XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Impacto do envelhecimento natural sobre as propriedades ópticas de telhas cerâmicas esmaltadas

Natural aging impact on the optical properties of glazed ceramic tiles

Ana Carolina Hidalgo Araujo
Instituto de Arquitetura e Urbanismo IAU-USP | São Carlos | Brasil | ana.hidalgo.araujo@usp.br
Kelen Almeida Dornelles
Instituto de Arquitetura e Urbanismo IAU-USP | São Carlos | Brasil | kelend@usp.br

Resumo
As propriedades ópticas dos materiais podem se alterar ao longo do tempo em decorrência do envelhecimento natural. A fim de fazer uma comparação entre as amostras mais representativas dentro de um grupo de doze telhas cerâmicas esmaltadas, foram selecionadas duas destas telhas com absortâncias iniciais distintas (0,16 e 0,77). Após 24 meses de intemperismo, mediu-se as propriedades ópticas das amostras (absortância e emitância), além dos parâmetros de cor. Os resultados demonstram que a degradação natural das telhas impacta de forma mais significativa a "telha fria", com aumento da absortância, pequena alteração em sua emitância, e diminuição do parâmetro "L" de luminosidade.*

Palavras-chave: Envelhecimento natural. Telhas cerâmicas esmaltadas. Absortância solar. Desempenho térmico.

Abstract

The optical properties of materials can change over time as a result of natural aging. In order to compare the most representative samples within a group of twelve glazed ceramic tiles, two of these tiles with different initial absorptances (0.16 and 0.77) were selected. After 24 months of natural weathering, the optical properties of the samples (absorbance and emittance) were measured, in addition to the color parameters. The results demonstrate that the natural degradation of the tiles has a more significant impact on the cool sample, with an increase in absorbance, a small change in its thermal emittance, and a decrease in the "L" parameter of luminosity.

Keywords: Natural aging. Glazed ceramic tiles. Solar absorptance. Thermal performance.

ARAUJO, A. C. H. DORNELLES, K. A. Impacto do envelhecimento natural sobre as propriedades ópticas de telhas cerâmicas esmaltadas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

O conhecimento das propriedades ópticas do envelope construtivo é uma das formas de se controlar os ganhos térmicos das edificações. Para regiões em que o clima é quente durante a maior parte ano, a diminuição da entrada de energia térmica para o interior do edifício resulta em melhores condições de conforto térmico ao usuário e na redução do consumo energético decorrente da climatização artificial. Uma das estratégias mais estudadas para se mitigar estes ganhos térmicos é a utilização de materiais cujas superfícies possuem baixa absortância solar e alta emitância térmica, denominados “frios”.

A aplicação destes materiais sobre as superfícies urbanas é uma estratégia eficaz de resfriamento passivo [1]. Este controle das propriedades ópticas de absortância solar e emitância térmica é considerada a maneira mais simples, eficaz e econômica para se amenizar as temperaturas internas de construções localizadas em áreas de clima quente e úmido [2]. No entanto, ambas propriedades são dinâmicas, ou seja, se alteram ao longo do tempo em decorrência da exposição às intempéries e consequente envelhecimento natural das mesmas.

Pesquisas apontam que os principais fatores que contribuem para este envelhecimento natural do envelope construtivo são: incidência de radiação ultravioleta; altas temperaturas; alta umidade do ar e deposição de material particulado sobre as superfícies [3][4][5][6]. No entanto, cada região possui um comportamento climático específico, sendo necessária a análise das condições meteorológicas locais para se compreender de que forma ocorre o intemperismo em cada localidade [7]. De qualquer forma, esta alteração das propriedades ópticas, principalmente em relação aos materiais frios, pode gerar um efeito inverso ao desejado, agravando a absorção de energia térmica por parte da edificação em decorrência do aumento da absortância solar e da diminuição da emitância térmica.

Em baixas latitudes, as coberturas são os elementos construtivos que mais recebem energia térmica advinda da radiação solar em decorrência de sua posição e inclinação em relação às demais superfícies do envelope construtivo. Por este motivo, principalmente em construções térreas, o sistema de telhado adotado é determinante em relação aos ganhos térmicos das edificações [8]. Pelos mesmos motivos, também são as estruturas que mais sofrem com os efeitos da exposição ao tempo, já que por serem mais horizontalizadas que as paredes, sofrem de forma mais direta com os fatores que contribuem para o envelhecimento dos revestimentos.

A partir da última atualização da norma de desempenho de edifícios, a NBR 15575-1 [9], esse tema relativo à degradação dos materiais e seu impacto sobre os valores de absortância solar dos mesmos ganhou ainda mais destaque no cenário nacional. Tornou-se ainda mais importante analisar e divulgar dados referentes a materiais novos e degradados, com a precisão da medição laboratorial, a fim de preencher a lacuna existente relativa à falta de dados sobre os materiais disponíveis no mercado da construção civil. Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho foi analisar de que forma a exposição ao tempo, durante 24 meses, impactou nos valores de

absortância solar, emitância térmica e parâmetros de cor de duas telhas cerâmicas esmaltadas, uma com absortância solar inicial alta e a outra, baixa.

METODOLOGIA

O trabalho caracteriza-se como experimental, com medições em laboratório e exposição em campo. O processo da pesquisa pode ser dividido em três etapas: I – seleção das telhas, preparo das amostras e exposição ao tempo; II – medição das propriedades de absortância (a partir da refletância), emitância térmica e parâmetros de cor; III – análise e tratamento dos dados.

ETAPA I

Duas das telhas mais representativas dentro de um grupo de doze telhas cerâmicas esmaltadas foram selecionadas. Estas telhas têm suas cores fixadas através da aplicação de uma resina acrílica após a queima da telha cerâmica. A fim de se compreender, a partir de exemplos específicos, de que forma o intemperismo afeta as características iniciais de absortância solar, emitância térmica e parâmetros de cor das telhas cerâmicas esmaltadas, foram escolhidas amostras cujas absortâncias solares iniciais apresentassem diferença significativa (Figura 1). A primeira telha (T1 – cor branca[1]) possui absortância solar inicial igual a $\alpha = 0,16$, enquanto a segunda telha (T2 – cor café[2]) possui absortância solar inicial igual a $\alpha = 0,77$. Ambas foram adquiridas em comércio local de materiais de construção na cidade de São Carlos, SP.

Figura 1: Telhas cerâmicas esmaltadas selecionadas para análise, T1 e T2, respectivamente.

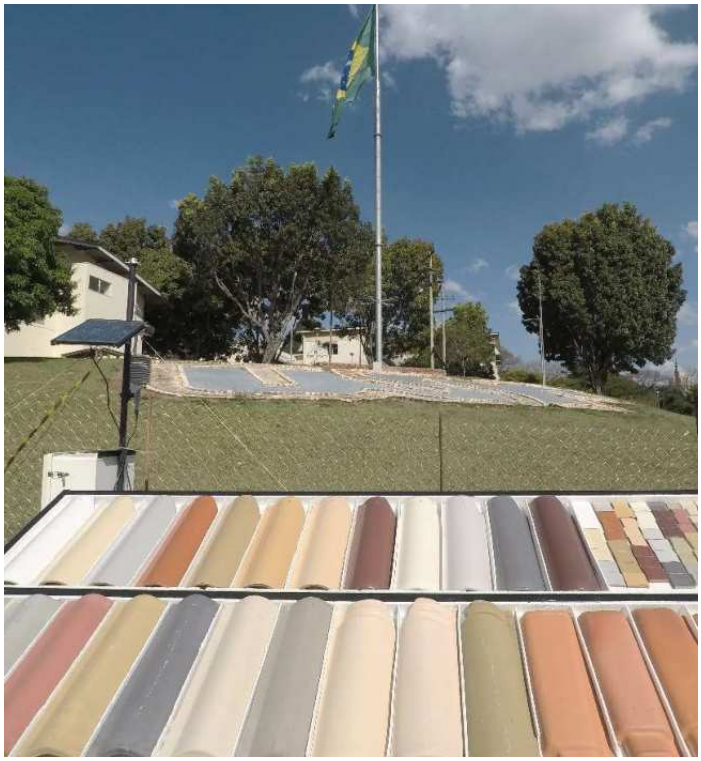


Fonte: as autoras.

As telhas foram recortadas em relação à peça original em decorrência da limitação do espectrofotômetro, equipamento de medição das refletâncias solares, que só consegue avaliar peças com dimensões laterais entre 5 e 10 cm. Duas amostras foram retiradas de cada uma das duas telhas selecionadas, sendo que apenas uma de cada foi exposta ao intemperismo. Essas amostras foram expostas em uma estação de envelhecimento (Figura 2) desenvolvida inteiramente para esta análise, conforme descrito por Araújo e Dornelles [7], com início da exposição ao tempo no dia 13 de julho de 2019.

[1] Nomenclatura de cor dada pelo fabricante
[2] Nomenclatura de cor dada pelo fabricante

Figura 2: Estação de envelhecimento utilizada no experimento.



Fonte: as autoras.

ETAPA II

Após 24 meses de exposição ao tempo, as amostras que estavam na estação de envelhecimento foram levadas aos laboratórios para as medições de absortância solar, emitância térmica e parâmetros de cor. Desta forma, foi possível a comparação entre os valores analisados relativos às telhas novas, que não foram expostas na estação, com as telhas envelhecidas.

A primeira análise em laboratório se refere ao cálculo da absortância solar, obtida através da medição da refletância solar em espectrofotômetro. A refletância solar (ρ_{solar}) de cada telha é calculada a partir da integração das curvas de refletância espectral, e a absortância solar (α_{solar}) a partir da Equação 1.

$\alpha_{solar} = 1 - \rho_{solar}$ - Equação 1

Em virtude da pandemia de COVID-19 em 2020 e 2021 e pelo consequente fechamento dos laboratórios, as medições das telhas envelhecidas foram realizadas em equipamento distinto que as telhas novas (Figura 3). O espectrofotômetro *Varian* modelo *CARY 5G*, do Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica da Universidade Federal de São Carlos, foi utilizado para a medição das telhas novas, enquanto o espectrofotômetro da *PerkinElmer*, modelo *Lambda 1050*, da Universidade Federal de Santa Catarina, para a medição após 24 meses de exposição ao tempo. Ambas medições adotaram o método apresentado pela ASTM E903 [10], detectando a refletância difusa para as faixas espectrais entre 300 a 2500nm, medidos a cada 5nm. Posteriormente, ajustou-se esta mensuração ao espectro solar padrão apresentado na ASTM G173-03 [11].

Figura 3: Espectrofotômetros *Varian Cary 5G* e *PerkinElmer Lambda 1050*, respectivamente.



Fonte: a autora e adaptado de *Krelling et al.* [18], respectivamente

A segunda análise laboratorial diz respeito às medições de emitância térmica. O equipamento utilizado foi o emissômetro portátil da D&S (Figura 4), modelo AE1, calibrado a partir de dois discos, um de alta emitância (0,88) e outro de baixa emitância (0,06). Estas aferições foram realizadas na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Florianópolis-SC. Ambas aferições, para as telhas novas e envelhecidas, seguiram os procedimentos adotados pela norma ASTM C1371-15 [12].

Figura 4: Emissômetro portátil utilizado na pesquisa.



Fonte: adaptado de Website Devices and Services[3], 2022

Por fim, foram medidos os parâmetros de cor das duas amostras selecionadas. O equipamento utilizado foi o colorímetro portátil *Colorium 2* (Figura 5), da marca Delta Color e a determinação dos parâmetros de cor seguiu a norma internacional ASTM D2244-15 [13]. A partir destas medições, foram determinadas 5 variáveis relativas às cores superficiais das amostras (luminosidade, coordenada vermelho/verde, coordenada amarelo/azul, saturação e tonalidade ou matiz).

Figura 5: Colorímetro portátil utilizados na pesquisa.



Fonte: as autoras.

[3] Disponível em: <https://www.devicesandservices.com/prod03.htm> Acesso em 30 de maio de 2022

ETAPA III

A partir dos dados coletados, organizou-se tabelas e elaborou-se gráficos a fim de compreender qual a influência do intemperismo natural sobre as propriedades avaliadas para cada telha. Também foi avaliado os impactos da alteração da absortância solar inicial das telhas sobre suas emitâncias térmicas e parâmetros de cor ao longo do tempo.

Adicionalmente, avaliou-se a relação entre os dados de absortância solar medidos em laboratório após 24 meses de exposição ao tempo com os dados de absortância solar calculados a partir da Equação 2, apresentada na recente emenda à NBR 15575-1 [9], para 3 anos de envelhecimento natural ($\alpha_{t=3}$).

$\alpha_{t=3} = 0,07*(\alpha_{t=0})^2 + 0,59* \alpha_{t=0} + 0,27$ Equação 2

Onde:

$\alpha_{t=3}$ é absortância à radiação solar da superfície externa após degradação de três anos (adimensional);

$\alpha_{t=0}$ é absortância à radiação solar inicial da superfície externa (adimensional);

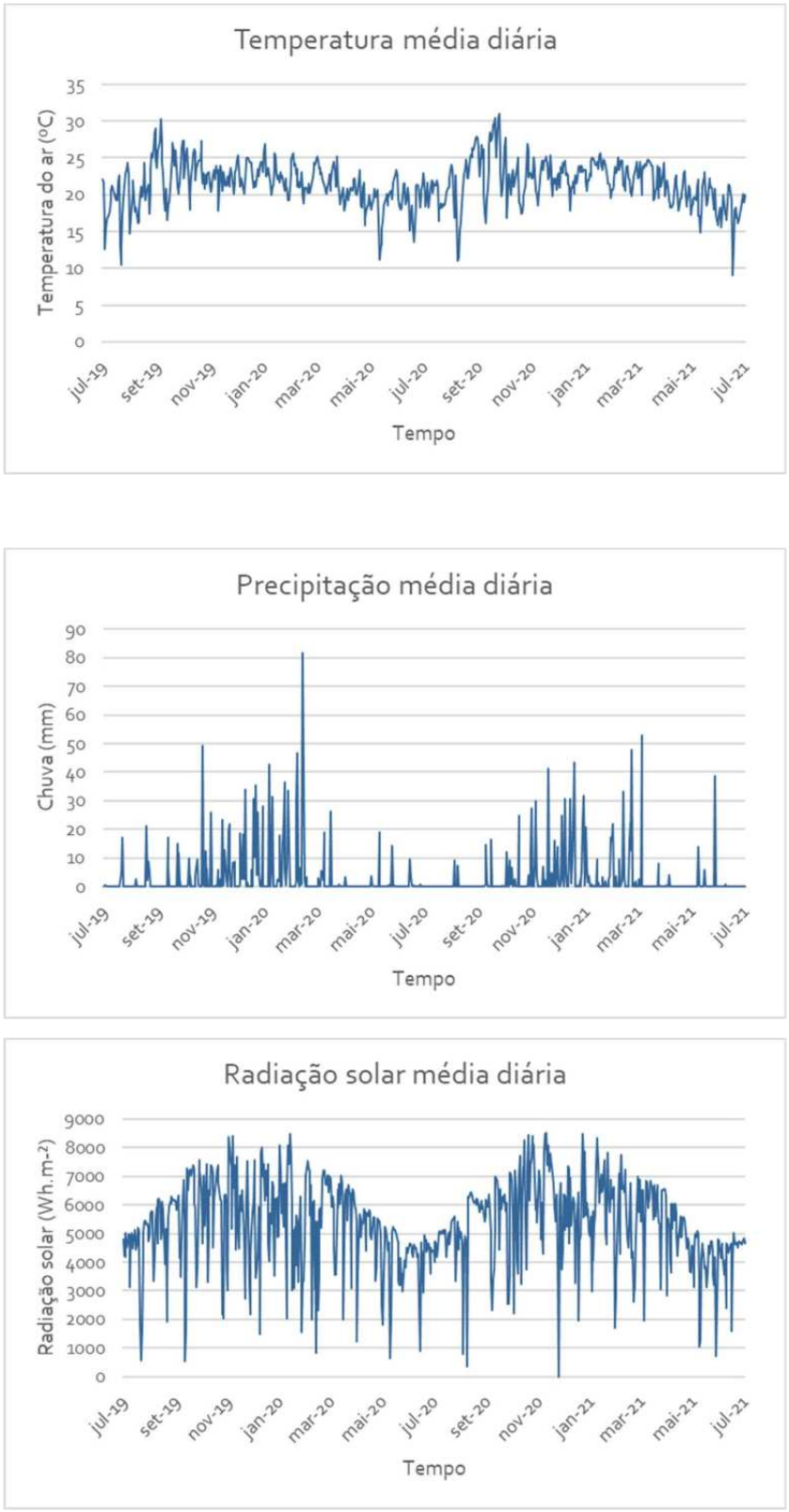
t é o tempo de exposição da superfície, expresso em anos.

RESULTADOS

DADOS CLIMÁTICOS

A avaliação do clima local durante o período em que as telhas ficaram expostas ao tempo é essencial para se compreender de que forma o intemperismo impactou as amostras. Os dados utilizados para essa análise foram retirados da Estação da Embrapa Pecuária Sudeste, localizada na cidade de São Carlos, SP, disponibilizados pela Embrapa. Esta estação meteorológica está localizada na mesma cidade em que a Estação de Envelhecimento foi instalada e, consequentemente, no mesmo local que as telhas foram expostas. Neste artigo, serão apresentados os gráficos referentes à temperatura média diária, precipitação média diária e radiação solar média diária (Figura 6) entre os dias 14 de julho de 2019 e 14 de julho de 2021.

Figura 6: Temperatura média diária, Precipitação média diária e Radiação solar média diária para a cidade de São Carlos, SP.



Fonte: as autoras.

A partir destes gráficos, percebe-se que nos meses mais chuvosos – de novembro a março, há menor amplitude na temperatura do ar ao longo do dia. O fenômeno inverso

ocorre nos períodos mais secos – de maio a setembro - com menos precipitação. Portanto, os meses de abril e outubro podem ser considerados como de transição entre os períodos mais e menos secos. Sendo assim, o clima da cidade de São Carlos pode ser compreendido de duas formas: 1) úmido e com menor amplitude térmica, 2) seco com maior amplitude térmica.

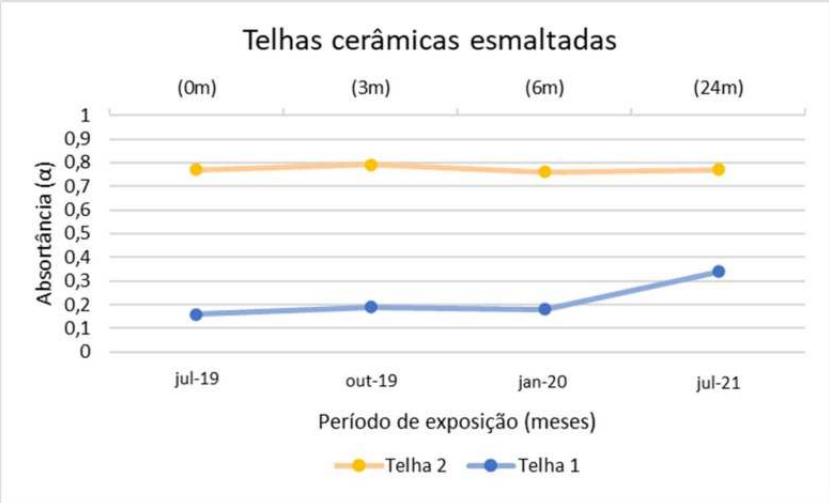
Essa variação de temperatura e pluviosidade altera diretamente na forma como as telhas se degradam ao longo do tempo. Além do estresse térmico sofrido pela telha, decorrente das altas amplitudes térmicas, durante os períodos mais secos há maior depósito de material particulado sobre as superfícies dessas amostras, já que a precipitação contribui para a limpeza superficial das mesmas.

VARIAÇÃO DE ABSORTÂNCIA SOLAR

Os valores de absortância solar são calculados a partir das medições, em espectrofotômetro, das refletâncias solares das amostras analisadas. Essas medições no equipamento de laboratório são feitas para três intervalos do espectro solar, o ultravioleta (300 a 380nm), o visível (380 a 780nm) e o infravermelho (780 a 2500nm), além do espectro solar total (300 a 2500nm). Conforme comentado anteriormente, após estas medições, calcula-se a absortância solar a partir da equação $\alpha=1-\rho$.

As variações das absortâncias entre as telhas novas e envelhecidas em 24 meses, das duas telhas avaliadas neste artigo, são apresentadas na Figura 7. Neste gráfico constam, além dos valores das telhas referentes aos meses 0 e 24, também seus valores parciais medidos nas situações de envelhecimento de 3 e 6 meses a fim de se compreender de que forma o envelhecimento natural impacta a variação da absortância solar destas amostras ao longo do tempo.

Figura 7: Variação da absortância solar das telhas ao longo de 24 meses de exposição ao tempo.



Fonte: as autoras.

Na tabela 1, além das absortâncias totais e para cada medição realizada, também é feita uma análise em relação à diferença percentual na alteração das absortâncias solares totais para ambas as telhas avaliadas em relação aos períodos de 0 e 24 meses.

Tabela 1: Variação da absortância solar das telhas ao longo de 24 meses de exposição ao tempo.

Telha	αT 0m	αT 3m	αT 6m	αT 24m	ΔαT (24 - 0m%)
1 (cor branca)	0,16	0,19	0,18	0,34	112,5%
2 (cor café)	0,77	0,79	0,76	0,77	0%

Fonte: as autoras.

Observando-se a relação do intemperismo com o clima local, no primeiro trimestre de exposição (jul. 2019 – out. 2019) houve aumento nas absortâncias de ambas as telhas, período que coincide com a época mais seca do ano e que, consequentemente, aumenta a quantidade de material particulado suspenso no ar. Já em relação ao segundo trimestre (nov. 2019 – jan. 2020) houve a recuperação parcial, para a T1, e total para a T2, comportamento que se justifica pelo fato de que nesse período há maior precipitação e a água da chuva exerce função limpante para as superfícies das telhas.

O período que corresponde aos estágios de envelhecimento relativo aos meses 9, 12, 15, 18 e 21 não puderam ser medidos em decorrência da pandemia de COVID-19 em 2020 e 2021. Portanto, a última análise relativa ao clima se refere ao estágio final de envelhecimento, após os 24 meses de exposição. Percebe-se que a T1, de cor branca, sofreu maior impacto em relação à sua absortância inicial quando comparada com as variações sofridas pela T2. Este fato já era esperado, afinal outros trabalhos já haviam demonstrado que para superfícies frias (baixa absortância solar e alta emitância térmica) o efeito do intemperismo natural é mais relevante do que nas demais superfícies [14][15][16].

Porém, mesmo tendo sofrido aumento significativo em relação a sua absortância solar inicial, a T1 continuou apresentando menor absortância solar dentre ambas as telhas analisadas. A medição realizada ao final do período de exposição demonstrou que a "telha fria" (T1) apresentou absortância solar 50% inferior em relação à telha T2. Este comportamento reforça a ideia de que as coberturas frias, mesmo após a exposição ao tempo, continuam sendo recomendadas para edificações localizadas em climas quentes, como ocorre na maior parte do território nacional.

VARIAÇÃO DE EMITÂNCIA TÉRMICA

A partir das medições utilizando-se o emissômetro portátil, foram realizadas aferições relativas às telhas novas e envelhecidas em 24 meses. Na tabela 2 são apresentados estes valores, assim como a diferença percentual entre ambos estágios de envelhecimento analisados.

Tabela 2: Variação da emitância térmica das telhas ao longo de 24 meses de exposição ao tempo.

Telha	ε 0m	ε 24m	Δ ε (24 - 0m%)
1 (cor branca)	0,81	0,82	1,5%
2 (cor café)	0,84	0,88	5,0%

Fonte: as autoras.

Nota-se que a emitância térmica aumentou em ambas as telhas analisadas, diferentemente do que ocorreu nas variações de absortância em que apenas a T1 sofreu aumento em relação às suas características originais. Verificou-se que a telha mais escura apresentou maior variação na emitância térmica, quando comparada à "telha fria".

Seguindo a mesma lógica de resultados obtidos em pesquisas anteriores [17][18], pode-se concluir que as variações da emitância térmica ao longo dos 24 meses de exposição não se mostraram tão significativas quanto nas medições relativas às variações de absortância solar total. Portanto, a degradação natural das telhas cerâmicas esmaltadas tem maior relevância sobre suas características iniciais de absortâncias solares do que seus valores de emitância térmica.

VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE COR

A alteração das cores nas superfícies dos materiais, quando expostos ao tempo, são uma consequência direta dos impactos das alterações das propriedades ópticas das telhas decorrentes de seu envelhecimento natural. Estas variações nos parâmetros de cor das amostras podem ser percebidas visualmente pelo olho humano através da opacidade e do escurecimento ou desbotamento das mesmas, dispensando-se, muitas vezes, a análise laboratorial para comprovar essas alterações. Neste trabalho, para compreender de forma mais precisa quais as variáveis de cor que mais sofrem com a exposição ao tempo, medições utilizando um colorímetro portátil foram realizadas em laboratório (Figura 8).

O espaço de cor utilizado para esta análise é o CIELAB, bastante utilizado atualmente já que relaciona as cores com a percepção destas pela população. Segundo a Comissão Internacional de Iluminação [19], as variáveis de cor para este espaço de cor específico correspondem a:

L* = Luminosidade (ou claridade)

a* = coordenada vermelho/verde (+a indica vermelho e –a indica verde)

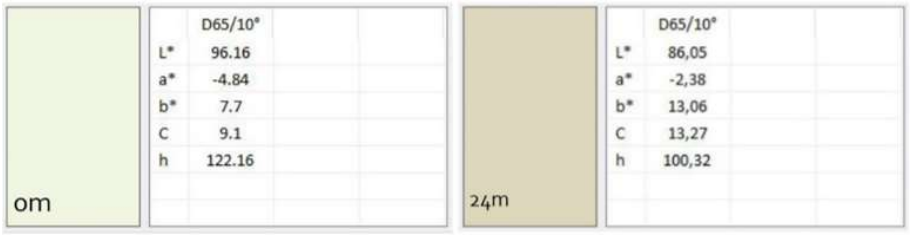
b* = coordenada amarelo / azul (+b indica amarelo e –b indica azul)

C = Saturação

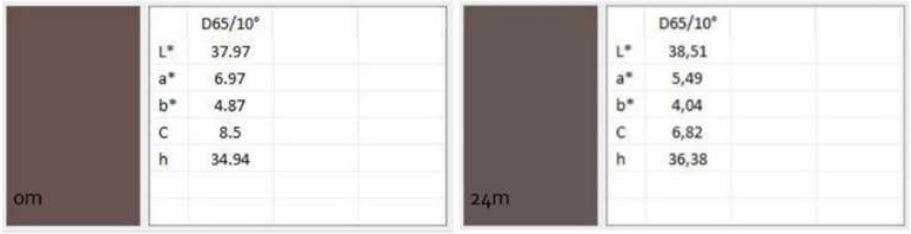
h = Tonalidade (ou matiz)

Figura 8: Comparação dos parâmetros de cor entre as telhas T1 e T2.

T1



T2



Fonte: as autoras.

A T1 apresentou diminuição em sua luminosidade (L*) e tonalidade (h) bastante significativa, diferentemente do que ocorre na T2. Esta alteração corresponde ao aumento da absortância solar inicial da "telha fria", que foi de 112,5%, enquanto a telha de coloração mais escura manteve sua variação de absortância solar final inalterada e, consequentemente, teve um leve aumento em seus parâmetros de luminosidade e tonalidade. Este comportamento inverso também se repete quando analisamos as alterações de saturação em ambas as telhas, já que a T1 teve um aumento em relação a este parâmetro, enquanto a T2 teve uma diminuição. Isto se deve principalmente à incidência dos raios ultravioletas, capazes de desbotar os tons mais escuros e "amarelar" tons mais claros. Isto é evidenciado ao analisarmos as variações das coordenadas a* e b*, já que a T1 teve um aumento em sua coordenada amarela e vermelha (+a* e +b*), enquanto a T2 teve uma diminuição em ambas coordenadas.

CONCLUSÕES

Diversos estudos já analisaram os benefícios da utilização de revestimentos frios no envelope construtivo, em climas quentes, a fim de se controlar os ganhos térmicos das edificações para diminuir os gastos energéticos decorrentes da climatização artificial e melhorar o conforto térmico dos usuários. Porém, a análise ao longo da vida útil destes materiais se faz necessária, já que o intemperismo natural altera as propriedades ópticas dos materiais, podendo modificar suas características iniciais. Com isso, um material especificado com o intuito de mitigar os impactos negativos decorrentes do ganho térmico indesejado, pode apresentar desempenho menos eficiente do que o esperado ao longo do tempo.

Neste artigo, comprovou-se que a degradação decorrente do intemperismo natural afeta de forma mais significativa as telhas brancas (frias) do que telhas de cores mais escuras, em se tratando especificamente sobre suas variações de absortâncias solares ao longo do tempo. Também foi demonstrado que as alterações de emitância térmica, ao longo de 24 meses de exposição, são menos relevantes que as alterações de

absortância solar. Já em relação às variações relativas aos parâmetros de cor, observou-se que a T1, branca, apresentou variação percentual maior em relação aos seus parâmetros iniciais que a T2, de cor escura. Este fato comprova que a alteração da coloração superficial das amostras, decorrente do envelhecimento natural, está diretamente relacionado às variações de absortância solar das mesmas. Por fim, verificou-se que a alta absortância solar indica baixos valores de luminosidade e tonalidade, possibilitando a associação da percepção visual com a variação das propriedades ópticas de uma superfície. Porém, esta análise visual não deve substituir a medição laboratorial, pois nem sempre possuem baixa absorção da radiação solar ao longo de todo o espectro solar.

Conclui-se que, mesmo tendo sofrido degradação bastante significativa decorrente da exposição ao tempo, a telha de cor branca continuou apresentando os menores valores de absortância solar mesmo após os 24 meses de envelhecimento natural. Porém, deve-se prever a limpeza e manutenção desses revestimentos a fim de se preservar sua capacidade refletiva ao longo do tempo, e de diminuir os ganhos térmicos para o interior das edificações localizadas em regiões de clima quente. Para compreender de forma mais precisa como o envelhecimento natural de telhas cerâmicas esmaltadas impacta nas alterações de suas absortâncias solares, as amostras continuarão expostas até que se complete um ciclo de 60 meses (5 anos), o que será alcançado em 14 de julho de 2024.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela bolsa concedida e aos funcionários do Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU-USP) pelo suporte técnico necessário para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] ALCHAPAR, N.; CORREA, E.; CANTÓN, M. A. Urban passive cooling aging effects on optical properties of roof tiles. **Energy Procedia**, v. 57, p. 3181-3190, 2014.

[2] CHENG, V.; NG, E.; GIVONI, B. Effect of envelope colour and thermal mass on indorr temperatures in hot humid climate. **Solar Energy**, v. 78, n. 1, p. p. 528-534, 2005.

[3] AKBARI, H.; BERHE, A.; LEVINSON, R.. **Aging and weathering of cool roofing membranes. Report**. LBNL-58055, 2005.

[4] BERDHAL, P., AKBARI, H., LEVINSON, R., & MILLER, W. A. Weathering of roofing materials – An overview. **Construction and Building Materials**, v. 22, 423-433, 2008.

[5] CHENG, M.-D.; MILLER, W.; NEW, J.; BERDAHL, P. Understanding the long-term effects of environmental exposure on roof reflectance in California**. Construction and Building Materials**, v. 26, p. 516-526, 2012.

[6] MORINI, E.; CASTELLANI, B.; NICOLINI, A.; ROSSI, F.; BERARDI, U. Effects of aging on retro-reflective materials for building applications. **Energy and Buildings**, v. 179, p. 121-132, 2018.

[7] ARAÚJO, A. C. H.; DORNELLES, K. A. Estação de envelhecimento natural para análise de degradação da absortância de telhas e monitoramento de temperaturas superficiais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 247-267, abr./jun. 2022.

[8] BRITO FILHO, J.; SANTOS, T. Thermal analysis of roofs with thermal insulation layer and reflective coatings in subtropical and equatorial climate regions in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 84, p. 466–474, 2014.

[9] ABNT. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro. 2021.

[10] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E903 – 12** -Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. American Society for Testing and Materials. [S.l.]. 2012.

[11] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G173 – 03** - Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface. American Society for Testing and Materials. [S.l.]. 2012.

[12] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1371 – 15** - Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emissometers. American Society for Testing and Materials. [S.l.]. 2015.

[13] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2244 – 15** - Calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates. American Society for Testing and Materials. [S.l.]. 2015.

[14] 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. v.81, p. p.488-497, 2007.

[15] MASTRAPOSTOLI, E.; SANTAMOURIS, M.; KOLOKOTSA, D.; VASSILIS, P.; VENIERI, D.; GOMPAKIS, K. On the ageing of cool roofs: Measure of the optical degradation, chemical and biological analysis and assessment of the energy impact. **Energy and Buildings**, v. 114, p. 191-199, 2016.

[16] SHI, D.; ZHUANG, C.; LIN, C.; ZHAO, X.; CHEN, D., GAO, Y.; LEVINSON, R. Effects of natural soiling and weathering on cool roof energy savings for dormitory buildings in Chinese cities with hot summers. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 200, 2019.

[17] PEREIRA, C. D. **Influência da refletância e da emitância de superfícies externas no desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2014.

[18] KRELLING, A. F.; SILVA, M. P.; SOUZA, R. V.; MARINOSKI, D. L.; GÜTHS, S. **Influência do envelhecimento, limpeza e pintura da superfície de telhas de fibrocimento sobre o desempenho térmico da cobertura**. In: ENCAC, XV, ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2019, João Pessoa. Anais... João Pessoa, 2019.

[19] INMETRO. **Comitê Brasileiro de Iluminação (CIE Brasil)**. INMETRO, 2020. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/ciebrasil/origem.asp. Acesso em 10 de fev. 2022.