



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

VIIELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

DESEMPENHO TÉRMICO DE TINTAS BRANCAS COM MICROESFERAS CERÂMICAS PARA USO EM COBERTURAS DE EDIFÍCIOS

Kelen Almeida Dornelles (1); Maurício Roriz (2); Victor Roriz (3); Rosana Caram (4)

(1) Eng^a. Civil, Dra., Pesquisadora FAPESP do Dep. Arq. e Urbanismo da EESC/USP, kelend@terra.com.br

(2) Arq., Dr., Professor do Dep. de Engenharia Civil da UFSCar, m.roriz@terra.com.br

(3) Eng. Mecânico, Doutorando em Engenharia Civil da FEC/UNICAMP, vroriz@terra.com.br

(4) Física, Livre Docente, Professora do Dep. de Arquitetura e Urbanismo da EESC/USP, rcaram@sc.usp.br
Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Arquitetura e Urbanismo,
Av. Trabalhador São-carlense, 400. 13566-590. São Carlos/SP

RESUMO

A comercialização de tintas brancas com microesferas cerâmicas como sendo materiais isolantes térmicos para coberturas de edifícios, devido à presença desses componentes, têm se difundido mundialmente, especialmente nos últimos anos com o advento das preocupações ambientais relacionadas principalmente com o aquecimento global e a formação das ilhas de calor urbanas. Com o objetivo de se investigar o desempenho térmico dessas tintas, foram realizadas medições de refletância solar e de temperaturas superficiais de amostras expostas ao sol pintadas com diversas dessas tintas disponíveis comercialmente. Simulações computacionais com o software Energyplus e estimativas do consumo de energia para refrigeração permitiram identificar o potencial de utilização dessas tintas para melhorar as condições de conforto térmico de edificações localizadas em regiões de clima quente e seco (Zona Bioclimática 7) e quente úmido (Zona Bioclimática 8) no Brasil, assim como o potencial para redução do consumo de energia com sistemas de climatização artificial nesses locais. Os resultados demonstraram que pintar a cobertura de edificações localizadas em climas quentes no Brasil com tintas brancas de alta refletância solar é um modo muito eficiente de reduzir o desconforto térmico e o consumo de energia com sistemas de refrigeração para restabelecer o conforto dos usuários no interior dos edifícios. No entanto, o grande potencial de uso das tintas brancas com microesferas cerâmicas em sua composição é devido à elevada refletância solar que as mesmas apresentam, e não necessariamente pela presença das microesferas.

Palavras-chave: refletância solar, tintas brancas, microesferas cerâmicas, desempenho térmico.

ABSTRACT

The marketing of white paints filled with ceramic microspheres as thermal insulation materials for roofs, because of these components, has spread around the world especially in the last years with the incoming of environmental worries, mainly related to the global warming and the urban heat islands. With the aim to investigate the thermal performance of these paints, solar reflectance and surface temperature measurements were performed for samples painted with these coatings. Computer simulations with Energyplus indicated the potential of these coatings in order to improve thermal comfort conditions in buildings located in hot and dry or hot and humid climates in Brazil, as well as to reduce cooling energy demand with air conditioning systems in these places. The results showed that painting the roof surface with white coating is a very efficient way to reduce thermal discomfort conditions and the cooling energy demand in buildings located in hot dry and hot humid climates in Brazil. However, the great potential of using white paints filled with ceramic microspheres is due to the high solar reflectance they present, and not necessarily for the microspheres present in the coating composition.

Keywords: solar reflectance, with coatings, ceramic microspheres, thermal performance.

1. INTRODUÇÃO

Devido ao aumento das áreas edificadas e pavimentadas em centros urbanos e consequente redução de áreas verdes, a absorção mais intensa da energia solar pelas superfícies de concreto e pavimentos torna as temperaturas superficiais nessas áreas alguns graus acima da temperatura do ar. Com as superfícies mais quentes, a temperatura do ambiente aumenta, ocasionando diferenças de até 10°C em relação à temperatura de zonas nos arredores da cidade, fenômeno este conhecido como “ilhas urbanas de calor” (SYNNEFA; SANTAMOURIS; APOSTOLAKIS, 2007). Com o aumento da temperatura do ar externo há um aumento de temperatura no interior das edificações, tornando-as mais desconfortáveis para os usuários no caso de edificações não condicionadas, ou contribuindo para o aumento da demanda de energia para sistemas de climatização artificial.

Do ponto de vista econômico, principalmente em países em desenvolvimento, a redução do consumo de energia em edificações é um fator importante a ser considerado. O setor residencial é um dos maiores consumidores, especialmente em climas quente e úmido onde os usuários fazem uso de sistemas de ar condicionado ou ventiladores para reduzir o desconforto térmico no interior das edificações. Portanto, torna-se fundamental o desenvolvimento de estratégias que possam ser incluídas no projeto de novas edificações passivas. Estas técnicas podem ser úteis na redução do consumo de energia com sistemas de condicionamento artificial na maioria dos dias do ano, principalmente quando as condições climáticas não são extremas. Diferentemente das superfícies verticais como as paredes, a cobertura é exposta ao sol ao longo do dia durante todo o ano, contribuindo significativamente com os ganhos de calor da edificação (JAYASINGHE et al., 2003).

Do total de radiação solar absorvida por um edifício, uma parte significativa ocorre através da cobertura. Quanto mais baixa for a latitude e menor o número de pavimentos, maior será esta porcentagem. Desta forma, em toda a região tropical a cobertura tem fundamental importância no desempenho térmico dos edifícios. Uma alternativa interessante para controle desse fluxo de calor pode ser obtida através dos efeitos conjugados entre refletâncias e emitâncias dos materiais utilizados nas coberturas. A emitância é uma propriedade característica das superfícies definida como a taxa de emissão de radiação por unidade de área (ABNT, 2005). Maiores refletâncias reduzem os ganhos de calor solar do edifício, sem necessariamente alterar as perdas. Ao mesmo tempo, aumentar a emitância pode incrementar as trocas de calor por radiação em ondas longas (GOMES, 1962).

Materiais que apresentam altas refletâncias e emitâncias são conhecidos como materiais refletivos, seletivos, ou materiais frios (*cool materials*). Atualmente, existem diversos tipos de materiais classificados como refletivos disponíveis comercialmente para uso em edificações ou em superfícies de áreas urbanas, mas sua produção concentra-se principalmente no mercado internacional. A maioria desses materiais é de cor branca ou cores claras (Berdahl e Bretz, 1997; Akbari, Pomerantz e Taha, 2001; Doulos, Santamouris e Livada 2004; Synnefa, Santamouris e Livada, 2006).

Produtos refletivos para coberturas são compostos de materiais altamente refletivos e emissivos, usualmente de cor branca e podem manter-se aproximadamente 30°C mais frios que os materiais tradicionais durante condições de verão extremas (EPA, 2009; SYNNEFA et al., 2006).

No Brasil, poucos são os produtos desenvolvidos com características refletivas ou seletivas para aplicação em coberturas de edifícios, que apresentem em sua composição pigmentos refletivos à radiação infravermelha (calor). Alguns fabricantes têm comercializado tintas de cor branca que apresentam alta refletância na região visível do espectro solar (luz), mas que são comercializados por seus fabricantes como materiais “isolantes térmicos” devido à presença de microesferas cerâmicas quando aplicados em coberturas.

Com o intuito de se investigar o desempenho térmico dessas tintas, foram realizadas medições de refletância solar e de temperaturas superficiais de placas expostas ao sol pintadas com diversas tintas brancas que possuem microesferas cerâmicas em sua composição. Simulações computacionais e estimativas de consumo de energia para refrigeração permitiram identificar o potencial de utilização dessas tintas para melhorar as condições de conforto térmico de edificações localizadas em regiões de clima quente e seco e quente úmido no Brasil, assim como o potencial para redução do consumo de energia com sistemas de climatização artificial nesses locais.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é caracterizar o comportamento térmico de tintas refletivas brancas com microesferas cerâmicas, as quais visam aumentar a reflexão e emissão de calor pela cobertura dos edifícios, a partir de produtos disponíveis no mercado brasileiro.

3. MÉTODO

Este trabalho está dividido em três etapas principais:

1. Obtenção da refletância solar das amostras de tintas, a partir de medições com espectrofotômetro.
2. Medições de temperaturas superficiais das amostras expostas ao sol.
3. Simulações computacionais e estimativa do consumo de energia com refrigeração.

3.1. Medições de Refletância Solar

Foram realizados diversos ensaios laboratoriais das amostras de tintas brancas, através de análises óticas em espectrofotômetro. Este tipo de análise varre a região espectral relativa ao ultravioleta, visível e infravermelho-próximo, possibilitando escolher as regiões do espectro que interessam. As medições laboratoriais foram feitas no Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica da Universidade Federal de São Carlos (LIEC-UFSCar).

3.1.1. Amostras de tintas analisadas

Neste trabalho, foram selecionadas sete tintas refletivas de cor branca, compostas de microesferas cerâmicas, além de uma tinta acrílica convencional de cor branca, para efeito comparativo de desempenho.

Para a confecção das amostras, placas de alumínio com 1,5 mm de espessura e formato quadrado (5 x 5 cm) foram pintadas com as diferentes tintas. Aplicou-se duas demãos de um “primer” à base d’água para melhor aderência das tintas à superfície metálica, seguidas de três demãos da tinta propriamente dita, com intervalo de duas horas entre demãos.

Além dessas tintas, foi incluída uma amostra pintada com tinta de cor preta, a qual já havia sido medida sua refletância solar em espectrofotômetro em pesquisa anterior (DORNELLES, 2008) e incluída neste trabalho para a etapa de análise comparativa das temperaturas superficiais das amostras.

3.1.2. Medições em espectrofotômetro

As análises óticas foram realizadas em espectrofotômetro da marca Varian modelo CARY 5G (Figura 1), de acordo com padrões definidos pela norma ASHRAE 74-1988 (ASHRAE, 1988). Neste trabalho, as amostras foram ensaiadas a cada 1nm, no intervalo de 300 a 2500 nm, que é a região do espectro solar que apresenta maior concentração de energia proveniente do Sol, de acordo com o espectro solar padrão definido pela ASTM (2003). Este intervalo foi subdividido em três, caracterizando as regiões do ultravioleta (300 a 380 nm), visível (380 a 780 nm) e infravermelho-próximo (780 a 2500 nm). Para calibrar o equipamento são utilizadas duas amostras de referência com refletâncias de 99% e 2% (branco e preto de referência, respectivamente), produzidas pela Labsphere.

As refletâncias absolutas das amostras ensaiadas são obtidas para cada comprimento de onda a partir das curvas de base definidas por essas referências, em um gráfico que relaciona comprimento de onda (abscissas) com percentagem de reflexão (ordenadas), conforme a Figura 2.

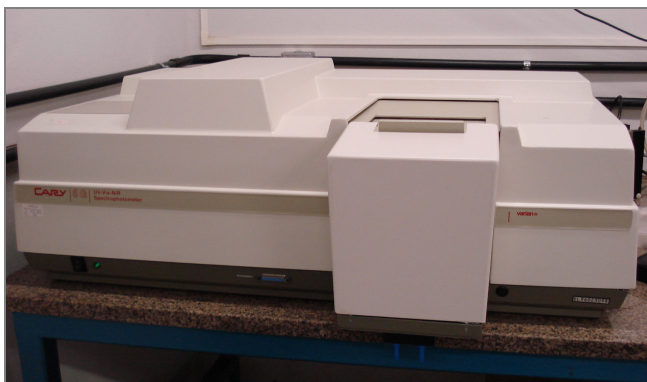


Figura 1 - Espectrofotômetro CARY 5G.

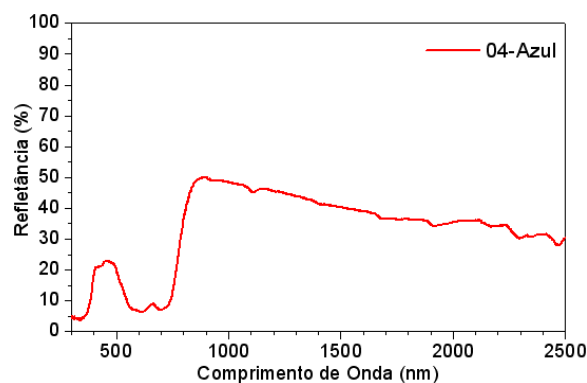


Figura 2 - Exemplo de gráfico obtido no espectrofotômetro.

3.2. Medições de Temperaturas Superficiais

Para as medições de temperatura superficial, optou-se pelo uso de amostras confeccionadas com placas de alumínio por apresentarem elevada condutividade térmica, o que permite a transmissão de calor rapidamente para o sensor de temperatura superficial, sem que se perca grande parte do calor absorvido pelas superfícies pintadas das respectivas placas.

3.2.1. Materiais e método de medição

Para a coleta das temperaturas superficiais das amostras, foi adotado um sistema eletrônico de aquisição de dados constituído por sensores de temperatura modelo DS18B20 fabricados pela empresa *Maxim Integrated Products*, cuja precisão é de $\pm 0,5$ °C, segundo dados do fabricante. Os sensores são conectados a cabos que se ligam a um equipamento o qual comanda o início das medições e armazena os dados medidos em um dispositivo conectado à saída USB (Figuras 3 e 4). Esses sensores foram escolhidos por apresentarem tamanho bastante reduzido (± 5 mm) e precisão elevada, permitindo a obtenção de resultados mais confiáveis para medição de temperaturas superficiais e facilidade no momento de montagem do sistema.



Figura 3 – Sensor de temperatura.



Figura 4 – Sistema de aquisição dos dados medidos.

Os sensores de temperatura foram aderidos na face inferior das placas com fita do tipo aluminizada e as amostras foram posicionadas sobre uma placa de isopor, buscando isolá-las termicamente e desta forma evitar trocas por condução e convecção na parte inferior do sistema (Figuras 5 e 6). Adicionalmente, mediu-se a temperatura do ar ao lado das amostras posicionadas sobre a placa de isopor, para efeito comparativo entre as temperaturas superficiais e a temperatura do ar no local de ensaio. O sensor de temperatura do ar, do mesmo tipo e modelo utilizado nas medições de temperatura superficial, foi protegido da radiação solar direta e radiação refletida e emitida pelas superfícies ao redor, sendo colocado dentro de um aparato coberto com papel alumínio e com aberturas para circulação do ar em seu interior. As amostras pintadas em placas de alumínio foram expostas à radiação solar sobre uma bancada e as medições de temperatura foram realizadas durante 2,5 horas, a intervalo de 1 minuto entre registros. O horário de medição escolhido foi entre 12h30 e 15h do dia 05 de outubro de 2010, por ser o horário de maior intensidade de irradiância solar em um dia ensolarado e com altas temperaturas do ar.



Figura 5 – Sensor aderido à amostra.



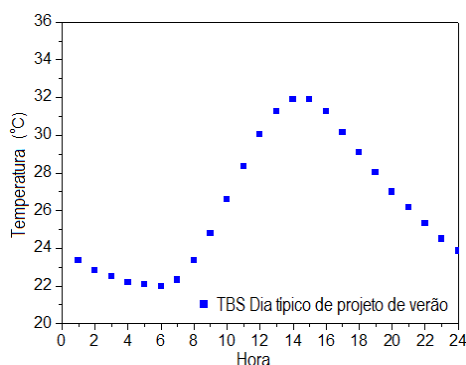
Figura 6 – Placa de isopor com amostras expostas ao sol.

3.3. Simulações Computacionais e Estimativa do Consumo de Energia

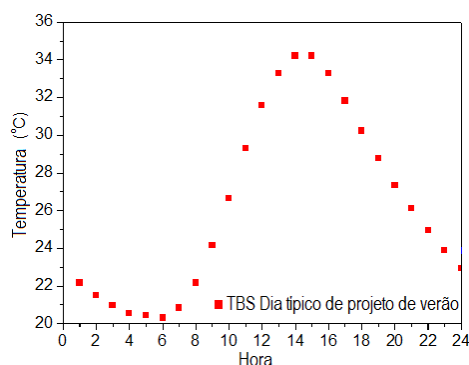
3.3.1. Simulações computacionais

Com base nas refletâncias medidas em espectrofotômetro para as amostras de tintas, foram realizadas simulações computacionais com o software Energyplus. Foram escolhidas duas cidades brasileiras representativas de climas quente e úmido e quente seco, correspondentes às Zonas Bioclimáticas 8 e 7, respectivamente, conforme o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABTN, 2005). Assim, a cidade de Belém foi escolhida como representativa do clima quente e úmido (Zona Bioclimática 8) e a cidade de São Raimundo Nonato como representativa do clima quente e seco (Zona Bioclimática 7). A cidade de Belém está localizada no estado do Pará, região Norte do Brasil, latitude 1,38 °S, longitude 48,48 °W e altitude de 10 m. A cidade de São Raimundo Nonato está localizada no estado do Piauí, região Nordeste do Brasil, latitude de 9,05 °S, longitude de 42,75 °W e altitude de 330 m.

Temperaturas de bulbo seco (TBS) para o dia de projeto de verão para cada uma das cidades são apresentadas nas figuras 7a (Belém, Pará) e 7b (São Raimundo Nonato, Piauí), correspondentes ao mês de Dezembro. Dados meteorológicos foram obtidos da base de dados do Departamento de Energia dos Estados Unidos (<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>), o qual apresenta dados climáticos para mais de 2100 localidades.



(a) Belém, Pará.



(b) São Raimundo Nonato, Piauí.

Figura 7 – Temperaturas de bulbo seco no dia típico de projeto de verão para as cidades de Belém (a) e São Raimundo Nonato (b).

O modelo de edifício utilizado para simulação é um exemplo real de edificações residenciais construídas no Brasil atualmente, destinadas principalmente a populações de baixa renda, ou habitações de interesse social, conforme apresentado na figura 8.

Consiste em uma edificação residencial térrea, com cobertura plana, pé-direito de 2,7 m, com paredes e laje de forro de concreto com 10 cm de espessura. A refletância solar das paredes foi adotada como sendo 50% e a área de janelas de 1,44 m² cada com vidro simples de 3 mm, sendo metade do vão com vidro de correr. A cobertura possui telhas de fibrocimento de 6 mm de espessura, cuja refletância solar foi considerada de acordo com as medições espectrofotométricas para as tintas avaliadas nesta pesquisa. Para efeito de simulação, a emissividade térmica de todas as amostras foi adotada como 0,90, pois as tintas avaliadas nesta pesquisa não apresentam pigmentos ou elementos metálicos em sua composição, o que as classifica como materiais não-metálicos em relação à emissividade térmica, ou seja, são materiais de alta emissividade. Taxas de infiltração de ar e ventilação foram adotadas como 1 renovação por hora, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2008).

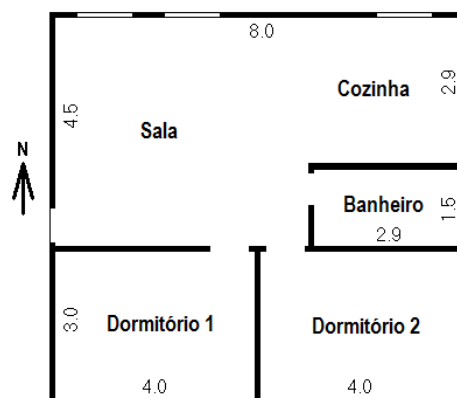


Figura 8 – Modelo de edificação simulado.

Em relação às fontes internas de calor, considerou-se nas simulações as cargas térmicas provocadas pela ocupação dos ambientes, adotando-se valores correspondentes a uma família brasileira típica da faixa de renda à qual se destinam os projetos: pessoas (2 adultos – 100W/pessoa e 2 crianças – 60W/pessoa), equipamentos (televisão – 50W, refrigerador – 90W, fogão – 60W) e iluminação (100W).

3.3.2. Quantificação do desconforto

Para avaliar os níveis de conforto térmico resultantes de cada alternativa, adotou-se os intervalos confortáveis de temperatura indicados na Norma ASHRAE 55-2004 (ASHRAE, 2004) para ambientes naturalmente ventilados, adaptados pelos autores através da Equação 1.

$$T_n = 17,9 + 0,31 * T_{Emed}$$

Equação 1

Onde:

T_n = Temperatura operativa interna ideal, ou de “neutralidade térmica” (°C). Para pouca diferença entre temperaturas superficiais e temperatura do ar, esta última pode ser aplicada no lugar da operativa;
 T_{Emed} = Média mensal da temperatura do ar exterior [°C], sendo a equação 1 válida para T_{Emed} entre 10,0 e 33,5 °C.

Em torno da temperatura neutra, um intervalo de temperaturas confortáveis é estabelecido, cujo “limite superior” pode ser dado pela equação 2 e o “limite inferior” pela equação 3:

$$\text{Limite superior} = T_n + \text{Tolerância} \quad \text{Equação 2}$$

$$\text{Limite inferior} = T_n - \text{Tolerância} \quad \text{Equação 3}$$

Neste artigo, adotou-se tolerância de 2,4°C que, conforme a norma, satisfaz a 90% dos usuários. Para atender a 80% das pessoas, a norma indica tolerância de 3,4°C. Como resultado, foram encontrados os seguintes limites confortáveis de temperaturas internas considerados na simulação, a partir das equações 1, 2 e 3 (Tabela 1):

Tabela 1– Limites confortáveis para temperaturas do ar interno considerados na simulação.

Cidade	T _{Med} [°C]	T _n [°C]	Limite Inferior [°C]	Limite Superior [°C]
Belém	26,29	26,05	23,65	28,45
São Raimundo Nonato	26,31	26,06	23,66	28,46

Apesar das diferenças climáticas entre as cidades de Belém e São Raimundo Nonato, as temperaturas médias e os limites confortáveis de temperatura são praticamente os mesmos para as duas cidades.

Os níveis de desconforto térmico foram quantificados em graus-hora (°Ch) de calor ou de frio. Cada grau-hora corresponde ao desconforto provocado pela temperatura do ar quando esta é menor que o limite inferior (frio) ou ultrapassa o superior (calor) em 1°C, durante 1 hora. Níveis diários, mensais ou anuais, são a somatória dos ocorridos ao longo das horas desses respectivos períodos de tempo.

Assim, para cada uma das situações simuladas, considerando-se as diferentes refletâncias da cobertura de acordo com os dados obtidos nas medições espectrofotométricas, foram obtidos quantitativos de desconforto por calor para as cidades de Belém e São Raimundo Nonato, representativas das zonas bioclimáticas 8 e 7 respectivamente, a partir das simulações computacionais.

3.3.3. Estimativa da energia para refrigeração

Conforme Szokolay (1987), a partir da equação 4 pode-se estimar a quantidade de calor acumulada ao longo das horas de um dia, que precisa ser retirada (refrigeração) ou fornecida (aquecimento) ao ambiente, para restabelecer o conforto térmico no mesmo.

$$Q = GH * q \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

Q = Quantidade de calor a ser retirada (refrigeração) ou fornecida (aquecimento) ao ambiente [Wh/dia];
 GH = Somatório de graus-hora de desconforto por calor acumulado ao longo do dia considerado [°Ch/dia];
 q = taxa de trocas térmicas por condução (q_c) e convecção (q_v), determinada a partir da equação 5 [W/°C]:

$$q = q_c + q_v \quad \text{Equação 5}$$

Sendo q_c e q_v dadas pelas equações 6 e 7:

$$q_c = \sum_{i=1}^n (A \times U)_i \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

q_c = taxa de trocas térmicas por condução, [W/°C];
 A = área da vedação externa “i” [m²];
 U = transmitância térmica da vedação externa “i” [W/m² °C];
 n = número de vedações externas.

$$q_v = 0,33 \times N \times V \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

q_v = taxa de trocas térmicas por ventilação, [W/°C];
 N = número de renovações do ar por hora [volumes/h];
 V = volume do ambiente [m³].

Assim, a partir dos quantitativos de desconforto para a edificação simulada com diferentes refletâncias solares na cobertura, pode-se determinar qual destas situações resulta em uma menor quantidade de energia para restabelecer o conforto no seu interior.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Refletância das Amostras

Nas figuras 9 a 11 são apresentadas as curvas espectrais de refletância das amostras pintadas com as tintas analisadas nesta pesquisa, também chamadas de “assinaturas espectrais das amostras”, pois caracterizam em detalhe seu comportamento ótico. As amostras foram nomeadas segundo a seguinte legenda:

- TRef (Refletiva): tinta refletiva branca com microesferas cerâmicas;
- TConv (Convencional): tinta convencional acrílica, de cor correspondente às tintas refletivas.

A tinta convencional Branca (TConvA) é apresentada como referência nas três figuras, para efeito comparativo do desempenho em relação às demais tintas refletivas. As curvas são apresentadas em três gráficos diferentes para melhor visualização do comportamento espectral de cada amostra, evitando a sobreposição dos resultados.

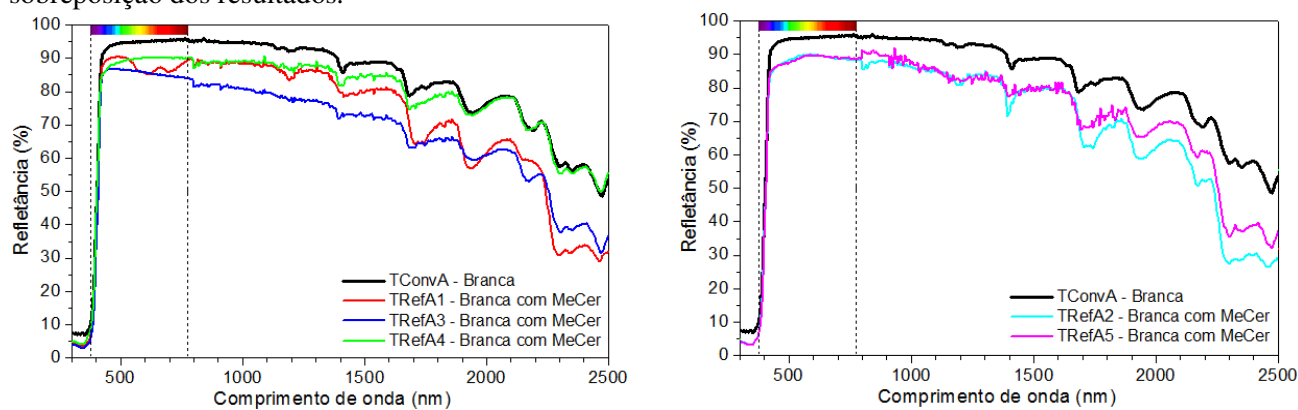


Figura 9 – Curvas espectrais de refletância das amostras convencional e refletivas de cor Branca.

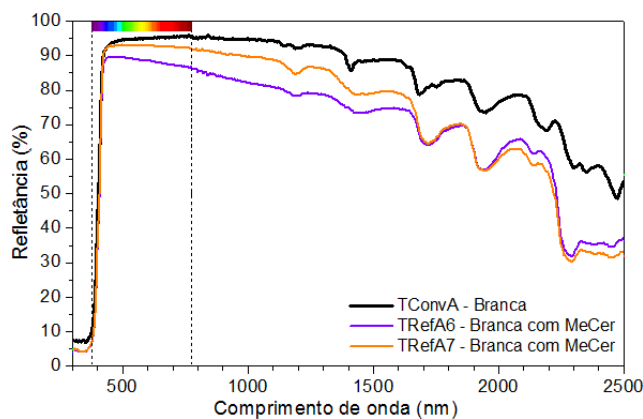


Figura 10 – Curvas espectrais de refletância das amostras convencional e refletivas de cor Branca.

A refletância média de cada amostra foi calculada para as regiões do ultravioleta (300 a 380 nm), visível (380 a 780 nm), infravermelho (780 a 2500 nm) e espectro solar total (300 a 2500 nm), para melhor compreensão do comportamento espectral das tintas em diferentes comprimentos de onda, conforme apresentado na tabela 2, cujos valores já estão ajustados ao espectro solar padrão definido pela ASTM (2003), conforme método apresentado por DORNELLES (2008).

A partir das curvas espectrais de refletância das amostras avaliadas nesta pesquisa e suas respectivas refletâncias ajustadas por faixa do espectro, pode-se observar que:

- A tinta convencional de cor branca (1-TConvA) apresentou refletância solar total (89,8%) superior às tintas refletivas de cor branca com microesferas cerâmicas;
- De maneira geral, todas as amostras de cor branca apresentaram alta refletância solar (acima de 78%), ou seja, todas essas amostras são tintas refletivas eficientes.

Tabela 2 – Refletâncias das amostras medidas em espectrofotômetro e ajustadas ao espectro solar padrão.

Nº	Sigla	Tipo	Refletância (%)			
			UV	VIS	IV	TOTAL
1	TConvA	Convencional	8,3	92,4	91,0	89,8
2	TRefA1	Com microesferas	4,9	85,5	83,0	82,5
3	TRefA2	Com microesferas	4,8	86,2	81,1	82,1
4	TRefA3	Com microesferas	4,2	83,2	76,4	78,3
5	TRefA4	Com microesferas	6,2	87,3	85,8	84,8
6	TRefA5	Com microesferas	4,7	86,1	83,0	82,8
7	TRefA6	Com microesferas	5,3	85,9	78,1	80,6
8	TRefA7	Com microesferas	5,5	90,0	83,8	85,3

4.2. Medições de Temperatura Superficial

Na figura 11 são apresentadas as curvas de variação de temperatura superficial das amostras expostas ao sol, assim como a temperatura do ar (Temperatura de Bulbo Seco - TBS) medida no local. Pode-se observar que houve uma oscilação de temperatura na faixa de 30 a 70 °C, sendo a maior temperatura superficial registrada para a amostra preta (nº 00) e a menor temperatura superficial para a amostra branca convencional (nº 1).

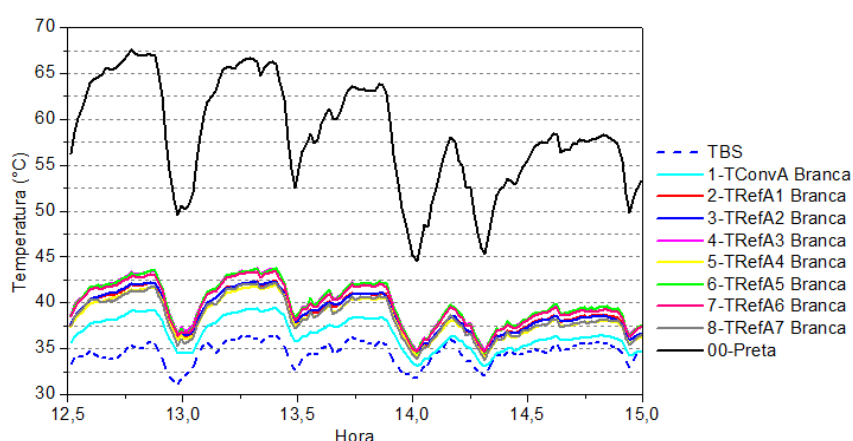


Figura 11 – Gráfico de temperaturas superficiais das amostras expostas ao sol e temperatura do ar.

Na figura 12 foi excluída a curva de variação de temperatura da amostra preta, permitindo-se observar em melhor escala a variação da temperatura superficial para as amostras brancas. Observa-se que há variações de no máximo 5°C entre as temperaturas superficiais das amostras, o que indica que apenas a cor da superfície não é um fator determinante do quanto uma superfície reflete ou absorve de energia solar. No entanto, a presença das microesferas cerâmicas na composição das tintas não interfere significativamente nas temperaturas superficiais das amostras, com redução das mesmas como indicado pelos fabricantes. Na verdade, a tinta convencional do tipo acrílica fosca, sem microesferas cerâmicas, apresentou maior refletância que as tintas que possuem esse componente.

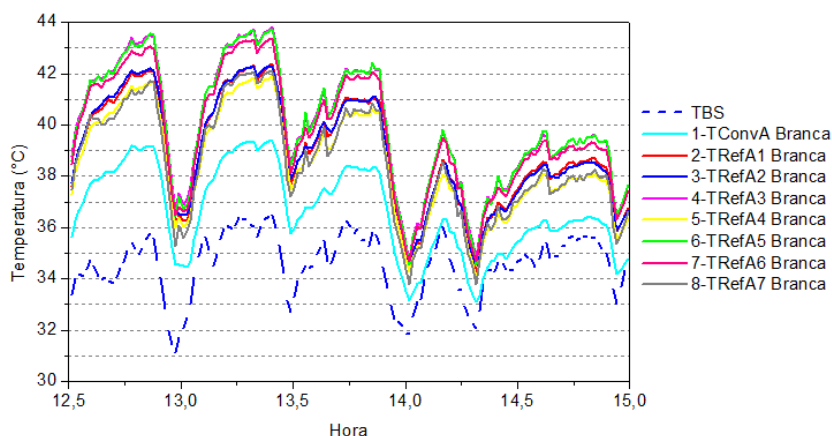











Figura 12 – Gráfico de temperaturas superficiais das amostras brancas expostas ao sol e temperatura do ar.

Em certos momentos o gráfico apresenta quedas nos valores de temperatura e posterior aumento das mesmas, as quais foram ocasionadas pela presença de nuvens em alguns momentos da medição, impedindo a incidência de radiação solar direta sobre as amostras, porém sem prejudicar a continuidade das medições no período considerado.

Na tabela 3 são apresentadas as temperaturas superficiais e do ar máximas e mínimas registradas para cada amostra durante o período de medição. Para as amostras de cor branca, com microesferas cerâmicas, observou-se pequenas diferenças entre suas temperaturas superficiais, conforme apresentado na figura 12. No entanto, a amostra de tinta branca convencional foi a que apresentou temperaturas mais baixas em relação às demais amostras. Estes resultados evidenciaram que mesmo a presença de microesferas cerâmicas na composição das tintas não as torna mais “isolantes” termicamente. O grande potencial de uso dessas tintas para reduzir as temperaturas de superfícies expostas ao sol está condicionado às elevadas refletâncias das amostras à radiação solar, como se pode observar comparativamente com os dados da tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Temperaturas máximas e mínimas das amostras expostas ao sol e respectivas refletâncias totais.

Nº	Sigla	Cor e Tonalidade Aproximadas		Refletância solar ajustada (%)	Temperaturas [°C]	
					Mínima	Máxima
--	TBS	Temperatura do Ar		---	31,14	36,50
00	TConvX		Preta	2,6*	44,48	67,55
1	TconvA		Branca	89,8	33,09	39,39
2	TRefA1		Branca	82,5	34,30	42,38
3	TRefA2		Branca	82,1	34,55	42,28
4	TRefA3		Branca	78,3	34,71	43,84
5	TRefA4		Branca	84,8	34,07	41,93
6	TReA5		Branca	82,8	34,55	43,75
7	TRefA6		Branca	80,6	34,68	43,37
8	TRefA7		Branca	85,3	33,78	42,09

* Refletância da amostra preta obtida por DORNELLES (2008).

4.3. Simulações Computacionais

Na tabela 4 são apresentados os quantitativos de desconforto por calor em graus-hora por dia (°Ch/dia) para a edificação simulada, considerando-se as oito diferentes refletâncias solares para os climas da cidade de Belém (quente e úmido, ZB8) e São Raimundo Nonato (quente e seco, ZB7), além dos valores de energia de refrigeração estimados para restabelecer o conforto no interior do edifício. Para efeito comparativo, foram incluídos dados de refletância solar de uma telha de fibrocimento nova, de cor cinza claro, cuja refletância foi medida em pesquisa realizada por Uemoto, Sato e John (2010). Pode-se observar que, quanto mais alta a refletância solar da cobertura, menor é o desconforto por calor para edificações localizadas em climas quente/úmido e quente/seco no Brasil.

Tabela 4 – Graus-hora de desconforto por calor diário e estimativas da quantidade de calor diário a ser retirada para restabelecer o conforto na edificação, para o dia típico de projeto de Verão em Belém e São Raimundo Nonato.

Nº	Sigla	Cor e Tonalidade Aproximadas	REFLETÂNCIA (%)		DESCONFORTO POR CALOR (°Ch/dia)		ENERGIA DE REFRIGERAÇÃO (Wh/dia)	
			VISÍVEL	SOLAR	Belém (ZB8)	São Raimundo Nonato (ZB7)	Belém (ZB8)	São Raimundo Nonato (ZB7)
1	TConvA	Branca	92,4	89,8	0,0	0,0	0,00	0,00
2	TRefA1	Branca	85,5	82,5	0,0	0,5	0,00	404,97
3	TRefA2	Branca	86,2	82,1	0,1	0,6	80,99	485,96
4	TRefA3	Branca	83,2	78,3	0,7	1,5	566,96	1.214,90
5	TRefA4	Branca	87,3	84,8	0,0	0,2	0,00	161,99
6	TReA5	Branca	86,1	82,8	0,0	0,5	0,00	404,97
7	TRefA6	Branca	85,9	80,6	0,2	1,0	161,99	809,94
8	TRefA7	Branca	90,0	85,3	0,0	0,1	0,00	80,99
9*	Telha	Cinza claro	47,7	48,0	9,9	11,9	8.018,37	9.638,24

* Amostra avaliada por Uemoto, Sato e John (2010).

Os resultados de desconforto por calor comprovaram que o uso de tintas de cor branca do tipo refletivas ou convencionais são eficientes na redução do desconforto térmico no interior de edificações localizadas em clima quente. De acordo com os resultados, o modelo de edificação simulada com uma cobertura de fibrocimento (amostra n° 9) com refletância solar de 48% apresenta 9,9 °Ch/dia de desconforto por calor para o dia típico de projeto de verão para a cidade de Belém e 11,9 °Ch/dia para o clima quente e seco da cidade de São Raimundo Nonato. Se esta cobertura for pintada com uma tinta branca convencional ou refletiva (refletância solar maior que 80%), o desconforto por calor pode ser significativamente reduzido nesta edificação, oferecendo condições de conforto térmico para seus ocupantes.

Da mesma forma, as estimativas de energia para refrigeração demonstraram que quanto maior é a refletância solar das superfícies de cobertura, menor é a necessidade de energia para refrigeração para restabelecer as condições de conforto no interior de edificações localizadas em climas quentes no Brasil. Para climas quente e seco, a necessidade de energia para refrigeração é maior que em climas quente e úmido, como se pode observar nos resultados para a cidade de Belém (ZB 8) e São Raimundo Nonato (ZB 7).

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos comprovou-se que pintar a cobertura de edificações localizadas em climas quentes no Brasil com tintas brancas de alta refletância solar é um modo muito eficiente de reduzir o desconforto térmico e o consumo de energia com sistemas de refrigeração para restabelecer o conforto dos usuários no interior dos edifícios que apresentem tipologias semelhantes às analisadas neste estudo,

As temperaturas superficiais das amostras expostas ao sol comprovaram que a refletância solar das tintas afeta diretamente o desempenho térmico das superfícies pintadas, comprovando que quanto mais alta é a refletância solar da tinta (ou quanto menor sua absorvância), menor a temperatura das superfícies do edifício, principalmente a cobertura, como indicam os resultados desta pesquisa. Observou-se que o grande potencial de uso das tintas brancas com microesferas cerâmicas em sua composição é devido à elevada refletância solar que as mesmas apresentam, e não necessariamente pela presença das microesferas. Portanto, o uso de tintas brancas, mesmo sendo do tipo convencional (e de menor custo que aquelas que apresentam micro esferas cerâmicas), é eficiente para reduzir as temperaturas superficiais da cobertura de edifícios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKBARI, H.; POMERANTZ, M.; TAHA, H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. **Solar Energy**, v.70, p.295-310, 2001.
- ASTM. **G173-03**: standard tables for reference solar spectral irradiances – direct normal and hemispherical on 37° tilted surface. Philadelphia, 2003.
- ASHRAE. **74-1988**: method of measuring solar-optical properties of materials. Atlanta, 1988.
- _____. **55-2004**: thermal environmental conditions for human occupancy. ASHRAE. Atlanta, 2004.
- ABNT. **NBR 15220-1**: desempenho térmico de edificações - parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 15575**: edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - desempenho. Rio de Janeiro, 2008.
- BERDHAL, P.; BRETZ, S. E. Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. **Energy and Buildings**, v.25, p.149-158, 1997.
- DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- DOULOS, L.; SANTAMOURIS, M. LIVADA, I. Passive cooling of outdoor urban spaces: the role of materials. **Solar Energy**, v.77, p.231-249, 2004.
- EPA. **Reducing urban heat islands: compendium of strategies cool roofs**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm>>. Acesso em: 24 jun. 2009.
- GOMES, R. J. **Condicionamentos climáticos da envolvente dos edifícios para habitação: ensaio de aplicação ao caso da região de Lisboa**. Lisboa: Ministério das Obras Públicas - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Memórias do LNEC, v.2, 1962.
- JAYASINGHE, M. T. R.; ATTALAGE, R. A.; JAYAWARDENA, A. I. Roof orientation, roofing materials and roof surface colour: their influence on indoor thermal comfort in warm humid climates. **Energy for Sustainable Development**, v.7, n.1. 2003.
- SZOKOLAY, S. V. **Thermal design of buildings**. Canberra: Raia Education Division, 1987.
- SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; APOSTOLAKIS, K. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. **Solar Energy**, v.81, p.488-497, 2007.
- SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I. A study of the thermal performance and of reflective coatings for the urban environment. **Solar Energy**, v.80, p.968-981, 2006.
- UEMOTO, K. L.; SATO, N. M. N.; JOHN, V. M. (2010), Estimating thermal performance of cool colored paints. **Energy and Buildings**, Vol. 42, pp. 17-22.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa, e ao Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica (LIEC) da UFSCar, pelas medições espectrofotométricas.