ANÁLISE LABORATORIAL DE PROPRIEDADES ÓPTICAS E TÉRMICAS DE DEZESSEIS AMOSTRAS DE TELHAS DISPONÍVEIS NO MERCADO BRASILEIRO[1]

KRELLING, A.F., Universidade Federal de Santa Catarina, email: amandakrelling@lmpt.ufsc.br; SILVA, M.P., Universidade Federal de Santa Catarina, email: milena.paim@posgrad.ufsc.br; SOUZA, R.V., Universidade Federal de Santa Catarina, email: arquitetura.rodrigo@hotmail.com; MARINOSKI, D.L., Universidade Federal de Santa Catarina, email: deivis.marinoski@ufsc.br; GÜTHS, S., Universidade Federal de Santa Catarina, email: saulo@lmpt.ufsc.br

ABSTRACT

Roofs commonly represent the surface on which solar radiation is most strongly incident, evidencing a necessity to study roofs' thermal performance. In this paper, emittance and reflectance of sixteen roof tile samples commercialized in the Brazilian market have been measured and analyzed, with evaluation focused on a hot climate context. The selected samples were separated according to seven different categories: Shingle, ceramics, fiber cement, metallic, concrete, vegetal fiber and Tetra Pak. The method of emittance measurement was based on the American Society for Testing and Materials (ASTM) C1371-10 Standard, while reflectance evaluation was based on ASTM Standards E903 and C1549. Results were applied to the Solar Reflectance Index (SRI) calculation, adopted by the Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) certification to analyze materials' urban heat island mitigation potential. The lowest SRI values were obtained for Shingle tiles (ranging from -2 to 25), regardless of their color, followed by the vegetal fiber tile. On the other hand, white colored ceramic and fiber cement tiles presented high SRI indexes (97 and 91, respectively). Results obtained here may serve as reference for buildings performance evaluations, such as the Brazilian Standard NBR 15.757 and the Quality Technical Regulation (RTQ).

Keywords: *Roof tiles. Emittance. Reflectance. Solar reflection index.*

[1] KRELLING, A.F., SILVA, M.P., SOUZA, R.V., MARINOSKI, D.L., GÜTHS, S. Análise laboratorial de propriedades ópticas e térmicas de dezesseis amostras de telhas disponíveis no mercado brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

1 INTRODUÇÃO

A substituição do solo e sua vegetação por camadas de asfalto e concreto vem reduzindo a capacidade da paisagem urbana de regular a temperatura do ar através da evaporação e transpiração das plantas. Ademais, as cidades têm sua temperatura superior às áreas rurais por refletirem menos a energia solar incidente. Tal efeito de aquecimento urbano é conhecido como "ilha de calor" (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1992).

As coberturas das edificações representam uma significativa parcela de exposição da área urbana, sendo um importante espaço para aplicação de técnicas para mitigação das ilhas de calor (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 emissividade dos telhados define a habilidade de dissipar calor, ou seja, altas emissividades 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 emissividade, bem como o cálculo do Índice de Reflexão Solar (SRI), de dezesseis amostras de telhas comercializadas no mercado nacional, a fim de comparar a variação dos resultados entre as amostras.

3 MÉTODO

Neste estudo foi realizada a avaliação da emitância e refletância de dezesseis amostras de telhas comercializadas no Brasil (Figura 1 e Tabela 1), dentre sete categorias: Shingle, cerâmica, fibrocimento, metálica, concreto, fibra vegetal e Tetra Pak.

Figura 1 - Amostras de telhas



Fonte: Os autores

Tabela 1 - Descrição das amostras

N°	Amostra	Cor Aproximada	Composição
1	Shingle A	Cinza escuro	Manta de fibra de vidro revestida por asfalto estabilizado, *filler* (pó mineral) e grãos minerais
2	Shingle B	Areia escuro e claro	
3	Shingle C	Cinza escuro e claro	
4	Cerâmica A	Alaranjado esmaltado	Cerâmica com superfície esmaltada (esmalte transparente)
5	Cerâmica B	Alaranjado	Cerâmica com superfície porosa
6	Cerâmica C	Branco	Cerâmica com superfície vítrea (esmaltada branca)
7	Cerâmica D	Marrom esmaltado	Cerâmica com superfície vítrea (esmaltada marrom)
8	Fibro A	Cinza	Cimento, celulose e fios de Polipropileno
9	Fibro B	Branco	Cimento branco com Dióxido de Titânio (TiO_2)
10	Metálica A	Branco gelo	Liga de aço galvanizado pintado
11	Metálica B	Branco	Liga de aço galvanizado pintado
12	Metálica C	Prateado	Liga de aço galvanizado sem pintura
13	Concreto A	Cinza	Cimento, agregados e aditivos
14	Concreto B	Vermelho grafitado	Cimento, agregados, aditivos e pigmentos
15	Fibra vegetal	Marrom escuro	Fibra de celulose com impermeabilização de betume
16	Tetra Pak	Aluminizado	Alumínio, Polietileno Tereftalato, Polietileno e Polinylon

Fonte: Os autores

Não foram encontrados levantamentos oficiais que indiquem os tipos de telhas de maior comercialização no mercado brasileiro. Contudo, os Relatórios de Insumos e Composições do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), permanentemente atualizados pela Caixa Econômica Federal (CEF) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), apresentam os materiais mais frequentemente adotados na construção civil (CEF, 2018a). A Ficha Técnica de Insumos (CEF, 2018b) conta com os modelos da Figura 2, dos quais foram adotados a maior parte das telhas opacas, adicionando-se ainda telhas Shingle, fibra vegetal e Tetra Pak.

Figura 2 - Telhas frequentemente adotadas na construção civil



Fonte: CEF, 2018b

De modo geral, as composições dessas telhas pouco se alteram entre os fabricantes, permitindo a generalização dos resultados obtidos. Possíveis variações desses valores poderão ser atribuídas às incertezas intrínsecas às medições e à ocasionais diferenças nas características da matéria-prima de distintas regiões brasileiras.

A medição da emitância foi desempenhada por meio de um emissômetro (Figura 3). O procedimento de medição seguiu a Norma C1371-10: *Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emissometers* (ASTM, 2015).

Figura 3 - Medição com emissômetro *Devices and Services Company* (D&S), modelo AE1



Fonte: Os autores

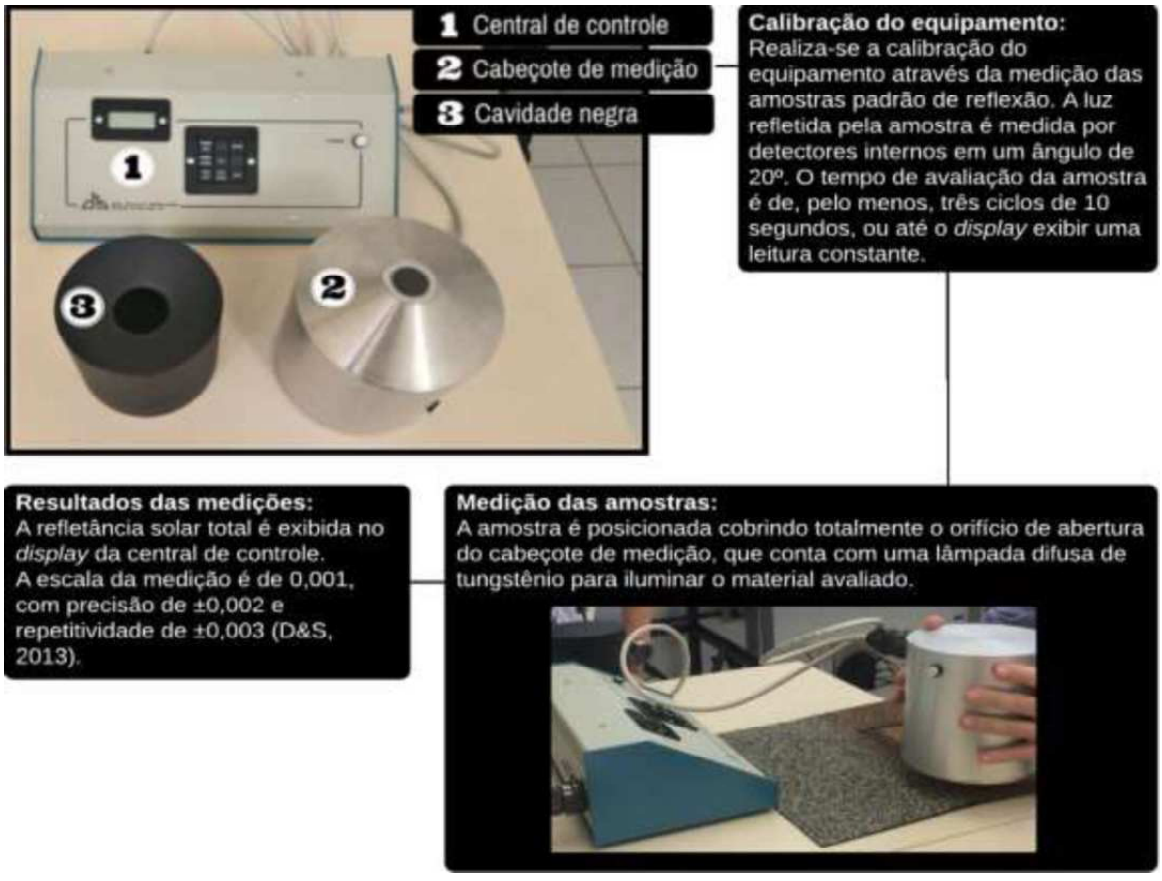
A refletância foi mensurada através de um espectrofotômetro (Figura 4), em intervalos de 5nm, no espectro de 300 a 2500nm. A medição atendeu a Norma E903: *Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres* (ASTM, 2012). Tal propriedade também foi medida por meio de um refletômetro (Figura 5) que atende a Norma C1549: *Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer* (ASTM, 2014).

Figura 4 – Medição com espectrofotômetro PerkinElmer, modelo Lambda 1050



Fonte: Os autores

Figura 5 - Medição com refletômetro D&S, modelo SSR-ER, versão 6



Fonte: Os autores

Após procedidas as medições, calculou-se o SRI segundo a Norma E1980: *Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces* (ASTM, 2011).

Por fim, os resultados foram avaliados segundo às exigências da certificação LEED v4 no que diz respeito a capacidade do material de mitigar ilhas de calor, de acordo com *U.S. Green Building Council* (2018).

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

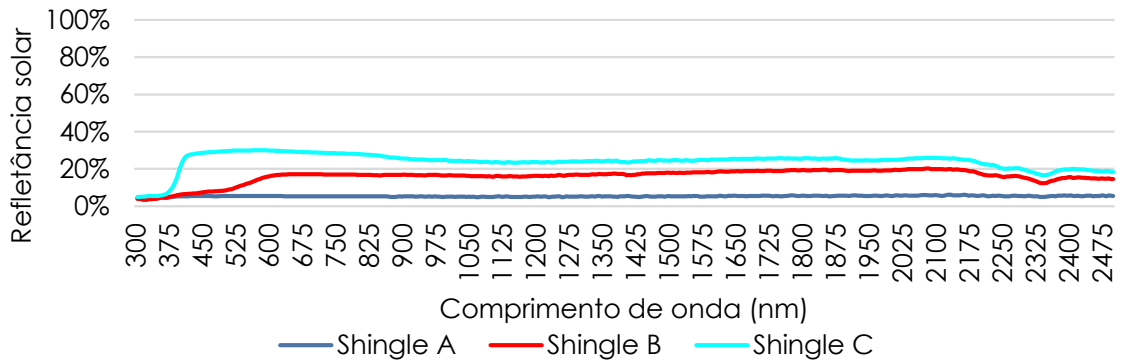
A Tabela 2 apresenta os índices de emitância e refletância obtidos, com curvas espectrais de refletância solar exibidas nas Figuras 6 a 12.

Tabela 2 - Resultados das medições

Amostra	Emissômetro	Refletômetro	Espectrofotômetro	
	Emitância (ε)	Refletância solar (ρ)	Refletância solar (ρ)	Refletância visível (ρvis)
Shingle A	0,860	0,049	0,053	0,054
Shingle B	0,850	0,155	0,143	0,127
Shingle C	0,857	0,276	0,264	0,298
Cerâmica A	0,870	0,342	0,306	0,159
Cerâmica B	0,827	0,484	0,447	0,236
Cerâmica C	0,827	0,785	0,793	0,782
Cerâmica D	0,815	0,247	0,220	0,071
Fibro A	0,877	0,395	0,401	0,416
Fibro B	0,869	0,741	0,747	0,792
Metálica A	0,807	0,501	0,503	0,558
Metálica B	0,802	0,695	0,689	0,770
Metálica C	0,189	0,713	0,716	0,711
Concreto A	0,802	0,330	0,317	0,333
Concreto B	0,897	0,208	0,196	0,181
Fibra vegetal	0,859	0,133	0,123	0,052
Tetra Pak	0,054	0,785	0,804	0,780

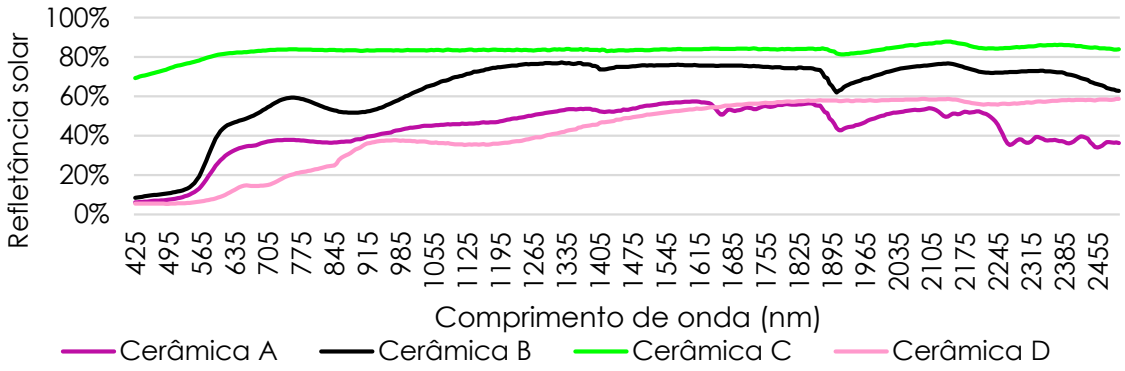
Fonte: Os autores

Figura 6 – Refletância das telhas Shingle



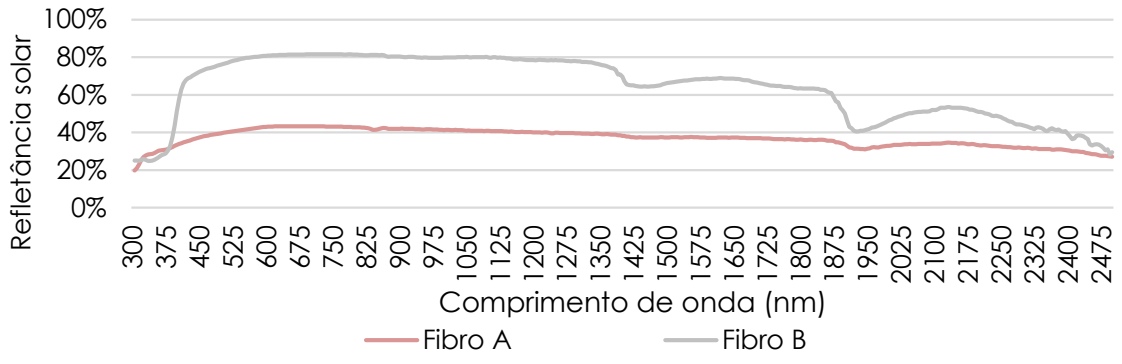
Fonte: Os autores

Figura 7 – Refletância das telhas cerâmicas



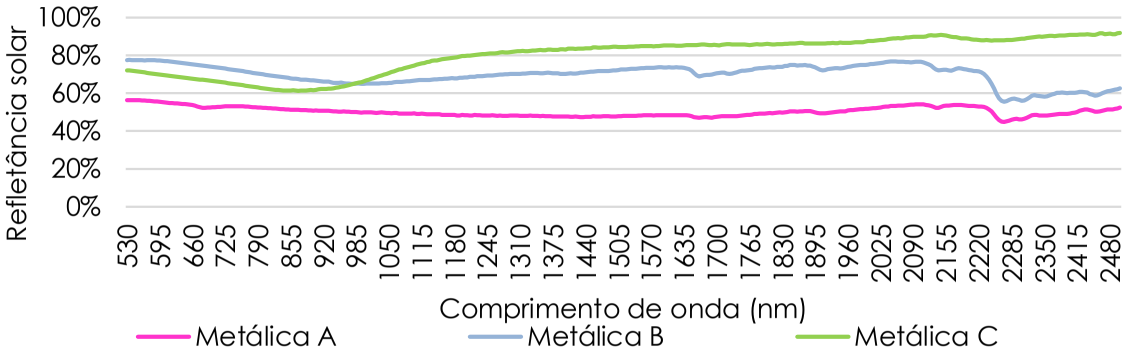
Fonte: Os autores

Figura 8 – Refletância das telhas de fibrocimento



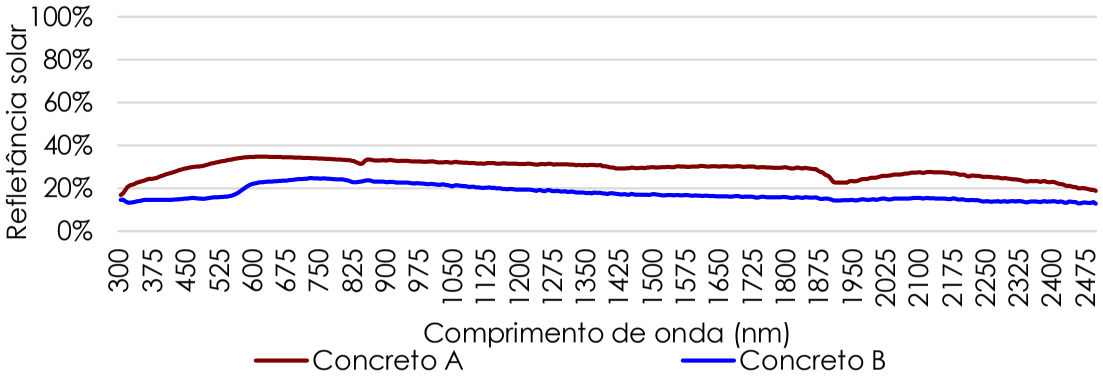
Fonte: Os autores

Figura 9 – Refletância das telhas metálicas



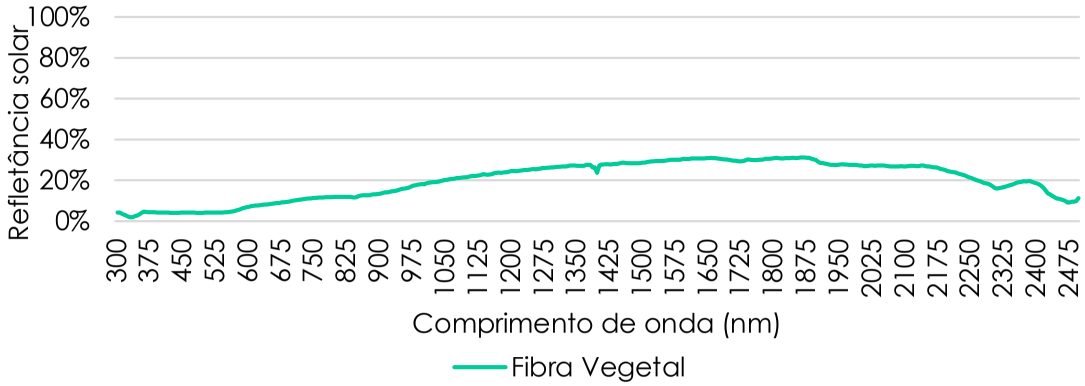
Fonte: Os autores

Figura 10 – Refletância das telhas de concreto



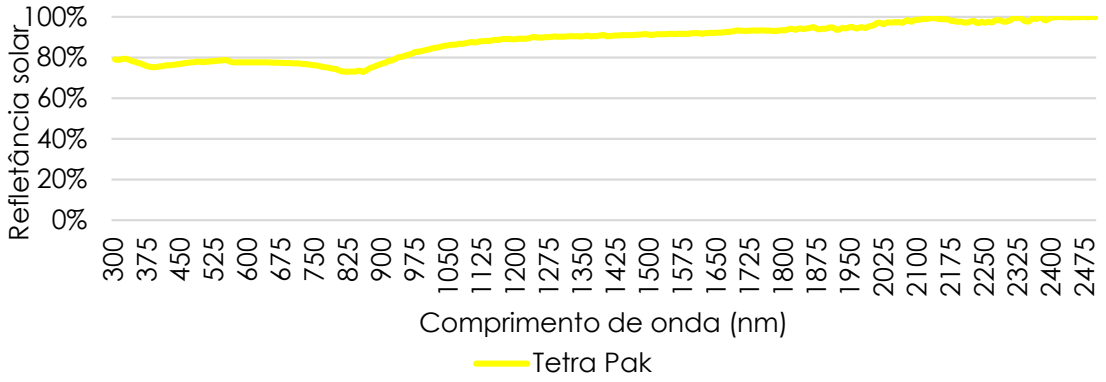
Fonte: Os autores

Figura 11 – Refletância da telha de fibra vegetal



Fonte: Os autores

Figura 12 – Refletância da telha de Tetra Pak



Fonte: Os autores

Os resultados apresentaram-se bastante diversificados, em virtude, especialmente, da variedade de materiais das amostras. As telhas Shingle apresentaram emitância entre 0,850 (B) e 0,860 (A), e refletância entre 0,053 (A) e 0,264 (C). A refletância dessas amostras apresentou o menor desempenho, independentemente da coloração, juntamente com a Cerâmica D e Concreto B. Apesar da abordagem sustentável da telha de fibra vegetal, constituída a partir da reciclagem do papel, esta também apresentou uma das menores refletâncias (0,123).

Dentre as cerâmicas, a emitância variou de 0,815 (D) a 0,870 (A). A medição da refletância oscilou entre o baixo índice de 0,220 (D) e o valor mais expressivo de 0,793 (C). Ademais, esta última se destaca pela refletância crescente já nos primeiros comprimentos de onda, com valores superiores a 80% a partir de 580nm.

A emitância das amostras de fibrocimento variou de 0,869 (B) a 0,877 (A), enquanto as Metálicas A e B tiveram resultados semelhantes entre si (0,807 e 0,802, respectivamente). A refletância, contudo, evidenciou um resultado já esperado: superfícies próximas da cor branca obtiveram índices maiores do que as correspondentes acinzentadas. Fibro A e Metálica A, ambas cinzas, tiveram refletância igual a 0,401 e 0,503, respectivamente, enquanto as amostras brancas, Fibro B e Metálica B, chegaram a resultados superiores (0,747 e 0,689, respectivamente). Muito embora a Fibro B se destaque nesse parâmetro, ficando como a terceira amostra de maior refletância, após a Cerâmica C e a Tetra Pak, se observa que, diferentemente destas, a fibrocimento branca apresenta intensa redução da refletância após 1400nm, ou seja, no âmbito da radiação infravermelha.

A Metálica C demonstra um comportamento diferente das demais metálicas, pois sua superfície prateada promove a redução da emitância (0,189), e aumento da refletância (0,716). Esse efeito, no entanto, não se mostrou tão acentuado quanto na Tetra Pak, evidenciando a influência não só da coloração, mas também da composição da superfície na determinação dessas propriedades.

Concreto A e B obtiveram emitâncias iguais a 0,802 e 0,897, respectivamente, apresentando baixas refletâncias, iguais a 0,317 (A) e 0,196 (B), que podem ser atribuídas à coloração. Observou-se que a adição de pigmentos escureceu e diminuiu a refletância de B em relação a A, o que promoveria maior aquecimento dessa superfície se exposta às radiações solares.

Conforme previsto para um material aluminizado, a refletância da Tetra Pak sobressaiu-se entre as demais, mantendo-se superior a 70% em toda a faixa espectral analisada, com índice integrado de 0,804. Em contrapartida, a baixa emissividade obtida (0,054) é característica de um material metalizado. Esse resultado, contudo, pode vir a trazer prejuízos ao desempenho térmico de coberturas em climas quentes, pois confere maior dificuldade de emitir o calor absorvido.

4.1 Cálculo do SRI

A Tabela 3 apresenta os resultados do SRI.

Tabela 3 – Verificação do SRI em relação ao requerido pelo LEED

N°	Amostra	SRI	Requisito LEED para mitigação de ilhas de calor	
		h12	Inclinação > 2:12 SRI ≥ 39	Inclinação ≤ 2:12 SRI ≥ 82
1	Shingle A	-2	Não	Não
2	Shingle B	9	Não	Não
3	Shingle C	25	Não	Não
4	Cerâmica A	32	Não	Não
5	Cerâmica B	49	Sim	Não
6	Cerâmica C	97	Sim	Sim
7	Cerâmica D	18	Não	Não
8	Fibro A	44	Sim	Não
9	Fibro B	91	Sim	Sim
10	Metálica A	56	Sim	Não
11	Metálica B	82	Sim	Sim
12	Metálica C	66	Sim	Não
13	Concreto A	30	Não	Não
14	Concreto B	19	Não	Não
15	Fibra vegetal	7	Não	Não
16	Tetra Pak	79	Sim	Não

Fonte: Os autores

Normalmente utilizam-se telhas Shingle em coberturas com altas inclinações (>25°), porém, mesmo nessa condição, nenhuma das amostras obteve SRI superior a 39. Juntamente às Shingle, as telhas de fibra vegetal e de

concreto alcançaram índices inferiores às demais, não se enquadrando no requisito LEED sob nenhuma das hipóteses.

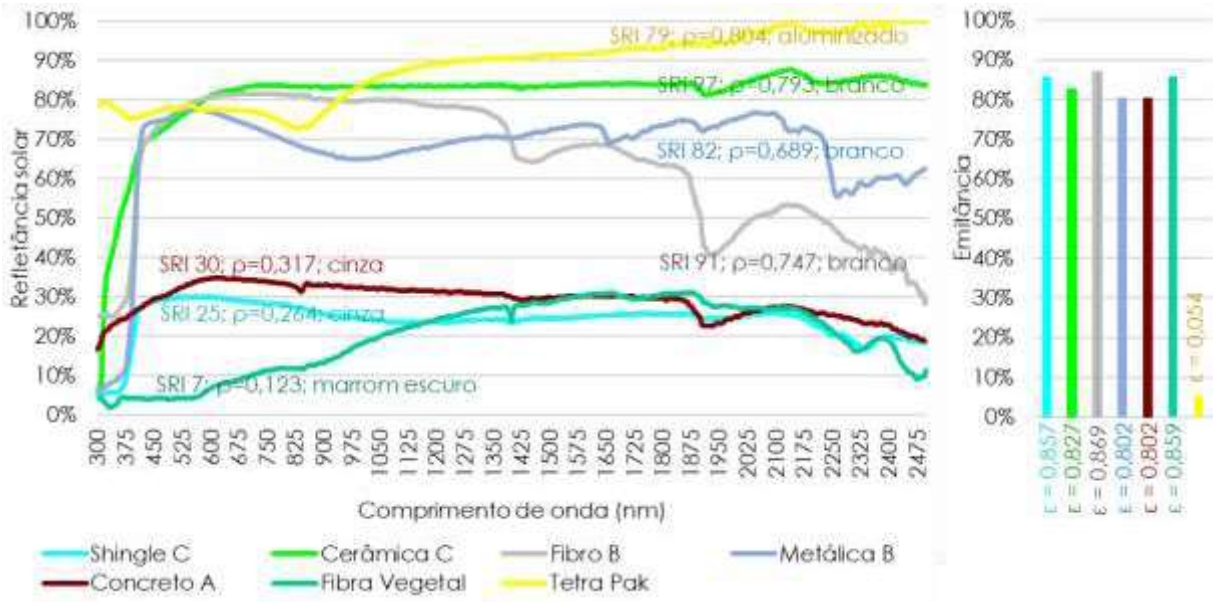
As cerâmicas são também empregadas em coberturas com altas inclinações. Neste contexto, a Cerâmica A não alcançou o SRI requerido. Em contrapartida, a Cerâmica C demonstrou o melhor comportamento entre as telhas selecionadas, com resultados elevados para emitância e refletância, levando ao SRI de 97.

A Fibro B aparece dentre as amostras com maiores índices. No entanto, a sua correspondente na coloração cinza (A) obteve SRI aproximadamente 50% menor. A Tetra Pak, apesar do fraco desempenho na emissão de calor, apresentou SRI elevado (79), chegando próximo do atendimento do LEED nas duas inclinações. As telhas metálicas são normalmente utilizadas em baixas inclinações (<15°). Nesse cenário, apenas a Metálica B atenderia ao requisito.

4.2 Seleção das melhores amostras por categoria

Pode-se visualizar o resumo desta análise na Figura 13, onde são apresentados graficamente a emitância, refletância, SRI e a coloração das melhores amostras, elencadas de acordo com o maior SRI da categoria.

Figura 13 – Amostras de melhor desempenho por categoria



Fonte: Os autores

Conforme já abordado na literatura, as coberturas brancas apresentaram grande potencial de minimização da transferência de calor na edificação. Superfícies metalizadas, apesar da alta refletância, perdem significativamente o desempenho devido à dificuldade de emitir calor. Deve-se observar, no entanto, que a seleção dos materiais a constituírem

uma edificação deve considerar o sistema integrado, avaliando índices aqui apresentados, além de outros parâmetros que caracterizam a transferência de calor, como a transmitância térmica.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a medição da emitância e refletância de dezesseis amostras de telhas comercializadas no Brasil. As medições dessas propriedades foram realizadas com base em normas internacionais (ASTM *Standards*), através de um emissômetro; um espectrofotômetro e um refletômetro.

Foram apresentados ainda os valores do SRI, cujo cálculo e análise são pertinentes uma vez que se levaram em consideração os dados medidos. Nesse sentido, as telhas de melhor desempenho foram a Cerâmica C e a Fibro B, ambas na cor branca (SRI 97 e 91, respectivamente). Por outro lado, as Shingle obtiveram os menores resultados, mesmo nas cores claras (SRI entre -2 e 25).

Por fim, através desse estudo pôde-se avaliar as propriedades ópticas e térmicas de uma diversidade representativa das telhas disponíveis no mercado nacional. Esta análise mostra-se relevante quando se considera a influência de tais propriedades no desempenho termoenergético de uma edificação que, ocasionalmente, tem a superfície da cobertura como a de maior transferência de calor. Dessa forma, o presente artigo contribui com o fornecimento de dados de referência para uma variedade de materiais, de forma a facilitar avaliações de desempenho conduzidas com base nos critérios da Norma Brasileira (NBR) 15.575 (Associação Brasileira de Normas Técnicas -ABNT, 2013) e do Regulamento Técnico da Qualidade (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia -INMETRO, 2010). Ademais, nesse trabalho também foi possível destacar as categorias mais indicadas para a mitigação de ilhas de calor, segundo a certificação LEED.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575:** Edificações habitacionais - desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASTM AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C1549-09:** Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer. ASTM International, 2014.

_____. **C1371-10**: 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.

CEF – CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Disponível em: < http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx >. Acesso em: 28 mai. 2018a.

CEF – CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Downloads - SINAPI - Fichas de Especificação Técnica**. Disponível em: < http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-fichas-de-especificacao-tecnica/SINAPI_ref_Ficha_Tecnica_de_Insumos_042018_ arquivo2.zip >. Acesso em: 28 mai. 2018b.

D&S – DEVICES AND SERVICES. **Solar spectrum reflectometer model SSR version 6**. Disponível em: < http://www.devicesandservices.com/SSR%20Spec%20Sheet .pdf >. Acesso em: 20 dez. 2017.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Cooling our communities guidebook on tree planting and light colored surfacing**. 1992. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=2000G1NT.txt>. Acesso em: 20 dez. 2017.

INMETRO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Rio de Janeiro, 2010.

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.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED v4 for Building Design and Construction**. 2018. Disponível em: < https://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-design-and-construction-current-version >. Acesso em: 4 mar. 2018.