



DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA, DIFUSIVIDADE TÉRMICA E CALOR ESPECÍFICO PARA MADEIRA DE EUCALIPTO
MARTA CRISTINA DE J. A. NOGUEIRA - Eng^a Doutoranda LaME/EESC/USP
ALMIR SALES - Prof. Assistente - Depto. Engenharia Civil - UFSCAR
FRANCISCO ANTONIO R. LARR - Prof. Associado LAMEM/EESC/USP
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 - São Carlos - SP - CEP 13560-250

RESUMO:

Neste trabalho são apresentados os valores do calor específico, condutividade térmica e difusividade térmica de espécies de eucalipto cultivadas no Estado de São Paulo, obtidos através do método do fio quente paralelo. Estas propriedades devem ser conhecidas para melhorar o emprego do material em edificações, considerando as condições higrótérmicas de habitabilidade.

ABSTRACT

In this work are presented the values of specific heat, thermal conductivity and thermal diffusibility determined to the species eucalyptus grown in Sao Paulo State, using the hot parallel wire method. The knowledge of the thermal wood properties is required to the thermal design buildings which permit good solutions to its higrothermal conditions.

1- INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil possui uma situação caótica no setor habitacional devido ao altíssimo déficit de habitações e às dificuldades de aplicação de programas habitacionais, tanto pelo imobilismo governamental como pela situação inflacionária da economia, conduzindo a um baixíssimo poder aquisitivo da maior parte da população.

Com este quadro, surge a necessidade cada vez maior de investir no desenvolvimento e adaptação de tecnologias, tendo-se em vista a redução de custos e prazos na construção, além da pesquisa de novos produtos.

O país possui um extenso e diversificado potencial de recursos naturais (florestais), que já há algum tempo vem se tornando objeto de crítica com relação ao seu real aproveitamento, seja pelos danos ecológicos e pela exploração não racional ou pelo alto custo de transporte gerado pela distância entre a região de consumo e a extração. Neste contexto existe atualmente um outro potencial alternativo a estes recursos nativos: o reflorestamento com diversas espécies de eucaliptos e pinus.

O reflorestamento além de atender em parte a preservação do meio ambiente, possibilita através de poucos investimentos a obtenção do material madeira, geralmente com um tempo de crescimento menor que o das espécies nativas e dentro de tecnologias de manejo florestal já conhecidas e aplicadas em nosso país. Além disso o custo relativo ao transporte diminui consideravelmente com a proximidade das áreas reflorestadas às regiões consumidoras de madeira.

Através de um estudo de avaliação da madeira de eucalipto quanto às suas características, poder-se-á justificar o aproveitamento desta e a adequação do seu uso na fabricação de componentes e desenvolvimento de sistemas construtivos utilizando este material.

Dentro destas características a serem estudadas estão:

- a condutividade térmica, - a difusividade térmica; - o calor específico.

O conhecimento destas características é de fundamental importância para o projeto e dimensionamento térmico dos ambientes.

Existem poucos trabalhos que caracterizam a madeira de eucalipto a ponto de justificar com segurança o seu emprego na construção civil. Esta deficiência de conhecimento e ainda maior no tocante as propriedades ligadas à transmissão de calor, devido principalmente ao custo e complexidade do trabalho experimental envolvido.

A condutividade térmica, o calor específico e a difusividade térmica são características que possibilitam avaliar a extensão do emprego dos materiais na construção civil no que se refere a melhoria das condições de conforto térmico e habitabilidade nas moradias.

Este trabalho tem como objetivo determinar o calor específico, a condutividade térmica e a difusividade térmica de algumas espécies de eucalipto cultivadas no Estado de São Paulo.

Pretende-se com isso diminuir a deficiência de informações nesta área de conhecimento específico do material em estudo, bem como estabelecer uma relação entre a variação das densidades inerentes a cada espécie com a variação das propriedades térmicas a serem determinadas experimentalmente.

2- MATERIAL A SER ANALISADO

O material a ser analisado faz parte das amostras analisadas por NOGUEIRA (1991) e consta das seguintes espécies de eucalipto: - Eucalyptus microcorys; - Eucalyptus maculata; - Eucalyptus Paniculata;

- Eucalyptus citriodora;
- Eucalyptus grandis;
- Eucalyptus umbra;
- Eucalyptus punctata;
- Eucalyptus urophila;
- Eucalyptus saligna;

Todas as amostras ensaiadas encontravam-se com teor de umidade em torno de 12%.

3- PROCEDIMENT O

O procedimento utilizado foi a adaptação feita por LIMA (1989) do método do fio quente utilizado por SANTOS (1986) para determinação simultânea da condutividade térmica e de calor específico de materiais cerâmicos.

3.1- Método do Fio Quente Paralelo

O método do fio quente paralelo e uma variação do método do fio quente e consiste em medir o aumento da temperatura da amostra a uma certa distância do fio quente através de um termopar colocado paralelamente a este.

Aconselha-se a realização de ensaios em materiais com condutividade térmica até 2 (W/mK)

As amostras a serem ensaiadas devem apresentar superfícies bem acabadas de modo a se obter faces planas e paralelas, para facilitar que o contato com o fio quente seja uniforme e garantido.

O termopar é colocado próximo ao centro do corpo de prova, evitando possíveis efeitos de borda. FARHAT (1985) analisou a influência da colocação do termopar em posições diferentes ao longo do comprimento do corpo de prova, concluindo ser necessária uma distância mínima de 3,0cm das extremidades.

3.2- Equipamentos e Arranjo Experimental Utilizado

Os equipamentos necessários para a realização dos ensaios estão listados a seguir:

- 01 microcomputador HP 9875T com 64 kbytes;
- 01 impressora HP 26316-180 ops;
- 01 unidade de aquisição de dados HP 3497A-100;
- 01 fonte estabilizadora de corrente TCA 40-10;
- Placas de relés para DCDT-40 canais;
- Placas de relés termopares -20 canais;
- 01 registrador gráfico x-t;
- 01 termopar tipo cobre-constantan;
- 25 centímetros de fio Khantal (R = 7,88V/m) - fio quente.

São necessários quatro corpos de prova de madeira bem acabados com dimensões aproximadas de 240mm x 120 = x 60mm. Em um dos corpos de prova são feitas duas ranhuras paralelas sendo uma central, com diâmetro ligeiramente inferior ao fio quente, e a outra distanciada da primeira 15 milímetros e com diâmetro ligeiramente inferior ao do termopar (a distância das ranhuras até as bordas não pode ultrapassar 3 centímetros). Procede-se então a colocação do fio quente e do termopar de maneira a ocupar o caminho indicado pelas ranhuras. Com o pó do próprio corpo de prova (obtido através de lixamento) recobre-se o fio quente e o termopar de maneira a não permitir a formação de bolsões de ar que podem mascarar o transiente térmico e consequentemente diminuir a precisão dos resultados. Com isto poder-se-á proporcionar o melhor contato térmico possível.

A fonte de tensão contínua é ligada ao fio de Khantal com uma tensão constante de 2 volts. O termopar deverá

ser ligado ao registrador x-t e se terá a sua escala devidamente ajustada. Com isto ter-se-á completado o circuito de aquecimento e o registrador gráfico poderá registrar o transiente de temperatura obtido. O esquema da Figura 1 ilustra o arranjo experimental acima descrito.

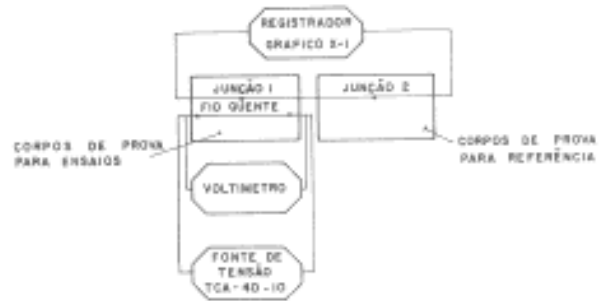


Figura 1- Arranjo Experimental do Método Utilizado LIMA (1989), SANTOS (1986)

4- ANALISE DOS RESULTADOS

A metodologia empregada para a obtenção dos valores das propriedades térmicas da madeira das nove espécies de eucalipto em questão, baseia-se na Norma DIN 51046. Além disto, a metodologia utilizada é adequada as amostras homogêneas, porosas e compactas, justificando-se o material utilizado nesta pesquisa.

O tempo de ensaio de cada par de amostra foi de 30 minutos, com uma geração constante de calor.

CARSLAW (1959) mostra que a temperatura no material, a uma distância r do fio quente, vai aumentar a partir da temperatura inicial de equilíbrio, de acordo com a seguinte equação:

$$\frac{dT}{dr} = \frac{q''}{4\pi k} e^{-(\rho c p r^2 / 4kt)} \quad (1)$$

que integrada se transforma em:

$$T(r,t) = \frac{q''}{4\pi k} E_i \left(\frac{-\rho c p r^2}{4kt} \right) \quad (2)$$

onde:

T = excesso de temperatura em relação à temperatura inicial de referência (K);

q'' = densidade linear de potência (W/m);

ρ = densidade do material (kg/m³);

k = condutividade térmica do material (W/mK);

cp = calor específico do material (J/kg.K);

r = distância radial a partir do fio quente;

t = tempo, contado a partir do início da liberação de calor (s).

A densidade linear de potência q'' é dada por:

$$q'' = \frac{V^2}{R.L} \quad (3)$$

onde:

V = tensão aplicada nos terminais do fio (V);

R = resistência elétrica do fio (Ω);

L = comprimento do fio (m).

A função $E_i(x)$ é chamada função exponencial integral. É uma função definida por:

$$\int_x^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} dy = E_i(x) \quad (4)$$

Para a determinação de calor específico foi necessário resolver a exponencial integral

$$\int_0^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} dy \quad (5)$$

de forma a obter os valores dos argumentos da função, relativos a cada valor de E_i . Com os valores dos argumentos obtidos a partir da bibliografia ABRAMOWITZ (1970), e os valores correspondentes da condutividade térmica já calculados, determinou-se o valor do calor específico pela substituição:

$$cp = \frac{4kt}{\rho r^2} (Ar) \quad (6)$$

onde:
 k = condutividade térmica (W/mK);
 t = tempo contado a partir do início da liberação de calor (s);
 Ar = argumento da função exponencial integral;
 ρ = densidade do material (kg/m³);
 r = distância radial a partir do fio quente (m).

De posse dos valores de k e da cp determinou-se a difusividade térmica "a" por:

$$a = \frac{k}{\rho cp} \quad (7)$$

5- RESULTADOS OBTIDOS

Com os ensaios de umidade/densidade foram obtidos os seguintes valores médios para as amostras utilizadas:

TABELA 1- Valores de Densidade Aparente das Amostras Ensaçadas (Teor de Umidade 12%)

Espécies de Eucalipto	Densidade Aparente a 12% de Umidade (kg/m ³)
E. grandis	630
E. saligna	730
E. urophylla	740
E. umbra	890
E. microcorys	930
E. maculata	950
E. punctata	950
E. citrifodora	1.000
E. paniculata	1.090

Através do procedimento experimental empregado e utilizando o tratamento matemático anteriormente descrito, foi possível chegar aos valores apresentados na tabela 2.

TABELA 2- Valores Obtidos para as Propriedades Térmicas das Nove Espécies de Eucalipto Ensaçadas

Espécies	k	cp	dt	Número de Amostras Ensaçadas
E. grandis	0,5188	0,5762	0,0014	03
E. saligna	0,2477	0,2877	0,0012	09
E. urophylla	0,1377	0,1378	0,0014	01
E. umbra	0,2806	0,2343	0,0013	04
E. microcorys	0,3275	0,2979	0,0012	05
E. maculata	0,3654	0,2901	0,0013	03
E. punctata	0,2645	0,2309	0,0012	04
E. citrifodora	0,3489	0,2767	0,0013	04
E. paniculata	0,4533	0,3174	0,0013	04

k = condutividade (W/mK)
 cp = calor específico (kcal/kg⁰C)
 dt = difusividade térmica (cm²/s)

6- CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem estabelecer uma pequena faixa de variação para os valores da difusividade térmica das espécies de eucalipto ensaiadas. Esta faixa varia de 0,0012 cm²/s

Por outro lado, os valores obtidos para a condutividade térmica e para o valor específico apresentam-se distribuídos de maneira mais dispersa e sem relação direta com o valor crescente da densidade aparente das respectivas espécies.

Apesar das dificuldades relacionadas à experimentação e à obtenção de amostras, evidencia-se a necessidade de melhoramento na amostragem, buscando um maior número de ensaios e de igual número para cada uma das espécies.

A pesquisa realizada também permitiu comprovar a eficácia do método do fio quente na determinação das propriedades térmicas das madeiras.

7- BIBLIOGRAFIA

- ABRAMOWITZ, M & STEGUN, I.A. Handbook of mathematical functions. 9.ed. New York: Dover Publications, Inc. 1970. p.238-240.
- CARSLAW, H.S. & JAEGER, J.C. Conduction of heat in solids. 2.ed. Oxford: Oxford University, 1959.
- DEUTSCRES INSTITUI FUR NORMING 51046. Determinação da condutividade térmica até 16000C segundo o método do arame aquecido. Tradução feita pela Seção de Cerâmica do IPT. o Paulo, 1969.
- FARHAT, G.M. Estudo dos efeitos das dimensões geométricas e da resistência térmica de contato de uma sonda para a determinação experimental da condutividade térmica de material isolante térmico, pelo método da linha geradora de calor. São Paulo, POLI/USP. 1985. 79p. Dissertação (Mestre em Engenharia).
- LIMA, C.R. de Determinação da condutividade térmica da madeira através do método do fio quente paralelo. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3, 1989, São Carlos. Anais ... São Carlos: USP/EESC/SET/LAMEM, 1989. v.6, p.135-146.
- NOGUEIRA, M. C. de J. A. Indicações para o emprego de dezesseis espécies de eucalipto na construção civil. São Carlos, 1991. 116p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) -Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

SANTOS, W.N. dos & CINTRA FILHO, J.S. Determinação da condutividade térmica e do calor específico de materiais cerâmicos pelo método do fio quente paralelo com ajuste por regressão linear. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 7, 1986. Florianópolis. Anais... Florianópolis: UFSC, 1986. p.527 -529.