UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

LORENA SANTOS BEZERRA COUTO

ALTA II

UMA ALTERNATIVA AOS MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE REFLETÂNCIA SOLAR PARA TELHAS
CERÂMICAS E DE FIBROCIMENTO

SÃO CARLOS

2019

LORENA SANTOS BEZERRA COUTO

VERSÃO CORRIGIDA

ALTA II

UMA ALTERNATIVA AOS MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE REFLETÂNCIA SOLAR PARA TELHAS
CERÂMICAS E DE FIBROCIMENTO

Dissertação apresentada ao Instituto de
Arquitetura e Urbanismo da Universidade de
São Paulo como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre pelo Programa
de Pós-graduação em Arquitetura e
Urbanismo.

Área de Concentração:
Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia

Orientadora:
Profª. Dra. Kelen Almeida Dornelles

SÃO CARLOS

2019

AUTORIZO A REPRODUCAO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRONICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto de Arquitetura e Urbanismo
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Ca	<p>Couto, Lorena Santos Bezerra</p> <p>ALTA II: Uma alternativa aos métodos de medição de refletância solar para telhas cerâmicas e de fibrocimento. / Lorena Santos Bezerra Couto; orientadora Kelen Dornelles. -- São Carlos, 2019. 167 p.</p> <p>Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia -- Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2019.</p> <p>1. Refletância solar. 2. Telhas. 3. ALTA II. 4. Método de medição. I. Dornelles, Kelen, orient. II. Título.</p>
----	---

Bibliotecária responsável pela estrutura de catalogação da publicação de acordo com a AACR2:
Brianda de Oliveira Ordonho Sígolo - CRB - 8/8229

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Lorena Santos Bezerra Couto**

Título da dissertação: **"ALTA II - Uma alternativa aos métodos de medição de refletância solar para telhas cerâmicas e de fibrocimento"**

Data da defesa: **12/12/2019**

Orientador: **Profa. Dra. Kelen Almeida Dornelles**

Comissão Julgadora:

Resultado:

Profa. Dra. Kelen Almeida Dornelles
(IAU/USP)

Não votante

Prof. Dr. Victor Figueiredo Roriz
(IAU/USP)

APROVADA

Prof. Dr. Deivis Luis Marinoski
(UFSC)

APROVADA

Prof. Dr. Érico Maziero
(UFSCar)

APROVADA

Coordenador e Presidente da Comissão de Pós-Graduação do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo: **Prof. Dr. Tomás Antonio Moreira.**

EPÍGRAFE

“Vou mostrando como sou, e vou
sendo como posso. Jogando meu
corpo no mundo, andando por
todos os cantos. E pela lei natural
dos encontros, eu deixo e recebo
um tanto”

(Morares Moreira – Os Novos
Baianos)

AGRADECIMENTOS

Agradeço e ofereço esta dissertação à minha família, meus pais Giselle e Maurício Irajá, e meu irmão Maurício, primeiros incentivadores e maiores espectadores das minhas vitórias, meu suporte e apoio para conquistar novos territórios e sonhar novos sonhos quando os antigos se realizam ou quando a vida pede que eles sejam redesenhados. Vocês foram a cor que coloriu meus desenhos de sonhos em preto e branco.

Obrigada ao apoio de todos os amigos de Teresina e pelos abraços apertados no retorno, em especial à Amanda Moreira, por não ter me deixado desanimar e ter acreditado na pesquisadora que existe em mim quando nem eu mesma acreditei.

A todos os amigos que fiz em São Carlos, vocês foram essenciais. Me ajudaram a deixar a vida de pós-graduação longe de casa, que já é duplamente difícil, muito mais leve e divertida. Meninos da Faixa de Gaza, vocês se tornaram minha família. Amigos do dia a dia do IAU, vocês são os latifundiários do meu coração. Em especial agradeço à Marina Lages e à Michele Rossi, por terem sido um misto de amigas, psicólogas, companheiras de aventuras e viagens. Por terem sido irmãs!

À minha orientadora Kelen Dornelles, por ter sido inspiração de mulher forte, inteligente e determinada! Obrigada pelos ensinamentos, foi com você que comecei a aprender a ser pesquisadora. E obrigada pela doçura e carinho com que você me conduziu neste processo, pelas conversas e incentivos. Me senti amiga e não só aluna.

Aos técnicos do Laboratório de Conforto Ambiental e Laboratório de Construção Civil da USP, agradeço especialmente ao Pedro Mattia, Paulo e Dibo. Obrigada pelos risos e pela disponibilidade em me ajudar a fazer sempre o melhor.

À Flávia e à Mara, muito obrigada pelo carinho e doçura! Vocês são especiais nas vidas de todos nós pós-graduandos do IAU-USP.

Obrigada a Deus e todos os astros e forças que se moveram, me desestabilizaram e assim permitiram meu crescimento. Foi quando me vi sem chão que aprendi a voar. E nestes últimos anos, meus voos têm sido cada vez mais altos.

Por tudo e por todos, obrigada.

RESUMO

COUTO, Lorena S. B. **ALTA II**: Uma alternativa aos métodos de medição de refletância solar para telhas cerâmicas e de fibrocimento. 2019. 84 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) – Programa de Pós-Graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2019.

As peculiaridades climáticas do lugar onde uma edificação está inserida são de extrema importância para alcançar melhores condições de conforto aos usuários e menor impacto ambiental. Com relação a estes aspectos, o presente trabalho apresenta dados medidos de refletância solar de telhas para cobertura de edificações. Para auxiliar profissionais e pesquisadores da área na obtenção destes dados tão pouco divulgados pelos fabricantes, é proposto nesta pesquisa um método de medição com o equipamento espectrômetro portátil ALTA II como alternativa eficiente e confiável na medição da refletância solar de telhas cerâmicas e de fibrocimento se comparado aos métodos normatizados, como o espectrofotômetro com esfera integradora. Para confirmação desta hipótese, a metodologia foi dividida em quatro etapas: medição da refletância com espectrofotômetro, refletância com o espectrômetro ALTA II, medição dos parâmetros de cor através do uso de um colorímetro, e finalmente medições de temperaturas superficiais com termômetro de infravermelho e câmera termográfica. Os dados foram, então, correlacionados e cálculos estatísticos foram realizados para auxiliar a análise dos resultados. A partir dos resultados alcançados e das análises estatísticas, foi possível relacionar o aumento da refletância solar com a diminuição da temperatura superficial máxima. Foi também observada a relação entre os parâmetros de cor, neste caso analisados pelo padrão HSL, onde notou-se que a luminosidade da cor das telhas aumentou da mesma forma que a refletância solar, com coeficiente de determinação de 0,87. Em relação as medições com o espectrômetro portátil ALTA II, foi ainda posto em prova o método adotado por algumas pesquisas, utilizando um aparato preto, para identificar o quanto a ausência deste aparato interfere no resultado final das medições. Observou-se que para as telhas aqui analisadas, a ausência deste aparato, apesar de alterar o resultado a maior diferença entre os valores obtidos foi de 4,4%, pouco influencia a análise de desempenho térmico da edificação, visto que os valores medidos com ou sem o aparato preto são bem próximos. Por fim, considerou-se os dados medidos no ALTA II e no espectrofotômetro, que apresentaram correlação R^2 de 0,96, indicando que os dados obtidos com o espectrômetro portátil são confiáveis. Considerando-se os dados obtidos nesta pesquisa, constatou-se que o ALTA II é um equipamento confiável para a medição de refletância solar de telhas cerâmicas e de fibrocimento, podendo complementar os métodos de medição existentes e normatizados.

Palavras-chave: Refletância, Método de medição, Espectrômetro ALTA II, Telha cerâmica, Telha de fibrocimento.

ABSTRACT

COUTO, Lorena S. B. **ALTA II**: An alternative to solar reflectance measurement methods for ceramic tiles and fiber cement tiles. 2019. 84 f. Dissertation (Master in Architecture, Urbanism and Technology) – Institute of Architecture and Urbanism of University of São Paulo. São Carlos, 2019.

The climatic peculiarities of the place where a building is inserted are extremely important to achieve better conditions of thermal comfort and less environmental impact. In relation to these aspects, the present work presents measured data of solar reflectance of roof tiles to cover buildings. In order to assist professionals and researchers in obtaining these data so little disclosed by the manufacturers, it is proposed in this research a measurement method with the portable spectrometer ALTA II as an efficient and reliable alternative in the measurement of solar reflectance of ceramic tiles and fiber cement when compared to standardized methods, such as the spectrophotometer with integrating sphere. To confirm this hypothesis, the methodology was divided into four steps: measurement of the reflectance with spectrophotometer, reflectance with the ALTA II spectrometer, measurement of color parameters through the use of a colorimeter, and finally measurements of surface temperatures with infrared thermometer and thermographic camera. The data were correlated and statistical calculations were performed to assist in the analysis of the results. From the results achieved and the statistical analysis, it was possible to relate the increase in solar reflectance to the decrease in maximum surface temperature. It was also observed the relationship between the color parameters, in this case analyzed by the HSL standard, where it was noted that the luminosity of the color of the tiles increased in the same way as the solar reflectance, with a determination coefficient of 0.87. Regarding the measurements with the portable spectrometer ALTA II, the method adopted by some studies, using a black apparatus, was also tested to identify how much the absence of this apparatus interferes in the final result of the measurements. It was observed that for the roof tiles analyzed here, the absence of this apparatus, despite altering the result, the greatest difference between the values obtained was 4.4%, does not influence the analysis of thermal performance of the building, since the values measured with or without the black apparatus are very close. Finally, it was considered the data measured in ALTA II and in the spectrophotometer, which showed a R^2 correlation of 0.96, indicating that the data obtained with the portable spectrometer are reliable. Considering the data obtained in this research, it was found that ALTA II is a reliable equipment for the measurement of solar reflectance of ceramic tiles and fiber cement, and can complement the existing and standardized measurement methods.

Key-words: Reflectance, Measurement method, ALTA II spectrometer, Ceramic tile, Fiber cement tile.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro Eletromagnético	28
Figura 2 - Formas de incidência da radiação solar nas superfícies.	30
Figura 3 - Incidência da radiação solar no globo terrestre.	30
Figura 4 - Distribuição espectral da energia solar ao nível do mar (radiação global) e acima da atmosfera terrestre (extraterrestre) e os principais gases absorventes da radiação solar.	31
Figura 5 - Trocas de calor em superfície opaca.	33
Figura 6 - Esquema de funcionamento do espectrofotômetro para captar a reflexão difusa.	40
Figura 7 - Esquema de suporte do Pirânometro.	42
Figura 8 - Espectrômetro Portátil ALTA II.	51
Figura 9 - Comparação das refletâncias obtidas em cada equipamento.	55
Figura 10 - Fluxograma do método de pesquisa.	57
Figura 11 - Furadeira com broca serra-copo utilizados.	62
Figura 12 – Serra circular do LCC utilizada.	62
Figura 13 - Processo de corte com furadeira (à esquerda) e serra circular (à direita).	62
Figura 14 - Amostras de telhas cerâmicas esmaltadas.	63
Figura 15 - Amostras de telhas cerâmicas resinadas.	63
Figura 16 - Amostra de telhas cerâmicas naturais.	63
Figura 17 – Corte com serra manual no LCC.	64
Figura 18 - Amostra de telhas fibrocimento.	64
Figura 19 - Aparato em tecido com ofício para encaixe do ALTA II.	67
Figura 20 - Imagem do céu no dia da medição com o espectrômetro ALTA II.	68
Figura 21 - Colorímetro Colorium 2.	68
Figura 22 - Parâmetros de cor CIELCH.	69
Figura 23 - Mesa coberta por lã de vidro, com telhas expostas ao sol.	70
Figura 24 – Termômetro de infravermelho Testo 830-T1.	71
Figura 25 - Câmera termográfica Testo 870	71
Figura 26 - Pontos para medição de temperaturas superficiais em telhas Americanas, Romanas, Portuguesas e Italianas.	72
Figura 27 - Pontos para medição de temperaturas superficiais em telhas Paulistinhas.	72
Figura 28 - Pontos para medição de temperaturas superficiais em telhas de cumeeira.	72
Figura 29 - Pontos para medição de temperaturas superficiais em telhas Francesas.	72
Figura 30 - Pontos para medição de temperaturas superficiais em telhas de fibrocimento.	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas).....	44
Quadro 2- Métodos de medição de propriedades térmicas de materiais e elementos construtivos.	45
Quadro 3 - Transmitância térmica de paredes externas.	46
Quadro 4 - Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica - M.	46
Quadro 5 - Materiais Frios segundo o CBSF.....	48
Quadro 6 - Códigos telhas cerâmicas	57
Quadro 7 - Códigos e relação de telhas cerâmicas analisadas.	58
Quadro 8 - Telhas selecionadas para a o Grupo 01.....	59
Quadro 9 - Telhas selecionadas para o Grupo 02.	60
Quadro 10 - Códigos e relação de telhas de fibrocimento analisadas.	61
Quadro 11 - Telhas selecionadas para o Grupo 03.	61
Quadro 12- Refletância solar ajustada ao espectro solar padrão de todas as amostras.	85
Quadro 13 - Refletância solar das telhas Natural e Resinada e respectivos fabricantes.	89
Quadro 14 - Imagens ampliadas da superfície das telhas.	91
Quadro 15 - Refletância telhas de fibrocimento e fabricantes.	94
Quadro 16 - Refletância telhas de fibrocimento, telhas cerâmicas naturais e resinadas.	95
Quadro 17 - Dados por comprimento de onda e refletância solar total obtidos a partir do ALTA II.....	96
Quadro 18 - Valores de refletância obtidos a partir do ALTA II.....	106
Quadro 19 - Valores de refletância medidos no ALTA II e no espectrofotômetro.....	115
Quadro 20 - Parâmetros de cor e refletância solar das telhas.	119
Quadro 21 - Dados da estação meteorológica LCA-USP.	120
Quadro 22 - Dados meteorológicos dia 04.07.2018.....	121
Quadro 23 - Dados meteorológicos dia 05.07.2018.....	121
Quadro 24 - Temperaturas superficiais mínima, máxima e média do Grupo 01.	127
Quadro 25 - Temperaturas superficiais mínima, máxima e média do Grupo 02.	128
Quadro 26 - Dados da estação meteorológica LCA-USP.	129
Quadro 27 - Dados meteorológicos dia 11.06.2019.....	129
Quadro 28 - Temperaturas máxima, mínima e média das telhas de fibrocimento.	130
Quadro 29 - Temperaturas superficiais máximas e mínimas de telhas com maiores e menores temperaturas máximas de cada grupo de medição.	132
Quadro 30 - Imagens termográficas GRUPO 01.....	134
Quadro 31 - Imagens termográficas GRUPO 02.....	140
Quadro 32 - Imagens termográficas telhas de fibrocimento.	146
Quadro 33 - Diferenças entre refletâncias e temperaturas superficiais entre telhas esmaltadas.	150
Quadro 34 - Diferenças entre refletâncias e temperaturas superficiais entre telhas de fibrocimento.	150

Quadro 35 - Médias de refletância por tipo e acabamento das telhas.	151
Quadro 36 - Valores de refletância solar medidas com espectrofotômetro e ALTA II, e a diferença entre elas.	152
Quadro 37 - Temperaturas medidas - GRUPO 01.	164
Quadro 38 - Temperaturas medidas - GRUPO 02.	165
Quadro 39 - Temperaturas medidas - GRUPO 03.	166

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Refletância solar telha TCN01.	75
Gráfico 2 - Refletância solar telha TCN02.	75
Gráfico 3 - Refletância solar telha TCN03.	76
Gráfico 4 - Refletância solar telha TCN04.	76
Gráfico 5 - Refletância solar telha TCN05.	76
Gráfico 6 - Refletância solar telha TCN06.	76
Gráfico 7 - Refletância solar telha TCN07.	77
Gráfico 8 - Refletância solar telha TCN08.	77
Gráfico 9 - Refletância solar telha TCN09.	77
Gráfico 10 - Refletância solar telha TCN10.	77
Gráfico 11 - Refletância solar telha TCN11.	78
Gráfico 12 - Refletância solar telha TCR01.	78
Gráfico 13 - Refletância solar telha TCR02.	78
Gráfico 14 - Refletância solar telha TCR03.	78
Gráfico 15 - Refletância solar telha TCR04.	79
Gráfico 16 - Refletância solar telha TCR05.	79
Gráfico 17 - Refletância solar telha TCR06.	79
Gráfico 18 - Refletância solar telha TCR07.	79
Gráfico 19 - Refletância solar telha TCR08.	80
Gráfico 20 - Refletância solar telha TCR09.	80
Gráfico 21 - Refletância solar telha TCR10.	80
Gráfico 22 - Refletância solar telha TCE01.	80
Gráfico 23 - Refletância solar telha TCE02.	81
Gráfico 24 - Refletância solar telha TCE03.	81
Gráfico 25 - Refletância solar telha TCE04.	81
Gráfico 26 - Refletância solar telha TCE05.	81
Gráfico 27 - Refletância solar telha TCE06.	82
Gráfico 28 - Refletância solar telha TCE07.	82
Gráfico 29 - Refletância solar telha TCE08.	82
Gráfico 30 - Refletância solar telha TCE09.	82
Gráfico 31 - Refletância solar telha TCE10.	83
Gráfico 32 - Refletância solar telha TFC01.	83
Gráfico 33 - Refletância solar telha TFC02.	83
Gráfico 34 - Refletância solar telha TFC03.	83
Gráfico 35 - Refletância solar telha TFC04.	84
Gráfico 36 - Refletância solar telha TFC05.	84
Gráfico 37 - Refletância solar telha TFC06.	84

Gráfico 38 - Refletância solar telha TFC07 – Conforme medido no espectrofotômetro	84
Gráfico 39 - Refletância solar telha TFC07 – Com correção de valores máximo e mínimo.	85
Gráfico 40 - Refletância solar telha TFC08.	85
Gráfico 41 - Refletância espectral das Telhas Cerâmicas Esmaltadas.	87
Gráfico 42 - Refletância espectral das Telhas Cerâmicas Naturais.	88
Gráfico 43 - Refletância espectral das Telhas Cerâmicas Resinadas.....	88
Gráfico 44 - Refletância espectral das telhas cerâmicas naturais e resinadas.....	89
Gráfico 45 - Refletância espectral das telhas naturais e resinadas, por fabricante.	90
Gráfico 46 – Refletância espectral das Telhas Naturais por fabricante.	92
Gráfico 47 - Refletância espectral das Telhas Resinadas por fabricante.	93
Gráfico 48 - Refletância espectral das Telhas de Fibrocimento.....	93
Gráfico 49 – Refletância espectral das Telhas de Fibrocimento do fabricante F.	94
Gráfico 50 - Refletâncias telhas cerâmicas Resinadas, Naturais e telhas de Fibrocimento.	95
Gráfico 51 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN01.	99
Gráfico 52 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN02	99
Gráfico 53 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN03	99
Gráfico 54 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN04	99
Gráfico 57 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN07	99
Gráfico 58 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN08	99
Gráfico 59 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN09	100
Gráfico 60 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN10	100
Gráfico 61 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN11	100
Gráfico 62 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR01.....	100
Gráfico 63 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR02.....	100
Gráfico 64 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR03.....	101
Gráfico 65 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR04.....	101
Gráfico 66 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR05.....	101
Gráfico 67 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR06.....	101
Gráfico 68 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR07.....	101
Gráfico 69 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR08.....	101
Gráfico 70 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR09.....	102
Gráfico 71 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR10.....	102
Gráfico 72 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE01	102
Gráfico 73 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE02	102
Gráfico 74 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE03	102
Gráfico 75 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE04.....	102
Gráfico 76 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE05	103
Gráfico 77 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE06	103

Gráfico 78 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE07	103
Gráfico 79 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE08	103
Gráfico 80 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE09	103
Gráfico 81 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE10	103
Gráfico 82 - Comparação entre dados medidos com ALTA II - TFC01.....	104
Gráfico 83 - Comparação entre dados medidos com ALTA II - TFC05.....	104
Gráfico 84 - Comparação entre dados medidos com ALTA II – TCE10.....	105
Gráfico 85 - Comparação entre dados medidos com ALTA II - TCR01.	105
Gráfico 86 - Comparação entre dados medidos com ALTA II - TCR07.	105
Gráfico 87 - Comparação entre dados medidos com ALTA II - TCN07.	105
Gráfico 88 - Comparação entre dados medidos com ALTA II - TCN08.	105
Gráfico 89 - Correlação refletância medida com ALTA II com aparato e se aparato em ambiente externo.....	106
Gráfico 90 – Correlação refletância medida com ALTA II com aparato e se aparato em ambiente interno.	106
Gráfico 91 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN01.....	107
Gráfico 92 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN02.....	107
Gráfico 93 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN03.....	107
Gráfico 94 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN04.....	107
Gráfico 95 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN05.....	108
Gráfico 96 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN06.....	108
Gráfico 97 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN07.....	108
Gráfico 98 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN08.....	108
Gráfico 99 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN09.....	109
Gráfico 100 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro – TCN10.	109
Gráfico 101 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro – TCN11.	109
Gráfico 106 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR05.	109
Gráfico 107 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR06.	109
Gráfico 102 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR01.	110
Gráfico 103 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR02.	110
Gráfico 104 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR03.	110
Gráfico 105 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR04.	110
Gráfico 108 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR07.	110
Gráfico 109 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR08.	110
Gráfico 110 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR09.	111
Gráfico 111 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro – TCR10.	111
Gráfico 112 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE01.	111
Gráfico 113 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE02.	111

Gráfico 118 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR05.	111
Gráfico 119 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR06.	111
Gráfico 114 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE03.	112
Gráfico 115 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE04.	112
Gráfico 116 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE05.	112
Gráfico 117 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE06.	112
Gráfico 120 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE07.	112
Gráfico 121 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE08.	112
Gráfico 122 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE09.	113
Gráfico 123 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE10.	113
Gráfico 124 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TFC01.	113
Gráfico 125 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TFC02.	113
Gráfico 126 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TFC03.	113
Gráfico 127 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TFC04.	113
Gráfico 128 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TFC05.	114
Gráfico 129 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TFC06.	114
Gráfico 130 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TFC07.	114
Gráfico 131 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TFC08.	114
Gráfico 132 - Correlação refletâncias medidas com ALTA II e espectrofotômetro - NATURAIS.	116
Gráfico 133 - Correlação refletâncias medidas com ALTA II e espectrofotômetro - RESINADAS.	116
Gráfico 134 - Correlação refletâncias medidas com ALTA II e espectrofotômetro - ESMALTADAS.	116
Gráfico 135 - Correlação refletâncias medidas com ALTA II e espectrofotômetro - FIBROCIMENTO.	116
Gráfico 136 - Correlação refletâncias medidas com ALTA II e por regressão - NATURAIS.	117
Gráfico 137 - Correlação refletâncias medidas com ALTA II e por regressão - RESINADAS.	117
Gráfico 138 - Correlação refletâncias medidas com ALTA II e por regressão - ESMALTADAS.	118
Gráfico 139 - Correlação refletâncias medidas com ALTA II e por regressão - FIBROCIMENTO.	118
Gráfico 140 - Correlação entre Luminosidade de Refletância Solar.	120
Gráfico 141- Variação de temperatura superficial GRUPO 01.	122
Gráfico 142 - Variação de temperatura superficial telhas com acabamento NATURAL do GRUPO 01.	123
Gráfico 143 - Variação de temperatura superficial telhas com acabamento RESINADO do GRUPO 01	124
Gráfico 144 - Variação de temperatura superficial telhas com acabamento ESMALTADO do GRUPO 01	124
Gráfico 145 - Variação temperatura superficial GRUPO 02.	125
Gráfico 146 - Variação de temperatura superficial telhas com acabamento NATURAL do GRUPO 02.	126
Gráfico 147 - Variação de temperatura superficial telhas com acabamento RESINADO do GRUPO 02.	126
Gráfico 148 - Variação de temperatura superficial telhas de fibrocimento.	131

Gráfico 149 - Telhas com maior e menor temperaturas máximas.	132
Gráfico 150 - Correlação entre refletância solar e temperatura superficial máxima das telhas.	152

SUMÁRIO

EPÍGRAFE	6
AGRADECIMENTOS	8
RESUMO	10
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE QUADROS	13
LISTA DE GRÁFICOS	15
SUMÁRIO	20
INTRODUÇÃO	22
OBJETIVO	27
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
REFERENCIAL TEÓRICO	28
1. RADIAÇÃO SOLAR	28
1.1. ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO E ESPECTRO SOLAR	28
1.2. ESPECTRO SOLAR PADRÃO E A ASTM G-173	30
1.3. RADIAÇÃO SOLAR E SUPERFÍCIES OPACAS	32
2. REFLETÂNCIA SOLAR E MÉTODO DE MEDIÇÃO	33
2.1. REFLETÂNCIA SOLAR E SUPERFÍCIES OPACAS	33
2.2. NORMAS E INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	38
2.2.1. NORMAS AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM)	39
2.2.2. ASTM E903-12 – ESPECTROFOTÔMETRO COM ESFERA INTEGRADORA	39
2.2.3. ASTM E1918-06 – PIRANÔMETRO	41
2.2.4. ASTM C1549 – REFLETÔMETRO	43
2.3. NO BRASIL	43
2.3.1. NBR 15220-05	43
2.3.2. NBR 15575	44
2.3.3. INMETRO	46
2.3.4. CONSÓRCIO BRASILEIRO DE SUPERFÍCIES FRIAS (CBSF)	47
2.4. CONSELHOS INTERNACIONAIS	48
2.4.1. COOL ROOF RATING COUNCIL (CRRC)	48
2.4.2. EUROPEAN COOL ROOFS COUNCIL (ECRC)	49
3. COBERTURAS	49
4. ALTA II	51
4.1. PESQUISAS REALIZADAS COM O ALTA II	53

MATERIAIS E MÉTODOS	57
5. CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	57
5.1. TELHAS CERÂMICAS	57
5.2. TELHAS DE FIBROCIMENTO	60
5.3. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	61
6. MEDIÇÃO DE REFLETÂNCIA SOLAR COM ESPECTROFOTÔMETRO	64
7. MEDIÇÃO DE REFLETÂNCIA SOLAR COM ESPECTRÔMETRO ALTA II	66
8. MEDIÇÃO DE PARÂMETROS DE COR	68
9. MEDIÇÃO DE TEMPERATURAS SUPERFICIAIS	70
10. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	73
RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
11. REFLETÂNCIAS MEDIDAS COM ESPECTROFOTÔMETRO	75
12. REFLETÂNCIAS MEDIDAS COM ESPECTRÔMETRO ALTA II	96
12.1. MEDIÇÕES COM APARATO ESCURO	96
12.2. MEDIÇÕES SEM APARATO ESCURO	98
12.3. COMPARAÇÃO DE REFLETÂNCIA OBTIDA PELO ALTA II E PELO ESPECTROFOTÔMETRO	107
13. PARÂMETROS DE COR	118
14. TEMPERATURAS SUPERFICIAIS	120
14.1. TELHAS CERÂMICAS	120
14.2. TELHAS DE FIBROCIMENTO	129
14.3. COMPARAÇÕES ENTRE TELHAS CERÂMICAS E DE FIBROCIMENTO	131
15. IMAGENS TERMOGRÁFICAS	133
15.1. TELHAS CERÂMICAS	133
15.2. TELHAS DE FIBROCIMENTO	145
16. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	149
CONCLUSÕES	154
RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	156
REFERÊNCIAS	157
APÊNDICE A	164
APÊNDICE B	165
APÊNDICE C	166

INTRODUÇÃO

A relação da edificação com o meio em que está inserida e com seus usuários é considerada fator primordial ao processo de projeto desde a antiguidade. Entretanto, com o passar dos anos, foi deixada de lado, e com a evolução dos materiais e das formas de construir durante a revolução industrial e o novo estilo Internacional que surgiu no período entre as duas grandes guerras mundiais, alguns arquitetos acabaram por apenas replicar um estilo empregado ao redor do mundo, mesmo não levando em consideração as diferenças climáticas entre eles.

Curiosamente, foi quando a função se tornou mais importante que os arquitetos em geral deixaram de lado o conforto do usuário, passando a replicar modelos feitos primorosamente, por exemplo, por Le Corbusier e Mies van der Rohe. Os panos de vidro deste último viraram verdadeiros ícones para edifícios de escritórios, o que em diversas situações causou aumento nos gastos energéticos para atingir níveis satisfatórios de conforto no interior dessas edificações, consequência do desprezo às características específicas de cada clima (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Foi então com a crise do petróleo em 1972 que o interesse pela Arquitetura Bioclimática e a preocupação com o desempenho térmico e energético das edificações voltou a aumentar e o tema foi retomado nas discussões, projetos, publicações e congressos da área (CUNHA, 2006). Isto se deu por conta do grande aumento na produção de eletricidade para suprir as novas necessidades dos indivíduos, cada dia mais dependentes de maneiras artificiais de atingir conforto, o que terminou por causar grande aumento do impacto ambiental gerado por essa demanda de energia (CUNHA, 2006).

Os materiais que compõem o envelope construtivo são de grande importância para o desempenho térmico das edificações, pois o calor por eles absorvido será transmitido tanto de volta para a atmosfera quanto para seu interior (SANTAMOURIS; SYNNEFA; KARLESSI, 2011). Existem diversas pesquisas e simulações computacionais que mostram a possível economia de energia que pode ser gerada a partir do uso de materiais que refletem maior quantidade de radiação solar. Um exemplo foi o estudo realizado no *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL), localizado no estado da Califórnia nos Estados Unidos, que analisa essa possibilidade em onze regiões metropolitanas dos Estados Unidos e apresenta que, para essas regiões a economia em contas de energia poderia chegar a 194 milhões de dólares, e fazendo uma proporção para

considerar o país inteiro, é apresentada possível redução entre 680 e 850 milhões de dólares (KONOPACKI; AKBARI; GARTLAND, 1997).

Estudos atuais também apresentam possibilidades de melhoria da eficiência energética de edificações, assim como considerações sobre os novos materiais disponíveis no mercado (ANTING et al., 2017; ALCHAPAR; CORREA, 2016; FERRARI et al., 2016; PAOLINI et al., 2014; SANTAMOURIS; KOLOKOTSA, 2013).

Considerando-se a escala urbana, outro importante impacto ambiental causado pelas edificações, quando não há a preocupação com o local em que estará inserida, é a formação de ilhas urbanas de calor (UHI – *Urban Heat Islands*). As UHI são causadas pela expansão desordenada das cidades, a alta densidade de edifícios e estruturas urbanas com superfícies que absorvem grande parcela da radiação solar, também o uso de materiais com estas características em pavimentações e por fim a redução das áreas verdes para dar espaço a esse crescimento urbano (SANTAMOURIS et al., 2011).

Ao influenciar no aumento da temperatura da cidade, as UHI interferem diretamente no aumento da temperatura interna dos ambientes, tornando-os mais desconfortáveis e, conseqüentemente, aumentando o consumo de energia para o condicionamento do ar. A cidade de Los Angeles, por exemplo, conforme estudo realizado pelo LBNL, desde os anos 1940 ganha 0,5 °C em sua temperatura média a cada década, o que causa acréscimo de 1,5 a 3% no consumo médio de energia para cada 0,5 °C aumentado (BRETZ; AKBARI; ROSENFELD, 1998).

Algumas estratégias podem ser tomadas para minimizar os efeitos nocivos deste fenômeno como, por exemplo, aumentar as áreas verdes da cidade. Outra estratégia de fácil emprego e baixo custo que pode atenuar os efeitos das ilhas urbanas de calor é a adoção de materiais com altos índices de refletância solar nas superfícies dos edifícios e pavimentos, característica que indica o quanto a radiação solar que incide em determinada superfície é refletida. Isto se dá pelo fato de que quanto menos calor é absorvido pela superfície externa do edifício, menor será sua temperatura, conseqüentemente menos calor será transmitido para os ambientes interno e externo (SYNNEFA, SANTAMOURIS, AKBARI, 2007).

Estudos realizados a partir de medições *in loco* mostram que a utilização dos chamados *cool materials* (materiais frios, com alta refletância solar e emitância térmica) em paredes externas podem chegar a reduzir entre 10 e 60% as temperaturas internas dos ambientes, sendo que os maiores percentuais mostram a relação entre materiais frios empregados nas fachadas e associados a telhados que também possuam esta característica (PARKER; BARKASZI JR, 1997).

Conforme explicam Alchapar e Correa (2016), os materiais que compõem o envelope construtivo possuem características físicas que determinam a transferência do calor para o interior dos edifícios, tais como: condutividade, densidade e calor específico. Juntamente a estas, estão as propriedades como a refletância e a emitância térmica. Isto mostra a grande importância do uso consciente dos materiais na envoltória das construções, pois são estes que receberão a insolação direta, e é principalmente a partir do que eles absorvem ou refletem dessa insolação, que o calor será transmitido para o interior das edificações.

Na Europa, os estudos referentes à absorvância e refletância dos materiais utilizados na envoltória das edificações também têm ganhado cada vez mais espaço e novas tecnologias já são desenvolvidas e utilizadas na construção civil. Um exemplo é o caso da Itália, onde este índice é manipulado através da composição química dos materiais. Neste país, para que o *Piano Colore* (Plano de Cor) seja seguido, mantendo o padrão estético estabelecido, sem prejudicar o desempenho térmico dos ambientes, algumas tintas já possuem suas partículas manipuladas de forma que cores frequentemente encontradas com baixas refletâncias, são agora disponibilizadas com valores maiores, proporcionando maior eficiência sem a necessidade de descaracterizar a paisagem urbana (Zinzi, 2016).

Cool coloured materials are a particular and innovative category of cool materials. They have a spectral response in the visible range able to reproduce the designed colour but present a very high reflectance in the near infrared range (NIR). This solution gives to dark construction materials a better performance under the solar radiation, with solar reflectance values higher than conventional materials¹ (ZINZI, 2016, p. 206).

A relação entre as UHI e a refletância da radiação solar pelos materiais que compõem a envoltória dos edifícios mostra a grande importância de conhecer melhor esta propriedade, para que de posse do mesmo os profissionais possam especificar em seus projetos materiais que irão auxiliar na diminuição das temperaturas internas dos edifícios, obtendo assim ambientes mais eficientes energeticamente.

Entre as superfícies que compõem a envoltória da edificação, a cobertura tem função importante em seu ganho térmico, principalmente em edificações térreas e de poucos pavimentos. Isto porque, na maior parte do dia, a incidência da radiação solar é direta sobre sua superfície, diferente do que ocorre com as fachadas onde a incidência dependerá da posição do Sol ao longo

¹ “Os materiais coloridos frios são uma categoria particular e inovadora de materiais frios. Eles têm uma resposta espectral na faixa visível capaz de reproduzir a cor projetada, mas apresentam uma refletância muito alta na faixa do infravermelho próximo (NIR). Esta solução proporciona aos materiais de construção escuros um melhor desempenho sob a radiação solar, com valores de refletância solar superiores aos materiais convencionais” (ZINZI, 2016, p. 206, tradução nossa).

do ano.

Considerando o panorama brasileiro, o clima majoritariamente quente oferece oportunidades para o uso de coberturas frias, com alta emitância e alta refletância, como é proposto pela iniciativa *One Degree Less* (ODL), pioneiro no país (AKBARI; MATTHEWS, 2012). Os estudos realizados pelo ODL apresentam resultados importantes na diminuição da temperatura externa e também do menor ganho de calor pela edificação (ECOHABITAR, 2019).

Isto mostra ainda que o conhecimento da refletância dos materiais que serão empregados no envelope construtivo é fundamental para que, a partir da especificação correta dos materiais, seja reduzido o consumo energético decorrente da utilização de equipamentos de condicionamento de ar. Esta afirmação é corroborada por Dornelles (2017), quando afirma que “estudos diversos já comprovam que as refletâncias e emitâncias de superfícies expostas à radiação solar são fatores determinantes nas temperaturas que podem ser atingidas pelas mesmas” (DORNELLES, 2017, p. 02)

No entanto, apesar da existência de diferentes métodos de medição da refletância de superfícies opacas, no Brasil ainda existem impedimentos que dificultam a obtenção destes índices por parte dos profissionais. Primeiramente, conforme Dornelles (2008) salienta, existem poucas informações a respeito destes índices fornecidas pelos fabricantes. Além disso, os equipamentos hoje normatizados, que podem realizar a medição da refletância dos materiais, possuem custos muito elevados, dificultando assim o acesso a estas informações. Portanto, há uma lacuna na área para que novos equipamentos sejam propostos, junto a novos métodos de obtenção destes valores, visando disponibilizar os dados necessários aos profissionais de forma mais fácil.

Já existem atualmente estudos científicos em áreas diversas, como ótica e química (PALUMBO; WEBER, 1999 e SHI et al, 2015), que propõem equipamentos mais baratos e portáteis para medição dos índices de refletância solar, objetivando resolver o problema do alto custo que torna o espectrofotômetro inacessível aos profissionais, e também buscando formas mais práticas de executar tal medição.

Um equipamento que tem sido utilizado com frequência por pesquisadores no Brasil é o ALTA II, pois além de possuir baixo custo em relação aos equipamentos atualmente normatizados e ser portátil, foi apresentado em alguns trabalhos (DORNELLES, 2008; SANTOS; MARINOSKI; LAMBERTS, 2009; SANGOI; RAMOS; LAMBERTS, 2010; PEREIRA et al., 2015, MARINOSKI; LAMBERTS; GHISI, 2017) como alternativa para medição da refletância solar de revestimentos, porém sem estudos mais aprofundados a respeito da confiabilidade das informações obtidas

através dele, havendo ainda a necessidade de análise do seu funcionamento e dos valores obtidos.

Neste contexto, esta pesquisa propõe a análise da hipótese de que o espectrômetro portátil ALTA II pode ser utilizado como alternativa confiável, e de custo acessível, aos métodos de medição de refletância atualmente normatizados, fornecendo aos profissionais e pesquisadores uma nova forma de obtenção desta propriedade. Desta forma, será possível medi-los para os materiais de sua preferência e assim empregar os mais adequados a cada clima, levando em consideração os níveis de conforto a serem atingidos no ambiente, e utilizando-os como estratégias para a obtenção de construções mais eficientes do ponto de vista energético.

O ALTA II é um espectrômetro portátil desenvolvido nos Estados Unidos pelo *Lunar and Planetary Institute*, em Houston – Texas, para ser utilizado em escolas de ensino médio no ensino sobre radiação e sensoriamento remoto. O espectrômetro mede as refletâncias correspondentes à radiação de 11 comprimentos de onda, compreendidos entre 470 e 940 nm, região que abrange desde a luz visível (sete dos comprimentos de onda captados pelo aparelho) e também o infravermelho próximo (quatro comprimentos de onda).

A partir dos estudos já realizados com o auxílio do equipamento, pode-se constatar que este possui como vantagem, além do menor custo para aquisição, o fato de ser portátil, permitindo que as medições sejam realizadas in loco nas superfícies desejadas, e não necessariamente em laboratórios, como é feito com o espectrofotômetro, segundo método apresentado na norma ASTM E903 (ASTM, 2012a). Porém, as pesquisas já realizadas concentram-se em medições de superfícies referentes a fachadas das edificações (Marinoski et al., 2017, Sangoi et al., 2010, Santos et al., 2009, Marinoski et al., 2017), necessitando ainda de confirmações sobre a possibilidade de utiliza-lo como instrumento de medição de refletância solar em telhas. Portanto, as telhas cerâmicas e de fibrocimento foram selecionadas para a realização desta pesquisa, sendo estes modelos amplamente utilizados na construção civil brasileira.

Assim, este estudo também pretende contribuir para, além do enriquecimento da discussão a respeito da absorvância e da refletância das superfícies que compõem a envoltória construtiva, em especial das coberturas, proporcionar informações relevantes aos profissionais e pesquisadores da área, disseminando assim dados confiáveis a respeito dessas propriedades.

OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo principal avaliar a confiabilidade do uso do espectrômetro ALTA II como ferramenta de medição da refletância solar para telhas cerâmicas e de fibrocimento. Pretende-se, assim, verificar a hipótese de que este equipamento pode ser utilizado por profissionais e pesquisadores da área como alternativa aos métodos de medição existentes e normatizados.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Elaborar uma base de dados atualizada de refletância de telhas cerâmicas e de fibrocimento, e disponibilizá-la aos profissionais e pesquisadores.

Identificar as potencialidades e limitações do uso do espectrômetro ALTA II para os tipos de telhas selecionadas.

Analisar o método de medição com o ALTA II em diferentes situações de exposição à radiação solar, de forma a identificar interferências em sua correta utilização, considerando as medições de telhas.

Avaliar o desempenho térmico de telhas cerâmicas e de fibrocimento expostas ao Sol, bem como suas relações com a refletância solar das mesmas.

Contribuir para o meio acadêmico e com os profissionais da construção civil ao propor uma alternativa confiável e de menor custo, portanto mais acessível, para a medição da refletância solar de superfícies opacas.

REFERENCIAL TEÓRICO

1. RADIAÇÃO SOLAR

1.1. ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO E ESPECTRO SOLAR

A radiação emitida pelo Sol através de ondas eletromagnéticas está compreendida no espectro eletromagnético. Este é dividido em regiões de comprimentos de onda de acordo com as características semelhantes que variam gradualmente. Como pode ser observado na Figura 1, o espectro eletromagnético vai desde as ondas mais curtas que correspondem aos raios gama, até ondas de rádio, muito longas. O espectro solar corresponde à pequena parcela, entre 280nm e 3000nm (DORNELLES, 2008). Este é ainda dividido em: radiação ultravioleta, radiação visível e radiação infravermelha.

Figura 1 - Espectro Eletromagnético

Fonte: DORNELLES, 2008.

A radiação ultravioleta é dividida em raios UV-C (100nm a 280nm), raios UV-B (280nm a 315nm) e raios UV-A (315nm a 380nm), cada região com características específicas. A radiação ultravioleta C, não chega à superfície terrestre, é inteiramente barrada pela camada de ozônio. Já as faixas correspondentes ao UV-A e UV-B são apenas parcialmente absorvidas por esta camada. O UV-A é o responsável pelo bronzeamento da pele quando exposta ao sol, devido a sua penetração mais profunda no tecido, estimulando a produção da melanina. Já os raios UV-B, além de causarem o desbotamento de superfícies, são os mais nocivos aos seres humanos. Estes raios penetram apenas superficialmente na pele quando exposta, causando vermelhidão, queimaduras

e diversos cânceres de pele. Apesar dos efeitos nocivos conhecidos da radiação ultravioleta, ela também é responsável pela síntese da vitamina D nos organismos, importante para a saúde (CÔRREA, 2014)

A radiação visível é aquela a qual o olho humano é sensível, o que permite visualizar os objetos, e as sensações das cores, de acordo com a luz refletida por cada um. A região do espectro que diz respeito à chamada luz visível está entre 380nm e 780nm. A atmosfera terrestre, quando sem impurezas, é transparente a estes comprimentos de onda (CHWIEDUK (2014).

Por fim, a radiação infravermelha completa o espectro solar, o chamado infravermelho próximo vai de 780nm a 1400nm e está diretamente ligado aos ganhos de calor das superfícies. Existem ainda o infravermelho médio (1400nm a 3000nm) e o infravermelho longo (3000nm a 1mm). Esta região compreende mais da metade de todo o espectro solar, portanto, suas características são de grande relevância e o estudo de seus efeitos sobre as superfícies, primordial (CHWIEDUK (2014).

Antes de alcançar a superfície da Terra, a radiação solar passa por interações e atenuações. Quando chega à atmosfera terrestre, aproximadamente trinta por cento da chamada Radiação Global é refletida pelas camadas externas e volta para o espaço. Ao entrar na atmosfera, os gases e demais elementos que a compõem agem absorvendo parte da radiação. De acordo com Chwieduk (2014), vinte por cento da radiação infravermelha é absorvida pelo vapor d'água e pelo CO₂ presentes na atmosfera. Sendo que o primeiro absorve comprimentos de onda específicos: entre 720nm e 930nm, 1100nm, 1400nm, 1800nm e entre 2300nm e 2500nm. Já o gás carbônico absorve de 2000nm a 2800nm.

Além de absorverem uma parcela da radiação, os gases e demais elementos suspensos agem espalhando-a, este fenômeno acontece quando os fótons da radiação solar são incapazes de quebrar as partículas da atmosfera, tendo como efeito seu espalhamento em todas as direções, sem afetar seu comprimento de onda ou energia. Esta é a chamada Radiação Difusa (ou espalhada). Quanto mais partículas suspensas na atmosfera, maior a quantidade de radiação espalhada, também quanto menor o comprimento de onda, mais ele será espalhado pela atmosfera (CHWIEDUK, 2014).

Parte da radiação solar incidente no globo terrestre, após atravessar as camadas superiores da atmosfera, é atenuada e torna-se radiação difusa. Somando-a à radiação direta incidente e à radiação refletida pelas superfícies, tem-se a Radiação Global então a radiação direta que chega até as superfícies, à radiação difusa e chega à superfície como Radiação Hemisférica (Figura 2)

(CHWEIDUK, 2014.). Com relação à parcela de radiação refletida pelas superfícies terrestres, a maior reflexão é observada em áreas cobertas por gelo e neve, como os polos, depois em corpos de água, como rios e oceanos por exemplo (CHWEIDUK, 2014).

Figura 2 - Formas de incidência da radiação solar nas superfícies.

Fonte: Adaptado de (CHWEIDUK, 2014.)

1.2. ESPECTRO SOLAR PADRÃO E A ASTM G-173

Sabe-se que, pela dimensão do Sol e pela distância entre ele e a Terra, a radiação solar é transmitida no espaço como linhas retas imaginárias, portanto a forma como incide no globo terrestre será diferente, de acordo com a latitude a ser observada. Quanto mais se aproxima dos polos, mais oblíqua é essa incidência, como pode ser observado na Figura 3, e isto irá influenciar diretamente a forma como a radiação age sobre as superfícies.

Figura 3 - Incidência da radiação solar no globo terrestre.

Fonte: (DINIZ, 2018).

Considerando-se a forma de incidência da radiação solar e que ela, como já explanado, não chega por completo de forma direta nas superfícies ao redor do globo, pois é atenuada e espalhada pelos diversos componentes da atmosfera terrestre (Figura 4), há a necessidade da formulação de um espectro solar padrão para que pesquisas a respeito desta radiação sejam feitas obtendo resultados confiáveis.

O ideal é que cada país tenha suas normas para definição do seu espectro solar padrão, considerando sua latitude e características atmosféricas específicas. Porém, no Brasil não há este tipo de normatização até o presente momento, o que faz com que seja adotada a norma da *American Society for Testing Materials (ASTM)*, *G173 Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface* (ASTM, 2012b), que leva em consideração uma média dos 48 estados dos Estados Unidos.

Esta norma apresenta tabelas contendo distribuições de irradiação solar terrestre para uso em aplicações que requerem um valor padrão para a irradiância solar hemisférica, considerando os componentes diretos e difusos, incidentes em superfícies com inclinação de 37° com relação ao Sol. Para tal, são consideradas condições atmosféricas razoáveis e sem nuvens favoráveis à produção de energia fotovoltaica, bem como aplicação de exposição às intempéries e à durabilidade (ASTM, 2012b).

Figura 4 - Distribuição espectral da energia solar ao nível do mar (radiação global) e acima da atmosfera terrestre (extraterrestre) e os principais gases absorventes da radiação solar.

Fonte: DORNELLES, 2008.

Segundo a norma ASTM G173 (ASTM, 2012b), é necessário que haja referência de distribuição espectral padrão, para possibilitar comparações e análises de produtos após a exposição às intempéries.

1.3. RADIAÇÃO SOLAR E SUPERFÍCIES OPACAS

A radiação solar que incide nas superfícies que compõem as cidades e edificações, seja ela direta ou difusa, é a maior responsável pelo seu ganho de calor. Portanto, conhecer como as diferentes superfícies se comportam quando desta incidência, é indispensável para que se possa fazer arquitetura responsável com o meio ambiente e com as interferências que fará no mesmo. Além da preocupação com o meio em que a edificação ou a cidade estão inseridas, há ainda a diminuição do conforto térmico dos usuários se este calor absorvido não for na quantidade desejada para cada tipo de clima.

Para conhecer o quanto as superfícies absorvem de radiação solar, é necessário inicialmente compreender como estas se comportam frente à radiação incidente. Esta quando entra em contato com o envelope dos edifícios pode ser absorvida, refletida ou transmitida (Equação 01). Esta máxima é considerada para superfícies translúcidas e transparentes, já que nas opacas a parcela a ser transmitida é nula, portanto para estes materiais considera-se a Equação 02 (ASHRAE 2001², apud DORNELLES, 2008).

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad \text{Equação 01}$$

$$\alpha + \rho = 1 \quad \text{Equação 02}$$

Onde:

α = quanto a superfície absorve da radiação solar, absorptância.

ρ = quanto a superfície reflete da radiação solar, refletância.

τ = quanto a superfície transmite da radiação solar, transmitância.

Considerando que o foco deste trabalho são telhas cerâmicas e de fibrocimento, que são superfícies opacas, pode-se afirmar que a radiação solar incidente irá se comportar de acordo com a Figura 5. Uma parcela será refletida para o exterior e outra absorvida, o que causará o aumento de sua temperatura, acima da temperatura do ar externo. Do que foi absorvido pela superfície, parte é emitida para o interior e outra parcela para o exterior, em ondas longas (DORNELLES, 2008).

² AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE. **Fundamentals handbook**. Atlanta, 2001.

Figura 5 - Trocas de calor em superfície opaca.

Fonte: Adaptado de DORNELLES, 2008.

Segundo a norma NBR 15220-01, que apresenta definições a respeito do desempenho térmico das edificações, refletância solar é o “quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície” (ABNT, 2005b, p.03). Ou seja, ela corresponde a quanto de radiação solar que incide em uma superfície, é refletida por ela.

Ainda nesta norma, é apresentada a fórmula representada na Equação 03 para calcular o ganho de calor de elementos opacos, a partir dela percebe-se como a refletância interfere diretamente neste ganho. Isto atesta a importância do seu conhecimento para os diferentes materiais do envelope construtivo, quando da busca de ambientes com adequadas condições de conforto térmico do usuário e também do bom desempenho térmico e energético das edificações.

$$FS_o = 100 \times U \times \alpha \times R_{se} \quad \text{Equação 03}$$

Onde:

FS_o: fator solar de elementos opacos em porcentagem

U: transmitância térmica do componente

α: absorptância

R_{se}: resistência superficial externa, considerada constante e igual a 0,04.

2. REFLETÂNCIA SOLAR E MÉTODO DE MEDIÇÃO

2.1. REFLETÂNCIA SOLAR E SUPERFÍCIES OPACAS

Uma das formas mais eficientes de controlar a quantidade de calor que entra em uma edificação, é através do controle das propriedades termofísicas dos materiais que compõem a envoltória das edificações, tanto fachadas quanto coberturas. A este respeito, Givoni (1994) salienta ainda que considerando os diferentes ângulos de incidência solar sobre as superfícies, torna ainda mais

importante conhecer quanto cada superfície reflete da radiação incidente. A partir disto, percebe-se a importância de conhecer a refletância dos materiais e como ela se comporta com relação ao desempenho térmico e energético das edificações, assim como seus efeitos sobre o microclima das cidades.

Para Givoni (1998), as absorptâncias do envelope determinam o impacto da radiação solar na edificação, pois indicam qual fração da energia solar que chega à edificação é realmente absorvida por seu envelope, afetando seu ganho de calor e as temperaturas internas, e qual fração é refletida, sem nenhum efeito sobre as condições térmicas da edificação.

Os estudos a respeito da refletância solar das edificações e suas relações com os a eficiência energética e o desempenho térmico das edificações se estendem desde o início dos anos 1990 até os dias de hoje, como pode ser percebido na pesquisa do *Lawrence Berkeley Laboratory* realizadas por Taha, Sailor e Municipal (1992) que apresentou métodos de medição desta propriedade das superfícies. Além de realizar medições em superfícies variadas, como pavimentação das vias e calçadas, buscando construir uma biblioteca de refletância solar a ser consultada posteriormente e então relacionar os ganhos térmicos da cidade a estes dados medidos.

Ou ainda como o trabalho desenvolvido por Akbari et al. (1997), também do *Lawrence Berkeley Laboratory*, que através da comparação de edificações semelhantes em Sacramento, Califórnia, mostrou economia de 2,2 kWh/dia apenas com a mudança do albedo da cobertura de uma das edificações de 18% para 73%. Além de diminuir o pico de temperatura atingida pela edificação com cobertura refletiva, e 80% de economia de energia utilizada para condicionamento do ar dos ambientes internos.

Este laboratório nacional localizado em Berkeley, na Califórnia, foi um dos pioneiros nestas pesquisas iniciais sobre a refletância das edificações. As investigações por eles realizadas já mostraram como esta propriedade, mesmo que sendo considerada de forma isolada, tem grande impacto na quantidade de calor que chega ao interior das edificações, e também na energia consumida pelas edificações para condicionamento para resfriar o ar dos ambientes.

Novos polos de pesquisas a respeito deste assunto começam então a surgir, como na Universidade de Atenas, com pesquisas como a realizada por Synnefa, Santamouris e Livada (2005) atestando a partir de medições de temperaturas superficiais e da refletância solar, que quanto maior a refletância solar, menores as temperaturas entre as 14 amostras selecionadas. Este estudo apresenta ainda relações entre o albedo e o microclima da cidade, constatando que

a utilização de superfícies refletivas pode ser uma estratégia passiva para a mitigação dos efeitos negativos do fenômeno de ilhas urbanas de calor.

Com o passar dos anos e a evolução das pesquisas a respeito do albedo das superfícies que compõem a cidade e a envoltória das edificações, começa a surgir o conceito de *cool material* (material frio), que diz respeito a materiais com alta refletância solar e alta emitância térmica, demorando mais tempo para aquecer que materiais pouco refletivos, por isso o nome (SYNNEFA, SANTAMOURIS E AKBARI 2007).

O estudo realizado por Synnefa, Santamouris e Akbari (2007) alia este conceito de *cool materials* às pesquisas já desenvolvidas sobre estratégias passivas de melhorar o conforto nas edificações e o desempenho térmico destas. Através de simulações computacionais, os autores consideraram diferentes tipos de clima, e como os revestimentos refletivos interferem no conforto e do desempenho térmico para cada um. Encontrando que ao aumentar a refletância para 0,65 as horas de desconforto são reduzidas entre 9 e 100%, a temperatura máxima entre 1,2 e 3,7 °C e o consumo para resfriamento diminui entre 8 e 48 kWh/m².

A partir da constatação de que *cool materials* são eficazes no aumento das horas de conforto dentro das edificações, na melhoria do desempenho térmico e eficiência energética das edificações e ainda são uma boa solução para diminuição dos efeitos negativos das ilhas urbanas de calor, as pesquisas começaram a evoluir para a criação de novos tipos de revestimentos frios, não necessariamente brancos. Trabalhando diretamente na composição dos pigmentos, na reflexão dos comprimentos de onda referentes ao infravermelho.

Neste cenário, Synnefa, Santamouris e Apostolakis (2007) observaram a partir da análise da absorvância e da refletância 14 telhas com diferentes tipos de acabamento, alguns refletivos e outros absorventes, que houve até 5°C de diminuição da temperatura superficial média nas telhas que receberam revestimento refletivo. Esta diminuição chegou ainda a 7,5°C quando considerada a temperatura superficial máxima das telhas. E aquelas que receberam revestimento absorvente, tiveram aumento na temperatura superficial média de até 15°C. Constatando a importância de revestimentos refletivos na diminuição da temperatura das superfícies da envoltória construtiva, conseqüentemente na diminuição das temperaturas internas dos ambientes.

A este respeito, Santamouris, Synnefa e Karlessi (2011), complementaram que os revestimentos refletivos são eficientes para melhoria do desempenho térmico das edificações e das condições de conforto térmico de seus usuários, porém que o envelhecimento interfere negativamente na refletância solar destes revestimentos.

Pesquisas comparando revestimentos coloridos convencionais e coloridos refletivos para o clima italiano apresentaram ainda que pinturas com alta refletância podem ser prejudiciais no inverno, quando há a necessidade de que o ambiente interno esteja mais aquecido (Zinzi, 2016). Porém quando é feito o balanço entre o consumo de energia para aquecimento e resfriamento, estes revestimentos são ainda interessantes, e apresentam economias globais no consumo energético da edificação durante um ano.

Além do desenvolvimento de revestimentos coloridos e refletivos, que buscam dar maior quantidade de opções estéticas aos profissionais, sem prejudicar a eficiência energética da edificação, novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas, como no trabalho realizado pelo *National Lawrence Berkeley Laboratory* juntamente duas empresas particulares (*PPG Industries, Inc.* e *Shepherd Color Company*).

Juntos, eles desenvolveram um revestimento que alia alta refletância na região do espectro solar infravermelho, à fluorescência que permite que a superfície reflita radiação solar em comprimentos de ondas mais longos. Esta última permitida através da adição de componentes como rubi ($\text{Al}_2\text{O}_3: \text{Cr}$) à composição do pigmento. O resultado foram pigmentos frios fluorescentes de cores mais escuras (Levinson, Chen, Ferrari, Berdahl, & Slack, 2017).

Considerando que as coberturas de edificações residenciais são responsáveis por até 70% do calor transmitido para o interior das edificações (VIJAYKUMAR; SRINIVASAN; DHANDAPANI, 2007), é importante salientar o impacto do uso de superfícies com alta refletância solar nesta parte da edificação. Assim como os estudos de pinturas refletivas, pesquisas a respeito de coberturas refletivas, ou coberturas frias (*cool roofs*) foram amplamente desenvolvidas.

Akbari, Levinson e Rainer (2005), em pesquisas a respeito de materiais frios, fizeram um levantamento do impacto do uso de telhado frio no consumo energético para uso de aparelhos para resfriamento do ar em três edifícios em Sacramento. Os pesquisadores encontraram economias em torno de 10 W/m^2 de área condicionada, tendo máximas de economia em dias em que o pico de temperatura foi também o mais alto entre os dias de pesquisa, atingindo 38°C . Mostrando que o telhado frio tem impacto positivo na economia de energia para resfriamento dos ambientes, e também que quanto mais quente o ambiente externo, mais este tipo de estratégia será eficaz.

Assim como diagnosticado em pesquisas sobre outros materiais frios, algumas pesquisas (ZINZI; ROMEO, 2010 e ROMEO; ZINZI, 2013) mostram que a utilização de telhados frios, para cenários em que há a necessidade de aquecimento do ambiente interno, pode ser prejudicial,

aumentando o consumo energético. Contudo, os autores observaram redução de 70% do consumo energético em épocas do ano em que há a necessidade de resfriamento. Considerando todo o ano, e as diferentes de necessidades de condicionamento do ar no ambiente interno, observou-se economias de cerca de 50% no consumo energético. Mostrando assim que os telhados frios são muito eficientes na redução do consumo de energia para condicionamento do ar, mesmo em casos em que durante alguns períodos há a necessidade de aquecimento.

Sabendo-se que o uso de *cool materials* na envoltória das edificações auxilia na mitigação dos efeitos nocivos das ilhas de calor, foi iniciada uma discussão a respeito impacto da utilização destes materiais em vastas regiões da cidade, chamando-as de comunidades frias (*cool communities*). Um artigo escrito por Cao et al. (2015) apresenta através de simulações meteorológicas que a utilização destes telhados frios na cidade de Guangzhou, na China, poderia diminuir em até 1,2°C da temperatura média da cidade, para as épocas de calor.

No estado norte americano da Califórnia, onde são avançados os estudos sobre materiais frios e os efeitos da refletância solar na cidade, já existe uma iniciativa de implementação de um bairro frio ou uma comunidade fria. Porém, como dizem Gilbert, Mandel e Levinson (2015) para que esta iniciativa tenha sucesso, é necessário garantir uma boa articulação entre políticos e pesquisadores, buscando a maior eficiência da implementação sólida do que se mostra como ciência promissora para a cidade.

Em pesquisa atual realizada em Sidney, Santamouris et al. (2018) apresentam por meio de simulações computacionais os efeitos de aumentar o albedo na pavimentação da cidade, nas fachadas das edificações, nos telhados dos edifícios, neste último caso são observados os efeitos da cobertura verde e da aplicação de revestimento refletivo. Como resultado, a melhor estratégia para mitigação dos efeitos das ilhas de calor na cidade de Sidney, e de diminuição da carga energética da edificação, foi adotar o aumento da refletância das superfícies ao nível do solo, como pavimentação, combinada ao aumento do albedo das coberturas das edificações. Esta combinação chegou a apresentar aproximadamente 3,5% de economia de energia para cada 10% de aumento no albedo das superfícies.

Com o avanço de todos os estudos a respeito dos materiais frios, estudos (Baniassadi, Sailor, & Ban-weiss, 2019) já falam em *super cool roofs*, que são também coberturas com alta refletância solar e alta emitância térmica, porém com a emitância mais alta em alguns comprimentos de onda, principalmente para aqueles referentes ao infravermelho, responsáveis pela maior parte da concentração de calor do espectro solar. Esta pequena diferença entre os *cool roofs* e os *super cool roofs* é significativa para quando observa-se sua performance, pois estes permanecem 99%

do tempo com temperaturas superficiais abaixo da temperatura do ar, mesmo durante o dia. Enquanto telhados frios permanecem 60% do tempo com temperatura superficial abaixo da temperatura do ar (Baniassadi et al., 2019).

No Brasil, as pesquisas em relação à refletância solar e materiais frios não estão tão avançadas quanto as apresentadas até o momento, ainda é incipiente no país o desenvolvimento de revestimentos frios, e principalmente o de revestimentos frios coloridos. Há ainda a necessidade de conhecer as propriedades dos materiais comumente utilizados na envoltória das edificações brasileiras, portanto, estas são as pesquisas mais difundidas (CASTRO et al., 2003.; DORNELLES, 2008; RORIZ, 2011; RORIZ; CARAM; RORIZ, 2012; MARINOSKI et al., 2013; DORNELLES, 2013; BRITO; AKUTSU, 2015; DORNELLES; CARAM; SICHIERI, 2015 SCHABBACH et al., 2018)

Vale salientar, contudo, a importância do desenvolvimento destes trabalhos no cenário nacional, principalmente quando se considera o país de dimensões continentais com grandes variações climáticas em toda sua extensão. É essencial conhecer os materiais utilizados no Brasil e como se comportam nos diferentes climas do território nacional, para que assim estratégias voltadas especificamente para o país sejam adotadas.

2.2. NORMAS E INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

Apesar da grande importância do conhecimento dos índices de absorptância (α) e refletância (ρ) de superfícies, a literatura de forma geral ao longo de muitos anos acabou por tratá-los de forma superficial, considerando, simplificada, que cores mais escuras possuem menor refletância, quando em cores mais claras o índice é maior. Porém esta afirmação nem sempre é verdadeira, conforme apresentado por Dornelles e Roriz (2007), as cores representam apenas sensação visual e não devem ser tomadas como dominantes de propriedades físicas das superfícies.

A este respeito, percebe-se que “as publicações geralmente apresentam dados bastante genéricos, compilados a partir de mesma base de dados internacional, já consagrada há décadas no meio acadêmico” (DORNELLES, 2017). A simplificação desta relação entre cor e refletância, apesar de não estar correta, ainda é utilizada por importantes documentos internacionais considerados referência na área, como a última versão dos Fundamentos da *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE, 2013).

Ao tratar-se dos métodos de medição da refletância das superfícies, existem três normatizados

pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM), sendo que em todos a absorptância (α) é obtida através da refletância (ρ), considerando que ambas são complementares em materiais opacos, sendo $\alpha + \rho = 1$. Estes são tomados como base para as demais normas, conselhos e planos utilizados para tratar da refletância solar de superfícies opacas nos diferentes países.

2.2.1. NORMAS AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM)

Entre os métodos de medição apresentados pela American Society for Testing and Materials (ASTM), o mais difundido e consagrado internacionalmente é o que utiliza o espectrofotômetro com esfera integradora, segundo a norma ASTM E903 *Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance Using Integrating Spheres*, com instruções para medir estes índices em superfícies planas e revestidas com materiais opacos (ASTM, 2012a). Ao fim da coleta dos dados utilizando o equipamento, estes precisam ser ajustados conforme os valores do espectro solar padrão indicados pela ASTM G173-12 (ASTM, 2012b). Outros métodos normatizados são os apresentados pelas normas ASTM C1549 *Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer* (ASTM, 2009) e ASTM E1918 *Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-Sloped Surfaces in the Field* (ASTM, 2006).

2.2.2. ASTM E903-12 – ESPECTROFOTÔMETRO COM ESFERA INTEGRADORA

A norma ASTM E903-12 (ASTM, 2012a) indica a utilização de um espectrofotômetro com esfera integradora para a medição da refletância, absorptância e transmitância de materiais. O espectrofotômetro é um equipamento composto pela fonte emissora de radiação (lâmpada) que gera um feixe de luz, um conjunto de elementos ópticos (espelhos) que irão conduzir esta radiação para a amostra a ser estudada, também detectores que medem a intensidade da radiação na amostra, avaliando as características espectrais da superfície em questão, transmitância, refletância e absorptância (Figura 6). A fonte de radiação ideal para o espectrofotômetro deve apresentar intensidade aproximadamente constante em toda faixa de comprimento de onda estudada (330 a 2500 nm), com pouco ruído e longo período de estabilidade. Porém, um único tipo de lâmpada não satisfaz todas estas condições, portanto os espectrofotômetros, normalmente, têm dois tipos de fontes (DORNELLES, 2008).

As fontes que são comumente usadas nos espectrofotômetros que operam na região espectral do UV-Vis são: as lâmpadas de deutério (tempo de vida: 1.000 h), para excitação na região do ultravioleta ($\lambda < 350$ nm) e de tungstênio ou tungstêniohalogênio ($\lambda > 350$ nm; tempo de vida 10.000 h) para excitação na região do visível e infravermelho próximo (ATVARS; MARTELLI, 2002).

Figura 6 - Esquema de funcionamento do espectrofotômetro para captar a reflexão difusa.

Fonte: Dornelles, 2008.

A esfera integradora presente no interior deste instrumento deve ser de material altamente reflexivo e com superfície difusa, além de ser montada no centro do interior do equipamento, com a amostra posicionada por trás dela, de modo que o feixe de luz seja refletido em todas as direções, aproximando-se da reflexão hemisférica que ocorre na superfície terrestre.

Para dar início ao procedimento de medição utilizando esta metodologia, deve-se primeiramente calibrar o aparelho, processo feito colocando amostras de referência com refletâncias já conhecidas de 99% e 2%, respectivamente branco e preto de referência.

Em seguida é necessário que seja realizada a seleção das amostras utilizadas, que devem possuir dimensões reduzidas e ser uniformes, buscando que a precisão da medição seja maior, aumentando a confiabilidade do dado obtido (LEVINSON; AKBARI; BERDAHL, 2010). Após a inserção da amostra no espectrofotômetro, as medições da refletância para os comprimentos de onda do espectro solar, referentes ao ultravioleta, luz visível e infravermelho próximo, são realizadas e os dados obtidos devem ser anotados para a realização dos procedimentos de cálculo necessários.

A norma ASTM E903 apresenta ainda algumas variáveis que devem ser observadas para que a precisão e a confiabilidade da medição sejam mantidas, sendo eles a certeza de que o revestimento da esfera integradora é perfeitamente reflexivo e que está aplicado em toda a superfície da mesma, também é necessário que os fluxos refletidos não sejam perdidos pela abertura presente na esfera, e que eles não atinjam o detector sem ter passado no mínimo duas vezes pela esfera.

Ao fim da coleta dos dados utilizando o equipamento, estes precisam ser ajustados conforme os valores do espectro solar padrão indicados pela ASTM G173-12 (ASTM, 2012b), pois ele considera a incidência da radiação emitida de forma constante ao longo de todo o espectro solar, não levando em consideração variáveis como o clima, altitude e características atmosféricas (poluição, presença de vapor d'água, entre outros).

O procedimento a ser seguido é o que segue, tendo início com a obtenção da curva de intensidade relativa do espectro solar padrão, através da Equação 04:

$$IR_{\lambda} = \frac{I_{(\lambda)}}{I_{M\acute{A}X}} \times 100 \quad \text{Equação 04}$$

Sendo:

IR_{λ} : Intensidade relativa da Irradiância Solar Global, por comprimento de onda;

$I_{(\lambda)}$: Irradiância solar global, para cada comprimento de onda (W/m^2);

$I_{M\acute{A}X}$: Irradiância solar global máxima do espectro solar padrão (W/m^2).

Em seguida, deve ser calculada a refletância relativa das amostras por comprimento de onda conforme a Equação 05.

$$\rho_{Rel(\lambda)} = IR_{\lambda} \times \rho_{\lambda} \quad \text{Equação 05}$$

Sendo:

$\rho_{Rel(\lambda)}$: refletância relativa, para cada comprimento de onda (%);

IR_{λ} : Intensidade relativa da Irradiância Solar Global, por comprimento de onda;

ρ_{λ} : refletância medida em espectrofotômetro, por comprimento de onda (%).

Por fim obtém-se a Refletância Solar Ajustada ao espectro solar padrão, para a amostra analisada, conforme a Equação 06:

$$\rho_{Ajust} = \frac{Med\rho_{Rel}}{Med_{IR}} \quad \text{Equação 06}$$

Onde:

ρ_{Ajust} = refletância ajustada ao espectro solar padrão (%);

$Med_{\rho_{Rel}}$ = Média das refletâncias relativas da amostra (%);

Med_{IR} = Média da Intensidade Relativa da Irradiância Solar Global.

Apesar da alta confiabilidade deste método de medição de índices de refletância, absorvância e transmitância das superfícies, existem situações em que o mesmo não é o mais apropriado, isto se dá primeiramente por ser um aparelho grande e pesado, com tamanho limitado para a amostra, impossibilitando que sejam realizadas medições em campo, e também porque o custo de aquisição do espectrofotômetro é alto, fazendo com que muitos profissionais e pesquisadores da área não tenham acesso a ele.

2.2.3. ASTM E1918-06 – PIRANÔMETRO

O piranômetro é um equipamento utilizado conforme a norma ASTM E1918 *Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-Sloped Surfaces in the Field* (ASTM, 2006). Ele é sensível a energia radiante entre os comprimentos de ondas 280 e 2800 nm, abrangendo radiação ultravioleta, visível e infravermelho próximo, e possui design com duplo domo que minimiza os efeitos de convecção interna resultante de sua possível inclinação (ASTM, 2006).

O equipamento possui, conforme apresenta a norma ASTM E1918 (ASTM, 2006), medidor de leitura que converte os dados analógicos captados pelo domo em digitais, com precisão melhor que $\pm 0,5\%$ e deve ser posicionado em um braço de apoio que o mantenha a 50cm da superfície analisada, minimizando os efeitos de sombra do aparelho e de seu suporte de apoio (Figura 7).

Para iniciar a medição conforme esta metodologia deve-se posicionar o piranômetro em seu braço de apoio de forma que ele fique paralelo a superfície e então certificar-se de que não há outro elemento do entorno que faça sombra, além do equipamento e seu suporte. Posiciona-se, então, o aparelho voltado para cima, para medir a radiação solar recebida. Em seguida deve-se virá-lo para baixo, medindo assim a radiação refletida pela amostra. Estas medições devem ser realizadas em intervalos de 2min (ASTM, 2006).

Figura 7 - Esquema de suporte do Piranômetro.

Fonte: ASTM, 2006.

Existem equipamentos compostos de dois piranômetros (um voltado para cima e outro para baixo), de tal forma que a radiação incidente (proveniente do céu) e refletida (proveniente da superfície avaliada) sejam medidas simultaneamente, sem a necessidade de virar o equipamento para cima e para baixo. Este equipamento é conhecido como Albedômetro.

O método que utiliza o piranômetro (ou albedômetro) é indicado para medições em campo para superfícies com área de no mínimo 4m de diâmetro, horizontais ou com pouca inclinação e que estejam secas, no entanto, existem alguns fatores que devem ser observados quando do seu uso. O primeiro deles é observar que o céu deve ser claro, particularmente ao redor do sol. A névoa pode mudar a distribuição de energia espectral da luz solar, e a passagem de nuvens através do sol pode levar a erros graves (LEVINSON; AKBARI; BERDAHL, 2010).

Outro fator que deve ser levado em consideração é que, pela necessidade do ângulo de incidência com relação à normal ser menor que 45° , e considerando a mudança deste ângulo com o movimento da Terra e a localidade em que a superfície se encontra, os dias e horários em que a medição da refletância solar utilizando o piranômetro pode ser realizada com segurança são

reduzidos (ASTM, 2006). Como exemplo, Levinson, Akbari e Berdahl (2010) citam que para a latitude média norte-americana de 37 ° N, as condições indicadas pela norma podem ser atendidas aproximadamente entre 08h45min e 15h20min da hora local (LST) em 21 de junho (solstício de verão), entre as 10h e as 14h LST em 21 de março (o equinócio de primavera) e 21 de setembro (o equinócio de outono).

Também é importante salientar que a refletância ao longo das superfícies externas tem variações devido às intempéries, ao desgaste e ao acúmulo de sujeira, por isso, é indicado que sejam feitas medições em três áreas diferentes da superfície, garantindo assim maior confiabilidade dos dados obtidos.

2.2.4. ASTM C1549 – REFLETÔMETRO

Utilizando o refletômetro portátil, este método de medição de refletância pode ser utilizado em laboratório ou em campo, e é normatizado pela ASTM C1549 *Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer* (ASTM, 2009).

Para realizar a medição, inicialmente deve-se esperar meia hora após o equipamento ser ligado, para que sua calibração seja realizada. Este processo deve ser repetido a cada 30min de uso do equipamento.

A amostra deve, então, ser posicionada firmemente contra a abertura de 2,5cm de diâmetro do aparelho, e mantida nesta posição até que as leituras digitais sejam finalizadas. Este método utiliza lâmpada halógena de tungstênio para iluminar a superfície avaliada, que deve ser plana, por 2 segundos em um ciclo de 10 segundos. A luz refletida é medida em ângulo de 20° por quatro detectores equipados por filtros de cor para adaptar a resposta elétrica a uma gama de comprimentos de onda do espectro solar.

2.3. NO BRASIL

2.3.1. NBR 15220-05

Citando normas brasileiras, toma-se como referência a NBR 15220 (ABNT, 2005a), que em sua Parte 1 (ABNT, 2005b) apresenta o conceito de refletância solar, caracterizando-a como a parcela da radiação solar incidente que é refletida pela superfície, como já apresentado anteriormente neste texto. Apesar de trazer o conceito, as normas tratam mais sobre absortância que sobre refletância, considerando que são complementares em superfícies opacas, como já exposto previamente.

Em sua Parte 02 (ABNT, 2005c), esta norma apresenta dados a respeito das propriedades térmicas de alguns materiais. Contudo, referentes à absorptância ela traz valores para apenas 19 revestimentos (Quadro 1), e ainda tratando o índice de forma generalizada, visto que considera, por exemplo, que a absorptância para a pintura branca é 0,2, porém sabe-se que existem variações desta cor, e também que com as mudanças de fabricantes, a mesma cor pode apresentar índices distintos, conforme comprovado por Dornelles (2008). Além disso, é importante salientar que a norma considera apenas um tipo de material para cobertura, telhas de barro, o que não atende a vasta variedade de materiais presentes na construção civil brasileira.

Quadro 1 - Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas).

TIPO DE SUPERFÍCIE	α (ABSORTÂNCIA)	ϵ (EMITÂNCIA)
CHAPA DE ALUMÍNIO (NOVA E BRILHANTE)	0,05	0,05
CHAPA DE ALUMÍNIO (OXIDADA)	0,15	0,12
CHAPA DE AÇO GALVANIZADA (NOVA E BRILHANTE)	0,25	0,25
CAIAÇÃO NOVA	0,12/ 0,15	0,90
CONCRETO APARENTE	0,65/ 0,80	0,85/ 0,95
TELHA DE BARRO	0,75/ 0,80	0,85/ 0,95
TIJOLO APARENTE	0,65/ 0,80	0,85/ 0,95
REBOCO CLARO	0,30/ 0,50	0,85/ 0,95
REVESTIMENTO ASFÁLTICO	0,85/ 0,98	0,90/ 0,98
VIDRO INCOLOR	0,06/ 0,25	0,84
VIDRO COLORIDO	0,40/ 0,80	0,84
VIDRO METALIZADO	0,35/ 0,80	0,15/ 0,84
PINTURA	BRANCA	0,20
	AMARELA	0,30
	VERDE CLARA	0,40
	ALUMÍNIO	0,40
	VERDE ESCURA	0,70
	VERMELHA	0,74
	PRETA	0,97

Fonte: Adaptado de ABNT (2005c).

2.3.2. NBR 15575

Outra norma brasileira que trata sobre absorptância solar é a NBR 15575 (ABNT, 2013a), sobre desempenho de edificações habitacionais. Ela é dividida em cinco partes, e trata da absorptância nas partes 01, 04 e 05, referentes respectivamente a requisitos gerais, requisitos para sistemas de vedações verticais internas e externas, e requisitos para sistemas de coberturas.

Em sua Parte 01, a NBR 15575 (ABNT, 2013b) traz inicialmente o conceito adotado para absorvência solar, o mesmo já mencionado na NBR 15220-1 (ABNT, 2005b). Ao avançar o assunto desempenho térmico, a norma apresenta formas de analisá-lo nas edificações residenciais, sendo o método simplificado, seguindo como referência os pré-requisitos das Partes 4 (ABNT, 2013c) e 5 (ABNT, 2013d) da mesma.

Em caso da não obtenção de níveis satisfatórios de desempenho, deve-se recorrer ao método de simulação computacional. Neste são utilizados dados de referência quanto ao posicionamento geográfico da edificação, referente à cidade em que está inserida, além das propriedades térmicas dos materiais nela utilizados. Dentre as propriedades, encontra-se a absorvência solar, junto às normas utilizadas para aferir a mesma (Quadro 2).

Quadro 2- Métodos de medição de propriedades térmicas de materiais e elementos construtivos.

PROPRIEDADE	DETERMINAÇÃO
Condutividade térmica	ASTM C518 ou ASTM C177 ou ISSO 8320
Calor específico	Medição ASTM C351 – 92b
Densidade de massa aparente	Medição conforme método de ensaio preferencialmente normalizado, específico para o material
Emissividade	Medição JIS A 1423/ ASTM C1371 – 04a
Absorvência à radiação solar	Medição ANSI/ASHRAE 74/88, ASTM E1918-06, ASTM E903-96
Resistência ou transmitância térmica de elementos	Medição conforme ABNT NBR 6488 ou cálculo conforme ABNT NBR 15220-2, tomando-se por base valores de condutividade térmica medidos ASTM E903-96
Características fotoenergéticas (vidros)	EM 410 – 1998/ EM 12898

Fonte: Adaptado de ABNT (2013b)

A norma NBR 15575 (ABNT, 2013a) considera os métodos de medição com espectrofotômetro com esfera integradora, utilizando a ASTM E903-96 como base, e com o piranômetro ligado à norma ASTM C1918-06. Além destas, a norma ANSI/ASHRAE 74 (ASHRAE, 1988) também é utilizada como referência quando da medição da absorvência solar. Porém, as normas da ASTM utilizadas se encontram em versões defasadas, pois sofreram atualizações em 2012 e 2016, respectivamente. Já a norma ASHRAE citada, no ano de 2018 entrou na lista de Padrões e Diretrizes Retiradas (ASHRAE, 2018), portanto a mesma foi retirada de circulação e não é mais utilizada como norma para medição de absorvência solar, dentre outras propriedades relacionadas à mesma.

Com isso, percebe-se o quanto a norma NBR 15575 (ABNT, 2013a) está desatualizada, principalmente considerando que a mesma é do ano de 2013, quando a atualização da ASTM

E903 (ASTM, 2012a) já havia acontecido. Havendo, portanto, a necessidade de revisão para atualizar este aspecto da norma.

A norma considera ainda que a absorvância solar das superfícies deve ser definida de acordo com a cor e as características das superfícies da cobertura e das paredes, seguindo orientações como:

- “a) Coberturas: valor especificado no projeto, correspondente, portanto, ao material declarado para o telhado ou outro elemento utilizado que constitua a superfície exposta da cobertura;
b) Parede: assumir o valor de absorvância à radiação solar correspondente à cor definida no projeto. Caso a cor não esteja definida, simular para três alternativas de cor: cor clara: $\alpha = 0,3$; cor média: $\alpha = 0,5$; cor escura: $\alpha = 0,7$ ” (ABNT, 2013b, p. 25).

Em suas partes 4 e 5, respectivamente, a norma apresenta os níveis máximos de absorvância e transmitância térmica a serem empregados nas vedações verticais e coberturas, de acordo com o zoneamento bioclimático brasileiro, apresentado na NBR 15220 (ABNT, 2005a). Estes valores podem ser observados nos quadros Quadro 3 e Quadro 4.

Quadro 3 - Transmitância térmica de paredes externas.

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA U (W/m ² .K)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$ $U \leq 3,7$	$\alpha^a > 0,6$ $U \leq 2,5$

^a α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede

Fonte: Adaptado de ABNT, 2013c.

Quadro 4 - Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica - M.

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA U (W/m ² .K)				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
$U \leq 2,30$	$\alpha^a \leq 0,6$ $U \leq 3,7$	$\alpha^a > 0,6$ $U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$ $U \leq 3,7$	$\alpha^a > 0,6$ $U \leq 2,5$

^a α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede

Fonte: Adaptado de ABNT, 2013d.

2.3.3. INMETRO

A) REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES

Criado para “estabelecer os critérios para o Programa de Avaliação da Conformidade de Eficiência Energética de Edificações” (BRASIL, 2013, p. 1) para concessão da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE, os Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC) para Eficiência Energética de Edificações é elaborado também para atualizar as diretrizes que constam

no Programa de Avaliação e Conformidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, aprovado pela portaria Inmetro nº 395, de 11 de outubro de 2010, e também as do Programa de Avaliação e Conformidade para Eficiência Energética de Edificações Residenciais, aprovado pela portaria Inmetro nº 122 de 14 de outubro de 2011.

Para realização da avaliação da conformidade para edificações seguindo estes Requisitos de Avaliação de Conformidade, são propostos requisitos técnicos para cada área a ser avaliada, a partir dos Regulamentos Técnicos de Qualidade (RTQ), divididos ainda para edificações residenciais e outro para edificações comerciais, de serviços e públicas.

A absorvância solar é considerada quando da avaliação, nas edificações que solicitam a etiquetagem, da envoltória das edificações tanto na inspeção de edificações já construídas, quanto em simulações para aquelas ainda em fase de projetos. Para a medição da absorvância, este RAC apresenta como opções o uso de espectrômetro ou espectrofotômetro, além de apresentar em seu Anexo V valores de absorvância para tintas (BRASIL, 2013). Porém, não são fornecidas informações a este respeito referentes a coberturas.

Os RTQs relacionados à eficiência energética de edificações residenciais, e de edificações comerciais, de serviços e públicas, seguem as normas brasileiras, ABNT NBR 15220 (ABNT, 2005a) e NBR 15575 (ABNT, 2013a), portanto, tem a mesma defasagem das mesmas quanto à falta de atualização das normas de medição de absorvância utilizadas como parâmetro, que são ASTM C1918-06, ASTM E903-96 e ASHRAE 74-88.

2.3.4. CONSÓRCIO BRASILEIRO DE SUPERFÍCIES FRIAS (CBSF)

Criado no ano de 2015 e lançado na Feicon Batimat em 12 de março de 2015, o Consórcio Brasileiro de Superfícies Frias, visava aliar indústrias da construção civil a pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias que envolvam este tema. Para isto, em seu início contava com cinco empresas da construção civil, sendo elas Brasilit, Eternit, Dow, Arkema e Du Pont. Havia ainda parceria com as universidades de São Paulo (USP), Federal de Santa Catarina (UFSC), Federal do Pará (UFPA) e UNISINOS. Tanto empresas quanto universidades forneceram subsídios para o desenvolvimento de pesquisas pelo CBSF (SOARES, 2015).

Atualmente a empresa Du Pont e as universidades UFPA e UNISINOS não fazem parte do CBSF, apenas as demais empresas e universidades que iniciaram em 2015 o compõem. O consórcio é apoiado pelo *Green Building Council Brasil* (GBC Brasil) e pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS). Este último criado em 2007 com o objetivo de contribuir com a difusão de práticas sustentáveis na construção civil, melhorando a qualidade de vida da população, tanto

nas cidades quando no ambiente construído.

O consórcio busca criar condições e técnicas institucionais para que os produtos frios sejam mais utilizados e se popularizem no mercado da construção civil, visto que trazem grandes vantagens para o meio ambiente e para os usuários, objetivando ainda:

“definir condutas e normas de qualidade para o desenvolvimento de soluções e produtos que atendam a necessidade de adoção de práticas, processos e recursos que promovam a eficiência energética e consequentemente a redução do consumo de energia em condicionamento” (CBSF, 2018).

Em junho de 2018 o CBSF realizou o I Seminário de Superfícies Frias e Redução do Consumo de Energia em Edificações – tendências, onde foram apresentados conceitos sobre superfícies frias, pesquisas realizadas internacionalmente a respeito do impacto positivo desse tipo de material. Houve palestras de grandes nomes nos estudos sobre superfícies frias, como Mattheos Santamouris, além da apresentação de materiais desenvolvidos pelas indústrias participantes do consórcio.

Apesar de ser ótima a iniciativa a criação do CBSF, não há ainda diretrizes traçadas para que outras empresas possam avaliar seus produtos, o que criaria maior acervo para projetistas e demais profissionais da construção civil. Entre as empresas que compõem o consórcio, os produtos considerados como frios são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 - Materiais Frios segundo o CBSF.

BRASILIT	Telha de fibrocimento Top Comfort, que possibilita a redução da temperatura interna em até 4°C, em relação à temperatura externa.
ETERNIT	Telha Prime de fibrocimento com cobertura de pintura que dificulta o crescimento de microrganismos.
	Telha de fibrocimento Thermo Comfort, produzida com fibras de PVA e cobertas por tintas que reduzem a proliferação de fungos.
DOW	Linha Prime de polímeros 100% acrílicos de secagem rápida, formando uma membrana elastomérica que protege e acompanha os movimentos de expansão e contração sem que as superfícies trinquem.
	Kynar Aquatec, que é uma resina à base d'água, praticamente inerte aos raios UV, aumentando a durabilidade e a resistência às intempéries.
ARKEMA	ENCOR Flex, uma resina acrílica estirenada e 100% acrílica, que atende aos critérios do Cool Roof Rating Council (CRRC) como produto frio.

Fonte: CBSF, 2018.

2.4. CONSELHOS INTERNACIONAIS

2.4.1. COOL ROOF RATING COUNCIL (CRRC)

Além das normas já citadas, existem conselhos internacionais que normatizam a utilização de materiais frios nas coberturas, como o *Cool Roof Rating Council* (CRRC) criado nos Estados Unidos

para desenvolver métodos apurados e com credibilidade para avaliar e medir a refletância solar e a emitância térmica dos produtos para coberturas e também buscando disseminar a informação a todos os interessados. O CRRC recentemente lançou a norma *ANSI/CRRC S100 Standards Test Methods for Determining Radiative Properties of Materials* (CRRC, 2016), utilizada como metodologia para medição de refletância e emitância de telhados. Este conselho possui ainda um manual, o *CRRC #1 Product Rating Program Manual*, no qual os fornecedores podem submeter seus produtos a testes que indicam tanto os valores de refletância e emitância, segundo as normas ASTM E903, C1519, E1918 e C1317, quanto à alteração destes índices conforme o envelhecimento, avaliando o período de três anos expostos às intempéries.

2.4.2. EUROPEAN COOL ROOFS COUNCIL (ECRC)

Na Europa, apenas em 2011 foi fundado o *European Cool Roofs Council* (ECRC), buscando desenvolver pesquisas a respeito de coberturas frescas e promover seu uso na Europa, incluindo o desenvolvimento de um programa de avaliação de produtos e materiais, semelhante ao já citado do CRRC. As normas utilizadas pelo ECRC como base para os estudos e classificações de coberturas são as já mencionadas da ASTM.

3. COBERTURAS

Existe no Brasil um centro chamado Centro Cerâmico do Brasil (CCB) criado no ano de 1993 por empresas do setor cerâmico do país, com o objetivo de “desenvolver e implantar normas técnicas e certificar a qualidade dos produtos cerâmicos e dos sistemas de gestão (ISSO 9000 e ISSO 14000), bem como atuar como entidade tecnológica do setor da construção civil” (CCB, 2018). O CCB atua junto aos fabricantes de cerâmica para revestimentos, telhas cerâmicas e de concreto e blocos cerâmicos, como Organismo de Avaliação da Conformidade (OAC) validada pela Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro.

O centro atua em diversas áreas, relacionadas a seguir:

- Certificação de qualidade – sendo o primeiro Organismo Certificador da Qualidade de produtos cerâmicos do país e agindo juntamente ao Inmetro para certificação de Produtos desde o ano de 1996 e de Sistema de Gestão e Qualidade, desde 1998.
- Pesquisas laboratoriais – contando com laboratório para ensaios e testes nos produtos e sistemas construtivos, o LabCCB faz parte da Rede de Desempenho em Edificações Habitacionais. São analisadas à luz das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas produtos, o desempenho dos sistemas construtivos, além da caracterização de produtos para a construção civil.

- Programa Setorial de Qualidade (PSQ) – neste setor, o CCB busca reduzir os custos, mantendo a qualidade, dos produtos, através de investimentos no desenvolvimento tecnológico do setor, da melhoria da gestão de produção e conformidade com as normas técnicas. Este programa é mantido pela Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos (ANFACER), fundada em 1984 com o objetivo de representar a indústria brasileira de revestimentos cerâmicos nos âmbitos nacional e internacional.
- Assistência técnica – este centro realiza, também, atividades de assistência técnica pós-venda solicitadas pelas indústrias do setor.
- Design e inovação – o CCB possui ainda um laboratório de Design, onde são criados e desenvolvidos novos produtos cerâmicos.
- Pesquisa e desenvolvimento – No CCB são realizadas diversas pesquisas em inovações tecnológicas em cerâmica, no Centro de Inovação Tecnológica em Cerâmica (CITEC/CCB), associadas a agências de fomento como FIESP, FAPESP, CNPq. Com o objetivo de auxiliar no crescimento do setor cerâmico brasileiro, a equipe formada por pesquisadores pós doutores, doutores, mestres e especialistas, além dos técnicos laboratoriais, o CITEC/CCB atua em pesquisas de desenvolvimento de produtos, realizando assessorias técnicas e tecnológicas junto às empresas do ramo.
- Treinamentos – visando melhorias na qualidade da indústria cerâmica brasileira, o CCB realiza treinamentos para capacitar técnicos e funcionários do setor.

Este centro contém laboratórios para estudo de produtos cerâmicos, e tecnologias que envolvam a produção e a aplicabilidade destes produtos. Porém, não existem recomendações específicas à respeito das propriedades termofísicas dos materiais, sendo estas recomendações indicadas, portanto, apenas nas normas já citadas NBR 15575 (ABNT, 2013a) e NBR 15220 (ABNT, 2005a).

Como norma específica a respeito de telhas cerâmicas, pode-se citar a NBR 15310 (ABNT, 2009). Esta, por sua vez, trata de questões sobre impermeabilidade, durabilidade e melhor rendimento das telhas quando aplicadas em uma cobertura. Não tratando de questões específicas de refletância solar.

Para regulamentação das telhas de fibrocimento existe no Brasil a Associação Nacional de Fibrocimento – ANF, que propõem documentos como o FAD nº6 (TESIS, 2018), que apresenta ensaios de resistência para telhas de fibrocimento de 6mm, além de indicar a melhor forma de instalação e uso das telhas. Este tipo de relatório produzido com incentivo da ANF tem por

objetivo, após a realização de ensaios e testes laboratoriais, informar as condições ideais de uso, assim como a resistência das telhas.

A ANF e os ensaios e relatórios propostos por ela, seguem as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – como base. As normas que tratam especificamente de telhas de fibrocimento são relacionadas à verificação da resistência das telhas, NBR 7196 (ABNT, 2014), ou ainda estabelecem requisitos mínimos para produção, projetos e execução de coberturas com este tipo de telhas, NBR 7581 (ABNT, 2012) e NBR 15210 (ABNT, 2019).

Portanto, assim como para as telhas cerâmicas, as exigências de propriedades termofísicas, como a refletância solar, estão associadas apenas às normas NBR 15575 (ABNT, 2013a) e NBR 15220 (ABNT, 2005a).

4. ALTA II

O equipamento ALTA II foi desenvolvido nos Estados Unidos pelo *Lunar and Planetary Institute*, em Houston – Texas, para ser utilizado em escolas de ensino médio no ensino sobre radiação e sensoriamento remoto. O espectrômetro (Figura 8) mede as refletâncias correspondentes à radiação de 11 comprimentos de onda, compreendidos entre 470 e 940 nm, região que abrange desde a luz visível (sete dos comprimentos de onda captados pelo aparelho) e também o infravermelho próximo (os demais quatro comprimentos de onda) (LPI, 2017).

Figura 8 - Espectrômetro Portátil ALTA II.

Na parte inferior do equipamento existe abertura com onze pequenas lâmpadas, dispostas em círculo. Cada uma delas emite a energia correspondente a um comprimento de onda e é acionada por um dos botões. Pressionando um botão, acende-se a lâmpada correspondente, que emite certa quantidade de energia. Um sensor, localizado no centro da abertura inferior, é então

acionado e detecta a quantidade de energia que é refletida para cada um dos comprimentos de onda (PEREIRA et al., 2015b).

O ALTA II, apesar de não ser um equipamento com método de medição de refletância de superfícies opacas normatizado, merece que seu uso seja estudado, pois, além de possuir baixo custo e ser portátil, foi apresentado em alguns trabalhos (DORNELLES, RORIZ, 2006; DORNELLES, 2008; SANTOS et al, 2009; SANGOI et al, 2010; PEREIRA et al, 2015a; PEREIRA et al, 2015b) como alternativa, porém sem estudos mais aprofundados a respeito da confiabilidade das informações obtidas através dele, havendo ainda a necessidade de análise do seu funcionamento e dos índices obtidos a partir dele.

No Brasil foi realizado pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), relatório de avaliação deste equipamento, mostrando o procedimento que deve ser realizado para a medição da refletância e absortância com o ALTA II, e avaliando as potencialidades do aparelho (PEREIRA et al., 2015b). Porém, o número de amostras utilizado para a avaliação de seu desempenho foi pequeno para que seja confirmada a eficiência e confiabilidade do equipamento na aferição destes índices.

Portanto, há ainda a necessidade de novos estudos, com uma quantidade de amostras mais significativa, visando estudar o desempenho do ALTA II e as situações em que o equipamento pode ser utilizado.

Assim como acontece quando da medição da refletância através do espectrofotômetro, há a necessidade de que seja feito o ajuste dos dados obtidos ao espectro solar padrão, seguindo o mesmo procedimento citado posteriormente neste trabalho.

Ao comparar os resultados obtidos do equipamento ALTA II, aos obtidos por meio do espectrofotômetro, Pereira et al. (2015b) afirma que estes indicam boa aproximação com os valores de referência obtidos no espectrofotômetro para os mesmos comprimentos de onda (470 a 940nm). As diferenças encontradas para esta faixa do espectro solar foram de no máximo 2,80% (absoluto, considerando a refletância variando de 0-100%).

Porém há a necessidade de que a refletância seja aferida em faixa mais ampla para que seja possível a análise da interferência desta propriedade na temperatura das superfícies e dos ambientes internos das edificações as quais pertencem. “Quando se compara os resultados dos equipamentos ALTA II e a refletância solar total do espectrofotômetro, de 300 a 2500nm, as diferenças chegam a 10,12% (absoluto, considerando a refletância variando de 0-100%)” (PEREIRA et al., 2015b, p. 18).

4.1. PESQUISAS REALIZADAS COM O ALTA II

No Brasil, conforme dito previamente, algumas pesquisas já foram desenvolvidas utilizando o ALTA II como instrumento de medição de refletância solar de superfícies opacas. Inicialmente as pesquisas realizadas apresentaram avaliações sobre a utilização do equipamento, com o objetivo de iniciar estudos sobre suas potencialidades e possíveis falhas, quando da medição de refletância solar de superfícies opacas.

Dornelles e Roriz (2006), apresentam este equipamento como alternativa ao espectrofotômetro com esfera integradora, a partir da comparação das medições de refletância com os dois métodos de 37 amostras de tintas. Os autores constaram que o ALTA II é um equipamento confiável, com valores obtidos próximos aos medidos no espectrofotômetro, além de sua aquisição ser viável para profissionais e pesquisadores da área, devido ao custo inferior frente aos demais equipamentos utilizados para este tipo de medição.

Entre os estudos iniciais no cenário brasileiro a respeito do uso do espectrômetro ALTA II, Dornelles (2008) realiza uma análise de diferentes tipos de métodos de medição de absorvância solar de superfícies opacas, analisando tintas com diferentes cores, acabamentos e fabricantes, em um total de 78 amostras. Nesta, o espectrômetro portátil ALTA II é apresentado como uma alternativa aos métodos de medição de refletância solar de tintas.

Neste trabalho, a autora apresenta ainda equações desenvolvidas a partir de análise de regressão, que permitem que a partir dos dados coletados no ALTA II possa-se estimar o valor de refletância solar corrigida ao espectro solar padrão. As equações 07 e 08, apresentadas a seguir, são propostas pela autora para tintas com acabamento fosco. Já as equações 09 e 10 são propostas para tintas com acabamento semibrilho (DORNELLES, 2008).

Equação 07

$$\rho_{VIS} = -3,6592 + 0,8632 \cdot \rho_{Med} + 0,2566 \cdot \rho_{470} - 0,6508 \cdot \rho_{560} + 1,5302 \cdot \rho_{585} - 1,0333 \cdot \rho_{600}$$

Equação 08

$$\rho_T = 1,4753 + 1,5186 \cdot \rho_{Med} - 0,2326 \cdot \rho_{525} - 1,1804 \cdot \rho_{645} + 0,7375 \cdot \rho_{700} \quad (8)$$

Equação 09

$$\rho_{VIS} = -1,6787 - 0,2029 \cdot \rho_{Med} + 0,5050 \cdot \rho_{470} - 0,6841 \cdot \rho_{560} + 1,5913 \cdot \rho_{585} - 1,5325 \cdot \rho_{600} + 1,3215 \cdot \rho_{645}$$

Equação 10

$$\rho_T = -1,3517 + 0,2744 \cdot \rho_{525} - 0,3889 \cdot \rho_{560} + 0,1243 \cdot \rho_{735} - 1,9794 \cdot \rho_{880} + 2,7182 \cdot \rho_{940}$$

Sendo:

ρ_{VIS} = refletância estimada para a faixa visível do espectro (%);

ρ_T = refletância estimada para o espectro solar total (%);

ρ_{Med} = refletância média obtida no ALTA (%);

ρ_{470} = refletância obtida no ALTA para 470 nm (%);

ρ_{525} = refletância obtida no ALTA para 525 nm (%);

ρ_{560} = refletância obtida no ALTA para 560 nm (%);

ρ_{585} = refletância obtida no ALTA para 585 nm (%);

ρ_{600} = refletância obtida no ALTA para 600 nm (%);

ρ_{645} = refletância obtida no ALTA para 645 nm (%);

ρ_{700} = refletância obtida no ALTA para 700 nm (%).

ρ_{735} = refletância obtida no ALTA para 735 nm (%);

ρ_{880} = refletância obtida no ALTA para 880 nm (%); e

ρ_{940} = refletância obtida no ALTA para 940 nm (%).

Os valores obtidos através da medição com o ALTA e a utilização destas equações chegou a correlações com coeficientes de determinação R^2 de 0,96 para as tintas de acabamento fosco e 0,99 para as tintas de acabamento semibrilho, valores que indicam confiabilidade na utilização das equações para estimativa da refletância solar de tintas.

Em estudo realizado anteriormente ao trabalho desenvolvido por Dornelles (2008), Lamberts, Ghisi e Ramos (2006), utilizaram o espectrômetro ALTA II para medição de refletância solar das fachadas de edificações de escritórios, a fim de complementar a análise das cores empregadas nas edificações e seu impacto em sua eficiência energética e no conforto térmico dos usuários dos mesmos. Porém o estudo não apresenta avaliação da viabilidade do uso do espectrômetro, tomando-o como método confiável para a medição destes dados.

Buscando compreender melhor o funcionamento do ALTA II, Santos, Marinoski e Lamberts (2009) fizeram um estudo comparativo apresentando como o ambiente externo interfere nas medições com o ALTA. Eles observaram que em ambiente externo e sem a proteção de um aparato escuro, os valores de refletância solar para as tintas analisadas foram maiores do que os valores obtidos com o aparato escuro, com maior diferença de 9% em valor absoluto.

Ainda neste sentido de descobrir que tipo de aspectos da superfície interferem nas medições com o ALTA II, Santos et al. (2011) realizaram medições comparativas onde uma mesma cor de tinta foi aplicada em diferentes superfícies, com níveis diferentes de rugosidade, em vista de descobrir como esta interfere nos valores medidos pelo equipamento. Foi observado pelos autores que para as medições de refletância com o ALTA, a rugosidade tem pouca interferência, sendo então confiável para obtenção destes dados.

Marinoski et al. (2013) em estudo comparativo entre diferentes métodos de medição de refletância solar de superfícies de três pastilhas cerâmicas esmaltadas, comumente utilizadas em fachadas de edificações, utilizou um espectrofotômetro com esfera integradora, um refletômetro e o ALTA II. Chegando a diferenças entre o 7,9% e 34% quando comparado o ALTA II aos demais equipamentos, já normalizados (Figura 9).

Fonte: Marinoski et al. (2013).

Ainda a respeito das análises do uso deste equipamento com o fim de medição de refletância solar de tintas, foi publicado o Guia de medição e cálculo para refletância e absorvância solar em superfícies opacas (PEREIRA et al., 2015a), pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), onde o ALTA II é apresentado como método alternativo à medição destas propriedades. Além de classificar o espectrômetro como alternativa aos demais equipamentos já normalizados, este documento apresenta detalhadamente como realizar as medições com o ALTA II.

Percebe-se que as pesquisas realizadas utilizando o ALTA II o apresentam como uma alternativa compatível ao espectrofotômetro para a medição de absorvância solar de tintas, e o mesmo começa, então, a ser utilizado para tal medição em novos trabalhos desenvolvidos.

Isto pode ser visto, por exemplo, na pesquisa realizada por Schaefer et al. (2014) que utiliza o ALTA II como equipamento para medição da absorvância solar de fachadas de edificações na

cidade de Florianópolis – SC, sob o objetivo de avaliar o desempenho térmico das mesmas. Ou ainda como no estudo proposto por Sá e Oliveira (2019) que busca classificar uma edificação que abriga uma escola pública na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, onde este é o método utilizado para medição de refletância a fim de caracterizar a envoltória da edificação.

Contudo, como pode-se perceber, de forma geral as pesquisas apresentam resultados apenas para tintas e revestimentos de fachada, havendo a necessidade de análises do comportamento deste equipamento para diferentes tipos de telhas e coberturas que podem ser empregadas nas edificações. Análise esta, proposta e realizada nesta dissertação de mestrado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos deste trabalho foi adotado o método de pesquisa exploratória, composto por medições da refletância solar de amostras de telhas selecionadas, utilizando os equipamentos espectrofotômetro com esfera integradora e espectrômetro ALTA II. Além disso, foram realizadas medições de temperaturas superficiais das mesmas telhas, utilizadas ao final como forma de confirmar a importância do conhecimento da refletância solar das superfícies e sua relação com o aumento de sua temperatura ao serem expostas diretamente à radiação solar, assim como acontece quando aplicadas em coberturas de edificações. As etapas da pesquisa seguiram o fluxograma apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma do método de pesquisa.

5. CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

5.1. TELHAS CERÂMICAS

Na primeira etapa das medições de refletância solar foram selecionadas telhas cerâmicas com acabamento natural, resinadas e esmaltadas. Estas foram separadas em grupos para possibilitar as medições em dias alternados. Os mesmos são apresentados a seguir nos quadros Quadro 7, Quadro 8 e 9, e os códigos criados para cada telha são apresentados no Quadro 6.

O grupo 01 é composto por telhas cerâmicas de acabamento natural, resinado e esmaltado, de modelos: Francesa, Paulistinha, de cumeeira e coloridas. No grupo 02 estão aquelas mais utilizadas e com formas semelhantes, com modelos resinados e naturais de telhas Americana, Romana, Portuguesa e Italiana.

Quadro 6 - Códigos telhas cerâmicas

TIPO DE TELHA	CÓDIGO
Telha Cerâmica acabamento Natural	TCN
Telha Cerâmica acabamento Resinado	TCR
Telha Cerâmica acabamento Esmaltado	TCE

Quadro 7 - Códigos e relação de telhas cerâmicas analisadas.

Código	Modelo	Acabamento	Fabricante	Grupo de medição
TCN01	Americana	Natural	CERÂMICA SÃO FRANCISCO	GRUPO 01
TCN02	Italiana	Natural	CERÂMICA SÃO FRANCISCO	GRUPO 01
TCN03	Romana	Natural	CERÂMICA SÃO FRANCISCO	GRUPO 01
TCN04	Portuguesa	Natural	CERÂMICA SÃO FRANCISCO	GRUPO 01
TCN05	Romana	Natural	CERÂMICA SÃO ROQUE	GRUPO 01
TCN06	Portuguesa	Natural	CERÂMICA SÃO ROQUE	GRUPO 01
TCN07	Americana	Natural	CERÂMICA SÃO ROQUE	GRUPO 01
TCN08	Italiana	Natural	CERÂMICA SÃO ROQUE	GRUPO 01
TCN09	Francesa	Natural	CERÂMICA SÃO FRANCISCO	GRUPO 02
TCN10	Cumeeira	Natural	CERÂMICA SÃO FRANCISCO	GRUPO 02
TCN11	Paulistinha	Natural	CERÂMICA SÃO FRANCISCO	GRUPO 02
TCR01	Romana	Resinada	CERÂMICA SÃO FRANCISCO	GRUPO 01
TCR02	Portuguesa	Resinada	CERÂMICA SÃO FRANCISCO	GRUPO 01
TCR03	Americana	Resinada	CERÂMICA SÃO FRANCISCO	GRUPO 01
TCR04	Italiana	Resinada	CERÂMICA SÃO FRANCISCO	GRUPO 01
TCR05	Romana	Resinada	CERÂMICA BARROBELO	GRUPO 01
TCR06	Portuguesa	Resinada	CERÂMICA BARROBELO	GRUPO 01
TCR07	Francesa	Resinada	CERÂMICA SÃO FRANCISCO	GRUPO 02
TCR08	Cumeeira	Resinada	CERÂMICA SÃO FRANCISCO	GRUPO 02
TCR09	Cumeeira	Resinada	CERÂMICA SÃO FRANCISCO	GRUPO 02
TCR10	Paulistinha	Resinada	CERÂMICA SÃO FRANCISCO	GRUPO 02
TCE01	Americana	Esmaltada	MAD TELHAS	GRUPO 02
TCE02	Americana	Esmaltada	MAD TELHAS	GRUPO 02
TCE03	Americana	Esmaltada	MAD TELHAS	GRUPO 02
TCE04	Americana	Esmaltada	MAD TELHAS	GRUPO 02
TCE05	Americana	Esmaltada	MAD TELHAS	GRUPO 02
TCE06	Americana	Esmaltada	MAD TELHAS	GRUPO 02
TCE07	Americana	Esmaltada	MAD TELHAS	GRUPO 02
TCE08	Americana	Esmaltada	MAD TELHAS	GRUPO 02
TCE09	Americana	Esmaltada	MAD TELHAS	GRUPO 02
TCE10	Americana	Esmaltada	MAD TELHAS	GRUPO 02

Quadro 8 - Telhas seleccionadas para a o Grupo 01

GRUPO 01

TCN09

TCR07

TCN10

TCR08

TCR09

TCR10

TCN11

TCE01

TCE02

TCE03

TCE04

TCE05

TCE06

TCE07

TCE08

TCE09

TCE010

Quadro 9 - Telhas selecionadas para o Grupo 02.

5.2. TELHAS DE FIBROCIMENTO

Dando prosseguimento à seleção de amostras a serem analisadas nesta pesquisa, foram escolhidas telhas de fibrocimento, disponíveis no mercado de construção civil da cidade de São Carlos-SP. Os quadros Quadro 10 e Quadro 11 apresentam respectivamente as telhas, com seus códigos, fabricantes e modelos, e imagens das telhas seguidas de seus códigos.

As medições destas telhas se deram em apenas um dia, portanto denominou-se seu grupo de medições como GRUPO 03. Importante salientar ainda que se buscou abranger modelos distintos deste tipo de telha, e também trazer telhas com acabamentos de alta refletância.

Quadro 10 - Códigos e relação de telhas de fibrocimento analisadas.

Código	Modelo	Acabamento	Fabricante	Grupo de medição
TF01	P3 4mm	Natural	CONFIBRA	GRUPO 03
TF02	MAXIPLAC 6mm	Natural	BRASILIT	GRUPO 03
TF03	FIBROTEX 4mm	Natural	BRASILIT	GRUPO 03
TF04	ONDA 50 8mm	Natural	BRASILIT	GRUPO 03
TF05	ONDULADA 5mm	Natural	BRASILIT	GRUPO 03
TF06	ONDULADA TopComfort 5mm	Refletivo	BRASILIT	GRUPO 03
TF07	UNIVERSAL TopComfort 4mm	Refletivo	INFIBRA	GRUPO 03
TF08	UNIVERSAL 4mm	Natural	INFIBRA	GRUPO 03

Quadro 11 - Telhas selecionadas para o Grupo 03.

5.3. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para a medição da refletância solar no espectrofotômetro das superfícies elencadas para análise, foi necessário que inicialmente fossem cortadas pequenas amostras, que pudessem ser inseridas no equipamento e assim realizadas as medições. Estas mesmas amostras foram utilizadas para as medições com o ALTA II e colorímetro.

Para isto, foram realizados dois processos. A primeira tentativa de corte das telhas cerâmicas se deu utilizando uma furadeira DeWALT XR com uma broca modelo serra-copo de 50mm acoplada (Figura 11). Com este método foram cortadas com êxito as telhas cerâmicas esmaltadas, apenas uma telha cerâmica resinada e nenhuma com acabamento natural. Isto porque durante o processo, as demais telhas não se comportaram bem ao corte com este equipamento, quebrando

e gerando amostras que impossibilitaram as medições. Portanto, para as telhas cerâmicas naturais e resinadas, foi feito o corte em uma serra circular existente no Laboratório de Construção Civil da USP – LCC (Figura 12).

Figura 11 - Furadeira com broca serra-copo utilizados.

Figura 12 – Serra circular do LCC utilizada.

Tanto no corte com a furadeira e a broca serra-copo, quanto com a serra circular, houve a necessidade de aplicar um fluxo contínuo de água, devido ao aquecimento excessivo das lâminas. A Figura 13 mostra os processos de corte com a furadeira e com a serra circular, onde se pode ver o fluxo de água sendo aplicado através de uma mangueira. O resultado dos cortes de todas as amostras pode ser observado nas figuras Figura 14, Figura 15 e Figura 16.

Figura 13 - Processo de corte com furadeira (à esquerda) e serra circular (à direita).

Figura 14 - Amostras de telhas cerâmicas esmaltadas.

Figura 15 - Amostras de telhas cerâmicas resinadas.

Figura 16 - Amostra de telhas cerâmicas naturais.

Para as telhas de fibrocimento, foi utilizada serra manual, conforme a Figura 17, e considerando que a superfície destas telhas é menos rígida que das telhas cerâmicas, não foi necessário fluxo contínua de água para auxiliar o corte. Para estas medições, tentou-se manter amostras com aproximadamente 5 cm de lado.

Porém não foi possível realizar o corte de todas as telhas com esta medida, isto porque a prioridade neste corte foi que as amostras ficassem o mais planas possível, e considerando que algumas telhas possuem curvas muito pequenas, as medidas das amostras foram menores, variando entre 5 e 2 centímetros de lado. A Figura 18 apresenta as amostras das telhas de fibrocimento após o corte.

Figura 17 – Corte com serra manual no LCC.

Figura 18 - Amostra de telhas fibrocimento.

6. MEDIÇÃO DE REFLETÂNCIA SOLAR COM ESPECTROFOTÔMETRO

Objetivando conhecer a refletância solar de cada amostra já preparada previamente conforme indicado no item 5.3 deste trabalho, foi levada até o Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica do Instituto de Química da Universidade Federal de São Carlos (LIEC-UFSCar), para realização das medições da refletância solar no espectrofotômetro com esfera integradora. É importante salientar que, neste transporte até o LIEC, as amostras se encontravam protegidas, envoltas em papel delicado e pouco abrasivo, buscando que assim suas superfícies permanecessem sem riscos ou deposição de sujeiras.

Elas foram então posicionadas no equipamento, uma por vez, para obtenção dos dados de refletância solar. O espectrofotômetro utilizado foi da marca Varian modelo Cary 5G. Todas as medições realizadas seguiram a norma ASTM E903 (ATSM, 2012a).

Este equipamento mede a refletância espectral de cada para as regiões do espectro solar que correspondem ao ultravioleta (300 a 380 nm), ao visível (380 a 750 nm) e ao infravermelho

próximo (750 a 2500 nm), sendo que a medição é feita a cada 1 nanômetro. Antes que cada amostra seja posicionada, é realizada sua calibração do espectrofotômetro, com amostras de referência, que representam uma superfície que reflete quase a totalidade da radiação ($\rho = 0,99$) e uma outra que absorve quase a totalidade da radiação ($\rho = 0,02$).

Este equipamento apresenta os dados medidos em forma de gráficos, mostrando uma curva com os dados de refletância para cada comprimento de onda, considerando no eixo X os comprimentos de onda e no eixo Y a porcentagem de refletância da amostra para o respectivo comprimento de onda. Também é obtida a partir desta medição, os dados de refletância para cada comprimento de onda em formato possível de leitura no software Excel, onde foram geradas planilhas com os valores, para que estes pudessem ser trabalhados.

Ao fim das medições a refletância solar de uma das telhas analisadas neste trabalho foi superior a 100%, pois a amostra refletiu uma porcentagem maior que a amostra de referência utilizada na calibração do equipamento. Foi então necessário que se realizasse a correção deste valor.

Para isto foram estabelecidos valores máximo e mínimo de medição de refletância para cada comprimento de onda, sendo zero o mínimo e 100 o máximo. Portanto, os valores medidos no espectrofotômetro menores que zero, foram ajustados para este valor mínimo, e para os comprimentos de onda em que a medição resultou em um valor acima de 100%, foi feita alteração do mesmo para o valor máximo estabelecido.

De posse dos dados obtidos pelo espectrofotômetro com esfera integradora, e ajustados para os valores máximo e mínimo estabelecidos, seguiu-se com o ajuste das refletâncias ao espectro solar padrão, segundo a norma ASTM G173 (ASTM, 2012b), conforme apresentado a seguir.

Inicialmente é obtida a curva de intensidade relativa ao espectro solar padrão, através da Equação 11.

$$IR_{\lambda} = \frac{I_{(\lambda)}}{I_{MÁX}} \times 100 \quad \text{Equação 11}$$

Sendo:

IR_{λ} : Intensidade relativa da Irradiância Solar Global, por comprimento de onda;

$I_{(\lambda)}$: Irradiância solar global, para cada comprimento de onda (W/m^2);

$I_{MÁX}$: Irradiância solar global máxima do espectro solar padrão (W/m^2).

Em seguida é calculada a refletância relativa das amostras por comprimento de onda seguindo a Equação 12.

$$\rho_{Rel(\lambda)} = IR_{\lambda} \times \rho_{\lambda} \quad \text{Equação 12}$$

Sendo:

$\rho_{Rel}(\lambda)$: refletância relativa, para cada comprimento de onda (%);

IR_{λ} : Intensidade relativa da Irradiância Solar Global, por comprimento de onda;

ρ_{λ} : refletância medida em espectrofotômetro, por comprimento de onda (%).

Foi, então, calculada a média das Refletâncias Relativas ($Med\rho_{Rel}$) de cada amostra e a média da intensidade relativa da Irradiância Solar Global (Med_{IR}). Por fim, obtida a Refletância Solar ajustada ao espectro solar padrão, para cada amostra analisada, conforme a Equação 13:

$$\rho_{Ajust} = \frac{Med\rho_{Rel}}{Med_{IR}} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

ρ_{Ajust} = refletância ajustada ao espectro solar padrão (%);

$Med\rho_{Rel}$ = Média das refletâncias relativas da amostra (%);

Med_{IR} = Média da Intensidade Relativa da Irradiância Solar Global.

Após o cálculo do ajuste ao espectro solar padrão, foram calculadas ainda as médias dos valores de refletância separadamente para as regiões ultravioleta, visível e infravermelho. Isto permitiu uma análise mais detalhada da refletância de cada amostra por todo o espectro solar.

7. MEDIÇÃO DE REFLETÂNCIA SOLAR COM ESPECTRÔMETRO ALTA II

Para atender ao objetivo principal desta pesquisa, as medições com o espectrômetro ALTA II foram realizadas para todas as amostras selecionadas. Para estas medições, considerou-se os onze comprimentos de onda que o aparelho capta, que estão compreendidos entre 470 e 940 nm. As amostras utilizadas para esta etapa foram as mesmas com as quais se mediu a refletância solar no espectrofotômetro com esfera integradora.

Conforme apresentado por Pereira et al. (2015b), é necessário que, quando da realização da medição, o equipamento seja protegido com um aparato escuro, para que a radiação solar incidente não interfira nos dados obtidos através das lâmpadas de LED presentes no ALTA II. Além disso, é importante que a superfície seja lisa, pois foram encontrados, neste estudo, variações do valor real de refletância em superfícies rugosas.

Portanto, foi confeccionado um aparato escuro, em tecido preto, para impedir que qualquer radiação externa interfira no dado obtido (Figura 19). Foram realizados procedimentos distintos repetidos em cada uma das amostras, buscando observar as interferências do meio externo no resultado obtido. Inicialmente, realizaram-se medições em ambiente fechado, inicialmente sem o aparato escuro, por fim com o aparato escuro que impeça a entrada de luminosidade.

Figura 19 - Aparato em tecido com ofício para encaixe do ALTA II.

Os valores obtidos por este equipamento não são os absolutos referentes à refletância, ele indica apenas a voltagem, portanto para que se atinja o índice desejado é necessária a realização do procedimento proposto por Dornelles (2008), a seguir:

1. Inicialmente, mede-se a voltagem de fundo do equipamento, isto é feito para calibrar o aparelho e então partir para as medições das amostras.
2. Mede-se as voltagens para cada comprimento abrangido pelo aparelho para uma amostra de referência de refletância e absortância conhecida.
3. São aferidas as voltagens para cada comprimento de onda, três vezes para cada amostra, visando aumentar a confiabilidade dos dados medidos.
4. Calcula-se, então, a refletância de cada amostra utilizando-se a Equação 14:

$$\rho_{amostra} = \left(\frac{V_{amostra} - V_{fundo}}{V_{referência} - V_{fundo}} \right) \times \rho_{referência} \quad \text{Equação 14}$$

Sendo:

$\rho_{amostra}$: refletância da amostra, para cada comprimento de onda (%);

$V_{amostra}$: voltagem da amostra (mV), para cada comprimento de onda;

V_{fundo} : voltagem de fundo (mV);

$V_{referência}$: voltagem da amostra de referência (mV);

$\rho_{referência}$: refletância da amostra de referência, por comprimento de onda (%).

Da mesma forma já realizada quando da aferição com o espectrofotômetro, há a necessidade de que seja feito o ajuste dos dados obtidos ao espectro solar padrão, seguindo o mesmo procedimento já citado.

A fim de aumentar os dados comparativos entre os diferentes ambientes de medições, foram realizadas novas medições com este equipamento, porém sem o aparato preto e em ambiente externo. Para esta etapa foram selecionadas sete telhas, entre elas cerâmicas com acabamento natural, resinado e esmaltado, e também de fibrocimento, as telhas são: TCN07, TCN06, TCR01, TCR02, TCE10, TF01, TF05.

Ao final de todas as medições de refletância solar com o ALTA II, foram realizadas comparações entre os dados obtidos em cada metodologia, buscando observar a interferência da luminosidade nos resultados finais e as possibilidades do equipamento. Foram então realizadas medições em ambiente interno e externo, em um dia de céu claro, como visto na Figura 20.

Figura 20 - Imagem do céu no dia da medição com o espectrômetro ALTA II.

Foi escolhido um dia com estas condições para que fosse garantida maior incidência de radiação solar direta, o local em que estas medições externas foram realizadas é ainda rodeado de edificações com revestimento em pintura branca adicionando-se, portanto, a radiação refletida por estas superfícies.

8. MEDIÇÃO DE PARÂMETROS DE COR

Outros dados obtidos nesta pesquisa, que foram relacionados à refletância solar das telhas analisadas, são os parâmetros de cor. Estes foram medidos utilizando um colorímetro, modelo Colorium 2 Delta Color (Figura 21), juntamente ao software de colorimetria Lab7 Delta Color.

Figura 21 - Colorímetro Colorium 2.

Para a análise dos parâmetros de cor, é necessário que padrões sejam estabelecidos, já que as cores variam de acordo com o observador e com a fonte de luz nela incidente. A Comissão Internacional de Iluminação (CIE), estabelece padrões conhecidos como CIELAB, através das coordenadas colorimétricas retangulares L^* , a^* , b^* e polares L^* , C^* e h^* (DELTA COLOR, 2018),

sendo último utilizado pelo Colorium 2, a ser utilizado nesta etapa da pesquisa, onde h^* corresponde à tonalidade, C^* à saturação (S) e L^* à luminosidade (sistema HSL).

No CIELAB, conforme estabelecido pela ISO 11664-4 (ISO, 2008), a cor é identificada por três valores em coordenadas retangulares, sendo: L, para a luminosidade, expressa em percentagem, variando de zero para o preto a 100 para o branco; a e b, para as coordenadas que vão, respectivamente, do verde ao vermelho e do azul ao amarelo. Já considerando coordenadas polares (CIELCh), os parâmetros são L para luminosidade, C para saturação e H para tonalidade, conforme apresentado na Figura 22 (DELTA COLOR, 2018).

Figura 22 - Parâmetros de cor CIELCH.

Fonte: Adaptado de Konica Minolta (2007).

Para realizar esta medição, foram utilizadas as mesmas amostras previamente cortadas e utilizadas nas etapas com o espectrômetro ALTA II e o espectrofotômetro.

Inicialmente, o equipamento foi calibrado, utilizando padrões de fábrica, um deles representando branco, e outro preto. Com o colorímetro calibrado, o mesmo foi posicionado sobre a superfície de cada uma das amostras, separadamente, de forma a captar os dados dos parâmetros de cor.

Essa medição tem como principal objetivo caracterizar através do sistema HSL as telhas selecionadas para esta pesquisa. Além disso, o parâmetro L (luminosidade) foi comparado aos valores de refletância solar obtidos, visto que este parâmetro diz respeito à quantidade de branco presente na composição da cor da superfície, buscou-se estabelecer uma relação entre ele e a quantidade de radiação refletida pela amostra. Esta relação foi feita através do cálculo de correlação linear entre os dois valores.

Para realizar comparações entre os parâmetros de cor estabelecidos pelo equipamento, e a refletância solar obtida através do espectrofotômetro com esfera integradora, é utilizado o

sistema HSL, por meio do qual as telhas têm suas cores caracterizadas. A partir desta caracterização, foi realizada uma análise estatística de regressão, buscando associar o valor de Luminosidade presente na composição da cor no formato HSL, à refletância solar.

9. MEDIÇÃO DE TEMPERATURAS SUPERFICIAIS

Buscando estabelecer uma relação entre a refletância solar e o desempenho térmico das telhas de fibrocimento e cerâmicas, analisadas nesta pesquisa, foram realizadas medições de temperatura superficial das amostras selecionadas e previamente apresentadas.

Para que se desse início às medições de temperaturas superficiais das amostras selecionadas, primeiramente foi montada uma mesa como estrutura para expor as telhas ao sol. Esta mesa foi feita a partir de estrutura metálica existente no Laboratório de Construção Civil (LCC) do IAU-USP, onde foi apoiada uma placa de MDF com acabamento cru, medindo 2,75x1,80m. Este MDF foi então coberto por duas camadas de lã de vidro ISOVER Wallfelt +4 (Figura 23), para que as trocas de calor realizadas com a parte inferior da mesa, não interferissem na temperatura das amostras. A estrutura foi instalada em uma área aberta do campus da Universidade de São Paulo, em São Carlos, em frente ao Laboratório de Conforto Ambiental (LCA), região gramada com pequena inclinação, voltada para o norte.

Figura 23 - Mesa coberta por lã de vidro, com telhas expostas ao sol.

As telhas cerâmicas e de fibrocimento foram então apoiadas nesta mesa, conforme apresentado na Figura 23, e expostas ao sol no intervalo de 11h até 14h em grupos, cada grupo em um dia – grupo 01 no dia 04/07/18, grupo 02 no dia 05/07/18 e grupo 03 no dia 11/06/19 –, totalizando três horas de radiação solar direta em seu horário de maior incidência. As medições da temperatura superficial foram realizadas a cada 06 minutos, totalizando 10 medições por hora, utilizando o termômetro de infravermelho com mira laser modelo Testo 830-T1 (Figura 24). Após aferir cada temperatura, foram registradas imagens termográficas das telhas, dentro do mesmo intervalo de tempo, com a câmera termográfica modelo Testo 870 (Figura 25).

Figura 24 – Termômetro de infravermelho Testo 830-T1.

Figura 25 - Câmera termográfica Testo 870

Considerando-se que as telhas analisadas possuem formatos diferentes, e que dependendo do formato da superfície a radiação irá incidir de forma distinta, alterando a temperatura em determinados pontos, nas medições realizadas considerou-se três pontos para a captura das temperaturas superficiais. Os pontos selecionados foram diferentes para os modelos de telhas com formas muito distintas, conforme apresentado nas figuras Figura 26, Figura 27, Figura 28, Figura 29 e Figura 30.

Figura 26 - Pontos para medição de temperaturas superficiais em telhas Americanas, Romanas, Portuguesas e Italianas.

Figura 27 - Pontos para medição de temperaturas superficiais em telhas Paulistinhas.

Figura 28 - Pontos para medição de temperaturas superficiais em telhas de cumeeira.

Figura 29 - Pontos para medição de temperaturas superficiais em telhas Francesas.

Figura 30 - Pontos para medição de temperaturas superficiais em telhas de fibrocimento.

A temperatura superficial final de cada telha analisada foi então obtida através da média entre as três temperaturas medidas, conforme a Equação 15.

$$T_S = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} \quad \text{Equação 15}$$

Sendo:

T_S = Temperatura superficial média (°C);

T_1 = Temperatura superficial no ponto 01 (°C);

T_2 = Temperatura superficial no ponto 02 (°C); e

T_3 = Temperatura superficial no ponto 03 (°C).

10. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Ao final de todas as medições realizadas nesta pesquisa, foram realizadas análises estatísticas buscando correlacionar alguns dados obtidos. Esta correlação se fez necessária para melhor entendimento das relações entre os valores de refletância solar obtidos a partir de cada método de medição, dando subsídios para a análise da confiabilidade do espectrômetro ALTA II como método de medição de refletância solar para telhas cerâmicas e de fibrocimento.

A correlação linear feita entre duas variáveis serve para constatar a associação numérica entre ambas, não implicando necessariamente em uma relação causa-efeito entre elas. Esta correlação pode ainda ser positiva, quando os valores de cada eixo variam de forma semelhante, ou seja, quando os valores da variável X crescem, os valores da variável Y também crescem. Ou também pode ser uma correlação negativa, que implica que quando os valores de uma variável crescem, os da outra diminuem (BARBETTA; REIS; BORNIA, 2010).

Além da apresentação de gráficos de correlação linear, foram realizados cálculos de regressão linear simples, com apoio do *software Origin*. Esta análise estatística foi realizada utilizando os dados obtidos para refletância solar a partir do ALTA II e do espectrofotômetro. Considerou-se este último como variável X independente (variável controlada e fixa), e os dados obtidos através do espectrômetro como variável Y dependente (variável aleatória e mutável). É importante

salientar que, diferente da análise de correlação, na regressão linear procura-se uma relação de causalidade entre as variáveis estudadas (BARBETTA; REIS; BORNIA, 2010).

A partir da análise de regressão, foram geradas equações para obtenção do valor de refletância solar ajustada ao espectro solar padrão, tendo como referência os valores obtidos com o espectrofotômetro, a partir dos valores de refletância medidos em cada comprimento de onda pelo ALTA II. Estas equações têm como base a equação da regressão linear simples (equação 16), a seguir.

$$X = a + b*Y \quad \text{Equação 16}$$

Sendo:

X = variável independente

Y = variável dependente

a e b = parâmetros do modelo

RESULTADOS E DISCUSSÕES

11. REFLETÂNCIAS MEDIDAS COM ESPECTROFOTÔMETRO

Visando obter o valor de refletância solar para cada telha estudada nesta pesquisa, inicialmente as amostras de cada uma delas foram levadas até a Universidade Federal do São Carlos – UFSCar, para utilização do espectrofotômetro com esfera integradora do LIEC, onde foi obtida a refletância espectral das amostras para cada comprimento de onda.

De posse dos dados coletados, foi calculado o ajuste ao espectro solar padrão, conforme a norma ASTM G-173 (2012b), obtendo então, a refletância solar de cada amostra. Os resultados destas medições, assim como os dados após o cálculo do ajuste solar padrão, são apresentados nos gráficos de Gráfico 1 a Gráfico 40, juntamente à curva do espectro solar padrão. Nestes gráficos o eixo X corresponde aos comprimentos de onda variando de 300 a 2500 nm, já o eixo Y corresponde à refletância, e neste caso varia de 0 a 120, pois uma das amostras analisadas atingiu valores de refletância espectral acima de 100%.

Gráfico 1 - Refletância solar telha TCN01.

Gráfico 2 - Refletância solar telha TCN02.

Gráfico 3 - Refletância solar telha TCN03.

TCN03

$$\rho_{UV} \quad 0,09$$

$$\rho_{visível} \quad 0,33$$

$$\rho_{IV} \quad 0,67$$

$$\rho_{Total} \quad \mathbf{0,48}$$

Gráfico 4 - Refletância solar telha TCN04.

TCN04

$$\rho_{UV} \quad 0,10$$

$$\rho_{visível} \quad 0,34$$

$$\rho_{IV} \quad 0,68$$

$$\rho_{Total} \quad \mathbf{0,49}$$

Gráfico 5 - Refletância solar telha TCN05.

TCN05

$$\rho_{UV} \quad 0,11$$

$$\rho_{visível} \quad 0,37$$

$$\rho_{IV} \quad 0,72$$

$$\rho_{Total} \quad \mathbf{0,53}$$

Gráfico 6 - Refletância solar telha TCN06.

TCN06

$$\rho_{UV} \quad 0,12$$

$$\rho_{visível} \quad 0,38$$

$$\rho_{IV} \quad 0,72$$

$$\rho_{Total} \quad \mathbf{0,53}$$

Gráfico 7 - Refletância solar telha TCN07.

Gráfico 8 - Refletância solar telha TCN08.

Gráfico 9 - Refletância solar telha TCN09.

Gráfico 10 - Refletância solar telha TCN10.

Gráfico 11 - Refletância solar telha TCN11.

TCN11

$$\rho_{UV} \quad 0,11$$

$$\rho_{visível} \quad 0,36$$

$$\rho_{IV} \quad 0,73$$

$$\rho_{Total} \quad \mathbf{0,53}$$

Gráfico 12 - Refletância solar telha TCR01.

TCR01

$$\rho_{UV} \quad 0,09$$

$$\rho_{visível} \quad 0,33$$

$$\rho_{IV} \quad 0,67$$

$$\rho_{Total} \quad \mathbf{0,47}$$

Gráfico 13 - Refletância solar telha TCR02.

TCR02

$$\rho_{UV} \quad 0,09$$

$$\rho_{visível} \quad 0,33$$

$$\rho_{IV} \quad 0,66$$

$$\rho_{Total} \quad \mathbf{0,47}$$

Gráfico 14 - Refletância solar telha TCR03

TCR03

$$\rho_{UV} \quad 0,09$$

$$\rho_{visível} \quad 0,33$$

$$\rho_{IV} \quad 0,67$$

$$\rho_{Total} \quad \mathbf{0,48}$$

Gráfico 15 - Refletância solar telha TCR04.

Gráfico 16 - Refletância solar telha TCR05.

Gráfico 17 - Refletância solar telha TCR06.

Gráfico 18 - Refletância solar telha TCR07.

Gráfico 19 - Refletância solar telha TCR08.

TCR08	
ρ_{UV}	0,10
$\rho_{visível}$	0,34
ρ_{IV}	0,70
ρ_{Total}	0,50

Gráfico 20 - Refletância solar telha TCR09.

TCR09	
ρ_{UV}	0,09
$\rho_{visível}$	0,32
ρ_{IV}	0,65
ρ_{Total}	0,46

Gráfico 21 - Refletância solar telha TCR10.

TCR10	
ρ_{UV}	0,09
$\rho_{visível}$	0,34
ρ_{IV}	0,71
ρ_{Total}	0,50

Gráfico 22 - Refletância solar telha TCE01.

TCE01	
ρ_{UV}	0,29
$\rho_{visível}$	0,74
ρ_{IV}	0,77
ρ_{Total}	0,74

Gráfico 23 - Refletância solar telha TCE02.

TCE02

 ρ_{UV} 0,20 $\rho_{visível}$ 0,58 ρ_{IV} 0,77 ρ_{Total} **0,66**

Gráfico 24 - Refletância solar telha TCE03.

TCE03

 ρ_{UV} 0,16 $\rho_{visível}$ 0,53 ρ_{IV} 0,77 ρ_{Total} **0,63**

Gráfico 25 - Refletância solar telha TCE04.

TCE04

 ρ_{UV} 0,16 $\rho_{visível}$ 0,51 ρ_{IV} 0,75 ρ_{Total} **0,61**

Gráfico 26 - Refletância solar telha TCE05.

TCE05

 ρ_{UV} 0,08 $\rho_{visível}$ 0,38 ρ_{IV} 0,72 ρ_{Total} **0,53**

Gráfico 27 - Refletância solar telha TCE06.

TCE06

 ρ_{UV} 0,20 $\rho_{visível}$ 0,40 ρ_{IV} 0,69 ρ_{Total} **0,52**

Gráfico 28 - Refletância solar telha TCE07.

TCE07

 ρ_{UV} 0,10 $\rho_{visível}$ 0,27 ρ_{IV} 0,59 ρ_{Total} **0,41**

Gráfico 29 - Refletância solar telha TCE08.

TCE08

 ρ_{UV} 0,04 $\rho_{visível}$ 0,20 ρ_{IV} 0,60 ρ_{Total} **0,38**

Gráfico 30 - Refletância solar telha TCE09.

TCE09

 ρ_{UV} 0,04 $\rho_{visível}$ 0,09 ρ_{IV} 0,35 ρ_{Total} **0,20**

Gráfico 31 - Refletância solar telha TCE10.

Gráfico 32 - Refletância solar telha TFC01.

Gráfico 33 - Refletância solar telha TFC02.

Gráfico 34 - Refletância solar telha TFC03.

Gráfico 35 - Refletância solar telha TFC04.

Gráfico 36 - Refletância solar telha TFC05.

Gráfico 37 - Refletância solar telha TFC06.

Gráfico 38 - Refletância solar telha TFC07 – Conforme medido no espectrofotômetro

Gráfico 39 - Refletância solar telha TFC07 – Com correção de valores máximo e mínimo.

Gráfico 40 - Refletância solar telha TFC08.

Conforme análise dos gráficos e do Quadro 12, pode-se perceber que de forma geral, as telhas TCE09 e TCE10 possuem menor refletância solar que as demais telhas. Observa-se ainda que as telhas TFC06 e TFC07 possuem as maiores refletâncias entre todas as amostras analisadas, isto se dá ao fato de que ambas possuem acabamento refletivo, segundo os fabricantes.

Quadro 12- Refletância solar ajustada ao espectro solar padrão de todas as amostras.

			continua		
IMAGEM	CÓDIGO	$\rho_{SolarAjustada}$	IMAGEM	CÓDIGO	$\rho_{SolarAjustada}$
TCN01	0,51		TCE01	0,74
TCN02	0,49		TCE02	0,66
TCN03	0,48		TCE03	0,63
TCN04	0,48		TCE04	0,61
TCN05	0,52		TCE05	0,53

			conclusão		
IMAGEM	CÓDIGO	$\rho_{TotalAjustada}$	IMAGEM	CÓDIGO	$\rho_{TotalAjustada}$
TCN06	0,53		TCE06	0,52
TCN07	0,53		TCE07	0,52
TCN08	0,54		TCE08	0,38
TCN09	0,51		TCE09	0,20
TCN10	0,51		TCE10	0,21
TCN11	0,53		TFC01	0,51
TCR01	0,47		TFC02	0,52
TCR02	0,47		TFC03	0,51
TCR03	0,48		TFC04	0,41
TCR04	0,48		TFC05	0,43
TCR05	0,41		TFC06	0,76
TCR06	0,40		TFC07	0,96
TCR07	0,50		TFC08	0,48
TCR08	0,50
TCR09	0,46
TCR10	50,3			

Nota-se que a telha de fibrocimento TFC06 possui cor semelhante à telha esmaltada TCE01, ambas brancas, com tonalidades parecidas, esta semelhança está presente nos valores de refletância solar, apesar desta telha de fibrocimento possuir revestimento refletivo segundo o fabricante, esperando-se então que ela reflita uma porcentagem maior de radiação solar que as telhas brancas comuns.

Ainda de forma geral, é importante salientar que o valor de refletância solar obtido a partir da medição com o espectrofotômetro para a telha TFC07 foi maior que 100% (101,9%), isto significa que a telha reflete uma parcela de radiação solar maior que o padrão utilizado para calibração do espectrofotômetro com esfera integradora. Para chegar a este resultado de refletância solar, as medições foram realizadas repedidas vezes com esta amostra, e houve uma nova calibração do equipamento, buscando descartar possíveis erros de leitura. Um ajuste aos valores medidos foi realizado conforme já especificado no item 6 deste trabalho, obtendo então o valor de 0,96 de refletância solar.

Entre as telhas cerâmicas, aquelas que possuem acabamento esmaltado possuem maior variação nos valores de refletância solar (Gráfico 41), quando comparadas às telhas de acabamento resinado e natural. Este comportamento é resultado, principalmente da variação de cores dessas telhas, já que seu acabamento é uniforme, liso e vitrificado sendo, portanto, pouco rugoso.

Gráfico 41 - Refletância espectral das Telhas Cerâmicas Esmaltadas.

Entre essas telhas, aquela com maior refletância solar ($\rho_{\text{solar}}=0,74$) é também a telha mais clara TCE01, e a de menor refletância ($\rho_{\text{solar}}=0,21$) a de cor mais escura TCE10. Considerando-se as telhas TCE02 e TCE03, com pequena variação de cor quando observadas a olho nu, percebe-se uma variação na refletância solar, 66,2% e 63,4% respectivamente. Além disso, a telha TCE01 é

aparentemente branca, e as telhas beges TCE02 e TCE03 visualmente pouco mais escuras que ela, porém há grande variação no valor final de refletância solar, sendo de 74,4% para a telha esmaltada 01.

Analisando-se, então, de forma separada as telhas cerâmicas naturais e resinadas observou-se inicialmente que há uma variação entre as refletâncias solares de cada telha, salientando que os valores entre as telhas resinadas apresentam maiores variações que entre as telhas naturais. Isto é ainda mais perceptível conforme os comprimentos de onda aumentam e chegam até o infravermelho, como pode ser visto nos gráficos de Gráfico 42 a Gráfico 44.

Gráfico 42 - Refletância espectral das Telhas Cerâmicas Naturais.

Gráfico 43 - Refletância espectral das Telhas Cerâmicas Resinadas.

Gráfico 44 - Refletância espectral das telhas cerâmicas naturais e resinadas.

Estas variações são ainda presentes quando analisados os valores finais de refletância solar, onde as telhas resinadas possuem em sua maioria valores maiores de refletância solar, e as telhas naturais, mesmo considerando diferentes fabricantes, possuem valores mais baixos e mais próximos. Entre essas telhas, a maior diferença de valores de refletância se encontra entre a telha TCN08 ($\rho = 0,54$), e TCR06 ($\rho = 0,40$), como pode ser visto no Quadro 13.

Comparando as telhas com estes dois tipos de acabamento, analisado todo o espectro solar, nota-se que as telhas resinadas possuem refletâncias inferiores às de acabamento natural, principalmente na região do infravermelho próximo, parte do espectro com maior concentração de calor e maior responsável pelo aquecimento das superfícies.

Quadro 13 - Refletância solar das telhas Natural e Resinada e respectivos fabricantes.

TELHA	ρ_{TOTAL}	FABRICANTE	TELHA	ρ_{TOTAL}	FABRICANTE
TCN01	0,51	A	TCR01	0,47	A
TCN02	0,49	A	TCR02	0,48	A
TCN03	0,48	A	TCR03	0,48	A
TCN04	0,49	A	TCR04	0,48	A
TCN05	0,53	B	TCR05	0,41	C
TCN06	0,53	B	TCR06	0,40	C
TCN07	0,53	B	TCR07	0,50	A
TCN08	0,54	B	TCR08	0,50	A
TCN09	0,51	A	TCR09	0,46	A
TCN10	0,51	A	TCR10	0,50	A
TCN11	0,53	A			

Entre as telhas naturais, destacam-se as telhas TCN08 com maior valor de refletância solar ajustada ao espectro solar padrão ($\rho = 0,54$) e TCN03 com menor valor ($\rho = 0,48$). Já entre as

telhas resinadas, as telhas TCR07 e TCR06 possuem respectivamente o maior ($p = 0,50$) e o menor ($p = 0,40$) valor de refletância solar.

Fez-se necessário, dentro desta análise, que as telhas naturais e resinadas fossem separadas de acordo com seus fabricantes, para que os diferentes processos de produção e matéria prima fossem considerados (Gráfico 45). Considerando-se somente os fabricantes de cada telha, percebe-se que as do fabricante C possuem menor refletância solar e que suas curvas se distanciam mais das demais telhas, enquanto para os fabricantes A e B, os valores são maiores e também mais próximos entre uma amostra e outra.

Gráfico 45 - Refletância espectral das telhas naturais e resinadas, por fabricante.

Analisando-se ainda as telhas cerâmicas naturais e resinadas em função dos fabricantes, percebe-se que aquelas do fabricante B são as de melhor acabamento superficial (mais homogêneas), com menor rugosidade e menos porosas. Já as do fabricante C, apesar de muito semelhantes e uniformes entre si, possuem alta rugosidade e são menos lisas, consequentemente, mais porosas. Salienta-se aqui que a rugosidade superficial das telhas foi analisada apenas visualmente, porém foi evidente a diferença entre as mesmas, permitindo-se fazer uma relação entre a rugosidade e a refletância solar de forma indireta. O Quadro 14 mostra imagens ampliadas das superfícies das telhas, para melhor visualização da rugosidade destas.

Quadro 14 - Imagens ampliadas da superfície das telhas.

Observando-se separadamente as telhas naturais, percebe-se maior uniformidade entre os valores obtidos para as telhas do fabricante B, enquanto o fabricante A apresenta variações maiores quando analisado todo o espectro solar, principalmente quando analisados os comprimentos de onda referentes ao infravermelho (Gráfico 46). As telhas do fabricante B são também aquelas que possuem acabamento superficial mais uniforme, com as cores e rugosidade mais semelhantes entre si, o que reflete nos valores quase iguais de refletância solar.

Gráfico 46 – Refletância espectral das Telhas Naturais por fabricante.

Levando-se em consideração somente as telhas resinadas, e comparando-as, nota-se que entre aquelas produzidas pelo fabricante C, a variação da refletância ao longo do espectro solar, é muito pequena, e na refletância solar ajustada ao espectro solar padrão também se percebe uma variação pequena. Entre as telhas do fabricante A, a variação entre as refletâncias ao longo do espectro é maior e bastante perceptível, o que se dá pela variação do acabamento superficial das telhas, com distinção na sua coloração e uniformidade. O Gráfico 47 mostra como as telhas do fabricante A possuem maior refletância ao longo de todo o espectro solar quando comparadas às do fabricante C.

Gráfico 47 - Refletância espectral das Telhas Resinadas por fabricante.

O tipo de resina utilizada por cada um dos fabricantes (A e C) não interferiu nesta comparação, pois, ambos utilizam o mesmo tipo de resina produzida pelo mesmo fabricante, composta por acrilato de butila, monômero de estireno, ácido acrílico, água, amoníaco e anti-espumante, segundo informações do próprio fabricante.

Dando continuidade às análises, e observando separadamente as telhas de fibrocimento, além do já exposto, evidenciando que a telha TFC07 possui a maior refletância solar ($p = 0,96$), percebe-se através da Quadro 15 que a telha TFC04 ($p = 0,41$) possui menor refletância solar. De forma geral, desconsiderando aquelas com acabamento refletivo, as telhas de fibrocimento possuem pouca variação entre os valores medidos de refletância solar, como pode ser percebido a partir das curvas apresentadas no Gráfico 48.

Gráfico 48 - Refletância espectral das Telhas de Fibrocimento.

Quadro 15 - Refletância telhas de fibrocimento e fabricantes.

TELHA	ρ_{TOTAL}	FABRICANTE
TFC01	0,51	D
TFC02	0,52	E
TFC03	0,54	E
TFC04	0,41	E
TFC05	0,43	E
TFC06	0,76	E
TFC07	0,96	F
TFC08	0,48	F

É importante salientar nesta análise que a telha TFC07 e a telha TFC08 são de um mesmo fabricante e possuem o mesmo processo de produção e matéria prima. A partir dessas duas telhas é possível perceber a eficiência de um revestimento refletivo nos valores de refletância solar, considerando que a telha TFC07 seria igual a TFC08 se não tivesse recebido esta pintura, que fez com que sua refletância solar subisse 50%. Valor bastante alto que pode gerar impacto significativo na temperatura interna da edificação em que for aplicada. O Gráfico 49 apresenta as diferenças entre os valores medidos para todo o espectro solar para estas duas telhas.

O mesmo acontece com a telha TFC06, de mesmo fabricante das telhas de fibrocimento de 2 a 5. Estas quatro últimas possuem valores de refletância semelhantes ao observar todo o espectro solar, sendo a telha 6 a única que se destaca com refletância visivelmente mais alta ($\rho_{Solar} = 0,76\%$). O revestimento refletivo aplicado nesta telha, apesar de menos eficiente que aquele aplicado na telha TFC07, permitiu um aumento de 46% quando comparada à telha menos refletiva (TFC04) e de 29% se comparada à próxima telha mais refletiva entre aquelas produzidas por este mesmo fabricante (TFC03).

Por fim, é importante salientar que, de forma geral, as telhas cerâmicas com acabamento resinado e natural têm valores de refletância solar próximos aos das telhas de fibrocimento, excluindo-se aqui aquelas com revestimento refletivo, como pode ser observado na Quadro 16.

Quadro 16 - Refletância telhas de fibrocimento, telhas cerâmicas naturais e resinadas.

TELHA	ρ_{TOTAL}	TELHA	ρ_{TOTAL}	TELHA	ρ_{TOTAL}
TCN01	0,51	TCR01	0,47	TFC01	0,51
TCN02	0,49	TCR02	0,47	TFC02	0,52
TCN03	0,48	TCR03	0,48	TFC03	0,51
TCN04	0,48	TCR04	0,48	TFC04	0,41
TCN05	0,52	TCR05	0,41	TFC05	0,43
TCN06	0,53	TCR06	0,40	TFC06	0,76
TCN07	0,53	TCR07	0,50	TFC07	0,96
TCN08	0,54	TCR08	0,50	TFC08	0,48
TCN09	0,51	TCR09	0,46		
TCN10	0,51	TCR10	0,50		
TCN11	0,53				

Nota-se ainda que separando estas telhas em três grandes grupos, as telhas cerâmicas resinadas são aquelas menos refletivas, seguidas das telhas de fibrocimento, e por fim as telhas naturais foram aquelas com maiores valores de refletância solar. Porém a partir do Gráfico 50 pode-se ainda perceber que apesar dos valores finais corrigidos serem semelhantes, as telhas de fibrocimento, de forma geral, refletem menos radiação quando considerada a faixa do espectro referente ao infravermelho.

Gráfico 50 - Refletâncias telhas cerâmicas Resinadas, Naturais e telhas de Fibrocimento.

Percebe-se ainda como o comportamento da telha quanto a refletância ao longo do espectro solar é diferente para as telhas cerâmicas e de fibrocimento, apesar dos valores de refletância

solar serem próximos. Isto se dá porque na região do visível, onde a maior parcela de energia do espectro solar se encontra, as telhas de fibrocimento refletem mais que as telhas cerâmicas. Além disso, a curva das telhas de fibrocimento ao final do visível, e então começa a cair a refletância, já para as telhas cerâmicas, a curva é crescente em todo o espectro.

12. REFLETÂNCIAS MEDIDAS COM ESPECTÔMETRO ALTA II

A análise do método de medição com o espectrômetro ALTA II para telhas foi realizada em duas etapas, inicialmente foram comparadas as telhas cerâmicas de acabamento natural, resinado e esmaltado. Para esta primeira fase, foram medidas as refletâncias solares das telhas com o tecido preto com o aparato para impedir a interferência da radiação solar, e posteriormente as medidas foram realizadas sem o tecido, em um ambiente interno.

12.1. MEDIÇÕES COM APARATO ESCURO

Para as medições utilizando o espectrômetro ALTA II com um tecido preto como aparato para a radiação solar, os dados obtidos para cada comprimento de onda, de cada uma das amostras são apresentados no Quadro 17, assim como a refletância total de cada telha, já ajustada ao espectro solar padrão.

Quadro 17 - Dados por comprimento de onda e refletância solar total obtidos a partir do ALTA II.

TELHA		470	525	560	585	600	645	700	735	810	880	940	$\rho_{\text{Total ajustada}}$
C. NATURAIS	TCN01	0,18	0,18	0,18	0,12	0,16	0,19	0,19	0,20	0,19	0,20	0,13	0,43
	TCN02	0,18	0,17	0,17	0,17	0,21	0,29	0,28	0,22	0,18	0,20	0,18	0,39
	TCN03	0,35	0,27	0,28	0,28	0,32	0,35	0,36	0,35	0,28	0,32	0,29	0,40
	TCN04	0,45	0,35	0,37	0,39	0,41	0,44	0,50	0,43	0,43	0,41	0,38	0,40
	TCN05	0,44	0,38	0,40	0,43	0,43	0,46	0,52	0,52	0,43	0,45	0,43	0,43
	TCN06	0,50	0,49	0,47	0,49	0,49	0,52	0,58	0,54	0,49	0,51	0,49	0,45
	TCN07	0,53	0,47	0,51	0,51	0,52	0,54	0,63	0,56	0,52	0,61	0,54	0,51
	TCN08	0,60	0,55	0,57	0,62	0,60	0,61	0,72	0,70	0,61	0,63	0,63	0,47
	TCN09	0,58	0,54	0,56	0,55	0,59	0,60	0,73	0,63	0,65	0,64	0,64	0,43
	TCN10	0,56	0,60	0,56	0,54	0,61	0,62	0,72	0,62	0,62	0,60	0,60	0,45
	TCN11	0,59	0,60	0,61	0,55	0,60	0,61	0,73	0,62	0,59	0,62	0,61	0,42
CERÂMICAS RESINADAS	TCR01	0,10	0,09	0,09	0,11	0,10	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	0,40
	TCR02	0,18	0,19	0,19	0,17	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,37
	TCR03	0,28	0,27	0,26	0,27	0,27	0,21	0,28	0,27	0,27	0,28	0,28	0,39
	TCR04	0,37	0,32	0,36	0,36	0,35	0,27	0,35	0,37	0,37	0,44	0,37	0,39
	TCR05	0,45	0,36	0,45	0,39	0,36	0,34	0,36	0,40	0,41	0,44	0,45	0,35
	TCR06	0,47	0,50	0,48	0,49	0,39	0,39	0,49	0,47	0,48	0,48	0,47	0,32
	TCR07	0,52	0,51	0,52	0,53	0,41	0,35	0,50	0,50	0,52	0,52	0,52	0,38
	TCR08	0,62	0,53	0,55	0,55	0,50	0,42	0,51	0,62	0,61	0,61	0,62	0,41
	TCR09	0,56	0,54	0,53	0,54	0,52	0,52	0,54	0,63	0,63	0,65	0,56	0,40

CERÂMICAS ESMALTADAS	TCR10	0,56	0,51	0,52	0,61	0,52	0,51	0,50	0,62	0,56	0,57	0,56	0,42
	TCE01	0,69	0,38	0,39	0,31	0,19	0,40	0,21	0,10	0,10	0,10	0,69	0,76
	TCE02	0,75	0,54	0,55	0,48	0,38	0,36	0,28	0,11	0,09	0,10	0,75	0,64
	TCE03	0,74	0,65	0,58	0,56	0,46	0,39	0,35	0,18	0,07	0,09	0,74	0,64
	TCE04	0,73	0,64	0,63	0,59	0,44	0,43	0,30	0,28	0,08	0,10	0,73	0,60
	TCE05	0,72	0,64	0,62	0,59	0,44	0,37	0,34	0,26	0,09	0,10	0,72	0,50
	TCE06	0,78	0,67	0,66	0,65	0,51	0,47	0,39	0,38	0,20	0,09	0,78	0,47
	TCE07	0,73	0,67	0,74	0,67	0,57	0,46	0,37	0,43	0,21	0,10	0,73	0,36
	TCE08	0,83	0,76	0,76	0,72	0,62	0,53	0,40	0,42	0,20	0,10	0,83	0,32
	TCE09	0,77	0,76	0,77	0,75	0,73	0,65	0,46	0,54	0,31	0,22	0,77	0,16
FIBROCIMENTO	TCE10	0,84	0,77	0,79	0,78	0,73	0,72	0,56	0,60	0,33	0,31	0,84	0,13
	TFC01	0,37	0,35	0,37	0,43	0,35	0,62	0,80	0,35	0,37	0,35	0,37	0,43
	TFC02	0,49	0,47	0,47	0,49	0,39	0,78	0,98	0,49	0,49	0,47	0,47	0,42
	TCF03	0,44	0,43	0,52	0,44	0,44	0,70	0,96	0,42	0,44	0,43	0,52	0,47
	TCF04	0,47	0,49	0,56	0,47	0,40	0,76	0,95	0,47	0,47	0,49	0,56	0,42
	TCF05	0,49	0,49	0,51	0,49	0,40	0,78	0,98	0,48	0,49	0,49	0,51	0,38
	TCF06	0,44	0,43	0,43	0,37	0,34	0,62	0,79	0,35	0,44	0,43	0,43	0,69
	TCF07	0,40	0,38	0,50	0,38	0,40	0,70	0,88	0,39	0,40	0,38	0,50	0,88
	TCF08	0,43	0,36	0,42	0,35	0,35	0,60	0,77	0,34	0,43	0,36	0,42	0,41

Analisando separadamente cada tipo de telha e acabamento, observa-se que entre as telhas cerâmicas de acabamento natural que a telha de menor refletância solar é a TCN02 ($\rho_{\text{Solar}} = 0,39$) e a de maior refletância solar é a TCN07 ($\rho_{\text{Solar}} = 0,51$). Entre as telhas de acabamento resinado, aquelas com menor e maior refletância solar são, respectivamente, as telhas TCR06 ($\rho_{\text{Solar}} = 0,32$) e TCR10 ($\rho_{\text{Solar}} = 0,42$). Para estes dois tipos de acabamento das telhas cerâmicas, observa-se que aquelas com menor refletância solar possuem acabamento menos uniforme, sendo mais rugosas e porosas que as telhas com maior refletância solar. Isto comprova o fato de que a refletância solar é uma característica da superfície, neste caso, das telhas. Portanto o acabamento mais ou menos uniforme destas superfícies irá interferir diretamente nestes valores, como já observado nas medições com o espectrofotômetro.

Observando-se as telhas de acabamento esmaltado, o menor valor de refletância solar coincide com a telha mais escura, TCE10, e a de maior refletância coincide com a mais clara, TCE01, como já esperado, considerando-se que o acabamento das superfícies deste tipo de telhas é uniforme e igual para todas as 10 amostras de telhas cerâmicas esmaltadas aqui estudadas.

Partindo, então, para as telhas de fibrocimento, observa-se que a telha TFC05 e a telha TFC07 possuem, respectivamente, o maior e o maior valor de refletância solar. Dentre as telhas de fibrocimento, a TFC06 e a TFC07 possuem, segundo os fabricantes, acabamento refletivo, que se mostrou efetivo analisando os valores coletados de refletância solar.

Fazendo uma análise somente das telhas cerâmicas, percebe-se que as telhas com acabamento esmaltado, que possuem grande variação de cores, são aquelas que apresentam menor (TCE10) e maior (TCE01) refletância solar. E considerando as telhas naturais e resinadas em outro grupo separado, devido a semelhança entre as cores e acabamentos da superfície, observa-se que de forma geral, as telhas naturais possuem refletância solar maior que as resinadas, sendo a telha TCN07 a de maior valor e a TCR06 de menor refletância.

Analizando, por fim, todas as amostras selecionadas para esta pesquisa, a telha cerâmica esmaltada mais escura, TCE10, foi aquela com menor valor de refletância solar medida pelo espectrômetro ALTA II, e a telha de fibrocimento com acabamento refletivo, TF07, foi a que apresentou maior valor de refletância solar. As relações destas medições com aquelas realizadas utilizando o espectrofotômetro são apresentadas no item 12.3 desta dissertação.

12.2. MEDIÇÕES SEM APARATO ESCURO

Após medição sem o aparato escuro, pode-se comprar os dados obtidos para todas as amostras, apesar de existirem variações entre os valores obtidos para cada telha cerâmica, aquelas com maior e menor refletância solar permaneceram as mesmas, TCE01 e TCE10, respectivamente.

Os gráficos de Gráfico 51 a Gráfico 79 apresentam os valores de refletância solar para cada telha obtidos a partir do ALTA II com o aparato escuro e sem, possibilitando a comparação entre os valores dos mesmos e a percepção do quanto a radiação solar interferiu nos valores coletados. Nos gráficos, as refletâncias de cada telha estão juntas, para facilitar a comparação entre as diferentes situações de medição, considerando-se a refletância no eixo vertical com variação de 0 a 100% e os comprimentos de onda no eixo horizontal, em nanômetros.

Gráfico 51 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN01.

Gráfico 52 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN02

Gráfico 53 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN03

Gráfico 54 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN04

Gráfico 55 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN07

Gráfico 56 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN08

Gráfico 57 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN09

Gráfico 58 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN10

Gráfico 59 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCN11

Gráfico 60 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR01

Gráfico 61 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR02

Gráfico 62 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR03

Gráfico 63 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR04

Gráfico 64 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR05

Gráfico 65 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR06

Gráfico 66 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR07

Gráfico 67 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR08

Gráfico 68 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR09

Gráfico 69 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCR10

Gráfico 70 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE01

Gráfico 71 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE02

Gráfico 72 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE03

Gráfico 73 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE04

Gráfico 74 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE05

Gráfico 75 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE06

Gráfico 76 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE07

Gráfico 77 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE08

Gráfico 78 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE09

Gráfico 79 - Refletância medida com ALTA II com e sem aparato escuro - TCE10

Entre as telhas de acabamento esmaltado, os resultados foram muito semelhantes, com destaque para a telha TCE10, com menores valores de refletância mensurados, apresentada no Gráfico 79, onde as curvas quase coincidem. No Gráfico 70, que mostra a comparação entre as

duas medições realizadas na telha TCE01, que apresentou os maiores valores de refletância solar, nota-se que os números obtidos são muito próximos. As telhas com maiores variações entre os valores obtidos em cada medição são a TCR02 e a TCN07.

A segunda etapa da análise do método de medição com o ALTA II para telhas foi realizada selecionando amostras entre cada tipo de telha e acabamento, para que fossem realizadas medições com o tecido preto com o aparato escuro, e sem o aparato escuro, sendo esta última em ambiente interno, e também em ambiente externo, onde a incidência da radiação solar é maior. As telhas medidas nesta etapa foram: TCN07; TCN08; TCR01; TCR02; TCE10, TFC01; TFC05. Elas foram selecionadas pois possuem acabamento uniforme, são pouco porosas e pouco rugosas, características que interferem diretamente nos valores de refletância solar.

Os gráficos **Erro! Fonte de referência não encontrada.** a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresentam os valores obtidos para cada comprimento de onda das telhas escolhidas, facilitando a comparação entre os valores obtidos a partir do ALTA II com a utilização do aparato escuro, e sem a utilização deste. A partir deles, percebe-se que a variação é pequena, e não foram observadas grandes alterações entre os dados medidos para as telhas.

Observando principalmente os comprimentos de onda referentes ao infravermelho, pode-se notar que a telha TCE07 possui maior variação entre cada medição, e a telha TCR01 menor variação.

Gráfico 80 - Comparação entre dados medidos com ALTA II - TFC01.

Gráfico 81 - Comparação entre dados medidos com ALTA II - TFC05.

Gráfico 82 - Comparação entre dados medidos com ALTA II – TCE10.

Gráfico 83 - Comparação entre dados medidos com ALTA II - TCR01.

Gráfico 84 - Comparação entre dados medidos com ALTA II - TCR07.

Gráfico 85 - Comparação entre dados medidos com ALTA II - TCN07.

Gráfico 86 - Comparação entre dados medidos com ALTA II - TCN08.

Quadro 18 - Valores de refletância obtidos a partir do ALTA II.

	COM TECIDO	SEM TECIDO AMBIENTE INTERNO	SEM TECIDO AMBIENTE EXTERNO
TFC01	0,45	0,43	0,43
TFC05	0,39	0,37	0,35
TCE10	0,14	0,14	0,10
TCR01	0,40	0,39	0,41
TCR07	0,40	0,39	0,36
TCN07	0,48	0,47	0,45
TCN08	0,47	0,46	0,44

Os valores finais de refletância solar para cada medição são apresentados no Quadro 18. Observa-se, que apesar das variações que acontecem, principalmente entre os comprimentos de onda referentes ao infravermelho, elas são pequenas quando se considera o valor final de refletância solar obtido, o que pode ser confirmado nos gráficos de Gráfico 87 e Gráfico 88, que mostram as correlações entre as medições com aparato e sem aparato no ambiente interno e com aparato e sem aparato no ambiente externo – ambos com R^2 de 0,99.

Gráfico 87 - Correlação refletância medida com ALTA II com aparato e se aparato em ambiente externo.

Gráfico 88 – Correlação refletância medida com ALTA II com aparato e sem aparato em ambiente interno.

Constata-se a partir das análises que há interferência da radiação solar no resultado da refletância solar das telhas cerâmicas analisadas até o presente momento, porém ela não é tão significativa. De forma geral, os valores obtidos para os comprimentos de onda referentes à luz visível sofrem pouca variação quando medidos em ambiente fechado com ou sem a utilização do aparato escuro para proteção contra a radiação solar. A partir dos comprimentos de onda referentes ao infravermelho próximo captados pelo ALTA II, existe maior variação nos valores comparando cada método de medição, contudo, quando a refletância solar ajustada ao espectro solar padrão é calculada, percebe-se que os valores finais obtidos são bastante semelhantes, apresentando pouco prejuízo para a obtenção do valor final de refletância solar das telhas.

12.3. COMPARAÇÃO DE REFLETÂNCIA OBTIDA PELO ALTA II E PELO ESPECTROFOTÔMETRO

De posse dos valores de refletância solar das telhas medidas no espectrofotômetro e no ALTA II, foram realizadas comparações entre os valores obtidos para cada comprimento de onda, apresentados dos gráficos de **Erro! Fonte de referência não encontrada.** a Gráfico 129, e também entre os valores finais de refletância solar ajustada para o espectro solar padrão.

Considerando-se inicialmente os valores para cada um dos 11 comprimentos de onda presentes no espectrômetro, pode-se observar que de forma geral, as telhas cerâmicas, independente do acabamento que receberam, tiveram grande semelhança entre os dados de cada equipamento. Salienta-se, ainda, que nas telhas esmaltadas a diferença entre os valores é menor, sendo que as curvas em alguns casos quase coincidem, como as telhas TCE02 e TCE04.

Gráfico 89 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN01.

Gráfico 90 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN02.

Gráfico 91 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN03.

Gráfico 92 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN04.

Gráfico 93 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN03.

Gráfico 94 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN04.

Gráfico 95 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN05.

Gráfico 96 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN06.

Gráfico 97 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN07.

Gráfico 98 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN08.

Gráfico 100 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR05.

Gráfico 101 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR06.

Gráfico 97 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN09.

Gráfico 98 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN10.

Gráfico 99 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCN11.

Gráfico 106 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR07.

Gráfico 107 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR08.

Gráfico 102 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR01.

Gráfico 103 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR02.

Gráfico 104 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR03.

Gráfico 105 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR04.

Gráfico 108 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR09.

Gráfico 109 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR10.

Gráfico 110 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE01.

Gráfico 111 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE02.

Gráfico 112 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR05.

Gráfico 113 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCR06.

Gráfico 114 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE03.

Gráfico 115 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE04.

Gráfico 116 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE05.

Gráfico 117 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE06.

Gráfico 118 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE07.

Gráfico 119 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE08.

Gráfico 120 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE09.

Gráfico 121 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TCE10.

Gráfico 122 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TFC01.

Gráfico 123 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TFC02.

Gráfico 124 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TFC03.

Gráfico 125 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TFC04.

Gráfico 126 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TFC05.

Gráfico 127 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TFC06.

Gráfico 128 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TFC07.

Gráfico 129 - Refletância medida no ALTA II e no espectrofotômetro - TFC08.

Ao analisar os gráficos referentes às telhas de fibrocimento, observa-se que as diferenças entre as curvas obtidas a partir dos dados de cada equipamento são bastante distintas, enfatizando-se as telhas com acabamento refletivo, TFC06 e TFC07, onde essa diferença entre os valores é mais perceptível.

O Quadro 19 apresenta os valores das refletâncias solares ajustadas ao espectro solar padrão a partir do ALTA II com o tecido preto e do espectrofotômetro. Pode-se perceber que as telhas TCN07, TCR09, TCE10 e TFC04, são aquelas de cada tipo de acabamento em que os valores obtidos com cada método de medição são os mais semelhantes – diferenças de 2,4; zero; 6,3 e 8,3, respectivamente –, considerando-se uma comparação entre as telhas com tipos e acabamentos iguais. Enquanto as telhas TCN11, TCR07, TCE04 e TFC07, apresentam as maiores diferenças entre os valores finais de refletância solar – 10,7; 12,4; 0,7 e 8,4.

Quadro 19 - Valores de refletância medidos no ALTA II e no espectrofotômetro.

TELHA	$\rho_{\text{ALTA II}}$	ρ_{ESPECT}	TELHA	$\rho_{\text{ALTA II}}$	ρ_{ESPECT}
TCN01	0,43	0,51	TCR01	0,40	0,47
TCN02	0,39	0,49	TCR02	0,37	0,47
TCN03	0,40	0,48	TCR03	0,39	0,48
TCN04	0,40	0,48	TCR04	0,39	0,48
TCN05	0,43	0,52	TCR05	0,35	0,41
TCN06	0,45	0,53	TCR06	0,32	0,40
TCN07	0,51	0,53	TCR07	0,38	0,50
TCN08	0,47	0,54	TCR08	0,41	0,50
TCN09	0,43	0,51	TCR09	0,40	0,46
TCN10	0,45	0,51	TCR10	0,42	0,50
TCN11	0,42	0,53	TCE01	0,76	0,74
TFC01	0,43	0,51	TCE02	0,64	0,66
TFC02	0,42	0,52	TCE03	0,64	0,63
TFC03	0,47	0,51	TCE04	0,60	0,61
TFC04	0,42	0,41	TCE05	0,50	0,53
TFC05	0,38	0,43	TCE06	0,47	0,52
TFC06	0,69	0,76	TCE07	0,36	0,52
TFC07	0,88	0,96	TCE08	0,32	0,38
TFC08	0,41	0,48	TCE09	0,16	0,20
			TCE10	0,13	0,21

Para analisar de melhor forma as relações existentes entre os métodos de medição aqui analisados e atestar a confiabilidade do espectrômetro ALTA II como método de medição da refletância solar de telhas, foram realizados cálculos estatísticos de correlação e regressão linear.

Para todas as telhas analisadas, a correlação obtida entre as medições com o ALTA II e o espectrofotômetro foram positivas, o que indica que quando os valores de um dos métodos tendem a aumentar, os valores do outro método analisado também tendem a subir.

Observando-se separadamente cada tipo de telha e acabamento, para as telhas cerâmicas naturais e resinadas (Gráfico 130 e Gráfico 131), o Coeficiente de Determinação (R^2) encontrado foi 0,95. Para as telhas cerâmicas com acabamento esmaltado e para as de fibrocimento, o valor encontrado foi de R^2 de 0,96 (Gráfico 132 e Gráfico 133).

Gráfico 130 - Correlação refletâncias medidas com ALTA II e espectrofotômetro - NATURAIS.

Gráfico 131 - Correlação refletâncias medidas com ALTA II e espectrofotômetro - RESINADAS.

Gráfico 132 - Correlação refletâncias medidas com ALTA II e espectrofotômetro - ESMALTADAS.

Gráfico 133 - Correlação refletâncias medidas com ALTA II e espectrofotômetro - FIBROCIMENTO.

Além da correlação apresentada entre os valores finais de refletância obtidos por cada método de medição, foi realizada análise de regressão linear, buscando gerar equações que permitissem a obtenção da refletância solar ajustada ao espectro solar padrão, diretamente a partir dos dados coletados pelo ALTA II. O produto desta análise são as equações de 17 a 20.

Para telhas cerâmicas de acabamento natural:

$$\text{Equação 17} \quad \rho_T = 35,61611 + 1,01048 \cdot \rho_{560} - 0,4103 \cdot \rho_{585} - 0,302 \cdot \rho_{600} - 0,29436 \cdot \rho_{645} - 0,23026 \cdot \rho_{700} + 0,44007 \cdot \rho_{735} + 0,45306 \cdot \rho_{810} + 0,58176 \cdot \rho_{880} - 1,15336 \cdot \rho_{940}$$

Para telhas cerâmicas de acabamento resinado:

$$\text{Equação 18} \quad \rho_T = -37,40152 + 1,9482 \cdot \rho_{645} - 2,27915 \cdot \rho_{700} - 0,00848 \cdot \rho_{735} - 0,83361 \cdot \rho_{810} + 0,18388 \cdot \rho_{880} - 1,75202 \cdot \rho_{940} + 3,85607 \cdot \rho_t$$

Para telhas cerâmicas de acabamento esmaltado:

Equação 19
$$\rho_T = 0,42869 - 0,58913 \cdot \rho_{735} + 0,27844 \cdot \rho_{810} - 0,19425 \cdot \rho_{880} + 0,98235 \cdot \rho_{940} + 1,08272 \cdot \rho_t$$

Para telhas de fibrocimento:

Equação 20
$$\rho_T = 2,08715 - 0,78015 \cdot \rho_{810} + 0,79093 \cdot \rho_{880} - 0,01825 \cdot \rho_{940} + 1,2731 \cdot \rho_t$$

Sendo:

ρ_T – Refletância total ajustada ao espectro solar padrão (%);

ρ_t – Refletância total medida no ALTA II (sem ajuste ao espectro solar padrão) (%);

ρ_{560} – Refletância medida para o comprimento de onda 560 no ALTA II (%);

ρ_{585} – Refletância medida para o comprimento de onda 585 no ALTA II (%);

ρ_{600} – Refletância medida para o comprimento de onda 600 no ALTA II (%);

ρ_{645} – Refletância medida para o comprimento de onda 645 no ALTA II (%);

ρ_{700} – Refletância medida para o comprimento de onda 700 no ALTA II (%);

ρ_{735} – Refletância medida para o comprimento de onda 735 no ALTA II (%);

ρ_{810} – Refletância medida para o comprimento de onda 810 no ALTA II (%);

ρ_{880} – Refletância medida para o comprimento de onda 880 no ALTA II (%);

ρ_{940} – Refletância medida para o comprimento de onda 940 no ALTA II (%);

A partir destas equações, os valores de refletância solar total de cada amostra foram calculados, e foi realizada uma correlação entre os valores de refletância solar das amostras obtidos através das equações de regressão, e a refletância solar obtidos através das medições com o ALTA II. Estas correlações são apresentadas a seguir nos gráficos de Gráfico 134 a Gráfico 137.

Gráfico 134 - Correlação refletâncias medidas com ALTA II e por regressão - NATURAIS.

Gráfico 135 - Correlação refletâncias medidas com ALTA II e por regressão - RESINADAS.

Gráfico 136 - Correlação refletâncias medidas com ALTA II e por regressão - ESMALTADAS.

Gráfico 137 - Correlação refletâncias medidas com ALTA II e por regressão - FIBROCIMENTO.

Analisando-se os gráficos 106 a 109, observa-se que este método de obtenção da refletância solar é mais confiável para telhas cerâmicas esmaltadas e de fibrocimento. Contudo, os valores de correlação obtidos para todas as telhas são altos, próximos de 1.

Portanto, apesar da existência de variações entre os valores medidos para refletância em cada comprimento de onda do ALTA II os valores finais de refletância são bastante próximos, confirmando a hipótese de que o ALTA II é um equipamento válido para a medição de refletância de telhas cerâmicas e de fibrocimento. Isto será ainda mais discutido no item 16 desta dissertação.

13. PARÂMETROS DE COR

As medições dos parâmetros de cor de todas as telhas selecionadas nesta pesquisa, foram realizadas usando o colorímetro, com o objetivo de caracterizar as telhas quanto a cor. Esta caracterização se faz necessária para observar as diferenças entre a coloração de telhas que aparentemente apresentam a mesma cor, como as telhas naturais TCN05, TCN06, TCN07 e TCN08, por exemplo. Também pode-se perceber que as telhas esmaltadas TCE02 e TCE03 possuem aparentemente a mesma cor, porém como observado após as medições de parâmetros de cor, suas composições de cor são diferentes, o que é acompanhado por suas refletâncias solares, que também são distintas.

Os dados levantados para cada telha estão listados no Quadro 20, considerando o sistema HSL. E também são apresentados os valores de refletância solar das telhas. Estes valores de refletância foram por fim comparados aos dados de luminosidade (L), para analisar se há alguma relação entre eles.

Quadro 20 - Parâmetros de cor e refletância solar das telhas.

TELHA	H	S	L	ρ	TELHA	H	S	L	ρ
TCN01	48,07	39,3	55,78	0,51	TCE01	113,32	9,8	91,65	0,74
TCN02	48,19	37,95	56,5	0,49	TCE02	88,87	27,16	80,34	0,66
TCN03	49,17	37,88	55,46	0,48	TCE03	82,44	30,55	76,73	0,63
TCN04	48,57	39,23	56,66	0,48	TCE04	81,34	31,13	75,72	0,61
TCN05	50,78	36,44	59,43	0,52	TCE05	80,17	34,79	64,81	0,53
TCN06	49,13	37,56	60,03	0,53	TCE06	123,95	4,78	67,1	0,52
TCN07	49,15	37,67	60,02	0,53	TCE07	88,63	21,42	57,82	0,52
TCN08	48,76	37,19	59,78	0,54	TCE08	48,89	29,43	45,66	0,38
TCN09	47,37	40,18	56,36	0,51	TCE09	34,85	7,09	37,68	0,20
TCN10	47,65	37,79	56,01	0,51	TCE10	162,07	1,85	38,92	0,21
TCN11	47,56	36,83	54,75	0,53	TF01	120,17	7,59	73,93	0,51
TCR01	49,25	39,34	54,46	0,47	TF02	103,72	8,67	68,41	0,52
TCR02	46,6	39,4	53,63	0,47	TF03	105,68	10,54	74,23	0,51
TCR03	49,23	38,18	54,14	0,48	TF04	133,39	6,09	68,28	0,41
TCR04	47,81	39,26	54,65	0,48	TF05	127,66	6,49	67,81	0,43
TCR05	52,63	27,55	52,88	0,41	TF06	122,28	8,99	92,71	0,76
TCR06	52,52	32,67	52,46	0,40	TF07	143,95	4	99,32	0,96
TCR07	47,46	39,41	53,82	0,50	TF08	130,26	6,25	68,58	0,48
TCR08	47,33	39,11	54,82	0,50					
TCR09	47,41	41,32	54,5	0,46					
TCR10	47,15	40,58	54,49	0,50					

Observando o quadro 20, percebe-se ainda que as telhas apesar de possuírem cores aparentemente iguais, como acontece com as telhas de fibrocimento 01, e 03, ou 05 e 08, possuem variações em seus parâmetros, e em suas refletâncias. Isto também acontece com a telha cerâmica esmaltada 08, que possui cor muito semelhante à maioria das telhas cerâmicas naturais e esmaltadas, porém possui refletância solar bem inferior.

Considerando que a luminosidade, dentro dos parâmetros de cor, indica o quanto de branco há na cor, e que as superfícies mais refletivas são comumente brancas (exceto pigmentos frios onde esta característica termofísica é manipulada na composição do mesmo), foram comparadas a refletância solar e a luminosidade das cores das telhas.

Observa-se que aquelas com menores refletâncias são também aquelas com menores valores de luminosidade de cor medida e aquelas com maior refletância apresentam maior luminosidade. Para retratar melhor esta relação entre luminosidade e refletância, foi calculada a correlação entre ambas.

O Gráfico 138 - Correlação entre Luminosidade de Refletância Solar. traz esta correlação entre a luminosidade e a refletância solar das telhas, uma correlação positiva, com coeficiente de

determinação $R^2=0,87$. Isto mostra uma possibilidade de que a refletância solar de uma superfície seja medida através do estudo mais aprofundado de seus parâmetros de cor.

Gráfico 138 - Correlação entre Luminosidade de Refletância Solar.

14. TEMPERATURAS SUPERFICIAIS

As temperaturas superficiais nesta pesquisa, foram mensuradas buscando realizar uma relação entre elas e os valores de refletância solar previamente explicados. São apresentados aqui separadamente, resultados das telhas cerâmicas e de fibrocimento, e assim como suas relações com as refletâncias solares.

14.1. TELHAS CERÂMICAS

Nos dias 04 e 05 de julho de 2018 foram realizadas as medições de temperaturas superficiais das telhas cerâmicas, sendo medido no primeiro dia o grupo 01 e no segundo dia o grupo 02 de telhas, estes já apresentados anteriormente neste trabalho. As medições foram realizadas na cidade de São Carlos – SP, e as características climáticas dos dias foram obtidas a partir da estação meteorológica existente no LCA (Quadro 21) e estão descritas nos quadros 22 e 23.

Quadro 21 - Dados da estação meteorológica LCA-USP.

DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	
Cidade	São Carlos – SP
Latitude	22°0'11"S
Longitude	47°53'57"O
Altitude	819m
ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	Storage Módulo 6M4M e CR10KD

Fonte: Adaptado de USP, 2018.

Quadro 22 - Dados meteorológicos dia 04.07.2018

DIA 04.07.2018						
Tempo da medição (min)	Hora (h: min)	Temperatura do ar (°C)	UR média (%)	Radiação (W/m ²)	Velocidade do Vento máxima (m/s)	Chuva (mm)
0	11:00	23,84	54,46	494,2	3,95	0
5	11:30	24,97	49,63	546,2	3,20	0
10	12:00	26,09	45,25	575,6	3,20	0
15	12:30	26,85	39,81	592,6	3,20	0
20	13:00	27,69	38,60	597,4	3,20	0
25	13:30	27,97	35,46	523,9	2,45	0
30	14:00	28,55	32,72	545,7	3,95	0

Fonte: Adaptado de USP, 2018.

Quadro 23 - Dados meteorológicos dia 05.07.2018

DIA 04.07.2018						
Tempo da medição (min)	Hora (h: min)	Temperatura do ar (°C)	UR média (%)	Radiação (W/m ²)	Velocidade do Vento máxima (m/s)	Chuva (mm)
0	11:00	24,01	48,06	503,1	3,20	0
5	11:30	25,15	46,36	550,6	3,20	0
10	12:00	25,93	43,98	578,5	3,20	0
15	12:30	26,55	40,24	600,1	3,95	0
20	13:00	27,19	38,70	602,6	3,95	0
25	13:30	27,59	36,60	596,3	3,20	0
30	14:00	28,51	33,32	611,1	3,20	0

Fonte: Adaptado de USP, 2018.

As temperaturas superficiais médias de cada telha, medidas a cada 06 minutos em um total de 03 horas com o termômetro de infravermelho, estão relacionadas nos Apêndices A e B. Para melhor visualização da variação de temperatura das amostras de cada grupo, foram elaborados gráficos relacionando o tempo de exposição ao sol no horário em que a medição foi realizada e a temperatura superficial coletada.

Nos gráficos Gráfico 139 e Gráfico 143 são apresentadas todas as telhas respectivamente do grupo 01 e grupo 02, possibilitando a comparação entre as variações de temperatura de telhas de diferentes acabamentos e formatos. Já os gráficos Gráfico 140 a Gráfico 145, apresentam as relações entre as telhas com mesmo acabamento de cada grupo, sendo elas naturais, resinadas e esmaltadas.

Ao observar os gráficos que seguem, juntamente aos quadros presentes nos Apêndices A e B, percebe-se que os picos de temperaturas das telhas analisadas nos dois dias distintos não se encontram no último momento de medição. Isto se deu porque durante o processo de exposição das mesmas ao Sol e medição da temperatura superficial, houve momentos em que o Sol ficou encoberto por pequenas nuvens presentes no céu após o início da medição. Portanto, percebe-se que de forma geral, para o Grupo 01, as maiores temperaturas são registradas aos 138 minutos

de medição, correspondente às 13h22min, já para o Grupo 02 este momento ocorre predominantemente aos 168 minutos de medição, ou seja, às 13h52min.

Ao analisar o Gráfico 139 com as temperaturas superficiais das telhas selecionadas para o Grupo 01, percebe-se que ao início das medições, a telha TCE10 possuía maior temperatura, porém a TCE09 aos 54 minutos de exposição ao sol a ultrapassa. Durante o processo, a TCE09 possui maior temperatura máxima, atingindo 57,23°C. Observa-se, também, que a telha TCE01 segue como aquela com menor temperatura superficial desde o início, sendo ela a que chega a menor temperatura máxima durante toda a medição, atingindo 36,27°C. As telhas TCE09 e TCE01 são ainda as que possuem, respectivamente, maior e menor variação de temperatura superficial, considerando a mínima e a máxima atingidas por cada telha, com 23,57°C e 9,13°C de variação.

Gráfico 139- Variação de temperatura superficial GRUPO 01

Considerando separadamente as telhas com acabamento natural deste grupo de medição, observa-se que a telha TCN09 possui maior temperatura máxima registrada, 44,55°C. Apesar de ter começado como a mais fria deste grupo de análise (Gráfico 140), a TCN09 ganhou calor durante o tempo em que esteve exposta ao Sol e aproximadamente com 102 minutos (12h42min) de medição passa a ser a telha com acabamento natural mais quente do Grupo 01. A telha natural com menor temperatura máxima, para este grupo de medição, é a TCN11, apesar de ao início ser a telha que possui maior temperatura superficial, esta telha absorveu menor quantidade de radiação solar, consequentemente tornou-se a mais fria entre as três.

Gráfico 140 - Variação de temperatura superficial telhas com acabamento NATURAL do GRUPO 01.

Observando agora apenas as telhas com acabamento resinado, como pode ser visto no Gráfico 141 - Variação de temperatura superficial telhas com acabamento RESINADO do GRUPO 01 tem-se a TCR07 como a telha com maior temperatura superficial máxima, chegando a 44,2°C, já a TCR10 com menor temperatura superficial máxima, 42°C. Neste caso, as estas telhas se comportam como as que possuem respectivamente maiores e menores temperaturas superficiais desde o primeiro momento de medição.

Por fim para o Grupo 01 individualmente, observa-se as telhas com acabamento esmaltado no Gráfico 142. Neste nota-se que as telhas com maior e menor temperatura de todo o grupo, possuem este tipo de acabamento. As telhas consideradas mais clara e mais escura deste grupo, que possui telhas coloridas, são as que inicialmente possuem a menor e maior temperatura superficial, respectivamente.

Com o passar do tempo de exposição à radiação solar, a TCE01 permanece como a telha mais fria, com menor temperatura superficial máxima, 36,37°C, já a TCE09 inicialmente não é a mais quente, torna-se a telha com maior temperatura superficial por volta de 54 minutos de exposição à radiação solar, chegando a 57,23°C aos 138 minutos de exposição, maior temperatura máxima registrada para este grupo.

Gráfico 141 - Variação de temperatura superficial telhas com acabamento RESINADO do GRUPO 01

Gráfico 142 - Variação de temperatura superficial telhas com acabamento ESMALTADO do GRUPO 01

Analisando o Gráfico 143, com as temperaturas superficiais das telhas do Grupo 02, percebe-se que a telha TCR05 foi aquela com maior temperatura máxima medida, chegando a 48,57°C, mantendo-se como a telha mais quente do grupo a partir de 48 minutos de exposição à radiação solar (às 11h48min), quando ultrapassa a TCR06 inicialmente com maiores temperaturas registradas. Já a TCN04 atinge a menor temperatura máxima medida dentro deste período de exposição ao Sol, de 42,5°C. A telha inicialmente mais fria foi a TCN01, porém após os 12 primeiros minutos de medição, com a absorção da radiação por todas as telhas, a TCN04 mantém-se com as menores temperaturas. Este grupo de medição permanece com temperaturas mais

homogêneas que o Grupo 01, como se percebe ao comparar as curvas dos gráficos Gráfico 139 e Gráfico 143. Diferente do que aconteceu com as telhas do Grupo 01, aquelas que possuem maior e menor variação de temperatura superficial, não são as telhas com maior e menor temperaturas máximas. Neste caso, a TCR04 possui a maior variação entre suas temperaturas mínima e máxima, 12,70°C, e a TCN07 a menos variação, 9,07°C.

Gráfico 143 - Variação temperatura superficial GRUPO 02

Ao olhar separadamente as telhas do Grupo 02 com acabamento natural (Gráfico 144), percebe-se que a TCN06 tem a maior temperatura máxima, e a TCN04 a menor, sendo esta última, a telha com menores temperaturas de todo o Grupo 02. Nota-se, ainda, que a telha TCN07 ao início das medições possui a maior temperatura superficial, porém ao final, está entre as telhas com acabamento natural com menor temperatura superficial.

No grupo das telhas com acabamento resinado (Gráfico 145) observa-se a TCR05 com maior temperatura máxima, sendo também a que possui maiores temperaturas de todos do Grupo 02. Quanto à análise da telha com as menores temperaturas, observa-se que a TCR04 assume este posto durante quase toda a medição, exceto no intervalo de exposição entre 150 e 168 minutos (às 13h30min e 13h42min, respectivamente), quando a telha TCR02 assume o lugar de telha com as menores temperaturas.

Gráfico 144 - Variação de temperatura superficial telhas com acabamento NATURAL do GRUPO 02.

Gráfico 145 - Variação de temperatura superficial telhas com acabamento RESINADO do GRUPO 02.

De forma geral, pode-se perceber que as telhas com acabamento natural atingem temperaturas menores que aquelas com acabamento resinado e com relação às esmaltadas, a cor influencia nesta relação, estando as de cor clara entre as mais frias e as escuras entre as mais quentes. Estas relações se repetem quando relacionadas à refletância solar.

As telhas cerâmicas de acabamento natural, possuem, de forma geral, valores de refletância maiores que as telhas de acabamento resinado, como já apresentado anteriormente, o que reflete neste comportamento térmico das telhas. Enquanto para as telhas cerâmicas esmaltadas,

a cor teve grande influência na refletância solar, impactando então em seu comportamento análogo quando analisadas suas temperaturas superficiais. Estas relações comprovam o impacto da refletância solar na temperatura das superfícies de telhas, a partir das amostras analisadas.

Os quadros 24 e 25 apresentam as temperaturas máxima e mínima obtidas por cada telha, assim como a temperatura média de cada amostra durante as três horas de medição. Junto a estes dados, são apresentadas imagens das telhas, para facilitar a análise dos dados e relacioná-los com as cores de cada uma. São também apresentados os valores de refletância solar e do parâmetro de cor referente à luminosidade, que já foi previamente relacionado à refletância das amostras.

Nos quadros 24 e 25 apresentam os valores de temperaturas máxima, mínima e média de cada telha de fibrocimento.

Quadro 24 - Temperaturas superficiais mínima, máxima e média do Grupo 01.

IMAGEM	CÓDIGO	T. MÍNIMA	T. MÁXIMA	T. MÉDIA	ρ_{solar}	L
TCN09	30,05	44,55	39,09	0,51	56,4
TCR07	31,75	44,20	39,70	0,50	53,8
TCN10	30,55	43,95	39,16	0,51	56,0
TCR08	32,05	44,00	39,81	0,50	54,8
TCR09	32,05	44,30	40,32	0,20	54,5
TCR10	31,20	42,00	38,42	0,50	54,5
TCN11	30,90	42,30	39,02	0,53	54,8
TCE01	27,20	36,37	33,51	0,74	91,7
TCE02	28,07	40,03	35,82	0,66	80,3
TCE03	30,10	41,43	36,77	0,63	76,7
TCE04	28,20	41,83	37,01	0,61	75,7
TCE05	31,13	45,20	40,48	0,53	64,8
TCE06	31,77	43,93	39,86	0,52	67,1
TCE07	31,10	50,07	44,66	0,52	57,8
TCE08	30,87	51,13	45,90	0,38	45,7
TCE09	33,67	57,23	50,63	0,20	37,7
TCE10	36,97	56,63	50,47	0,21	38,9

Observa-se para o Grupo 01 que a telha com menor média, e menores temperaturas máxima e mínima, é a TCE01, telha de cor mais clara do grupo em questão, e que aquela que apresenta maiores temperatura média, máxima e mínima, é a TCE09, telha de cor mais escura deste grupo. São também estas as telhas que possuem respectivamente o maior ($\rho_{\text{solar}} = 0,74$) e menor ($\rho_{\text{solar}} = 0,20$) valor de refletância solar. Salienta-se ainda que a diferença de mais de 70% entre estas refletâncias gerou um aumento de mais de 20 °C na temperatura máxima da telha TCE09.

Para o Grupo 02, onde as telhas possuem colorações mais semelhantes que o grupo anterior, já que não estão presentes nestas amostras com acabamento esmaltado, pode-se observar que as cores mais claras não estão presentes nas telhas de menores temperaturas. Conforme já descrito, a telha TCN04 foi aquela de menores temperaturas máxima e mínima, porém as telhas mais claras são a TCN07 e TCN08. Com relação à que apresentou maiores temperaturas máxima e mínima, nota-se que é a telha mais escura do grupo e foi a que atingiu maior temperatura média.

Além disso, assim como analisado para o Grupo 01, observa-se que as telhas com maiores temperaturas máximas, são também aquelas que possuem menor refletância solar, e as amostras com menores temperaturas máximas são aquelas que mais refletem a radiação solar. Como por exemplo, a telha TCN08 com maior refletância para este grupo ($\rho_{\text{solar}} = 0,54$), que teve temperatura máxima de 44,27 °C, e a TCR06 com menor refletância ($\rho_{\text{solar}} = 0,40$) e uma das maiores temperaturas máximas, chegando a 47,3 °C. Percebe-se, neste caso, porém que a diferença de aproximadamente 25% a mais no valor de refletância solar implicou em pouco mais de 3 °C apenas, se considerado o pico de temperatura.

Quadro 25 - Temperaturas superficiais mínima, máxima e média do Grupo 02.

continua

IMAGEM	CÓDIGO	T. MÍNIMA	T. MÁXIMA	T. MÉDIA	ρ_{solar}	L
TCR01	35,53	47,03	42,33	47,7	54,5
TCR02	33,93	44,70	40,20	47,6	53,6
TCR03	32,67	45,13	40,30	47,8	54,1
TCN01	32,43	44,07	39,25	51,7	55,8
TCN02	33,27	43,90	39,57	49,4	56,5
TCN07	34,70	43,77	40,14	53,7	60,0
TCN08	34,53	44,27	40,47	54,6	59,8
TCN03	34,30	44,53	40,68	48,3	55,5
TCN04	32,87	42,57	38,84	48,9	56,7

conclusão

TCR04	32,80	45,50	39,48	48,5	54,7
TCR05	37,10	48,57	44,62	41,7	52,9
TCR06	37,00	47,30	43,94	40,0	52,5
TCN05	33,97	43,37	39,95	52,9	59,4
TCN06	34,50	44,67	41,11	53,1	60,0

14.2. TELHAS DE FIBROCIMENTO

Assim como já realizado com as telhas cerâmicas, no dia 11 de junho de 2019 as telhas de fibrocimento selecionadas pela esta pesquisa foram expostas à radiação solar na cidade de São Carlos – SP, por um período de 3 horas, para medição de suas temperaturas superficiais. As características climáticas dos dias foram obtidas a partir da estação meteorológica existente no LCA (Quadro 26) e estão descritas no Quadro 27.

Quadro 26 - Dados da estação meteorológica LCA-USP.

DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	
Cidade	São Carlos – SP
Latitude	22°18' S
Longitude	47°23' O
Altitude	690 m
ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	Storage Módulo 6M4M e CR10KD

Fonte: Adaptado de USP, 2018.

Quadro 27 - Dados meteorológicos dia 11.06.2019.

DIA 11.06.19						
Tempo da medição (min)	Hora (h: min)	Temperatura (°C)	UR média (%)	Radiação (W/m²)	Velocidade do Vento máxima (m/s)	Chuva (mm)
0	11:00	20,2	67,9	1,2	3,9	0,0
5	11:30	20,2	67,9	1,2	3,9	0,0
10	12:00	22,0	60,7	1,4	4,1	0,0
15	12:30	22,0	60,7	1,4	4,1	0,0
20	13:00	23,3	56,3	1,4	3,7	0,0
25	13:30	23,3	56,3	1,4	3,7	0,0
30	14:00	24,3	46,6	1,3	4,0	0,0

Fonte: Adaptado de USP, 2019.

As medições tiveram início às 11h e se realizaram a cada 6 minutos por 3 horas com a utilização de um termômetro de infravermelho, os dados medidos são apresentados no Apêndices C. Para facilitar a análise da variação da temperatura superficial de cada amostra durante o período de exposição, foram elaborados gráficos relacionando o tempo e a temperatura superficial de cada amostra.

Antes de observar as variações de temperaturas entre as telhas de fibrocimento, é importante salientar que os valores de temperatura máxima das telhas foram obtidos após 150 minutos (13h30min) de exposição ao Sol. Isto se deu devido a algumas nuvens que surgiram ao final da medição e encobriram o Sol, apesar do dia escolhido ter sido ensolarado e predominantemente sem nuvens durante todo o período de medições. A Quadro 28 apresenta os valores de temperaturas máxima, mínima e média de cada telha de fibrocimento.

Quadro 28 - Temperaturas máxima, mínima e média das telhas de fibrocimento.

IMAGEM	CÓDIGO	TEMP. MÍNIMA	TEMP. MÁXIMA	TEMP. MÉDIA	ρ_{solar}	L (luminosidade)
TFC01	30,73	43,1	38,97	0,51	73,9
TFC02	32,30	46,95	42,70	0,52	68,4
TFC03	33,00	45,45	41,05	0,51	74,2
TFC04	31,77	43,4	39,14	0,41	68,3
TFC05	32,37	43,5	39,05	0,43	67,8
TFC06	25,50	31,1	29,04	0,76	92,7
TFC07	22,50	26,45	25,00	0,96	99,3
TFC08	32,83	41,75	37,95	0,48	68,6

Observando o Gráfico 146, percebe-se que as telhas com acabamento refletivo, TFC06 e TFC07, apresentam menores temperaturas superficiais, sendo que esta última apresentou menor valor de temperatura máxima entre todas as telhas medidas. E a TFC02 a que apresentou maior temperatura máxima durante o tempo de medição.

Observando ainda a quadro 28 e o gráfico 147, pode-se perceber que as telhas com acabamento refletivo foram aquelas com menor variação entre as temperaturas máxima e mínima, TFC06 com variação de 5,6°C e TFC07 com 3,95°C, sendo a TFC07 a que apresenta a menor variação. Confirma-se, portanto, a eficiência do acabamento refletivo quanto à redução do ganho de calor da superfície da cobertura, consequentemente, reduzindo o calor transmitido para o interior dos ambientes. A telha de fibrocimento com maior variação de temperatura foi a TFC02, com 14,65°C de diferença entre a mínima e a máxima.

Gráfico 146 - Variação de temperatura superficial telhas de fibrocimento.

14.3. COMPARAÇÕES ENTRE TELHAS CERÂMICAS E DE FIBROCIMENTO

Após análise das temperaturas superficiais de cada grupo de telhas, e também das telhas por grupo de acabamentos, considerando cerâmicas naturais, resinadas, esmaltadas e as telhas de fibrocimento, a Quadro 29 mostra as telhas que apresentaram as menores e maiores temperaturas máximas entre cada tipo e acabamento de telhas, para cada um dos três grupos de medição.

Considerando-se as telhas com maiores e menores temperaturas superficiais após 3 horas de exposição ao Sol, apresentadas no Quadro 20 e no Gráfico 147, as telhas esmaltadas (TCE01 e TCE09) encontram-se entre as de maior e menor temperatura máxima, sendo que apenas a telha de fibrocimento com acabamento refletivo TFC06 chegou a temperaturas inferiores que a telha cerâmica esmaltada de cor mais clara, TCE01.

Entre as telhas resinadas e naturais, as variações de temperaturas e os valores medidos a cada 6 minutos são bastante semelhantes, com destaque negativo apenas para a TCR05 que apresenta temperaturas bem mais elevadas que as demais, sendo ultrapassada apenas pela TCE09, com maior temperatura superficial de todo este grupo amostral. Estas telhas com maior temperatura máxima, são também aquelas com menores valores de refletância solar, sendo apenas 20,9% para a telha TCE09 e 41,7% para a TCR05. Apesar de serem as amostras com maiores temperaturas e estarem entre aquelas com maior refletância deste recorte amostral realizado

neste tópic, as diferenças entre suas amplitudes térmicas, e picos de temperatura são significativos, assim entre seus valores de refletância solar.

Quadro 29 - Temperaturas superficiais máximas e mínimas de telhas com maiores e menores temperaturas máximas de cada grupo de medição.

CÓDIGO	TEMP. MÍNIMA	TEMP. MÁXIMA	TEMP. MÉDIA	ρ_{solar}	GRUPO
TCN04	32,87	42,57	38,84	0,48	2
TCN06	34,5	44,67	41,11	0,53	2
TCN09	30,05	44,55	39,09	0,51	1
TCN11	30,9	42,3	39,02	0,53	1
TCR04	32,8	45,5	39,48	0,48	2
TCR05	37,1	48,57	44,62	0,41	2
TCR07	31,75	44,2	39,7	0,50	1
TCR10	31,2	42,0	38,42	0,50	1
TCE01	27,2	36,37	33,51	0,74	1
TCE09	33,67	57,23	50,63	0,20	1
TFC02	32,3	46,95	42,7	0,52	3
TFC07	22,5	26,45	25	0,96	3

Analisando neste grupo amostral as telhas com maior e menor refletância solar, respectivamente TFC07 ($\rho_{\text{solar}} = 0,96$) que aumenta apenas 4 °C durante todo o tempo de exposição, e a telha TCE09 ($\rho_{\text{solar}} = 0,20$) que teve um aumento superior a 20 °C em sua temperatura superficial, nota-se a grande diferença que estes 79% na refletância da telha de fibrocimento com acabamento refletivo TFC07 fazem no desempenho térmico da mesma.

15. IMAGENS TERMOGRÁFICAS

15.1. TELHAS CERÂMICAS

Em conjunto com as medições de temperaturas superficiais das telhas expostas ao Sol, foram coletadas imagens termográficas das mesmas durante todo o processo de medição. Conforme se pôde observar no tópico anterior, houve variações de temperaturas durante as 3h.

Apesar de as medições acontecerem em dias quentes, com céu limpo, houve breves momentos em que o Sol esteve encoberto por nuvens que surgiram durante o período em que as telhas estiveram expostas à radiação solar. Por esta razão, houve maior variação da temperatura superficial das telhas, logo, são apresentadas as imagens termográficas registradas no primeiro minuto da medição de cada telha, no momento de maior temperatura superficial aferida e nos últimos minutos, ao final da terceira hora de exposição à radiação solar (Quadro 30 e Quadro 31).

Para as telhas do Grupo 01, das quais a medição de temperaturas superficiais foi realizada no dia 04.07.2018, o pico de temperatura ocorreu às 13h18min, após 138 minutos de exposição ao Sol. Já para o Grupo 02, as temperaturas mais altas foram registradas às 13h48min, aos 168 minutos de exposição.

Os Quadro 30 e Quadro 31 contêm as imagens termográficas das amostras selecionadas nos três momentos da medição indicados anteriormente. Para facilitar a observação das variações de temperaturas em cada telha, e entre elas, as imagens são apresentadas em uma escala de variação de temperatura entre 25°C e 60°C.

Pelas imagens termográficas, pode-se perceber o ganho de calor das telhas ao longo do período de exposição ao Sol, o que acontece devido à parcela desta radiação por elas absorvida, comprovando-se o impacto da refletância solar no ganho de calor das superfícies e, consequentemente, para o aumento da temperatura interna dos ambientes.

Conforme se pode observar ao comparar as imagens com as temperaturas superficiais medidas e analisadas posteriormente, as telhas TCE09 no Grupo 01 e TCR05 no Grupo 02 alcançaram as maiores temperaturas. E as telhas TCE01 e TCN04, dos grupos 01 e 02 respectivamente, atingiram temperaturas menores dentro do mesmo tempo de exposição das demais.

Quadro 30 - Imagens termográficas GRUPO 01

continua

continuação

continuação

continuação

continuação

conclusão

Quadro 31 - Imagens termográficas GRUPO 02

continua

continuação

continuação

continuação

conclusão

15.2. TELHAS DE FIBROCIMENTO

Assim como feito com as telhas cerâmicas, um novo grupo de telhas – grupo 03 – composto por telhas de fibrocimento foi exposto por 3h à radiação solar, conforme já exposto anteriormente. Junto à medição das temperaturas superficiais, foram coletadas imagens termográficas das telhas, apresentadas no Quadro 32. Assim como nas medições com as telhas cerâmicas, o dia selecionado foi de céu claro, porém com breves momentos em que o Sol esteve encoberto por nuvens o que fez com que o pico de temperatura para a maioria das telhas acontecesse aos 162 minutos de medição (13h42min), e não ao fim dos 180 minutos.

Para facilitar a observação das variações de temperaturas em cada telha, e a comparação entre as variações entre as amostras, as imagens são apresentadas considerando-se a escala de temperatura entre 25 °C e 60 °C. Pode-se perceber, através das imagens termográficas, que assim como aconteceu com as telhas cerâmicas, as telhas acumulam calor durante o tempo de exposição, observando-se assim a radiação absorvida por cada uma, tendo a absorptância solar como propriedade responsável por esta absorção e a refletância responsável pela reflexão da radiação solar. Confirma-se, portanto, a relação entre o ganho de temperatura das telhas e sua refletância solar.

Neste grupo amostral, observou-se que a telha TFC07 foi aquela com a menor temperatura máxima, e menor variação de temperatura durante o período de exposição, enquanto a TF02 atingiu maior temperatura superficial máxima e também teve a maior variação de temperatura.

Quadro 32 - Imagens termográficas telhas de fibrocimento.

continua

continuação

conclusão

16. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após todas as medições realizadas, de refletância solar, parâmetros de cor e temperatura superficial, estes resultados foram cruzados, buscando encontrar relações entre os valores obtidos em cada uma delas, e como a refletância solar impacta, principalmente, na temperatura das telhas. Além de fazer relação entre as refletâncias medidas e o que é sugerido como valor para esta propriedade de telhas na norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005d).

Uma das relações analisadas foi o quanto o aumento da refletância solar das superfícies interfere em suas temperaturas superficiais. Para isto, as refletâncias foram analisadas por conjuntos de telhas, agrupadas a partir de seus tipos e acabamentos superficiais.

Analisando separadamente as telhas cerâmicas naturais, percebeu-se que as diferenças de aproximadamente 10% no valor da refletância, resultou em aumentos de, no máximo, 2 °C na temperatura superficial. Isto acontece, por exemplo, entre as telhas TCN04 e TNC08, sendo que a primeira possui refletância de 0,48 e segunda de 0,54 (diferença de 11%), o que resultou em temperaturas máximas superficiais de 1,7 °C e 5,9 °C, respectivamente (diferença de 1,7 °C).

Para as telhas cerâmicas resinadas, onde o aumento de aproximadamente 10% na refletância também resultou em uma média de 5 °C de aumento na temperatura. Porém, entre as telhas resinadas, pôde-se analisar outras diferenças entre as refletâncias. Foi observado que entre telhas com diferenças de refletância de 20%, a diferença de temperatura superficial manteve uma média de 5 °C. Concluindo-se, com isto, que para este tipo de telha, aumentos de refletância solar que sejam menores que 20%, resultarão em diferenças máximas de 5 °C, para as amostras analisadas.

Isto pode ser percebido entre as telhas TCR05 e TCR09, com refletâncias de 0,41 e 0,46 (diferença de 10%) e temperaturas superficiais de 48,57 °C e 44,3 °C (4,27 °C) e entre a TCR05 e TCR10 onde a diferença entre as refletâncias foi de 20% (p 0,40 e 0,50, respectivamente) e entre as temperaturas máximas de 5,3 °C (TCR05 = 47,3 °C; TCR10 = 50,3 °C).

Entre as telhas cerâmicas naturais e resinadas, as diferenças entre as refletâncias são pequenas, portanto, estas foram as principais relações entre suas refletâncias e temperaturas superficiais. Contudo, as telhas cerâmicas esmaltadas possuem variações maiores entre estes valores, e suas relações são apresentadas a seguir.

Entre as telhas esmaltadas, naquelas em que a diferença de refletância solar foi até 10%, a diferença entre as temperaturas superficiais máximas foi aproximadamente 2 °C. Com diferenças

em torno de 15% na refletância solar, a diferença na temperatura superficial máxima variou bastante, podendo ser em torno de 2 °C e 8 °C. Já quando a diferença de refletância aumentou para 30% e 60% as temperaturas máximas aumentaram aproximadamente, 10 °C e quando a refletância chegou a 70% de diferença, a temperatura subiu 20 °C. , os valores são apresentados no Quadro 33.

Quadro 33 - Diferenças entre refletâncias e temperaturas superficiais entre telhas esmaltadas.

	TCE02	TCE04	Diferenças	TCE03	TCE05	Diferenças	TCE04	TCE07	Diferenças
ρ	0,66	0,61	7,5%	0,63	0,53	15,8%	0,61	0,52	14,7%
TEMP (°C)	40,03	41,83	1,8	41,43	43,20	1,77	41,83	50,07	8,24
	TCE01	TCE05	Diferenças	TCE05	TCE10	Diferenças	TCE01	TCE10	Diferenças
ρ	0,74	0,53	28,3%	0,53	0,21	60,3%	0,74	0,21	71,6%
TEMP (°C)	36,3	43,20	8,9	43,20	56,6	11,4	36,3	56,6	20,3

Para as telhas de fibrocimento, estas relações também foram observadas. Percebendo-se que entre as telhas onde a diferença de refletância solar foi até 15%, a diferença entre as temperaturas superficiais máximas foi aproximadamente 4 °C. Já quando a diferença de refletância aumentou para 50% as temperaturas máximas aumentaram aproximadamente, 15 °C. Como pode ser observado no Quadro 34.

Quadro 34 - Diferenças entre refletâncias e temperaturas superficiais entre telhas de fibrocimento.

	TFC03	TFC08	Diferenças	TFC02	TFC05	Diferenças
ρ	0,51	0,48	5%	0,52	0,43	17%
TEMP (°C)	45,45	41,75	3,7	46,95	43,5	3,5
	TFC04	TFC07	Diferenças	TFC04	TFC06	Diferenças
ρ	0,41	0,96	57%	0,41	0,76	46%
TEMP (°C)	43,40	26,45	16,95	43,40	31,1	12,3

Ao final da análise separada de cada tipo de acabamento de telhas, observou-se que o comportamento entre elas é semelhante chegando às seguintes relações aproximadas entre a refletância solar e as temperaturas superficiais máximas, para as amostras estudadas. Para aumento na refletância solar de até 20%, a diminuição na temperatura é em média de 5 °C, para diferenças de refletância entre 20%, a 30%, a temperatura superficial varia aproximadamente 10 °C, e por fim, para aumentos de refletância acima de 50% a diminuição média na temperatura superficial máxima é de 15°C.

Além destas relações entre as refletâncias solares e as temperaturas superficiais máximas medidas para cada uma das telhas, foi calculada uma média entre as refletâncias solares de cada grupo de telhas, separadas por tipo e acabamento, e são apresentadas no Quadro 35. Não foi

calculada uma média das telhas cerâmicas esmaltadas devido a grande variação de coloração entre elas, o que dificulta que elas sejam agrupadas em um valor médio equivalente para todas as telhas. Situação semelhante acontece com as telhas de fibrocimento, devido às duas amostras apresentadas que possuem acabamento refletivo. Portanto, para a média de valor de refletância solar aqui apresentada, foram consideradas apenas as telhas de fibrocimento sem acabamento refletivo.

Quadro 35 - Médias de refletância por tipo e acabamento das telhas.

TELHAS	$\rho_{\text{Solar}} (\%)$
TCN	51,7
TCR	47,0
TFC (sem telhas refletivas)	48,5

A norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005d) apresenta um valor médio de absorptância solar para telhas cerâmicas entre 0,75 e 0,8, portanto valor de refletância entre 0,25 e 0,20. A partir das médias anteriormente apresentadas para as telhas cerâmicas em seus diferentes acabamentos, notou-se que o proposto pela norma está em desacordo com a realidade. Foram observados valores de refletância solar em torno de 0,20 apenas para telhas esmaltadas mais escuras, não havendo nenhuma telha cerâmica resinada ou natural, entre as analisadas, com valores próximos a este.

Considerando as relações anteriormente apresentadas entre refletância e temperatura superficial, esta diferença de aproximadamente 50% na refletância solar, indica uma diferença em torno de 15 °C na temperatura, valor significativo para a análise de desempenho térmico de um sistema de cobertura.

Nota-se, portanto, a necessidade de que as normas brasileiras sejam revisadas e apresentem valores mais próximos à realidade quando se tratar desta propriedade termofísica das telhas. Há ainda a necessidade de que a norma seja mais abrangente em sua variedade de telhas, apresentando valores apenas para as telhas cerâmicas, e nenhuma indicação para telhas de fibrocimento, por exemplo.

Para finalizar esta análise da refletância solar em relação às temperaturas superficiais das amostras, foi ainda calculada a correlação entre as refletâncias solares e a temperatura superficial máxima das telhas. O resultado é apresentado no Gráfico 148, onde observa-se uma correlação negativa, o que indica que enquanto a refletância sobe a temperatura cai, e vice-versa, com um coeficiente de determinação R^2 igual a 0,91.

Gráfico 148 - Correlação entre refletância solar e temperatura superficial máxima das telhas.

Após saber quanto a diferença entre as refletâncias interferem na temperatura superficial, foi ainda observada quanto as diferenças entre as refletâncias medidas com o espectrofotômetro e o ALTA II podem ser prejudiciais quando da avaliação do desempenho térmico das coberturas. O Quadro 36 apresenta os valores de refletâncias e as diferenças entre elas.

Quadro 36 - Valores de refletância solar medidas com espectrofotômetro e ALTA II, e a diferença entre elas.

continua

TELHA	$\rho_{\text{Espectrofotômetro}}$	ρ_{ALTA}	Diferença
TCN01	0,51	0,43	16%
TCN02	0,49	0,39	20%
TCN03	0,48	0,40	17%
TCN04	0,48	0,40	17%
TCN05	0,52	0,43	17%
TCN06	0,53	0,45	15%
TCN07	0,53	0,51	4%
TCN08	0,54	0,47	13%
TCN09	0,51	0,43	16%
TCN10	0,51	0,45	12%
TCN11	0,53	0,42	21%
TCR01	0,47	0,40	15%
TCR02	0,47	0,37	21%
TCR03	0,48	0,39	19%
TCR04	0,48	0,39	19%
TCR05	0,41	0,35	15%
TCR06	0,40	0,32	20%
TCR07	0,50	0,38	24%
TCR08	0,50	0,41	18%
TCR09	0,46	0,40	13%
TCR10	0,50	0,42	16%

			conclusão
TELHA	$\rho_{\text{Espectrofotômetro}}$	ρ_{ALTA}	Diferença
TCE01	0,74	0,76	3%
TCE02	0,66	0,64	3%
TCE03	0,63	0,64	2%
TCE04	0,61	0,60	2%
TCE05	0,53	0,50	6%
TCE06	0,52	0,47	10%
TCE07	0,52	0,36	31%
TCE08	0,38	0,32	16%
TCE09	0,20	0,16	20%
TCE10	0,21	0,13	38%
TFC01	0,51	0,43	16%
TFC02	0,52	0,42	19%
TFC03	0,51	0,47	8%
TFC04	0,41	0,42	2%
TFC05	0,43	0,38	12%
TFC06	0,76	0,69	9%
TFC07	0,96	0,88	8%
TFC08	0,48	0,41	15%

Considerando as diferenças entre os valores de refletância medidos nos dois equipamentos, percebe-se que a maior foi de 38%, para telha cerâmica esmaltada de cor escura, o que implicaria em uma diferença de aproximadamente 10 °C. Porém, as diferenças médias estão abaixo de 20%, o que gera uma diferença de 5 °C na temperatura superficial máxima, segundo as relações feitas neste trabalho a partir das amostras estudadas. Podendo considerar, portanto, que as diferenças entre as refletâncias solares medidas com o ALTA II são pouco significativas considerando-se a temperatura superficial das telhas cerâmicas e de fibrocimento.

CONCLUSÕES

Esta pesquisa gerou, a partir das medições de refletância solar por diferentes métodos, base de dados referentes a esta propriedade em telhas cerâmicas com acabamento esmaltado, resinado e natural, além de telhas de fibrocimento. Além da caracterização destas telhas quanto aos parâmetros de cor a partir do sistema HSL. Com suporte nestes dados, foi possível estabelecer relações e a partir delas extrair as conclusões da pesquisa, que são listadas a seguir.

- ✓ A partir das medições com o espectrofotômetro, pôde-se concluir inicialmente, que o acabamento da superfície tem grande influência no valor de refletância solar de cada amostra. Observando que aquelas telhas com acabamento superficial mais uniforme têm valores de refletância solar maiores que aquelas visivelmente mais porosas e rugosas.
- ✓ Também pôde-se atestar quanto o aumento da refletância solar interfere na diminuição da temperatura superficial máxima das telhas, sendo que até 20% de diferença de refletância resultam em média em 5 °C de diferença de temperatura; entre 20 e 30% de diferença de refletância resultam em aproximadamente 10 °C de diferença e por fim um aumento de a partir de 50% da refletância pode resultar em uma diminuição de a partir de 15 °C, podendo chegar a 20 °C.
- ✓ Apoiado nas médias calculadas para a refletância de cada tipo de telha, concluiu-se que os as telhas de fibrocimento possuem maiores valores de refletância solar quando são consideradas as telhas com acabamento refletivo. Porém quando não consideradas as telhas com acabamento refletivo, as telhas cerâmicas naturais são as mais refletivas ($p = 0,51$), seguidas pelas de fibrocimento ($p = 0,48$) e por fim como as telhas menos refletivas analisando de forma geral, encontram-se as telhas cerâmicas esmaltadas ($p = 47,0\%$). Para o grupo de telhas esmaltadas, é necessário que a análise seja feita individualmente, e não por grupo, pois as variações de cores e refletância solar são muito grandes, dificultando que se leve em consideração um valor médio de refletância que represente a todas elas, como pode ser feito para os demais tipos de telhas analisados.
- ✓ Comparando os valores de refletância solar médios obtidos nesta pesquisa aos indicados na norma NBR 15220-3 (ABNT,2005d), conclui-se ainda que há a necessidade de que esta norma seja reformulada e novos valores sejam acrescidos. Isto porque as diferenças entre os valores propostos na norma variam entre 0,25 e 0,20 de refletância para telhas cerâmicas, enquanto os valores médios aqui obtidos variam entre 0,47 e 0,51. Esta diferença de refletância pode indicar mais de 15 °C de temperatura superficial atingida por estas superfícies, o que pode acarretar

grandes prejuízos nas análises de desempenho térmico de edificações quando utilizados os valores indicados nesta norma.

- ✓ Partindo das análises de parâmetros de cor das amostras a partir do sistema HSL, conclui-se que a luminosidade das telhas cresce assim como cresce a refletância solar, podendo indicar que quanto maior a luminosidade da cor da telha, maior será sua refletância solar.
- ✓ Comparando os valores de refletância solar obtidos através do espectrofotômetro, aos obtidos através do ALTAII, buscando avaliar a confiabilidade deste último equipamento, conclui-se que o espectrômetro pode ser utilizado para medição de refletância solar de telhas cerâmicas e de fibrocimento, pois os dados calculados a partir deste método de medição são semelhantes aos calculados a partir das medições com o espectrofotômetro, com correlação apresentando coeficiente de determinação R^2 de 0,96 para todos os tipos de amostras medidos.
- ✓ Além disso, com a análise realizada a respeito do método de medição com o ALTA II, somadas à análise da porcentagem de aumento da refletância solar e seu impacto na análise do desempenho térmico das telhas, pode-se perceber que o uso ou não do aparato escuro para a medição da refletância solar, pouco prejudica a análise do quanto determinado sistema de cobertura é responsável pelo ganho de calor pela edificação.
- ✓ Ainda sobre o ALTA II, percebeu-se que partindo de equações geradas por análise de regressão linear, os valores de refletância obtidos, são também confiáveis, visto que sua correlação com os valores medidos a partir deste equipamento, apresenta R^2 de 0,79 para telhas naturais, R^2 de 0,85 para as resinadas e R^2 de 0,99 para as telhas esmaltadas e de fibrocimento.

Portanto, a partir de todo o exposto, concluiu-se que o espectrômetro ALTA II é um equipamento confiável para a medição de refletância solar de telhas cerâmicas e de fibrocimento, tendo sua confiabilidade atestada a partir das diversas análises apresentadas ao longo desta dissertação. Sendo, portanto, uma alternativa válida aos métodos de medição de refletância solar atualmente utilizados e normatizados.

RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Realizar medições com espectrofotômetro de outros tipos de telhas, e demais materiais utilizados para coberturas de edificações, buscando aumentar a base de dados iniciada neste trabalho.
- Obter novas equações a partir de medições com o ALTA II, para os demais tipos de telhas utilizadas na construção civil brasileira.
- Analisar a composição química das telhas pesquisadas, visando entender as diferenças de refletância solar entre os diferentes fabricantes e modelos de telhas.

REFERÊNCIAS

AKBARI, H.; BRETZ, S.; KURN, D. M.; HANFORD, J. Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs. **Energy and Buildings**, v. 25, p. 117–126, 1997.

AKBARI, H.; LEVINSON, R.; RAINER, L. Monitoring the energy-use effects of cool roofs on California commercial buildings. **Energy and Buildings**, v. 37, p. 1007–1016, 2005.

AKBARI, H.; MATTHEWS, H. D. Global cooling updates: Reflective roofs and pavements. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 2–6, 2012.

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.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1549-09**: standard test method for determination of solar reflectance near ambient temperature using a portable solar reflectometer. ASTM International, 2009.

_____. **E1918 – 06**: Standard test method for measuring solar reflectance of horizontal and low-sloped surfaces in the field. ASTM International, 2006.

_____. **E903 – 12**: Standard test method for solar absorptance, reflectance and transmittance of materials using integrating spheres. ASTM International, 2012a.

_____. **G173-03** (Reaprovada 2012): Standards tables for reference solar spectral irradiances: Direct normal and hemispherical on 37° tilted surface. ASTM International, 2012b.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE. **Standard 90.1**: Energy standard for buildings except low-rise residential buildings. Atlanta, 2013.

ANTING, N.; MD. DIN, M. F.; IWAO, K.; PONRAJ, M.; JANGAN, K.; YONG, L. Y.; SIANG, A. J. L. M. Experimental evaluation of thermal performance of cool pavement material using waste tiles in tropical climate. **Energy and Buildings**, 142, 211–219, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15220**: Desempenho térmico das edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15220-1:** Desempenho térmico das edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 15220-2:** Desempenho térmico das edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005c.

_____. **NBR 15220-3:** Desempenho térmico das edificações. Parte 2: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005d.

_____. **NBR 15310:** Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **15575:** Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **15575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **15575-4:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013c.

_____. **15575-5:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013d.

_____. **7196:** Telhas de fibrocimento — Execução de coberturas e fechamentos laterais — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **7581:** Telha ondulada de fibrocimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **15210:** Telhas onduladas e peças complementares de fibrocimento sem amianto. Rio de Janeiro, 2019.

BANIASSADI, A.; SAILOR, D. J.; & BAN-WEISS, G. A. Urban Climate Potential energy and climate benefits of super-cool materials as a rooftop strategy. **Urban Climate**, v. 29, 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria nº 50, de 01 de fevereiro de 2013. **Requisitos de avaliação da conformidade para eficiência energética de edificações**. Rio de Janeiro, 2013.

BRETZ, S.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A.. Practical issues for using solar-reflective materials to

mitigate urban heat islands. **Atmospheric Environment**, v. 32, p. 95–101, 1998

BRITO, A. C. DE; AKUTSU, M. Contribuição Da Cor Da Cobertura Na Melhoria Do Desempenho Térmico De Habitação No Período De Verão. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2015.

CAO, M.; ROSADO, P.; LIN, Z., LEVINSON, R.; & MILLSTEIN, D. Cool Roofs in Guangzhou, China : Outdoor Air Temperature Reductions during Heat Waves and Typical Summer Conditions. **Energy Policy**. v. 74, p. 190-214 , 2015.

CASTRO, A. P. DE A. S.; LABAKI, L. C.; CARAM, R. M.; BASSO, A.; FERNANDES, M. R. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. **Ambiente Construído**, v. 3, p. 69–76, 2003.

CORRÊA, M. de P. **Pesquisas sobre radiação ultravioleta**: Aplicações para a ciência e a sociedade. Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais – CPTEC/INPE. Cachoeira Paulista, 2014.

CUNHA, E. G. **Elementos de arquitetura de climatização natural**: método projetual buscando a eficiência nas edificações. Porto Alegre: Masquatro Editora. 2006.

CHWIEDUK, D. **Solar Energy in Buildings**: Thermal Balance for Efficient Heating and Cooling. Elsevier. Oksford, 2014.

DINIZ, F. B. **Os efeitos da latitude sobre a duração dos dias e noites**. Disponível em: <http://www.astrosurf.com/skyscapes/disc/latitude/latitude.html>. Acesso em: 26 maio 2018.

DORNELLES, K. A.; CARAM, R. M.; SICHIERI, E. P. Absortância Solar E Desempenho Térmico De Tintas Frias Para Uso No Envelope Construtivo. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2013, Brasília. **Anais...** Brasília, 2013.

DORNELLES, K. A. **Absortância Solar em Superfícies Opacas**: Métodos de Determinação e Base de Dados para Tintas Látex Acrílica e PVA. 2008. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

_____. **Método de medição da absortância solar de revestimentos opacos para o ambiente construído**. Relatório de pesquisa, Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2017.

DORNELLES, K.; CARAM, R.; SICHIERI, E. Natural weathering of cool coatings and its effect on solar reflectance of roof surfaces. **Energy Procedia**, v. 78, p. 1587–1592, 2015.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Identificação da absorvância solar de superfícies opacas por meio de espectrômetro de baixo custo In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2006.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. A ilusão das cores na identificação da absorvância solar de superfícies opacas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2007.

ECOHABITAR. **Um grau a menos**. Disponível em: <http://ecohabitar.com.br/site/2009/03/10/um-grau-a-menos/>. Acesso em: 28 mar. 2019.

FERRARI, C.; LIBBRA, A.; CERNUSCHI, F. M.; DE MARIA, L.; MARCHIONNA, S.; BAROZZI, M.; MUSCIO, A. A composite cool colored tile for sloped roofs with high “equivalent” solar reflectance. **Energy and Buildings**, v. 114, p. 221–226, 2016.

GILBERT, H.; MANDEL, B. H.; & LEVINSON, R. Keeping California cool : Recent cool community developments. **Energy & Buildings**, v. 114, p. 20–26, 2016.

KONOPACKI, S.; AKBARI, H.; GARTLAND, L. (1997). **Cooling energy savings potential of light-colored roofs for residential and commercial buildings in 11 US metropolitan areas**. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 1997.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. [3.ed.] Rio de Janeiro. 2014.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; RAMOS, G. **Impactos da Adequação Climática Sobre a Eficiência Energética e o Conforto Térmico de Edifícios de Escritórios no Brasil**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006. (Relatório de pesquisa).

LEVINSON, R.; CHEN, S.; FERRARI, C.; BERDAHL, P.; SLACK, J. Methods and instrumentation to measure the effective solar reflectance of fluorescent cool surfaces. **Energy and Buildings**, v. 152, p. 752–765, 2017.

LUNAR PLANETARY INSTITUTE – LPI. **ALTA Reflectance Spectrometer**. Disponível em: <https://www.lpi.usra.edu/education/products/spectrometer/>. Acesso em: 6 de jun. de 2017.

MARINOSKI, D. L.; ORIGE, L. P.; GUESSER, A.; GUTHS, S.; LAMBERTS, R. Análise comparativa de valores de refletância solar de superfícies opacas utilizando utilizando diferentes equipamentos equipamentos de medição em laboratório em laboratório. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2013, Brasília. **Anais...** Brasília, 2013.

PALUMBO, P. A.; WEBER, W. L. Novel spectrophotometer for the measurement of color and appearance. **Analytica Chimica Acta**, v. 380, p. 243–261, 1999.

PAOLINI, R.; ZINZI, M.; POLI, T.; CARNIELO, E.; MAININI, A. G. Effect of ageing on solar spectral reflectance of roofing membranes: Natural exposure in Roma and Milano and the impact on the energy needs of commercial buildings. **Energy and Buildings**, v. 84, p. 333–343, 2014.

PARKER, D. S.; BARKASZI JR, S. F. Roof solar reflectance and cooling energy use: field research results from Florida. **Energy and Buildings**, v. 25, p. 105–115, 1997.

PEREIRA, C. D.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S.; GHISI, E. Avaliação experimental do espectrômetro Alta II e sua aplicação na normatização brasileira. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 197-213, 2017.

_____. **Guia de medição e cálculo para refletância e absorvância solar em superfícies opacas.** Centro Brasileiro de Eficiência Energética nas Edificações. Florianópolis, 2015a.

_____. **Relatório de avaliação do espectrômetro portátil Alta II.** Centro Brasileiro de Eficiência Energética nas Edificações. Florianópolis, 2015b.

ROMEO, C.; ZINZI, M. Impact of a cool roof application on the energy and comfort performance in an existing non-residential building. A Sicilian case study. **Energy and Buildings**, v. 67, p. 647–657, 2013.

RORIZ, V. F. **Superfícies sobre suas absorvâncias e emitâncias:** modelo teórico e experimental. 2011. 268 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo na Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2011.

RORIZ, V. F.; CARAM, R. M.; RORIZ, M. Absorvâncias e emitâncias efetivas de superfícies: um método para estimá-las, um modelo experimental e exemplos de suas importâncias. **Ambiente Construído**, v. 12, p. 7–22, 2012.

SÁ, E. M. H. DE; OLIVEIRA, R. D. Análise de medidas aplicáveis à edificação pública escolar para obtenção da classificação a na etiqueta nacional de conservação de energia. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2019, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2019.

SANGOI, J. M.; RAMOS, G.; LAMBERTS, R. Análise das medições de absorvância através do espectrômetro ALTA II. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela. **Anais...** Canela, 2010.

SANTAMOURIS, M.; HADDAD, S.; SALIARI, M.; VASILAKOPOULOU, K.; SYNNEFA, A.; PAOLINI, R.; FIORITO, F. On the energy impact of urban heat island in Sydney: Climate and energy potential of mitigation technologies. **Energy and Buildings**, v. 166, p. 154–164, 2018.

SANTAMOURIS, M.; KOLOKOTSA, D. Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures : The state of the art. **Energy and Buildings**, v. 57, p. 74–94. 2013.

SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. **Solar Energy**, v. 85, p. 3085–3102, 2011.

SANTOS, E. I.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Influência do ambiente de medição sobre a verificação da absorvância de superfícies opacas utilizando um espectrômetro portátil. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2009, Natal. **Anais...** Natal, 2009.

SANTOS, E. I.; COIMBRA, I. L.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R.; DORNELLES, K. A. Influência da rugosidade superficial sobre os valores da absorvância solar determinados com o espectrômetro portátil alta ii. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2011, Búzios. **Anais...** Búzios, 2011.

SCHABBACH, L. M.; MARINOSKI, D. L.; GÜTHS, S.; BERNARDIN, A. M.; FREDEL, M. C. (2018). Pigmented glazed ceramic roof tiles in Brazil : Thermal and optical properties related to solar reflectance index. **Solar Energy**, v. 159, p. 113–124, 2018.

SCHAEFER, A.; SILVA, A. S.; ALMEIDA, L. S. S.; BALVEDI, B.; GHISI, E. Influência da absorptância solar no desempenho térmico de habitações populares. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2010, Maceió. **Anais...** Maceió, 2014.

SHI, Y.; YU, X.; FENG, Q.; WANG, Y. Design of portable near infrared soil nutrient measuring instrument. **Optik**, v. 126(2), p. 230–233, 2015.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; 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.

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. 81, p. 488–497, 2007.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I. A comparative study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE “PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, Santorini. **Anais...** Santorini, Grécia. 2005.

TAHA, H.; SAILOR, D.; & MUNICIPAL, S. **High-Albedo Materials for Reducing Building Cooling Energy Use**. Energy and Environmental Division, Lawrence Berkeley Laboratory, University of California. Berkeley, 1997.

TESIS. **Sistema de cobertura com telhado constituído de telhas onduladas de fibrocimento sem amianto – tipo grandes ondas (GO) de 6 mm de espessura**. Assossiação Nacional de Fibrocimento – ANF. São Paulo, 2018.

VIJAYKUMAR, K. C. K.; SRINIVASAN, P. S. S.; DHANDAPANI, S. A performance of hollow clay tile (HCT) laid reinforced cement concrete (RCC) roof for tropical summer climates. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 8, p. 886–892, 2007.

ZINZI, M. Characterisation and assessment of near infrared reflective paintings for building facade applications. **Energy and Buildings**, v. 114, p. 206–213, 2016.

ZINZI, M.; ROMEO, C. **Cool roofs case studies in EU level**. European Cool Roofs Council, 2010.

APÊNDICE A

Quadro 37 - Temperaturas medidas - GRUPO 01.

TELHAS	HORÁRIOS																													
	11:10	11:16	11:22	11:28	11:34	11:40	11:46	11:52	11:58	12:04	12:10	12:16	12:22	12:28	12:34	12:40	12:46	12:52	12:58	13:04	13:10	13:16	13:22	13:28	13:34	13:40	13:46	13:52	13:58	14:04
TCN09	30,05	30,25	35,15	35,30	35,05	35,80	37,85	38,55	38,10	40,70	39,10	42,15	39,70	39,95	39,15	39,65	40,55	41,60	38,00	39,50	42,05	41,75	44,55	42,35	44,25	38,05	40,35	40,50	41,10	41,70
TCR07	31,75	31,75	36,05	35,20	35,45	37,55	39,35	39,35	40,10	42,15	40,60	42,45	41,25	41,50	41,50	42,05	41,90	40,60	37,75	39,40	41,05	41,85	44,20	41,75	44,10	37,25	40,60	40,35	41,35	40,70
TCN10	30,55	31,30	36,15	35,50	36,55	37,95	39,80	38,35	39,75	42,10	40,55	42,60	40,25	40,85	40,15	39,35	40,60	40,75	36,90	38,75	41,55	41,30	43,95	41,65	43,25	36,75	39,10	38,40	39,90	40,05
TCR08	32,20	32,05	36,65	36,95	37,10	38,90	40,05	39,85	40,80	42,65	41,35	43,95	41,65	41,55	41,55	40,95	42,00	40,80	36,90	39,30	41,65	41,50	44,00	41,50	43,65	37,00	38,60	39,20	40,30	39,55
TCR09	32,05	32,30	36,60	37,35	38,60	39,55	40,65	40,80	41,45	43,45	41,70	44,20	41,20	41,80	42,30	42,30	42,25	41,35	37,50	39,70	42,20	42,50	44,30	41,35	44,00	37,00	40,25	40,00	41,15	39,65
TCR10	31,20	32,35	35,60	35,20	35,45	37,70	39,95	38,90	38,35	41,75	40,20	41,40	40,50	40,25	40,60	40,40	40,00	39,15	36,30	38,10	39,60	39,50	42,00	39,65	40,85	35,25	37,85	38,10	38,45	38,05
TCN11	30,90	31,80	36,20	36,15	37,40	38,70	40,55	40,35	40,70	42,10	40,10	42,20	42,25	41,10	41,25	41,50	40,40	40,05	36,85	38,40	40,20	40,15	42,30	40,15	40,55	35,75	38,05	38,30	38,45	37,65
TCE01	27,23	27,20	31,43	29,73	31,10	32,60	34,60	33,93	33,80	35,80	34,13	35,70	35,47	35,27	34,43	35,30	34,40	33,60	32,13	33,47	34,97	34,60	36,37	34,70	35,33	32,60	33,50	33,87	33,80	34,30
TCE02	28,07	28,10	32,17	31,73	31,43	34,40	36,00	35,37	34,67	37,73	35,13	37,83	36,30	36,13	37,53	37,33	38,27	38,37	35,37	36,00	37,37	37,43	40,03	39,00	39,20	35,10	36,23	36,80	37,70	37,83
TCE03	30,20	30,10	33,60	32,80	33,13	34,80	35,87	35,83	36,53	37,27	37,37	37,70	37,87	38,50	37,97	38,33	39,60	38,63	35,93	37,50	38,17	38,63	41,43	39,87	40,03	34,90	36,53	36,57	39,37	37,93
TCE04	28,20	29,70	34,37	32,20	33,53	35,20	36,90	37,27	37,63	37,23	36,90	38,17	38,27	38,37	38,73	39,47	39,97	39,67	36,13	37,83	38,67	38,27	41,83	40,20	39,87	34,90	36,23	37,23	38,53	38,77
TCE05	31,13	32,30	36,30	35,83	36,70	38,60	38,57	41,37	40,07	38,03	41,27	41,20	42,40	42,47	43,47	44,47	44,07	42,87	38,77	41,73	42,23	43,10	45,20	44,33	43,33	38,10	39,57	41,50	42,50	42,87
TCE06	31,77	33,37	36,73	35,80	35,40	38,00	39,57	39,33	39,80	39,90	39,23	40,13	41,23	42,23	42,10	42,87	42,27	42,67	38,13	40,03	41,03	42,73	43,83	43,93	42,60	37,83	38,63	40,00	42,00	42,57
TCE07	31,10	33,50	38,80	37,77	40,47	42,77	45,37	45,60	45,67	46,60	47,03	46,00	47,17	47,80	48,07	48,30	48,43	46,93	43,17	45,70	46,03	47,20	50,07	48,67	47,40	42,57	44,27	43,90	46,17	47,20
TCE08	30,87	34,70	39,67	39,60	41,67	44,47	46,20	47,03	47,43	48,40	48,17	48,50	48,53	48,53	48,90	50,73	50,50	47,63	44,13	46,80	46,53	48,60	51,13	49,50	48,00	43,00	45,00	46,20	47,93	48,67
TCE09	33,67	36,60	42,73	43,30	48,47	50,20	47,43	49,43	51,33	52,30	53,13	53,33	54,13	55,10	55,77	56,13	54,83	52,47	49,23	52,23	51,57	54,90	57,23	54,53	53,63	47,63	48,77	51,33	53,20	54,13
TCE10	37,20	36,97	44,03	44,07	46,77	49,77	51,17	52,43	51,43	51,73	52,50	52,70	53,00	54,53	54,77	54,93	55,27	51,10	48,40	51,40	50,63	53,43	56,63	54,27	52,93	47,03	48,27	50,03	53,27	53,50

APÊNDICE B

Quadro 38 - Temperaturas medidas - GRUPO 02.

TELHAS	HORÁRIOS																													
	11:10	11:16	11:22	11:28	11:34	11:40	11:46	11:52	11:58	12:04	12:10	12:16	12:22	12:28	12:34	12:40	12:46	12:52	12:58	13:04	13:10	13:16	13:22	13:28	13:34	13:40	13:46	13:52	13:58	14:04
TCR01	36,33	35,53	35,87	38,50	39,53	39,40	40,57	40,73	39,73	39,93	41,97	43,03	43,07	43,50	42,70	42,13	42,57	43,57	44,63	44,73	43,70	46,53	45,20	44,47	45,37	42,37	45,83	47,03	46,87	44,53
TCR02	35,87	33,93	34,47	36,70	37,20	37,47	37,90	39,13	37,70	38,47	37,93	40,50	41,20	41,60	40,60	40,33	40,17	42,20	42,70	42,20	41,23	44,33	43,30	41,57	42,37	39,93	43,03	44,63	44,70	42,53
TCR03	34,67	32,67	33,80	36,73	37,37	37,83	36,23	38,60	37,57	37,80	40,63	40,57	41,37	41,23	41,80	40,07	40,30	42,40	43,03	41,73	41,60	45,13	43,07	42,70	43,20	40,83	43,93	45,10	45,00	42,17
TCN01	33,97	32,43	33,23	35,97	35,20	36,60	35,90	37,80	36,70	36,67	39,60	38,77	40,70	40,13	39,77	38,80	39,13	41,83	42,27	40,67	40,97	44,07	42,33	41,20	41,57	39,47	42,70	43,70	43,60	41,73
TCN02	35,83	33,27	34,00	36,80	36,63	37,30	36,20	37,80	37,47	37,30	40,03	39,33	40,67	40,57	39,93	39,27	39,57	41,30	42,47	40,70	41,03	43,63	41,77	40,97	41,40	39,47	42,70	43,80	43,90	42,13
TCN03	37,27	34,30	34,67	38,13	37,23	38,33	37,30	38,70	38,13	38,10	41,37	40,93	42,13	41,83	41,50	40,17	40,20	43,17	43,60	42,23	42,30	43,97	43,30	42,30	42,80	40,53	43,83	44,30	44,53	43,17
TCN04	36,33	32,87	33,47	35,90	35,20	36,47	35,33	37,23	37,43	37,17	39,70	38,93	40,07	39,93	38,30	38,87	37,37	40,83	41,23	40,17	40,33	41,90	40,90	40,13	40,70	39,73	41,97	42,50	42,57	41,63
TCR04	34,83	32,80	33,50	36,03	35,60	36,53	36,37	37,03	37,57	37,63	40,00	39,87	40,93	40,50	40,07	39,20	38,30	41,47	42,00	41,27	41,07	41,93	42,30	40,33	41,63	40,67	45,50	43,63	43,17	42,60
TCR05	38,2	37,10	38,20	41,00	40,43	41,70	42,20	42,13	42,83	43,57	45,53	45,73	45,70	45,40	45,73	44,80	43,60	46,67	47,17	46,53	46,60	47,20	48,17	46,50	46,87	45,83	48,57	48,53	48,37	47,60
TCR06	38,93	37,00	39,30	40,83	41,07	40,93	42,53	42,33	42,00	42,37	44,77	43,97	44,83	44,17	44,93	43,57	44,10	46,27	46,33	44,87	46,13	46,60	47,13	45,87	45,70	45,00	47,30	46,60	47,27	45,50
TCN05	38,03	33,97	35,10	36,20	35,83	37,03	37,67	37,80	37,07	38,37	40,50	39,80	40,70	39,77	40,50	39,20	43,37	42,07	42,67	40,80	41,47	42,87	42,97	41,30	41,27	41,67	42,73	42,50	43,00	42,30
TCN06	35,63	34,50	35,87	38,07	37,77	38,13	37,73	38,10	38,90	40,07	41,40	41,33	41,33	41,00	42,87	41,23	40,70	43,47	44,07	42,73	43,10	43,90	44,00	43,73	43,13	42,97	44,00	44,53	44,67	44,30
TCN07	35,23	34,70	35,17	36,67	37,50	36,83	37,57	37,53	38,13	38,50	40,37	39,40	39,67	39,43	41,30	40,57	40,10	42,40	43,03	41,67	42,23	42,30	43,60	42,40	42,53	42,00	42,73	43,40	43,77	43,33
TCN08	35,03	34,53	36,00	37,20	37,33	36,67	37,67	38,17	39,10	39,10	40,03	39,67	40,17	39,67	41,67	41,23	40,77	42,87	43,60	41,23	42,47	42,53	43,50	43,43	42,70	42,63	44,27	43,87	43,43	43,60

APÊNDICE C

Quadro 39 - Temperaturas medidas - GRUPO 03.

TELHAS	HORÁRIOS																													
	11:10	11:16	11:22	11:28	11:34	11:40	11:46	11:52	11:58	12:04	12:10	12:16	12:22	12:28	12:34	12:40	12:46	12:52	12:58	13:04	13:10	13:16	13:22	13:28	13:34	13:40	13:46	13:52	13:58	14:04
TFC01	30,73	32,17	33,75	35,15	37,15	36,35	36,68	36,80	36,00	37,30	37,95	37,08	38,60	39,25	40,55	41,80	40,25	40,93	39,70	38,93	39,90	40,98	42,95	40,65	41,78	42,60	42,53	42,63	41,63	42,18
TFC02	32,30	32,67	35,60	37,05	39,28	39,85	38,60	38,90	38,98	40,78	41,68	40,43	41,83	43,50	44,53	44,95	45,83	45,08	44,20	44,50	44,20	46,10	46,70	45,88	47,68	46,75	47,73	47,28	46,83	47,00
TFC03	33,30	33,00	34,70	36,88	38,78	38,73	37,23	36,23	38,15	38,90	39,75	39,75	43,00	41,65	42,98	42,98	43,63	42,83	42,25	43,03	42,93	44,00	44,75	42,73	44,23	44,23	44,53	43,98	43,90	44,00
TFC04	31,77	32,17	32,75	34,58	36,20	36,60	35,68	36,65	36,60	37,45	38,08	37,93	39,03	39,30	41,00	40,50	38,90	41,45	40,40	40,85	40,90	41,95	42,00	41,13	43,25	42,40	42,00	42,35	43,28	42,93
TFC05	32,37	32,50	32,60	34,13	35,28	36,25	33,23	35,35	36,55	36,98	37,55	38,73	38,30	39,58	41,58	41,70	41,53	41,03	40,15	41,15	41,55	43,40	42,18	41,25	42,83	43,50	42,75	42,08	41,28	41,13
TFC06	25,50	25,73	25,88	26,50	27,85	27,43	26,63	28,13	27,63	28,23	28,63	28,38	28,80	29,30	30,13	29,40	30,23	29,88	29,38	31,00	29,43	30,45	30,60	30,13	30,83	31,10	31,23	29,93	30,70	31,05
TFC07	23,10	22,50	23,10	23,30	24,68	24,30	23,50	24,30	23,95	24,90	24,50	24,00	24,50	25,10	25,50	24,83	25,88	25,10	25,60	27,13	25,23	25,63	25,50	25,20	26,18	26,45	26,55	25,63	26,53	26,40
TFC08	33,00	32,83	31,80	34,45	35,28	33,80	34,90	36,55	36,50	36,40	37,18	37,10	37,25	37,78	39,63	39,40	40,03	38,93	38,60	40,38	40,50	42,00	39,30	40,93	40,98	41,75	40,45	39,55	40,48	39,68