

REFLETÂNCIA SOLAR DE TINTAS FRIAS E CONVENCIONAIS PARA COBERTURA E OS IMPACTOS DA EXPOSIÇÃO AO INTEMPERISMO NATURAL

Kelen Almeida Dornelles

(1) Professora Doutora, Engenheira Civil, kelend@sc.usp.br, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São-Carlense, 400, São Carlos-SP, (16) 3373-9285

RESUMO

A radiação solar é o principal responsável pela carga térmica dos edifícios em muitos países, e consequentemente pelo aumento do consumo de energia para edificações condicionadas artificialmente ou pelo desconforto térmico em edificações não condicionadas. Diversos estudos confirmaram o efeito do uso de materiais de cor branca ou materiais frios no envelope construtivo como uma alternativa eficiente para minimizar a absorção de calor solar por essas superfícies. No entanto, um aspecto controverso sobre coberturas frias é a diminuição da refletância solar devido à deposição de sujeira e outros agentes de degradação da atmosfera. Com o objetivo de determinar a alteração na refletância de tintas submetidas às condições ambientais, amostras de 20 tintas (frias e convencionais) foram expostas ao intemperismo natural por 18 meses, e suas refletâncias espectrais foram medidas em laboratório com um espectrofotômetro a cada três meses. As curvas de refletância espectral foram obtidas para cada medição, com o objetivo de analisar os efeitos do intemperismo ao longo do espectro solar (300 to 2500nm). Refletâncias solares também foram obtidas para cada amostra de tinta. Os resultados indicaram decréscimos na refletância das tintas após a exposição ao intemperismo natural pelo período analisado, com maior impacto para as tintas mais claras. Tintas de cores escuras apresentaram leve aumento em suas refletâncias. Os resultados da pesquisa indicaram a necessidade do desenvolvimento de tintas e materiais para cobertura capazes de manter suas propriedades refletivas ao longo do tempo, sem a necessidade de manutenção periódica, aumentando-se o potencial de reflexão da radiação solar por essas superfícies, e a diminuição nos ganhos de calor dos edifícios.

Palavras-chave: tintas frias, refletância solar, intemperismo natural, desempenho térmico.

ABSTRACT

Solar radiation is the main responsible for building thermal loads in many countries, and consequently for increasing the energy use in conditioned buildings or the thermal discomfort in no-conditioned buildings. Several studies have confirmed the effectiveness of using white or cool materials on building envelope as an efficient alternative to minimize solar heat absorption by these surfaces. However, a controversial aspect about cool roofs is the solar reflectance decrease due to the dusty deposition and others degradation agents in the atmosphere. With the aim to determine the changing in the reflectance of coatings submitted to weathering conditions, specimens of 20 coatings (cool and standard) were exposed to natural weathering for 18 months, and their spectral and solar reflectances were measured in laboratory with a spectrophotometer, with periodical measurements each 3 months. Spectral reflectance curves were obtained for each measurement, in order to analyze the effects of weathering along the solar spectrum (300 to 2500 nm). Solar reflectances were also obtained for each sample. The results indicated a decrease in the samples reflectance after weathering exposure for the analyzed period, with higher impact for lighter colors. Coatings with dark colors presented slight increase in their reflectances. The research results suggest the need of developing coatings and roof materials able to maintain their reflective properties over time, without the need of periodical maintenance, increasing the potential of long term solar radiation reflection by these surfaces, and the reduction of buildings heat gains.

Keywords: Cool coatings, solar reflectance, natural weathering, roofs, thermal performance.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Estado da arte

Devido à sua vasta extensão territorial, o Brasil apresenta significativa diversidade climática e cada região exige soluções construtivas específicas, ainda insuficientemente estudadas. O desconhecimento sobre essas especificidades vem sendo responsável pela proliferação de edifícios com baixo desempenho térmico e, por consequência, elevado consumo de energia (DORNELLES, 2008). Mesmo com grande diversidade climática, quase que a totalidade do território brasileiro está sujeita à intensa e abundante insolação durante a maior parte do ano. Desta forma, o Sol torna-se um dos elementos de extrema importância no estudo da eficiência energética na arquitetura, tanto como fonte de calor ou fonte de luz, principalmente em regiões tropicais e de baixas latitudes.

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 do fluxo de calor pelas coberturas 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 frios. Atualmente, existem diversos tipos de materiais frios 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 et al., 2006). No entanto, é crescente a necessidade de produtos coloridos porque em muitos casos a estética de cores escuras é preferida.

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, 2009b; SYNNEFA et al., 2006). Atualmente, pesquisadores e fabricantes também têm trabalhado no desenvolvimento de materiais refletivos coloridos para coberturas para os casos onde o uso de cores claras provoca problemas de ofuscamento ou quando a estética de cores escuras é preferida (LEVINSON et al., 2007a, 2007b; SYNNEFA et al., 2007). Esses pigmentos, apesar de não alterarem a cor superficial dos materiais e permitirem desta forma o uso de telhados com cores mais escuras, apresentam refletâncias elevadas na região do infravermelho próximo, minimizando a absorção de calor solar pelas superfícies.

Levinson (2004) apresenta resultados de uma pesquisa financiada pela Comissão de Energia da Califórnia, para identificação e caracterização de pigmentos refletivos que embora mantenham a aparência normal de telhas coloridas, provocam alta refletância solar na região do infravermelho-próximo. Quando aplicados sobre telhas de concreto, esses pigmentos elevaram a refletância solar em torno de 30%, com maior ganho na refletância para as cores mais escuras.

As tintas são materiais muito utilizados na construção civil devido às suas propriedades estéticas e protetoras. Tintas coloridas com pigmentos convencionais tendem a absorver a radiação invisível na faixa do infravermelho-próximo, a qual contém mais da metade da energia proveniente do sol, conforme o espectro solar padrão definido pela ASTM (2003). A substituição dos pigmentos convencionais por pigmentos refletivos que absorvem menos radiação infravermelha permite a produção de tintas coloridas similares com maior refletância solar. Essas tintas refletivas, também chamadas de tintas “frias” permitem a redução de temperaturas superficiais de coberturas de edifícios, minimizando a necessidade de energia para refrigeração em edificações artificialmente condicionadas e tornando mais confortáveis edificações não condicionadas.

Estudos têm demonstrado economias de energia para refrigeração em edifícios acima de 20% com o aumento da refletância de coberturas de 10 a 20% iniciais para cerca de 60% (final). Além disso, com o aumento da refletância solar em superfícies urbanas (coberturas e pavimentos) pode-se reduzir a temperatura ambiente no período de verão e melhorar a qualidade do ar em áreas urbanas (TAHA 2001, 2002; TAHA et al., 2000; ROSENFELD et al., 1998; AKBARI et al., 2001; POMERANTZ et al., 1999). Aumentando-se a refletância solar das superfícies urbanas obtém-se maior reflexão da radiação solar global que chega à superfície terrestre minimizando os efeitos provocados pelo aquecimento global (AKBARI et al., 2009).

1.2. Normatização, programas de certificação e a alteração na refletância solar

Sistemas de certificação para edifícios verdes como o *U. S. Green Building Council's Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)* e o *Green Globes* reconhecem o uso de produtos refletivos para coberturas como uma boa prática para reduzir o ganho de calor em edifícios e minimizar os efeitos das ilhas urbanas de calor. Atualmente, existem alguns programas de certificação para coberturas refletivas que fornecem dados de desempenho térmico em relação à reflexão e emissão da radiação, assim como permitem uma análise comparativa das diferentes opções de coberturas. Nos Estados Unidos existem dois programas de classificação de coberturas refletivas: o *Cool Roofing Rating Council's (CRRC) Product Rating Program* e o *Environmental Protection Agency's Energy Star Reflective Roof Program*.

O *Green Building Council Brasil (GBC Brasil)* lançou um programa incentivando o uso de telhados pintados de branco, com o objetivo de reduzir as temperaturas superficiais das coberturas de edifícios no Brasil e conseqüentemente reduzir a temperatura do ar nos centros urbanos. No entanto, esta é apenas uma campanha de incentivo à população, e não uma norma ou lei. Paralelamente, na cidade de São Paulo, foi aprovado em primeira votação na Câmara Municipal o projeto de Lei 615/2009 para que as novas casas construídas na capital tenham os telhados e coberturas pintados de branco, de modo a reduzir os efeitos do aquecimento global. O projeto também acrescenta um artigo à Lei 11.228, de 1992, que determina as regras para a construção de imóveis na cidade.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency - EPA*) lançou uma das primeiras iniciativas para suporte ao uso de coberturas refletivas, o programa *Energy Star Roof Product Program*, que é uma ação específica do Energy Star Program, um projeto federal que objetiva a promoção da economia de energia de forma voluntária. A logomarca deste programa pode ser associada a produtos que atendam a critérios de eficiência energética (EPA, 2009a). Este programa qualifica os produtos chamados “refletivos” para uso em coberturas, a partir da avaliação do valor da refletância, que deve ser medida de acordo com a norma ASTM E 903-12 (ASTM, 2012). O valor de refletância para esses produtos deve ser igual ou superior a 65%, o qual indica que 65% da radiação é refletida pela superfície e que 35% é absorvida. Importante destacar que, para a certificação do produto, o valor da refletância não pode ser inferior a 50% após cinco anos de exposição às intempéries.

Neste contexto, um aspecto importante a ser considerado sobre o uso de coberturas frias é o quanto uma superfície com alta refletância solar inicial diminui sua capacidade refletiva ao longo do tempo. Estudos já comprovaram que a exposição das coberturas às intempéries e aos agentes atmosféricos altera as características iniciais de reflexão das tintas e demais materiais aplicados, além da alteração de outras características dessas superfícies, como modificação de cor, perda de brilho, empolamento, entre outros (LEVINSON et al., 2005). Assim, os revestimentos frios para serem efetivos devem manter ao longo do tempo a sua refletância inicial, o que torna necessário o desenvolvimento de materiais com propriedades de resistência ao desgaste (BRETZ; AKBARI, 1997). Porém, limpezas periódicas podem amenizar a alteração dessa propriedade.

Em estudo realizado por Bretz e Akbari (1997), avaliou-se os efeitos provocados pelo envelhecimento de 26 tipos de telhados que originalmente apresentavam altas refletâncias. Os autores concluíram que estes efeitos dependem do tipo de revestimento, de sua textura, da inclinação da cobertura e da proximidade de fontes de sujeira. A maior redução de refletância, em torno de 20%, ocorre no primeiro ano. Após o segundo ano, os decréscimos passam a ser pequenos, reduzindo entre 10 e 20% a economia originalmente estimada de energia pelo uso da alta refletância. A lavagem periódica das superfícies pintadas pode restabelecer entre 90 e 100% da refletância original. Em outra publicação, Akbari et al. (2005) comparam os efeitos da idade em dezenas de coberturas de alta refletância, sob diferentes condições de conservação e limpeza. Os resultados comprovaram que, com o passar do tempo, as refletâncias são progressivamente afetadas pela radiação ultravioleta e por acúmulo de pó, sujeira e poluição urbana. No interior das cidades, a tendência do envelhecimento é reduzir altas refletâncias, pois o pó e outros detritos urbanos acumulados sobre as superfícies geralmente apresentam refletâncias médias.

A frequência e intensidade de precipitações e a inclinação do telhado também afetam a refletância solar das superfícies de coberturas. Assim como ocorre com outras superfícies brancas, pinturas brancas ou de cores claras desbotam e escurecem levemente após diversos anos de exposição. Por este motivo, sistemas de certificação de coberturas refletivas adotam dois valores de refletância para representar o desempenho de tintas novas e envelhecidas após três anos de exposição às intempéries. Para manter a refletância das pinturas, os telhados devem receber nova camada de tinta e a frequência desta aplicação dependerá do tipo de tinta, tipo de cobertura, o objetivo da pintura e das diferenças climáticas regionais existentes. Para pinturas de cor branca, os fabricantes recomendam a repintura a cada três a sete anos (ROOF COATINGS MANUFACTURERS ASSOCIATION, 2005).

Figueiredo (2007) analisou alterações da refletância para diferentes cores de tintas expostas às intempéries ao longo de 24 meses na cidade de Campinas-SP. Os resultados comprovaram que as cores claras apresentaram as maiores refletâncias iniciais e com o decorrer do tempo essas refletâncias foram diminuindo. Em relação às cores escuras, com o decorrer do tempo estas tiveram suas refletâncias aumentadas quando comparadas aos valores obtidos inicialmente. Considerou-se que o efeito da sujeira acumulada ao longo do período de ensaios tenha sido menor que o efeito do desbotamento das cores escuras, a ponto deste último superar o efeito da sujeira acumulada.

Dornelles e Sichieri (2014) avaliaram os efeitos causados pela exposição ao intemperismo natural sobre as refletâncias de tintas brancas para uso como revestimento de coberturas expostas pelo período de um ano. Os resultados indicaram que houve diminuição significativa na refletância solar das amostras após a exposição ao tempo pelo período analisado, o que demonstra a ineficiência das mesmas em manterem suas características refletivas ao longo do tempo.

Assim, os resultados das pesquisas relatadas neste artigo justificam a importância da utilização de tintas e materiais refletivos nas coberturas de edifícios e de áreas pavimentadas no meio urbano, buscando-se reduzir a transferência de calor para o ambiente interno das edificações, além de minimizar os efeitos nocivos causados pelas ilhas urbanas de calor. Neste sentido, são de grande importância o estudo minucioso do comportamento térmico das tintas frias disponíveis no mercado nacional e a análise do impacto da exposição desses materiais às intempéries sobre a durabilidade e manutenção do poder refletivo dessas tintas.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar a avaliação das alterações na refletância solar e espectral de tintas expostas ao intemperismo natural pelo período de 18 meses na cidade de São Carlos, SP.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em quatro etapas principais:

1. Medição da refletância das tintas em laboratório e cálculo da refletância solar quando novas.
2. Exposição das amostras ao intemperismo natural.
3. Medição da refletância espectral e cálculo da refletância solar a cada 3 meses.
4. Análise das alterações na refletância das tintas ao longo da exposição ao intemperismo natural.

3.1. Tintas avaliadas

Neste trabalho, 20 tintas comercialmente disponíveis no Brasil foram avaliadas. Doze (12) amostras foram produzidas com tintas convencionais, incluindo uma formulada com microesferas cerâmicas (M.E.C.), e oito com tintas acrílicas frias. Para obter resultados o mais próximo de uma superfície real, as tintas foram aplicadas sobre amostras de cerâmica (40 x 40 mm), com a superfície lisa para evitar o efeito da rugosidade superficial sobre os resultados de refletância solar. As tintas selecionadas são descritas na Tabela 1.

Tabela 1– Descrição das tintas selecionadas.

Amostra	Cor da tinta	Tipo	Amostra	Cor da tinta	Tipo
S1	Branca	Conv.	S11	Crepúsculo	Conv.
S2	Branca	Fria	S12	Cerâmica Ônix	Fria
S3	Branca	Fria	S13	Cerâmica Ônix	Conv..
S4	Branca	M.E.C.	S14	Cerâmica Telha	Fria
S5	Pérola	Fria	S15	Vermelho Óxido	Fria
S6	Pérola	Conv.	S16	Azul Bali	Conv.
S7	Champagne	Fria	S17	Azul França	Conv.
S8	Champagne	Conv.	S18	Verde Quadra	Conv.
S9	Amarelo Antigo	Conv.	S19	Concreto	Conv.
S10	Amarelo Terra	Conv.	S20	Preto	Conv.

3.2. Medições de refletância

As medições de refletância espectral das tintas foram realizadas com o espectrofotômetro Varian CARY 5G, do Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica da UFSCar, sendo 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). O espectro 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). As medições foram realizadas de acordo com padrões definidos pela norma ASTM E903-12 (ASTM, 2012).

As refletâncias médias por faixa do espectro solar (UV, VIS, IV, Total) foram ajustadas ao espectro solar padrão definido pela ASTM (2003), conforme método apresentado por Dornelles (2008). Este ajuste faz-se necessário, pois a intensidade da radiação solar não é constante ao longo do espectro e sua distribuição depende do clima, altitude e das diversas características atmosféricas que se modificam frequentemente (nebulosidade, presença de vapor d'água, poluição, etc.). E os dados de refletância solar obtidos pelo espectrofotômetro caracterizam o comportamento ótico das diferentes amostras quando expostas a uma energia constante ao longo de todo o espectro solar. Ou seja, este cálculo não considera o percentual de energia incidente em cada comprimento de onda, pois o espectrofotômetro não faz essa distinção, o que acarreta distorções no caso da caracterização das superfícies frente à radiação solar, pois esta apresenta variações acentuadas de valores de energia incidente no intervalo estudado.

3.3. Exposição ao intemperismo natural

As amostras pintadas com as 20 diferentes tintas foram expostas por 18 meses ao intemperismo natural na cidade de São Carlos, SP (22°S, 48°O, 860m). Foi selecionada uma cobertura com inclinação de 8°, com o objetivo de evitar o acúmulo de água sobre a superfície. A orientação próxima da horizontal foi escolhida para maximizar o efeito do acúmulo de poeira e detritos em um curto período de tempo (Figuras 1 e 2).



Figura 1 – Cobertura utilizada para fixação da placa com as amostras.



Figura 2 – Amostras de tintas avaliadas.

As condições meteorológicas foram monitoradas continuamente por uma estação próxima ao local de exposição das amostras (temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar global e pluviosidade). A refletância solar e a alteração da aparência das amostras foram consideradas como o principal critério de avaliação. A refletância solar representa o desempenho energético dos materiais enquanto a aparência é mais associada com aspectos estéticos. Espera-se que o acúmulo de sujeira seja um dos principais fatores responsáveis pela perda da refletância e seu efeito tem de ser distinguido da contribuição devido aos agentes atmosféricos, como, a radiação solar, temperatura e umidade relativa. Neste procedimento, foi possível quantificar, para as amostras avaliadas, o envelhecimento natural devido aos efeitos combinados do intemperismo natural e acúmulo de sujeira através do monitoramento da perda da refletância nas amostras de tintas. A refletância das tintas foi medida em laboratório antes (amostras novas) da exposição e a cada três meses após a exposição. A análise das alterações na aparência das amostras foi realizada por observação visual com base nas modificações da cor, deposição de detritos, perda de brilho e aparecimento de microfissuras nas superfícies das tintas aplicadas. A refletância solar para cada amostra ao longo do período de exposição foi calculada, com base nas curvas de refletância espectral medidas em laboratório.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

As curvas de refletância espectral das tintas quando novas e a cada três meses de exposição são apresentadas nas Figuras 3 a 12. A refletância solar calculada para cada tinta é apresentada nas Figuras 13a e 13b.

Os resultados indicam que o maior impacto da exposição ao tempo sobre a refletância espectral das tintas concentra-se para comprimentos de onda nas regiões relativas ao espectro visível (entre 380 e 780 nm) e ao infravermelho próximo até aproximadamente 2000nm (Fig. 3 a 12). Os maiores decréscimos na refletância espectral foram observados nas tintas de cores claras, aquelas com refletâncias solares acima de 40%, conforme apresentado na Figura 13a. Para as amostras S15 (Vermelho Óxido), S18 (Verde Quadra), S19 (Concreto) e S20 (Preto), notadamente de cores escuras, a alteração na refletância espectral foi pouco significativa, conforme se observa nas figuras 10, 11 e 12. Para tintas escuras, o decréscimo foi mais evidente na parcela referente à radiação infravermelha do espectro solar, sem diferenças expressivas para o espectro visível. Além das condições ambientais, também o acúmulo de sujeira teve grande impacto sobre as tintas brancas. As ações combinadas das condições ambientais e o acúmulo de sujeira sobre as amostras podem ser observadas principalmente pela diferença entre a refletância espectral na porção visível do espectro solar (Figuras 3 a 12). Esta redução confirma o impacto da deposição de sujeira sobre a aparência das superfícies pintadas, das tintas brancas quando novas até as tintas escuras.

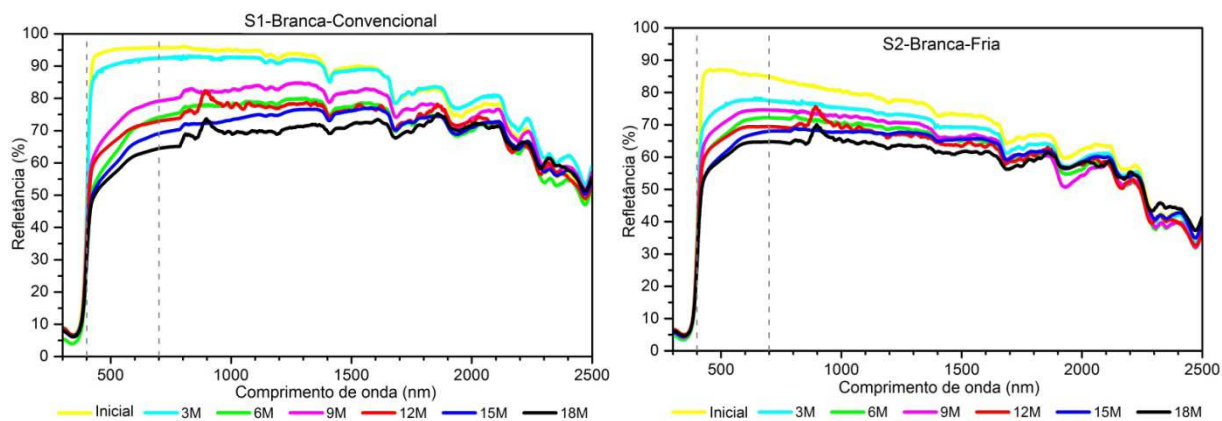


Figura 3 – Refletância espectral das tintas Brancas S1 e S2.

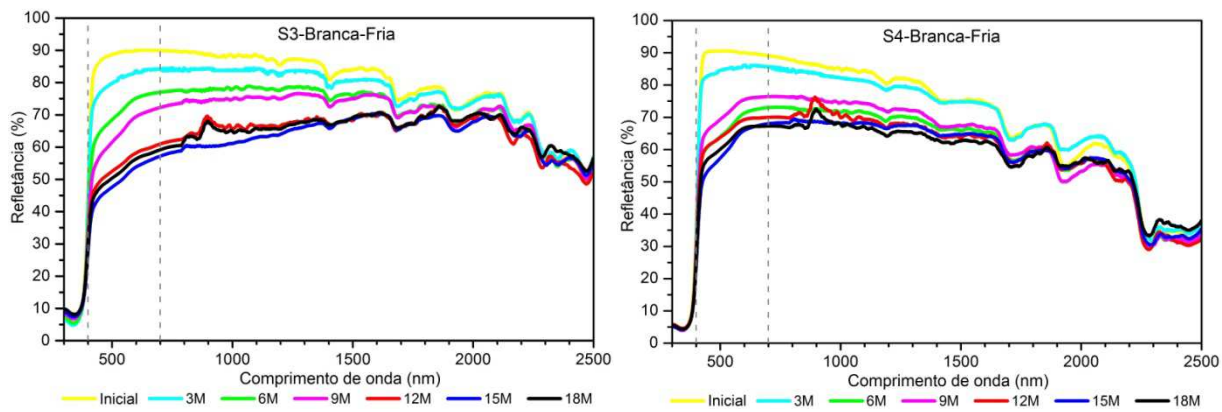


Figura 4 – Refletância espectral das tintas Brancas S3 e S4.

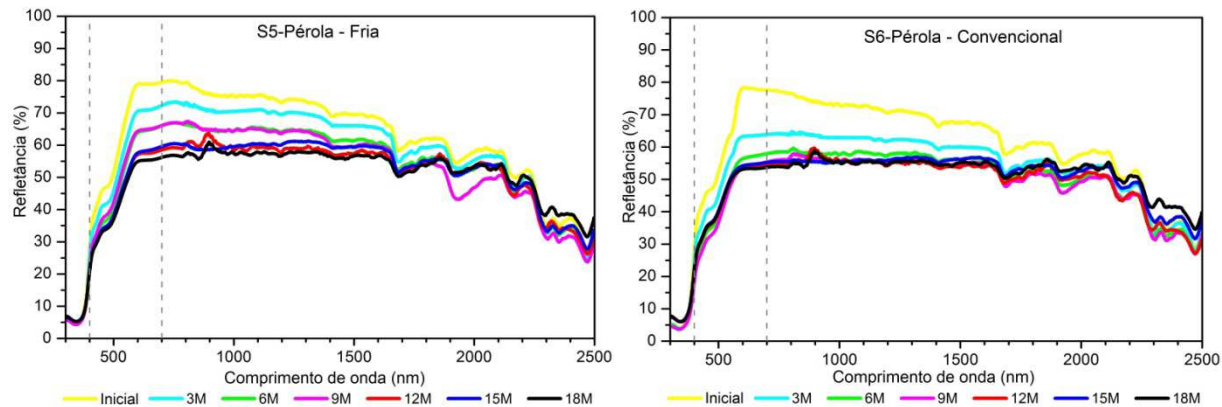


Figura 5 – Refletância espectral das tintas cor Pérola S5 e S6.

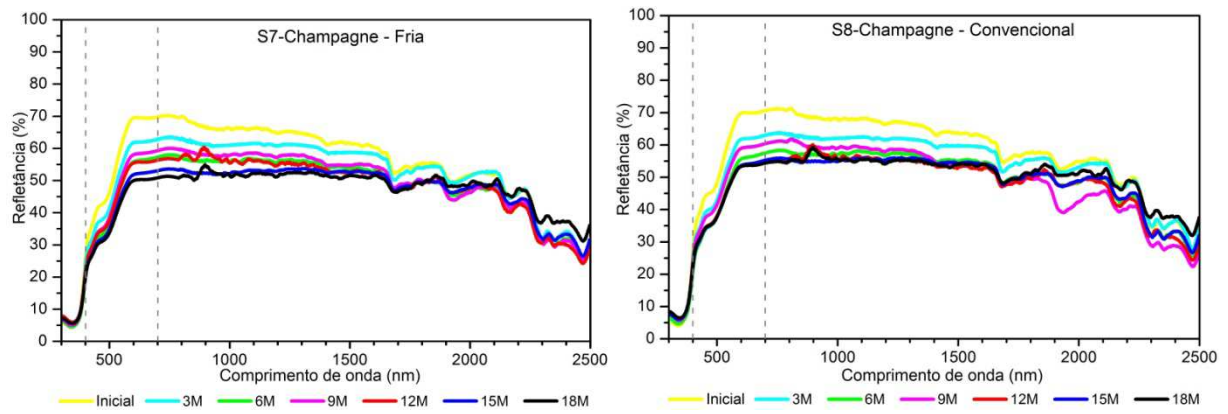


Figura 6 – Refletância espectral das tintas cor Champagne S7 e S8.

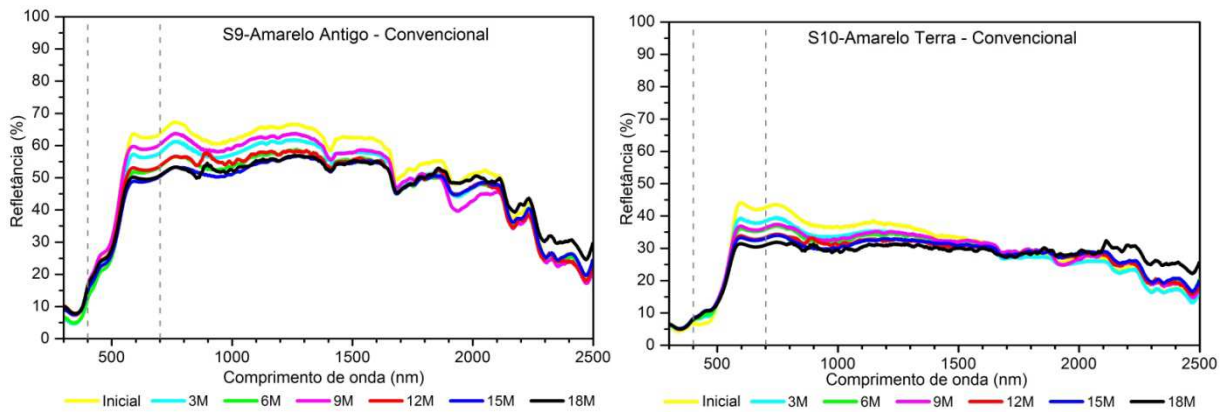


Figura 7 – Refletância espectral das tintas cor Amarelo Antigo S9 e Amarelo Terra S10.

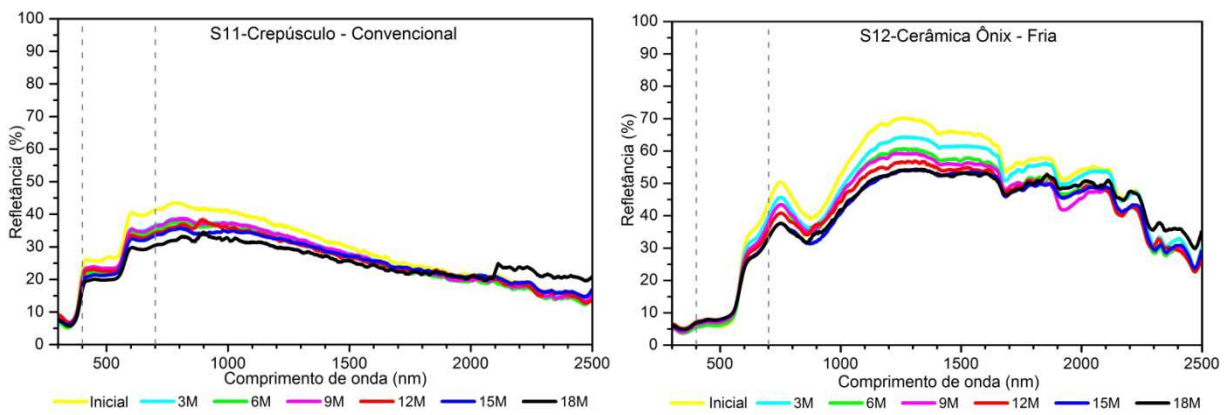


Figura 8 – Refletância espectral das tintas cor Crepúsculo S11 e Cerâmica Ônix S12.

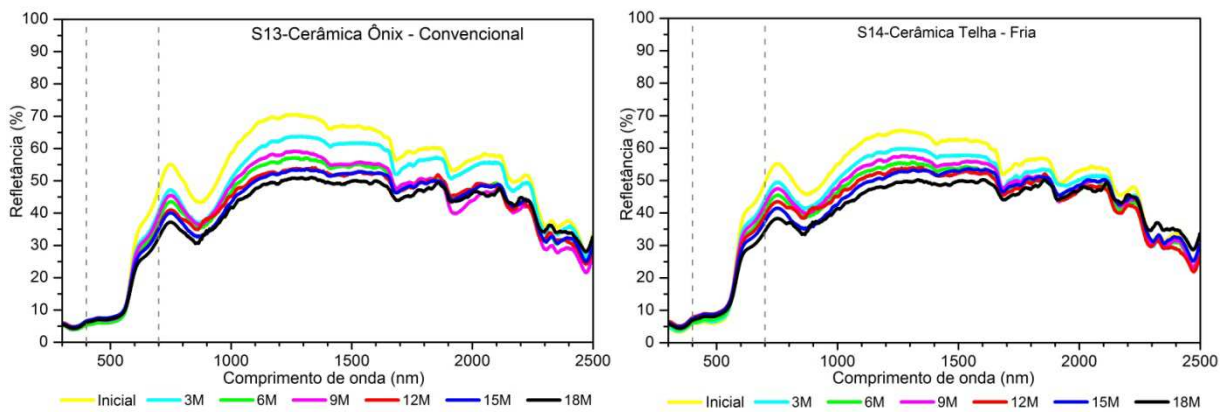


Figura 9 – Refletância espectral das tintas cor Cerâmica Ônix S13 e Cerâmica Telha S14.

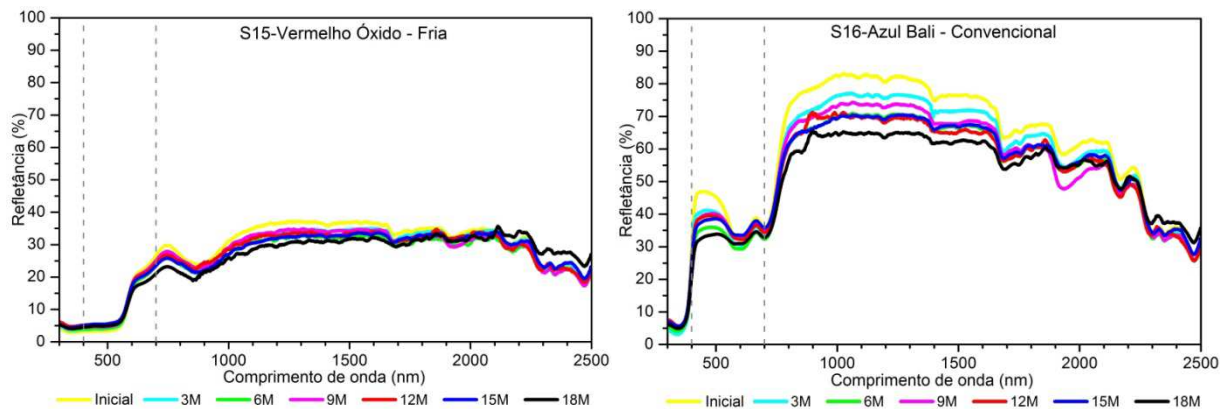


Figura 10 – Refletância espectral das tintas cor Vermelho Óxido S15 e Azul Bali S16.

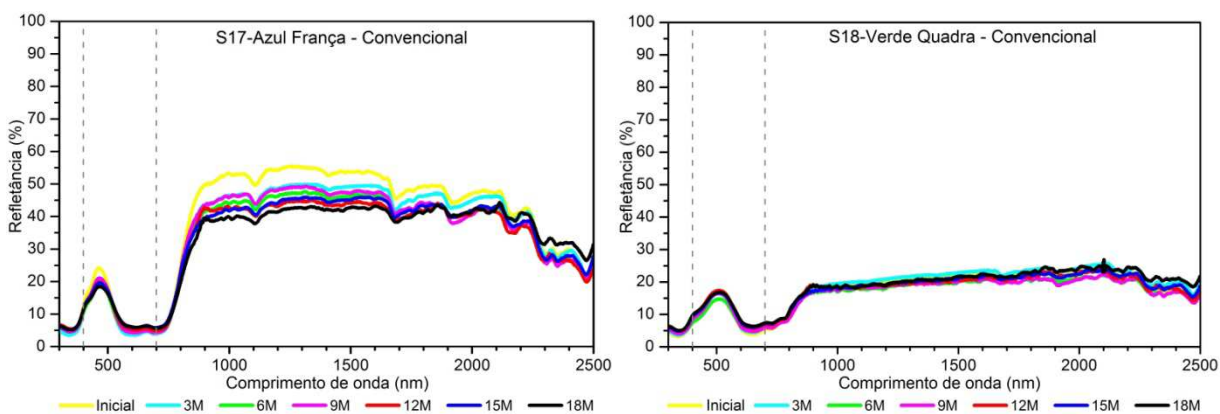


Figura 11 – Refletância espectral das tintas cor Azul França S17 e Verde Quadra S18.

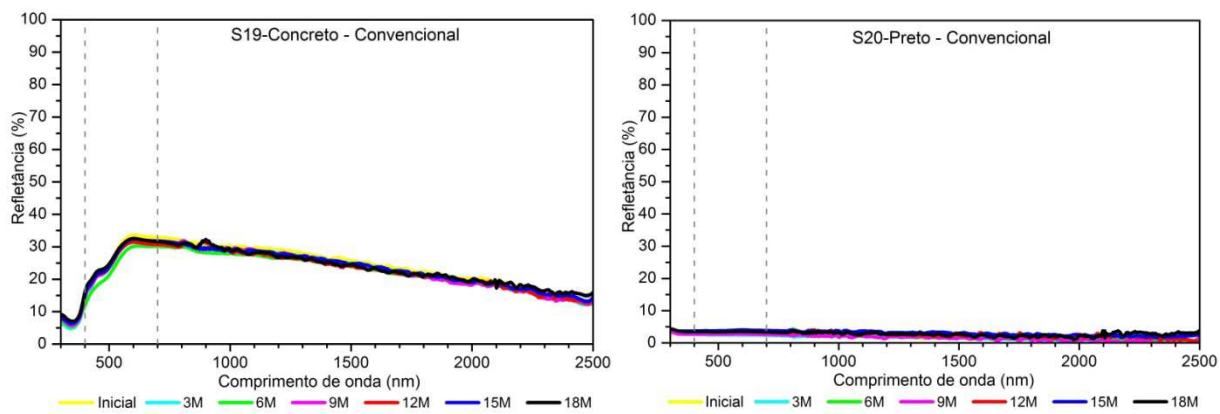


Figura 12 – Refletância espectral das tintas cor Concreto S19 e Preto S20.

As Figuras 13a e 13b mostram como a refletância solar variou ao longo do tempo nesta pesquisa, para as condições ambientais apresentadas em São Carlos durante os 18 meses de exposição. Durante os seis primeiros meses houve significativo decréscimo na refletância solar das tintas, com a alteração das refletâncias devido, principalmente, ao acúmulo de poeira e detritos durante a estação seca em São Carlos, seguido pela remoção da sujeira pelas chuvas após o inverno (mês nove), com acréscimo da refletância solar.

Os resultados indicaram um decréscimo da refletância solar para todas as amostras expostas ao intemperismo natural durante os 18 meses, com exceção das tintas S18 (Verde Quadra) e S20 (Preto), as quais apresentaram um acréscimo de 0,9% e 1% na refletância solar, respectivamente. Neste caso, o efeito da radiação ultravioleta é mais significativo e por isso cores escuras sofrem maior impacto da radiação UV. Por outro lado, este efeito indica que a poeira é mais refletiva que a tinta de cor preta, como esperado. Comparando-se tintas convencionais com tintas frias com a mesma cor, observa-se que as tintas frias numeradas S5 e S7 apresentaram maior decréscimo na refletância solar (17,3% e 14%, respectivamente), comparando-se com as tintas convencionais S6 e S8 (16,5% e 12,1%, respectivamente). Por outro lado, a tinta fria S12 apresentou menor decréscimo (6,7%) na refletância solar quando comparada com a tinta

convencional de mesma cor (S13, 10,3%). A redução na refletância solar (diferença entre a refletância solar inicial e após 18 meses) foi mais evidente para tintas com cores claras, com maior decréscimo para as tintas S1 (27,9%), S3 (26,9%), e S4 (20,1%), todas tintas de cor branca.

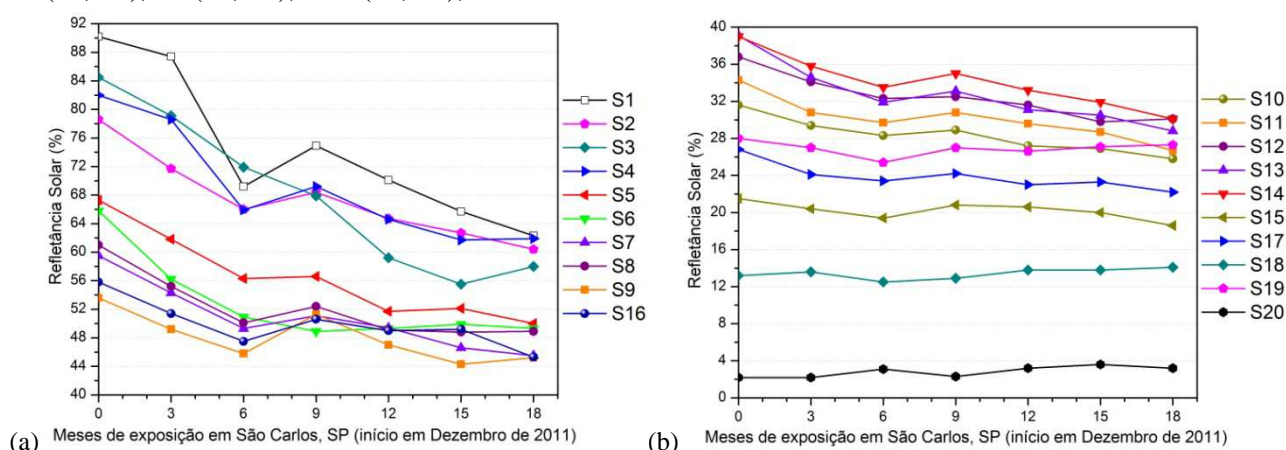


Figura 13 – Refletância solar x tempo para as tintas mais refletivas (a) e as tintas menos refletivas (b).

Para tintas escuras, o decréscimo foi mais evidente na parcela referente à radiação infravermelha do espectro solar, sem diferenças expressivas para o espectro visível. Além das condições ambientais, também o acúmulo de sujeira teve grande impacto sobre as tintas brancas. As ações combinadas das condições ambientais e o acúmulo de sujeira sobre as amostras podem ser observadas principalmente pela diferença entre a refletância espectral na porção visível do espectro solar (Figuras 3 a 12). Esta redução confirma o impacto da deposição de sujeira sobre a aparência das superfícies pintadas, das tintas brancas quando novas até as tintas escuras.

Segundo estudos realizados por Akbari et al. (2005), resultados experimentais de absorção espectral de superfícies com deposições de sujeira e poluição acumuladas sobre coberturas indicam que a maior parte da absorção é atribuída à fuligem de carbono produzida por combustão. A sujeira absorve mais em curtos comprimentos de onda como, por exemplo, na faixa relativa ao azul, ao invés do vermelho ou infravermelho. Segundo os autores, alterações na refletância solar após longo tempo de exposição às intempéries e aos poluentes parecem ser determinadas pela habilidade da fuligem em aderir à cobertura, resistindo à ação da chuva. Ainda segundo os autores, a degradação dos materiais de cobertura é devida principalmente pela ocorrência de três processos: (1) alterações graduais na composição química e física induzida pela absorção de radiação ultravioleta; (2) envelhecimento e desgaste (por exemplo, perda da plasticidade em polímeros e componentes de baixo peso molecular em asfalto), o que pode ser acelerado com o aumento da temperatura; e (3) ciclo térmico diurno, o que força o material por expansão e contração. Portanto, pesquisas por período mais prolongado e em diferentes condições de exposição devem ser realizadas para aprofundar as análises realizadas nessa pesquisa.

5. CONCLUSÕES

Neste artigo, a avaliação dos impactos do intemperismo natural sobre amostras de tintas frias e convencionais expostas ao tempo foi realizada, e suas refletâncias espectrais e solar foram medidas em laboratório com o objetivo de identificar os efeitos da variação da refletância ao longo do tempo. Os resultados indicaram que a refletância solar das tintas reduziram consideravelmente após 18 meses de exposição ao intemperismo natural. Esta redução foi principalmente influenciada pelas condições atmosféricas (radiação solar, chuva, temperatura, etc.) e sujeira (deposição de poeira e poluição), e foi mais significativa para tintas de cores claras. O acúmulo de sujeira na superfície diminuiu a refletância solar das tintas após meses de exposição ao tempo, com maior impacto após o sexto mês. Por outro lado, duas tintas de cores escuras (preto e verde escuro) apresentaram aumento na refletância solar, resultado principalmente da radiação ultravioleta e da baixa refletância solar da deposição de sujeira.

Em resumo, este estudo demonstrou que a exposição das coberturas de edifícios aos agentes ambientais altera consideravelmente a refletância solar das coberturas durante os primeiros meses. Os resultados da pesquisa indicam a necessidade do desenvolvimento de tintas capazes de manter suas propriedades refletivas ao longo do tempo, sem a necessidade de manutenção periódica das coberturas, aumentando-se o potencial de reflexão da radiação solar por essas superfícies, e a diminuição nos ganhos de calor dos edifícios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKBARI, H.; BERHE, A. A.; LEVINSON, R.; GRAVELINE, S.; FOLEY, K. **Aging and weathering of cool roofing membranes**. Report LBNL-58055. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2005.
- AKBARI, H.; MENON, S.; ROSENFELD, A. Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO₂. **Climatic Change**, v.95, 2009.
- 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.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **G173-03**: standard tables for reference solar spectral irradiances - direct normal and hemispherical on 37° tilted surface. ASTM International, 2003.
- _____. **E903-12**: standard test method for solar absorptance, reflectance, and transmittance of materials using integrating spheres. ASTM International, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: desempenho térmico de edificações - parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.
- BERDHAL, P.; BRETZ, S. E. Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. **Energy and Buildings**, v.25, p.149-158, 1997.
- BRETZ, S.; AKBARI, H. Long-term performance of high-albedo roof coatings. **Energy and Buildings**, v.25, p.159-167, 1997.
- COOL ROOF RATING COUNCIL. **Product Rating Program Manual (CRRC-1)**. Disponível em: <<http://www.coolroofs.org/alldocs.html#crcc1S>>. Acesso em: 07 abr. 2010.
- 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.
- DORNELLES, K. A.; SICHIERI, E. P. Efeitos do intemperismo natural sobre a refletância de tintas brancas para coberturas. In: ENTAC, 15., 2014, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2014. p. 1004-1013.
- 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 - US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, US DEPARTMENT OF ENERGY. **Energy Star Reflective Roof Products**. 2009a. Disponível em: <http://www.energystar.gov/index.cfm?c=roof_prods.pr_roof_products>. Acesso em: 30 jul. 2009.
- _____. **Reducing urban heat islands: compendium of strategies cool roofs**. 2009b. Disponível em: <<http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm>>. Acesso em: 24 jun. 2009.
- FIGUEIREDO, E. S. **Medidas de refletância de cores de tintas para pintura externa exposta ao tempo**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- 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.
- LEVINSON, R. **Cool colors for summer: characterizing the radiative properties of pigments for cool roofs**. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2004. Disponível em: <http://coolcolors.lbl.gov>. Acesso em 30 ago. 2004.
- LEVINSON, R.; BERDHAL, P.; AKBARI, H. Solar spectral optical properties of pigments - part 1: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, n.89, p.319-349, 2005.
- LEVINSON, R.; AKBARI, H.; REILLY, J. C. Cooler tile-roofed buildings with near infrared-reflective non-white coatings. **Building and Environment** v. 42, n.7, pp. 2591 a 2605, 2007a.
- LEVINSON, R.; BERDAHL, P.; AKBARI, H.; MILLER, W.; JOEDICKE, I.; REILLY, J. Methods of creating solar-reflective nonwhite surfaces and their application to residential roofing materials. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 91, n.4, 2007b.
- POMERANTZ, M.; AKBARI, H.; BERDAHL, P.; KONOPACKI, S. J.; TAHA, H. **Reflective surfaces for cooler buildings and cities**. Philos Mag B, v.79, n.9, pp.1457-1476, 1999.
- ROOF COATINGS MANUFACTURERS ASSOCIATION. **Overview of White Coatings and their Application**. Technical Note. 2005. Disponível em: <<http://www.roofcoatings.org/pdf/tn06.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2010.
- ROSENFELD, A. H.; ROMM, J. J.; AKBARI, H.; POMERANTZ, M. Cool communities: strategies for heat islands mitigation and smog reduction. **Energy and Buildings**, v.28, n.1, pp.51-62, 1998.
- 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.
- 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.
- TAHA, H. **Potential impacts of climate change on tropospheric ozone in California: a preliminary episodic modeling assessment of the Los Angeles Basin and the Sacramento Valley**. Lawrence Berkeley National Laboratory Report, Berkeley, CA, 2001.
- _____. **Meteorological and air quality impacts of increased urban surface albedo and vegetative cover in the Greater Toronto Area, Canada**. Lawrence Berkeley National Laboratory Report No. LBNL-49210, Berkeley, CA, 2002.
- TAHA, H.; CHANG, S.-C.; AKBARI, H. **Meteorological and air quality impacts of heat island mitigation measures in three U.S. Cities**. Lawrence Berkeley National Laboratory Report No. LBL-44222, Berkeley, 2000.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Processo nº 2008/58700-0, pelo financiamento da pesquisa.