



UM MÉTODO SIMPLES DE MEDIDA DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, PARA LABORATÓRIO DE ENSINO

Flávio Gonçalves Cavalcante(1) ; Lucila Chebel Labaki

Unicamp, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo
Av. Albert Einstein nº 951, Campinas, 13083-852, São Paulo, Brasil, (19)3788-2384.

(1) Estudante de graduação de Engenharia Civil, Bolsista PIBIC/CNPq

e-mail: flv-cav@fec.unicamp.br; lucila@fec.unicamp.br

RESUMO

O estudo consiste em pesquisar e desenvolver um aparelho para fins didáticos que permita, através de um experimento simples, o cálculo numérico da condutividade térmica de materiais de construção. Esta característica do material é classificada como uma propriedade de transporte e indica a taxa pela qual a energia é transferida pelo processo de condução, que depende da estrutura física da matéria e é dada pela lei de Fourier. O sistema resultante será disponibilizado nas aulas de física aplicada da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, possibilitando aos futuros profissionais do ambiente construído o contato não somente teórico, mas prático com técnicas e dados úteis para o dimensionamento de ambientes termicamente confortáveis.

ABSTRACT

The aim of this work is to develop a device which allows, through a simple experiment, the numerical determination of the thermal conductivity of building materials, in laboratory lessons. This characteristic of the material is classified as a transport property and indicates the rate at which the energy is transferred through the conduction process. It depends on the physical structure of the substance and follows the Fourier law. The resultant system will be a laboratory practice in the course of Applied Physics at the School of Civil Engineering, Architecture and Urban Planning, making possible to the future professional of the built environment the contact not only theoretical, but practical with useful techniques and data for the dimensioning of thermal comfortable environments.

1. INTRODUÇÃO

Dentro da engenharia civil tem-se notado nos últimos anos o aumento do número de pesquisas e estudos enfatizando o conforto térmico em edificações, uma vez que tal aspecto tem ganho destaque entre os profissionais da área.

As exigências humanas de conforto térmico estão relacionadas com o funcionamento de seu organismo, cujo mecanismo complexo, pode ser, grosso modo, comparado a uma máquina térmica que produz calor segundo sua atividade. O homem precisa liberar calor em quantidade suficiente para que sua temperatura interna se mantenha da ordem de 37°C – homeotermia.

Fatores importantes nessa relação são a temperatura, umidade, velocidade do ar, radiação solar incidente e o tipo de material que serve como isolamento entre o meio externo e interno dos ambientes construídos. Esses elementos estão fortemente ligados ao clima da região, e às condições do entorno.

Os conceitos de conforto ambiental são obrigatórios nos cursos de Arquitetura e Urbanismo, mas não nos de Engenharia Civil, onde são dados em disciplinas eletivas. Neste contexto, é importante que na disciplina de Física Aplicada seja despertado o interesse do aluno por ambientes confortáveis. Nesse trabalho, é apresentado o desenvolvimento de um aparelho, cuja montagem simples e eficiente auxiliará a determinação da condutividade térmica dos materiais de construção nas aulas das disciplinas de Conforto Térmico. Esse procedimento foi baseado numa publicação da Universidade do Algarve, Portugal (ALGARVE, 2001)

2. FUNDAMENTOS FÍSICOS

Todo estudo em questão baseia-se, fundamentalmente, na transferência de calor, que consiste na energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperatura. O processo de interesse nesse trabalho é a condução de calor.

Quando existe um gradiente de temperatura em meio estacionário, chamamos de condução a transferência de calor existente. Esse meio estacionário pode ser um sólido ou um fluido dos quais as atividades atômicas e moleculares são responsáveis pela transferência de calor das partículas mais energizadas para as menos energizadas, segundo o gradiente de temperatura.

Temperaturas mais elevadas estão associadas a energias moleculares maiores e, devido às colisões iminentes e constantes entre as partículas, ocorre a transferência de calor por condução. Os choques entre as moléculas dependem do grau de agitação destas (temperatura) e do estado físico que se encontram, visto que a mobilidade de movimento das moléculas é maior no estado gasoso e menor no sólido, sendo o líquido intermediário.

Através da Lei de Fourier podemos quantificar o processo de transferência de calor para uma dada distribuição de temperatura $T(x)$:

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx} \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde:

$$q''_x \rightarrow \text{Densidade de fluxo de Calor (W/m}^2\text{)} \quad \frac{dT}{dx} \rightarrow \text{Gradiente de temperatura}$$

$$k \rightarrow \text{Condutividade Térmica (W/m K)}$$

O sinal é negativo porque o calor é transmitido no sentido decrescente da temperatura.

Dada uma distribuição linear para $T(x)$ em regime estacionário, vem:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad [\text{Eq. 02}]$$

Combinando a [Eq. 01] com a [Eq. 02], vem:

$$q''_x = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad [\text{Eq. 03}]$$

Tem-se, portanto a densidade de fluxo de calor na direção X, dado pela equação 03. Analogamente se obtém para as direções Y e Z do espaço.

Condutividade Térmica

Para a determinação da condutividade térmica se faz necessário um prévio conhecimento desta característica peculiar da matéria.

Esta característica é classificada como uma propriedade de transporte e indica a taxa pela qual a energia é transferida pelo processo de condução. Ela depende da estrutura física da matéria e é dada pela lei de Fourier [eq. 01]).

$$K_x = -\frac{q''_x}{\partial T/\partial x} \quad [\text{Eq. 04}]$$

Tem-se pela eq. 04 a condutividade térmica de um material heterogêneo na direção X do sistema, sendo análogo às direções Y e Z. Para um material isotrópico, a condutividade independe da direção, portanto $K_x = K_y = K_z = K$.

Da equação segue que, para um determinado gradiente de temperatura, o fluxo de calor aumenta com o aumento da condutividade térmica.

Em geral materiais sólidos possuem maior condutividade que os líquidos e estes que os gasosos. Em um sólido a condução é atribuída à atividade na forma de vibrações dos retículos cristalinos. Uma visão moderna é a de associar a transferência de energia a ondas na estrutura dos retículos induzidos pelo movimento atômico (INCROPERA & DE WITT, 2003).

Nos líquidos temos algo semelhante, porém as moléculas estão mais afastadas e com interações mais fracas. Nos gases o espaçamento entre as moléculas é ainda maior e, portanto, a interações mais fracas que as dos líquidos.

A contribuição dada pelo movimento aleatório à transferência de calor é dominante próximo à superfície, onde a velocidade é baixa e a contribuição do movimento global tem origem no fato de a camada limite crescer em X.

A equação para taxa de transferência tem a seguinte forma:

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad [\text{Eq. 05}]$$

Onde h é o coeficiente de convecção dado em (W/m².K).

3. MÉTODO E MONTAGEM

O experimento consiste em gerar uma variação de temperatura conhecida junto a um dispositivo que contenha o material a ser testado, formando um fluxo de energia e, através de cálculos, determinar, a condutividade térmica do material.

Uma variação de temperatura fácil de se obter é a de 100°C, cujo efeito pode ser alcançado utilizando-se gelo em fusão e o sistema água-vapor de água, desprezando os efeitos de pressão, umidade e temperatura ambiente e, portanto, considerando o primeiro a 0°C e o segundo a 100°C. Essa diferença de temperatura faz o gelo derreter e através da massa de gelo convertida em água podemos, pelo conceito de calor latente, obter o quanto de calor fora fornecido ao gelo. (Eq 07):

$$Q = L_{\text{gelo}} \cdot m \quad [\text{Eq. 07}]$$

Com esta informação pode-se deduzir a condutividade térmica do material pela substituição da equação (07) na equação (08), com segue a seguir:

$$\frac{Q}{\Delta t} = K \frac{A}{h} \Delta T \quad [\text{Eq. 08}]$$

$$K = \frac{mL_{\text{gelo}} \cdot h}{A \cdot \Delta t \cdot \Delta T} \quad [\text{Eq. 09}]$$

Onde:

Q --> Quantidade de calor

Δt --> Variação de tempo

A --> Área do corpo de prova

Δ --> Variação de Temperatura

h --> Espessura do corpo de prova

3.1 – Calibração do Sistema

Para calibrar o sistema foi utilizado como corpo de prova uma chapa quadrada de uma liga de alumínio de lado 0,12 m e espessura de 0,002 m. A escolha do material tem ligação com o fato do alumínio apresentar grande condutividade térmica e facilitar os cálculos para calibração do sistema.

Encontra-se na literatura um valor para condutividade térmica do alumínio, dependendo da liga utilizada, entre 200 W/m.°C e 240 W/m.°C, (INCROPERA & DE WITT, 2003); o objetivo é obter valores aproximados através da montagem descrita a seguir.

3.2 – Montagem

Para montar o aparelho necessita-se de uma câmara fria e outra quente, a fim de promover a diferença de temperatura esperada. Neste caso utiliza-se recipientes cilíndricos de isopor ($\phi = 0,07\text{m}$ e $h=0,12\text{m}$), para evitar as perdas de calor laterais e em outras direções, senão pelo contato com o corpo de prova.

A câmara quente é ocupada por vapor d'água gerado por água em ebulição em um balão volumétrico e conduzida até o reservatório por uma mangueira de borracha. Neste percurso fora observado uma perda de energia, devido à distância percorrida pela mangueira. Por isso utilizou-se um termopar dentro da câmara quente para medir, efetivamente, a temperatura de saída do vapor.

Na câmara fria há gelo, produzido diretamente dentro do recipiente de isopor. Nesta situação foram encontradas dificuldades, pois além da isolamento térmica característica do gelo, temos também a isolamento do isopor, o que favorece a formação de um pouco de água líquida no centróide do cilindro. Para evitar essa formação foi necessário produzir esse gelo em um freezer, por pelo menos 24 horas.

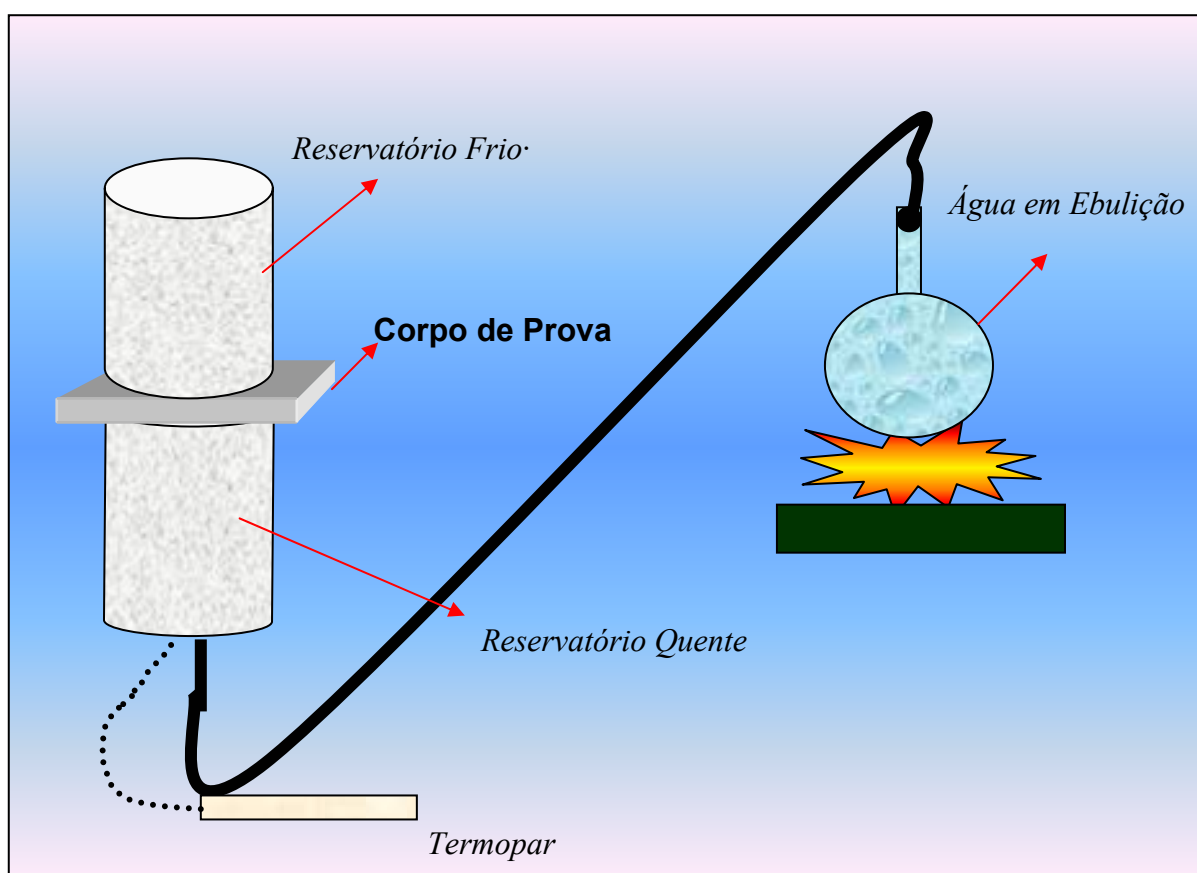


FIG. 1 – Esquema explicativo.

Com o esquema montado (Fig. 1), anota-se a quantidade de água derretida e as diferenças de temperatura no tempo, geralmente curto, de 3 ou 5 minutos. Monta-se uma tabela (tabela1) a fim de uma melhor disposição para dos dados. Calcula-se pela equação 09 a condutividade térmica do corpo de prova.

Na câmara fria deve ser contabilizado o efeito causado pelo atrito entre as paredes de isopor e o gelo. Esse fato dificulta muito o “escorregamento” do gelo pelo recipiente ao encontro do corpo de prova, gerando um bolsão de ar e água entre o gelo e o corpo de prova, cuja temperatura é diferente de 0° C.

Com essa patologia sanada foi possível *plotar* o gráfico Massa x Tempo, cuja curva deverá ser, idealmente, uma reta, visto que a taxa de variação da massa no tempo é constante.

3.3 – Resultados

Serão mostrados nesta seção alguns resultados obtidos com a montagem descrita. Esses resultados contam com a tabela de dados e seus respectivos gráficos de massa x tempo.

Tabela 1 – Teste com isopor cilíndrico com troca de recipiente

Tempo [s]	Massa [g]	T _{quente} [°C]	T _{gelo} [°C]	K [W/m°C]
60	24.5	97	0	176,4
120	53.6	97	0	192,9
180	86	97	0	206,4
240	115.5	97	0	207,9
300	149.4	97	0	215,1
360	176.4	97	0	211,6

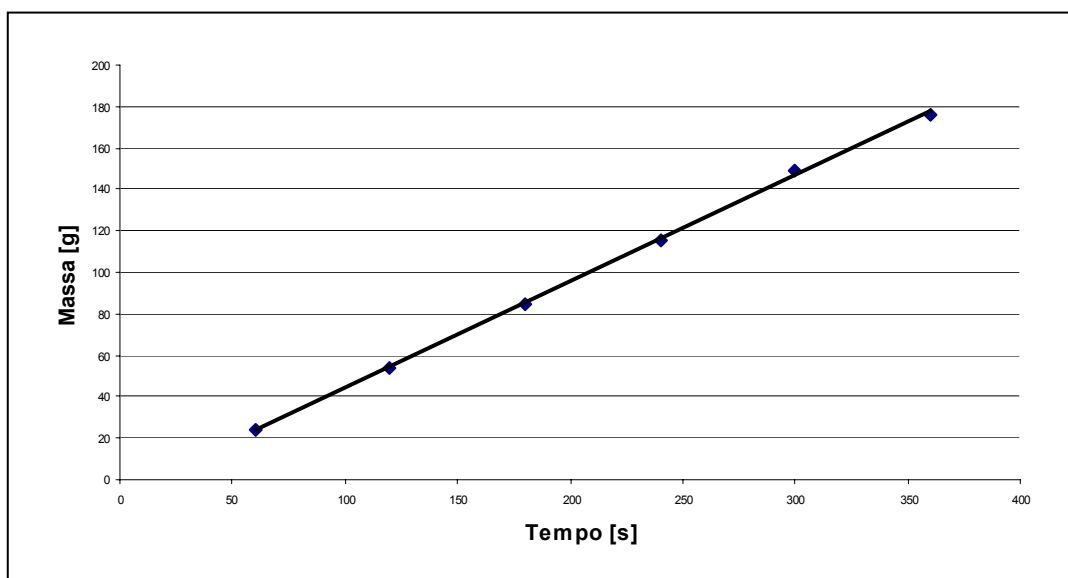


Gráfico 1 –Correspondente à Tabela 1

Nota-se que a reta apresentada no gráfico 1 possui uma aproximação muito boa, porém ainda com um resíduo alto.

A seguir apresenta-se os resultados de uma segunda amostra, que configura a tabela 2 e o gráfico2.

Tabela 2 – Teste com isopor cilíndrico com troca de recipiente

Tempo [s]	Massa [g]	T_{quente} [°C]	T_{gelo} [°C]	K [W/m°C]
60	24.8	87.6	0	197,7
120	49.5	80	0	216,0
180	73.1	86.9	0	195,8
240	100.3	88.5	0	197,8
300	125.5	88.3	0	198,5
360	151.4	86.6	0	203,5

A tabela 2 apresenta uma média para **K** de 201,5 W/m.°C.

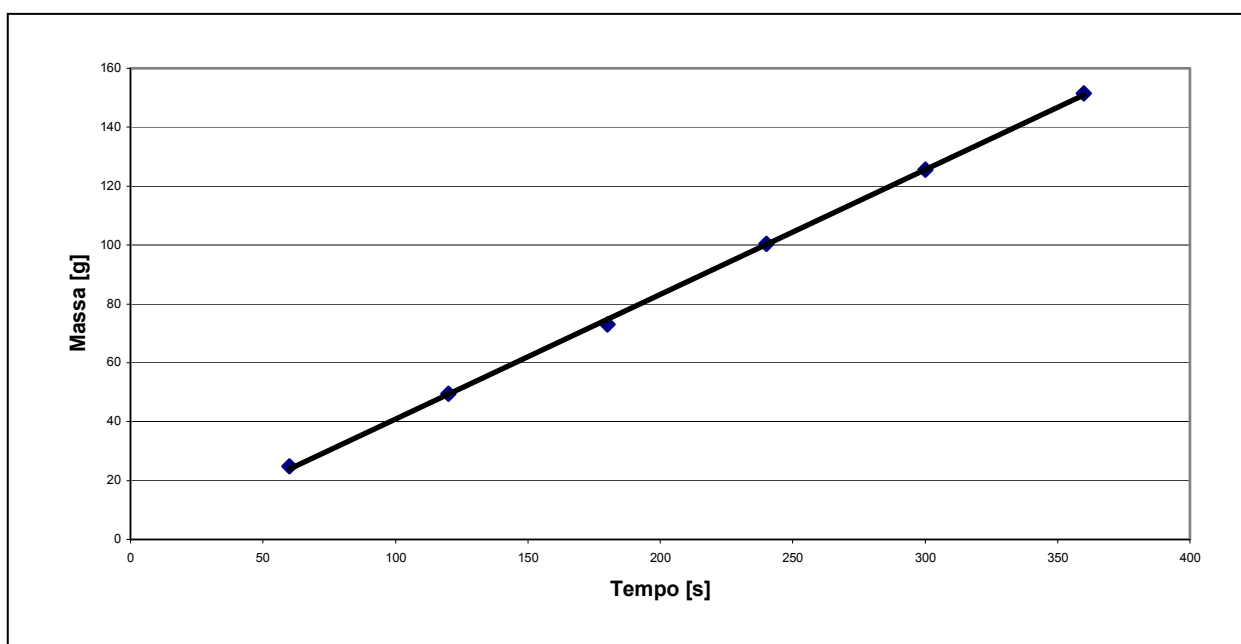


Gráfico 2 – Correspondente à Tabela 2

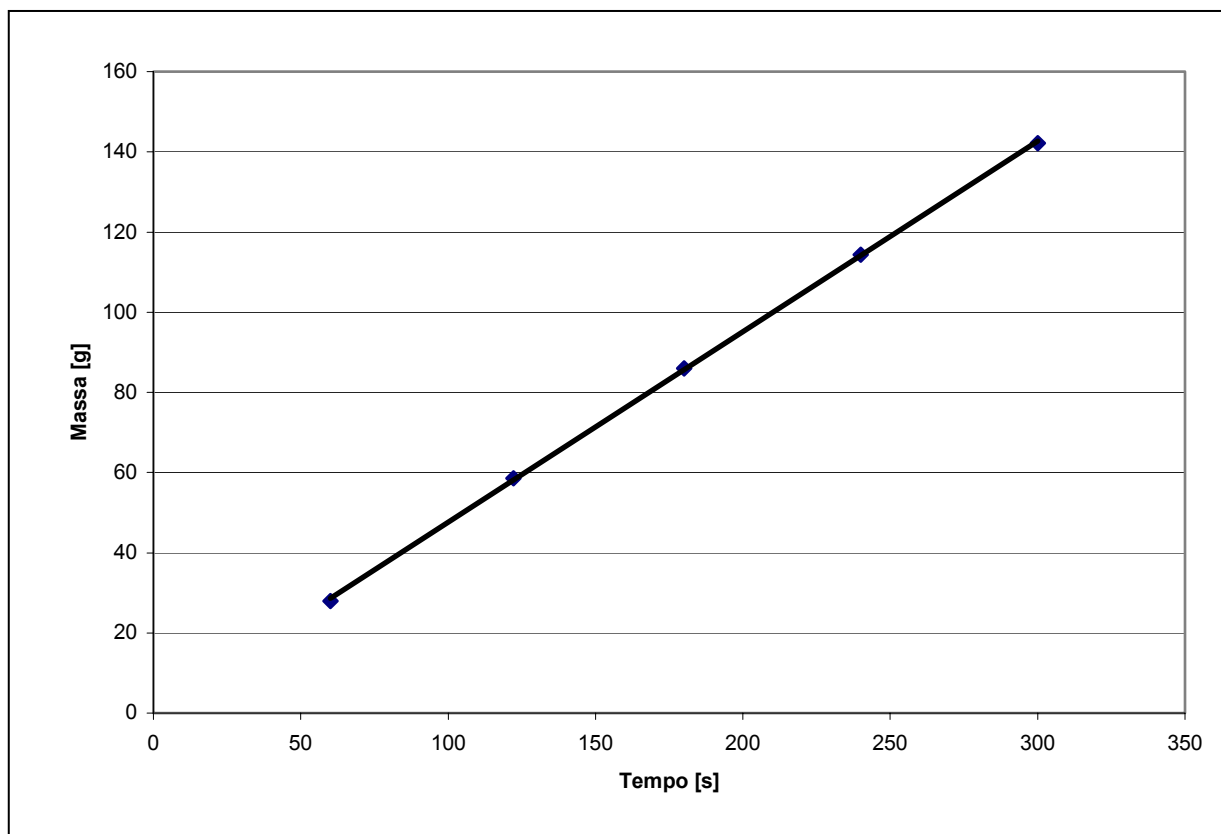
O gráfico 2 também apresenta uma boa aproximação de uma reta, porém ainda sendo perceptível o resíduo de alguns pontos.

A tabela 3 e o gráfico 3 (conjunto3), a seguir, mostram valores e aproximações tão próximos ao valor de **K** quanto os conjuntos1 e 2 já apresentados, porém com um resíduo mínimo.

Tabela 3 – Teste com isopor cilíndrico com troca de recipiente

Tempo [s]	Massa [g]	T _{quente} [°C]	T _{gelo} [°C]	K [W/m°C]
60	27.9	96.9	0	201,1
120	58.8	97	0	211,6
180	84.4	97	0	202,5
240	114.4	97	0	205,9
300	142.1	97	0	204,6

A tabela3 nos fornece um valor médio para **K** de 205 W/m.°C.



Observa-se que os valores médios para condutividade térmica nas três situações encaixam-se nos limites indicados na seção 3.1.

Dentro das dificuldades encontradas para experimentos com medição de temperatura e fluxo de energia, o sistema apresentou-se equilibrado e com repetibilidade. As aproximações das retas nos respectivos gráficos foram satisfatórias, sobretudo no gráfico 3.

4 –CONSIDERAÇÕES FINAIS

O esquema apresentado supre às necessidades a que foi proposto, pois é um sistema de montagem e execução simples, cuja função didática é alcançada, fundamentalmente, pelo fácil manuseio e por ser elaborado com materiais de fácil acesso.

Nem sempre o conforto térmico deve refletir em um maior custo para obra. Pelo contrário, através de estudos e pesquisas específicas devemos encontrar soluções tecnologicamente eficientes e de custo

baixo, para que o ambiente construído tenha uma resposta térmica ambiental conveniente e responsável.

Esperamos que o nosso estudo possa ser aproveitado não somente nas disciplinas de conforto térmico da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, mas por todos os futuros profissionais do Ambiente Construído que se interessarem pelo assunto.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALGARVE, Conduktividade Térmica de Materiais, Universidade do Algarve – Portugal, 2001.

INCROPERA, F. P. e DEWITT D. P., Fundamento de Transferência de Calor e de Massa, 5ª edição, LTC, 2003.