

ESTUDO COMPARATIVO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PROTÓTIPOS COM E SEM UTILIZAÇÃO DE BARREIRAS DE RADIAÇÃO NA COBERTURA

CAMARGO, M. G. P. (1); SATO, N. M. N. (2); PRADO, R.T. A. (3)

(1) Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica – USP
Av. Prof. Almeida Prado, 83- Cidade Universitária – São Paulo
e-mail: monica.lima@poli.usp.br

(2) Centro Universitário Nove de Julho
Av. Dr. Adolfo Pinto, 109 - Barra Funda, São Paulo – SP
e-mail: neide.sato@uninove.br

(3) Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica – USP
Av. Prof. Almeida Prado, 83- Cidade Universitária – São Paulo
e-mail: racine.prado@poli.usp.br

RESUMO

O uso de barreiras de radiação como isolantes térmicos em coberturas no Brasil iniciou-se em 1995 com produtos importados. Diversos estudos em campo foram realizados em outros países para verificar a redução no fluxo de calor através da cobertura proporcionada pela aplicação destes produtos, mas existem poucos dados de pesquisas realizadas nas regiões climáticas brasileiras, com tipologias de edificações comuns no país. Neste trabalho são apresentados os resultados de medições de temperaturas realizadas na cidade de São Paulo, em dois protótipos em escala 1:1, baseados na tipologia de casa térrea isolada (TI13A-V2) mais utilizada pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU, 2003), com 39 m² de área de piso, com paredes em alvenaria de blocos vazados de concreto e com a cobertura em telhas de fibrocimento. Um dos protótipos possui a barreira de radiação instalada no telhado e no outro a cobertura é constituída somente por telhas. As comparações são baseadas na simulação do conforto dos usuários pelo Método Fanger (Fanger, 1972) através do software Analysis CST e nos Critérios Mínimos de Conforto Térmico para Habitações de Interesse Social (IPT, 1997).

ABSTRACT

The use of Radiant Barriers as roofing thermal insulation is a recent practice in Brazil. It started in 1995 with foreign products. Several field researches were made in other countries to evaluate the heat flow reduction resultant from the installation of these products on roofs. Although radiant barriers are widely accepted around the world; there is very few information and research made in Brazilian typical climate and building typology. This work presents the results of temperature measurements made in the city of Sao Paulo. These measurements were made in two similar real size house prototypes, based on the most common single family houses standard (TI13A-V2) of the Housing and Urban Development Company of the State of São Paulo (CDHU,2003). Those 39 m² houses have been constructed with masonry of concrete blocks and asbestos-cement roof tiles. One of the prototypes has a radiant barrier installed under the roof tiles; the other doesn't. The comparison is based on the simulation of Thermal Comfort by Fanger's Method through the software Analysis CST and by the Minimum Performance Criteria for Single Family Affordable Housing (IPT, 1997).

1. INTRODUÇÃO

Este estudo tem como objetivo verificar o efeito da instalação de uma folha de barreira de radiação na cobertura de uma casa de tipologia típica brasileira, na cidade de São Paulo e sua contribuição para o conforto dos usuários nessas condições. Com essa intenção serão detalhados a seguir: os conceitos teóricos envolvidos no estudo; a escolha da tipologia construtiva; a seleção de dados para utilização nesta análise; a análise do conforto dos usuários pelo Método Fanger através do software Analysis CST e dos Critérios Mínimos de Conforto Térmico para Habitações de Interesse Social propostos pelo IPT.

2. BARREIRAS DE RADIAÇÃO E ISOLAMENTO TÉRMICO DE COBERTURAS

A transferência de calor através de uma cobertura para o ambiente interno da edificação ocorre pelos mecanismos de condução, convecção e radiação. Em São Paulo, entre os meses de setembro e dezembro as superfícies horizontais das construções térreas, em geral as coberturas, recebem entre 26% e 31% da radiação solar que incide numa casa (FROTA, 1988). Para reduzir os ganhos de calor pela cobertura pode-se reduzir o calor condutivo fazendo-se uso de isolantes resistivos (painéis de fibras minerais ou orgânicas, espumas plásticas rígidas de poliuretano ou poliestireno expandido, etc), diminuir a absorção da energia solar utilizando-se materiais de elevada refletância na superfície externa ou reduzir a transferência de energia térmica de onda longa irradiada para o interior dos ambientes, pelo uso de materiais de baixa emissividade (VITTORINO et al; 2003).

No verão, o ganho térmico pela cobertura se dá predominantemente por radiação, pois as trocas térmicas por convecção não ocorrem no sentido do telhado para o forro e a resistência térmica resultante da camada de ar presente no espaço ático reduz significativamente a transferência de calor por condução entre o telhado e o forro.

Os isolantes térmicos tradicionais ou resistivos, aprisionam uma grande quantidade de ar entre as fibras ou em poros e diminuem as trocas por condução, diferentemente, as barreiras de radiação reduzem a troca da energia térmica transferida por radiação por possuírem pelo menos uma superfície de baixa emissividade. Desta forma, a utilização de barreiras de radiação no espaço ático é uma medida importante para diminuir a quantidade de energia térmica transferida para o ambiente interno uma vez que atenua o principal mecanismo de transferência de calor pela cobertura nas condições de verão.

A emissão de radiação térmica é resultado de oscilações dos elétrons que constituem um material e se dá através da propagação de ondas eletromagnéticas no ar ou no vácuo. Em sólidos ou líquidos, as oscilações dos elétrons que se encontram no interior de um material são absorvidas pelas moléculas adjacentes e a radiação emitida por esse corpo sólido depende somente das moléculas que se encontram numa finíssima camada de sua superfície exposta. Em um mesmo material podemos encontrar emissividades diferentes para os diferentes comprimentos de ondas eletromagnéticas. A emissividade é uma propriedade dos materiais que depende fortemente da natureza de sua superfície, pode ser influenciada pelo seu método de fabricação, seu ciclo térmico e reações químicas com o ambiente. Superfícies metálicas e de bons condutores geralmente possuem emissividade mais baixa que não condutores (INCROPERA, 1998). Os materiais utilizados como barreiras de radiação podem ser muito finos, desde que sua superfície exposta seja de baixa emissividade. Parecer metalizado não garante que um material funcionará como barreira de radiação.

Um material de alta refletância à radiação solar nem sempre possui baixa emissividade, como é o caso da pintura branca comum (VITTORINO et al, 2003 apud FAIREY, 1986). O alumínio, na forma de folhas muito finas, com espessura da ordem de 6 a 8 micrometros, é o material mais utilizado na fabricação das barreiras de radiação no Brasil. Essas folhas são aderidas a um material base que tem como função garantir a resistência mecânica mais adequada à utilização futura da barreira de radiação.

A instalação desses produtos normalmente é feita sob o telhado, mantendo uma distância mínima de 2 cm das telhas ou do forro, para garantir que as trocas de calor não ocorram por condução da telha para a barreira ou da barreira para o forro de modo que a inserção da barreira de radiação possa contribuir para o aumento da resistência térmica da camada de ar.

No caso de uma cobertura com forro, a barreira de radiação pode ser instalada sobre o mesmo, com a superfície de baixa emissividade voltada para o ático, entretanto, esta alternativa não é recomendável uma vez que a sujeira pode se acumular rapidamente sobre a superfície e reduzir significativamente a eficiência da barreira.

Estudos realizados na Flórida, USA (FAIREY, 1990) em um período de 184 dias de verão indicaram que houve uma redução de 38,7% no fluxo de calor através de uma cobertura com forro e barreira de radiação quando comparada com cobertura similar, sem barreira. Já numa cobertura sem forro, cálculos teóricos (VITTORINO et al; 2003), mostraram que a aplicação de uma barreira de radiação, com as duas superfícies de baixa emissividade, pode proporcionar uma redução de 90% no fluxo de calor em relação à cobertura sem forro.

Nas condições de inverno, quando é desejável restringir as perdas de calor que ocorrem pela cobertura, o uso da barreira de radiação não é tão efetivo, pois a maior parcela do calor perdido para o ambiente externo é por convecção. Por esse motivo, a aplicação desse tipo de isolante térmico é mais recomendável em regiões de predominância de períodos com dias quentes.

Nesse sentido, verificou-se (FAIREY, 1994) que o uso de barreiras de radiação é recomendável para localidades em que o grau-dia de aquecimento anual é menor ou igual a 3000 e o grau-dia de resfriamento anual é maior ou igual a 2000 (ambos tomando-se por base a temperatura de 18,3° C).

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1. A Tipologia construtiva dos protótipos.

A escolha da tipologia construtiva dos protótipos teve como critérios: a relevância como representante de um sistema construtivo típico de uma habitação popular brasileira; a possibilidade de analisar o efeito do uso de barreiras radiação na cobertura; a adequação dimensional ao terreno cedido pela empresa GIBWOOD BRASIL LTDA. e a contribuição potencial para a qualidade das construções habitacionais de interesse social.

Por estes motivos e por ser a versão de casa térrea isolada mais adotada pela CDHU foi escolhida a tipologia TI13A-V2, apesar de a CDHU recomendar o uso de telhas cerâmicas, foram adotadas telhas de fibrocimento para este estudo porque elas são mais utilizadas pela população de baixa renda e são alvos constantes de críticas em relação ao seu desempenho térmico.

3.2. Implantação dos protótipos.

O terreno onde foram construídos os protótipos possui 2000 m² e localiza-se na Zona Sul da cidade de São Paulo, no bairro de Campo Limpo. O bairro de Campo Limpo é um bairro residencial de construções baixas. O entorno do terreno é constituído por um galpão industrial de dois pavimentos ao lado esquerdo e de casas de no máximo três pavimentos do lado direito.

A implantação (Figura 1) foi baseada num estudo de sombras no verão, equinócio e no inverno para que um protótipo não fizesse sombra sobre o outro protótipo em nenhum horário do dia e data do ano.



Figura 1 - Foto dos Protótipos implantados no terreno

3.3 Materiais e métodos.

Os protótipos foram construídos sobre uma laje “tipo radier” com paredes em alvenaria de blocos de concreto vazados (com espessura de 19 cm e 2 furos) e posteriormente pintadas com tinta látex branca, sem divisórias internas. Foram cobertos com telhas onduladas de fibrocimento com espessura de seis mm. Cada protótipo possui três janelas e uma porta metálica pintadas de verde.

As medições de temperatura foram efetuadas com uma unidade de aquisição de dados marca Eurotherm, modelo 5000B com 12 canais. Os sensores utilizados foram cabos de termopar tipo T. O software do equipamento foi configurado para exportar os dados medidos em intervalos de 10 minutos. Na figura 2 estão ilustrados: o equipamento, os sensores e o dispositivo construído para acomodar os sensores para medição da temperatura e umidade do ar externo.



Figura 2 - Equipamento de aquisição, sensores de temperatura internos e externos.

Os sensores de temperatura do ar interno e de globo negro foram instalados a 1,50m do piso no centro do ambiente. Os sensores de temperatura externa foram instalados em uma caixa de madeira bem ventilada e coberta por telha de fibrocimento, posicionada em um local desobstruído de forma que não estivesse sujeita às sombras dos protótipos e de outras edificações. Sua face principal está orientada para o norte.

Os sensores de temperatura do ar receberam uma proteção de alumínio, sem contato direto, para protegê-los contra a incidência direta de radiação.

Na cobertura do protótipo 1 foi instalada, sob o telhado de fibrocimento, uma barreira de radiação composta por folhas de alumínio de baixa emissividade aderidas a ambas as faces de uma malha de fios de vidro. A cobertura do protótipo 2 é composta somente do telhado de fibrocimento, conforme ilustrado na Figura 3.



Figura 3 – Detalhes ilustrativos dos telhados

Ambos os protótipos foram mantidos com as portas e janelas fechadas durante as medições, suas janelas possuem venezianas e não possuem vidros. Nenhum deles possui alguma fonte interna de calor.

3.4 A escolha do período de análise

Pelo fato da radiação ser o principal mecanismo de troca de calor nas coberturas no verão, mas no inverno este papel ser da convecção e as barreiras de radiação atuarem com maior eficiência dificultando as trocas por radiação, consideramos que o período relevante para analisar o desempenho térmico das barreiras de radiação é o de verão.

Para a análise comparativa deste estudo foi escolhido um período de 11 dias em outubro de 2006. Essa escolha baseia-se no fato deste período:

* apresentar características de medição estáveis, com repetição das características observadas durante vários dias, o que permite afirmar que os dados considerados representam o comportamento térmico dos protótipos e não um fenômeno isolado que tenha ocorrido por interferência de uma variável incomum.

* conter dois dias que representam o dia típico de projeto de verão em São Paulo, com frequência de ocorrência de 10% (AKUTSU, 2001). A análise comparativa do desempenho térmico dos protótipos com base nestes dias típicos assegura que os dados são representativos do verão, sem o risco de analisar-se um dia excepcionalmente quente (a frequência de ocorrência de 10% significa que 10% dos dias de verão apresentam temperaturas máximas superiores ou iguais ao do dia analisado).

E para a análise da satisfação dos usuários foi escolhido o dia 26 outubro de 2006. Esse dia foi escolhido por ser, dentro do período escolhido, o segundo dia consecutivo representativo do dia típico de projeto de verão, definido como um dia com temperatura de bulbo seco do ar externo máxima, à sombra, de 31,7°C. (AKUTSU, 2001).

A Tabela 1 contém os dados diários máximos do período de 11 dias escolhido e a Tabela 2 os dados horários do dia escolhido.

Tabela 1 – Temperaturas máximas diárias no período de estudo

Período	Ar interno em protótipo com Barreira de Radiação (°C)	Ar interno em protótipo sem Barreira de Radiação (°C)	Globo em protótipo com Barreira de Radiação (°C)	Globo em protótipo sem Barreira de Radiação (°C)	Ar externo à sombra (°C)	UR externa (%)
21.10.2006	22,1	26,1	22,2	28,1	23,9	67
22.10.2006	23,8	27,8	23,8	29,8	27,1	49
23.10.2006	22,7	27,6	22,8	30,3	25,7	54
24.10.2006	24,5	28,6	24,5	30,6	27,9	56
25.10.2006	26,9	30,5	26,9	33,1	31,7	55
26.10.2006	29,0	32,5	28,9	33,9	31,7	64
27.10.2006	24,9	29,0	25,1	31,0	27,0	67
28.10.2006	25,8	30,2	25,9	32,2	27,6	53
29.10.2006	25,0	29,8	25,2	31,9	25,5	58
30.10.2006	28,5	33,0	28,5	35,6	32,5	44
31.10.2006	29,3	34,0	29,3	36,6	34,1	45

Tabela 2 – Temperatura horária do dia típico selecionado

26.10.2006	Ar interno em protótipo com Barreira de Radiação (°C)	Ar interno em protótipo sem Barreira de Radiação (°C)	Globo em protótipo com Barreira de Radiação (°C)	Globo em protótipo sem Barreira de Radiação (°C)	Ar externo à sombra (°C)	UR externa (%)
1:00 AM	21,1	20,9	21,5	21,0	18,8	68,5
2:00 AM	20,8	20,4	21,2	20,6	18,5	70,0
3:00 AM	20,4	19,8	20,8	20,0	18,0	71,3
4:00 AM	20,1	19,5	20,4	19,6	17,9	72,9
5:00 AM	20,0	19,3	20,3	19,4	17,8	72,6
6:00 AM	19,8	19,3	20,1	19,3	18,4	73,7
7:00 AM	20,3	20,1	20,4	20,1	21,8	72,4
8:00 AM	20,8	21,6	21,0	22,3	25,7	71,0
9:00 AM	21,9	23,8	21,9	25,0	27,3	69,2
10:00 AM	23,9	25,3	23,8	26,7	28,0	67,8
11:00 AM	23,7	26,7	23,9	28,6	31,7	64,4
12:00 PM	24,8	28,1	24,9	29,8	27,8	60,9
1:00 PM	26,0	30,2	26,0	32,7	29,5	55,7
2:00 PM	27,1	31,2	27,1	32,8	30,5	53,0
3:00 PM	28,1	32,1	28,0	33,7	30,6	50,3
4:00 PM	28,8	32,5	28,7	33,6	31,3	50,0
5:00 PM	28,7	31,7	28,7	32,0	29,3	49,3
6:00 PM	27,9	29,9	27,9	29,9	27,7	49,8
7:00 PM	27,3	28,6	27,4	28,6	26,9	50,6
8:00 PM	26,8	27,9	27,0	27,9	26,5	51,4
9:00 PM	26,2	26,7	26,5	26,9	23,0	52,0
10:00 PM	25,3	25,3	25,7	25,5	19,5	70,9
11:00 PM	24,5	24,2	24,9	24,4	18,6	77,4
12:00 AM	23,8	23,0	24,1	23,3	17,2	76,1

4. RESULTADOS

4.1. Temperatura do ar interno

A análise das temperaturas medidas no ar interno das casas de estudo mostra que nos picos diários de calor, isto é no período entre 11:00 AM e 16:00 PM, o uso das barreiras de radiação trouxe uma redução da temperatura de em média 4,6 °C (Figura 4).

4.2. Temperatura de globo negro interna

Outro parâmetro que interfere de maneira significativa no conforto térmico dos usuários, análise apresentada no Item 5, é a temperatura de globo. A análise das temperaturas medidas no globo negro das casas do estudo mostra que nos picos diários de calor, período entre 11:00AM e 16:00PM, o uso das barreiras de radiação trouxe uma redução da temperatura de globo negro de em média 6,6 °C (Figura 4).

Protótipos com e sem Barreiras Radiantes - TBS e Tglobo negro ar interno - Out. 2006

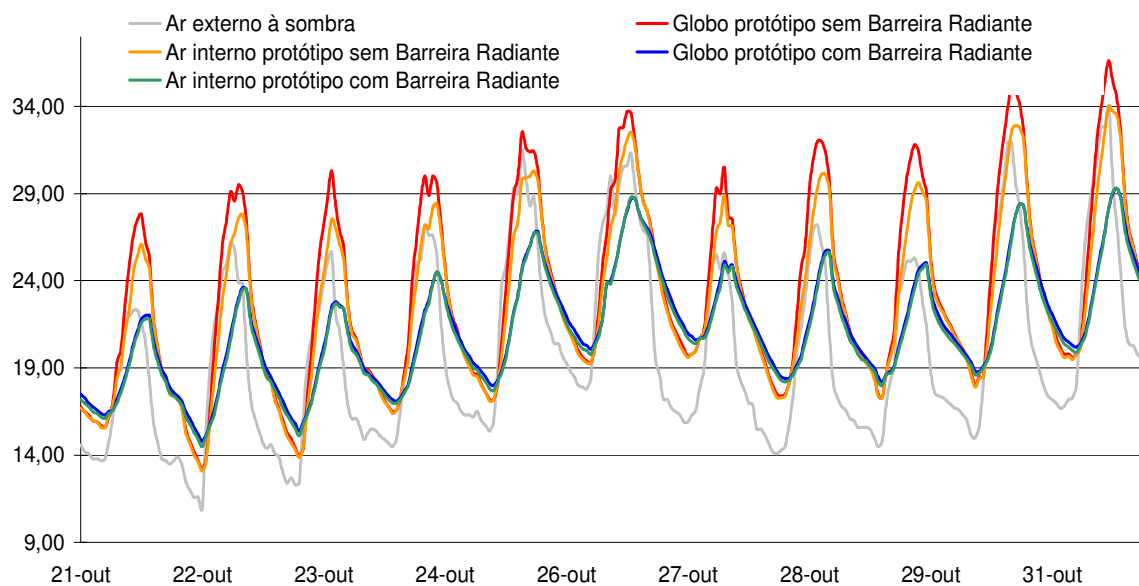


Figura 4 – Gráfico das temperaturas medidas no período de 21 a 31/10/2006.

5. CONFORTO TÉRMICO SEGUNDO O MÉTODO DE FANGER

O Voto Médio Previsto (PMV), método desenvolvido por Fanger (FANGER, 1972) é considerado o mais completo dos índices de conforto, pois analisa a sensação de conforto em função das seis variáveis de conforto térmico.

As variáveis humanas: metabolismo gerado pela atividade física e resistência térmica oferecida pela vestimenta; e as variáveis ambientais: temperatura do ar; temperatura radiante média; velocidade do ar e umidade relativa do ar.

Para a realização da análise da satisfação dos usuários segundo o Método de Fanger, foi utilizado o software Analysis CST, desenvolvido pelo Laboratório De Eficiência Energética Em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina e os valores dos parâmetros de conforto sugeridos pelo IPT para o verão (IPT, 1997):

“taxa de metabolismo dos ocupantes: 70W/m^2 - realização de serviços leves, resistência térmica total das roupas: $0,35\text{ Clo}$ – roupas leves típicas de verão, velocidade do ar: $0,5\text{m/s}$ e altitude de São Paulo: 795 m .”

As temperaturas do ar interno, externo, temperatura de globo interna e umidade relativa externa que serão utilizadas foram medidas in loco.

Através das condições ambientais e das variáveis humanas como atividade e vestimenta, o Analysis CST indica o PMV (Predicted Mean Vote ou Voto Médio Previsto) e o PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied ou Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas) do ambiente em questão no módulo de avaliação do conforto térmico, e o estado de stress térmico por frio ou calor no módulo de stress, (LAMBERTS, 2005).

Devido às diferenças individuais é difícil especificar um ambiente térmico que satisfaça a todos, sempre haverá uma percentagem de insatisfeitos. Segundo a norma ISO 7730, um ambiente é considerado termicamente aceitável quando $\text{PPD} < 10\%$, ou seja, $-0,5 < \text{PMV} < +0,5$.

A Tabela 3 mostra os resultados da análise do dia 26/10/2006.

Tabela 3 – Resultados da Análise do dia 26/10/2006 com o software Analysis

Hora do dia 26/10/2006	Casa sem barreira de radiação			Casa com barreira de radiação		
	PMV	PPD	Sensação	PMV	PPD	Sensação
8:00 AM	-2,31	88,45	muito frio	-2,83	98,11	muito frio
9:00 AM	-1,17	33,79	levemente frio	-2,24	91,70	frio
10:00 AM	-0,44	8,98	neutro	-1,57	54,97	frio
11:00 AM	0,34	7,41	neutro	-1,58	55,11	frio
12:00 PM	0,88	21,47	levemente quente	-1,14	32,51	levemente frio
1:00 PM	2,08	80,14	quente	-0,68	14,64	levemente frio
2:00 PM	2,21	85,21	quente	-0,21	5,87	neutro
3:00 PM	2,59	95,20	muito quente	0,19	5,74	neutro
4:00 PM	2,60	95,23	muito quente	0,50	10,25	neutro
5:00 PM	1,95	74,36	quente	0,48	9,88	neutro
6:00 PM	1,03	27,43	levemente quente	0,13	5,34	neutro
7:00 PM	0,45	9,22	neutro	-0,10	5,21	neutro
8:00 PM	0,14	5,41	neutro	-0,29	6,69	neutro
9:00 PM	-0,33	7,20	neutro	-0,52	10,56	levemente frio
10:00 PM	-0,81	18,99	levemente frio	-0,75	16,78	levemente frio
11:00 PM	-1,27	38,58	levemente frio	-1,06	28,93	levemente frio
12:00 AM	-1,78	66,13	frio	-1,42	46,74	levemente frio

No período entre 1:00 AM e 7:00 AM o software retornou um aviso de: “Fora PMV”, este resultado se deve ao fato de termos considerado um índice de resistência térmica para as vestimentas dos usuários de 0,35 Clo – roupas leves de verão e o mês de outubro apresentar uma grande amplitude térmica com noites mais frias, mesmo que os dias sejam quentes com temperaturas máximas típicas de verão. Considerando a resistência térmica das vestimentas sugeridas pelo IPT para as noites de inverno, (2,00 Clo), nesses horários os usuários teriam uma sensação neutra e haveria menos de 10% de insatisfeitos.

Analisando os dados acima se conclui que o uso da barreira de radiação na cobertura de uma das casas tornou-a confortável ou levemente fria, nos horários onde as pessoas sentiriam calor e este calor seria uma condição inaceitável pela norma ISO 7730 (período entre 12:00 PM e 6:00PM).

No período entre 1:00 PM e 5:00PM onde em média 86% dos usuários estariam insatisfeitos na casa sem barreira de radiação, essa taxa caiu para 9,3% na casa com barreira de radiação, na cobertura.

Portanto a instalação da barreira de radiação na cobertura da casa tornou suas condições de conforto aceitáveis nos horários em que os usuários tinham sensação de calor inaceitável pela norma ISO 7730.

Nos horários de desconforto por causa de sensação de frio dos usuários, confirmando as expectativas, a instalação da barreira de radiação não mostrou benefícios.

Simulações feitas com as mesmas condições mudando a vestimenta dos usuários mostram que esse desconforto pode ser facilmente resolvido mudando-se as roupas leves de verão (0,35 Clo): cueca, bermuda, camiseta manga curta, meia e sapato sola fina; para roupas normais: cueca, calça normal, camisa manga longa normal, meia curta grossa, sapato de sola fina e uma jaqueta leve de verão (0,92 Clo).

Com essa mudança de roupa, por exemplo, para o horário das 8:00 AM os usuários passariam de 88,5% de insatisfeitos com sensação de muito frio, para 9,1% de insatisfeitos com sensação térmica neutra.

6. CONFORTO TÉRMICO SEGUNDO OS CRITÉRIOS MÍNIMOS DEFINIDOS PELO IPT

O método de análise de desempenho térmico definido pelo IPT baseia-se na norma ISO 7730, que estabelece que as condições ambientais internas de um recinto devem ser tais que pelo menos 80% dos seus ocupantes expressem satisfação em relação ao ambiente térmico.

Adota como parâmetros de conforto no verão: Metabolismo dos ocupantes: 70W/m^2 – serviços leves; Resistência térmica das roupas: 0,35 Clo; Umidade relativa do ar entre 40% e 60%; Velocidade do ar: 0,5m/s; Temperatura radiante média do ambiente, igual à temperatura do ar; Dados climáticos já tratados da publicação IPT 1732, que caracterizam os dias típicos de projeto com frequência de ocorrência igual a 10%.

Os três níveis estabelecidos pelo IPT, (IPT,1997) para a habitação são:

- Nível A – para ambiente cujas condições internas sejam tais que as exigências de conforto térmico expressas na norma ISO 7730 são atendidas durante todo o dia, ou seja, quando a temperatura do ar interior for menor ou igual a 29°C .
- Nível B – para o ambiente que não atende o critério do nível A, mas o valor máximo da temperatura do ar interior não ultrapassa o valor máximo diário da temperatura do ar exterior, adotada como temperatura máxima de referência.
- Nível C – para o ambiente em que o valor máximo diário da temperatura do ar interior é superior ao máximo diário da temperatura do ar exterior.

Tomando-se como referência o critério proposto pelo IPT, analisando-se os dados do dia típico de projeto, o protótipo com barreira de radiação é classificado como nível A e o protótipo sem barreira como nível C.

7. CONCLUSÕES

Este estudo foi realizado na cidade de São Paulo, comparando-se as temperaturas do ar interno, de bulbo seco e de globo negro, de dois protótipos, implantados de maneira que estes estivessem em condições semelhantes de insolação e ventilação. As portas e janelas dos protótipos foram mantidas fechadas e os protótipos não possuíam nenhuma ocupação por usuários ou equipamentos.

A única diferença entre os protótipos comparados é a instalação das barreiras de radiação compostas com folhas finas de alumínio aderidas a uma malha de fios de vidro na cobertura de uma delas.

Nos dias analisados, de 21/10/2006 a 31/10/2006, a temperatura de bulbo seco interna da casa com a barreira de radiação mostrou uma redução média de $4,6^{\circ}\text{C}$ no período entre 11:00 AM e 16:00 PM em relação à casa sem barreira de radiação. A temperatura de globo negro interna da casa com a barreira de radiação mostrou uma redução média de $6,6^{\circ}\text{C}$ no período entre 11:00 AM e 16:00 PM em relação à casa sem barreira de radiação.

A análise do desempenho térmico das casas pelo Método de Fanger mostra que no período entre 1:00 PM e 5:00 PM onde em média 86% dos usuários estariam insatisfeitos com a sensação de calor da casa sem barreira de radiação, essa taxa caiu para 9,3% na casa com barreira de radiação, na cobertura.

Confirmando as expectativas, nos horários de desconforto por causa de sensação de frio dos usuários, a instalação da barreira de radiação não mostrou benefícios. Deve-se levar em conta que, nesses horários, os usuários podem vestir-se com mais roupas e as simulações mostraram que isso resolveria o desconforto, conforme comentado no item 5.

Pelos critérios mínimos definidos pelo IPT para o verão, o desempenho térmico da casa com barreira de radiação foi aceitável enquanto que a casa sem barreira de radiação inaceitável.

Para o contexto deste estudo, as barreiras radiação mostraram-se eficientes quando utilizadas como isolantes térmicos instalados em coberturas de habitações térreas de uso residencial, para diminuir o ganho de carga térmica proveniente da cobertura nos horários de maior incidência de radiação solar, fazendo com que a temperatura de bulbo seco do ar interno e a temperatura radiante média interna no interior do recinto fossem inferiores às temperaturas na casa sem barreira de radiação.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKUTSU, M.; SATO, N. M. N., VITTORINO, F (1987); Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares. Manual de Procedimentos para avaliação. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, São Paulo.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F; AQUILINO, M. M.; BRITO (2001); T. V. Dados Climáticos da Cidade de São Paulo: Variações nos últimos anos. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, Anais. São Pedro, SP.

CDHU (2003) - Caderno de tipologias. São Paulo.

FAIREY, P. (1990) Seasonal Prediction of roof-mounted attic radiant barrier system performance from measured test data. ACEEE 1990 Summer Study. Pacific Grove, CA, August 26-September 1.

FAIREY, P. (1994) Radiant energy transfer and radiant barrier systems in buildings. Design note 6, Florida Energy Center, Cape Canaveral, Fl.

FANGER, P. O. (1972) Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering. McGraw-Hill, New York, USA.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. (1988) – Manual de Conforto Térmico: arquitetura e urbanismo. São Paulo: Nobel.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. (1988) Fundamentos de transferência de calor e de massa. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC.

IPT, Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações de Interesse Social (1997) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo - IPT, São Paulo.

LAMBERTS, R. (2005); Desempenho Térmico de Edificações. Notas de Aula. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

VITTORINO, F; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. (2003) Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Anais. Curitiba. P. 1277- 1284.