

## ESTUDO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE MATERIAIS ISOLANTES

## THERMAL CONDUCTIVITY ANALYSIS OF INSULATING MATERIALS

### RESUMO

A condutividade térmica de três materiais será levantada experimentalmente. Os materiais analisados serão: Isopor, espuma e madeira em duas espessuras. Os dados experimentais serão comparados com valores presentes na literatura. Além disso a confiabilidade e a repetibilidade das medições de condutividade térmica serão avaliadas. Para a realização das análises serão utilizadas técnicas estatísticas, comparação de médias. A análise terá como finalidade determinar se as condutividades obtidas para as duas espessuras são iguais ou não. Em seguida, será construído um intervalo de confiança para determinar se os valores obtidos estão de acordo com os dados presente na literatura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Transferência de calor. Condução de calor. Comparação de medias, Intervalo de confiança.

### ABSTRACT

The thermal conductivity of three materials will be experimentally determined. The materials analyzed will be: Styrofoam, foam and wood in two thicknesses. The experimental data will be compared with values present in the literature. In addition the reliability and repeatability of thermal conductivity measurements will be evaluated. For this analysis will be used statistical techniques, comparison of means. The purpose of the analysis is to determine if the thermal conductivities obtained for the two thicknesses are equal or not. Then, a confidence interval will be constructed, to determine if the values are in agreement with the data present in the literature.

**KEYWORDS:** Heat transfer. Heat conduction. Mean comparison. Confidence interval.

**Ricardo Andreani Netzel**  
[Ricardonetz2@gmail.com](mailto:Ricardonetz2@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

**Ismael de Marchi Neto**  
[ismaelneto@utfpr.edu.br](mailto:ismaelneto@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

**Rodrigo Corrêa da Silva**  
[rodrigossilva@utfpr.edu.br](mailto:rodrigossilva@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

**Rafael Sene de Lima**  
[rafaellima@utfpr.edu.br](mailto:rafaellima@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

**Ricardo de Vasconcelos Salvo**  
[icardosalvo@utfpr.edu.br](mailto:icardosalvo@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

**Elizabeth Mie Hashimoto**  
[ehashimoto@utfpr.edu.br](mailto:ehashimoto@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

Condutividade térmica é uma das propriedades térmicas dos materiais mais importante e complexa de se determinar, sendo utilizada na maioria dos projetos que envolvem processos térmicos, principalmente quando há um foco na condução de calor. A condução de calor é a transferência de energia térmica ocorrida devido a um gradiente de temperatura entre dois meios sólidos ou fluidos em contato. A transferência de energia ocorre da região de maior temperatura para a de menor temperatura, até que o equilíbrio térmico seja atingido (Incropera *et al*, 2007).

No intuito de determinar uma relação matemática que descreve a transferência de calor por condução, o matemático francês Jean-Baptiste Fourier (1768-1830) determinou experimentalmente tal relação. Fourier observou que a taxa de transferência de calor é uma relação em que se mantido constante a área e a espessura do material, ela varia proporcionalmente a diferença de temperatura (Eq. 1).

$$q_x \propto A \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

Fourier em seguida notou que a proporcionalidade era mantida mesmo variando o material, porém a taxa de transferência era diferente. A proporcionalidade então foi substituída por uma igualdade com a adição de uma constante, sendo ela uma propriedade do material. Essa constante foi denominada de condutividade térmica. O sinal negativo adicionado se refere ao fato de que a taxa de transferência ocorre no sentido oposto do gradiente de temperatura (Eq. 2).

$$q_x = -k A \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2)$$

Com o intuito de definir a condutividade térmica dos materiais, se iniciaram o desenvolvimento de equipamentos para sua determinação. Normalmente os equipamentos utilizam um fluxo de calor unidimensional e de uma diferença de temperatura, para realizar a transferência de calor até que ela atinja o seu regime permanente, onde a diferença de temperatura entre as faces do material permaneça constantes. Através do conhecimento prévio da espessura e da área da amostra, juntamente do fluxo de calor fornecido pelo equipamento, se obtêm a condutividade térmica aplicando-se a lei de Fourier (Eq. 2).

Os métodos utilizados para se determinar as propriedades térmicas dos materiais são divididos em dois grupos: métodos estacionários e métodos dinâmicos.

Os métodos estacionários são os mais fáceis de se realizar, porém eles necessitam de grandes períodos de tempo, pois a transferência de calor deve atingir o regime permanente. Os métodos dinâmicos são os mais rápidos pois trabalham no regime transiente, porém, são mais difíceis de serem realizados. Esses métodos permitem obter também a difusividade térmica e o calor específico dos materiais (Simioni, 2005). O método Fluxométrico é um exemplo de método estacionário, esse método foi desenvolvido para a aplicação industrial, que necessitava de um método simples e relativamente rápido para se medir a condutividade térmica. Os equipamentos baseados nesse método utilizam uma resistência elétrica denominada de placa quente, que fornecerá e distribuirá

uniformemente o calor e de uma placa fria que irá dissipar o calor que atravessou a amostra. Entre essas placas encontra-se os fluxímetros que farão as medições dos fluxos de calor que entram e saem da amostra. Existe a necessidade também de utilizar sensores de temperaturas nas duas faces, que tem como objetivo de medir a diferença de temperatura, acionado ou desativando a resistência elétrica.

Desse modo o foco desse trabalho será aferir a condutividade térmica dos de três materiais distintos: isopor, espuma e madeira, com espessuras de 10 e 20 mm aproximadamente. Conseqüentemente será avaliado a confiabilidade e a repetibilidade das medições.

### MATERIAIS E MÉTODOS

Para a obtenção da condutividade térmica será utilizado três materiais: isopor, espuma e madeira. As amostras do isopor apresentam espessura de 9,5 mm e 19,9 mm. Já as amostras da espuma uma espessura de 9,15 mm e 18,5 mm e as amostras de madeira possuem uma espessura de 7,5 mm e 19 mm.

Os experimentos foram repetidos três vezes para cada amostra. Os quais apresentaram uma duração de 1000 segundos. Porém, o experimento envolvendo a madeira em sua maior espessura terá uma duração de 1500 segundos.

Os testes serão realizados alternando-se as espessuras do mesmo material, sendo realizado todas as repetições antes de se mudar o material. A diferença de temperatura mantida durante o experimento foi de 15°C. Para diminuir a perda de calor pelas laterais da amostra foi utilizado uma manta de lã de vidro (Fig. 1).

O equipamento utilizado para a realização das medições foi desenvolvido pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas (LMPT) da Universidade Federal de Santa Catarina (Fig. 1). Os dados adquiridos pelo equipamento são coletados diretamente no computador, através de um software próprio do equipamento. Os dados de saída constam do fluxo de calor superior e interior, a diferença de temperatura instantânea entre as superfícies do corpo de teste e sua condutividade térmica.

Figura 1 – Equipamento utilizado para a realização do experimento



Fonte: Próprio autor

Os resultados obtidos serão analisados utilizando-se técnicas estatísticas, no caso análise de comparação de medias. A análise visa determinar se os valores de condutividade térmica obtidos para três tipos materiais com duas espessuras distintas, se encontram de acordo com os dados presentes na literatura.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 e 2 apresentam os valores da condutividade térmica da amostra de isopor com 9,5 mm e 19,9 mm de espessura, respectivamente. Durante as três repetições.

Tabela 1 – Condutividade térmica do isopor com espessura de 9,5 mm

	1ª Repetição	2ª Repetição	3ª Repetição	Total
Média (W/m.K)	0,0383	0,0386	0,0392	0,0387
Desvio padrão	0,0009	0,0006	0,0008	0,0009
Valor máximo (W/m.K)	0,0420	0,0410	0,0410	0,0420
Valor mínimo (W/m.K)	0,0360	0,0370	0,0380	0,0360

Fonte: Próprio autor

Tabela 2 – Condutividade térmica do isopor com espessura de 19,9 mm

	1ª Repetição	2ª Repetição	3ª Repetição	Total
Média (W/m.K)	0,0475	0,0482	0,0479	0,0479
Desvio padrão	0,0039	0,0011	0,0018	0,0026
Valor máximo (W/m.K)	0,0620	0,0520	0,0560	0,0620
Valor mínimo (W/m.K)	0,0390	0,0460	0,0440	0,0390

Fonte: Próprio autor

Avaliando-se os dados apresentados nas Tabelas 1 e 2 observa-se que os experimentos apresentaram repetibilidade, visto que o desvio padrão médio máximo entre as repetições foi de apenas 0,0026. Ao se comparar os dados de condutividade térmica obtidos para as duas espessuras, observa-se um erro relativo médio de 19,2%. Os valores máximos observados referem-se ao regime transiente do experimento.

Já as Tabelas 3 e 4 apresentam os valores da condutividade térmica para a amostra de espuma com 9,15 mm e 18,5 mm de espessura, respectivamente. Durante as três repetições.

Tabela 3 – Condutividade térmica da espuma com espessura de 9,15 mm

	1ª Repetição	2ª Repetição	3ª Repetição	Total
Média (W/m.K)	0,0394	0,0412	0,0394	0,0401
Desvio padrão	0,0013	0,0009	0,0013	0,0014
Valor máximo (W/m.K)	0,0430	0,0440	0,0440	0,0440
Valor mínimo (W/m.K)	0,0360	0,0390	0,0360	0,0360

Fonte: Próprio autor

Tabela 4 – Condutividade térmica da espuma com espessura de 18,5 mm

	1ª Repetição	2ª Repetição	3ª Repetição	Total
Média (W/m.K)	0,0493	0,0499	0,0467	0,0486
Desvio padrão	0,0015	0,0012	0,0020	0,0021
Valor máximo (W/m.K)	0,0560	0,0540	0,0560	0,0560
Valor mínimo (W/m.K)	0,0470	0,0470	0,0430	0,0430

Fonte: Próprio autor

Avaliando-se os dados apresentados nas Tabelas 3 e 4, observa-se que novamente os experimentos apresentaram repetibilidade, visto que o desvio padrão médio máximo entre as repetições foi de apenas 0,0021. Ao se comparar

os dados de condutividade térmica obtidos para as duas espessuras, observa-se um erro relativo médio de 17,48%. Os valores máximos observados referem-se ao regime transiente do experimento, no caso o valor de 0,0560 W/m.K para a espuma na espessura de 18,5 mm.

As Tabelas 5 e 6 apresentam os valores da condutividade térmica obtidos para a amostra de madeira com 7,5 mm e 19,0 mm de espessura, respectivamente. Durante as três repetições.

Tabela 5 – Condutividade térmica da espuma com espessura de 9,15 mm

	1ª Repetição	2ª Repetição	3ª Repetição	Total
Média (W/m.K)	0,1159	0,1079	0,1107	0,1117
Desvio padrão	0,0017	0,0015	0,0013	0,0036
Valor máximo (W/m.K)	0,1200	0,1130	0,1140	0,1200
Valor mínimo (W/m.K)	0,1110	0,1050	0,1080	0,1050

Fonte: Próprio autor

Tabela 6 – Condutividade térmica da espuma com espessura de 18,5 mm

	1ª Repetição	2ª Repetição	3ª Repetição	Total
Média (W/m.K)	0,1108	0,1109	0,1051	0,1089
Desvio padrão	0,0023	0,0020	0,0019	0,0034
Valor máximo (W/m.K)	0,1190	0,1170	0,1120	0,1190
Valor mínimo (W/m.K)	0,1060	0,1060	0,1020	0,1020

Fonte: Próprio autor

Avaliando-se os dados apresentados nas Tabelas 5 e 6 observa-se que os experimentos apresentaram repetibilidade, uma vez que o desvio padrão médio máximo entre as repetições foi de apenas 0,0036. Ao se comparar os dados de condutividade térmica obtidos para as duas espessuras, observa-se um erro relativo médio de apenas 2,5%. Os valores máximos observados referem-se ao regime transiente do experimento, no caso máximo foi de 0,1200 W/m.K para a espuma na espessura de 7,5 mm.

Através de uma análise prévia dos dados, baseando-se na estatística descritiva, observa-se que o experimento apresentou repetibilidade. Porém, os valores de condutividade térmica para um mesmo material apresentaram diferenças entre as duas espessuras analisadas. Comparando as médias gerais de condutividade térmica do isopor e da espuma com os valores presentes na literatura, nota-se que apenas o isopor em sua menor espessura atingiu o valor de referência de 0,040 W/m.K. Já a espuma não atingiu o valor de referência de 0,035 W/m.K em nenhuma das duas espessuras avaliadas. A madeira apresentou valores de condutividade similares para as duas espessuras e condizentes com o valor de 0,12 W/m.K, o qual é apontado pela literatura como valor de referência para tal material.

Para certificar-se que os dados coletados para as duas espessuras são realmente iguais ou diferentes, como afirmado anteriormente, será realizado uma análise estatística, comparação de médias. A análise será realizada utilizando-se o *software* estatístico R.

A comparação das médias será analisada através de uma análise de variância, casos seus pressupostos sejam atendidos; caso contrário a análise será realizada utilizando-se o teste de Kruskal-Wallis. O pressuposto da análise de variância consiste em os dados seguirem uma distribuição normal e as variâncias serem

iguais. Para a análise será utilizado um nível de significância de 5%. As hipóteses nulas referem-se ao fato dos dados seguirem uma distribuição normal, as médias serem iguais e as condutividades térmicas serem iguais.

Para o isopor, há evidências de que as condutividades térmicas obtidas não são iguais para as duas espessuras. Com o objetivo de verificar se os valores de condutividades são iguais ao valor presente na literatura, construiu-se um intervalo de confiança em torno da média. Porém, como concluído anteriormente os valores de condutividade obtidos para o isopor em sua maior dimensão se encontram diferentes do valor de 0,040 W/m.K presente na literatura. Já o isopor em sua menor espessura, como afirmado anteriormente, apresentou uma condutividade térmica igual a relatada pela literatura.

Analisando a espuma obtém-se também a mesma conclusão, ou seja, as condutividades térmicas para as duas espessuras são diferentes entre si. Através da construção do intervalo de confiança observa-se que o valor de condutividade térmica de 0,035 W/m.K, presente na literatura, não se encontra contido em nenhum dos intervalos.

Para a madeira, análise apontou que os valores de condutividade térmica para as duas espessuras são iguais. Consequentemente pode-se concluir também que a madeira em sua menor espessura atingiu o valor previsto na literatura, já a madeira em sua maior espessura não. Porém, seu intervalo de confiança apresenta um valor próximo de 0,12 W/m.k. Visto que a madeira é um material anisotrópico, pode-se afirmar que os valores de condutividade térmica obtidos estão de acordo com a literatura.

## CONCLUSÃO

A condutividade térmica foi mensurada experimentalmente, para três materiais em duas espessuras, os quais foram analisados e comparados com valores presentes na literatura. A análise demonstrou que apenas a madeira apresentou condutividade térmica iguais para as duas espessuras e de acordo com os valores presentes na literatura. o isopor apresentou uma condutividade térmica de acordo com a literatura apenas em sua menor espessura. Já a espuma não apresentou valor de condutividade igual entre as duas espessuras e nem condizentes com a literatura.

## REFERÊNCIAS

SIMIONI, Wagner Isidoro. ANÁLISE DE ERROS NA MEDIÇÃO DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA DEMATERIAIS ATRAVÉS DO MÉTODO FLUXIMÉTRICO. 2005. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

IMPORTÂNCIA DA ESTATÍSTICA PARA O PROCESSO DE CONHECIMENTO E TOMADA DE DECISÃO. Curitiba: Revista Paranaense de Desenvolvimento, 2010.

INCROPERA, Frank P. et al. Fundamentos de transferência de calor. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2007.