

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS EM HABITAÇÕES POPULARES FEITAS EM ESTRUTURA METÁLICA

**Henor A. de Souza (1); Maria Angélica V. Pinto (1);
Alberto H. Neto (2); Arlindo Tribess(2)**

(1) Universidade Federal de Ouro Preto - Escola de Minas - Depto. de Técnicas Fundamentais
Morro do Cruzeiro - Campus Universitário - CEP 35400-000 - Ouro Preto (MG) - Brasil

(2) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Depto. Engenharia Mecânica

Grupo de Pesquisa em Refrigeração, Ar Condicionado e Conforto Térmico

Av. Prof. Mello Moraes, 2231 - CEP 05508-900 - São Paulo (SP) - Brasil

e-mails: henor@em.ufop.br; angelica@em.ufop.br; ahneto@usp.br; atribess@usp.br

RESUMO

O aço está se tornando um elemento construtivo bastante importante na construção civil do Brasil. Isto se deve às vantagens que ele apresenta, tais como: alta eficiência construtiva, alívio das fundações em comparação com as estruturas feitas em concreto, redução do tempo de construção, e as diversas possibilidades arquitetônicas que oferece. Somando todas estas vantagens com um bom projeto, as edificações populares, em estrutura metálica, conduzirão a um sistema eficaz, econômico e adicionando um ganho pela ocupação antecipada do imóvel. Além disto, o mercado brasileiro apresenta diversos tipos de telhas, que sendo escolhidas adequadamente durante a fase de projeto, para cada região, serão uma solução realmente econômica. No presente trabalho são apresentados os resultados de um estudo comparativo do desempenho térmico de telhas existentes no mercado brasileiro, para edificações populares em estrutura metálica. Neste estudo, foram levados em consideração os princípios da arquitetura climática, as propriedades dos materiais, bem com as fontes internas e externas de calor em relação ao ambiente analisado. Simulações computacionais utilizando o Programa BLAST foram realizadas. Os custos das diferentes configurações de telhado foram considerados na análise dos resultados.

ABSTRACT

Steel has increased its importance as a construction element in Brazilian civil construction sector. This is due to its advantages such as: high constructive efficiency, better foundation stress relief comparing to concrete structures, construction time reduction and variety in architectural possibilities. Adding those advantages to a good design, popular housing using metal structures will lead to more efficient and economical designs. Besides, this reduction of the construction period, which allows an earlier building occupancy, implies also in a economical gain. Besides, the Brazilian market has several kinds of tiles that should be chosen properly during the design phase. It should be pointed out that for each region there would a better tile that gives a more economical and suitable solution. This paper presents the results of a comparative study on the thermal behavior of several tiles suitable for popular housing in metal structures found in the Brazilian market. Analysis takes into account the climatical architecture principles, as well as internal and external heat sources for chosen housing. Computational simulations using the software BLAST is employed. Costs for the different tiles configurations is also considered.

1. INTRODUÇÃO

A temperatura interna de uma edificação é fortemente influenciada pelos parâmetros climatológicos externos (principalmente a radiação solar e a temperatura externa) e pelas cargas internas (atividade humana, lâmpadas, equipamentos). No verão as condições externas variam com picos em torno do meio dia e nas primeiras horas da tarde. Para manter o conforto térmico durante as horas mais críticas, dependendo do grau de aquecimento, é necessário remover todo o excesso de calor do ambiente. Com a tecnologia atual existente é possível se ter um ambiente climatizado mecanicamente e que satisfaça as condições de conforto para os ocupantes. No entanto esta climatização do ambiente está associada a uma quantidade de energia consumida. No Brasil, segundo o PROCEL (1998) a iluminação e o ar condicionado são os grandes consumidores de energia no setor de edifícios comerciais e públicos. O condicionamento de ambientes é responsável, em média, por 50 % da energia elétrica consumida em um edifício comercial típico.

A preocupação atual de reduzir o consumo de energia e de preservar o meio ambiente tem feito com que os profissionais da construção (projetistas e fabricantes) e também os usuários tomem medidas nesse sentido. Um ambiente interno confortável com um consumo mínimo de energia é o objetivo dos projetistas e usuários de edificações (Gan, 1995). Com um entorno e aberturas projetados adequadamente e uma edificação bem orientada a climatização mecânica pode ser diminuída e até mesmo eliminada (Balaras, 1996).

O telhado que está exposto à radiação solar durante um período maior ao longo do dia, tem um papel importante dentro da avaliação do desempenho térmico de uma edificação. O advento de novos materiais de construção e de novos materiais isolantes tem tornado possível o surgimento de novas alternativas de projeto. Paralelo a este fato cresce também a exigência por um ambiente mais confortável sem a utilização da climatização artificial. Ainda faltam no mercado casas econômicas e/ou conjuntos verticalizados empregando estes novos materiais aliados a uma tecnologia barata sem perder o conforto.

Os processos construtivos empregados no país, praticamente inalterados ao longo de décadas, tendo o concreto e a alvenaria tradicional como principais materiais, começaram na década de 90 a ter uma mudança, onde as estruturas de telhado em madeira são substituídas pelo aço e as paredes de alvenaria por novos elementos de vedação e mesmo pelo próprio aço. O modelo construtivo que era marcado por custos elevados e pelo desperdício de material e de tempo começa a ser substituído por um material estrutural, com vantagens, pois o desperdício é eliminado e os prazos de execução diminuídos. Nos tempos atuais do mercado globalizado as edificações em estruturas metálicas tem um papel importante em se tratando da rapidez do empreendimento. Também a minimização do desperdício de materiais de construção durante o processo construtivo aliada a um melhor controle da qualidade contribui para uma maior competitividade (Souza et al., 1999). Todos estes fatores, e uma nova mentalidade dos profissionais da área da construção civil, possibilitaram um movimento crescente em busca da industrialização do processo construtivo e o uso do aço como sistema estrutural que traduz esta nova mentalidade.

Para melhorar a produtividade e o bem estar dos usuários de uma edificação nos serviços domésticos e/ou de escritórios e fábricas, uma quantidade grande de trabalhos científicos tem sido realizados com o objetivo de desenvolver modelos relatando percepções do conforto térmico e dos fenômenos físicos para uma melhor compreensão dos processos de transferência de energia que ocorrem numa edificação e como manter a qualidade do ar interno (Fanger, 1989; ASHRAE, 1993).

Neste trabalho faz-se um estudo comparativo do desempenho térmico de telhas existentes no mercado brasileiro, considerando-se uma edificação popular em estrutura metálica dentro das características climáticas da cidade de Belo Horizonte. Este tipo de estudo vai permitir aos projetistas avaliar opções de telhado que possam proporcionar um ambiente confortável com um menor consumo de energia.

2. ESTUDO DE CASO

Para o estudo comparativo do desempenho térmico de telhas existentes no mercado brasileiro, foi simulada uma edificação popular pequena em estrutura metálica composta de 7 zonas: em alvenaria, com uma camada de tijolos de 20 cm e revestimento de argamassa de 2,5 cm nos dois lados da camada

de tijolos, como elemento de vedação externa e painéis de gesso, com duas camadas de 12,5 mm de gesso separadas por um espaçamento de 75 mm, como elemento de vedação interna. O pé direito é de 2,80 m. Na sala, no corredor e no quarto é utilizado piso em madeira e no restante do ambiente é utilizado cerâmica vitrificada. As superfícies internas da cozinha, banheiro e área de serviço são recobertas com azulejos. Vidros lisos transparentes de 6 mm de espessura são utilizados nas janelas. Na Fig. 1 é apresentada uma planta baixa desta edificação.

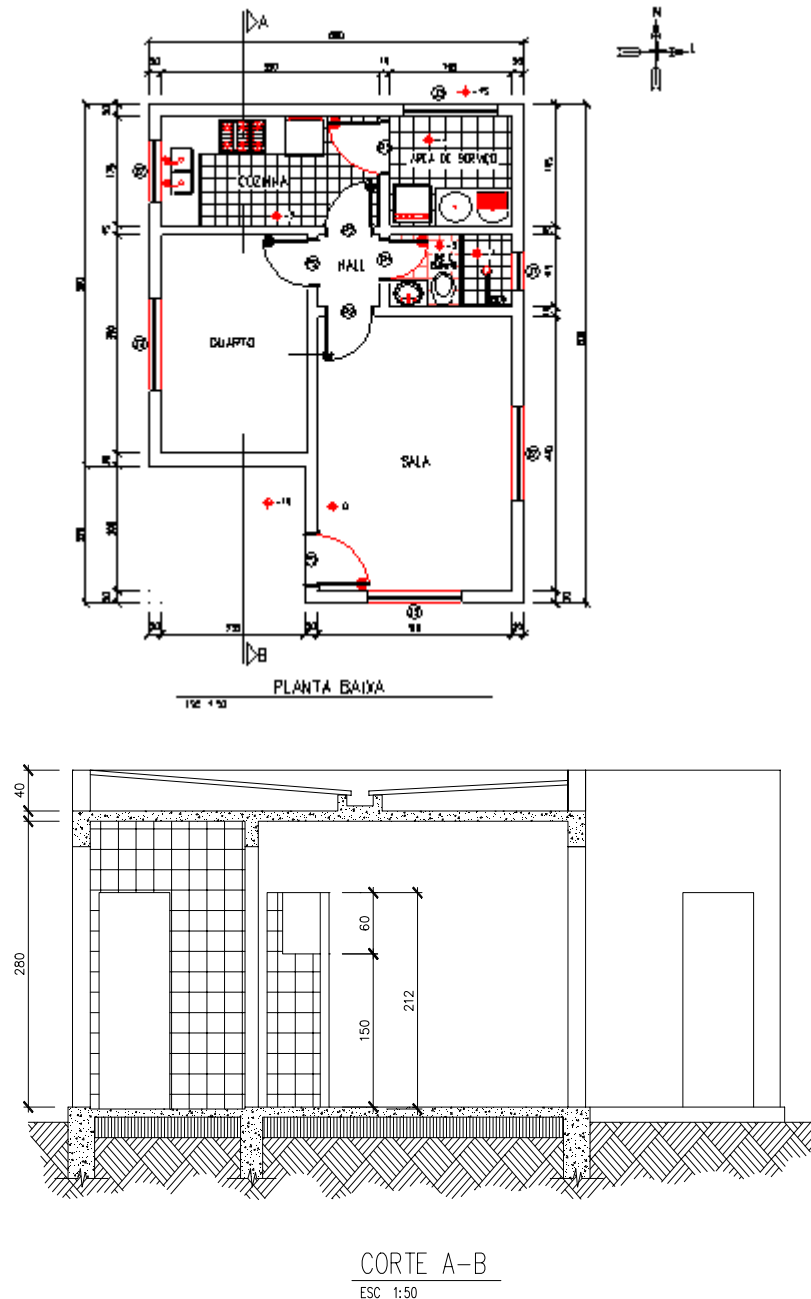


Figura 1 – Geometria da edificação utilizada nas simulações.

Esta edificação está submetida a condições climáticas (temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, velocidade e direção do vento) da cidade de Belo Horizonte (MG). Considerou-se uma família com 4 pessoas. Para cada ambiente foi admitido um nível de iluminação de 150 lux, com lâmpadas incandescentes com potência instalada de 15 W/m² ativadas das 18:00 às 21:00 horas na sala/corredor e das 21:00 às 22:00 horas no quarto. Na Tabela 1 são apresentadas as características da edificação e o perfil dos equipamentos e de ocupação adotados e na Tabela 2 as propriedades dos materiais da envoltória e dos elementos de vedação interna.

Tabela 1 - Características da edificação e perfil de ocupação/equipamentos

Ambiente		Área Envidraçada [m ²]	Equipamentos e Calor total dissipado [W]		Perfil de ocupação e Horário	
Área de Serviço	1 janela 1 porta	1,90	1 máquina de lavar; 1 ferro elétrico	1000	1 1	09:00 às 10:00 16:00 às 17:00
Cozinha	2 portas 1 janela	1,10	1 geladeira; 1 forno elétrico, 1 fogão	400 1000	1 1	06:00 às 21:00 09:00 às 12:00
Corredor	4 portas	0,00	Nenhum	0	-	-
Banheiro	1 porta 1 janela	0,35	1 chuveiro elétrico	2500	1 1	07:00 às 07:30 19:30 às 20:00
Quarto	1 porta 1 janela	1,65	1 rádio	50	4	21:00 às 6:00
Sala	2 portas 2 janelas	3,30	1 aparelho de som; 1 TV	250	2 4 1 4	06:00 às 11:00 11:00 às 13:00 13:00 às 19:00 19:00 às 21:00

Tabela 2. Propriedades térmicas dos elementos de vedação (Temperatura = 300 K)

Materiais	Densidade [kg/m ³]	Calor Específico [J/(kg.°C)]	Condutividade Térmica [W/(m.°C)]	Emissão	Absorção
Argamassa	1500	1000	0,36	0,90	0,60
Gesso	800	700	0,17	0,90	0,50
Tijolo Vermelho	2000	650	0,96	0,92	0,63
Cerâmica vitrificada	1900	837	0,85	0,92	0,36
Vidro liso incolor	2500	850	0,81	0,59	0,05

3. RESULTADOS

Para a avaliação do desempenho térmico das diferentes alternativas de telhados, foram determinadas as temperaturas internas da edificação utilizando o programa computacional BLAST (Pedersen et al., 1993) que realiza simulações detalhadas do comportamento térmico de ambientes (Hernandez et al., 1999).

As simulações foram realizadas para um dia típico de verão na cidade de Belo Horizonte, considerando frequência de ocorrência de 10%, com temperaturas de bulbo seco máxima e mínima, respectivamente, de 32,0 °C e 21,7 °C e insolação diária total de 4640 Wh/m² (IPT, 1992).

Foram consideradas 3 (três) configurações de telhados utilizando tipos diferentes de telhas existentes no mercado brasileiro, além da situação com laje de concreto maciço somente. As telhas analisadas foram as telhas cerâmicas, fibrocimento e as telhas metálicas tipo sanduíche com isolamento termoacústico. As telhas sanduíche possuem faces externas de chapas metálicas e miolo de um material isolante. O tipo estudado neste trabalho tem as chapas metálicas em aço galvanizado com espessuras de 1,55 mm cada e o miolo de lã de vidro com espessura igual a 50 mm, (Brafer, 1999). As propriedades dos materiais utilizados no telhado estão apresentados na Tabela 3 (Özisik, 1990).

Foi analisada a hipótese de uso de telhas metálicas com isolamento térmico como forma de se avaliar o efeito que um produto mais “sofisticado” (mais caro) teria em uma habitação popular.

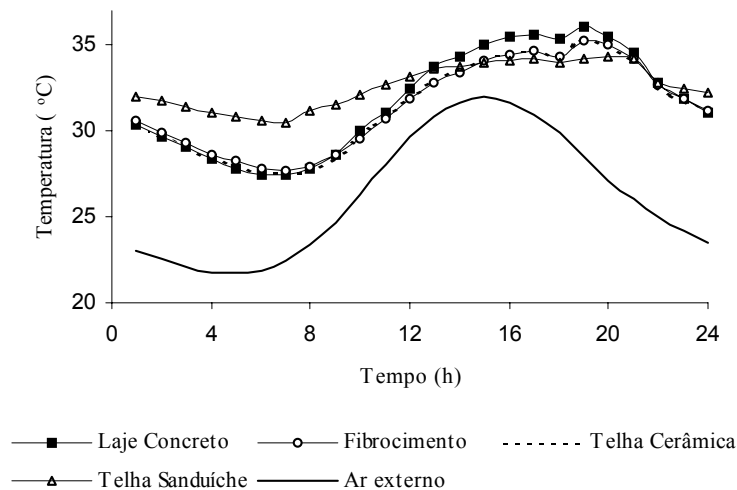
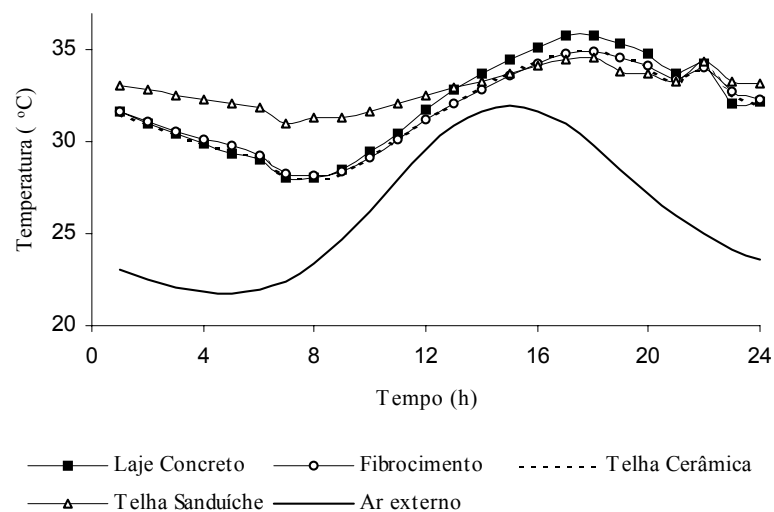
Foram consideradas três situações de renovação de ar: 1 ren/h, situação que representa uma circulação de ar bem baixa; 6 ren/h, situação que representa um caso de circulação de ar razoável no recinto; e 20 ren/h, que indica uma alternativa de muito boa ventilação nos ambientes. Não foi considerada ventilação no ático (telhado).

Tabela 3 - Propriedades térmicas dos materiais dos telhados (Temperatura = 300 K)

Materiais	Espessura [mm]	Densidade [kg/m ³]	Calor Específico [J/kg.°C]	Condutividade Térmica [W/m.°C]	Emissão	Absorção
Laje de concreto maciço	80	2100	1000	1,40	0,90	0,65
Fibrocimento	06	1090	1000	0,25	0,90	0,60
Cerâmica	10	1900	837	0,95	0,90	0,60
Aço galvanizado	1,55	7800	502	50	0,6 (*)	0,6 (*)
Lã de vidro	50	12	700	0,04	0,9	0,3

(*) a emissividade e a absorção do aço são iguais a 0,2. Contudo, foi utilizado um valor mais elevado, uma vez que a ação do tempo fará com que estes valores aumentem.

Nas Figs. 1 a 6 são apresentadas as temperaturas internas para duas zonas da edificação (quarto e sala), considerando os três tipos de telhados analisados e também a condição com a laje de concreto somente.

**Figura 1 – Temperatura do ar no interior da sala e temperatura do ar exterior – 1 ren/h.****Figura 2 – Temperatura do ar no interior do quarto e temperatura do ar exterior – 1 ren/h.**

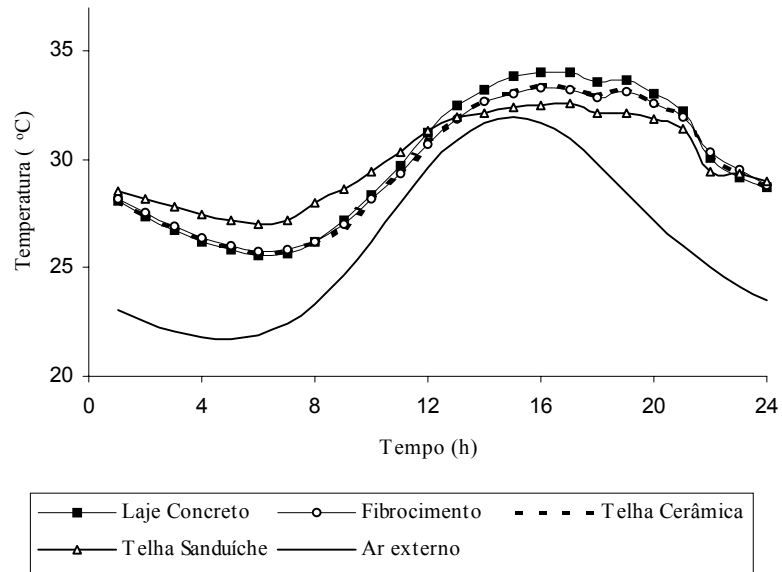


Figura 3 – Temperatura do ar no interior da sala e temperatura do ar exterior – 6 ren/h.

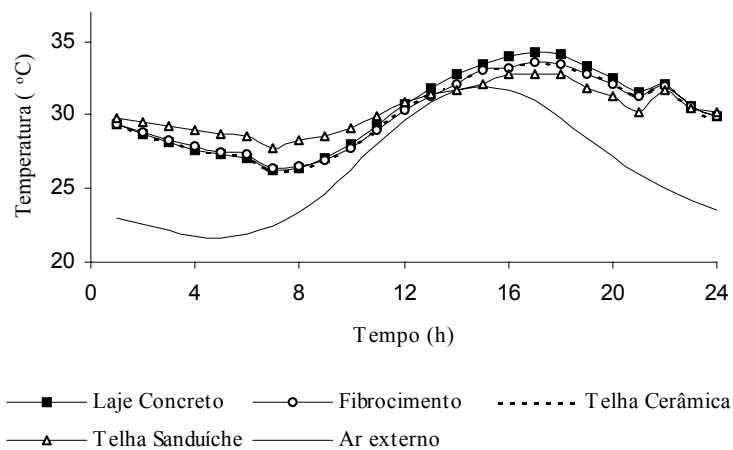


Figura 4 – Temperatura do ar no interior do quarto e temperatura do ar exterior – 6 ren/h.

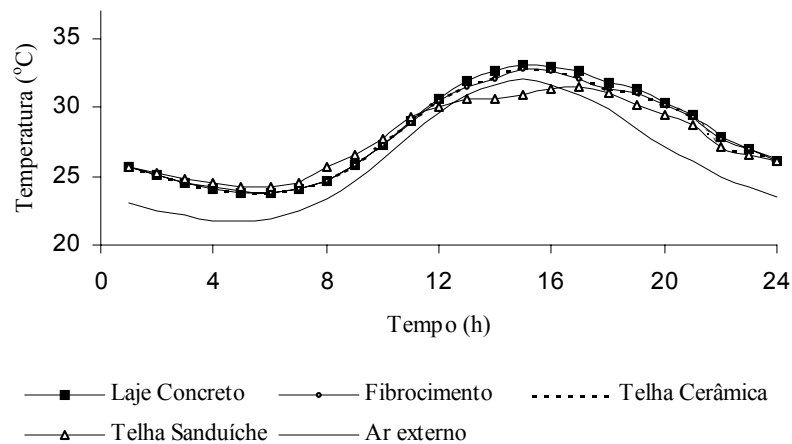


Figura 5 – Temperatura do ar no interior da sala e temperatura do ar exterior – 20 ren/h.

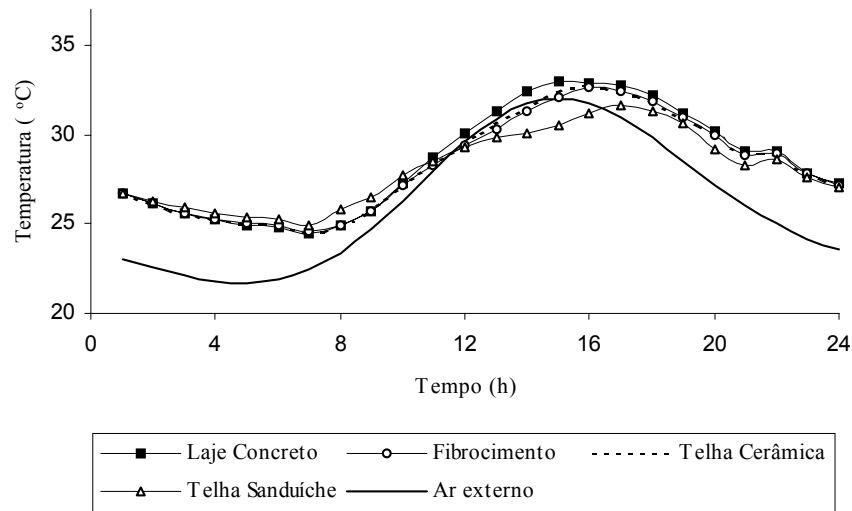


Figura 6 – Temperatura do ar no interior do quarto e temperatura do ar exterior – 20 ren/h.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para uma melhor avaliação dos resultados é apresentada inicialmente uma tabela com o custo do metro quadrado para cada opção de telhado, Tabela 4.

Tabela 4 - Custo do metro quadrado para as configurações de telhado consideradas.

Telhado	Custo (R\$/m ²)
Laje de concreto	15,00
Laje de concreto + telha de fibrocimento	19,40
Laje de concreto + telha cerâmica	20,40
Laje de concreto + telha metálica sanduíche	48,00

Verifica-se da análise dos resultados apresentados nas Figuras 1 a 6 que:

- do ponto de vista térmico, o uso da laje de concreto, sem telhas, demonstra ser uma boa solução quando comparada com o telhado de telhas cerâmicas e de fibrocimento, pois as temperaturas internas são praticamente as mesmas no período noturno e sofrem pouca alteração no período diurno, com um custo menor;
- a temperatura interna para telhados com fibrocimento ou telha cerâmica é muito próxima em todas as situações de renovação de ar. Nesta análise não foi considerada a transferência de calor e massa acoplados, embora este efeito seja pequeno em condições de clima seco.
- o telhado com telhas metálicas permite redução das temperaturas máximas ao longo do dia em todas as situações de renovação de ar. Em contrapartida, no período noturno em situações de baixa renovação de ar, apresenta temperaturas internas maiores que as demais configurações de telhado analisadas. Isto ocorre devido ao efeito isolante que durante o dia é benéfico, mas durante o período noturno dificulta as trocas de calor no sentido inverso, dos ambientes analisados para o exterior. Os resultados acima indicam que, mesmo que houvesse recursos financeiros para a utilização deste tipo de telhado, em muitos casos esta não seria a melhor opção para uma habitação popular.

5. COMENTÁRIOS FINAIS

Conforme pode ser verificado o telhado tem um papel importante na determinação das condições de conforto em uma edificação e é necessário cuidado quando da escolha da configuração mais adequada. Por outro lado, verifica-se que uma boa ventilação do ambiente, que pode ser conseguida através de uma modificação no posicionamento e tamanho das janelas de forma a obter velocidade e direção de vento mais favoráveis (Hernandez et al., 1998), é outro fator que merece cuidado especial quando do projeto de uma habitação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE (1993) *Handbook of Fundamentals*, ASHRAE, New York.
- BALARAS, C. A. (1996) The role of thermal mass on the cooling of buildings. Na overview of computational methods. *Energy and Buildings*, n° 24, p. 1-10, 1996.
- BRAFER INDUSTRIAL S.A (1999) *Catálogo de produtos*, Contagem, 28 p.
- FANGER, P. O. (1989) A new comfort equation for indoor air quality. *Ashrae J.*, v.31, n° 10, p. 33-38.
- GAN, G. (1995) Evaluation of room air distribution systems using computational fluid dynamics. *Energy and Buildings*, n° 23, p. 83-93.
- HERNANDEZ, A. et al. (1999) The effects of Indoor Conditions on the Reduction of Energy Consumption in Commercial Buildings in Rio de Janeiro. In: Sixth International IBPSA Conference (Building Simulation'99), Kyoto. *Proceedings*. IBPSA. vol. II, p. 723-728.
- HERNANDEZ, A. et al. (1998) Análise da Ventilação Natural em Ambientes não Condicionados. In: NUTAU'98, São Paulo. *Anais*. FAUUSP. CD-ROM.
- IPT (1992) *Elaboração de Critérios para Classificação de Edificações segundo seu Desempenho Térmico – Relatório IPT 30.923*, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo.
- ÖZISIK, M. N. (1990) *Transferência de Calor - Um Texto Básico*. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.
- PEDERSEN, C.O. et al. (1993) *BLAST – Building Load Analysis and System Thermodynamics*, University of Illinois at Urbana-Champaign, EUA.
- PROCEL (1998) *Manual de Conservação de Energia Elétrica em Edifícios Comerciais e Públicos*, Eletrobrás. Rio de Janeiro.
- SOUZA, U.E.L., PALIARI, J.C., AGOPYAN, V. O. (1999) Custo do Desperdício de Materiais nos Canteiros de Obras. *Qualidade na Construção*, SindusCon-SP, n° 21, p.64-66.