



## ANÁLISE DO USO DA LÃ DE VIDRO COMO ISOLANTE TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES

**Romulo Ruiz Gasparini (1); Luís Mauro Moura (2); Andrea Sartori Jabur (3)**

(1) Companhia de Saneamento do Paraná, Brasil – e-mail: romulorg@sanebrasil.com.br

(2) Departamento de Engenharia Mecânica – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Brasil

(3) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Maringá, Brasil

### RESUMO

**Proposta:** Com o intuito de se reduzir o consumo de energia elétrica devido à climatização artificial de ambientes e de se melhorar as condições de conforto térmico de ambientes não climatizados, o uso de materiais isolantes, como a lã de vidro, vem ganhando destaque na indústria da construção civil. Assim, neste trabalho, analisa-se o uso da lã de vidro como isolante térmico em edificações através de um modelo numérico.

**Método de pesquisa/Abordagens:** O código numérico desenvolvido para este problema, em linguagem FORTRAN, considera que a transferência de calor por condução, combinada com a radiação, através do meio, ocorre em um espaço unidimensional e em regime transitório.

**Resultados:** Para efeito de simulação, são considerados dois dias distintos: o primeiro com temperaturas elevadas, típico de verão e o segundo com temperaturas mais amenas, típico de inverno. A variação da emissividade das faces da lã de vidro, com relação ao fluxo total de calor, é analisada, com intuito de se utilizar outros materiais no envoltório da lã de vidro. **Contribuições/Originalidade:** Os resultados da simulação da lã de vidro são comparados com alguns materiais utilizados na construção civil, com intuito de demonstrar a viabilidade de seu uso em edificações.

Palavras-chave: isolantes térmicos, condução, radiação.

### ABSTRACT

**Propose:** New insulation materials are being used in building industry to reduce electric energy consumption due to presence of HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) systems or to improve the thermal comfort of non-conditioned environments. Thus, in this paper, analyze the use of the glass wool as isolation material in building through a numerical model. **Methods:** The numerical model developed to this case, in FORTRAN, considers the conduction heat transfer coupling radiation, through the material, occur in a one-dimensional space and transient state. **Findings:** Two test cases are considered for two distinct days: first one, with high temperatures, representing a summer day; second one, with low temperatures, representing a winter day. The radiative properties variation in the glass wool faces, with relation to the total heat transfer, is analyzed, with intention of if using other materials in the wrap of the glass wool. **Originality/value:** The results of glass wool simulation are compared with others construction materials, with intention to demonstrate the viability of its use in buildings.

Keywords: insulation materials, conduction, radiation.

# **1 INTRODUÇÃO**

No Brasil, o setor governamental tem investido em pesquisa, normalização e legislação para que o consumo energético no País seja reduzido sem prejudicar nosso conforto, evitando assim grandes investimentos em geração de energia elétrica. É o caso do PROCEL (Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica), com atuação em diferentes áreas da sociedade, inclusive a residencial, visando o uso racional de energia. (Lamberts *et al.* (1997))

Segundo o PROCEL, cerca de 20% da produção nacional de energia elétrica é utilizada em edifícios comerciais e públicos e 29% em edifícios residenciais. Alguns trabalhos apontam o alto consumo de energia elétrica em condicionamento de ar no Brasil, mostrando que esse consumo é da ordem de 48% do total em edifícios comerciais e que em edifícios comerciais com fachadas envidraçadas podem chegar a 70% do total durante o verão. No setor residencial, o consumo de energia para o condicionamento de ar é da ordem de 7% do total, sendo considerado um valor baixo, mas cresce significativamente com o aumento do poder aquisitivo da população. (Lamberts *et al.* (1997))

Cabe salientar que no condicionamento o desperdício de energia é grande e as maneiras de reduzir o consumo são fáceis e sem grandes investimentos. O emprego de materiais com maior resistência térmica poderia representar, em muitos casos, uma grande redução no consumo de energia elétrica em edificações com ambientes climatizados e também representar um maior conforto dos ocupantes de edificações sem condicionamento de ar, já que estes materiais proporcionam maior isolamento térmico do ambiente a ser ocupado, diminuindo as trocas de calor com o meio externo.

Por isso, analisar a transferência de calor por condução e radiação em edificações, principalmente através de sua cobertura, já que a maior parte da radiação solar incide diretamente sobre essa parte da construção, apresenta-se como uma ferramenta para se obter o uso racional de energia elétrica em ambientes climatizados e melhorar o conforto térmico de ambientes não climatizados. O uso de materiais isolantes em edificações tende-se a ser normalizado devido aos benefícios alcançados.

O acoplamento de condução e radiação para a determinação da transferência de calor em edificações com uso de isolação térmica se faz necessário devido aos materiais isolantes em muitos casos serem considerados como um meio semitransparente, ou seja, permite a passagem dos dois tipos de transferência de calor.

## **1.1 Revisão da literatura**

Alguns trabalhos sobre análise da transferência de calor por condução e radiação através de materiais isolantes do tipo lã de vidro são encontrados na literatura.

Houston e Korpela (1982) analisaram a transferência de calor por condução e radiação através de isolantes de fibra de vidro localizado entre duas superfícies opacas e isotérmicas. Para a resolução do acoplamento da condução e radiação foi utilizada uma solução iterativa para a equação de balanço de energia e o método de ordenadas discretas para a solução da equação de transferência radiativa. Os resultados obtidos para o fluxo total de calor através da solução numérica foram validados através de medidas experimentais.

Winiarski e O'Neal (1996) verificaram a transferência de calor por condução e radiação, através de um ático residencial com a utilização de materiais isolantes em diferentes pontos no interior deste ático, utilizando um modelo numérico, em regime permanente, resolvido para cada passe de hora e com a validação dos resultados através de um modelo experimental. Os resultados comprovaram que o menor fluxo de calor obtido no ático foi através do posicionamento do material isolante na parte inferior do ático residencial, ou seja, sobre a laje ou forro da residência.

Harris *et al.* (2003) analisaram a transferência de calor através de um material isolante de fibra de vidro, sobre a laje da residência. A lã de vidro foi revestida por uma resina fenólica. Esta resina tem por finalidade à absorção da umidade dispersa dentro do material. Os resultados foram apresentados

para um dia típico de verão e para um dia típico de inverno, sendo que, com o aumento do peso do revestimento da resina sobre o material isolante, houve uma diminuição do fluxo de calor através do meio. As equações básicas de espécie, difusão de calor e transporte radiativo, foram resolvidas simultaneamente em regime transiente aplicando um volume de controle unidimensional no material isolante.

## 1.2 Proposta do trabalho

A proposta deste trabalho é verificar numericamente a transferência de calor através de um material isolante localizado no interior de uma edificação, mais especificamente em um ático residencial. Nesta formulação, as paredes e a base junto ao solo da residência são consideradas como sendo superfícies adiabáticas.

## 2 FORMULAÇÃO

Para um meio semitransparente, com geometria unidimensional cartesiana, absorvente, difuso, com propriedades radiativas constantes, em equilíbrio termodinâmico local e com simetria azimutal, a equação da transferência radiativa (ETR) pode ser expressa da seguinte maneira, segundo Moura (2002):

$$\mu \frac{\partial(\tau, \mu)}{\partial \tau} + I(\tau, \mu) = (1 - \omega)I^o(T) + \frac{\omega}{2} \left[ \int_0^1 I(\tau, \mu') p(\mu', \mu) d\mu' + \int_0^1 I(\tau, -\mu') p(\mu', -\mu) d\mu' \right] \quad (1)$$

Onde  $\tau$  é a espessura ótica do meio, sendo que este termo representa a distância a qual a intensidade radiativa percorre ao longo do meio,  $I^o(T)$  é a intensidade de radiação emitida pelo corpo negro à temperatura do meio,  $\omega$  é o albedo,  $p$  é a função de fase e os dois termos integrais representam o ganho por difusão. A ETR se divide em quatro termos, conforme a equação 1. O primeiro termo expressa a variação da intensidade radiativa no meio, sendo este termo a determinar. O segundo termo expressa a radiação absorvida pelo meio, sendo que essa parcela auxilia no aumento da temperatura do meio. O terceiro termo expressa a radiação emitida em todas as direções pelas faces do meio e o quarto termo expressa a intensidade radiativa espalhada em todas as direções, sendo que este espalhamento é devido à difusão e a retrodifusão da intensidade radiativa no meio.

Considerando como condições de contorno as faces do material isolante, tem-se que as intensidades radiativas nas faces podem ser dadas por, segundo Harris (2003):

$$\tau = 0 \rightarrow I(0, \mu) = \rho_{fw} I(0, -\mu) + (1 - \rho_{fw}) n^2 I^o(T_{fw}) \Rightarrow \mu > 0 \quad (2)$$

$$\tau = \tau_0 \rightarrow I(\tau_0, \mu) = \rho_{fe} I(\tau_0, \mu) + (1 - \rho_{fe}) n^2 I^o(T_{fe}) \Rightarrow \mu < 0 \quad (3)$$

Onde  $\rho_{fw}$  é a refletividade da superfície a oeste,  $\rho_{fe}$  é a refletividade da superfície a leste,  $T_{fw}$  e  $T_{fe}$  são respectivamente as temperaturas nas superfícies a oeste e a leste. As condições de contorno, de ambas as faces, são divididas em dois termos, conforme pode ser visto nas equações 2 e 3. O primeiro termo refere-se a intensidade radiativa que chega na face e sofre reflexão especular, ou seja, em apenas uma direção. O segundo termo refere-se a intensidade radiativa emitida pela face, sendo que essa emissão tem intensidade igual em todas as direções, ou seja, é uma emissão isotrópica.

A passagem de calor ou fluxo de calor por radiação  $q''_{rad}$  através de uma seção de um meio semitransparente é definida pela equação 4:

$$q_{rad}'' = 2\pi \int_{-1}^1 I(\tau, \mu) \mu d\mu \quad (4)$$

Onde a equação 4 representa a integração da intensidade radiativa  $I(\tau, \mu)$  em um determinado volume.

A passagem da radiação no interior de um meio semitransparente gera calor dentro deste material, sendo que esta parcela contribui para a alteração da temperatura interna deste material. O calor gerado internamente  $\dot{q}_{rad}$  é definido pela equação 5:

$$\dot{q}_{rad} = \kappa [4\pi I^o(T) - G] \quad (5)$$

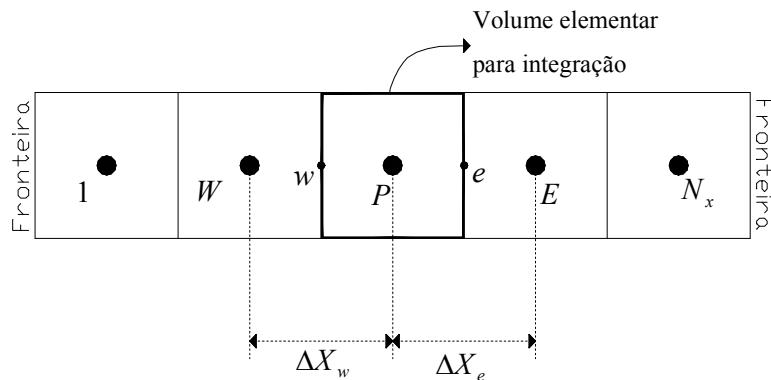
Onde  $G$  é a radiação incidente sobre o material isolante.

## 2.1 Equação de balanço de energia

A equação de balanço de energia ou difusão de calor, para um volume de controle em sistemas de coordenadas cartesianas em um espaço unidimensional, considerando o acoplamento de condução e radiação, é dada, pela equação 6:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k_p \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial q_{rad}}{\partial x} \quad (6)$$

Onde  $\rho$  é a densidade do volume de controle,  $c$  é o calor específico do volume de controle,  $k$  a condutividade térmica do volume de controle,  $k_p$  é a condutividade térmica do volume de controle e  $\Delta T$  é variação da temperatura do volume de controle. O termo  $\frac{\partial q_{rad}}{\partial x}$  representa o calor gerado internamente devido à passagem da radiação no meio, sendo este termo considerado como um termo fonte da equação de difusão de calor. A equação 6 foi proposta por Harris *et al.* (2003), para a solução da transferência de calor por condução e radiação através de um isolante térmico utilizado em lajes residenciais. A equação 6 não tem solução analítica, sendo necessário à utilização de métodos numéricos para se determinar o fluxo de calor através deste meio. Uma técnica bastante utilizada na solução deste tipo de problema, segundo Maliska (1995), é o método de volumes finitos que consiste subdividir o meio em vários volumes, conforme a figura 1.



**Figura 1 – Malha para o problema unidimensional de difusão de calor.**

Integrando a equação 6 no tempo e espaço, sendo que para a temperatura usou-se uma função linear para a interpolação e para o tempo usou-se uma formulação explícita para a interpolação, obtém-se a seguinte equação para a solução numérica do perfil de temperatura através do meio:

$$T_{P(t+1)} = Fo_E T_{E(t)} + Fo_W T_{W(t)} + (1 - 2Fo_P) T_{P(t)} + \dot{q}_{rad,P} \frac{\Delta x}{\rho c} \quad (7)$$

Onde  $Fo$  é o número de Fourier do volume de integração,  $T_{P(t+1)}$  é a temperatura no centro do volume de integração no tempo  $t + \Delta t$ ,  $T_{P(t)}$  é a temperatura no centro do volume de integração no tempo  $t$  e  $T_{E(t)}$  e  $T_{W(t)}$  são as temperaturas no centro do volume a leste e oeste do volume de integração no tempo  $t$ , respectivamente.

Após conhecer os valores do perfil de temperatura no volumes internos, pode-se determinar o fluxo de calor por condução  $\dot{q}_{cond,P}$  através do volumes internos  $P$ , conforme a figura 2, bastando apenas aplicar a lei de Fourier neste ponto, conforme a equação 8 abaixo:

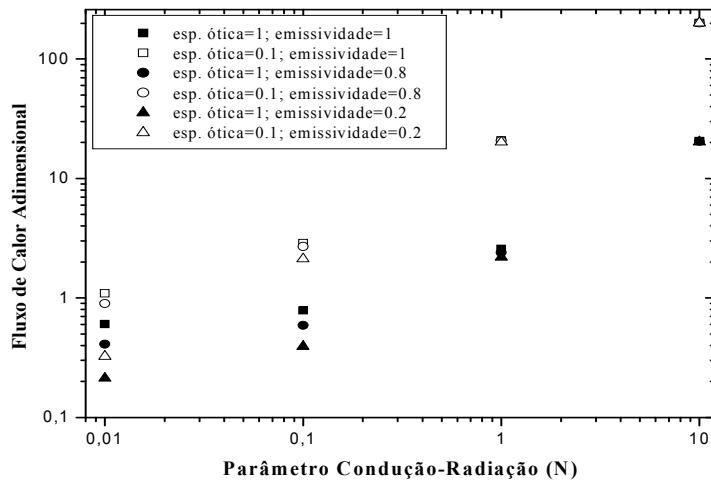
$$\dot{q}_{cond,P}'' = -\frac{k_p(T_E - T_W)}{2\Delta x} \quad (8)$$

O fluxo total de calor nas interfaces dos volumes de controle é a soma dos fluxos por radiação e condução, conforme a equação 9:

$$\dot{q}_{total,P}'' = \dot{q}_{rad,P}'' + \dot{q}_{cond,P}'' \quad (9)$$

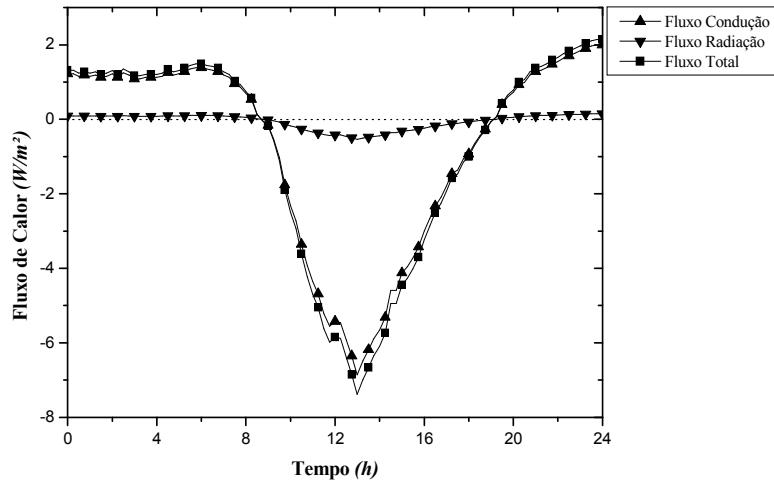
### 3 RESULTADOS

A figura 2 apresenta o fluxo total de calor adimensional, em função, da variação da espessura ótica em  $\tau_0 = 0,1$  e  $\tau_0 = 1$  e da variação da emissividade das faces do material isolante em  $\varepsilon = 1$ ,  $\varepsilon = 0,8$  e  $\varepsilon = 0,2$ , para diferentes valores do parâmetro adimensional condução-radiação  $N$ . Este parâmetro mede a relação entre a condução e a radiação no fluxo total de calor. Pode ser observado que, para  $N = 0,01$  e  $N = 0,1$ , condição onde a radiação tem maior influência no fluxo total de calor, a variação da emissividade  $\varepsilon$  influencia no fluxo total de calor, sendo que, quanto maior é a emissividade, maior é o fluxo. No caso de  $N = 0,01$  e  $\tau_0 = 0,1$ , a redução do fluxo total de calor adimensional, comparando com o caso onde a emissividade das faces é  $\varepsilon = 1$ , foi de 17,5 % para  $\varepsilon = 0,8$  e foi de 70,1 % para  $\varepsilon = 0,2$ . No caso de  $N = 0,01$  e  $\tau_0 = 1$ , a redução do fluxo total de calor, comparando-se com o caso onde a emissividade das faces é  $\varepsilon = 1$ , foi de 32,2 % para  $\varepsilon = 0,8$  e foi de 64,8 % para  $\varepsilon = 0,2$ . Com o aumento de  $N$ , a condução passa a ter maior predominância. Com isso, a diferença no fluxo total de calor, devido à variação da emissividade  $\varepsilon$  das faces, diminui, sendo que, para o caso de  $N = 10$  e  $\tau_0 = 0,1$ , a redução do fluxo de calor foi de 0,1 % para  $\varepsilon = 0,8$  e foi de 0,4 % para  $\varepsilon = 0,2$  e no caso de  $N = 10$  e  $\tau_0 = 1$ , a redução do fluxo de calor foi de 0,9 % para  $\varepsilon = 0,8$  e foi de 1,8 % para  $\varepsilon = 0,2$ .



**Figura 2 – Verificação do fluxo total de calor, considerando a variação da espessura ótica e da emissividade das faces do material isolante.**

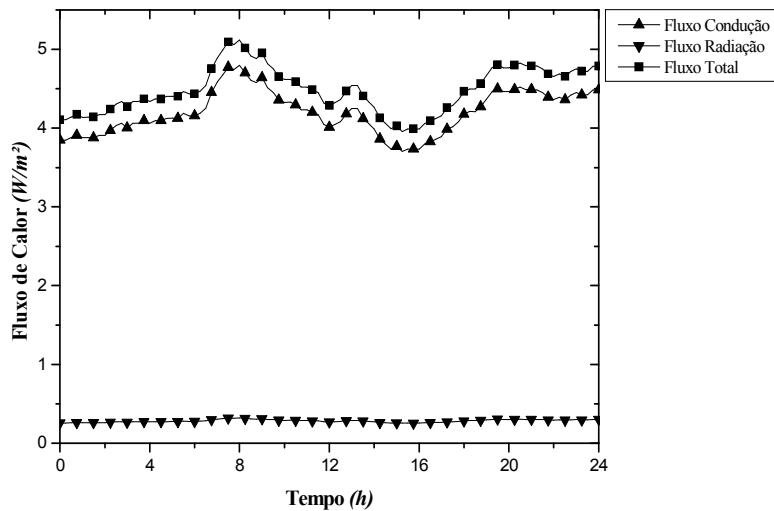
As figuras 3 e 4 demonstram os fluxos de calor por condução, por radiação e fluxo total de calor, ao longo do dia típico de verão e ao longo do dia típico de inverno, com as propriedades da lã de vidro segundo Moura (1998). Pode ser observado que, para o dia típico de verão, a maior parte do fluxo total de calor é devido à condução, sendo que a radiação pouco influencia no fluxo total de calor. A energia acumulada no interior da residência, com a transferência de calor através da lã de vidro, ficou distribuída em 7,5 % devido à radiação e em 92,5 % devido à condução. Através das propriedades da lã de vidro, o parâmetro adimensional condução-radiação  $N$  ao longo do dia típico de verão é próximo a 10.



**Figura 3 – Fluxo de calor por condução, por radiação e fluxo total de calor para o dia típico de verão, com as propriedades da lã de vidro segundo Moura (1998).**

Para o dia típico de inverno, a energia perdida pela residência, com a transferência de calor através da lã de vidro, ficou distribuída em 6,3 % devido à radiação e em 93,7 % devido à condução. O parâmetro adimensional condução-radiação  $N$  é próximo a 10, como no caso do dia típico de verão. Através destas análises, pode-se dizer que a variação da emissividade na envoltória da lã de vidro exerce pouca

influência na transferência de calor.



**Figura 4 – Fluxo de calor por condução, por radiação e fluxo total de calor para o dia típico de inverno, com as propriedades da lã de vidro segundo Moura (1998).**

A tabela 1 mostra a energia acumulada no interior da residência, para o dia típico de verão e a energia perdida para o ático, para o dia típico de inverno, da lã de vidro, em comparação a alguns materiais comumente utilizados na construção civil. Para ambos os dias, a utilização da lã de vidro se mostrou mais eficiente, em relação aos demais materiais, sendo que, em uma residência a qual o usuário deseje utilizar um sistema de ar condicionado, a carga térmica através deste material é menor, o que favorece em um sistema de refrigeração menor. No caso de uma residência sem um sistema de ar condicionado, pode-se dizer que a utilização da lã de vidro favorece um maior conforto térmico dos usuários, pois em ambos os dias, a residência tem menores trocas térmicas com o ático residencial. Na construção civil, a lã de vidro normalmente é executada com um outro material, como por exemplo, o concreto, mas esta comparação considerou o material individualmente.

**Tabela 1 - Comparativo da energia acumulada devido à transferência de calor, para alguns materiais utilizados na construção civil.**

Período	Material	Aumento (%)
dia típico de verão	Lã de Vidro	
	Isopor	10,2
	Madeira Compensada	230,6
	Madeira de Lei	230,6
	Gesso	368,3
	Concreto	3756,8
dia típico de inverno	Lã de Vidro	
	Isopor	16,8
	Madeira Compensada	250,5
	Madeira de Lei	250,5
	Gesso	396,5
	Concreto	3988,8

O Custo Unitário Base da construção civil, segundo o Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado do Paraná, em consulta ao site: <http://www.sinduscon-pr.com.br/>, no dia 06/08/2005, é de R\$ 842,22/m<sup>2</sup>. O custo unitário da lã de vidro, considerando espessura de 10 cm, segundo a Empresa Tecnotermo Isolantes Térmicos Ltda., em consulta ao site: <http://www.tecnotermo.com.br/>, no dia 09/08/2005, é de R\$ 10,82/m<sup>2</sup>, sendo este preço referência para São Paulo – SP. Fazendo uma analogia entre os custos unitários da construção civil e da lã de vidro, chega-se a conclusão que, em uma nova construção residencial, o custo de implantação deste material isolante representaria aproximadamente 1,3% a mais do preço final por m<sup>2</sup>, o que demonstra a viabilidade do uso deste material, principalmente em edificações climatizados. Um outro ponto importante a ser analisado seria as trocas térmicas através das paredes laterais.

#### 4 CONCLUSÃO

Neste artigo, foi verificada a transferência de calor por condução e radiação, através da lã de vidro, comumente utilizado como isolante térmico, para dois dias distintos: dia típico de verão e dia típico de inverno.

A emissividade das faces exerce influência no valor do fluxo total de calor para casos onde a radiação tem predominância sobre a condução, onde se observou uma diferença de 70,1% entre os casos. Para os casos onde a condução tem predominância sobre a radiação, caso típico da lã de vidro, a variação da emissividade das faces exerce pouca influência o valor a transferência total de calor, sendo que esta diferença diminui para 1,8%.

A lã de vidro se mostrou eficiente, com relação à transferência de calor, em comparação aos materiais de utilizados na construção civil, sendo que, pode-se afirmar que a lã de vidro favorece um melhor conforto térmico dos usuários de uma residência que utilize este material e para ambientes climatizados o seu auxílio é em um menor dimensionamento do sistema de climatização.

#### 5 REFERÊNCIAS

- HARRIS, K. T.; ROUX, J. A. and McCARTY, T. A. **Phenolic Binder Content Impact on Total Heat Transfer for Fibrous Insulation Batts.** Journal of Thermal Envelope and Building Science, V. 26, N. 4, p. 237-257, 2003.
- HOUSTON, R. L. and KORPELA, S. A. **Heat Transfer Through Fiberglass Insulation.** Proceedings of Seventh International Heat Transfer Conference, München, V. 2, p. 499-504, 1982.
- LAMBERTS, R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** Roberto Lamberts, Luciano Dutra e Fernando Oscar Ruttkay Pereira. São Paulo: PW Editores, 1997. 192p.
- MALISKA, C. R. **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional.** Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1995. 424p.
- MOURA, L. M. **Identification des Propriétés Radiatives des Matériaux Semi-Transparents Diffusants en Situation de Non-Symétrie Azimutale du Camp Radiatif.** Thèse de Doctorat, 98ISAL0059, INSA Lyon, France, 1998.
- WINIARSKI, W. W. and O'NEAL, D. L. **A Quasi-Steady-State Model of Attic Heat Transfer with R radiant Barries.** Energy and Buildings, V. 24, p 183-194, 1996.