



**XV ENCAC** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

**XI ELACAC** Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

## **REFLETÂNCIA SOLAR E O DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHAS EXPOSTAS AO TEMPO**

**Ana Carolina Hidalgo Araujo (1); Kelen Almeida Dornelles (2)**

(1) Arquiteta e Urbanista, Mestranda do Programa de Pós-Graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, ana.hidalgo.araujo@usp.br

(2) Pós-Doutora, Professora no Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, kelend@usp.br

Avenida Trabalhador São-Carlense, 400, Centro, São Carlos, SP, (16) 3373-9285

### **RESUMO**

Uma solução simples e eficaz para amenizar os efeitos provocados pelo aumento das temperaturas superficiais e do ar no ambiente construído, e por consequência melhorar as condições de conforto térmico das pessoas, é a adoção de revestimentos externos com alta refletância solar combinada com alta emitância térmica. Se utilizado nas coberturas, este tipo de material pode contribuir para minimizar a entrada de energia térmica indesejada para o interior das edificações de forma mais relevante que nas superfícies verticais, pois a incidência da radiação solar nas coberturas é muito mais intensa que nas demais faces do envelope construtivo. Alterações na refletância solar de revestimentos já foram identificadas como consequência da exposição ao longo do tempo às intempéries, as quais impactam no desempenho térmico das mesmas. Neste sentido, este trabalho em andamento, visa analisar o envelhecimento de 31 telhas de 4 grupos diferentes (cerâmica, cerâmica esmaltada, concreto e metálica) e seus impactos diretos nos ganhos térmicos de edificações através das alterações nos valores de refletância solar das amostras analisadas após exposição ao tempo. O comportamento térmico das mesmas será avaliado a partir de medições da refletância em espectrofotômetro a cada 3 meses e do monitoramento contínuo das temperaturas superficiais das telhas expostas ao longo de 12 meses. Até o presente momento foram realizadas medições de refletância das telhas novas, sem envelhecimento, e os resultados indicaram que as telhas do tipo cerâmica possuem refletância solar superiores aos demais tipos, com diferença média nas refletâncias cerca de 40% superior às telhas de concreto, por exemplo.

Palavras-chave: envelhecimento de telhas, cobertura, refletância, solar, desempenho térmico

### **ABSTRACT**

A simple and effective solution to reduce the effects caused by the increase of surface and air temperatures in the built environment, and consequently to improve the conditions of thermal comfort of people, is the use of external coatings with high solar reflectance combined with high thermal emittance. If used in roofs, this type of material can contribute to minimize the undesired heat gains into buildings in a more relevant way than in vertical surfaces, since the incidence of solar radiation on the roofs is much more intense than on the other faces of the constructive envelope. Changes in the solar reflectance of coatings have already been identified because of the exposure over time to weathering conditions, which impacts on the thermal performance of it. In this sense, this work in progress aims to analyze the aging of 31 tiles of 4 different groups (ceramic, glazed ceramic, concrete, and metal) and their direct impacts on the thermal gains of buildings through changes in the values of solar reflectance of the samples analyzed after exposure to weathering conditions. The tile's thermal performance will be evaluated from spectrophotometer reflectance measurements every 3 months and the continuous monitoring of surface temperatures of the exposed tiles over 12 months. Up to the present moment, reflectance measurements for new tiles were carried out, without aging, and the results indicated that ceramic tiles have higher solar reflectance to the other types, with a mean difference in reflectance of about 40% higher than concrete tiles, for example.

Keywords: roof aging, roofing, solar reflectance, thermal performance

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, umas das principais preocupações relativas às construções se referem ao seu desempenho térmico e energético. Os gastos excedentes e desnecessários com energia elétrica são um exemplo de situação que precisa se adequar a essa demanda sustentável da sociedade atual, já que as edificações brasileiras são responsáveis por 15% de toda a energia elétrica utilizada no país (EPE, 2017) e uma parcela deste gasto advém da necessidade de sistemas de climatização artificial, afinal, a maior parte do território nacional está exposta a uma alta insolação ao longo de todo o ano. Com isso, segundo Dornelles (2008), as superfícies externas das construções estão sujeitas a altas taxas de radiação solar, fenômeno natural responsável pelos ganhos térmicos energéticos pelas edificações.

A quantidade de calor que passa para o interior da edificação depende das características físicas dos materiais, sendo que a refletância solar ( $\rho$ ) de suas superfícies é o fator que determina o quanto de energia térmica advinda da radiação solar foi refletida pela superfície analisada. A parcela que não é refletida é absorvida, sendo que desta uma determinada parte atravessa o sistema do revestimento externo, aquecendo o interior das construções. Este sobreaquecimento do envelope construtivo e das superfícies pavimentadas também é prejudicial para as cidades de clima quente, pois contribuem para o fenômeno das ilhas de calor nos centros urbanos.

Uma alternativa para diminuir esses ganhos térmicos é a utilização de materiais com altos valores de refletâncias nos revestimentos externos das edificações, já que o envelope construtivo é a principal fonte de entrada de calor para o interior dos edifícios (COELHO, 2017). Dentre os elementos da envoltória do edifício, o sistema que mais recebe energia térmica advinda da radiação solar é a cobertura, pois está exposta à insolação por um tempo maior que as demais faces da edificação. Desta forma, controlando-se apenas a refletância solar dos revestimentos escolhidos para a cobertura, é possível melhorar a eficiência térmica do edifício e conforto do usuário que o habita, além de ser uma estratégia eficiente para o resfriamento urbano (ALCHAPAR; CORREA, 2016).

No entanto, segundo Louzich et al. (2016), a exposição direta da edificação ao meio externo causa, ao longo do tempo, a deterioração das telhas presentes na cobertura, decorrente da ação da radiação ultravioleta, do acúmulo de sujeira e da ação da poluição urbana, iniciando assim modificações das propriedades físicas de rugosidade, de ondulação e de cor deste sistema construtivo. Com isso, as refletâncias dessas superfícies sofrem alterações que impactam de forma direta nos ganhos térmicos das edificações e das superfícies pavimentadas das cidades. Portanto, apesar da estratégia de controle do aquecimento das edificações através do aumento da refletância solar por parte das coberturas ser uma maneira simples, eficaz e de baixo custo para reduzir os ganhos térmicos das edificações, é importante conhecer o comportamento físico das telhas ao longo de suas vidas úteis, pois é neste estado de uso que os materiais serão utilizados em sua maior parte do tempo.

## 2. OBJETIVO

O presente artigo é parte de uma pesquisa de mestrado em andamento, cujo principal objetivo é analisar os impactos do envelhecimento natural de telhas expostas às intempéries sobre suas características de refletância solar e desempenho térmico ao longo do tempo. Desta forma, pretende-se compreender os impactos diretos das alterações da refletância solar nos ganhos térmicos de coberturas com diferentes tipos de telhas.

## 3. MÉTODO

A pesquisa caracteriza-se como experimental, com medições em laboratório e em campo, assim como a análise e tratamento dos dados para avaliação do desempenho térmico das telhas após exposição natural ao longo de 12 meses. A metodologia incluirá três etapas: Etapa I: Seleção das amostras e exposição ao tempo; Etapa II - Medições das propriedades de refletância, absortância e cor dos revestimentos em laboratório e temperatura superficial em campo, quando novas e ao longo do tempo; Etapa III: Análise dos dados para comparações do comportamento das telhas frente ao envelhecimento natural.

### 3.1. Etapa I: Seleção das amostras e exposição ao tempo

Neste trabalho foram selecionadas 31 telhas com variações de matéria prima, cor e acabamentos superficiais. No total, são 13 do tipo cerâmica esmaltada, 7 de concreto, 2 metálicas e 9 cerâmicas (naturais ou resinadas), conforme detalhado na Figura 1. Quatro amostras de cada telha, cada uma com dimensões de aproximadamente 5cm x 5cm, foram retiradas para realizar as medições previstas em laboratório, pois o espectrofotômetro (modelo Varian modelo CARY 5G) possui limitação no tamanho das amostras para ensaio em laboratório.
































TIPO	COR	CÓD.		
Esmaltadas				
	1	Branca	ES_BRA	
	2	Marfim	ES_MAR	
	3	Cinza	ES_C	
	4	Caramelo	ES_CAR	
	5	Verde claro	ES_VER	
	6	Palha mesclada	ES_PAM	
	7	Ravena	ES_RAV	
8	Palha	ES_PA		
9	Bordó	ES_BOR		
10	Areia	ES_ARE		
11	Cinza	ES_CIN		
12	Grafite	ES_GRA		
13	Café	ES_CAF		
<b>Concreto</b>				
14	Damasco	CO_DAM		
15	Cristal	CO_CRI		
16	Vermelho	CO_VER		
17	Mostarda	CO_MOS		
18	Canela	CO_CAN		
19	Marfim	CO_MAR		
20	Natural	CO_NAT		
<b>Metálicas</b>				
21	Natural	ME_NAT		
22	Branca	ME_BRA		
<b>Cerâmicas</b>				
23	Branca	CE_BRA		
24	Marfim	CE_MAR		
25	Vigo	CE_VIG		
26	Natural	CE_NAT1		
27	Natural	CE_NAT2		
28	Resinada	CE_RES		
29	Natural	CE_NAT3		
30	Natural	CE_NAT4		
31	Natural	CE_NAT5		

Figura 1 – Telhas selecionadas.

O restante da telha que não foi cortada ficará exposta às intempéries em uma base cuja inclinação será ajustada em 30%, angulação tipicamente utilizada nas construções brasileiras, de tal forma a simular seu envelhecimento ao longo de 1 ano (Figura 2). As amostras de dimensão 5x5cm também ficarão expostas neste suporte, ao lado de suas peças originais já que essas amostras que serão analisadas em laboratório. Suas retiradas do suporte ocorrerão de 3 em 3 meses, durante 12 meses.

O suporte para instalação das telhas ao longo de um ano de duração foi projetado a fim de minimizar as trocas de calor entre as telhas e a estrutura do suporte, além de atender às recomendações da norma ASTM G7/G7M-11 (ASTM, 2011). Para isso, os pontos de contato do Metalon (estrutura) com as telhas serão protegidos por uma camada de madeira OSB (painel de tiras de madeira orientada) e isopor. As travas para que as telhas não se movimentem também serão de madeira OSB. Na superfície inferior de cada telha, serão posicionados sensores de temperatura do tipo termopar aderidos à face com pasta térmica e fita aluminizada. Além disso, este suporte possui um sistema de braço dentado cuja função é ajustar o ângulo da base que receberá as amostras, permitindo que pesquisas futuras também possam utilizar o mesmo sistema para analisar outros tipos de revestimentos.

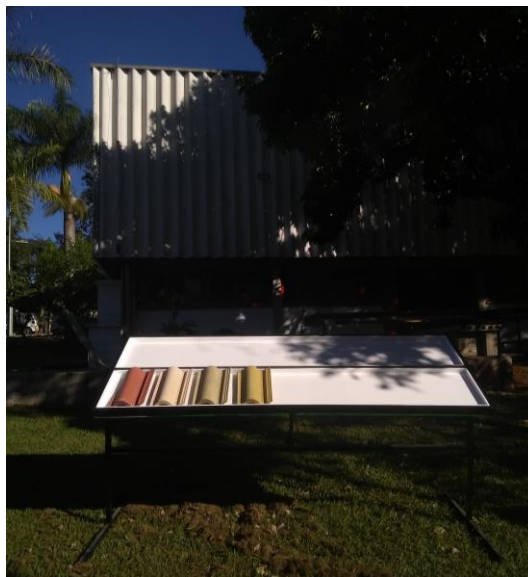


Figura 2 – Sistema de suporte das telhas para exposição às intempéries e medições de temperaturas superficiais.

## **3.2. Etapa II: Medições**

### *3.2.1 Refletância com espectrofotômetro com esfera integradora*

As medições de refletância foram realizadas com o espectrofotômetro Varian modelo CARY 5G, que pertence ao Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica da Universidade Federal de São Carlos (LIEC-UFSCar). As amostras foram ensaiadas segundo método apresentado na ASTM E903-12 (2012a), no intervalo de 300 a 2500 nm, região do espectro solar com maior concentração de energia proveniente do Sol, segundo o espectro solar padrão definido pela ASTM G173 (2012b), compreendendo as faixas do ultravioleta, visível e infravermelho. A partir dessas medições, foi feito o tratamento dos dados para análise dos resultados obtidos em laboratório segundo o método desenvolvido por Dornelles (2008). Foram calculadas as refletâncias ( $\rho$ ) médias das amostras dos revestimentos para três intervalos do espectro solar: ultravioleta (300 a 380 nm), visível (380 a 780 nm) e infravermelho (780 a 2500 nm), além do espectro solar total (300 a 2500 nm). Tais dados serão reavaliados a cada 3 meses para as amostras envelhecidas, até completar 12 meses de exposição ao tempo.

### *3.2.2 Refletância com espectrômetro portátil Alta II*

As medições de refletância espectral também serão realizadas com o espectrômetro portátil ALTA II, desenvolvido pelo *Lunar and Planetary Institute*, de Houston - Texas. Ele foi criado como ferramenta didática para ensino sobre cor, luz e espectroscopia em escolas dos Estados Unidos (LUNAR AND PLANETARY INSTITUTE) e possui um custo muito inferior em relação ao espectrofotômetro de laboratório, podendo, portanto, ser utilizado de forma mais ampla por parte dos profissionais da área. Com este equipamento, mede-se a refletância espectral para onze diferentes comprimentos de onda, entre 470 e 940 nm, sendo sete deles na região visível e quatro na região do infravermelho-próximo. No entanto, o espectrômetro não fornece o valor absoluto da refletância (indica apenas voltagem), mas com algumas operações matemáticas pode-se determinar a porcentagem que cada amostra reflete, com base em uma amostra de referência. Assim como no espectrofotômetro, as amostras também serão avaliadas a cada três meses com o espectrômetro portátil, para se obter dados comparativos com os resultados obtidos com o espectrofotômetro com esfera integradora.

### *3.2.3 Medição dos parâmetros de cor*

Nesta pesquisa será realizado o ensaio de determinação da cor das telhas analisadas, conforme a norma ASTM D2244-16 "*Calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates*" (ASTM, 2016), usando um colorímetro portátil *Colorium 2*, da Delta Color. Esta análise ocorrerá juntamente com as medições de alterações de refletância das telhas, a cada 3 meses, a fim de analisar como a cor envelhecida se relaciona com a alteração da refletância da amostra.

### *3.2.4 Medições de temperaturas superficiais*

A fim de avaliar a correlação entre a refletância solar e as temperaturas superficiais dos diferentes materiais, serão realizadas medições de temperaturas superficiais na face interior das telhas selecionadas nesta pesquisa. O monitoramento será realizado de forma constante com sensores do tipo termopar aderidos nas faces inferiores das telhas, ao longo dos 12 meses de análises. Também serão utilizados termômetros de infravermelho da marca Testo modelo S30-T1, com resolução de 0,1 °C. Complementarmente, serão registradas imagens térmicas com câmera termográfica (modelo Testo 870) com resolução de infravermelho de 120x160 pixels e sensibilidade térmica < 100 mK a +30 °C).

## **3.3. Etapa III: Análises dos resultados**

As análises dos dados obtidos a partir das medições em laboratório e em campo serão realizadas a partir de comparações das curvas de refletância espectral das telhas a cada 3 meses, assim como os valores de refletância solar obtidos para as telhas ao longo dos 12 meses de exposição ao tempo. Também serão realizadas comparações e análises estatísticas para correlação entre os valores de refletância solar e de temperatura superficial ao longo do tempo.

## **4. RESULTADOS PRELIMINARES**

Até o momento foram selecionadas as telhas para análise na pesquisa e realizadas as medições das amostras no espectrofotômetro com esfera integradora (item 3.2.1) para as telhas em seus estados originais, novas, sem envelhecimento. Esta medição inicial já evidencia o quanto a matéria prima da telha e seu processo de

produção alteram seus valores de refletância, principalmente na faixa do infravermelho. As telhas cerâmicas, independente da coloração, já partem de um cenário cujas refletâncias possuem valores muito maiores que as telhas de concreto, como se pode analisar na tabela e nos gráficos a seguir cuja média de refletâncias das telhas cerâmicas esmaltadas ( $\rho_{\text{média}} = 47,5\%$ ) é cerca de 40% maior que as de concreto ( $\rho_{\text{média}} = 28,2\%$ ). Isso acontece em decorrência das características físico-químicas do material utilizado para sua fabricação.

Já dentro de uma mesma tipologia, nota-se que a coloração tem grande importância na determinação dos valores das refletâncias de seus elementos. De modo geral, as telhas com superfícies mais claras ocupam os pontos de maiores refletâncias na tabela 1. Pode-se verificar este fato no grupo das telhas esmaltadas, por exemplo, onde a de cor branca (1-ES\_BRA) possui refletância de 72,6% maior que a de cor mais escura (13-ES\_CAF). O mesmo comportamento se repete nos demais grupos de telhas, com exceção das telhas metálicas, pois por se tratar de um metal a absorção de energia pelos elétrons livres dependerá do comprimento de onda da radiação incidente (fenômeno descrito pela Mecânica Quântica).

Tabela 1: Valores de refletância solar das telhas selecionadas, medidas em espectrofotômetro.

TELHA Nº	CÓDIGO	REFLETÂNCIA ( $\alpha$ )	TELHA Nº	CÓDIGO	REFLETÂNCIA ( $\alpha$ )
ESMALTADA					
1	ES_BRA	84,3	17	CO_MOS	27,5
2	ES_MAR	64,2	18	CO_CAN	9,4
3	ES_C	60,1	19	CO_MAR	49,3
4	ES_CAR	38,0	20	CO_NAT	27,3
5	ES_VER	44,4	METÁLICAS		
6	ES_PAM	46,2	22	ME_NAT	71,1
7	ES_RAV	55,8	23	ME_BRA	66,5
8	ES_PA	61,3	CERÂMICAS		
9	ES_BOR	29,4	24	CE_BRA	65,3
10	ES_ARE	72,6	25	CE_MAR	56,3
11	ES_CIN	53,0	26	CE_VIG	43,9
12	ES_GRA	27,3	28	CE_NAT1	41,7
13	ES_CAF	23,1	29	CE_NAT2	42,3
CONCRETO					
14	CO_DAM	35,4	30	CE_RES	43,0
15	CO_CRI	27,2	31	CE_NAT3	50,6
16	CO_VER	26,2	33	CE_NAT4	40,6
			34	CE_NAT5	43,4

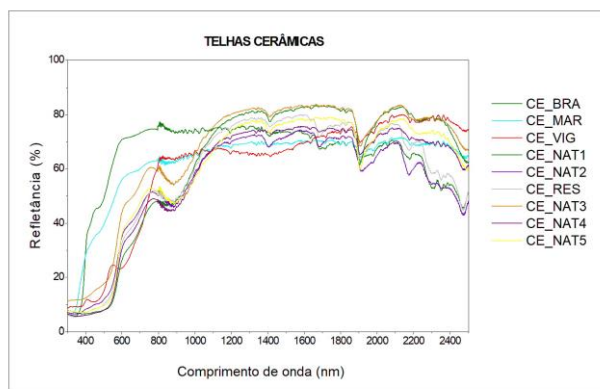


Figura 3 – Refletância espectral para Telhas cerâmicas.

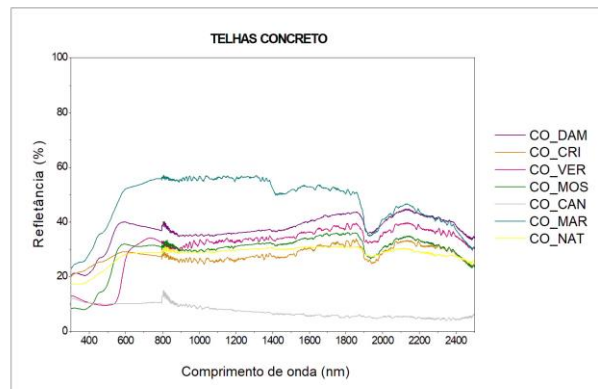


Figura 4 – Refletância espectral para Telhas de Concreto.

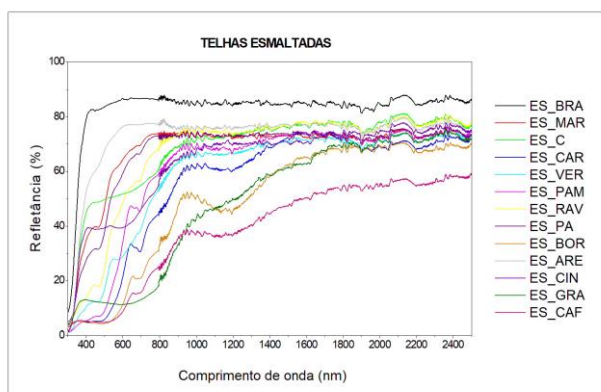


Figura 5 – Refletância espectral para Telhas Esmaltadas.

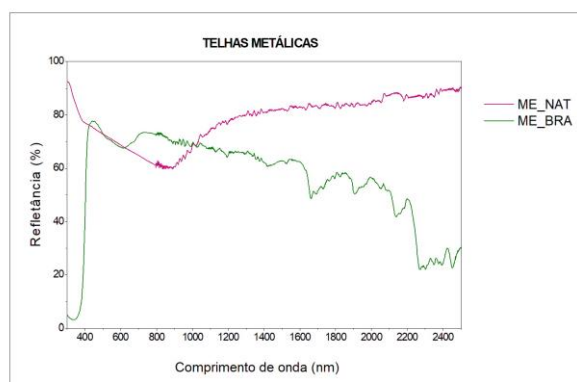


Figura 6 – Refletância espectral para Telhas Metálicas.

## 5. ETAPAS FUTURAS

Para atender a proposta do trabalho, será dada continuidade às etapas de medições iniciais (medição com espectrômetro portátil alta e medição de cor), seguidas pela exposição ao tempo das telhas selecionadas. Isso possibilitará a posterior análise do envelhecimento das amostras e comparação entre as telhas em seus diferentes estágios de degradação. Com isso, será possível compreender a influência do envelhecimento natural sobre o desempenho térmico das telhas, o que afetará diretamente o desempenho termoenergético das edificações e por consequência o conforto dos usuários.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2244-16**: calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates. ASTM, 2016.
- \_\_\_\_\_. **ASTM E903-12**: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. ASTM International, 2012a.
- \_\_\_\_\_. **ASTM G173-12**: standard tables for reference solar spectral irradiances - direct normal and hemispherical on 37° tilted surface. ASTM International, 2012.
- \_\_\_\_\_. **ASTM G7/G7M-11**: standard practice for atmospheric environmental exposure testing of nonmetallic materials. ASTM, 2011a.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.
- ALCHAPAR, N. L.; CORREA, E. N. Aging of Roof Coatings: solar reflectance stability according to their morphological characteristics. **Construction and Building Materials**, v. 102, p. 297–305, 2016.
- COELHO, T. C. C. **Efeitos do envelhecimento natural no desempenho térmico de telhas onduladas de fibrocimento sem amianto**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.
- DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2017: Ano base 2016 (Tabela 1.5.a)**. Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: < [https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2017.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf)>. Acesso em: 04 set. 2018.
- INMETRO. **Anexo V da Portaria INMETRO nº 50/2013: catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**. Rio de Janeiro, 2013.
- LOUZICH, K. M. D.; CALLEJAD, I. J. A.; DURANTE, L. C.; MARTINS, A. F. S.; ROSSETI, K. A. C.; MARTINS, W. T. O. Absortância de telhas cerâmicas novas e deterioradas pela exposição às intempéries: impacto no desempenho térmico de edificações. In: ENTAC, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2016.
- LUNAR AND PLANETARY INSTITUTE. **ALTA reflectance spectrometer**. Disponível em: <http://www.lpi.usra.edu>. Acesso em 24 jun. 2019.

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pelo auxílio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa (Processo CNPq 402720/2016-4).