

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONDUÇÃO E RADIAÇÃO EM ISOLANTES TÉRMICOS UTILIZADOS EM EDIFICAÇÕES

Romulo Ruiz Gasparini

Companhia de Saneamento do Paraná
romulorg@sanepar.com.br

Luís Mauro Moura

Pontifícia Universidade Católica do Paraná
luis.moura@pucpr.br

Resumo. Com objetivo de se verificar o desempenho térmico de um material isolante do tipo lã de vidro, localizado no interior de um ático residencial, descreve-se neste trabalho, um modelo numérico para a análise da transferência de calor por condução, acoplada com a radiação. O código numérico desenvolvido, em linguagem FORTRAN, considera que o fluxo de calor, através do meio, ocorre em um espaço unidimensional e em regime transiente. A equação de transporte radiativo é desenvolvida através do método de ordenadas discretas e a equação de difusão de calor é discretizada através do método de volumes finitos e a solução ocorre através da técnica TDMA. Para a simulação, consideram-se dois dias distintos: o primeiro com temperaturas elevadas e o segundo com temperaturas amenas. Neste trabalho verifica-se a variação das propriedades radiativas com relação a transferência total de calor através da lã de vidro. Os resultados do modelo numérico deste problema são comparados com simulações já existentes na literatura e também são comparados com alguns materiais utilizados na indústria da construção civil, com o intuito de demonstrar a viabilidade de seu uso em edificações.

Palavras chave: condução, radiação, materiais isolantes.

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.

Uma das principais deficiências em isolamento térmico das edificações está nas coberturas. São inúmeros os galpões industriais e comerciais sem qualquer tipo de isolamento térmico. Nas edificações residenciais, o desconforto com elevadas temperaturas em ambientes cobertos com lajes e telhados são frequentes, principalmente no verão, ou então um consumo muito elevado na climatização destes ambientes.

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 isolamento térmico 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 O uso de isolamento térmico em edificações

A radiação solar é um dos mais importantes contribuintes para o ganho térmico em edifícios, sendo que, o uso de

materiais isolantes é de fundamental importância para obtenção do conforto térmico em uma edificação.

Entre os materiais isolantes utilizados na construção civil, pode-se destacar a lã de vidro. A lã de vidro é um material fibroso fabricado em alto forno a partir de sílica e sódio, aglomerados por resinas sintéticas. Sua visualização em escala microscópica é apresentada pela figura 1.



Figura 1. Lã de vidro, Moura (1998).

A lã de vidro, por ser um material com elevada porosidade, conforme pode ser observado na figura 1, possui um baixo valor de condutividade térmica, principalmente quando comparado com os demais materiais comumente utilizados na construção civil, conforme a tabela 1. Como o fluxo de calor por condução é proporcional ao valor da condutividade térmica do material, a utilização de isolantes térmicos como a lã de vidro diminui o fluxo de calor por condução entre o meio externo e o interior da edificação.

Entretanto, a condutividade térmica de materiais com elevada porosidade, como no caso da lã de vidro, só permanece baixa se este material estiver seco, ou seja, sem a presença de umidade.

Tabela 1. Condutividade térmica (k) de alguns materiais de construção, segundo Lamberts *et al.* (1997).

Material	Condutividade Térmica (W/m.K)
Concreto	1,500
Gesso Cartonado	0,500
Madeira	0,140
Telha de Barro	0,700
Tijolo	0,700
Vidro Comum	5,500
Lã de Vidro	0,045

O desempenho de um isolante térmico é avaliado de acordo com a resistência térmica que ela propicia à passagem de calor. É um valor que pode ser medido em laboratório através de ensaios adequados, forma mais usual para a especificação dos isolantes em projetos.

1.2 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 lâ de vidro foi revestida por uma resina fenólica. Esta resina tem por finalidade a 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.

1.3 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):

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

Onde τ é a espessura ótica do meio, sendo que este termo representa a distancia 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, ω 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 ρ_{fw} é a refletividade da superfície a oeste, ρ_{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:

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

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 ρ 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 ΔT 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 2.

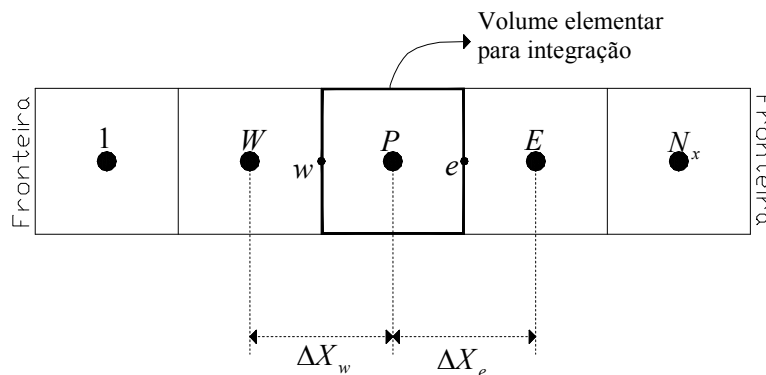


Figura 2. Malha para o problema unidimensional de difusão de calor.

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:

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

Onde Fo é o número de Fourier do volume de integração, $T_{P(t+\Delta t)}$ 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 $q''_{cond,P}$ através do volumes internos P , conforme a figura 2, bastando apenas aplicar a lei de Fourier neste ponto, conforme a equação 8 abaixo:

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

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

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

3. Resultados

Antes da demonstração dos resultados da simulação, analisou-se a confiabilidade de ambos os códigos computacionais desenvolvidos para este problema, os erros dos resultados obtidos para uma simulação com grande intervalo de tempo e o tempo de simulação, em função do número de volumes, do número de direções do espalhamento da radiação, do tipo de quadratura e da função de fase.

3.1. Análise de erros no método numérico

A análise de erros do método numérico foi realizada variando-se a função de fase, a quadratura, o número de volumes e o número de direções do espalhamento da radiação. Os tipos de função de fase utilizados nesta análise foram a de Henyey-Greenstein com a ponderação de Nicolau (1994) e a isotrópica; as quadraturas utilizadas foram a de Radau e Nicolau, conforme Moura (1998); o número de volumes foi variado em 3, 5, 7, 11, 41, 101, 301 e 501; e o número de direções do espalhamento da radiação, tanto na região de difusão, quanto na região de retrodifusão foi variado em 6, 12, 16, 24, 72 e 150.

O erro, nesta análise, é considerado como sendo a variação da temperatura no volume $x = 0,5 \cdot L$, em relação a uma temperatura de referência, feita para um grande intervalo de tempo, com o objetivo de se atingir o regime permanente, conforme a seção 4.1. A análise do erro é verificada desta maneira em virtude de não ter sido encontrado uma solução analítica para esta condição. Esta temperatura de referência T_{ref} foi estabelecida para função de fase de Henyey-Greenstein com a ponderação de Nicolau (1994), para quadratura de Radau, para 501 volumes e 150 direções de espalhamento da radiação. O cálculo do erro é feito conforme a equação 10:

$$Erro(\%) = \left| \frac{T_{ref} - T_{cal}}{T_{ref}} \right| \cdot 100 \quad (10)$$

Onde T_{cal} é a temperatura calculada pelo o método numérico variando-se a função de fase, quadratura número de volumes e direções. As propriedades termofísicas e radiativas utilizadas nesta verificação estão listadas nas tabelas 3.1 e 3.2, respectivamente e as temperaturas nas fronteiras utilizadas foram: $T_{fw} = 350 K$ e $T_{fe} = 200 K$.

Na figura 3 são mostrados os resultados das 192 simulações realizadas. Pode-se verificar que para 501 volumes, variando-se a função de fase, a quadratura e as direções do espalhamento da radiação, a variação dos erros é insignificante, sendo os valores próximos a zero, em relação à temperatura de referência T_{ref} . Para este número de volumes, o erro máximo observado na simulação foi de 0,05 %, que ocorreu para a função de fase isotrópica, a quadratura de Radau e 6 direções do espalhamento da radiação.

Para 301, 101 e 41 volumes, a variação do erro é pequena, sendo que, seus valores, estão próximos de zero, conforme ocorre para 501 volumes. Com a simulação numérica utilizando 301, 101 e 41 volumes, os erros máximos observados foram de 0,12 %, 0,14 % e 0,17 %, respectivamente, sendo que, para estes casos, os erros máximos ocorreram para a função de fase isotrópica, a quadratura de Radau e 6 direções do espalhamento da radiação.

Para 11 volumes, o valor do erro determinado através da simulação, passa a ser significativo, sendo que, a variação do erro entre as diversas combinações, para este número de volumes é grande, conforme mostra a figura 4.12. Neste caso, o erro máximo observado foi de 2,4 %, que ocorreu para a função de fase isotrópica, a quadratura de Nicolau e 6 direções do espalhamento da radiação. O mesmo comportamento foi observado para 7, 5 e 3 volumes, sendo que os erros máximos observados para estes casos foram respectivamente de 3,6 %, 4,2 % e 4,2 %.

Com essa simulação, observou-se que, para o método numérico desenvolvido para este problema,

independentemente do tipo da função de fase, do tipo da quadratura e do número de direções do espalhamento da radiação, a utilização de um número de volumes pequeno, influencia na ocorrência de erros, conforme pode ser observado na figura 4.12. Para que o erro das simulações seja pequeno, conforme observações desta simulação, o número mínimo de volumes a ser utilizados é de 41, já que para esse número de volumes, o erro máximo observado foi de 0,17%.

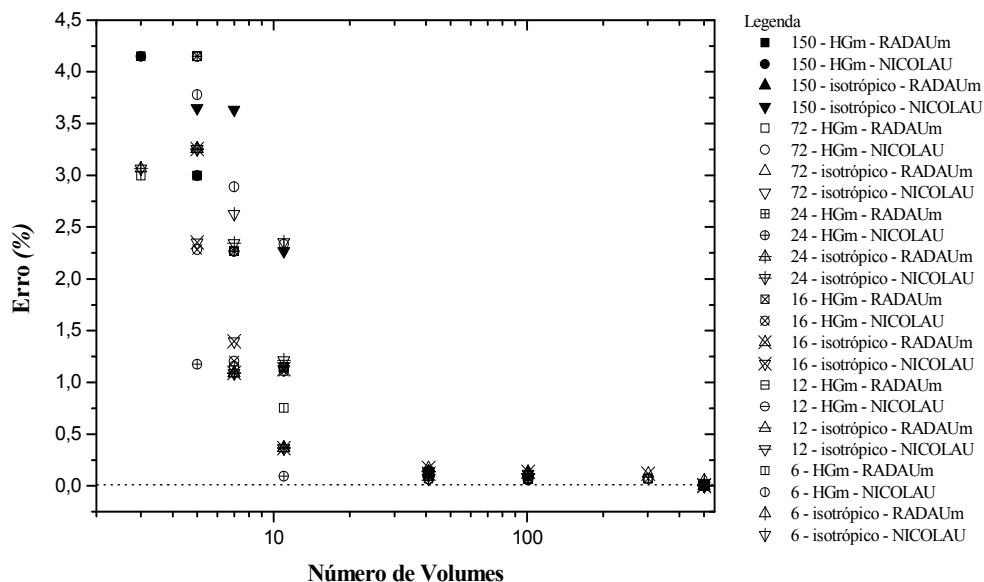


Figura 3. Erro no método numérico em função da função de fase, do tipo de quadratura, do número de volumes e do número de direções do espalhamento da radiação, considerando $\tau_0 = 37$ e $\omega = 0,201$.

3.2. Análise da simulação numérica

A figura 4 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, sendo que é definido segundo a equação 11:

$$N = \frac{k\beta}{4\sigma T_{fw}^3} \tag{11}$$

Onde o β é o coeficiente de extinção do meio, que representa o quanto de radiação está sendo extinta devido a difusão de radiação no interior e a absorção do meio. 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 ε 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 ε 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 $\varepsilon = 0,2$.

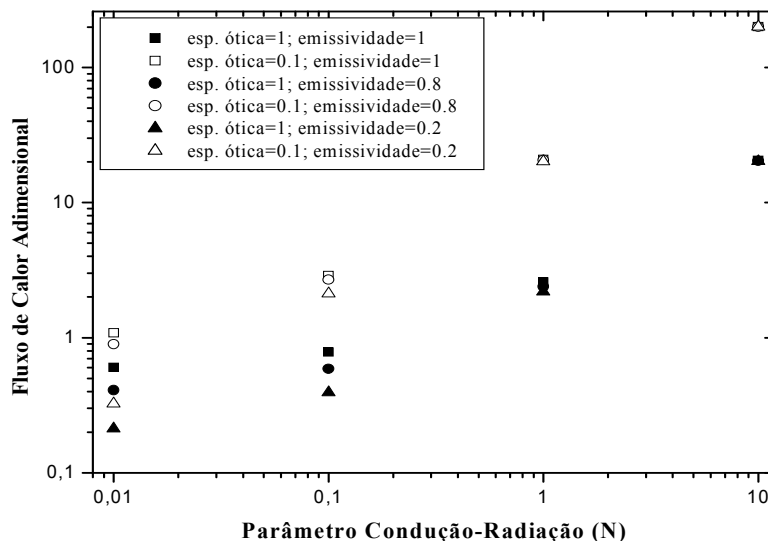


Figura 4. Verificação do fluxo total de calor, considerando a variação da espessura ótica e da emissividade das faces do material isolante.

As figuras 5 e 6 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.

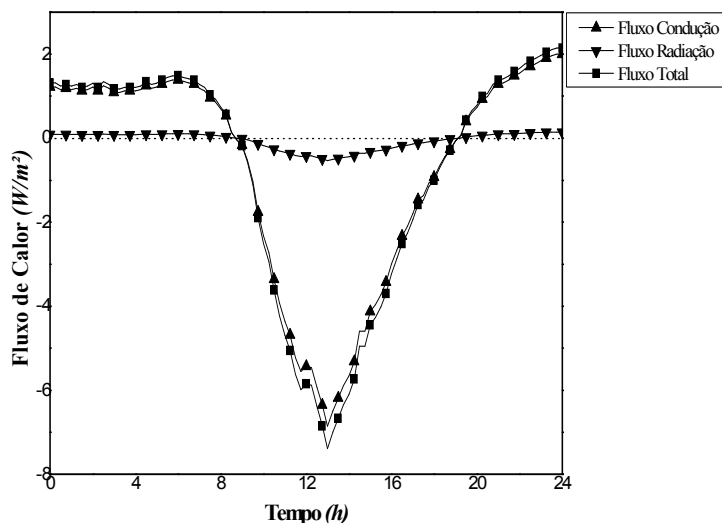


Figura 5. Fluxo de calor por condução, por radiação e fluxo total de calor para o dia típico de verão, com as propriedades da lã de vidro segundo Moura (1998).

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.

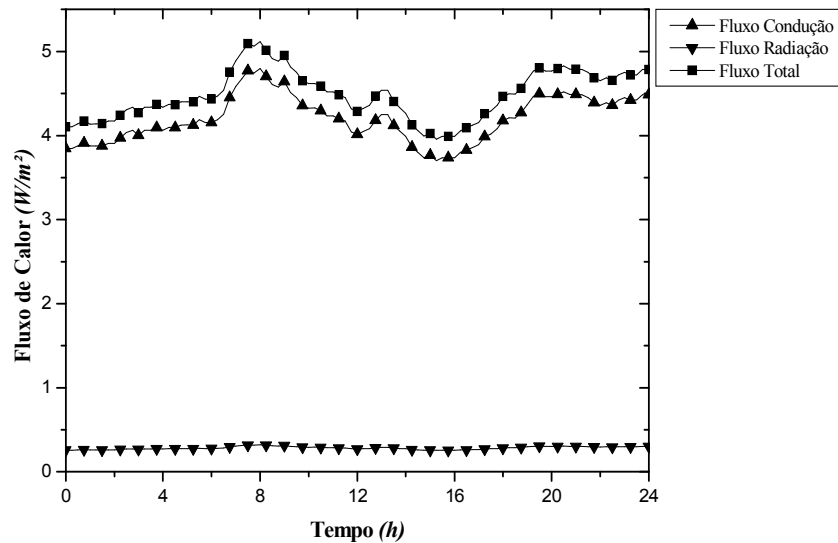


Figura 6. Fluxo de calor por condução, por radiação e fluxo total de calor para o dia típico de inverno, com as propriedades da lã de vidro segundo Moura (1998).

A tabela 2 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 2. 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/m². O custo unitário da lâ 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/m², sendo este preço referência para São Paulo – SP. Fazendo uma analogia entre os custos unitários da construção civil e da lâ 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 m², o que demonstra a viabilidade do uso deste material, principalmente em edificações climatizadas. 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 lâ de vidro, comumente utilizado como isolante térmico, para dois dias distintos: dia típico de verão e dia típico de inverno.

Com o intuito de aperfeiçoar a simulação dos casos, foi analisado o erro devido ao método numérico, para que, com base nestes resultados pudesse se ter uma simulação com resultados coerentes.

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 lâ 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 lâ 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 lâ 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.
- NICOLAU, V. P. **Identification des Propriétés Radiatives des Matériaux Semi-Transparents Diffusants**. Thèse de Doctorat, 94ISAL0001, INSA Lyon, France, 1994.
- WINIARSKI, W. W. and O'NEAL, D. L. **A Quasi-Steady-State Model of Attic Heat Transfer with Radiant Barriers**. Energy and Buildings, V. 24, p 183-194, 1996.

HEAT TRANSFER BY CONDUCTION AND RADIATION IN THERMAL INSULATORS USED IN BUILDINGS

Romulo Ruiz Gasparini

Institution: Companhia de Saneamento do Paraná

Address: Rua XV de Novembro, 1456 – Centro, CEP 80060-000, Curitiba – Paraná – Brasil

e-mail: romulorg@sanepar.com.br

Luis Mauro Moura

Institution: Pontificia Universidade Católica do Paraná

Address: Rua Imaculada Conceição, 1155 – Prado Velho, CEP 80215-901, Curitiba – Paraná – Brasil.

e-mail: luis.moura@pucpr.br

Abstract

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. An insulation material used in ceilings is the glass wool. The glass wool is considered as a semitransparent material, because the heat transfer process will occur by conduction and radiation. Thus, in this work, a numerical model to analyze the coupling of conduction heat transfer with the radiation heat transfer through the glass wool is developed. The numerical model considers unsteady one-dimensional heat transfer through the glass wool, in the one-dimensional space and transient state. The radiation heat transfer equation is solved by the Discrete Ordinates Method and the conduction heat transfer equation is solved by the finite volumes method with the TDMA (Tri-Diagonal Matrix Algorithm) technique. 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 heat transfer is compared for some materials used in building industry, showing the viability of using the glass wool in buildings.

Keywords: conduction, radiation, insulation material.