Cerâmica
Industrial

http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2016.023

Determinação do Índice de Reflectância Solar de Telhas Comercializadas na Região do Médio Vale do Itajaí – SC

Letícia S. De Bortoli[a], Camila C. Stapait[a], Deivis L. Marinoski[b], Márcio C. Fredel[c], Luciana M. Schabbach[a,c*]

[a] *Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Blumenau, SC, Brasil*

[b] *Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações – CB3E, Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, Brasil*

[c] *Núcleo de Pesquisas em Materiais Cerâmicos e Compósitos – CERMAT, Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, Brasil*

**e-mail: luciana.maccarini@ufsc.br*

Resumo

Os materiais utilizados na construção civil absorvem radiação solar e dissipam parte do calor acumulado, influenciando no equilíbrio térmico das cidades. Este fenômeno é conhecido como Ilha de Calor Urbano. Este trabalho apresenta resultados da caracterização de propriedades óticas e térmicas (refletância e emitância) de telhas cerâmicas esmaltadas e telha de material reciclável comercializadas na região do Médio Vale do Itajaí - SC, bem como a determinação do Índice de Refletância Solar (SRI) para verificação do atendimento aos critérios estabelecidos pela certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Foram selecionadas amostras de telhas produzidas com tecnologias não convencionais, tais como, telhas cerâmicas do tipo grés e telhas produzidas a partir de embalagens longa vida. Os resultados evidenciaram que três das telhas cerâmicas analisadas não atenderam aos critérios da certificação LEED para uso em telhados com alta inclinação, ou seja, possuem SRI inferior a 39. A refletância solar da telha de embalagem longa vida é relativamente próxima a das telhas cerâmicas de coloração clara e atende aos critérios da certificação. Na análise dos parâmetros colorimétricos das telhas cerâmicas foi observado uma relação linear entre a luminosidade (L*) e SRI, o que permitiu identificar que L* deve ter um valor maior do que 50 para que essa tipologia de telha atenda os critérios exigidos pela certificação LEED. Desta forma, apenas com o valor do parâmetro L* pode-se identificar qualitativamente quais cores estariam a risco de atender os critérios dessa certificação, simplificando e agilizando o processo de análise.

Palavras-chave: índice de refletância solar, telhas cerâmicas esmaltadas, certificação LEED, CIELab.

1. Introdução

Os materiais utilizados nas áreas externas das construções urbanas absorvem a radiação solar (incluindo a infravermelha) em um percentual superior ao que é refletido e emitido, desta forma interferem no equilíbrio térmico de uma cidade, elevando a temperatura local. Este fenômeno que origina um gradiente de temperatura entre zona urbana e rural é chamado de Efeito Ilha de Calor[1,2].

De forma a interferir positivamente no presente problema, atualmente propriedades de radiação solar superficial de materiais usados em coberturas estão sendo enfatizadas na certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)[3], onde tais materiais devem atender a determinados valores de índice de emitância, (capacidade de emissão de energia por radiação de uma superfície), e refletância solar (proporção de radiação solar refletida por uma superfície em relação à radiação incidida sobre ela). Em específico, na certificação LEED, no que se refere ao requisito *Efeito ilha de calor,* os materiais de cobertura utilizados (revestimentos, telhas, placas cerâmicas, etc.) podem contribuir para obtenção de créditos através da determinação do Índice de refletância solar (SRI) desses materiais. Este índice é uma medida da capacidade de uma superfície de refletir a radiação solar reduzindo o aumento de temperatura causada pela absorção da radiação pela mesma e, é função da emitância térmica e da refletância solar. No caso de tetos e coberturas o valor de SRI que os materiais teriam que atender depende da inclinação da superfície (SRI $\geq$ 39 alta inclinação; SRI $\geq$ 82 baixa inclinação)[4]. Portanto, a determinação do Índice de refletância solar (SRI) de telhas seria o critério importante para avaliar quais tipos desses materiais estariam contribuindo para a mitigação do efeito ilha de calor.

Dentro desse contexto, esta pesquisa se ocupou em caracterizar e analisar propriedades ópticas (refletância solar, parâmetros CIELab) e térmica (emitância térmica) para determinar o SRI de materiais de cobertura utilizados e comercializados na região do Médio Vale do Itajaí (estado de Santa Catarina), sobretudo telhas cerâmicas esmaltadas do tipo grès de diferentes colorações, também incluindo uma amostra de telha produzida a partir de embalagens longa vida (Tetra Pak®). Deste modo se tornou possível identificar quais desses produtos atendem aos valores de SRI estabelecidos pela certificação LEED. Também foi

realizada uma caracterização colorimétrica das amostras, através da medida da cor (refletância no visível) e dos parâmetros colorimétricos CIELab.

De modo a facilitar a avaliação do SRI e impulsionar o desenvolvimento de uma construção civil mais sustentável, também foi avaliada a possibilidade de relacionar a luminosidade do material (parâmetro colorimétrico L*) e SRI a fim de propor um método simplificado de averiguação dos critérios estabelecidos pela certificação LEED.

2. Materiais e Métodos

2.1. Pesquisa de campo

Foi realizada na região do Médio Vale do itajaí em Santa Catariana uma pesquisa em cinco estabelecimentos comerciais especializados na venda de telhas que permitiu constatar o lançamento no mercado de telhas cerâmicas esmaltadas do tipo Grés (telhas cerâmicas produzidas usando o mesmo processo produtivo de pavimentos, como porcelanatos). Outra importante constatação foi a crescente oferta no mercado de telhas recicláveis, produzidas a partir da reutilização de embalagens longa vida (tipo Tetra Pak®). Desta forma foram selecionadas seis amostras para análise: cinco de telhas cerâmicas esmaltadas grès (brilhante) de diferentes colorações e uma de embalagem longa vida, como mostra a Figura 1. Para a realização das análises, foram retiradas amostras das telhas selecionadas, com dimensões 5×5 cm, tamanhos estes compatíveis para efetuar as análises nos equipamentos usados. A Tabela 1 traz as tipologias dos materiais selecionados com suas respectivas numerações.

2.2. Medidas de refletância solar e emitância

Para as medições de refletância solar foi utilizado o espectrofotômetro UV-VIS-NIR, modelo Lambda 1050 do fabricante Perkin Elmer, com ensaio executado de acordo com a norma ASTM E903 (Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres)[5]. Já as medidas de emitância térmica foram realizadas com um emissômetro portátil (D&S modelo AE1) segundo a norma ASTM C1371 (Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emissometers)[6].

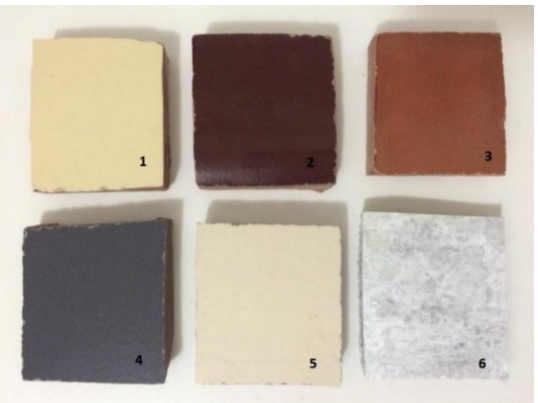


Figura 1. Amostras de telhas avaliadas (1 a 5: telhas cerâmicas esmaltadas tipo grés; 6: telha de embalagem longa vida).

2.3. Cálculo de SRI

A partir dos valores de refletância solar e emitância obteve-se o Índice de Refletância Solar (SRI) de cada amostra segundo a norma ASTM E1980 (Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces)[7]. Este cálculo toma como base a temperatura de um padrão negro (T_b) com refletância de 0,05 e uma emitância de 0,90, cujo valor SRI é igual a 0% e a temperatura de um padrão branco (T_w) com refletância de 0,80 e uma emitância de 0,90, cujo valor SRI é igual a 100%. A Equação A a seguir permite obter o valor SRI:

$$SRI=100\frac{(Tb-Ts)}{(Tb-Tw)} \quad (A)$$

de: Tb = temperatura de um corpo padrão negro; Tw = temperatura de um corpo padrão branco; Ts = temperatura superficial em estado estacionário (K).

Para obter Ts utiliza-se a Equação B (válida para uma superfície exposta ao sol e isolada na parte inferior):

$$Ts=309.07+\left(\frac{1066.07\alpha-31.98\varepsilon}{6.78\varepsilon+h_c}\right)-\left(\frac{890.94\alpha^2+2153.86\alpha\varepsilon}{(6.78\varepsilon+h_c)^2}\right) \quad (B)$$

s segundo a norma ASTM E1980, sobre condições solares e ambientais padrões a Equação A é reduzida para a Equação C:

$$SRI=123.97-141.35\chi+9.655\chi^2 \quad (C)$$

onde:

$$\chi=\frac{(\alpha-0.029\varepsilon).(8.797+h_c)}{9.5205\varepsilon+h_c}$$

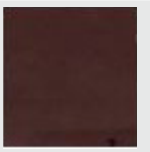
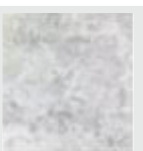
absorbância solar = 1 – refletância solar; ε emitância térmica; h_c coeficiente convectivo ($W.m^{-2}.K^{-1}$).

O cálculo de SRI (segundo a norma ASTM E1980) deve ser realizado usando três valores para o coeficiente convectivo (h_c): 5, 12 e 30 $W.m^{-2}.K^{-1}$, que correspondem à baixa, média e alta condição do vento, respectivamente[7].

2.4. Refletância no visível e parâmetros colorimétricos (L a* b*)*

As medidas de refletância no visível (cor) das superfícies das amostras também foram realizadas com um espectrofotômetro UV-Vis Konica Minolita CM3600A (d/8) segundo a norma ASTM E 308-6 (Standard Practice for Computing the Colors of Objects by Using the CIE System)[8] que prevê um equipamento com geometria óptica d/8, iluminante D65 e ângulo do observador de 10º. As medidas foram conduzidas com a componente especular inclusa. Os parâmetros colorimétricos L*, a*,

Tabela 1. Materiais selecionados e a respectiva numeração de suas amostras.

Amostra	Tipologia	
1	Telha Grés tipo Americana (marca A)	
2	Telha Grés tipo Americana (marca A)	
3	Telha Grés tipo Premier (marca B)	
4	Telha Grés tipo Americana (marca A)	
5	Telha Grés (marca C)	
6	Telha de embalagem longa vida (marca D)	

b* do sistema CIELab também foram determinados. Nesse sistema o parâmetro L* indica luminosidade e os parâmetros a* e b* são as coordenadas de cromaticidade, sendo +a* a direção do vermelho, -a* a direção do verde, +b* a direção do amarelo, e -b* a direção azul. O objetivo nesse caso foi verificar se há alguma relação dos parâmetros colorimétricos que caracterizam a cor das telhas com as propriedades de refletância solar (SRI).

3. Resultados e Discussão

3.1. Refletância solar

A Figura 2 apresenta as curvas de refletância solar das seis amostras de telhas. Observa-se que dentre as telhas cerâmicas, as amostras mais claras (1 e 5) apresentam maior percentual de refletância em grande parte do espectro solar apresentado (300-2500 nm), principalmente na região do infravermelho (700-2500 nm). Já as telhas cerâmicas 2 e 3 de coloração marrom (muito usada nas residências no Brasil) apresentaram refletância solar significativamente inferior. A telha de embalagem longa vida apesar de ser bem clara e ter alto percentual de refletância no visível

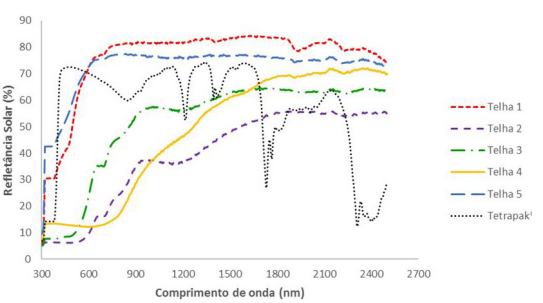


Figura 2. Refletância solar das telhas analisadas.

(400-700 nm) apresenta picos de declínio na região do infravermelho, que pode vir a afetar seu potencial de reflexão da radiação solar.

Com os dados das curvas espectrais da Figura 2 fez-se o processamento dos dados em planilhas eletrônicas visando obter a integral de área para cada curva ajustada ao espectro solar padrão. Com esse tratamento dos dados determinou-se o valor absoluto de refletância solar para

cada amostra, como apresentado na Tabela 2. Nota-se que as amostras que apresentaram maior valor de refletância solar absoluta foram as telhas 1 e 5, seguidas pela telha de embalagem longa vida. Para as amostras mais escuras (2, 3 e 4) os valores de refletância solar absoluta foram significativamente inferiores (entre 32% e 52% da refletância das telhas mais claras).

3.2. Emitância

Os valores de emitância de cada amostra são mostrados na Tabela 3. Nota-se uma similaridade entre os valores de emitância das telhas cerâmicas analisadas. Em específico, para um material cerâmico a emitância está em torno de 0,85-0,95[9]. Já a telha produzida com embalagem longa vida por ter uma composição significativamente diferente (polímero e alumínio) apresentou um valor de emitância mais baixo (0,74).

3.3. SRI

Com os dados de refletância e emitância obtidos, foi possível através da Equação C calcular o SRI de cada amostra de telha analisada. A Tabela 4 apresenta os valores de SRI calculados para os três valores do coeficiente convectivo, h_c, conforme a norma ASTM E1980.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 4, infere-se que três das seis amostras não atendem às exigências estabelecidas pela certificação LEED, para uso em telhados com alta inclinação, ou seja, possuem SRI inferior a 39, logo, não pontuariam no requisito ilhas de calor para novas construções. São as amostras 2, 3 e 4. Destas amostras a 2 e 3 (de coloração marrom) são com frequência escolhidas para aplicação em residências. Já as demais amostras (1, 5 e 6) atendem essas exigências e estariam contribuindo para minimizar os efeitos de ilhas de calor urbano.

Tabela 2. Valores absolutos de refletância solar de cada amostra.

Amostra	1	2	3	4	5	6 (Tetrapak®)
Refletância solar (ρ)	0,70	0,22	0,36	0,25	0,70	0,64

Tabela 3. Valores de emitância das amostras. (Desvio padrão ± 0.03).

Amostra	1	2	3	4	5	6
Emitância (Ɛ)	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,74

O Índice de Refletância Solar depende essencialmente da refletância do material. Desse modo, embora a telha Tetra Pak® (amostra 6) tenha apresentado um valor menor de emitância (comparado ao das telhas cerâmicas), a contribuição da sua refletância solar absoluta garantiu um SRI que atende às exigências da certificação LEED. A refletância solar da telha de embalagem longa vida (amostra 6) é relativamente próxima a das amostras cerâmicas 1 e 5, e também atende aos critérios desta certificação.

3.4. Parâmetros colorimétricos L*, a*, b*

Os valores dos parâmetros colorimétricos L*, a*, b* obtidos para cada amostra estão apresentados na Tabela 5. Observa-se que as coordenadas cromáticas (a* e b*) variam de posição (valores positivos e negativos) no sistema CIELab de acordo com a cor da amostra. Já para os valores de luminosidade (L*) nota-se que estes são significativamente menores para cores mais escuras (telhas 2, 3 e 4).

Em específico a luminosidade das amostras (caracterizada pelo parâmetro colorimétrico L*) é diretamente relacionada ao fator de refletividade da superfície[10]. Portanto, com base nos valores de luminosidade (L*) obtidos procurou-se estabelecer se há uma relação entre este parâmetro e o SRI das telhas previamente calculado[10]. A Figura 3 apresenta a relação obtida para as telhas cerâmicas analisadas quando o coeficiente convectivo, h_c, é igual a 12 $W.m^{-2}.K^{-1}$. Para os demais coeficientes h_c as relações são similares com coeficientes de regressão linear próximos. Neste caso, optou-se por excluir a telha de embalagem longa vida por

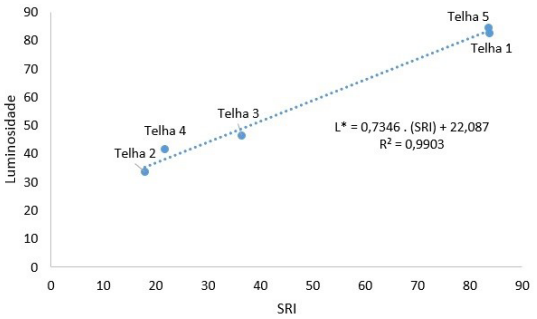


Figura 3. Relação da luminosidade (L*) das telhas cerâmicas com o índice de refletância solar (SRI) obtidos com coeficiente h_c=12 $W.m^{-2}.K^{-1}$.

Tabela 4. Valores de SRI das telhas calculados segundo a norma ASTM E1980 (para os três coeficientes convectivos h_c: 5, 12 e 30 $W.(W.m^{-2}.K^{-1})$).

Amostras		1	2	3	4	5	6
SRI	hc = 5	82	15	34	19	82	72
	hc = 12	84	18	36	22	84	74
	hc = 30	85	20	38	24	85	76

Tabela 5. Parâmetros Colorimétricos L*, a*, b* do sistema CIELab das telhas.

Amostras		L*	a*	b*
Telha 1		82,74	3,04	22,74
Telha 2		33,59	10,34	6,17
Telha 3		46,49	19,01	20,30
Telha 4		41,61	0,01	-1,33
Telha 5		84,67	1,60	13,73
Telha 6		83,56	-1,29	-0,23

se tratar de uma tipologia de telha obtida por processo produtivo distinto.

A partir da Figura 3 nota-se que há uma relação linear entre esses dois parâmetros, o que pode vir a facilitar a identificação das colorações que não atendem os critérios da certificação LEED. A partir da equação da reta obtida, pode-se identificar o valor mínimo de L* para que uma amostra tenha um SRI de no mínimo 39 (como requer a certificação LEED). Portanto, para que o SRI seja maior ou igual a 39, L* deve ter um valor maior ou igual a 50 para que essa tipologia de telha analisada atenda os critérios exigidos pela certificação LEED. Essa indicação está de acordo com os resultados obtidos, visto que as amostras que não atendem a certificação LEED apresentaram L* inferior a 47. Desse modo, apenas com o valor do parâmetro L* (medido com um equipamento mais simples como um colorímetro ou espectrofotômetro UV-Vis), pode-se identificar qualitativamente, para uma determinada tipologia de telha, quais cores poderiam atender os critérios da certificação LEED, simplificando e agilizando o processo de análise.

4. Conclusões

Com base nos resultados obtidos conclui-se que três colorações de telhas analisadas (2, 3 e 4), usadas com frequência em habitações, apresentaram SRI inferiores a 39. Logo não atendem os requisitos da certificação LEED e, portanto, não estariam contribuindo para a minimização do efeito ilha de calor urbano.

A medida da cor das telhas e determinação de seus parâmetros colorimétricos *L*, a*, b** permitiu constatar uma relação linear entre a luminosidade (L*) e o valor SRI para a tipologia de telhas cerâmicas. Deste modo, com esses parâmetros é possível estimar qualitativamente se uma coloração de telha atende ou não os critérios estabelecidos pela certificação LEED, facilitando o processo de análise.

No Brasil, ainda há poucas pesquisas a respeito do comportamento dos materiais usados em coberturas frente à radiação solar. Nota-se uma necessidade de difusão de conhecimentos das propriedades ópticas e térmicas dos materiais que compõem nosso ambiente urbano para assim incentivar o uso de produtos que contribuem positivamente para a sustentabilidade ambiental.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro disponibilizado para a realização desse trabalho de pesquisa. Projeto Universal, financiado pelo CNPq "Materiais cerâmicos e o Efeito Ilhas de Calor". Processo 476172/2013-6.

Referências

1. LOMBARDO, M. A. Ilha de Calor nas Metrópoles: O exemplo de São Paulo – São Paulo: HUCITEC, 1985.
2. ANDRADE, L. L., SOUZA, L. H., SAKURAGI, J. CASTRO, R.M. Estudo de ilhas de calor na cidade de São José dos Campos utilizando o canal infravermelho termal do Landsat-5 e o aerotransportado HSS. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 2007. Anais. São José dos Campos: INPE, 2007. p. 473-480. Disponível em: http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.18.10/doc/473-480.pdf. Acesso em: 18 de fevereiro 2015.
3. LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Disponível em: http://www.gbcbrasil.org.br/sobre-certificado.php. Acesso: 21 de fevereiro de 2015.
4. Green Building Council –Brasil. Disponível em: http://www.gbcbrasil.org.br Acesso: 21 de fevereiro de 2015.
5. ASTM E903-Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres, 2012. Disponível em: http://www.astm.org. Acesso: 22 de fevereiro de 2015.
6. ASTM C1371 - Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials near Room Temperature Using Portable Emissometers, 2010. Disponível em: http://www.astm.org. Acesso: 22 de fevereiro de 2015.
7. ASTM E1980 - Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces, 2011. Disponível em: http://www.astm.org. Acesso: 22 de fevereiro de 2015.
8. ASTM E 308-06 - Standard Practice for Computing the Colors of Objects by Using the CIE System. Acesso: Agosto 2015.
9. FROTA, A. B. Manual de Conforto Térmico. São Paulo: Studio Nobel, 2001. Tabela 1 - Valores de Coeficientes de Absorção (α) e Emitância (ε), p.193.
10. TENAGLIA, A. et al. Solar reflectance index (SRI) measurements of glazed ceramic tiles for LEED credits. In: 11th International Conference and Exhibition of the European Ceramic Society, Krakow, PL, p. 21-25 Giugno, 2009.