SUPERFÍCIES FRIAS - AVALIAÇÃO DA REFLETÂNCIA EM QUATRO CIDADES BRASILEIRAS APÓS UM ANO DE ENVELHECIMENTO NATURAL[1]

SHIRAKAWA, M.A., Universidade de São Paulo, email: marcia.shirakawa@lme.pcc.usp.br; SILVA Junior, J.A., Universidade Federal do Pará, email: athaydes@ufpa.br; MARQUES, S.A.V., Universidade de São Paulo, email: shirlei.marques @lme.pcc.usp.br; JOHN, V.M., Universidade de São Paulo, email: vanderley.john@lme.pcc.usp.br

ABSTRACT

The urban heat islands occur in the centers of big cities. The studies and actions to mitigate the urban heat islands have progressed in the last three decades, and the technologies of cool surfaces, with high reflectance and emitance, have gained international relevance, since the cool surfaces can reduce the consumption of energy for air conditioning. Reduction of reflectance can be caused by deposition of air pollutants, dusts and microbial growth according to environmental conditions. This study shows the loss of reflectance of an exposed white paint after one year in different cities: São Paulo, SP, Pirassununga, SP, São Sebastião, SP and Belém, PA. The results showed after one year the importance of microbial colonization in the loss of reflectance, mainly by phototrophic microorganisms. Studies are ongoing and assessments will be carried out for at least three years of exposure.

Keywords*: Cool surfaces. Reflectance. Urban heat islands. Microorganisms.*

1 INTRODUÇÃO

Há três décadas pesquisas vem sendo realizadas para mitigar as ilhas de calor urbano. Entre as tecnologias desenvolvidas encontram-se as superfícies frias: revestimentos, telhados e pavimentos (AKIBARI, KOLOKOTSA 2016, KOLOKOTSA et al, 2018). Materiais com características de superfícies frias necessitam ter alta refletância solar e alta emitância térmica, em relação aos materiais convencionais, de maneira que as superfícies absorvam menos radiação solar e consequentemente contribuam para a melhoria do conforto térmico e redução de energia para condicionamento de ar em edifícios (LEVINSON et al., 2005, 2007). Para a refletância, a medida 0 indica um corpo negro que absorve 100% da radiação, e 1,0 indica uma superfície que reflete 100 % da radiação solar. Para a emitância térmica, a medida 0 indica ausência de emissão e 1 emissão de toda radiação infra-vermelha. A avaliação da refletância solar e emissividade térmica são parâmetros fundamentais para estimar o desempenho térmico de uma edificação e melhorar sua eficiência energética (SYNNEFA; SANTAMOURIS; AKBARI, 2007). Ressalta-se que estas propriedades necessitam ser avaliadas no início e após três anos de exposição natural conforme estabelecido nos Estados Unidos pelo *Cool Roof Rating Council* (http://coolroofs.org/products/results). Este trabalho tem por objetivo

[1] SHIRAKAWA, M.A., SILVA Junior, J.A., MARQUES, S.A.V., JOHN, V.M. Superfícies frias – Avaliação da refletância em quatro cidades brasileiras após um ano de envelhecimento natural. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

investigar a influência do envelhecimento natural na redução da refletância de uma tinta branca convencional exposta em quatro cidades no Brasil: São Paulo, SP, Pirassununga, SP, São Sebastião, SP e Belém, PA durante o primeiro ano de exposição.

2 MÉTODOS

No estudo foi utilizada uma tinta branca convencional do mercado brasileiro, pintada sobre amostras de fibrocimento previamente carbonatadas em condições laboratoriais. Os corpos de prova (7 x 10 cm) foram expostos em quatro estações de envelhecimento natural: São Paulo, SP (-23º 33' S, - 46º 43'W), Pirassununga, SP (-21°57'S, - 47°27' W), São Sebastião, SP (23°49'25 S - 45°25'18 W) e Belém, PA (-1º28'26,85", -48 º27'30,35") por um ano. As avaliações da refletância e emitância foram feitas antes e após este período de exposição. A Figura 1 apresenta amostras expostas nos campos de envelhecimento natural.

Figura 1 – Exposição de amostras em São Paulo, SP, Pirassununga, SP, Belém, PA e São Sebastião,SP.



Fonte: Os autores

2.1 Análise da refletância por refletômetro portátil

Os ensaios de refletância foram realizados com o equipamento *Solar Spectrum Reflectometer* – modelo *SSR – ER,* Versão 6.4 (DT&S *Devices and Services Company*) de acordo com a ASTM C 1549 (2009). Foram efetuadas 5 medidas de cada amostra (15 medidas em cada estação).

2.2 Avaliação da emitância

Os ensaios de emitância foram realizados conforme a ASTM C 1371 (2010) com o aparelho *Emissometer Model AE1* (DT&S Devices and *Services* Company). Foram efetuadas 3 medidas de cada amostra (9 medidas em cada estação).

2.3 Índice de Refletância Solar (SRI)

O Índice de Refletância Solar (SRI) foi obtido conforme a ASTM E 1980 (2011). Ele estima a capacidade de uma superfície em refletir a radiação solar recebida, tomando como base a temperatura de um padrão negro e de um padrão branco, em condições ambientais normais. Define-se como padrão negro um material com refletância de 0,05 e emitância de 0,9. O padrão branco tem uma refletância de 0,8 e emitância de 0,9.

2.4 Microscopia digital

Para avaliação microscópica da superfície foi utilizado microscópio digital da marca Hirox modelo KH770 com a lente da marca Hirox modelo MXG5040RZ.

2.5 Avaliação da cor por método instrumental

Para a análise de cor foi avaliada uma área de 2,5 cm de diâmetro. A cor foi medida antes e depois da exposição nos mesmos locais da refletância. Foi utilizado equipamento da BYK Gardner 45#/0#, que se baseia no sistema da Comissão Internacional sobre Iluminação (CIE) L* a* b*. No qual L* varia entre 0 e 100 (preto a branco), para a* valores negativos (verde) e valores positivos (vermelho); para b* valores negativos (azul) e valores positivos (amarelo).

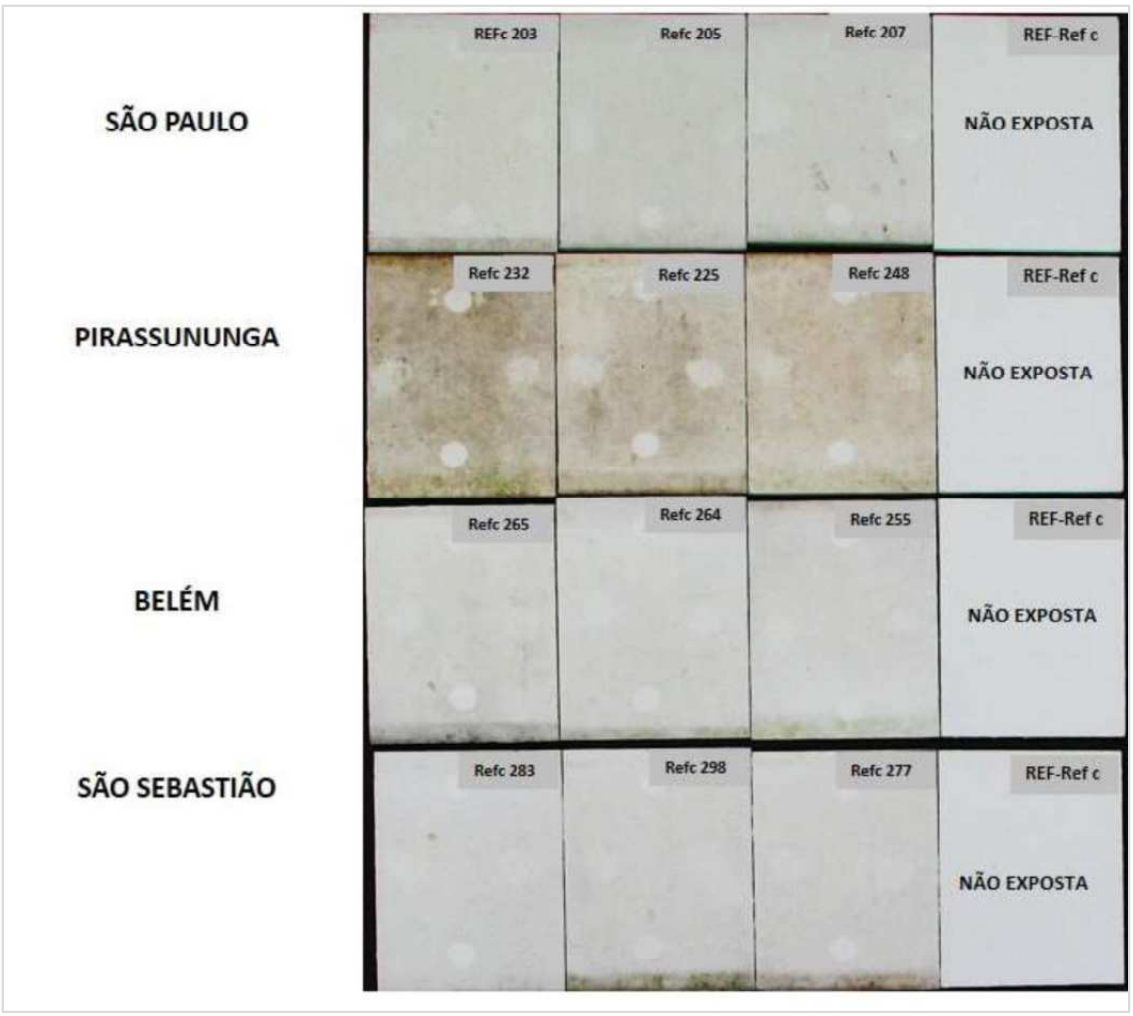
2.4 Espectroscopia no UV-Visível-NIR

O ensaio foi realizado com equipamento UV-VIS-NIR Shimadzu UV 3101 PC, nos comprimentos de onda que correspondem ao espectro solar (UV - 250 a 400nm; VIS - 400 a 700nm; NIR - 700 a 2500nm). As medições foram realizadas de acordo com os padrões definidos pela ASTM E903 (2012). Os parâmetros utilizados foram: 20 nm de fenda, feixe com abertura de 7 mm de largura e 9 mm de altura, equipado com detector fotomultiplicador e célula PbS.

3 RESULTADOS

A Figura 2 apresenta o registro fotográfico das amostras expostas nas estações de envelhecimento. A Figura 3 apresenta as imagens obtidas por microscopia digital, com aumentos de 50, 200 e 400 vezes (da esquerda para a direita) na aquisição das imagens.

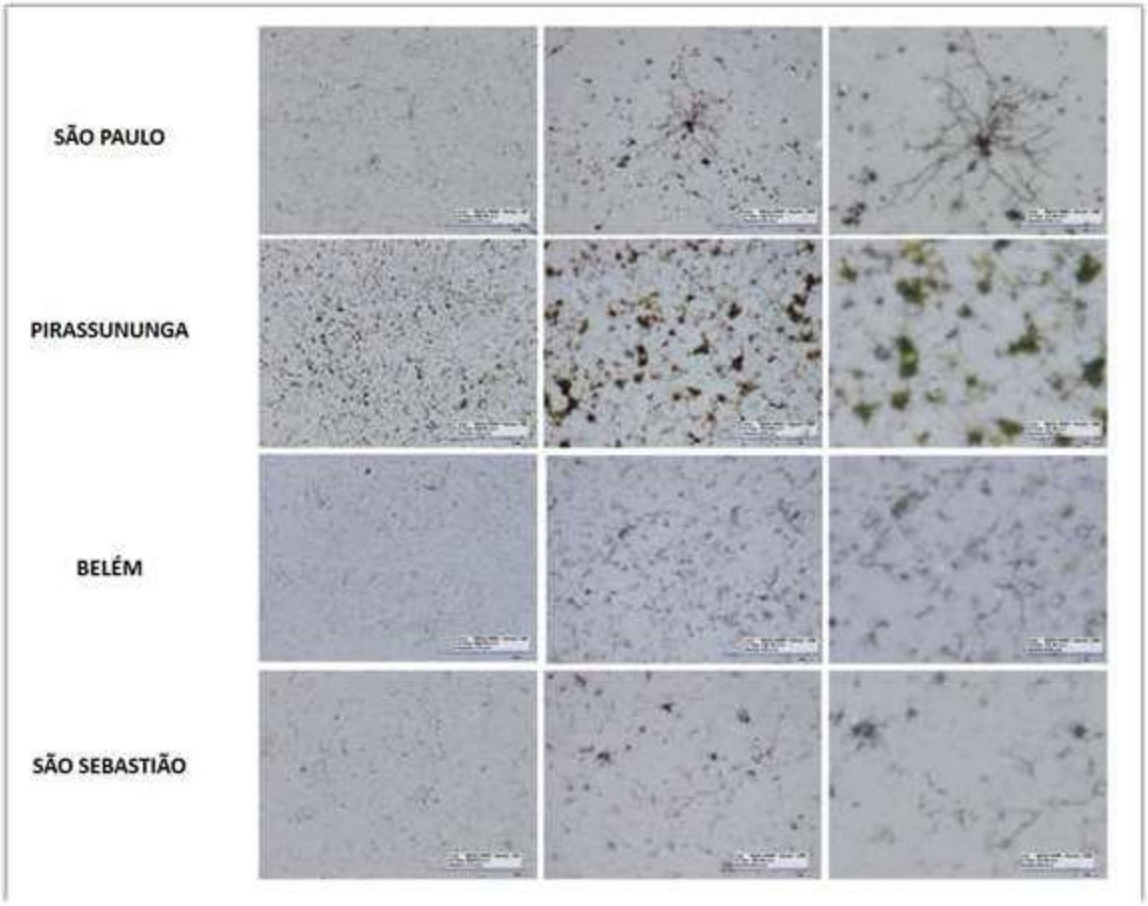
Figura 2 – Registro fotográfico das amostras expostas nas quatro cidades brasileiras



Fonte: Os autores

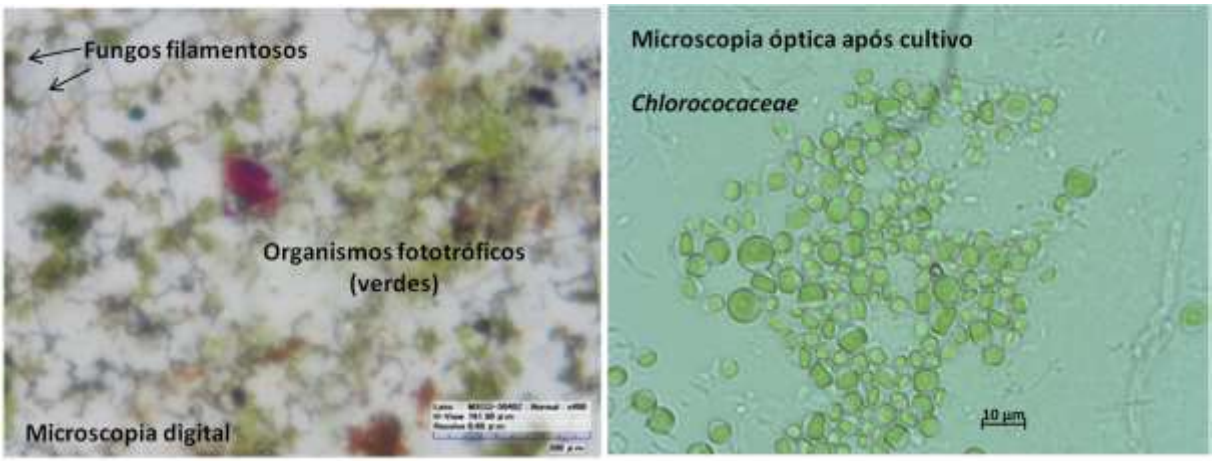
Em Pirassununga foi observada a intensa colonização por organismos fototróficos, que usam luz solar como fonte de energia (Figura 4), além de fungos filamentosos. Nas outras três cidades as amostras apresentaram predominância de colonização por fungos filamentosos e leveduras. Após cultivo em meio de KNOP os fototróficos foram identificados por microscopia óptica (Figura 4). Em todas as cidades alga verde da família *Chlorococcaceae* foi encontrada com maior frequência, sendo que a maior biomassa foi encontrada em Pirassununga, pela análise por microscopia digital da superfície das amostras e por cultivo em meio adequado e presença de luz solar

Figura 3 – Microscopia digital das amostras expostas nas quatro cidades brasileiras



Fonte: Os autores

Figura 4 – Microscopia digital da superfície de amostra exposta em Pirassununga e em maior aumento microscopia óptica após cultivo



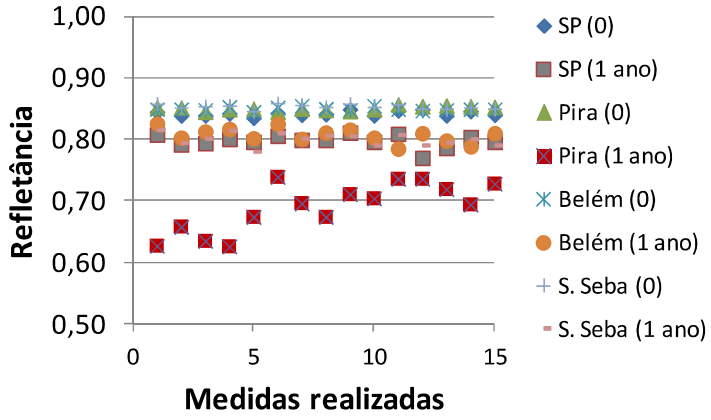
Fonte: Os autores

A Figura 5 apresenta os resultados da refletância antes da exposição e após um ano de exposição nas estações de envelhecimento. A análise de variância dos dados de refletância após um ano de exposição segundo

ANOVA (fator único) indicou diferença altamente significativa quando se considera a estação de envelhecimento na qual as amostras foram expostas (com *p* valor de $3{,}6^{-22}$). Ao ser efetuado o teste de Tukey foi constatado que Pirassununga apresentou menor refletância após um ano de exposição em relação a São Paulo, São Sebastião e Belém. Nestas três cidades não houve diferenças entre elas.

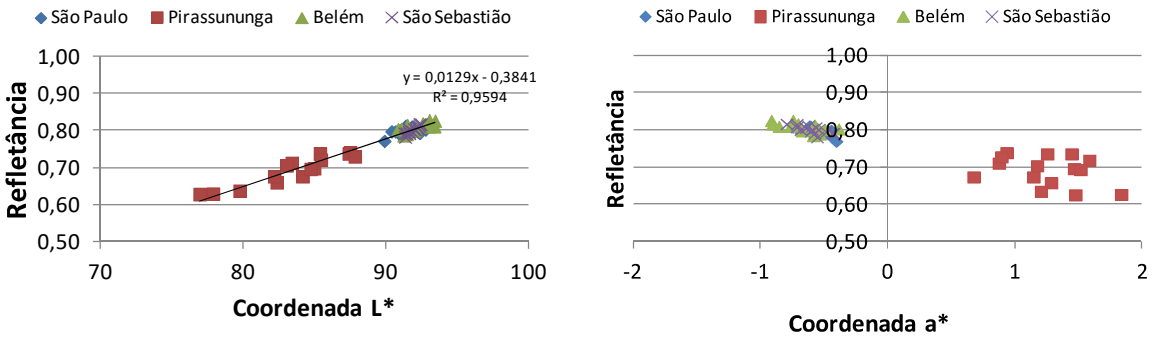
A Figura 6 apresenta gráficos da refletância em função de três coordenadas: L*, a* e b*. A refletância sofreu redução em função da redução da luminosidade (L*), principalmente em Pirassununga. Maior tendência ao vermelho (a* positivo) foi observada em Pirassununga, assim como a maior tendência ao amarelo (b* positivo). A maior intensidade de vermelho pode ser explicada pela ocorrência de terra vermelha característica da região de Pirassununga.

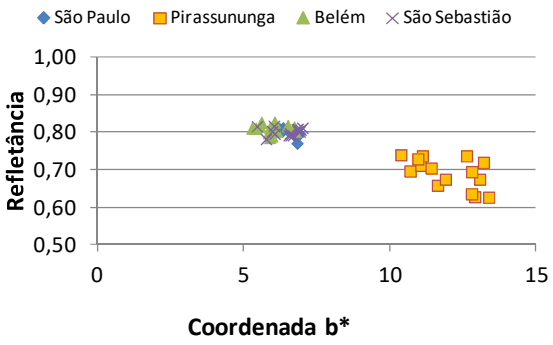
Figura 5 – Refletância das amostras antes e após um ano de exposição



Fonte: Os autores

Figura 6– Refletância em função das coordenada L*, a*, b*

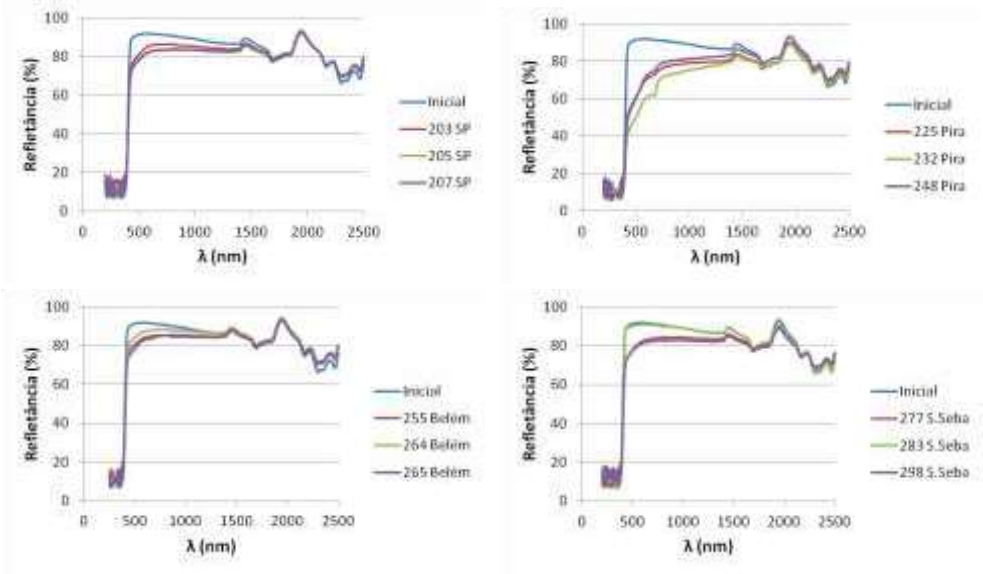




Fonte: Os autores

Os resultados da refletância nos espectros obtidos nos comprimentos de onda de 250 a 2500 nanômetros são apresentados na Figura 7. A maior queda na refletância, na região do visível e até 1500 nanômetros, ocorreu nas amostras expostas em Pirassununga.

Figura 7 – Espectros de refletância em 250 a 2500 nm



Fonte: Os autores

O Quadro 1 apresenta as análises de refletância e emissividade das amostras expostas nas quatro cidades.

Quadro 1 – Refletância, Emitância e SRI iniciais e após um ano de exposição

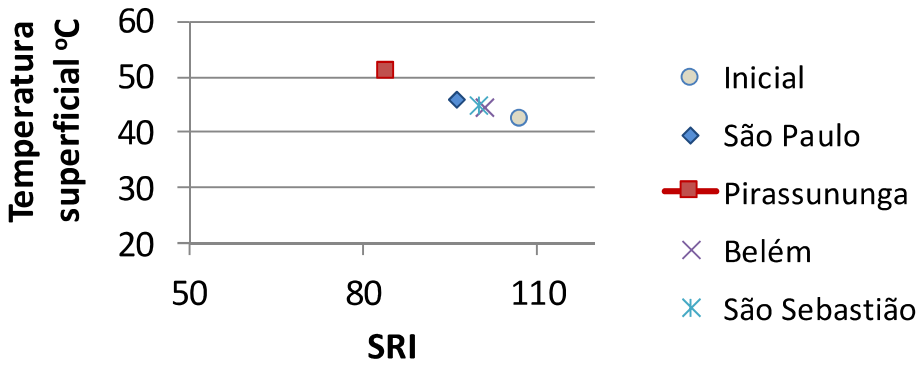
	Refletância		Emitância	
	Inicial	1 ano	Inicial	1 ano
São Paulo, SP	0,85±0,006	0,78±0,017	0,86±0,01	0,86±0,01
Pirassununga, SP	0,85±0,004	0,69±0,040	0,86±0,01	0,86±0,01
Belém, PA	0,85±0,003	0,81±0,012	0,86±0,01	0,86±0,01
São Sebastião, SP	0,85±0,004	0,80±0,010	0,86±0,01	0,88±0,01

Fonte: Os autores

Embora a Análise de variância (fator único) da emitância tenha mostrado que houve variação significativa após um ano de exposição, do ponto de vista do efeito físico ao usuário este fator não traz alterações importantes.

A partir dos valores de refletância e emitância foram calculados o SRI (*solar Reflectance Index*) e a temperatura superficial das amostras expostas nas quatro estações de envelhecimento (Figura 8). Para estes cálculos são fixadas temperatura de 36.85º C e insolação de 1.000 W/m².

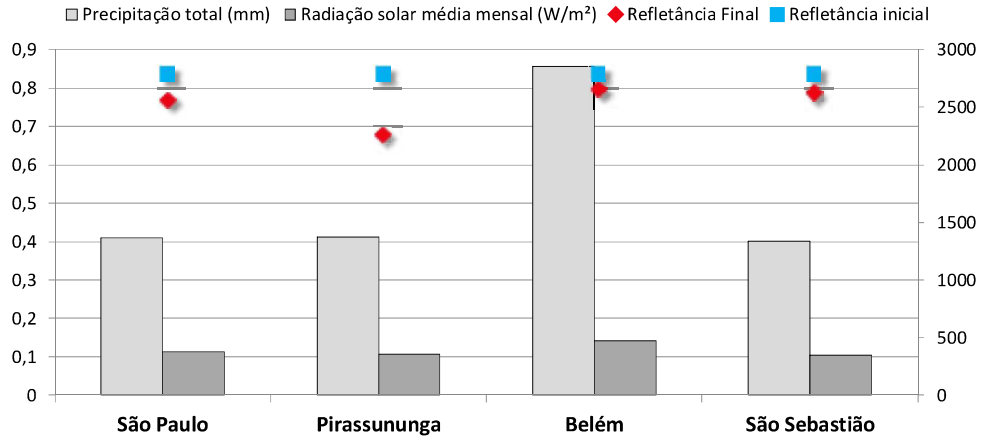
Figura 8 – Temperatura superficial em função do SRI, considerando 36.85º C a temperatura do ar e insolação de 1.000 W/m²



Fonte: Os autores

O Quadro 2 apresenta os dados meteorológicos referentes à temperatura, umidade relativa, precipitação total e radiação solar em São Paulo, SP, Pirassununga, SP, São Sebastião, SP e Belém, PA. Devido a questões logísticas as amostras tiveram a exposição iniciada em diferentes meses de 2016. A Figura 9 apresenta um gráfico da refletância inicial e após um ano de exposição, bem como a precipitação total e radiação solar durante o período exposto. A interpretação dos dados meteorológicos em conjunto com os resultados da colonização microbiana e perda da refletância mostraram que embora a expectativa inicial era de que Belém apresentaria maior grau de colonização e, portanto, menor refletância, esta expectativa não se concretizou no primeiro ano de envelhecimento natural. A intensidade de chuvas em Belém é um fator que pode lavar as amostras e dificultar a adesão inicial dos micro-organismos. Outra causa possível é que em Belém a maior radiação solar pode exercer ação mais germicida. A maior redução da refletância e maior crescimento de microrganismos em Pirassununga sugere que a superfície das amostras pode ter permanecido molhada por maior tempo devido a condensação superficial. Esta hipótese será melhor investigada em trabalhos futuros.

Figura 9 – Refletância inicial e após um ano de exposição, precipitação total e radiação no mesmo período



Fonte: Os autores

Quadro 2 – Dados meteorológicos referentes a temperatura, umidade relativa, precipitação e radiação solar nos locais de exposição das amostras.

São Paulo					
Período	Mês	Temperatura ar (oC)	UR (%)	Precipitação (mm)	Rad Solar (W/m²)
2016	Fev	24	81	119	365
	Mar	23	84	187	369
	Abr	24	76	2	401
	Mai	18	84	112	310
	Jun	15	85	185	317
	Jul	18	74	8	376
	Ago	18	79	61	340
	Set	18	80	32	351
	Out	20	81	113	418
	Nov	21	82	82	383
	Dez	23	76	94	427
2017	Jan	24	82	280	335
	Fev	24	80	92	483
		Média	Média	Total	Média
Resultado após 1 ano		21	80	1366	375

Pirassununga					
Período	Mês	Temperatura ar (oC)	UR (%)	Precipitação (mm)	Rad Solar (W/m²)
2016	Mai	19	76	375	436
	Jun	17	82	128	345
	Jul	18	84	91	350
	Ago	19	74	1	414
	Set	22	72	73	418
	Out	23	67	19	485
	Nov	23	72	61	485
	Dez	24	79	2	475
2017	Jan	24	80	254	489
	Fev	25	85	81	407
	Mar	24	78	38	524
	Abr	22	78	132	478
	Mai	20	78	121	416
		Média	Média	Total	Média
Resultado após 1 ano		22	83	1375	358

Belém					
Período	Mês	Temperatura ar (oC)	UR (%)	Precipitação (mm)	Rad Solar (W/m²)
2016	Jul	27	79	153	454
	Ago	28	78	114	506
	Set	28	77	36	483
	Out	28	76	56	502
	Nov	29	75	38	477
	Dez	27	83	160	393
2017	Jan	26	87	520	336
	Fev	26	87	584	526
	Mar	26	88	460	584
	Abr	27	87	292	477
	Mai	27	83	201	461
	Jun	28	81	194	456
	Jul	28	75	44	481
		Média	Média	Total	Média
Resultado após 1 ano		27	81	2852	472

São Sebastião					
Período	Mês	Temperatura ar (oC)	UR (%)	Precipitação (mm)	Rad Solar (W/m²)
2016	Out	23	83	77	332
	Nov	24	82	186	378
	Dez	27	78	58	426
2017	Jan	28	81	254	350
	Fev	28	77	73	482
	Mar	25	83	359	376
	Abr	24	84	106	303
	Mai	22	85	61	270
	Jun	22	82	30	277
	Jul	21	79	12	315
	Ago	20	81	35	279
	Set	23	80	12	392
	Out	23	81	77	313
		Média	Média	Total	Média
Resultado após 1 ano		24	81	1338	346

Fonte: Os autores

5 CONCLUSÕES

As condições ambientais, nas quais as amostras foram expostas, tiveram papel essencial na redução da refletância após um ano de envelhecimento natural. Para esta tinta, no primeiro ano de exposição, a maior redução da refletância foi encontrada em Pirassununga, SP e foi estatisticamente significativa em relação às outras cidades, sendo causada pela deposição de partículas de terra vermelha, somada a intensa colonização de algas da família *Chlorococcacea*. Os fungos filamentosos, leveduras e outros materiais particulados contribuíram para redução da refletância de forma homogênea nas outras três cidades. Ressalta-se a necessidade de acompanhar a avaliação da refletância por pelo menos três anos de envelhecimento natural. Estudos de durabilidade da refletância são fundamentais para a regulamentação das superfícies frias no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Arkema, Dow, Brasilit-Saint Gobain e Eternit pelo apoio a esta pesquisa. Ao Prof. Holmer Savastano Junior, e Prof. Celso Eduardo Lins de Oliveira (GREEN) da Faculdade de Zootecnica e Engenharia de Alimentos da USP, respectivamente, pela exposição das amostras e dados meteorológicos em Pirassununga. Ao Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) pela complementação de dados meteorológicos em Pirassununga. Ao Prof. Amauri Pereira de Oliveira do Laboratório de Micrometeorologia (LabMicro) do IAG da USP pelos dados meteorológicos de São Paulo. Ao Centro de Biologia Marinha da USP pela exposição de amostras e fornecimento de dados meteorológicos do CEBIMAR. Ao Lucas Nascimento de Lima da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, FATEC-SP pelo tratamento de dados.

REFERÊNCIAS

AKIBARI, H & KOLOKOTSA. Three decades of heat urban islands and mitigation technology research. **Energy and Buildings**, v.133, p 834-842, 2016.

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, Pennsylvania, 2009.

_____. **C1371 – 04a**: Test method for determination of emittance of materials near room temperature using portable emissometers. Pennsylvania, 2010.

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

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

KOLOKOTSA, D.D., GIANNARIAKISA, G, GOBAKISA, K., GIANNARAKISB,G., SYNEFFA, A., SANTAMOURIS, M.. **Sustainable Cities and Society**, v. 37, p. 466-474.

LEVINSON, R; et al. Methods of creating solar-reflective nonwhite surfaces and their implication to residential roofing materials**. Solar Energy Materials and Solar Cells**, v.91 (4), 304-314, 2007.

LEVINSON, R., BERDAHL, P., ASEFAWBERHE, A.; AKBARI, H. Effects of soiling and cleaning on the reflectance and solar heat gain of a light-colored roofing membrane, **Atmospheric Environment**, v. 39, p. 7807–7824, 2005.

SYNNEFA, A., SANTAMOURIS, M. E AKBARI, H. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions, **Energy and Buildings**, v. 39, p. 1167–1174, 2007.