

# MERCOFRIO 2000 – CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL

## DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS E FÍSICAS DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO PARA A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

**CARMEN L. da R. PIETROBON** - [carmen@cybertelecom.com.br](mailto:carmen@cybertelecom.com.br)

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química  
87020-900 – Maringá, PR, Brasil

**CLÁUDIO E. PIETROBON** - [carmen@cybertelecom.com.br](mailto:carmen@cybertelecom.com.br)

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil  
87020-900 – Maringá, PR, Brasil

***Resumo.** Este artigo apresenta o desenvolvimento de instrumentação apropriada para se determinar as propriedades : calor específico médio e condutividade térmica, de diversos materiais de construção Civil. As normas utilizadas são, respectivamente, a ASTM C-351 (1982) de origem norte americana e a DIN 51406 (1976), pelo método do fio quente, de origem alemã, além de sondas térmicas cujos princípios de modelagem físico-matemática foram definidos por CARSLAW-JAEGER (1960). O objetivo destes procedimentos é a obtenção de dados termo-físicos para a aplicação em softwares de simulação do desempenho termo-energético de edificações.*

**Palavras-chave:** Instrumentação, Calor Específico, Condutividade Térmica, Materiais de Construção, Conservação de Energia.

### 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das propriedades termo-físicas é de suma importância para a correta aplicação dos materiais de construção, quer seja em nível de projeto ou de simulação computacional na área de desempenho térmico e energético. No Brasil, não há procedimentos sistemáticos para a determinação e divulgação dessas propriedades nos moldes de um *handbook*, nem tampouco apresentam-se disponíveis nas condições de interesse para a correta utilização. Via de regra, os profissionais reportam-se a manuais de origem estrangeira, diminuindo a confiabilidade do resultado final da utilização, devido às peculiaridades e diferenças intrínsecas dessas propriedades dos materiais de construção. Desta forma apresentam-se a descrição de três aparatos para a medição de duas grandezas físicas e os resultados obtidos para alguns tipos de materiais de construção.

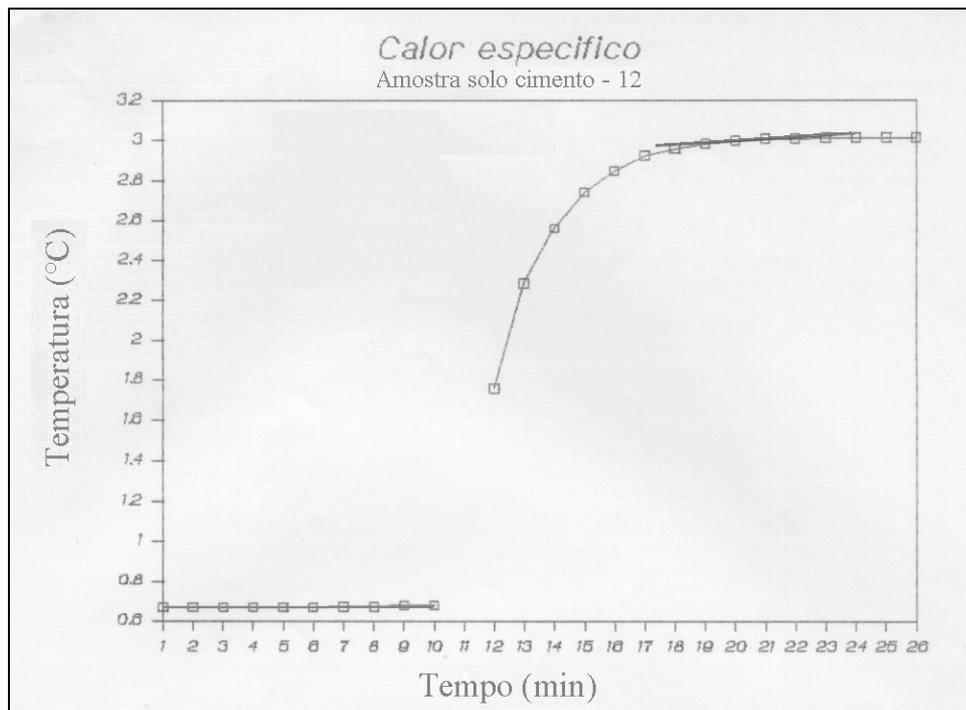
### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a determinação do calor específico médio, o aparato desenvolvido é constituído de: um calorímetro, um aquecedor, um termômetro de precisão e acessórios periféricos para a sua sustentação e aquisição de dados. O calorímetro consiste de um frasco de DEWAR (500 a 750 ml), contendo um agitador mecânico e um termômetro de precisão (resolução de 0,01° C e amplitude de 19° C a 25° C). Como complemento, apresenta um aquecedor elétrico composto de um tubo cilíndrico de latão (26 cm de comprimento e 14 cm de diâmetro) coberto

com uma folha de mica onde foram dadas 70 voltas de um fio para resistência elétrica de níquel-cromo (30 AWG) e posteriormente isolado com lã de vidro. A temperatura do forno é controlada através de um VARIAC. Contém ainda termopares de cobre-constantan (fios de 0,1 mm) aferidos e ligados a um milivoltímetro digital (4 1/2 dígitos - 199,99 mV). Além disto, há uma cápsula que compreende um cilindro vazado de latão (5,08 cm de comprimento e 2,54 cm de diâmetro) com tampa removível e uma cavidade para o termopar. O ensaio de calor específico consiste, basicamente, em aquecer uma amostra localizada no interior da cápsula, no forno a uma temperatura de 90° C, controlando a temperatura da água em 20° C no frasco de DEWAR. Após o forno estabilizar-se em torno de 90° C, mantém-se o forno por 15 minutos nestas condições, sendo que no quinto minuto lê-se a temperatura da água no frasco de DEWAR e liga-se a agitação. Do sexto minuto ao décimo quinto minuto, lê-se a temperatura da água e do forno a cada minuto

No décimo sexto minuto, transfere-se a cápsula do forno para o frasco de DEWAR e a cada minuto lê-se a temperatura da água até o equilíbrio térmico.

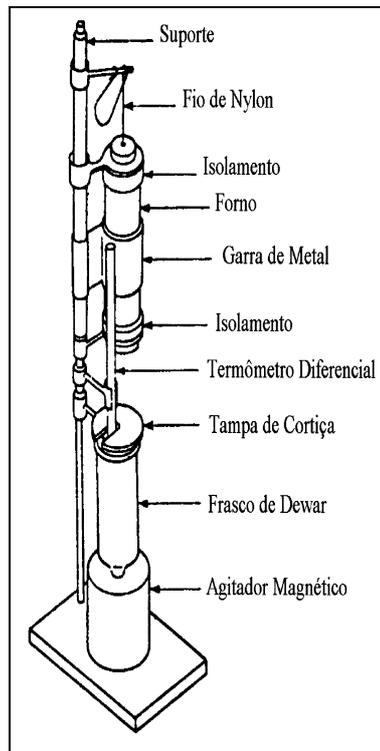
Na seqüência, após a experimentação, monta-se um gráfico cartesiano com o tempo (minuto) na abcissa e a temperatura (° C) na ordenada, do qual extrai-se através de uma regressão linear dos últimos pontos a temperatura T16, que é a temperatura da água extrapolada para o instante do décimo sexto minuto, conforme a figura 1.



**Figura 1 Curva Típica de um Ensaio Padrão.**

Mediante as massas da amostra e da água, através do modelo físico-matemático segundo a equação 1, pela qual, determina-se o calor específico da amostra, sendo que o Equivalente grama do calorímetro e acessórios é determinado na calibração do equipamento.

Apresenta-se na figura 2, um esquema do aparato e a indicação dos seus componentes.



**Figura 2. Aparato para Determinação do Calor Específico Médio.**

$$C_p = \frac{\left[ \frac{(M_w + E) \times C_w \times (T_m - T_c)}{(T_h - T_m)} \right] - M_c \times C_c}{M_s}$$

Onde:

$M_s$  = Massa da amostra de teste (g);

$E$  = Equivalente grama do calorímetro e Acessórios (g);

$M_w$  = Massa da água (g);

$C_w$  = Calor específico da água (1 Cal/g °C);

$T_h$  = Temperatura média da cápsula contendo a amostra no aquecedor (°C);

$T_m$  = Temperatura da mistura extrapolada,  $(T_{16} - T_6 + T_{\text{água inicial}})$  (°C);

$M_c \times C_c$  = Capacidade térmica da cápsula (2,5 Cal/°C);

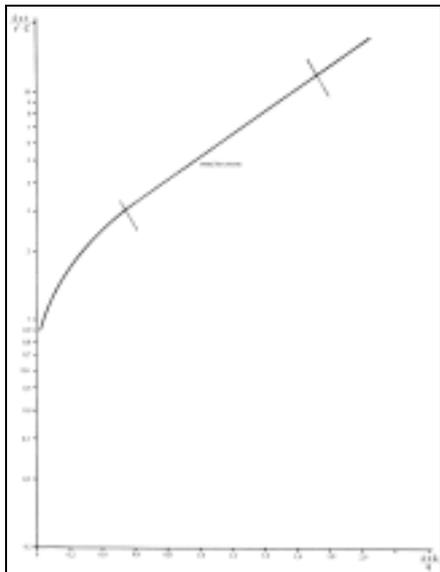
$T_c$  = Temperatura do fluido calorimétrico, água,  $(T_{15} - T_6 + T_{\text{água inicial}})$ .

Para a determinação de condutividade térmica, foram desenvolvidos dois aparatos funcionando em regime transiente ( fio quente e sondas lineares). O primeiro constitui-se um circuito de aquecimento formado por um fio do tipo KANTHAL (diâmetro menor ou igual a 0,35 mm e comprimento de 200 mm), denominado de fio quente. Ele é ligado a uma fonte de tensão estável ( corrente contínua) por meio de condutores de cobre ( diâmetro menor ou igual ao fio quente). Em seus terminais deve ser medida a voltagem para determinação da potência dissipada, com um voltímetro de precisão adequada. O circuito de medidas de temperatura é formado por um par termelétrico de cobre-constantan (diâmetro semelhante ao do fio

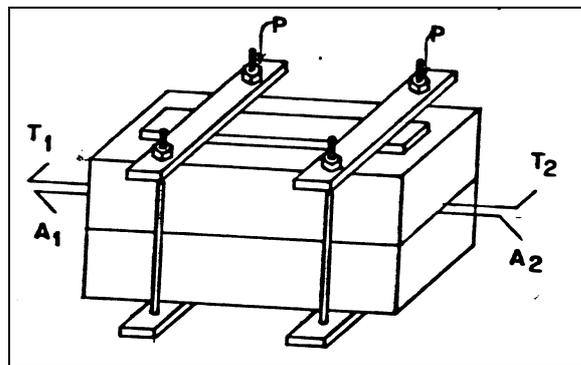
quente). Este par é ligado a outro semelhante, chamado de referência. Ambos se encontram ligados a um sistema de aquisição de dados do tipo datalogger. Tanto o fio quente como o par termelétrico, são colocados paralelamente, entre dois corpos de prova monolíticos bem ajustados. O processo consiste em medir o aumento da temperatura a uma certa distância do fio quente. Plotando-se o aumento da temperatura com o logaritmo do tempo, obtém-se uma curva da qual se extrai o coeficiente de condutividade térmica do material de teste através da equação simplificada de CARSLAW e JAEGER (1959), conforme apresentada a seguir, na equação 2:

$$k = \frac{q}{\frac{4\pi}{d \ln t} \frac{d\Delta T}{d \ln t}}$$

A figura 3 apresenta uma curva típica de  $\Delta T$  em função de  $\ln t_2 / t_1$ , tendo-se uma porção linear cujo coeficiente angular será:  $q/4\pi k$ . Com os valores da tensão aplicada por unidade de comprimento da sonda ( $q/l$ ) e do coeficiente angular ( $q/4\pi k$ ) calcula-se o valor da condutividade térmica desejada.

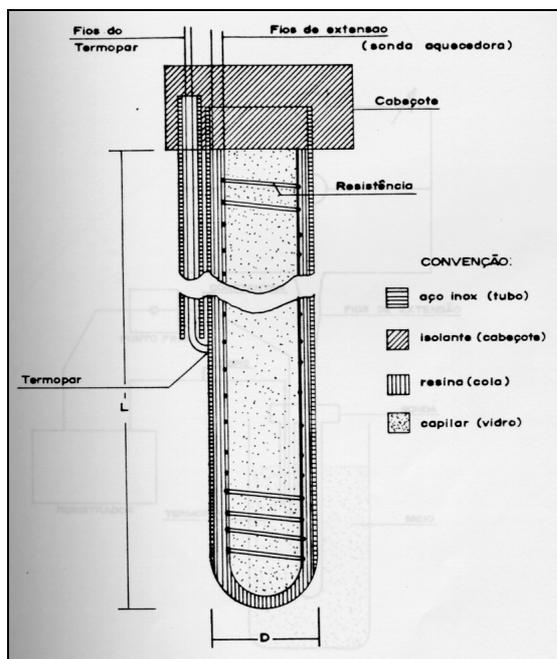


**Figura 3. Curva Típica da Relação T=F (T)**

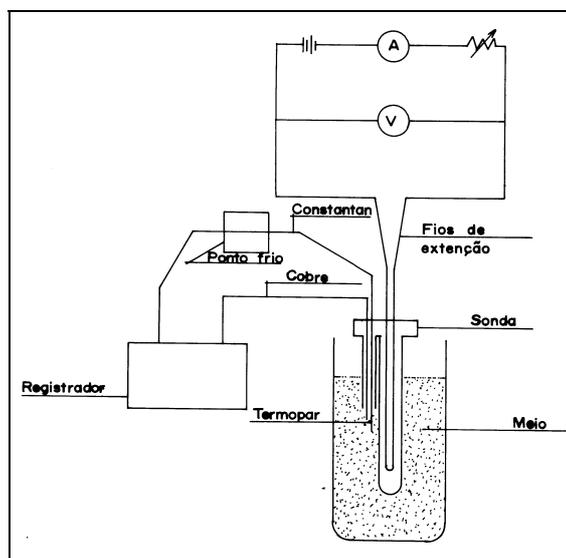


**Figura 4. Aparato para Determinação da Condutividade Térmica pelo Método do Fio Quente**

Apresenta-se na figura 4 o esquema completo do aparato do fio quente para as medidas da condutividade térmica em regime transiente. A sonda constitui-se de microtubos de aço inoxidável, vazados, de diâmetro máximo de 3 mm, contendo no seu interior uma resistência elétrica ( fio do tipo níquel-cromo enrolado de modo bi-filar de pequeno diâmetro). Ainda, um par termelétrico de cobre-constantan com diâmetro menor que 0,1 mm. Ambos devem ser isolados eletricamente, e todo o espaço interno remanescente deve ser preenchido com uma resina de baixa resistência térmica. O conjunto para a medição inclui, também, uma fonte de tensão elétrica estável ligada aos terminais da resistência elétrica, e um sistema de aquisição de dados de variação de temperatura por um registrador potenciométrico. O procedimento de teste consiste em inserir a sonda na amostra com diâmetro de 15 cm e 30 cm de altura, aplica-se a tensão adequada e registra-se a variação da temperatura com o logaritmo do tempo. Deste gráfico, em sua porção linear extrai-se o valor da condutividade térmica, através da equação 2.



**Figura 5. Aparato para determinação da Condutividade Térmica por Sonda Linear**



**Figura 6. Sistema de medição da condutividade térmica por sondas.**

**Tabela 1. Características das sondas**

Sonda	$\phi_i$ (mm)	$\phi_e$ (mm)	l (cm)	l/ $\phi$	$\Omega$ (ohm)
I	1,75	2,00	9,40	47,0	44,0
II	1,75	2,00	7,20	36,0	34,0
III	2,15	2,16	15,50	56,2	98,5
IV	1,95	2,41	20,40	84,6	43,0
V	1,26	1,65	18,50	112,0	48,0
VI	0,85	1,24	19,20	154,8	66,0

Considerando que as sondas devem ser fabricadas de acordo com o meio a ser testado, tem-se as seguintes considerações

A sonda I com resistência revestida por um micro tubo de aço inoxidável e termopar revestido por outro micro tubo de diâmetro menor apresentou porção linear, e os resultados foram bons, quando testada com areia de várias granulometrias.

A sonda II, similar à sonda I apresentou porção linear e os resultados obtidos nos testes com areias foram melhores do que com a sonda I, comprovando as recomendações de projeto de BLACKWELL (1953).

As sondas III e IV, com resistência e termopar inseridos em um mesmo micro tubo de aço inoxidável, apresentaram bons resultados, quando testadas com madeiras.

As sondas V e VI construídas com termopar inserido no micro tubo de aço inoxidável e a resistência enrolada externamente com um plástico isolando-a do metal apresentaram defeito de construção, o termopar entrou em curto circuito elétrico com o metal.

## 2.2 Calibração

Os equipamentos foram calibrados através de padrões, em laboratório credenciado do IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas, localizado em São Paulo -SP, por meio de recomendações normativas de instrumentação laboratorial desenvolvidas por este instituto.

## 2.3 Materiais

Os materiais escolhidos são : agregados miúdos de concreto, gesso, cimento, blocos cerâmicos vazados, solo-cimento, pisos cerâmicos, azulejos lisos brilhantes e acetinados, chapas de cimento-amianto, chapas de fibras de madeira e madeira beneficiada de essências arbóreas nativas da região: Peroba Rosa (*Aspidosperma polineuron*) e Canafístula (*Pelthoforum dubium*), além de outras madeiras menos comuns.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Calor Específico

Para o caso de materiais de construção não moldados in loco foi necessário testar vários arranjos de formas variadas ( material granular de moagem, cubos, irregulares, e cilíndricas fatiadas). Destes arranjos a forma cujos melhores resultados se obtiveram foi a de cilindros fatiados em relação ao material moldado in loco, no caso, o material solo-cimento. Os resultados apresentam-se na tabela 3.1, a seguir. Para o solo-cimento moldado in loco , na calibração o desvio máximo foi de 3,2% e no caso dos cilindros fatiados foi 13,0%, ambos com relação ao padrão do IPT.

### 3.2 Condutividade Térmica

A fim de verificar o desempenho das sondas construídas segundo BLACKWELL (1953,1954) utilizaram-se materiais granulares (areia, solo-cimento moído cimento *portland* e gesso) para a calibragem . As madeiras : Ipê, Castanheira, Cedrilho, Tamboril, foram medidas e calibradas segundo os padrões do IPT. Os resultados apresentam-se na Tabela 2, a seguir.

**Tabela 2. Resultados de Calor Específico**

**Tabela 3. Resultados de Condutividade Térmica Obtidos com Sondas Lineares .**

AMOSTRA	Cp ( Cal/ g ° C )	AMOSTRA	k ( W/m ° C )
Solo-Cimento (7%)	0,206	Solo-Cimento (7%)	0,270
Piso Cerâmico	0,222	Areia Lavada Grossa	0,300
Cimento-Amianto	0,285	Gesso em Pó	0,130
Madeira Aglomerada	0,428	Cimento Portland Pó	0,110
Azulejo Acetinado	0,229	Ipê	0,240
Azulejo Brilhante	0,211	Cedrilho	0,140

-	-	Tamboril	0,140
---	---	----------	-------

Os resultados dos testes de desempenho das sondas construídas, em meios porosos e granulares, mostram que em condições similares, os desvios são significativos e dependem do próprio tipo de sonda e do meio poroso. Entretanto no caso das madeiras, que são meios sólidos, em que pese a sua anisotropia os resultados apresentam-se com desvios não significativos em relação aos padrões do IPT. Neste caso os desvios são da ordem de 1%

O protótipo do aparato do Fio Quente, está em fase de calibração, conforme sugere a norma alemã DIN 51406 (1976) e até o presente momento os ensaios foram efetuados com amostras de madeira: Peroba Rosa e Canafístula.

Os ensaios iniciais foram feitos com uma amostra de cada tipo de madeira. Os resultados apresentam-se na Tabela 4 e foi feita uma comparação com uma correlação empírica indicada para madeira seca em estufa e no volume verde. O sentido de medição adotado é longitudinal em relação às fibras. Tal correlação definida por TYE (1969), apresenta-se a seguir na equação 3.

$$k = \rho (0,1159 + 0,00316 M) + 0,01375$$

Onde:

$\rho$  = densidade da madeira ( g/cm<sup>3</sup> );

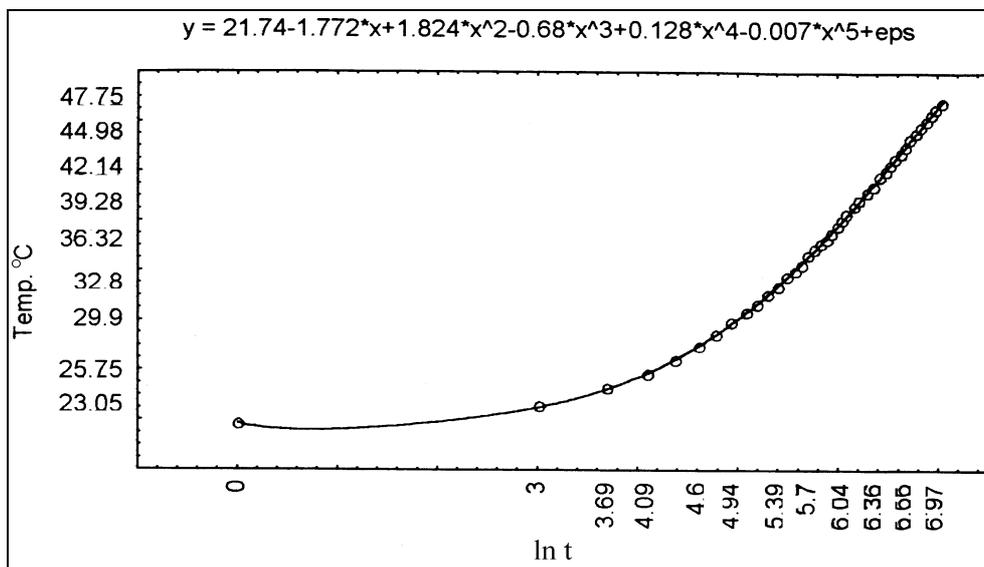
M = umidade da madeira (%);

k = condutividade térmica (Btu/h ft °F).

**Tabela 4. Resultados Obtidos com o Protótipo do Aparato de Fio Quente.**

AMOSTRA	k(W/m K)	k (correlação)	DESVIO (%)
PEROBA	0,343	0,354	3,1%
CANAFÍSTULA.	0,322	0,330	2,4%

Apresenta-se, ainda, na figura 7, a relação  $T = f(t)$ , para um ensaio com amostra de Peroba Rosa.



## Figura 7. Curva Típica da Relação $T=f(t)$

### 4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os aparatos desenvolvidos tem dupla finalidade, a primeira destina-se para o uso em disciplinas laboratoriais do nível de graduação, e a segunda para a pesquisa e no nível de pós-graduação. A pesquisa em pauta pretende o desenvolvimento dos aparatos, a sua calibração e a obtenção de um banco de dados dos materiais de construção mais comumente empregados na construção civil para aplicação em *softwares* de simulação do desempenho termo-energético de edificações, além de outros de interesse da engenharia química.

Os resultados, até o presente momento, têm sido comparados com padrões do IPT, cujo laboratório é credenciado para tais atividades, e o desempenho dos aparatos desenvolvidos tem sido periodicamente comparado e apresentam resultados consistentes.

Pretende-se continuar, tanto com o desenvolvimento de aparatos desta natureza quanto ampliar o tipo e a qualidade de materiais a serem ensaiados, buscando o conhecimento de suas características termo-físicas.

### REFERÊNCIAS

- ASHRAE -ASHRAE Handbook and Products Directory-1977. “**Fundamentals**”, New York. (1977)
- ASTM - 303 - 72., “**American Society for testing and Materials**”. (1972).
- ASTM - C - 351 - 82.,” Standard Test method for mean specific heat of thermal insulation .(1982).
- BLACKWELL J.H.,” A transient - flow method for determinations of thermal constants of insulation materials in bulk.” **J. of Apply. Phys.** 25, 2 (1954).
- BLACKWELL J.H., “Radial - Axial heat flow in regions bounded internally by circular cylinders. “ **Can. J. Phys.** 31, 472. (1953)
- CARSLAW H.S., J.C. JAEGER “**Conduction of heat in solids.** “, Oxford, Oxford Univ. Press. (1959.)
- DEUTSH INSTITUT FUR NORMUNG-DIN 51046.”**Determination of thermal conductivity according to the heating wire method.**” (1976).
- ERKELENS H.J., ”Development of a probe for measuring the coefficient of thermal conductivity in building materials. **J.I-HVE.**, 281 (96), (1960).
- PIETROBON C.L.R. “**Desenvolvimento de sistemas para determinação da condutividade térmica.**” São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, Dissertação de Mestrado. (1988).

TYE R.P. "Thermal conductivity. ", v.1 and 2, Academic Press, London and New York. (1969).

**EXPERIMENTAL DETERMINATION OF CONSTRUCTION MATERIALS  
THERMAL AND PHYSICS PROPERTIES FOR ENERGY CONSERVATION**

**ABSTRACT**

*This paper presents the development of appropriate instruments to obtain the following properties: medium specific heat and thermal conductivity of some construction materials. The standards used are: ASTM C-351 (1982) from USA, DIN 51406 (1976) from Germany and thermal probe with mathematical and physical model was defined by CARSLAW-JAEGER (1960). The aim of this procedures is to use it in buildings thermal and energetic performance softwares .*