thermal conductivity is performed. The specific heat is calculated taking into account the energy stored within the sample, obtained from an integration of the heat fluxmeters signals and the temperature difference on the sample. A simulation program is used to evaluate the measurement errors and as tool to develop special correction to be applied to the properties values obtained. Some simulated and measured results are presented in the paper.*

Keywords. *Thermal conductivity, specific heat, thermal insulation, thermophysical property, heat fluxmeter*