2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

INFLUÊNCIA DA SATURAÇÃO NAS PROPRIEDADES TÉRMICAS E ÓTICAS DE MATERIAIS POROSOS UTILIZADOS EM COBERTURAS [1]

RAMOS, J. A. V. S. (1); NETO, A. B. (2); SILVA, M. K. P. (3); MARINOSKI, D. L. (4); GÜTHS, S. (5)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, gu.guga.ramos@gmail.com
(2) Universidade Federal de Santa Catarina, antoniobarzan@gmail.com
(3) Universidade Federal de Santa Catarina, michel.kps@outlook.com
(4) Universidade Federal de Santa Catarina, deivis.marinoski@ufsc.br
(5) Universidade Federal de Santa Catarina, saulo@lmpt.ufsc.br

RESUMO

Diversas publicações indicam um potencial de redução de carga térmica de resfriamento por meio da aplicação de resfriamento evaporativo na cobertura de edificações. Tal processo consiste na dissipação do calor absorvido na forma de calor latente, por meio da evaporação da água contida em materiais porosos. Porém, a absorção de água nos materiais porosos causa uma alteração nas propriedades térmicas e óticas desses materiais, relacionadas a absorção de calor. Tais alterações podem reduzir as vantagens da utilização do resfriamento evaporativo em coberturas. Visando avaliar mais precisamente as variações dessas propriedades, foram medidas as emitâncias, refletâncias e SRIs de telhas porosas de cerâmica e fibrocimento, usualmente aplicadas no mercado de construção civil brasileiro, nas condições seca e saturada. De maneira geral, verificou-se um aumento na emitância e uma redução na refletância com a saturação, em todas as amostras avaliadas. Desta forma, com os resultados apresentados, novas pesquisas sobre este tema podem se utilizar de valores mais precisos em suas estimativas, implicando, por exemplo, em simulações computacionais mais robustas.

Palavras-chave: *Resfriamento evaporativo, coberturas, propriedades térmicas e óticas, eficiência energética em edificações.*

ABSTRACT

Several publications have indicated the potential for reducing the thermal cooling load through the application of evaporative cooling on the building roofing. Such process consists in the dissipation of the heat absorbed in the form of latent heat, with the evaporation of water contained in porous materials. However, the absorption of water by porous materials causes a change in the thermal and optical properties of materials, related to heat absorption. Such changes may reduce the advantages of using evaporative cooling on roofings. In order to more accurately assess these variations in optical properties, the emittances, reflectances and SRIs of ceramic and fibre cement porous tiles, usually applied in the Brazilian civil construction

[1] RAMOS, J. A. V. S.; NETO, A. B.; SILVA, M. K. P.; MARINOSKI, D. L.; GÜTHS, S. Influência da saturação nas propriedades térmicas e óticas de materiais porosos utilizados em coberturas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

market, were evaluated both in dry and saturated conditions. In general, there was an increase in emittance and a reduction in reflectance in all evaluated samples. Thus, with the results presented, new research on this topic can use more precise values in their estimations, implying, for example, more robust computer simulations.

***Keywords**: Evaporative cooling, roofings, thermal and optical properties, energy efficiency in buildings.*

1 INTRODUÇÃO

Segundo Wang et al. (2019), a utilização de materiais porosos na envoltória das edificações em regiões subtropicais e expostas à chuva pode contribuir para a manutenção do resfriamento das mesmas devido ao fenômeno de resfriamento evaporativo, no qual parte do calor absorvido é dissipado na forma de calor latente na evaporação da água contida no material.

Nayak, Hagishima e Tanimoto (2020) relatam que a utilização de aspersores para manter a superfície do telhado úmida pode trazer reduções consideráveis na carga térmica para resfriamento. Zhang et al. (2015) analisaram comparativamente a economia de energia proporcionada por uma parede com azulejos porosos em uma cidade chinesa, concluindo que a utilização dessa técnica passiva representou uma diminuição entre 35-68% do consumo de energia para condicionamento de ar.

Zhang et al. (2017), ao analisarem o resfriamento evaporativo de tijolos porosos de cerâmica, verificaram que, embora a absortância do tijolo úmido seja maior do que a do material seco, 80% da radiação absorvida foi transformada em calor latente de evaporação, o que reduziu a temperatura superficial em 11 °C e o fluxo de calor em 67,7%. Com os resultados obtidos, os autores ajustaram uma curva linear de decréscimo da refletância solar com o aumento da massa de água absorvida, com coeficiente de determinação de 0,87.

As coberturas das edificações representam uma significativa parcela de aporte de calor à edificação, sendo um importante espaço para aplicação de técnicas passivas de eficiência energética (SANTAMOURIS, 2014). Segundo o autor, altos albedos reduzem a absorção de calor na cobertura, diminuindo a temperatura da superfície, levando a menores fluxos de calor adentrando o ambiente. Por sua vez, a emitância dos telhados define a habilidade de dissipar calor, ou seja, altas emitâncias correspondem a menores temperaturas na superfície do edifício.

2 OBJETIVO

O presente artigo tem como objetivo a medição laboratorial das propriedades ópticas e térmicas, refletância e emitância, bem como o cálculo do Índice de Reflexão Solar (SRI), de dez amostras de telhas comercializadas no mercado nacional, nas condições seca e saturada, a fim de comparar a variação dessas propriedades quando tais telhas estão expostas a situações que levam à saturação.

3 MÉTODO

O desenvolvimento deste artigo foi subdividido em três etapas principais:
1. Seleção e preparação das amostras;
2. Medição da emitância térmica e da refletância solar;
3. Cálculo do Índice de Refletância Solar (SRI);

3.1 Seleção e preparação das amostras

As amostras utilizadas, de telhas cerâmica e fibrocimento, foram escolhidas devido à sua grande difusão no mercado construtivo brasileiro. As telhas cerâmicas foram divididas entre porosa e impermeabilizada, e as telhas de fibrocimento entre sem pintura, pintada com duas demãos e pintada com três demãos de tinta branca. Todas estas tiveram um respectivo par que ficou submerso durante as 24h anteriores ao ensaio para sua saturação. As amostras saturadas eram retornadas ao recipiente de submersão após cada medição. Uma limitação do trabalho é o fato das mesmas terem ficado submersas quando em situações reais as mesmas são aspergidas. As amostras podem ser visualizadas na Figura 1, e sua abreviação e descrição, na Tabela 1.

Figura 1 – Amostras de telhas utilizadas



Fonte: Autores (2020)

Tabela 1 – Descrição das amostras

Número	Amostra	Cor aproximada	Descrição
1	Fibro 3D Sat	Branco	Cimento, celulose e fios de polipropileno, pintada com três demãos de tinta branca, saturada
2	Fibro 3D	Branco	Cimento, celulose e fios de polipropileno, pintada com três demãos de tinta branca
3	Fibro 2D Sat	Branco gelo	Cimento, celulose e fios de polipropileno, pintada com duas demãos de tinta branca, saturada
4	Fibro 2D	Branco	Cimento, celulose e fios de polipropileno, pintada com duas demãos de tinta branca
5	Fibro Sat	Cinza escuro	Cimento, celulose e fios de polipropileno, saturada
6	Fibro	Cinza	Cimento, celulose e fios de polipropileno
7	Cer Imp Sat	Laranja escuro	Cerâmica com superfície esmaltada (esmalte transparente), saturada
8	Cer Por Sat	Laranja escuro	Cerâmica com superfície porosa, saturada
9	Cer Imp	Laranja esmaltado	Cerâmica com superfície esmaltada (esmalte transparente)
10	Cer Por	Laranja	Cerâmica com superfície porosa

Fonte: Autores (2020)

3.2 Medição da emitância térmica e da refletância solar

A avaliação da emitância térmica das amostras foi realizada com o uso de um emissômetro da Devices and Services Company (D&S), modelo AE1, cuja saída é um sinal elétrico na escala de milivolts. As medições foram realizadas utilizando-se um multímetro da Hewlett Packard, modelo 34401A. Para a calibração do equipamento, foram utilizadas duas amostras padrão, com alta (0,88) e baixa (0,06) emitância.

O procedimento de medição foi adotado segundo as recomendações da Norma

ASTM C1371-15: Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emissometers (ASTM, 2015). Foram realizadas três corridas para todas as amostras, sendo que o procedimento de calibração do equipamento foi executado a cada corrida. Tal procedimento consiste em 5 medições alternadas das amostras padrão, com duração de 90 segundos cada medição, conforme o mínimo estabelecido pela norma. Após a calibração, foram efetuadas as medições de cada amostra, intercaladas com nova medição da amostra padrão de alta emitância, sempre respeitando o intervalo de 90 segundos.

Para a avaliação da refletância solar, foi utilizado um espectrofotômetro fabricado pela empresa PerkinElmer, modelo Lambda 1050. O ensaio foi realizado com base na Norma ASTM E903-12: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres (ASTM, 2012), na faixa espectral de 300 a 2500 nm, com intervalos de 5 nm. O índice de refletância solar é calculado pela integração de área dos valores obtidos, após ajuste baseado em um espectro solar padrão.

Aplicando os erros, conforme apresentado no manual do multímetro, nas derivadas das funções e equações foram obtidas incertezas de ±0,004 para os resultados relativos às funções de calibração e de ±0.002 para os resultados das equações propostas pela ASTM C1371-15. Já para a incerteza relacionada ao espectrofotômetro também foi adotado o valor de ±0.002.

Por fim, foi calculada a incerteza combinada, considerando as incertezas de repetibilidade e incertezas do aparelho. Com isto, foi desenvolvido o cálculo da incerteza expandida. Foi adotado um fator k referente a um fator de Student de 4,53.

3.3 Cálculo do Índice de Refletância Solar (SRI)

Após procedidas as medições, calculou-se o SRI segundo a Norma E1980-11: Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces (ASTM, 2011). Foi utilizado o coeficiente convectivo de 12 W/m²K, relativo a condições intermediárias de vento.

Os valores obtidos de SRI foram comparados com os valores estabelecidos pela certificação LEED para obtenção de créditos relativos à mitigação de ilhas de calor.

4 RESULTADOS

4.1 Emitância

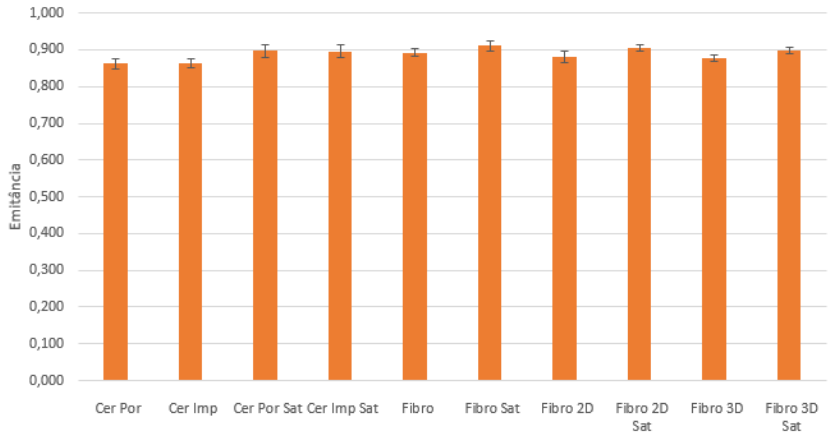
Conforme citado no item referente ao método de medição das propriedades, a emitância foi medida utilizando como base a norma ASTM C1371-15.

Com a regra de três utilizada pela norma ASTM C1371-15, foi possível obter os resultados para as três sequências de medição, sintetizados na Figura 2.

É possível verificar o aumento da emitância relacionado a absorção da água para todas as amostras. Ambas as telhas cerâmicas, porosa e impermeabilizada, obtiveram o maior aumento de emitância, com valores respectivamente parecidos, sendo de 4,07% e 3,71%. Essa semelhança pode estar ligada ao método de saturação por imersão, que acabou expondo ambas as telhas a uma situação extrema. A telha de fibrocimento em sua cor natural foi a telha que apresentou a menor variação, sendo 2,13%. Outro dado interessante diz respeito ao fato de que a telha de fibrocimento com 3 demãos obteve um aumento de emitância um pouco menor do

que a telha com 2 demãos. O aumento percentual de emitância para as telhas de fibrocimento com 2 e com três demãos de pintura foi de 2,77% e 2,37%, respectivamente.

Figura 2 – Resultados referentes a emitância



Fonte: Autores (2020)

4.2 Refletância

Para a avaliação desta propriedade, foram analisados os resultados obtidos para o espectrofotômetro. Nas amostras secas, as curvas das três corridas se encontram razoavelmente próximas, com maior incerteza apenas no início do espectro, correspondente a região ultravioleta.

Para amostras saturadas, há maior incerteza, sobretudo nos maiores comprimentos de onda, devido a variabilidade da umidade durante os ensaios

Nas Figura 3 e 4 são exibidas as refletâncias para o espectro solar para as telhas cerâmicas e de fibrocimento, respectivamente, a partir das médias dos valores obtidos nas três corridas do espectrofotômetro. Verifica-se que, para todos os materiais analisados, a refletância diminui em todo o espectro solar com a saturação das amostras, sendo mais acentuado em comprimentos de onda maiores.

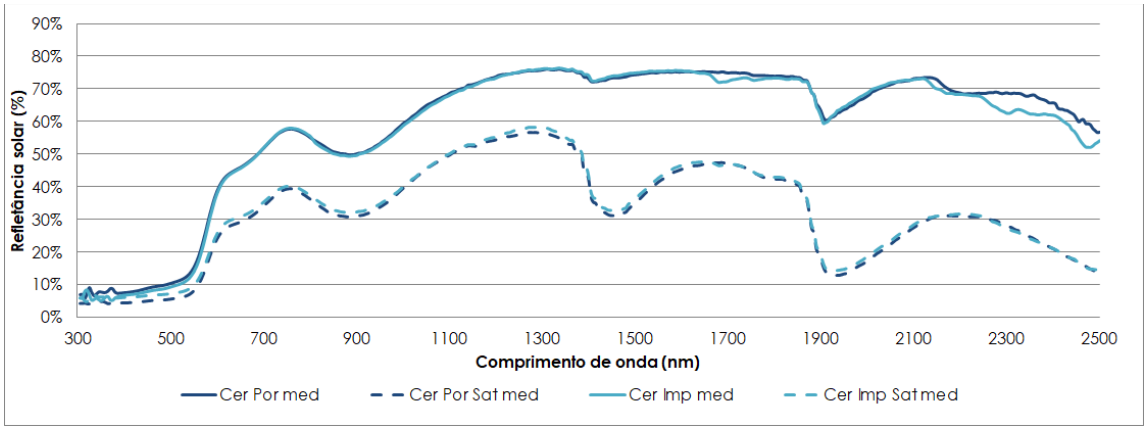
Nota-se que ambas as telhas cerâmicas apresentaram curvas semelhantes, tanto para a condição seca quanto para a saturada. A saturação da telha esmaltada pode ser devido a falhas na impermeabilização, aliada ao fato de a amostra permanecer submersa durante 24 horas. Nessas condições, o resfriamento evaporativo provavelmente ocorreria em ambas de maneira similar, sendo necessário novos estudos expondo os materiais a condições mais representativas do fenômeno da chuva ao invés da submersão para saturação.

Para as telhas de fibrocimento secas constata-se que as telhas pintadas apresentaram uma refletância superior à não pintada em todo espectro solar, havendo uma pequena variação entre a pintada com duas e três demãos, a qual apresentou valores mais elevados. Nota-se ainda que as telhas pintadas, mesmo no estado de saturação, apresentaram valores mais elevados de refletância solar do que a telha não pintada em grande parte do espectro solar. Além disso, as telhas pintadas também apresentaram uma menor perda da refletância devido à saturação do que a telha de fibrocimento não pintada.

Após essas análises iniciais para cada uma das amostras, cada uma das curvas foi

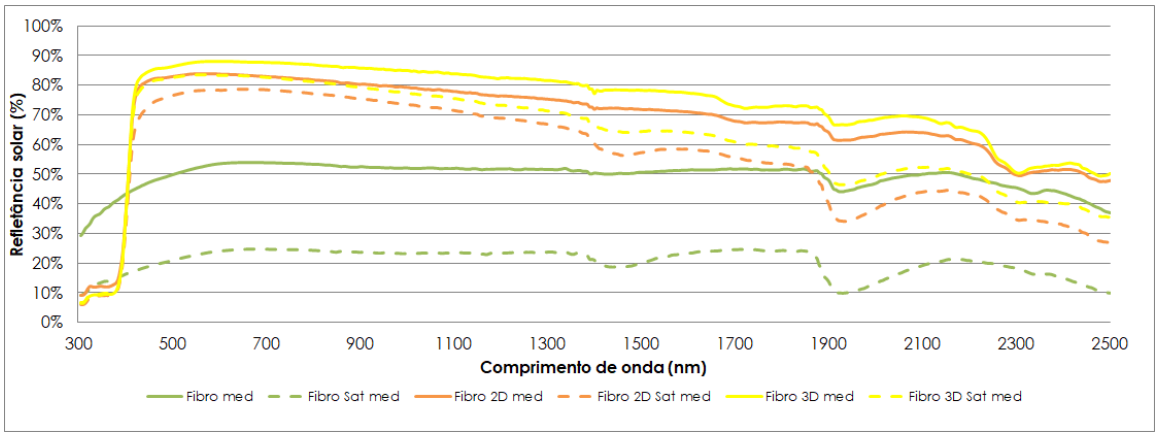
integrada para a obtenção de valores únicos de refletância. Desta forma, os resultados finais de refletância obtidos pelo espectrofotômetro, tanto para o espectro solar como um todo como para o espectro visível são condensados por meio da Figura 5.

Figura 3 – Refletância solar das telhas cerâmicas



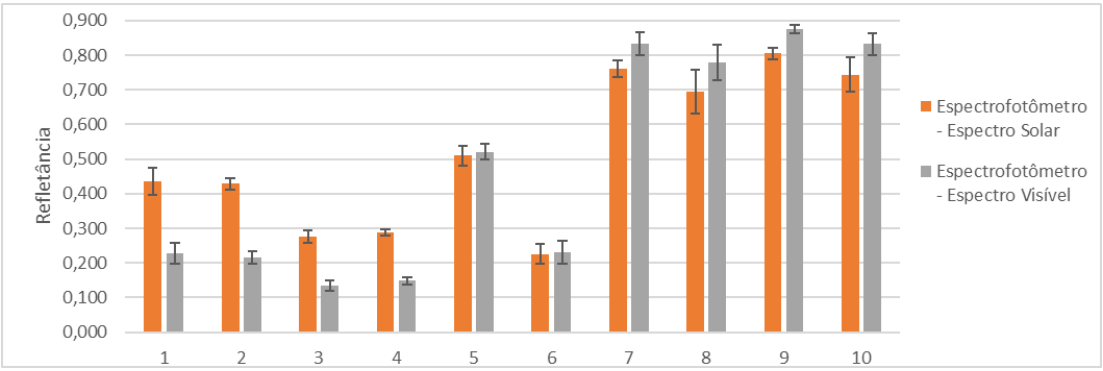
Fonte: Autores (2020)

Figura 4 – Refletância solar das telhas de fibrocimento



Fonte: Autores (2020)

Figura 5 – Resultados referentes a refletância



Fonte: Autores (2020)

Um dos primeiros pontos que podem ser destacados diz respeito às diferenças nos valores obtidos para os espectros solar e visível. Tal discrepância pode ser explicada pelos diferentes espectros de comprimentos de onda analisados, sendo o espectro

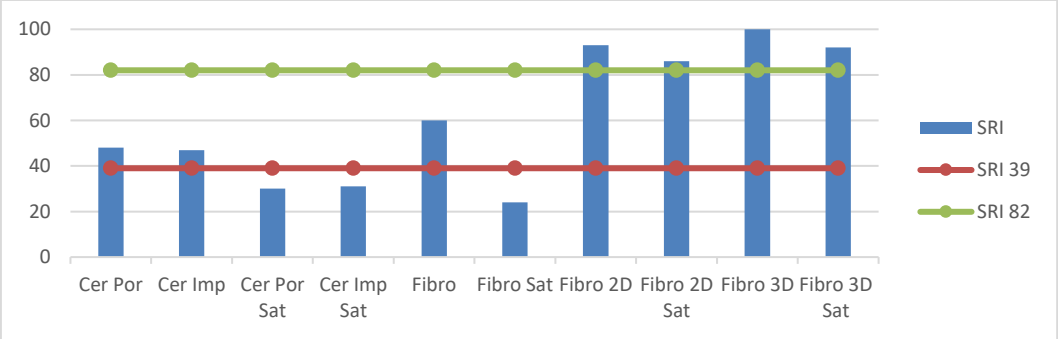
visível apenas uma parcela do total de comprimentos de onda do espectro solar. Desta forma, como os materiais reagem de maneiras diferentes para cada comprimento de onda, diferentes espectros implicaram em diferentes resultados.

Outra questão que pode ser observada diz respeito à redução de refletância pelo incremento de umidade das amostras. Tal fenômeno também foi observado por Zhang et al. (2018). De acordo com esses autores, a redução na refletância ocorre pois o SRI do meio é reduzido. Com isso, a radiação incidente tende a se dispersar na direção de incidência, e os fótons incidentes tendem a ser absorvidos em uma taxa mais elevada.

4.3 SRI

A Figura 6 apresenta os valores de SRI calculados e a avaliação quanto ao atendimento dos requisitos LEED. Quanto maior o valor de SRI, melhor o comportamento do material para as condições climáticas padrão. Os limites são função da inclinação da cobertura, sendo 39 para altas e 82 para baixas inclinações (ASTM, 2011).

Figura 6 – Valores de SRI calculados; comparação com os requisitos LEED para mitigação de ilhas de calor



Fonte: Autores (2020)

Observa-se que, para as cerâmicas saturadas, o valor de SRI passa a não atender ao requisito, ou seja, seria considerado ruim para a certificação. Isso se deve ao fato de o cálculo não levar em conta o resfriamento evaporativo. Em situações em que seja feito o uso de aspersores para manter a cobertura úmida, faz-se necessário uma avaliação das vantagens do resfriamento evaporativo face a diminuição do SRI. O mesmo fenômeno ocorre com a telha de fibrocimento sem pintura.

5 CONCLUSÕES

Este artigo buscou uma melhor compreensão das variações das propriedades térmicas e óticas em algumas das telhas usualmente utilizadas no mercado de construção civil brasileiro quando expostas à saturação. Assim, futuros estudos que se proponham a analisar o efeito da umidade no desempenho térmico de uma edificação passam a possuir resultados mais precisos.

Verificou-se o aumento da emitância para todas as amostras, sendo as telhas cerâmicas, porosa e impermeabilizada, as de maior aumento, seguidas das telhas pintadas com duas e três demãos e a telha de fibrocimento sem pintura. Quanto à refletância, constatou-se uma diminuição da mesma para todas as amostras após a saturação. Ambos fenômenos devem ser levados em consideração quando do

emprego de sistemas de resfriamento evaporativo como aspersores para avaliação da compensação do mesmo face à variação dessas propriedades. O SRI só foi satisfatório na condição saturada para as telhas de fibrocimento pintadas, deste modo, aponta-se uma dificuldade da pertinência deste em casos de sistemas de resfriamento evaporativo como um parâmetro de desempenho.

É válido ressaltar a necessidade de uma análise mais profunda frente a outras variáveis não abordadas neste trabalho. Uma destas, avaliada por Alchapar e Correa (2016), diz respeito à variação de refletância ao longo dos anos, levando em conta o acúmulo de sujeiras. Outra característica interessante, que no futuro pode ter impacto considerável no desempenho térmico de edificações brasileiras, é a presença de coberturas com pinturas frias, ou seja, que levam substâncias que refletem radiação infravermelha, como abordado por Uemoto, Sato e John (2010).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro disponibilizado para a realização deste trabalho de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALCHAPAR, Noelia L.; CORREA, Erica N. Aging of roof coatings. Solar reflectance stability according to their morphological characteristics. **Construction and Building Materials**, v. 102, p. 297-305, 2016.

ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS). **C1371-15**: Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emissometers. ASTM International, 2015.

_____. **E1980-11**: Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces. ASTM International, ASTM International, 2011.

_____. **E903-12**: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. ASTM International, 2012.

NAYAK, Ajaya Ketan; HAGISHIMA, Aya; TANIMOTO, Jun. A simplified numerical model for evaporative cooling by water spray over roof surfaces. **Applied Thermal Engineering**, [s.l.], v. 165, p.114-127, jan. 2020. Elsevier BV.

SANTAMOURIS, M. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. **Solar Energy**, v. 103, p. 682 – 703, mai. 2014.

UEMOTO, Kai L.; SATO, Neide M. N., JOHN, Vanderley M. Estimating thermal performance of cool colored paints. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 1, p. 17-22, 2010.

WANG, Junsong *et al*. Impacts of the water absorption capability on the evaporative cooling effect of pervious paving materials. **Building And Environment**, [s.l.], v. 151, p.187-197, mar. 2019. Elsevier BV.

ZHANG, Lei *et al*. Experimental study on the impact of mass moisture content on the evaporative cooling effect of porous face brick. **Energy Efficiency**, [s.l.], v. 9, n. 2, p.511-523, 6 ago. 2015. Springer Science and Business Media LLC.

ZHANG, Lei *et al*. Impact of post-rainfall evaporation from porous roof tiles on building cooling load in subtropical China. **Applied Thermal Engineering**, v. 142, p. 391-400, 2018.

ZHANG, Y. *et al*. Hydrological properties and solar evaporative cooling performance of porous clay tiles. **Construction and Building Materials**, v. 151, p. 9-17, 2017.