

INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DA SUPERFÍCIE NO ÍNDICE DE REFLETÂNCIA SOLAR DE TELHAS CERÂMICAS ESMALTADAS

Letícia Silva De Bortoli¹, Camila Cristina Stapait¹, Deivis Luis Marinowski², Márcio Celso Fredel³, Luciana M. Schabbach^{1, 3}

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Rua Pomerode, 710, Salto do Norte, Blumenau - SC - 89065-300.

²CB3E - Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, Departamento de Engenharia Civil e Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

³CERMAT–Núcleo de Pesquisas em Materiais Cerâmicos e Compósitos, Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina

E-mail: luciana.maccarini@ufsc.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência de características superficiais na capacidade de reflexão da radiação solar de duas telhas cerâmicas grés, esmaltadas de coloração marfim, com aspecto mate e brilhante. Os Índices de Refletância Solar (SRI) das telhas foram determinados através dos valores de refletância solar (UV-VIS-NIR) e emitância, medidos em laboratório. As amostras apresentaram SRI>39 atendendo aos critérios da certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) e contribuindo para minimização dos efeitos ilhas de calor. Embora a telha mate apresente um SRI mais elevado (82) do que o da telha brilhante (78), os

resultados encontrados para as variáveis que compõem o SRI (refletância e emitância) foram muito próximos. *Análises de DRX, MEV e EDS nas superfícies indicaram a presença de microcristais (contendo bário e zinco) no esmalte mate, que podem contribuir para um melhor resultado de SRI. A rugosidade e o brilho das amostras também foram determinados.*

Palavras chave: Telhas esmaltadas, índice de refletância solar, propriedades óticas, caracterização microestrutural.

INTRODUÇÃO

O equilíbrio térmico de uma cidade é diretamente influenciado pelos materiais utilizados na construção civil, uma vez que estes absorvem radiação solar e dissipam parte do calor acumulado na atmosfera ou no interior de ambientes, aumentando a temperatura local. Este fenômeno recebe o nome de Ilha de Calor Urbano ⁽¹⁾.

A capacidade de um material de intensificar o efeito de Ilha de Calor é determinada a partir de suas propriedades ópticas e térmicas (absorção da radiação solar e emitância térmica), influenciadas pelas características composicionais, e aspecto superficial, como cor e textura. A caracterização de materiais de cobertura, tais como as telhas, com relação a essas propriedades ainda é pouco difundida no Brasil, mesmo apresentando forte influência sobre esses aspectos.

Dentro desse contexto, a certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) ⁽²⁾, promove a utilização de materiais que atenuem o Efeito ilha de calor, atribuindo créditos para tais através da determinação do Índice de refletância solar (SRI) desses materiais. O SRI é a medida da capacidade de uma superfície de refletir a radiação solar reduzindo o aumento de temperatura causado pela absorção da radiação, sendo função da emissividade térmica e do coeficiente de refletância solar do material ⁽³⁾. No caso de coberturas o valor de SRI que os materiais teriam que atender depende da inclinação, sendo $SRI \geq 39$ para alta inclinação e $SRI \geq 82$ para baixa ⁽²⁾.

O Índice de Refletância Solar (SRI), calculado segundo a norma ASTM E1980 (Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low Sloped Opaque Surfaces), estima a capacidade de uma superfície em refletir a radiação solar recebida e emitir radiação térmica. Este índice é definido tomando como base a temperatura de um padrão negro (T_b), com refletância de 0,05 e emitância de 0,9 e de um padrão branco (T_w), com refletância de 0,8 e emitância de 0,9. O SRI pode variar de 0 a 1 (0 a 100%), sendo que o padrão negro corresponde a 0% e o padrão branco, 100%. O SRI pode ser obtido a partir da equação (A):

$$SRI=100*\frac{(T_b-T_s)}{(T_b-T_w)} \quad (A)$$

A temperatura superficial de equilíbrio T_s é obtida a partir da equação (B):

$$T_s=309,07+\left(\frac{1066,07\alpha-31,98\varepsilon}{6,78\varepsilon+h_c}\right)-\left(\frac{890,94\alpha^2+2153,83\alpha\varepsilon}{(6,78\varepsilon+h_c)^2}\right) \quad (B)$$

Onde:

α = absorvância solar = 1 - refletância solar

ε = Emitância térmica

T_s = temperatura superficial em estado estacionário (K)

h_c = coeficiente convectivo ($W.m^{-2}.K^{-1}$).

A certificação LEED exige o cálculo do SRI para três valores tabelados de h_c (coeficientes convectivos) que são de 5; 12 e 30 $W/m^2.k$, correspondendo a ventos de baixa (0 a 2m/s), média (2 a 6m/s) e de alta velocidade (de 6 a 10m/s) respectivamente, conforme a norma ASTM E1980.⁽³⁾

O valor do SRI pode ser influenciado por diversas variantes do material, sendo o estudo de sua composição uma análise importante, uma vez que os diferentes coeficientes de reflexão e refração das substâncias composicionais resultam em comportamentos distintos quando se trata da capacidade de uma superfície de refletir luz. O aspecto superficial, rugosidade, também é um

parâmetro considerável. As componentes de reflexão difusa e especular apresentam diferentes comportamentos dependendo do aspecto brilhante, mate ou opaco de uma superfície.

Esse trabalho teve como objetivo determinar o SRI de telhas cerâmicas esmaltadas de coloração marfim com diferentes aspectos superficiais (brilhante e mate), a fim de verificar a influência desses aspectos no comportamento de reflexão da radiação solar e, conseqüentemente, no SRI do material.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo foram selecionadas duas amostras de telha do tipo grés de coloração marfim, uma produzida com esmalte mate e outra brilhante, ambas disponíveis para aquisição no mercado. Conforme as especificações dos instrumentos utilizados para realização das análises, foram preparadas amostras de dimensões 5x5, atentando para que a região fosse cortada das partes mais planas e lisas das telhas cerâmicas, evitando possíveis interferências da curvatura nos resultados das análises. Em seguida as peças foram lavadas em água corrente e colocadas em uma estufa para secagem a uma temperatura de 100 °C por 3 horas. A Figura 1 apresenta as amostras avaliadas.

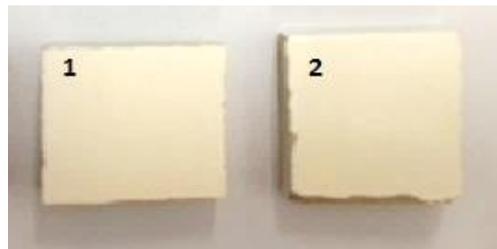


Figura 1 - Telhas cerâmicas selecionadas: (1) mate e (2) brilhante.

Medições de Refletância Solar, Emitância e Cálculo de SRI

Para as medições de refletância foi utilizado o espectrofotômetro UV-VIS-NIR, modelo Lambda 1050 do fabricante Perkin Elmer, segundo a norma ASTM E903 (Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres)⁽⁴⁾. Já para as medidas de emitância térmica, fez-se uso de 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)⁽⁵⁾. A partir desses dois valores obteve-se o Índice de Refletância Solar (SRI) de cada amostra segundo a norma ASTM E1980 ⁽³⁾.

Análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS)

O aspecto da superfície e a composição das duas amostras de telhas foram avaliados utilizando as técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS). Pequenas amostras (com dimensão aproximada de 0,5 cm x 0,5 cm) foram previamente preparadas mediante deposição com ouro. A caracterização microestrutural das superfícies das telhas foi realizada com um microscópio eletrônico de varredura (MEV) (modelo HITACHI TM3030), com integrador de EDS (espectroscopia por dispersão de energia).

Análise de Difração de raios-X na superfície das telhas

Para estas medidas foi utilizado um difratômetro Philips X'Pert, operado a 40 kV e 30 mA, com radiação $\text{CuK}\alpha$ (1,54 Å), geometria θ -2 θ , monocromador no feixe difratado. As medidas foram feitas diretamente na superfície das amostras, com varredura de 0,02° a 2s.

Caracterização superficial de rugosidade e brilho

A rugosidade superficial das amostras foi determinada através da utilização do interferômetro ótico de luz branca Zygo NewView 7300. Já as medidas de brilho foram realizadas na indústria Cerâmica Portinari, com a utilização de um brilharômetro GM 60 com ângulo de incidência 60°.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Índice de refletância solar

As medidas de refletância solar das duas amostras realizadas com o espectrofotômetro UV-VIS-NIR permitiram a construção de um gráfico de distribuição espectral da refletância solar das duas telhas, apresentado na

Figura 2. Observa-se um maior percentual (em média um valor absoluto de 0,02 - 0,04) de refletância da telha mate a partir de 700 nm, que caracteriza a região do infravermelho. A sobreposição das curvas de reflexão em grande parte da região do visível (380-780nm) confirma por que na pratica há uma diferença mínima na aparência das telhas para a observação humana direta.

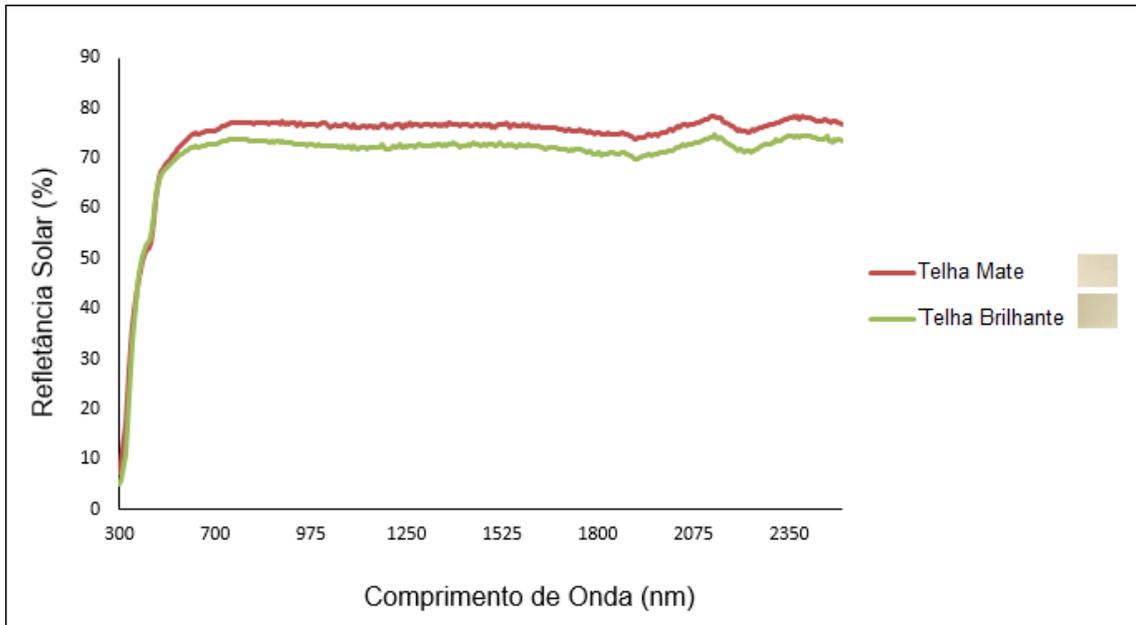


Figura 2 – Refletância solar das telhas marfim mate e brilhante.

A partir do cálculo da integral da curva da Figura 2 ajustada ao espectro solar, obtém-se os valores totais da refletância solar das amostras (Tabela 1). Os valores de emitância, também apresentados na Tabela 1, são similares pois esta é uma propriedade intrínseca do material. Em específico para cerâmica temos a emitância em na faixa de 0,85-0,95⁽⁶⁾. O valor do SRI de cada amostra foi então calculado conforme a norma ASTM E1980⁽⁶⁾, também expostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Refletância solar (absoluta), emitância e SRI das amostras.

Amostras selecionadas	Refletância Solar (ρ)	Emitância (ϵ)	SRI ($hc=12 \text{ W/m}^2.K$)
Telha marfim mate 	0,68	0,80	82
Telha marfim brilhante 	0,67	0,80	78

Embora a telha mate apresente um SRI maior (82) do que o da telha brilhante (78), os resultados encontrados para as variáveis que compõem o SRI (refletância e emitância) foram muito próximos, estando dentro da faixa de incerteza das medições. De qualquer modo, segundo os critérios de avaliação da certificação LEED, as duas amostras atendem as exigências estabelecidas, pois apresentam $SRI > 39$ (para telhas usadas em coberturas de alta inclinação).

DRX e Análise Microestrutural das superfícies das telhas

A caracterização microestrutural da superfície das telhas por MEV e microanálise EDS foi realizada com o objetivo de explicar melhor a possibilidade do valor de SRI ser mais elevado para a amostra mate. A micrografia da superfície da telha brilhante esta apresentada na Figura 3, juntamente com a microanálise EDS. Observa-se que a superfície da amostra brilhante é homogênea, apresentando somente irregularidades topográficas inerentes ao processo de produção. A análise EDS indica qualitativamente que a fase vítrea (esmalte) é formada basicamente por silício, sódio, cálcio, alumínio e potássio, com presença de ferro que pode estar relacionada a adição de pigmentos. Nenhuma formação de cristais para essa composição de esmalte é observada.

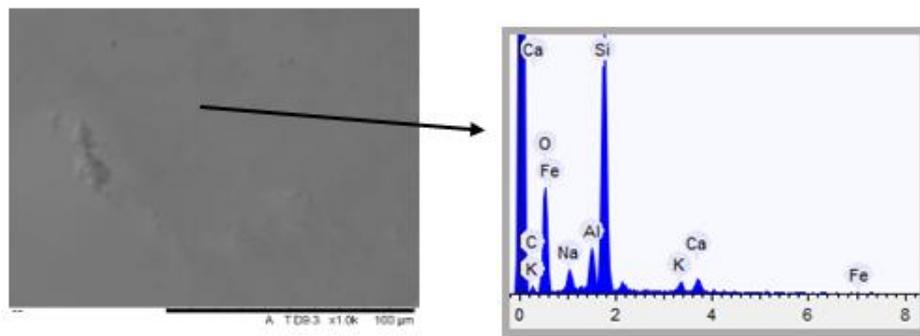


Figura 3 – Micrografia da telha marfim brilhante (x1,0k) com análise EDS.

A Figura 4 apresenta a micrografia da superfície da amostra da telha mate. Nesta observa-se a presença de microcristais de forma irregular com tamanhos entre 2-3 μm . A presença de cristais em um esmalte mate é esperada, pois é o processo de devitrificação do esmalte que confere o aspecto

mate final à superfície. Em específico a análise EDS indicou que o esmalte mate em questão é um esmalte a base de zinco e bário, estando também esses elementos presentes nos cristais formados.

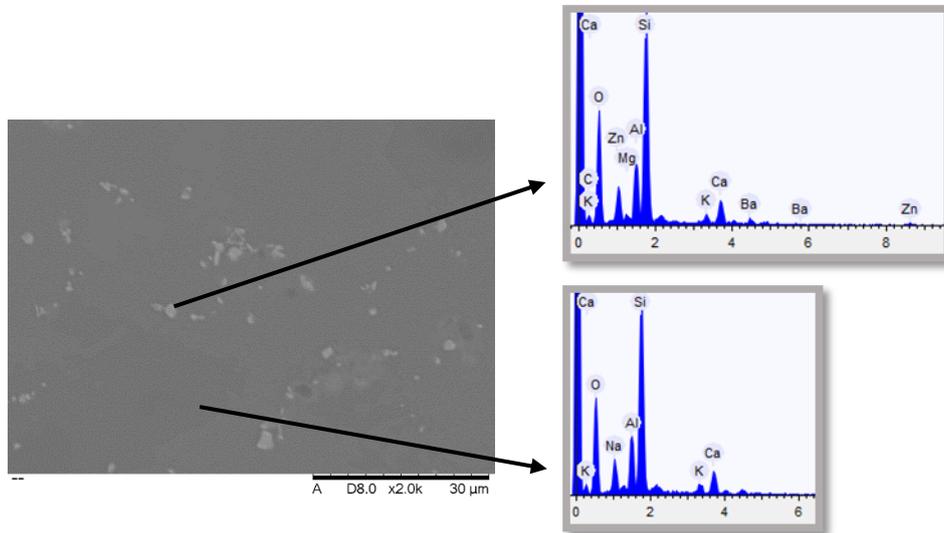


Figura 4- Micrografia da telha marfim mate (x2,0k) com análises EDS.

Os resultados da análise difratométrica (DRX) indicaram que os microcristais presentes na telha mate são de silicato de bário e zinco (BaZn_2 (Si_2O_7 , ICSD 01-089-8267) e rutilo (TiO_2 , ICSD 01-076-0326). Esses microcristais atuam como difusores da luz. Desta forma, as propriedades óticas do esmalte mate são interferidas diretamente pela presença desses pequenos cristais devido ao seu índice de refração ser distinto da fase vítrea, proporcionando um espalhamento mais efetivo da luz em todas as direções. Isto pode explicar o fato da telha mate ter apresentado SRI em média ligeiramente maior do que a telha brilhante.

Rugosidade e Brilho

Os resultados obtidos nas análises de rugosidade e brilho estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros de rugosidade e brilho das amostras

Amostras selecionadas	Sq (μm)	Sdq (deg)	Brilho (UB)
Telha marfim mate 	0,56	0,11	43
Telha marfim brilhante 	0,16	0,06	75

O estudo de rugosidade superficial com a utilização do interferômetro ótico permitiu afirmar que a amostra mate é mais rugosa.

A rugosidade média quadrática de uma superfície é determinada pelo parâmetro de altura, Sq . Outro parâmetro interessante para a análise trata da raiz quadrada da inclinação dos picos, Sdq , determinando se os picos presentes possuem uma tendência a forma suave ou pontiaguda⁽⁷⁾. Desconsiderando o desvio de forma e a ondulação da amostra, determinou-se esses parâmetros através do software *Montains Map*. A amostra mate apresentou um Sq igual a $0,56 \mu\text{m}$ e Sdq $0,11 \text{ deg}$ enquanto que a amostra brilhante apresentou um Sq igual a $0,16 \mu\text{m}$, e Sdq $0,06 \text{ deg}$, evidenciando menor rugosidade desta última, assim como o aspecto mais suave de seus picos. Quanto mais rugosa a superfície, mais difusa será a reflexão da luz, já que os raios serão refletidos em direções mais variadas, sofrendo um espalhamento mais efetivo se comparado a uma superfície lisa.⁽⁸⁾ Esse fenômeno também pode ter contribuído para que a telha mate apresentasse um índice de reflexão médio ligeiramente mais alto que a amostra de telha brilhosa.

A análise do brilho das amostras evidenciou um resultado esperado, onde a amostra brilhante apresenta o maior valor. Obteve-se 43 UB para a amostra mate e 75 UB para amostra brilhante (sendo UB unidade de brilho). Apesar da reflexão especular (brilho) da telha brilhante ter sido maior, pôde-se evidenciar que esta não é fator determinante para que uma telha apresente maior índice de refletância solar.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram concluir que as duas telhas avaliadas contribuem para minimização dos efeitos ilhas de calor de acordo com a certificação LEED, por apresentarem SRI >39. Embora a telha mate apresente um SRI mais elevado (82) do que o da telha brilhante (78), os resultados encontrados para as variáveis que compõem o SRI (refletância e emitância) foram muito próximos. Apesar disso há um indicativo de que a superfície com acabamento mate tem maior refletância do que a brilhante. A caracterização por DRX e microscopia eletrônica de varredura das superfícies incluindo a determinação da sua rugosidade permitiu constatar que a telha mate apresenta um aspecto mais rugoso que a telha brilhosa, e que o maior percentual de refletância solar da telha mate pode ocorrer pela presença de microcristais (silicato de bário e zinco ($BaZn_2(Si_2O_7)$) e rutilo (TiO_2)), por contribuírem para um espalhamento mais efetivo da luz, proporcionando um maior SRI para esta telha. Já para a telha com superfície brilhante, embora a reflexão especular (brilho) tenha sido maior, pôde-se evidenciar que esta não é fator determinante para que uma telha apresente maior índice de refletância solar.

O estudo do comportamento dos materiais cerâmicos frente a radiação solar apresenta grande importância para desenvolvimento de uma área urbana ambientalmente mais confortável e sustentável, tendo visto a influência desses materiais no equilíbrio térmico das cidades. O conhecimento das propriedades que influenciam o SRI, assim como a caracterização de produtos atualmente utilizados, tornam-se essenciais para que, cada vez mais, as edificações utilizem materiais que venham a contribuir para a minimização do efeito de ilhas de calor urbano.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o auxílio financeiro do CNPq para a realização do trabalho, visto que as atividades são inseridas dentro do contexto do Projeto “Materiais cerâmicos e o Efeito Ilhas de Calor”. Projeto Universal, financiado pelo CNPq. Processo 476172/2013-6. Também expressam seus agradecimentos ao Laboratório de Materiais – LabMat do Departamento de

Engenharia Mecânica da UFSC por disponibilizar o interferômetro ótico de luz branca Zygo NewView 7300 para as medidas de rugosidade.

REFERÊNCIAS

- (1) KOLOKOTSA, D.; SANTAMOURIS, M.; AKBARI, H. Advances I the Development of Cool Materials for the Built Environment. Bentham Science Publishers. 2013
- (2) Certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). 4ª Versão. Green Building Council. 2013
- (3) ASTM E1980 - Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces (2011). Home: <http://www.astm.org/>
- (4) ASTM E903-Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres (2012). Home: <http://www.astm.org/>
- (5) ASTM C1371 - Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emissometers (2010). Home: <http://www.astm.org/>
- (6) FROTA A. B. Manual de Conforto Térmico. Tabela 1 — Valores de Coeficientes de Absorção (α) e Emitância (ϵ) pág. 193.5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- (7) GADELMAWLA, E. S. et al. Roughness parameters. Production Engineering and Mechanical Design Department, Faculty of Engineering, Mansoura University, Mansoura, Egypt. Journal of Materials Processing Technology 123, pag. 133-145. 2002.
- (8) MARCHIORI, M. M. SOUZA, A. J. Estudo para a proposição de um novo método de medição de rugosidade baseado em reflexão difusa de laser. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Departamento de Engenharia Mecânica – DEMEC. Porto Alegre, 2013.

GLAZED CERAMIC ROOF TILES: INFLUENCE OF SURFACE FEATURES IN THE SOLAR REFLECTANCE INDEX

ABSTRACT

In this study the influence of surface features of ceramic roof tiles in the solar reflectance index were evaluated. Two glazed ceramic roof tiles (type stoneware) with the same color (ivory) but with different appearance (matte and brilliant) were the focus of the analysis. The Solar Reflectance Index (SRI) of the roofs tiles were determined by the solar reflectance values (UV-VIS-NIR) and emittance, measured in laboratory. The samples showed $SRI > 39$ in accordance with LEED certification criteria (Leadership in Energy and Environmental Design), contributing to minimizing the Heat Island Effects. Although the matte roof tile shows a slightly higher SRI value (82) than the brilliant one (78), the results for the variables that composes the SRI value (reflectance and emittance) were very similar. Analysis of XRD, SEM and EDS performed on the surfaces of the two roofs indicated for the matte glaze the presence of microcrystals (with barium and zinc) that can contribute to the slightly highest value of SRI. The roughness (optical interferometer white light) and the brightness (brightness meter) of the samples were also measured.

Key-words: Ceramic tiles, solar reflectance index, optical properties, microstructural characterization