

AVALIAÇÃO DA REFLETÂNCIA SOLAR EM COBERTURAS NO
CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

ALEXANDRE MAESTRI



Alexandre Maestri

**AVALIAÇÃO DA REFLETÂNCIA SOLAR EM COBERTURAS NO CAMPUS
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa Catarina como
requisito à obtenção do Título de MESTRE
em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Deivis Luis Marinoski

Florianópolis
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

MAESTRI, ALEXANDRE
AVALIAÇÃO DA REFLETÂNCIA SOLAR EM COBERTURAS NO
CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA /
ALEXANDRE MAESTRI ; orientador, DEIVIS LUIS
MARINOSKI, 2017.
212 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. REFLETÂNCIA SOLAR. 3.
PINTURA EM COBERTURAS. 4. ENVELHECIMENTO. 5.
MEDIÇÃO EM CAMPO E LABORATÓRIO. I. MARINOSKI, DEIVIS
LUIS. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III.
Título.

Alexandre Maestri

**AVALIAÇÃO DA REFLETÂNCIA SOLAR EM COBERTURAS NO CAMPUS
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

Dissertação julgada adequada para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Florianópolis, 7 de julho de 2017.

Prof. Dr. Glicério Trichês – Coordenador do PPGEC

Prof. Dr. Deivis Luis Marinoski – Orientador e Moderador

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Roberto Lamberts, PhD – PPEGEC/UFSC

Prof. Dr. Saulo Güths – POSMEC/UFSC

Prof.^a Dra. Rosana Maria Caram – IAU/USP (Videoconferência)

Agradecimentos

Desde as primeiras páginas deste trabalho eu já pensava neste momento, mais comumente quando os pensamentos já não se alinhavam e a vontade de procrastinar aumentava. Seria o ponto final, o ponto de triunfo. Alguns anos depois esse momento chegou, e o que parecia ser certo se mostra o mais desafiador de tudo. Como, numa breve página, tentar incluir todos que participaram deste caminho?

Por isso eu começo pedindo perdão a todos que minha falha memória possa apagar desta página, mas eu dedico este trabalho a seis grandes pessoas. Eu tenho algumas, espero que razoáveis, desculpas, para citar apenas estas seis.

Três delas são meus melhores amigos, minha família e sempre estiveram ao meu lado. Momentos bons ou ruins, pai, mãe e João, vocês sempre serão minha vida. E adaptando uma frase de Lincoln - tudo que eu sou ou desejo ser, eu devo a vocês.

Tenho uma outra pessoa a quem precisaria mais que algumas linhas para agradecer. Tah, este caminho teria sido impossível sem o seu sacrifício, paciência, incentivo, mensagens, cafés e longas noites sem minha presença. Todos os finais de semana perdidos estão nestas próximas páginas e eu sei que, muito antes de mim, você já tinha entendido tudo, e, por isso, serei sempre grato.

As outras duas pessoas que me orientaram nas palavras, ideias e são parte essencial de tudo que está aqui. Lembrarei para sempre que, quando desanimado, entrava naquela sala no terceiro andar do prédio da Engenharia Civil, muitas vezes tremendo com os possíveis puxões de orelha, e saía de lá com palavras de ânimo. Cada reunião foi responsável por algumas linhas deste trabalho e por isso eu agradeço ao Professor Roberto Lamberts e ao Professor Devis Luis Marinowski pelas suas palavras, sábios feedbacks e (infinita paciência)².

Aos meus amigos pelo suporte, risadas, paciência, sandices, incentivos, cervejas, e-mails, conversas.

A todos que estiveram próximos de mim nestes anos, mas especialmente a estas seis pessoas, eu não teria conseguido sem vocês.

MAESTRI, Alexandre. **Avaliação da refletância solar em coberturas no campus da Universidade Federal de Santa Catarina**. 2017. 148p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

Resumo

Estudos demonstram que a pintura de coberturas com tintas de alta refletância gera melhor desempenho térmico e economia de energia elétrica. A Universidade Federal de Santa Catarina vem aplicando esta técnica nas coberturas de suas edificações desde 2013. Este trabalho visa medir e analisar as refletâncias de coberturas de diferentes idades verificando o quanto a superfície se degradou ao longo dos anos de exposição em comparação com outras coberturas recentemente pintadas e com amostras ensaiadas em laboratório. Buscou-se estudar, ainda, os efeitos da nebulosidade, horário de medição e altura do piranômetro nos testes de campo. As medições utilizaram como base os procedimentos técnicos da ASTM E1918 – método de campo – e a ASTM E903 – método de laboratório. A pesquisa foi dividida em quatro etapas – 1) levantamento de dados, 2) comparação de resultados de campo e laboratório, 3) avaliação de envelhecimento e 4) avaliação das condições de medição em campo. As coberturas envelhecidas (>20 anos) apresentaram valores de refletância solar global na ordem de 0,18. O processo de pintura mostrou um maior incremento da refletância na primeira demão, de 0,37 para as amostras de laboratório e 0,20 para o campo. Os testes de campo realizados nas coberturas de 2013 a 2016 apresentaram uma grande dispersão de valores não sendo possível estabelecer uma linearidade de degradação em razão de que se situam em diferentes áreas do campus e apresentaram diferentes características, associado a uma pequena população de estudo. Testes realizados ao longo de um ano (2016 a 2017) para um ponto mostraram um valor da refletância solar próxima a $0,64 \pm 0,04$ para uma cobertura de 2014. Os resultados mostraram, ainda, que, para janeiro, é possível realizar as medições em períodos nublados com erros absolutos inferiores a 0,02. Mostrou-se ainda que a altura de montagem do sensor em ± 15 cm não afeta significativamente os resultados de refletância, e testes prolongando os horários recomendados em norma mostraram erros inferiores a 0,02.

Palavras chave: refletância solar; pintura em coberturas; envelhecimento; medição em campo e laboratório.

MAESTRI, Alexandre. **Solar reflectance evaluation of roofs in Federal University of Santa Catarina**. 2017. 148p. Master Thesis – Civil Engineering Department, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil.

Abstract

Studies have shown that increasing roofs reflection through high reflection painting can improve overall thermal comfort and reduce energy costs. At Federal University of Santa Catarina the process boils down to replace the old fiber cement tiles and paint them with white conventional coatings. Therefore, this work aims in measuring and analyzing the solar reflectance of these tiles with different ages and compare how they have degraded over the years related with recently painted tiles and samples produced with the same white paint and tested in laboratory. In addition, tests were performed to analyze the influence of clouds, extended hours of measurement and the distance between the pyranometer and the surface. Measures will proceed in accordance with the technical specifications of ASTM E1918 – field method – and ASTM E903 – laboratory method. The research was divided in four steps – data survey, field and laboratory comparison, aging evaluation and field conditions errors estimation. Tests performed on aged roofs (> 20 years) has shown a mean solar reflectance of 0.18. The biggest improvement along the roof paint processes occurred in the first paint layer, where a 0.37 improvement was observed in laboratory, and a 0.20 improvement in the field. Results obtained on the field tests for roofs painted from 2013 to 2016 were very scattered and as consequence of the different characteristics and environment, associated with small statistical population, it was inaccurate to stablish a linear degradation of the reflection. Tests had been performed in the course of a year (2016 to 2017) for a single roof point painted in 2014 and the values of reflectance fluctuate around 0.64 ± 0.04 . Further studies have showed that for January it was possible to realize E1918 tests during cloud days with error inferior to 0.02. It was also tested and demonstrated that small changes in the sensor's height (± 15 cm) does not affect the values of solar reflectance, and broaden hour measurements produced error lesser than 0.02.

Keywords: solar reflectance; roof coatings; aging; field and laboratory tests.

Lista de Figuras

<i>Figura 2.1 - Efeito eletromagnético da radiação.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 2.2– Espectro eletromagnético.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 2.3 – Distribuição espectral da radiação solar com influência dos gases atmosféricos.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 2.4 – Variação do coeficiente de massa ar em relação zênite para algumas posições solares.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 2.5– Dependência espectral da absorvidade, refletividade de materiais opacos selecionados.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 2.6 – Coeficiente de absorvidade para algumas substâncias poluidoras.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 2.7– Propriedades radiantes dos materiais de construção civil para ondas curtas e ondas longas</i>	<i>57</i>
<i>Figura 2.8 – Esquema da transferência de calor em superfícies opacas de um modelo de cobertura com ático.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 2.9– Variação da temperatura superficial de duas coberturas ao longo do dia em função da refletância.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 2.10 - Temperatura superficial externa máxima para duas coberturas em função da emissividade.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 2.11– Esquema simplificado de funcionamento de um espectrofotômetro.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 2.12 – Espectro de emissão de uma típica fonte contínua.</i>	<i>66</i>
<i>Figura 2.13 – Espectro de emissão de uma típica fonte linear.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 2.14 - Comparação entre as refletâncias solares de dez amostras comparadas entre a norma E1918 e a variação proposta E1918A.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 2.15 – Valor médio de rugosidade.</i>	<i>75</i>
<i>Figura 2.16 - Absortância corrigida (α_2) e absortância da superfície (α_1) em relação as inter-reflexões.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 2.17 - Absortâncias efetivas.....</i>	<i>78</i>

<i>Figura 3.1– Fluxograma das etapas que serão desenvolvidas no trabalho.</i>	82
<i>Figura 3.2 - Sequência de ensaios das amostras de lona.....</i>	90
<i>Figura 3.3 – Espectrofotômetro LAMBDA 1050.....</i>	91
<i>Figura 3.4– Detalhe de montagem dos dois piranômetros.</i>	98
<i>Figura 3.5– Imagem do piranômetro CMP 21 da Kipp&Zonen e o detalhamento construtivo de um corte.</i>	99
<i>Figura 3.6 – Elevação esquemática do suporte, braço de suporte, contrapeso e piranômetro (Adaptado da norma ASTM E1918, 2016).....</i>	101
<i>Figura 3.7– Vista da bancada montada no solo.</i>	102
<i>Figura 3.8 – Tabela para registro das medições.</i>	103
<i>Figura 4.1 - Mapa atualizado em 2014 do campus da UFSC.....</i>	111
<i>Figura 4.2 - Mapa do campus João David Ferreira Lima – UFSC/Florianópolis – com demarcação em negrito das edificações com coberturas brancas e seus anos de pintura.</i>	113
<i>Figura 4.3 – Mapa do campus universitário (UFSC) com os locais pré-selecionados destacados com um círculo azul.</i>	116
<i>Figura 4.4 - Panorama do local 1 (CCB).</i>	117
<i>Figura 4.5 - Fachada frontal do local 2 - DMPI.</i>	118
<i>Figura 4.6 - Fachada das quatro edificações do local 3 - CCB MIP (centro), cobertura das duas últimas edificações (esquerda) e das duas primeiras (direita).</i>	118
<i>Figura 4.7 - Vista aérea do local 4- prédio antigo do EQA.....</i>	119
<i>Figura 4.8 - Vista aérea do local 5 - novo prédio do EQA.</i>	120
<i>Figura 4.9 - Amostras de telhas metálicas e de fibrocimento utilizadas no ensaio.</i>	121
<i>Figura 4.10 – Refletância solar total de amostras de telhas medidas no espectrofotômetro.....</i>	122

<i>Figura 4.11 - Refletância solar total das amostras de lona testadas em laboratório.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 4.12 - Imagens dos testes com lonas realizado no ponto 1 do local 2 (DMPI).....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 4.13 - Irradiações e refletâncias da cobertura, lona branca e preta para as condições de céu claro e sem nuvens.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 4.14 - Irradiações e refletâncias da cobertura, lona branca e preta para as condições de céu com nuvens esparsas.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 4.15 – Irradiações e refletâncias da cobertura, lona branca e preta para a condição de céu com muitas nuvens.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 4.16 - Irradiações e refletâncias da cobertura, lona branca e preta para as condições de céu nublado sem aberturas.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 4.17 - Comparação das refletâncias médias para as lonas branca e preta e para cobertura em função das condições climáticas.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 4.18 - Planta de cobertura com localização e imagem dos pontos escolhidos – CCB09c.....</i>	<i>131</i>
<i>Figura 4.19 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1 ao 7 em ordem de evolução de pintura para o local 1.....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 4.20 – Imagem do ar-condicionado em frente ao sensor.....</i>	<i>134</i>
<i>Figura 4.21 – Ganho na refletância média em campo através da pintura.....</i>	<i>135</i>
<i>Figura 4.22 - Comparação da refletância solar total das amostras em laboratório e medição em campo.....</i>	<i>136</i>
<i>Figura 4.23 - Planta de cobertura do EQA (Local 4) com localização dos pontos e suas respectivas imagens.....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 4.24 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1, 2 e 3 do EQA.....</i>	<i>139</i>
<i>Figura 4.25 - Panorama do local 1 com planta de cobertura e características dos espaços.....</i>	<i>141</i>

<i>Figura 4.26 – Pontos de medição do CCB09a e CCB09b marcados na planta de cobertura da Figura 4.25 e orientações.....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 4.27 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1, 2 e 3 do CCB09a.</i>	<i>142</i>
<i>Figura 4.28 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1, 2 e 3 do CCB09b.</i>	<i>142</i>
<i>Figura 4.29 – Planta da cobertura das edificações (CCB-MIP) com características das edificações – Local 3.....</i>	<i>144</i>
<i>Figura 4.30 – Pontos ensaiados das quatro edificações e as orientações.</i>	<i>146</i>
<i>Figura 4.31 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1, 2 e 3 do CCB033.</i>	<i>147</i>
<i>Figura 4.32 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1, 2 e 3 do CCB031.</i>	<i>147</i>
<i>Figura 4.33 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1, 2 e 3 do CCB029.</i>	<i>148</i>
<i>Figura 4.34 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1, 2 e 3 do CCB021.</i>	<i>148</i>
<i>Figura 4.35 – Comparação das refletâncias médias dos pontos 1, 2 e 3 das quatro edificações do CCB.....</i>	<i>150</i>
<i>Figura 4.36 – Pontos ensaiados e orientações das duas edificações – Local 1.....</i>	<i>153</i>
<i>Figura 4.37 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1 e 2 do CCB05.....</i>	<i>153</i>
<i>Figura 4.38 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1 e 2 do CCB09c.</i>	<i>154</i>
<i>Figura 4.39 - Fotos do ponto 1 do DMPI (local 2) ao longo do ano de 2016 e início de 2017.</i>	<i>155</i>
<i>Figura 4.40 - Variação anual da refletância para o ponto 1 do DMPI.</i>	<i>156</i>
<i>Figura 4.41 – Imagens dos pontos testados do EQA antigo (Local 4) e novo (Local 5).</i>	<i>158</i>
<i>Figura 4.42 - Irradiações e refletâncias dos pontos estudados para telhas metálicas para EQA antigo (local 4) e novo (Local 5).</i>	<i>159</i>
<i>Figura 4.43 – Imagens dos pontos um e dois para os quatro tipos de céu DMPI (local 2).</i>	<i>161</i>
<i>Figura 4.44 – Irradiações e refletâncias para céu claro – DMPI (local 2).</i>	<i>162</i>

<i>Figura 4.45 – Irradiações e refletâncias para céu com poucas nuvens esparsas – DMPI (local 2).</i>	162
<i>Figura 4.46 – Irradiações e refletâncias para céu com muitas nuvens – DMPI (local 2).</i>	163
<i>Figura 4.47 – Irradiações e refletâncias para céu encoberto – DMPI (local 2).</i>	163
<i>Figura 4.48 - Médias e desvios padrão dos pontos 1, 2 e média da cobertura – DMPI.</i>	165
<i>Figura 4.49 - Fotos com a alturas testadas e a planta de cobertura do local da medição.</i>	166
<i>Figura 4.50 – Irradiações e refletâncias para as cinco alturas do sensor.</i>	168
<i>Figura 4.51 – Imagens do ponto 1, local 2, ao longo dos testes em março e julho.</i>	170
<i>Figura 4.52 – Irradiação incidente, refletida e as refletâncias médias para março.</i>	171
<i>Figura 4.53 - Irradiação incidente, refletida e as refletâncias médias para julho.</i>	171
<i>Figura 4.54 – Média das refletâncias testadas em campo em ordem de idade.</i>	178

Lista de Tabelas

<i>Tabela 2.1 – Faixas do espectro eletromagnético pertencente à radiação térmica.</i>	36
<i>Tabela 2.2 – Descrição dos coeficientes de massa de ar.</i>	40
<i>Tabela 2.3 – Tabela com procedimentos e resultados dos estudos.</i>	50
<i>Tabela 2.4 – Valores de albedo para os espectros de radiação térmica.</i> ...	54
<i>Tabela 3.1 - Procedimentos de preparação e pintura das amostras.</i>	88
<i>Tabela 3.2 - Características do espectrofotômetro Lambda 1050.</i>	90
<i>Tabela 3.3 – Verificação das características técnicas do sensor do piranômetro.</i>	100
<i>Tabela 3.4 – Sensitividade (constante) dos sensores</i>	104
<i>Tabela 4.1 – Cadastramento com as informações pertinentes das edificações da população de estudo.</i>	114
<i>Tabela 4.2 - Dados da edificação do DMPI.</i>	125
<i>Tabela 4.3 - Dados da Edificação do EQA antigo.</i>	138
<i>Tabela 4.4 - Dados das edificações CCB09a e CCB09b.</i>	140
<i>Tabela 4.5 - Dados das edificações do Centro de Ciências Biológicas.</i> ...	145
<i>Tabela 4.6 - Dados das edificações CCB05 e CCB09c.</i>	152
<i>Tabela 4.7 - Dados das edificações do EQA antigo e novo.</i>	158
<i>Tabela 4.8 – Resumo das condições dos dias, médias e desvio padrão dos pontos e média da cobertura.</i>	164
<i>Tabela 4.9 - Comparação da relação das irradiações solares incidentes sobre os piranômetros.</i>	173
<i>Tabela 4.10 - Resumo das refletâncias de acordo com o ano de pintura.</i>	176
<i>Tabela 4.11 - Resumo dos erros máximos encontrados para cada teste.</i> ...	177
<i>Tabela 4.12 - Equivalência das refletâncias obtidas em campo (com FF) para amostras (sem FF).</i>	179

Lista de Abreviações e Símbolos

Abreviações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMS	American Meteorological Society
ASTM	American Society for Testing Materials
BEN	Balanço Energético Nacional
EIA	Energy Information Administration
REUNI	Reestruturação e Expansão das Universidades Federais
SPIUnet	Sistema de Gerenciamento dos Imóveis de Uso Especial da União
SRI	Solar Reflectance Index
USEPA	United States Environmental Protection Agency

Símbolos

I_i	Irradiação global incidente (Wm^{-2})
I_r	Irradiação global refletida (Wm^{-2})
I_{iP960}	Irradiação incidente para o piranômetro P960
I_{iP959}	Irradiação incidente para o piranômetro P959
R_{E1918}	Refletância solar total medida conforme Norma ASTM E1918 (2016) (adimensional)
$R_{g,0}$	Refletância solar global para AM1 (adimensional)
R_{espec}	Refletância medida no espectrofotômetro conforme Norma ASTM E903 (2012) (adimensional)
AM	Coefficiente massa-ar
AM0	Coefficiente massa-ar zero atmosferas
AM1	Coefficiente massa-ar 1 atmosfera (zênite)
Θ_z	Ângulo da posição solar ao zênite
G_λ	Irradiação total ou irradiância a determinado comprimento de onda (Wm^{-2})
$G_{\lambda,ref}$	Irradiação refletida a determinado comprimento de onda (Wm^{-2})
$G_{\lambda,abs}$	Irradiação absorvida a determinado comprimento de onda (Wm^{-2})
$G_{\lambda,trans}$	Irradiação transmitida a determinado comprimento de onda (Wm^{-2})
ρ	Refletância (adimensional)
α	Absortância (adimensional)
FF ₁₂	Fator de forma da superfície 1 em relação ao entorno (superfície 2)

SUMÁRIO

1	Introdução.....	25
1.1	<i>Importância e justificativas.....</i>	25
1.2	<i>Objetivos.....</i>	29
1.2.1	Objetivo Geral.....	29
1.2.2	Objetivos específicos.....	29
1.3	<i>Estrutura do Trabalho.....</i>	30
2	Revisão Bibliográfica.....	33
2.1	<i>Introdução.....</i>	33
2.2	<i>Radiação.....</i>	33
2.3	<i>Radiação solar.....</i>	37
2.3.1	Dispersão da radiação na atmosfera.....	38
2.3.2	Coefficiente de massa de ar.....	39
2.4	<i>Interação entre a radiação e a superfície.....</i>	41
2.4.1	Absortividade e refletividade.....	45
2.4.2	Emitância térmica.....	55
2.4.3	Transmissão de calor em coberturas.....	59
2.5	<i>Medição da refletância.....</i>	64
2.5.1	Método do espectrofotômetro.....	64
2.5.2	Método normatizado para medição da refletância de superfícies opacas.....	68
2.5.3	Uma variação da ASTM E1918.....	70
2.5.4	Influência da forma.....	74
2.6	<i>Síntese do Capítulo.....</i>	78
3	Metodologia.....	81
3.1	<i>Levantamento de dados (Etapa I).....</i>	83
3.1.1	Obtenção de um mapa atualizado da UFSC.....	83

3.1.2	Verificação dos registros de pintura e tipo de tinta utilizados ao longo dos últimos anos.....	84
3.1.3	Obtenção das plantas de cobertura pintadas e aquisição das suas características de acesso e trabalho “in-loco”	85
3.1.4	Estabelecimento de uma população de estudo.....	85
3.2	<i>Comparação de resultados de campo e laboratório (Etapa II)</i>	86
3.2.1	Montagem das amostras de cobertura e de lonas.....	87
3.2.2	Teste das amostras em laboratório.....	89
3.2.3	Teste em campo com as lonas	93
3.2.4	Teste em campo da verificação da refletância em função das demãos	95
3.2.5	Comparação dos testes de laboratório e de campo ...	95
3.3	<i>Avaliação de envelhecimento (ETAPA III)</i>	96
3.3.1	Medição da refletância em campo das coberturas de 2013 a 2016	97
3.4	<i>Avaliação do efeito das condições de medição de campo (ETAPA IV)</i>	107
3.4.1	Teste da influência da nebulosidade nos ensaios....	107
3.4.2	Teste da influência da altura do sensor.....	107
3.4.3	Teste da variação da refletância em razão do horário	108
3.4.4	Teste da uniformidade entre piranômetros	108
4	Resultados	111
4.1	<i>Levantamento de dados (Etapa I)</i>	111
4.1.1	Obtenção de um mapa atualizado da UFSC	111
4.1.2	Verificação dos registros de pintura e tipo de tinta utilizados ao longo dos últimos anos.....	112

4.1.3	Obtenção das plantas de cobertura pintadas e aquisição das suas características de acesso e trabalho “in-loco”	113
4.1.4	Estabelecimento de uma população de estudo	114
4.2	<i>Comparação de resultados de campo e laboratório (Etapa II)</i>	120
4.2.1	Montagem das amostras de cobertura e de lonas ...	120
4.2.2	Teste das amostras em laboratório	122
4.2.3	Teste em campo com as lonas	125
4.2.4	Teste em campo da verificação da refletância em função das demãos	130
4.2.5	Comparação dos testes de laboratório e de Campo	135
4.3	<i>Avaliação de envelhecimento.....</i>	137
4.3.1	Medição da refletância em campo das coberturas de 2013 a 2016	137
4.4	<i>Avaliação do efeito das condições de medição de campo (ETAPA IV)</i>	160
4.4.1	Verificação da influência da nebulosidade nos ensaios	160
4.4.2	Verificação da influência da altura do sensor	166
4.4.3	Teste de horários	169
4.4.4	Teste da uniformidade dos piranômetros	172
4.5	<i>Síntese dos resultados.....</i>	174
5	Conclusões.....	181
5.1	<i>Limitações da pesquisa.....</i>	185
5.2	<i>Sugestões para futuros trabalhos.....</i>	186
6	Referências.....	189

1 INTRODUÇÃO

1.1 IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVAS

O crescimento da população urbana e a densificação das cidades resulta na substituição das áreas naturais por áreas construídas o que altera dramaticamente a paisagem natural e afeta os seus balanços térmicos. Akbari (1992) explica que todas as características rotuladas como urbanas são as que reconhecidamente influenciam no aumento de temperatura do ar em comparação com as áreas rurais através da retenção do calor.

Um trabalho desenvolvido por Akbari, Menon e Rosenfeld (2008) determinou as parcelas alteradas do ambiente urbano e concluiu que as cidades possuem mais de 60% de áreas urbanizadas resultantes das frações de telhados (20-25%) e pavimentos (40%). Estas regiões edificadas possuem permeabilidades superficiais inferiores e absorções que variam de 50% até 95%, acumulando e armazenando calor ao longo do dia (LAMBERTS; WESTPHAL, 2000; SUEHERCKE; PETERSON; SELBY, 2008).

Em razão dessas alterações, estudos em várias partes do mundo vem mostrando um aumento das temperaturas das áreas urbanizadas em relação aos seus entornos menos densificados. Análises realizadas em mais de uma centena de grandes cidades nos Estados Unidos mostraram diferenças na ordem de 0,5 a 3,0°C. Em Atenas, essa diferença atingiu 10°C. (AKBARI; POMERANTZ; TAHA, 2001; SANTAMOURIS et al., 2001).

Outro fator que contribui ao que se denomina “ilhas de calor” são as atividades humanas que apesar de possuir pequena influência global, numa escala urbana, intensificam as alterações da paisagem tornando-se

um fator de mudança climática determinante (BETTS; BEST, 2004; CRUTZEN, 2004).

Segundo Nakicenovic *et al.* (1998), estas atividades produzem um fluxo de energia global total de $0,03 \text{ Wm}^{-2}$ que se concentrado nas cidades, que cobrem uma área estimada de 0,046% da superfície da Terra (LOVELAND *et al.*, 2000), geraria um fluxo de calor médio de 65 Wm^{-2} . Valores diários usuais em Tokyo atingem 400 Wm^{-2} , enquanto no inverno podem chegar 1590 Wm^{-2} (ICHINOSE *et al.*, 1999). A principal consequência deste acúmulo de calor é o aumento da demanda de energia no intuito de amenizar as temperaturas de desconforto. Ashie (2008), realizou um estudo que mostrou que o incremento da demanda de eletricidade é de 1,6 milhões de kW para a elevação de 1°C . Nos Estados Unidos na região de Los Angeles, segundo Rosenfeld *et al.* (1995), o incremento de 1°C , para uma temperatura acima de 18°C , eleva a demanda máxima de energia de refrigeração em 3,0%. Em Atlanta o incremento é de 6%.

A importância desta análise é que nas sociedades em desenvolvimento, onde o poder aquisitivo aumenta, como é o caso do Brasil, o consumo de energia advindo dos sistemas de refrigeração se soma a outros originados da melhora da qualidade de vida, melhor distribuição de serviços e mudanças de padrão culturais, gerando pressões aos sistemas elétricos (LOMBARD; ORTIZ; POUT, 2008).

Segundo relatório da Energy Information Administration - EIA (2014) – principal agência de coleta, análise e estatística de energia dos Estados Unidos - o Brasil teve um incremento no consumo de energia, de 2002 até 2012, de 51 %. Comparativamente os Estado Unidos, Alemanha

e França tiveram crescimentos de consumo de 5,5%, 1,4% e 7,8%. A China, na mesma década, teve seu consumo aumentado em 206%.

A disponibilidade energética é uma condição essencial para o desenvolvimento econômico de um país, e segundo a EIA (2014), apesar do incremento de 2,5% por ano na produção de energias sustentáveis e nuclear, 80% da oferta disponível no mundo ainda se origina de combustíveis fósseis.

No Brasil a situação se inverte - sua matriz elétrica tem participação de fontes renováveis de 79,3%. Contudo nos últimos anos o país tem sentido fortes impactos no seu sistema elétrico devido a sua grande dependência dos recursos hídricos (a geração hidráulica responde por aproximadamente 65% da oferta interna) e as faltas de chuva para repor os reservatórios das hidroelétricas (BEN, 2014).

Diante das altas temperaturas do ar, e com o consumo de energia aumentando gradativamente, as cidades tornam-se as principais contribuidoras nas pressões sobre os sistemas de fornecimento de energia. O Balanço Energético Nacional (BEN, 2014) apresenta uma composição do consumo setorial brasileiro residencial, comercial e público que soma 48,5% da energia elétrica disponível. Nesse montante o setor público participa com 8%.

Essa tendência no crescimento do consumo de energia do setor público pode ser observada quando analisada individualmente. Para a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Campus Trindade, incluindo o Hospital Universitário – por exemplo, de acordo com os dados obtidos nas faturas de energia, houve um aumento de 74%, saltando de 19,4 MWh em 2000 para 30,1 MWh em 2015.

Entre os anos de 2013 e 2015 houve um incremento de aproximadamente 2 MWh no consumo, contudo em razão da diferença do valor em reais do kWh o aumento na conta de luz da Universidade saltou de 10 milhões em 2013 para 18 milhões em 2015.

Este crescimento se deu em razão de uma forte expansão da Universidade através da construção de novas edificações e reformas somando aproximadamente 30.000 m², principalmente após o ano de 2007 quando o Governo Federal implantou o Programa REUNI através do Decreto n° 6.096/07.

No ano de 2012 o LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - incitou junto aos Departamentos de Projeto e de Obras da UFSC, um programa que visava adotar o conceito de superfícies reflexivas nas coberturas das edificações existentes e nas novas com o intuito de reduzir seus consumos de energia.

A implantação desta técnica já vem sendo estudada há alguns anos por diversos autores (AKBARI; et al., 1992; KONOPACKI et al., 1998; KONOPACKI; AKBARI, 2001; CASTRO; et al., 2003; PEREIRA, 2014) e vem sustentando a teoria de que a redução da absorvância das superfícies traz benefícios tanto para as edificações quanto para o ambiente em que estão inseridas.

Para incorporar de forma adequada estas técnicas às construções é necessário que se entenda melhor a maneira como elas reagem aos ambientes que estão inseridas com o passar do tempo. Este estudo contribui para pesquisas acadêmicas e científicas pela sua base de dados, mas acima de tudo ao planejamento e adequação dessa técnica a realidade da UFSC, fornecendo critérios concretos e fundamentos científicos que poderão auxiliar as tomadas de decisão.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O estudo consiste em mensurar e analisar a refletância de coberturas da Universidade Federal de Santa Catarina através do método da norma ASTM E1918 (2016) e verificar a degradação desta propriedade comparativamente entre superfícies novas e amostras ensaiadas em laboratório.

1.2.2 Objetivos específicos

Lista-se e detalha-se os seguintes objetivos específicos na tentativa de obter os resultados supracitados.

- obter os dados e o mapa atualizado da UFSC e construir um cadastro com as características das edificações e das coberturas pintadas;
- acompanhar a evolução da refletância ao longo das demãos de pintura e compará-la com valores de amostras medidas em laboratório;
- medir a refletância de coberturas que nunca sofreram qualquer intervenção ou manutenção (extremamente degradadas);
- medir a refletância de coberturas pintadas com tinta convencional de 2013 a 2016, na UFSC e comparar envelhecimentos e influência dos locais;
- realizar uma comparação entre os valores de refletâncias em coberturas metálicas no intuito de estabelecer uma ordem de grandeza da deterioração;

- verificar a influência da nebulosidade nas medições;
- verificar a influência da altura do sensor (piranômetro) nos resultados de teste de campo;
- testar os limites do intervalo de tempo de medição indicados na norma ASTM E1918;

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho elenca-se em cinco capítulos onde o primeiro, no qual se lê, expõe de maneira objetiva as principais características do tema a ser abordado, faz-se evidência da problematização e propõe os objetivos a serem alcançados com o estudo.

A revisão bibliográfica é parte integral do segundo capítulo e fala das relações de transferência de calor focadas no estudo da irradiação de ondas eletromagnéticas em superfícies opacas, de onde se extrai os conceitos de refletância solar e emitância térmica. Explica-se os procedimentos de medição adotados de acordo com as normas utilizadas, analisando-se paralelamente os artigos sobre os temas revisados.

O terceiro capítulo descreve o método utilizado para atingir os objetivos assim como apresenta a descrição dos materiais utilizados na pesquisa, a montagem e instalação dos equipamentos ordenando-os em duas etapas: uma de coleta de dados e outra de medições de campo e laboratório.

Os resultados dos ensaios alcançados nesta pesquisa serão expostos no quarto capítulo na mesma ordem em que foram tratados no capítulo terceiro.

E por último é apresentada a conclusão do que foi desenvolvido nesta dissertação de mestrado partindo dos resultados adquiridos. Incluiu-se neste último capítulo sugestões para que, continuamente, se mantenham as análises e se aprofundem os resultados através novas pesquisas.



2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica dos tópicos e objetos abordados nesta dissertação tratando inicialmente da radiação solar e os efeitos da atmosfera na transição da energia até a superfície.

Em seguida introduz-se as características óticas de superfícies opacas e como elas interagem com a luz para por último abordar os métodos normatizados e pesquisas que sustentam a técnica utilizada na metodologia.

2.2 RADIAÇÃO

Todo corpo com temperatura absoluta não nula emite radiação térmica. A temperatura é medida pelo grau de agitação molecular das substâncias e estas oscilações e transições dos elétrons que constituem a matéria estão relacionadas ao mecanismo o qual se dá esta emissão (INCROPERA et al., 2011).

Segundo Incropera et al. (2011), a radiação em corpos sólidos pode ser entendida como um fenômeno superficial. Isto porque as ondas eletromagnéticas se originam nas moléculas localizadas na superfície (até 1 μm). Contudo como a agitação molecular superficial é sustentada pela temperatura interna da matéria, também é possível associar a emissão de radiação às condições térmicas do interior do material.

As ondas eletromagnéticas são distúrbios periódicos e perpendiculares entre si nos campos elétricos e magnéticos (Figura 2.1) e podem ser descritas por três parâmetros relacionados pela equação 2.1:

$$\lambda = c/\nu \quad \text{[Equação 2.1]}$$

onde o comprimento de onda (λ) é inversamente proporcional à frequência (ν).

As frequências são medidas em Hertz (Hz), ou ciclos por segundo, e quando ordenadas pelo seu comprimento de onda formam o que se denomina de espectro eletromagnético (AMS, 2015).

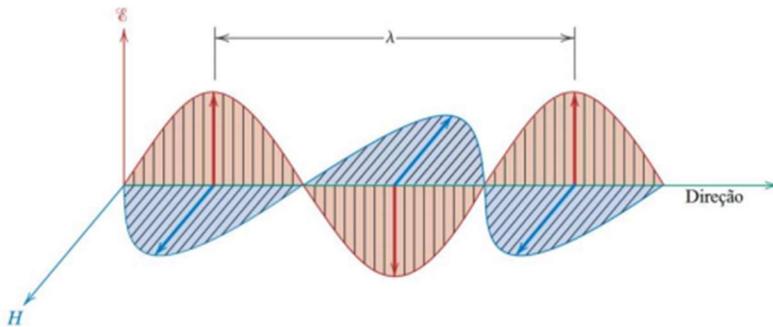


Figura 2.1 - Efeito eletromagnético da radiação.
(Fonte: adaptado de Callister, 2007)

O espectro eletromagnético é dividido, usualmente, em 7 regiões ou bandas espectrais - raios gama, raios x, radiação ultravioleta, luz visível, infravermelho, micro-ondas, ondas de rádio - conforme pode ser observado na Figura 2.2.

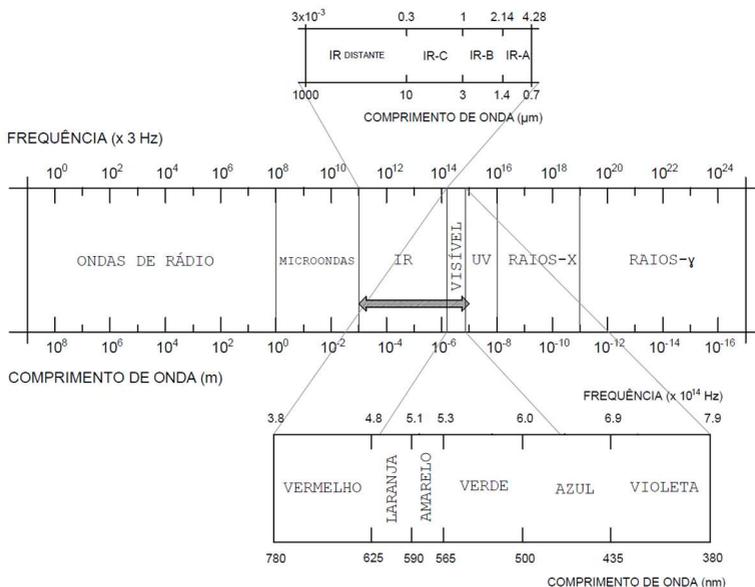


Figura 2.2– Espectro eletromagnético.
(Fonte: Adaptado de Modest, 2003)

A parte relevante a este trabalho é o trecho demarcado pela seta hachurada na Figura 2.2 que corresponde ao que é chamado de radiação térmica ou espectro solar por ser capaz de alterar o estado térmico da matéria (INCROPERA et al., 2011). Essa porção inclui parte do ultravioleta, o infravermelho e o que se denomina de luz visível – parcela capaz de sensibilizar as células do olho – e é detalhada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Faixas do espectro eletromagnético pertencente à radiação térmica.

(Fonte: Adaptado de Steffen et al., 1996)

Bandas Espectrais	Subdivisão	Comprimento de onda (μm)		
		Mínimo	Máximo	
Ultravioleta (UV)	distante	0,10	0,20	} Espectro Solar
	médio	0,20	0,30	
	próximo	0,30	0,38	
Luz Visível	Violeta	0,39	0,45	
	Azul	0,45	0,50	
	Verde	0,50	0,56	
	Amarelo	0,56	0,60	
	Laranja	0,60	0,63	
Infravermelho (IV)	Vermelho	0,63	0,76	
	próximo	0,77	3,00	
	médio	3,00	6,00	
	distante	6,00	1000	

Prado e Ferreira (2005) explicam que 89% da radiação que chega a Terra está compreendida nos espectros visível e infravermelho. Para a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, na sigla em inglês) 5% da radiação térmica situa-se na parte ultravioleta; 43% é luz visível e a maior parcela 52% é infravermelho (USEPA, 2011).

Outra característica da emissão eletromagnética é a sua (INCROPERA et al., 2011):

- distribuição espectral - que trata da magnitude da radiação em relação ao comprimento de onda, propriedade que define o termo espectral, e está intimamente ligada a natureza e a temperatura da superfície; e
- sua natureza direcional - consideração do fato de que uma superfície pode emitir preferencialmente em determinadas direções

Entretanto, ambas as características, segundo Pereira (2014), são devidamente simplificadas para os estudos de engenharia representando médias direcionais e geralmente integradas ao longo dos comprimentos de onda que interessam a análise. Segundo Balaras e Argiriou (2002) para as temperaturas comumente encontradas nos ambientes construídos a maior parte do poder emissivo encerra-se na porção infravermelha do espectro.

2.3 RADIAÇÃO SOLAR

A principal fonte de energia do planeta é o sol e sua energia chega a parte externa da atmosfera através de radiação eletromagnética em forma de ondas curtas. A quantidade e a natureza espectral desta radiação são função da temperatura de emissão do corpo solar (5800K).

O fluxo de energia proveniente do sol que é recebido pela Terra é chamado de constante solar. A ASTM E490 (2006) determina constante solar como a irradiação que incide normalmente numa superfície no espaço situada a meia distância da Terra ao sol e define seu valor em $1366,1 \text{ W/m}^2$.

Gueymard (2004) explica que após algumas décadas de medição foi possível concluir que a constante solar foi mal denominada em razão de que a irradiação solar varia com o tempo, embora muito pouco. Atualmente se utiliza o termo irradiação solar total (TSI, sigla em inglês) deixando constante solar para as médias históricas de TSI.

2.3.1 Dispersão da radiação na atmosfera

A energia solar, ao atravessar atmosfera, sofre influência dos gases que a compõe. Parte dela é absorvida e parte é dissipada (KOENIGSBERGUER et al., 1977; INCROPERA et al., 2011). Liou (2002) explica que a dispersão é um processo fundamental associado à luz e ocorre em todos os comprimentos de onda que constituem o espectro solar.

A Figura 2.3 apresenta o espectro solar padrão extraterrestre e na Terra, baseado em dados definidos na *American Society for Testing Materials* (ASTM). O efeito da absorção pelos gases atmosféricos O₃ (ozônio), H₂O, O₂ e CO₂ está ilustrado e pode ser observado pelas áreas hachuradas encontrados na curva.

Segundo Hoyt e Schaten (1997) menos de 0,2% da energia solar é recebida nos comprimentos de onda menores que 250 nm e maiores que 6000 nm. O pico de distribuição da irradiância começa aos 465 nm.

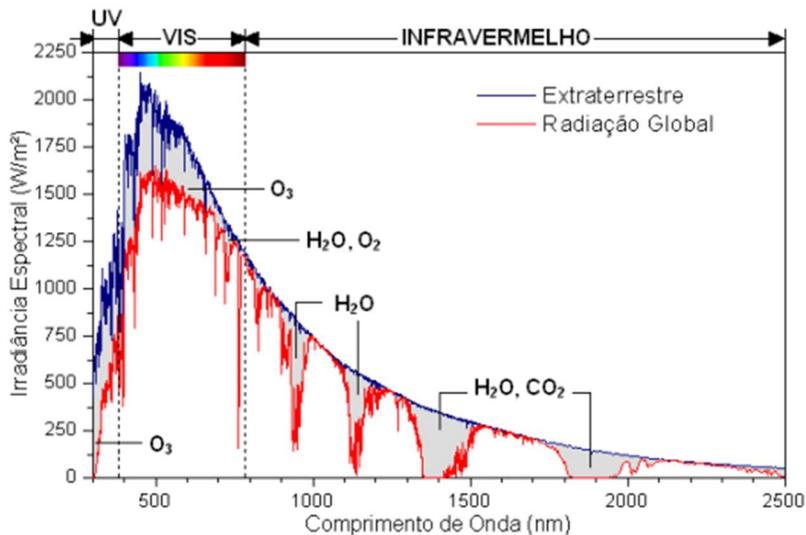


Figura 2.3 – Distribuição espectral da radiação solar com influência dos gases atmosféricos.

(Fonte: DORNELLES, 2008)

2.3.2 Coeficiente de massa de ar

O coeficiente de massa de ar (AM) é a razão entre a quantidade de massa de ar a qual a luz deve percorrer ao entrar na atmosfera e a massa de ar no zênite. Quando a luz atinge a camada externa da atmosfera diz que o coeficiente é zero ($AM0$), ou seja, zero atmosferas.

O coeficiente de massa de ar é considerado 1 ($AM1$) quando o sol está no zênite e $AM2$ quando o ângulo da posição solar ao zênite, θ_z igual a 60° . Duffie e Beckman (2013) explicam que no nível do mar, em ângulos que variam de 0 a 70° pode-se obter o coeficiente pela equação 8:

$$AM = \frac{1}{\cos \theta_z} = \sec \theta_z \quad [\text{Equação 2.3}]$$

A Figura 2.4 mostra a variação do coeficiente AM para diversas posições solares e a Tabela 2.2 apresenta uma breve descrição de cada coeficiente.

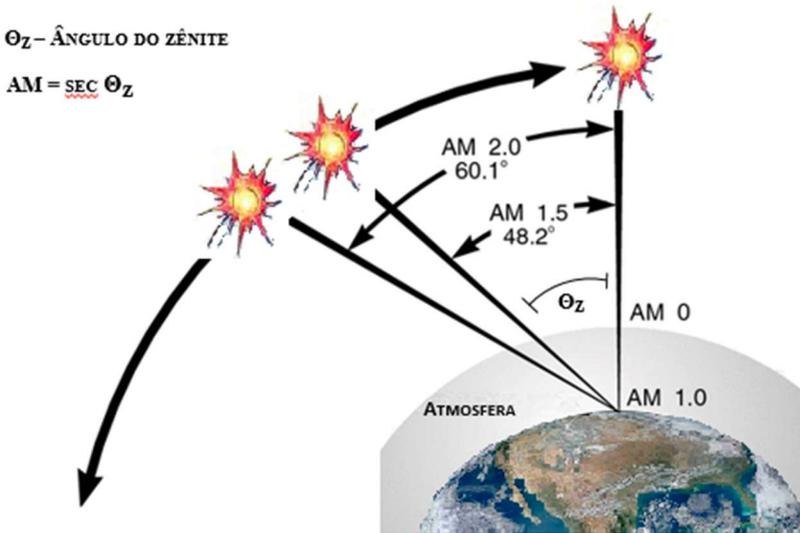


Figura 2.4 – Variação do coeficiente de massa ar em relação zênite para algumas posições solares.

Tabela 2.2 – Descrição dos coeficientes de massa de ar.

Coefficiente Massa Ar	Descrição
AM0	Espectro no topo da atmosfera.
AM1	Espectro no nível do mar a zênite
AM1.5	Corresponde a um ângulo solar zênite de aproximadamente 48°. Representa o espectro solar médio ASTM G173-03
AM2 e AM3	AM2 (60°) e AM3 (70°)
AM38	Coefficiente de ar na direção horizontal (90°)

A absorção e o espalhamento que a luz sofre ao passar pela atmosfera afetam o seu espectro e a sua intensidade. Levinson et al. (2010a) explicam que adotar um modelo de coeficiente AM inadequado

para as medições das refletâncias de coberturas pode gerar erros consideráveis numa simulação energética.

Os autores encontraram erros de 23% na economia de energia de edificações com telhados frios quando expostos ao espectro padrão baseado na ASTM E891. O motivo, segundo Levinson et al. (2010a), é que esta norma possui uma concentração espectral do infravermelho próximo muito superior ao espectro normal.

Dessa forma o melhor modelo, segundo Levinson et al. (2010a) para previsão de refletâncias solares, com erros relativos inferiores a 3%, é a massa de ar 1 horizontal global para dias claros (*AM1GH*). Os autores afirmam que o modelo deve servir adequadamente entre 49°S e 49°N.

Por exemplo, as medições obtidas utilizando-se um piranômetro pelo método da ASTM E1918-2016 obteve precisões de 0,01 para inclinações até 23° e 0,02 para superfícies com inclinação até 45°, desde que os raios solares incidam normalmente na superfície. Levinson et al. (2010a) explicam que estes pequenos erros se originam da variação espectral e angular da refletância solar ao atingir o sensor do equipamento.

Já um espectrofotômetro obteve valores de 0,006 integrando através de *AM1GH* e mensurados através da ASTM E903 (2012).

2.4 INTERAÇÃO ENTRE A RADIAÇÃO E A SUPERFÍCIE

O clima da Terra é determinado pela energia solar e pelas propriedades de sua atmosfera, nomeadamente a reflexão, absorção, transmissão e emissão de energia na atmosfera e na sua superfície. (SOLOMON et al., 2007). É o que Touloukian e DeWitt (1972) chamam de propriedades primárias da radiação térmica.

As interações da radiação eletromagnética com uma superfície determinam se a superfície será transparente, translúcida ou opaca. Nas duas primeiras classificações a radiação consegue transpor o meio material sem ou com pouca atenuação respectivamente. Se a atenuação é completa, ou seja, nenhuma radiação incidente reemerge a superfície é dita opaca (MODEST, 2003).

Portanto, qualquer radiação incidente sobre uma superfície resulta em três situações complementares - ela é refletida, absorvida ou transmitida. Deve-se adicionar ainda uma quarta característica já abordada anteriormente de que uma superfície ainda emite radiação a uma determinada taxa.

Todas as quatro propriedades são função da temperatura e do comprimento de onda. Assim, pode-se especificá-las em espectrais e totais – utilizando um valor médio ao longo do espectro; e direcionais e hemisféricas – com um valor médio ao longo de todas as direções (MODEST, 2003).

A Equação 2.5 mostra que a irradiação total deve ser igual as parcelas refletida, absorvida e transmitida para um mesmo comprimento de onda.

$$G_{\lambda} = G_{\lambda,ref} + G_{\lambda,abs} + G_{\lambda,trans} \quad \text{[Equação 2.5]}$$

Onde:

G_{λ} – irradiação total ou irradiância (Wm^{-2});

$G_{\lambda,ref}$ - irradiação refletida a determinado comprimento de onda (Wm^{-2});

$G_{\lambda,abs}$ - irradiação absorvida a determinado comprimento de onda (Wm^{-2});

$G_{\lambda,trans}$ - irradiação transmitida a determinado comprimento de onda (W/m^2).

Entretanto para os casos que serão analisados neste trabalho pode-se, fundamentado no que diz Pereira (2014), Santos (2013) e Incropera et al. (2011), excluir a parcela transmitida em virtude de que as superfícies tratadas serão opacas, simplificando e transformando o problema num fenômeno de superfície conforme mostrado pela Equação 2.6.

$$G_{\lambda} = G_{\lambda,ref} + G_{\lambda,abs} \quad [\text{Equação 2.6}]$$

A literatura (MODEST, 2003; LAMBERTS et al. 2014; ABNT, 2005), apresenta estes valores relativos ao total de radiação incidente de forma que as propriedades sejam representadas adimensionalmente e variando de 0 a 1. Assim, dessa forma, a Equação 2.8a e a Equação 2.8b apresentam as relações das parcelas refletidas e absorvidas. Uma superfície negra que absorve toda a radiação possui um valor igual 1.

$$\text{Refletância} = \rho = \frac{\text{radiação refletida}}{\text{radiação incidente total}} \quad [\text{Equação 2.8a}]$$

$$\text{Absortância} = \alpha = \frac{\text{radiação absorvida}}{\text{radiação incidente total}} \quad [\text{Equação 2.8b}]$$

Como toda a radiação incidente num corpo opaco deve ser ou refletida ou absorvida é possível relacioná-las conforme a Equação 2.9:

$$\rho + \alpha = 1 \quad [\text{Equação 2.9}]$$

Todas as superfícies emitem radiação térmica aleatoriamente em todas as direções a uma determinada taxa dependente da temperatura e propriedades do material. Esta taxa é sempre inferior a de um corpo negro na mesma temperatura e dessa forma é possível equacionar a emissividade (ε) conforme a Equação 2.10:

$$\varepsilon = \frac{\textit{energia emitida pela superficie}}{\textit{energia emitida corpo negro na mesma temperatura}} \quad [\textit{Equação 2.10}]$$

Insta levantar brevemente o assunto das nomenclaturas relacionadas as propriedades das superfícies opacas. A ASTM E284-13b (ASTM, 2013) prefere adotar a terminação “ância” para as propriedades de uma amostra e “idade” para as propriedades do material que compõe a amostra, ou seja a substância que forma o material. Perin (2009) e Roriz et al. (2012) referem-se ao assunto de maneira consistente com as denominações normativas.

O Instituto Nacional de Normas e Tecnologia (NIST, na sigla em inglês) recomenda a utilização do sufixo “idade” para os materiais puros, perfeitamente polidos (características intrínsecas do material), e o sufixo “ância” para superfícies ásperas e contaminadas – superfícies reais usualmente encontradas em amostras (MODEST, 2003).

Portanto este trabalho adotará as terminações seguindo as orientações acima apresentadas. Entretanto deve-se levar em consideração que na literatura não existe um significado bem definido para as terminações e alguns autores podem adotá-las conforme critérios pessoais.

Incropera et al. (2011) explicam que a determinação desses componentes é complexa e depende das condições de superfície,

comprimento de onda, composição e espessura do meio além de que as condições podem ser alteradas por efeitos volumétricos do meio.

2.4.1 Absortividade e refletividade

Quando a radiação incide sobre a superfície e atinge os elétrons superficiais ocorre uma excitação (ressonância) transformando a energia absorvida em energia de vibração. As interações com os átomos vizinhos convertem a energia de vibração em energia térmica.

Para que isto ocorra os elétrons devem estar fortemente conectados ao seu núcleo de maneira que consigam transferir a vibração sem se desprenderem. A reflexão (e a transmissão) ocorrem quando as frequências não ressonam. Os elétrons são excitados e oscilam devido a interferência eletromagnética da luz, gerando alterações em seus estados e reemitem luz para o meio.

O que importa a este trabalho é a parte macroscópica deste processo e pelas explicações apresentadas logo se percebe que uma superfície não absorve nem reflete integralmente os raios incidentes.

Conforme explicado a refletância pode ser definida como o quociente da taxa de radiação solar refletida pela taxa de radiação solar incidente numa superfície. De maneira tal que a absortância é o complemento deste quociente sendo definido como a fração de radiação solar absorvida (ABNT, 2005a; ASHRAE, 2001).

A NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) adota os valores de absortância e refletância com base nas cores dos materiais, contudo deve-se entender que esta referência à cor vem de uma simplificação do entendimento do termo ótico que estaria relacionado unicamente a parte visível do espectro eletromagnético (TANNER, 2013).

Ainda que a absorção e a reflexão sejam responsáveis pela percepção de cor, Incropera et al. (2011) explica que se deve ter cuidado ao interpretar esses efeitos visuais de maneira que nem sempre a cor, por estar restrita somente a uma pequena parcela do espectro, é um representante fiel das propriedades óticas.

Esta teoria é a fundamentação física do que Dornelles e Roriz (2007) utilizaram para avaliar as refletividades de diversas amostras que apresentavam a mesma coloração, mas com diferentes composições químicas. O estudo consistiu em medir através de um espectrofotômetro as absortâncias solares das amostras pintadas com a mesma cor, mais acabamentos (fosco e semibrilho) e bases diferentes (acrílica ou PVA).

Conforme o esperado os dados analisados demonstram que as cores não fornecem uma característica confiável para gerar uma classificação acertada.

Amostras que provocaram sensações semelhantes de “claridade” podem apresentar diferenças significativas entre suas absortâncias totais. Por outro lado, algumas amostras com cores distintas apresentam absortâncias solares praticamente iguais, confirmando que absortâncias e refletâncias não dependem de cores (Dornelles e Roriz, 2007).

Castro et al. (2003) avaliaram experimentalmente valores de refletância expostas às radiações de onda curta para amostras de argamassa de cimento com 25 mm x 25 mm acabadas com massa corrida e pintada com três demãos de tinta. O ensaio foi realizado com 22 cores e o resultado mostrou que na região do ultravioleta todas as 22 amostras apresentaram baixos quocientes de reflexão, entre 4% a 8%; na região visível do espectro as cores mais claras apresentaram maiores refletâncias

- o branco atingiu 88%, e as cores mais escuras, como o preto (4%), os menores valores.

Já no infravermelho, como era exemplificado pela literatura apresentada, observou-se que as cores não são representantes fiéis da refletância. Das cores testadas o azul bali e vermelho cardinal apresentaram diferenças absolutas de aproximadamente 35%, refletindo uma parcela muito superior nesta região do espectro.

Ikematsu (2007) comparou tintas reflexivas com tintas comuns e constatou que, independentemente da cor, aquelas apresentavam valores superiores de refletância na região infravermelha do espectro, resultando em temperaturas superficiais inferiores.

Dessa forma, portanto, conclui-se que a escolha de uma superfície ou um acabamento exclusivamente pela sua cor não é o suficiente para justificar seu valor de refletância. Pereira (2014) adiciona que as refletâncias das superfícies são melhor representadas através de um gráfico ao longo do espectro, entretanto justifica que o mais indicado, mesmo diante de bibliografias técnicas que apresentam valores para materiais e cores, é a realização de uma análise espectral com o acabamento desejado.

A Figura 2.5 expõe um gráfico relacionando absortividade, refletividade e comprimento de onda para diversos materiais. Pode-se observar que superfícies brancas possuem boa refletividade na parte visível do espectro (0,39 μm a 0,79 μm), mas, refletividades baixas na parte infravermelha de maneira que sua utilização deve levar em consideração como se comporta a irradiação incidente. Segundo a interpretação deste gráfico, o uso de superfícies brancas é uma boa

solução quando objetivo é o de melhorar as condições térmicas dos ambientes construídos.

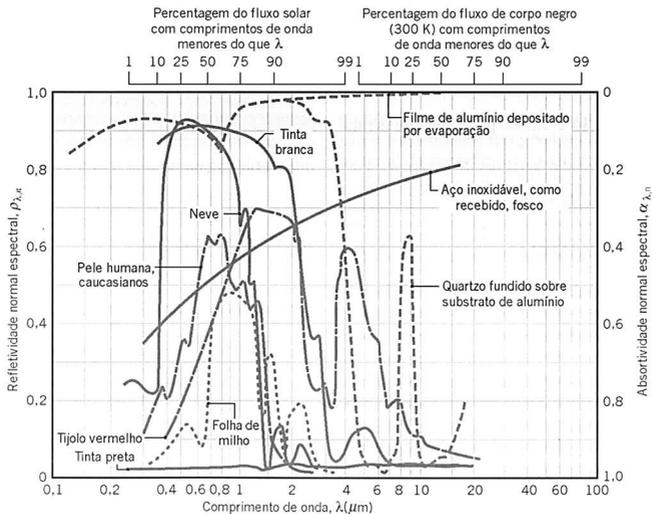


Figura 2.5– Dependência espectral da absortividade, refletividade de materiais opacos selecionados.
(Fonte: INCROPERA et al., 2011)

De fato, diversos autores já trataram da importância da reflexão quando o fechamento tem pouca inércia térmica. Lamberts (1988) estudou quatro melhoramentos típicos na performance térmica de coberturas – pintura da cobertura de branco, ventilação do ático, isolamento térmico e uso de um material com baixa emissividade - e concluiu que o uso de tintas brancas na superfície externa reduziu o fluxo de calor em 57% sendo o segundo melhor melhoramento após a barreira radiante. Contudo o pesquisador já alertava para a necessidade de manutenção da pintura.

Akbari (2003) conclui que a adoção de um telhado reflexivo poderia gerar economias significativas e a baixo custo quando aplicadas desde o início do projeto. Santamouris et al. (2007) investigaram a

aplicação de acabamentos “frios” objetivando o melhoramento das condições de conforto para edificações de baixo custo em áreas quentes do planeta e os resultados mostraram um grande potencial para melhorar as condições de conforto interno.

Dornelles et al. (2011) verificaram o desempenho de tintas brancas com microesferas cerâmicas para o uso e coberturas em regiões de clima quente e seco e concluíram que a redução da absorvância obtida é um modo eficiente para reduzir o desconforto térmico e o consumo de energia com sistemas de refrigeração. Sato et al. (2013) analisaram o desempenho térmico de tintas “frias” a base de resina de estireno acrílica e pigmentos frios e as compararam com tintas convencionais com pigmentação equivalente encontradas no mercado. Foi demonstrado que a incorporação de pigmentos “frios” em formulações convencionais melhora a refletância solar dos cobrimentos.

Pereira (2014) realizou inúmeras simulações que demonstraram o impacto positivo que elevadas refletâncias solares geraram para quase todo o território brasileiro. Dessa forma pode-se observar que a utilização de superfícies com altos índices de reflexão para climas quentes vem sendo indicada por cientistas e pesquisadores de forma concordante e uniforme. Sua adoção em edificações públicas, contudo, ainda é incipiente e dependente de grande esforço, seja pelo desconhecimento de quem projeta ou pela opção de manter antigos padrões construtivos, utilizando a desculpa de “que sempre se fez assim”.

2.4.1.1 Envelhecimento

Contudo deve-se considerar um problema que diz respeito ao envelhecimento e conseqüentemente a manutenção destas tintas. Com o passar do tempo existe uma degradação natural da cor que precisa ser

corrigida para que as condições originais de projetos permaneçam inalteradas.

Levinson et al. (2005a) estudaram a degradação de amostras retiradas de telhados com altas refletâncias em diversas localidades dos Estados Unidos. As coberturas apresentavam deposição de fuligem, pó e microrganismos e foram testados procedimentos de limpeza, enxágue, lavagem e uso de alvejante sequencialmente ordenados na tabela e identificados pela letra “n”. A Tabela 2.3 mostra um resumo dos procedimentos, as respectivas técnicas de laboratório utilizadas e os mecanismos naturais que se tentou simular.

Tabela 2.3 – Tabela com procedimentos e resultados dos estudos.
(Adaptado de: LEVINSON et al., 2005a)

Ordem (n)	Procedimento	Técnica de Laboratório	Mecanismo Simulado	Refletância calculada R_n/R_0 [abs]
5	Coleta	Coleta da amostra natural	Estado Sujo	0,41 a 0,89
4	Limpeza	Limpeza com pano seco	Vento; varredura	0,53 a 0,95
3	Enxágue	Enxágue com água corrente; secagem natural	Chuva	0,74 a 0,98
2	Lavagem	Esfregação com detergente e água; secagem natural	Lavagem com detergente	0,79 a 1,0
1	Alvejante	Esfregação com produto removedor de algas (solução de hipoclorito e hidróxido de sódio) e água; secagem natural	Lavagem com removedor de algas	0,94 a 1,02

A coluna “reflexão obtida” (R_n/R_0) é o que os autores denominam fator de limpeza e é obtida pela refletância solar após cada procedimento “n” em relação a refletância solar limpa (após todos os procedimentos – R_0). Onde “n” é o estado após a limpeza na ordem apresentada na primeira coluna e o subscrito “0” é o estado limpo da superfície, após a execução ordenada de todos os procedimentos.

As técnicas foram aplicadas sequencialmente e pode-se observar uma melhora considerável na relação da reflexão após cada procedimento de limpeza. Entretanto, segundo o pesquisador, os valores são melhor observados quando se analisa a redução da absorção dos modelos sujos. Segundo os dados Levinson et al. (2005a) os ganhos pela absorção solar das amostras sujas atingiram valores de 1,4 a 3,5 vezes em relação as amostras após todos os procedimentos de limpeza.

Wilkes et al. (2000) verificaram que oito coberturas de baixa inclinação com substrato pintado com tinta látex branca tiveram suas refletâncias reduzidas de 0,86 para 0,56 em dois anos de exposição. Com três anos e meio de exposição, no mesmo local, coberturas com baixa inclinação em membrana de PVC tiveram redução de 0,86 para 0,49, enquanto que as de metal, com acabamento em PVDF, reduziram de 0,64 para 0,62. Segundo os estudos é possível afirmar que a refletância tem uma redução muito forte nos dois primeiros anos de exposição e tendem a se estabilizar após este período. Bretz e Akbari (1997) explicam que o valor reduz aproximadamente 15% no primeiro ano.

A Figura 2.6, segundo Levinson et al. (2005a), mostra a absorvidade de diversos agentes poluidores coletado por vários autores nos respectivos trabalhos. Fuligem de propano (LINDBERG et al., 1993); pintura pigmentada (3%) com hematita (óxido de ferro vermelho) (LEVINSON et al., 2005b); três amostras com carbono orgânico: (a) aerossóis como exaustão de veículos e queimadas, (b) matéria orgânica dissolvida (MOD) em água salina (KIRCHSTETTER; NOVAKOV, 2004), (c) papel Kraft representando folhas mortas segundo metodologia de Levinson et al. (2005c).

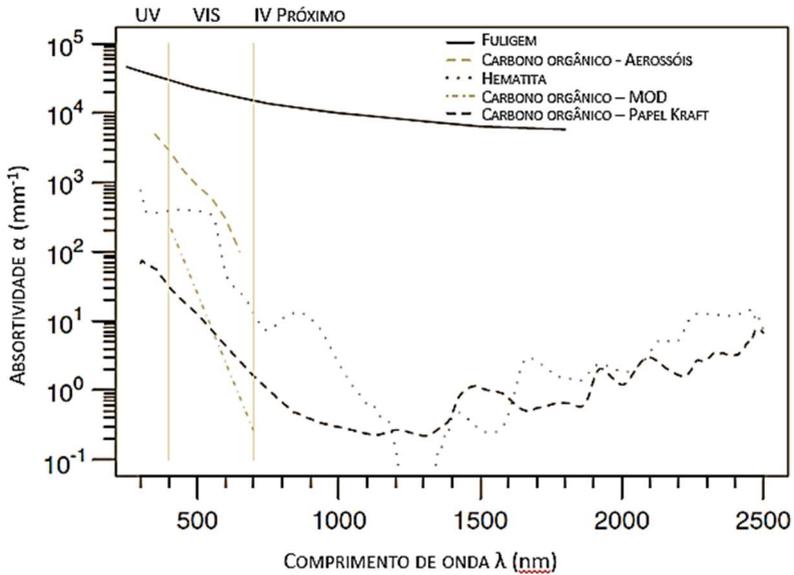


Figura 2.6 – Coeficiente de absorvidade para algumas substâncias poluidoras.
(Fonte: adaptado de Levinson et al., 2005)

Os trabalhos mostram que a refletância da cobertura se degrada com o tempo e que a única forma de se garantir as condições de projeto é a limpeza frequente. A Conselho de Classificação de Coberturas Frias (CRRC, sigla em inglês) é responsável por avaliar e estabelecer os parâmetros e requerimentos de refletância e emitância térmica (propriedades radiativas) dos materiais de cobertura. Em 2016 foi sugerida uma equação (2.11) para estimar a redução da refletância devido ao envelhecimento e deterioração da superfície quando esta não foi testada conforme estabelece a norma e não possui um valor de referência envelhecido:

$$\rho_{\text{envelhecida}} = \rho_0 + \beta(\rho_{\text{inicial}} - \rho_0) \quad [\text{Equação 2.11}]$$

Onde, $\rho_0 = 0,20$ e $\beta = 0,65$ para pintura realizada em campo.

Estas constantes, estabelecidas através de observações, consideram uma redução de 35% (0,65) na diferença da refletância inicial e o valor padrão adotado de 0,20 (ρ_0). O valor de $\rho_{envelhecida}$ representa a refletância solar de uma cobertura envelhecida quando o material não é testado nos requerimentos do código de obras da Califórnia (TITLE 24).

Baseado nesses estudos, o código de obras da Califórnia (TITLE 24) considera uma cobertura degradada quando a refletância obtida fica abaixo de 0,63 para baixas inclinações. A ASHRAE Standard 90.1 (ASHRAE, 2001a) atribui créditos para cobertura frias com refletância mínima de 0,70.

2.4.1.2 Albedo

A medida da refletância de uma superfície é denominada albedo. O termo, segundo Coakley (2002), vem do latim significando brancura e é o coeficiente da irradiação solar refletida sobre a incidente (MONTEITH, 1959). O albedo assim como a refletância solar é medido numa escala de 0 a 1 e refere-se a refletância hemisférica da radiação integrada no espectro solar incluindo a reflexão especular e a difusa.

Akbari (1992) explica que regiões tropicais e subtropicais, como Grécia e norte da África, utilizam superfícies brancas em construções há séculos com o intuito de aumentar o albedo de maneira a reduzir a temperaturas superficiais.

No Brasil, Prado e Ferreira (2005) avaliaram o albedo dos materiais mais utilizados na construção civil no país. Segundo os autores

o objetivo era medir as características espectrais no UV, VIS e IV das telhas. A Tabela 2.4 mostra uma parte destes itens mais comumente utilizadas em coberturas.

Tabela 2.4 – Valores de albedo para os espectros de radiação térmica.
(Fonte: adaptado de PRADO; FERREIRA, 2005).

Material	Espectro				Albedo Env.	Emitância	Temp. Sup. (°C)
	UV	Visível	IV	Total			
Cerâmica Vermelha	9,10	33,10	78,90	67,70	0,53	0,9	36,8
Cerâmica Branca	11,50	53,10	74,50	68,00	0,54	0,9	36,2
Fibrocimento	25,00	36,08	40,87	39,35	0,34	0,9	47,1
Alumínio s/ cobrimento	73,40	72,53	73,74	73,19	0,57	0,05	69,4
Cimento Colorido							
Cinza Escuro	13,63	16,61	12,42	13,23	0,15	0,9	50,8
Cinza Claro	22,78	32,20	33,42	32,76	0,29	0,9	49,8

A análise separada destas três parcelas permite verificar a refletância focando nas parcelas visível e infravermelha que representam de 89% a 95% da radiação térmica conforme anteriormente citado (Subcapítulo 2.2), assim como avaliar a forma com que superfície irá se deteriorar ao longo dos anos pela parcela UV (PRADO; FERREIRA, 2005). Prado e Ferreira (2005) explicam que um baixo valor de refletância na parcela ultravioleta indica que o material é mais suscetível a degradação pela alteração da estrutura atômica do material resultando em descolorações e degradações.

Cores mais claras normalmente apresentam maior refletância na região visível e infravermelha do espectro, contudo os autores apontam que nem sempre uma baixa refletância na faixa visível representará um

baixo albedo, haja vista que, da radiação solar que atinge a superfície terrestre, 43% está situada na faixa infravermelha e 46% na faixa visível. Isso pode ser observado na cerâmica vermelha que apresentou uma refletância de 33,10% na faixa visível, mas 78,90 na faixa do infravermelho, resultando num albedo praticamente igual ao da cerâmica branca.

Pode-se observar que em todas as regiões do espectro o alumínio apresentou maior índice de reflexão. Entretanto pelo seu baixo valor de emitância as temperaturas superficiais ficaram mais altas que as cerâmicas segundo Prado e Ferreira (2005). O alumínio atingiu temperaturas de 69,4 °C enquanto ambas as cerâmicas atingiram valores de 36 °C em condições estabelecidas pela ASTM 1980-98. Contudo a performance térmica de uma superfície não é determinada unicamente pelo seu albedo, a emitância do material é outro fator que deve ser estudado para qualificar uma superfície como fria.

2.4.2 Emitância térmica

Os materiais usuais de construção civil – concreto, argamassa, tijolos, plásticos - possuem valores de emitância, usualmente, não inferiores a 0,80 (ABNT, 2005b). A ASHRAE (2001) apresenta pequenas diferenças nos valores absolutos, entretanto coincidentes nas faixas.

Apesar da existência das tabelas nem todos os materiais apresentam estimativas e os valores citados não são exatos pois variam devido a sua dependência das condições superficiais (rugosidade, oxidação, sujeira), temperatura e fatores como o comprimento de onda da energia emitida e o ângulo de emissão (PEREIRA, 2014; PERIN, 2009).

Portanto é possível classificar os materiais de construção em dois tipos, ou dois grupos – os metálicos polidos, com baixos coeficientes de emissividade, e os não metálicos, com altos valores de emissividade (LAMBERTS et al., 2014). Modest (2003) afirma que, geralmente, os materiais não metálicos apresentam altas emitâncias e podem variar erráticamente ao longo do espectro enquanto os materiais metálicos, apesar de possuírem comportamento similares em comprimentos de onda mais curtos, possuem baixas emitâncias regularmente dependentes do espectro na parte infravermelha.

Assim a barreira radiante funciona de forma diferente das proteções térmicas usuais, usando alta refletância e baixa emissividade reduzindo o fluxo de calor para dentro das edificações. Usualmente as barreiras radiantes consistem em finas folhas de alumínio com um material de reforço (LEE et al., 2016). De acordo com a “Reflective Insulation Manufacturers Association International (RIMA-I)” a definição de barreira radiante aceita especificamente que um sistema de barreiras radiantes deve se voltar a espaços de ar abertos.

Na Figura 2.7 são apresentados os principais materiais utilizados na construção civil, caracterizados por suas propriedades radiantes.

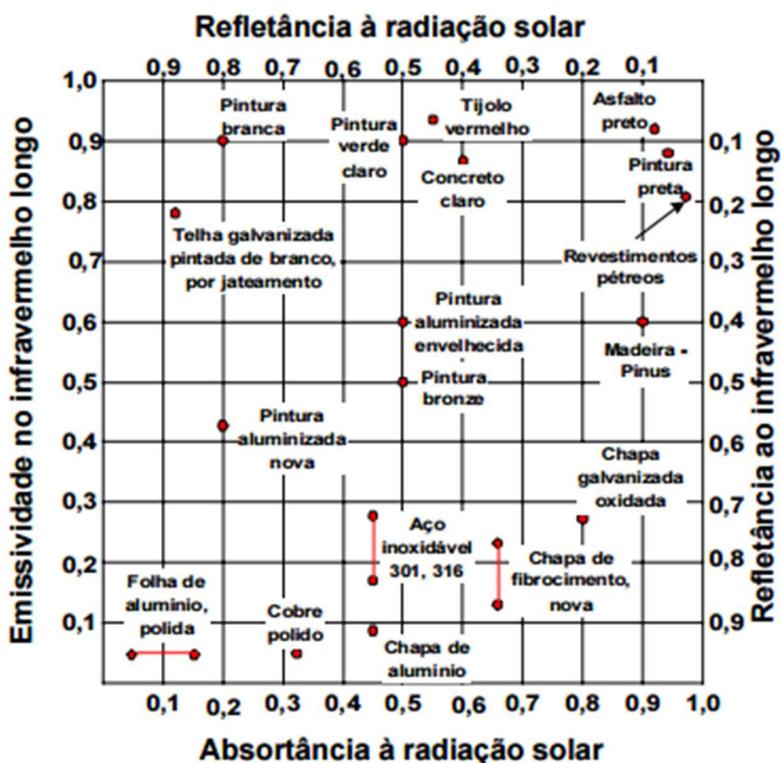


Figura 2.7– Propriedades radiantes dos materiais de construção civil para ondas curtas e ondas longas
(Fonte: adaptado de VITTORINO *et al.*, 2003)

As propriedades superficiais que interessam as análises térmicas em edificações já foram abordadas em diversos estudos. Contudo Pereira (2014) afirma que muitos pesquisadores avaliam o efeito de superfícies com baixa emitância atuando como barreira inserida na estrutura das coberturas.

Estes estudos mostram que a barreira radiante auxilia no conforto térmico pois emite uma menor quantidade de energia para o ambiente

interno (MEDINA, 2000; FREMPONG, 2001; VITORINO et al., 2003; MEDINA, YOUNG, 2006). Alguns experimentos (COOK, et al., 1989; LOTZ, 1964; LEVINS, 1990; NOBOA et al., 1994) avaliaram o efeito da poeira sobre as superfícies aluminizadas das barreiras radiantes e concluíram que o depósito de pó aumentou a emissividade e reduziu a refletividade da manta.

Vitorino et al. (2003) destaca que o uso destas barreiras radiantes já evoluiu e se difundiu, tanto que países como os EUA já possuem normas técnicas próprias (ASTM D 6083/97a, ASTM C 1483-00) e certificações pela Agência de Proteção Ambiental (sigla em inglês EPA).

Outra possibilidade é o uso de superfícies metálicas como cobertura, contudo esta estratégia possui um ponto negativo, segundo Synnefa et al. (2006). Os autores desenvolveram estudos correlacionando a temperatura superficial média e a emitância das amostras e concluíram que, no período noturno, a emitância é o principal agente de perda de calor de uma superfície.

Superfícies brancas (com alta refletância e alta emitância) apresentaram menor temperatura superficial durante a noite que superfícies com pigmentos de alumínio (refletância e emitância menores que as amostras brancas).

Shi e Zhang (2011) após estudarem diversos climas e composições através de simulações computacionais concluíram que o melhor modelo para o clima tropical seria o uso de valores de alta refletância e emitância, como o caso de cores brancas, pela possibilidade de maior perda de calor noturno.

O Índice de Refletância Solar (SRI, sigla em inglês) é uma medida da capacidade da cobertura em rejeitar o aquecimento solar. Ele é definido

de tal forma que uma superfície preta (refletância 0,05 e emitância 0,90) equivale a zero e uma superfície branca (refletância 0,80 e emitância 0,90) equivale a cem. A maioria dos materiais possuem valores entre 0 e 100, mas os limites podem ser ultrapassados - negativos para superfícies mais quentes que a referência preta ou acima de 100 para superfícies mais frias que a referência branca (AKBARI, 2008).

O importante que pode ser extraído, e de fato, que norteou os trabalhos de Shi e Zhang (2011), Medina e Young (2006) e Pereira (2014), é que cada região de acordo com a sua temperatura ambiente, umidade, índice de cobertura de nuvens e altitude deve possuir uma solução específica de projeto.

2.4.3 Transmissão de calor em coberturas

As coberturas recebem insolação ao longo do dia e sua principal forma de ganho de calor é por irradiação de ondas curtas. Aproximadamente 60% da energia térmica transferida para uma edificação de um pavimento, numa condição extrema de verão, é recebida por esta superfície. Num dia sem nuvens uma radiação solar de 1kW/m^2 incidente sobre esta superfície pode resultar numa absorção de 20% a 95% (ABDESSALAM et al., 1998; GARDE, 1997; SOUBDHAN; FEUILLARD; BADE, 2004; SUEHRCKE; PETERSON; SELBY, 2008).

Um esquema simplificado dos mecanismos de trocas térmicas para os casos de materiais opacos, e conseqüentemente coberturas, são exemplificados na Figura 2.8. Uma parcela da energia solar que incide é refletida, retornando para o ambiente externo; e outra, é absorvida pelo material aumentando sua temperatura interna. O mesmo processo ocorre

para as ondas longas oriundas do entorno enquanto a própria cobertura emite nesta mesma faixa.

Em razão da absorção de energia, a temperatura superficial externa aumenta transferindo calor para a superfície interna que irradiará para dentro do ático aquecendo-o. Segundo Parker (2005) a transferência deste calor ocorre, numa situação de verão, predominantemente por radiação. Isso ocorre, pois, o ar existente abaixo da superfície esquenta de maneira que os efeitos convectivos tendem a uma condição estática. Cowan (1973) explica que aproximadamente 87% do calor transferido pela cobertura ocorre através deste processo e, portanto, soluções que possibilitem as superfícies manterem temperaturas mais baixas e emitirem menos energia para o interior são fatores que precisam ser regulados tecnicamente. Lamberts (1988) concorda com a teoria e explicou que reduzir a temperatura superficial do teto das edificações reduz a componente de radiação que é transferida para o ambiente interno melhorando o conforto térmico. O pesquisador obteve reduções de 75% no fluxo de calor pela instalação de uma folha de alumínio limpa sob a cobertura de fibrocimento. Soubdhan et al. (2004) analisando a influência de barreiras radiantes em coberturas concluíram que a o fluxo de calor por irradiação pode chegar a 86%.

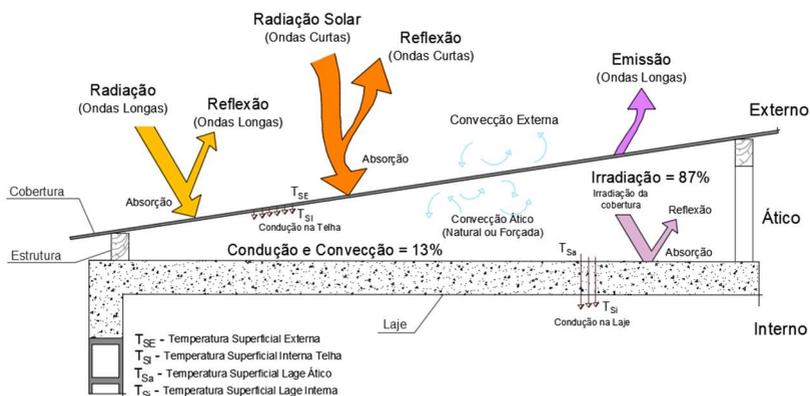


Figura 2.8 – Esquema da transferência de calor em superfícies opacas de um modelo de cobertura com ático.

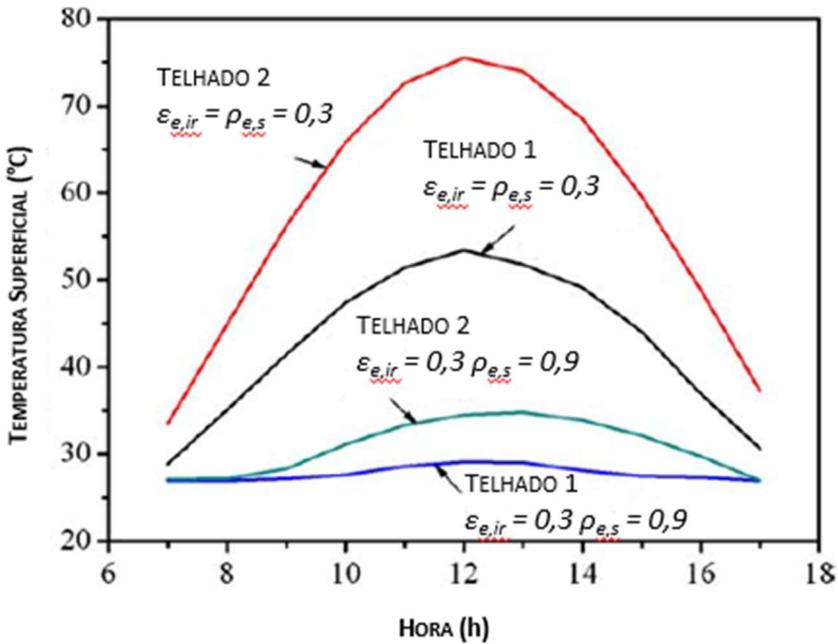
Vitorino et al. (2003) identifica que dentre as três formas de ganho de calor, a atuação sobre a condução e a radiação são as que possibilitam maiores interferências em virtude de que a convecção, na superfície externa, é fortemente dependente da ação do vento e difícil de ser controlada.

Pereira (2014) explica que nos estudos de conforto térmico e análises econômicas relacionadas ao tema, as coberturas sempre ganham destaque nas avaliações por ser o elemento da envoltória que está mais exposto à radiação solar ao longo do dia.

Um eficiente controle do ganho de calor em coberturas é, de fato, definido pela combinação de três parâmetros – refletância solar (albedo da superfície), emitância térmica e resistência térmica. Brito Filho et al. (2011) avaliaram os efeitos que estas características geraram em edificações condicionadas artificialmente em São Paulo. Os resultados mostraram que as coberturas com alta refletância apresentavam melhor desempenho. As menores temperaturas superficiais foram obtidas nas

estruturas com alta refletância e alta emitância, sem isolamento térmico. O menor fluxo de calor ocorreu na cobertura com isolamento, alta refletância e emitância. A Figura 2.9 mostra a variação da temperatura superficial ao longo do dia para os dois tipos de telhados com baixas emitâncias (ε) variando-se apenas a refletância (ρ). Enquanto a Figura 2.10 mostra a variação da temperatura máxima em função da refletância.

Os subscritos referem-se a externo (e), irradiação infravermelha do espectro térmico (ir), irradiação solar (s).



TELHADO 1 – SEM ISOLAMENTO.

TELHADO 2 – COM ISOLAMENTO.

Figura 2.9– Variação da temperatura superficial de duas coberturas ao longo do dia em função da refletância.

(Fonte: Brito Filho, 2011)

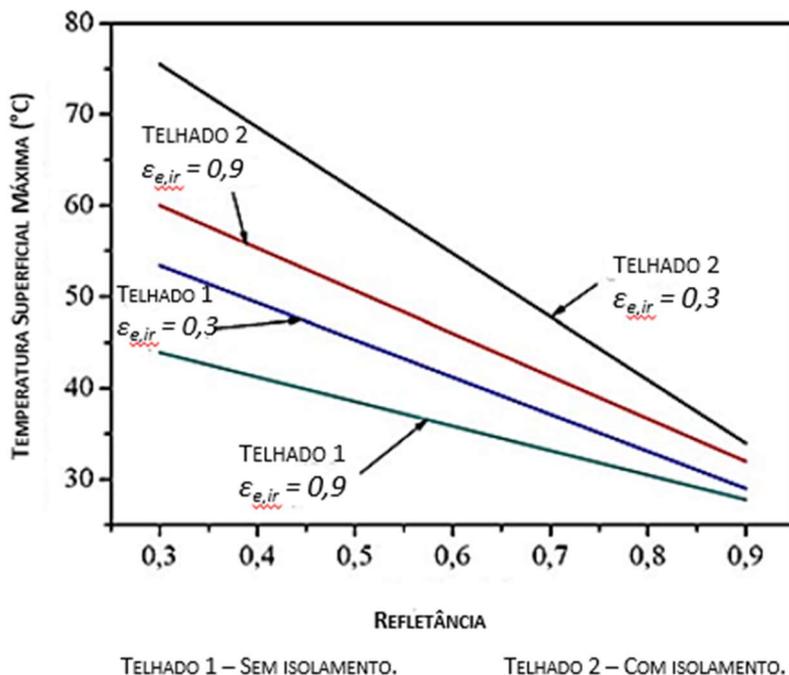


Figura 2.10 - Temperatura superficial externa máxima para duas coberturas em função da emissividade.
(Fonte: Brito Filho, 2011)

Brito Filho (2011) conclui explicando que as coberturas com isolamento melhoram as condições internas da edificação, entretanto apresentam temperaturas superficiais mais altas contribuindo para as ilhas de calor. A aplicação de uma superfície reflexiva e com alta emissividade, contudo, garantiria as condições de conforto interno enquanto diminuindo a temperatura externa da cobertura.

A Figura 2.10 mostra ainda que a temperatura mais baixa foi obtida na cobertura sem a camada de isolamento a qual é o foco deste trabalho, principalmente, por condizer com a técnica construtiva adotada nas

edificações da UFSC. Definido, portanto, o objeto de estudo, parte-se para análise de como a radiação solar, ou de ondas curtas, e a radiação de ondas longas interagem com a superfície com foco na cobertura das edificações.

2.5 MEDIÇÃO DA REFLETÂNCIA

2.5.1 Método do espectrofotômetro

Segundo Pereira (2014) a verificação da refletância de uma superfície através de um espectrofotômetro é o mais indicado. Dornelles e Roriz (2007) também afirmam que o processo mais preciso na obtenção da absorvância de uma superfície é medir a refletância através de um espectrofotômetro.

Akbari et al. (2008) explicam que o “Cool Roof Rating Council” (CRRC) – órgão criado com o intuito de desenvolver métodos precisos de avaliar e classificar as propriedades radiativas (refletância e emitância) de produtos destinados ao uso em coberturas – aceitam três métodos de mensuração da refletância solar: ASTM C1549 (reflectômetro), ASTM E1918 (piranômetro) e ASTM E903 (espectrofotômetro)

Espectrofotômetros são equipamentos que iluminam uma superfície com uma luz monocromática e captam a luz refletida numa esfera integradora. Essa incidência ocorre normalmente a superfície numa série de bandas espectrais (300 nm – 2500 nm) e fornecem a refletância solar da superfície (LEVINSON et al., 2010b).

Qualquer espectrofotômetro possui componentes básicos similares (HARVEY, 2000). Dornelles (2008) explica que estes equipamentos são compostos por uma ou mais fontes de radiação e um conjunto ótico (E2 e E1) que leva a luz até a amostra; um espaço para encaixe desta e os

detectores que medem a intensidade da radiação refletida. A Figura 2.11 exemplifica um esquema simplificado de funcionamento de um espectrofotômetro.

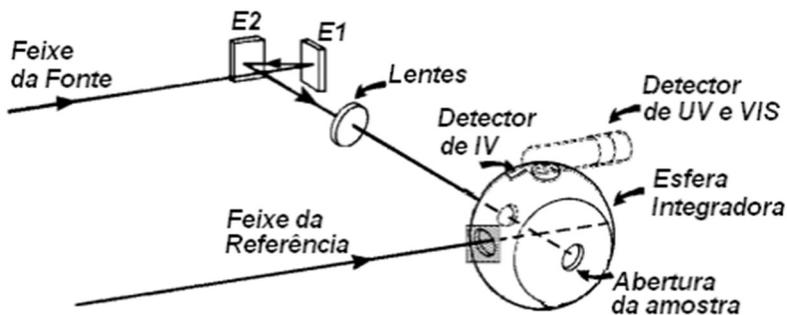


Figura 2.11– Esquema simplificado de funcionamento de um espectrofotômetro.

(Fonte: Dornelles, 2008)

A fonte de radiação eletromagnética é oriunda de lâmpadas, Harvey (2000) explica que a fonte emissora deve possuir uma intensidade alta e constante na faixa desejada do espectro e classifica as fontes em contínuas ou lineares. A Figura 2.13, mostra o espectro de emissão de uma típica fonte contínua onde a intensidade varia levemente dependendo do comprimento de onda. A Figura 2.12, ao lado, apresenta o espectro de uma fonte linear onde se observa a emissão em pequenos intervalos de comprimento de onda.

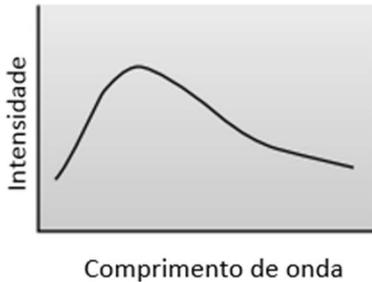


Figura 2.13 – Espectro de emissão de uma típica fonte contínua.

(Fonte: adaptado de Harvey, 2000)

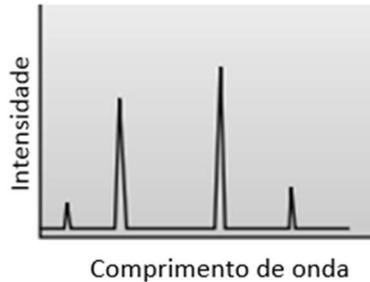


Figura 2.12 – Espectro de emissão de uma típica fonte linear.

(Fonte: adaptado de Harvey 2000)

Algumas das fontes de luz mais comuns são as lâmpadas de deutério, com excitação ultravioleta ($16 \text{ nm} \leq \lambda \leq 380 \text{ nm}$), lâmpadas halogênicas de tungstênio, para comprimentos de onda nas regiões visível e infravermelho ($320 \text{ nm} \leq \lambda \leq 2400 \text{ nm}$), lâmpadas de xenônio, que abrangem UV e visível ($200 \leq \lambda \leq 1000 \text{ nm}$). Lâmpadas de LED e lasers também são utilizados (HARVEY, 2000).

Diversos estudos já mostraram a eficiência das mensurações realizadas com o espectrofotômetro (FERREIRA; PRADO, 2003; NICOLAU; POSSAMAI, 2006; DORNELLES, 2008; SANTOS, 2013), entretanto Levinson et al. (2010b) explica que apesar de um equipamento de espectroscopia bem calibrado conseguir bons resultados de refletância, existem alguns limites que devem ser observados:

- a) tipicamente o feixe de emissão da fonte de luz ilumina áreas inferiores a 10 mm^2 da amostra. Como cada mensuração pode durar vários minutos, o instrumento é mais indicado para uma amostra uniforme que pode ser caracterizada por uma série de medidas em um só local;

- b) o ângulo de incidência do feixe luminoso é tipicamente fixo próximo a normal da superfície ($\theta \approx 8^\circ$), tornando difícil a mensuração de ângulos maiores;
- c) a amostra deve ser: 1) plana de maneira a garantir que qualquer reflexão especular seja captada pela esfera integradora; 2) pequena (normalmente inferior a 10 cm x 15 cm) para caber no suporte do instrumento; 3) e, se o instrumento tiver um suporte vertical, suficientemente coesiva para montagem nesta posição;
- d) um espectrofotômetro é um equipamento grande, imóvel e caro no qual as amostras devem ser trazidas até ele, o que pode requerer extrações destrutivas de superfícies reais.
- e) Algumas destas questões já foram devidamente endereçadas como num artigo de Dornelles e Roriz (2007) que comparou as refletâncias de amostras com diferentes cores medidas com um espectrofotômetro (modelo: Varian CARY 5G) e com um espectrômetro ALTA II. Os valores obtidos apresentaram uma correlação de 0,98 para região próxima ao infravermelho e 0,99 na região espectral visível.

Há de se considerar que os limites levantados por Lenvinson et al. (2010) não estão equivocados e realmente demonstram algumas características da técnica e que exigem alguns cuidados na análise dos resultados. Entretanto, segundo o autor, a mensuração com um espectrofotômetro, negligenciando os erros do instrumento, pode resultar valores de refletância com precisão de 0,006, quando ajustadas ao espectro padrão para um dia sem nuvens.

O principal interesse desta técnica para este trabalho é permitir sua utilização de maneira a proporcionar valores de reflexão para amostras de tinta novas que possam ser comparados com as mensurações com o piranômetro através da norma ASTM E1918 (2016).

2.5.2 Método normatizado para medição da refletância de superfícies opacas

A ASTM E1918 (2016) propõe um método de medição da refletância solar para superfícies horizontais ou de baixa inclinação ($\leq 2:12$ [9,5%]) através da utilização de um piranômetro. Algumas condições essenciais devem ser observadas como a necessidade de dias de céu claro e um ângulo de incidência do sol em relação normal inferior a 45° .

Faceando o equipamento na direção oposta à superfície de estudo obtém-se a radiação global incidente (I_i) e em seguida, voltando o sensor na direção da superfície, mede-se a radiação global solar refletida (I_r). É possível realizar simultaneamente a medição utilizando dois piranômetros respaldados um no outro (LEVINSON et al., 2010b)

A refletância solar medida através da norma ASTM E1918 ($R_{E1918} = I_r/I_i$) será igual a refletância solar global de uma superfície (R_g) quando, segundo Levinson et al. (2010b):

- a) a superfície refletir difusamente;
- b) o piranômetro não criar sombras sobre a superfície;
- c) o piranômetro enxergar apenas a superfície analisada quando medindo I_r .

A relação entre a radiação refletida e a incidente ($R_{E1918} = I_r / I_i$) varia de 0 a 1. Simulações realizadas por LEVINSON et al. (2010b) mostraram que para superfícies horizontais ou com baixa inclinação $|R_g - R_{g,0}| \leq 0,01$ quando o ângulo solar, zênite, $z \leq 45^\circ$, concluindo que, nessas condições ideais $|R_{E1918} - R_{g,0}| \leq 0,01$. Onde $R_{g,0}$ é a refletância solar na posição onde o coeficiente massa-ar, AM, é igual a 1.

Ou seja, segundo Levinson et al. (2010b), a aplicação da técnica elucidada na norma ASTM E1918 (2016), desde que observadas as condições nela estabelecidas, permite obter valores de refletância precisos que associados ao baixo custo e a portabilidade dos instrumentos torna o método, apesar de simples, efetivo para se obter as refletividades de superfícies reais.

Entretanto importa destacar que as alterações das condições de norma podem restringir a aplicabilidade da norma ou mesmo gerar erros aos valores obtidos. A norma E1918 (2016) explicita no capítulo procedimentos, item 9.1 que a presença de nuvens afeta significativamente as mensurações, particularmente no entorno do sol, em razão das alterações na distribuição espectral (LEVINSON et al., 2010b).

No item seguinte, 9.2, limita as medições ao período em que o ângulo entre a normal da superfície e o ângulo de incidência solar (θ) seja inferior a 45° . Conforme explicado por Levinson et al. (2010b) esta limitação ocorre em virtude de que a distribuição espectral da radiação solar (I_i) e o seu ângulo de incidência (θz) variam de acordo com a hora do dia e o dia do ano, limitando, assim, os períodos em que $R_{E1918} \cong R_{g,0}$.

A terceira exigência, item 9.3, é quanto ao posicionamento do equipamento de forma que a sua sombra afete minimamente os valores mensurados. Contudo é inerente da técnica que o sensor e seu suporte

interfiram na incidência solar da área analisada reduzindo ligeiramente a reflexão solar global (R_g). Levinson et al. (2010b) calcularam para superfície brancas onde $R_g = 0,80$ valores para $R_{E1918} = 0,784$ e para superfícies escuras onde $R_g = 0,05$ valores de $R_{E1918} = 0,049$.

A norma estipula ainda uma altura mínima de 50 cm entre o sensor e a superfície no intuito de minimizar o efeito das sombras pela diminuição do seu fator de forma (F). Essa distância garante que toda a radiação recebida pelo sensor voltado para a superfície seja oriunda da superfície analisada. Siegel e Howell (2002) calcularam que um sensor de diâmetro (ϕ) 3 cm a 50 cm do centro de uma superfície de $\phi = 3$ metros possui um fator de forma (F) igual a 0,90; para um $F = 0,95$ o diâmetro da superfície concêntrica deve ser de 4,4 m; e para um $F = 0,99$, $\phi = 10$ m.

Portanto, diante desses procedimentos condicionados na ASTM E1918 (2016), verifica-se que aplicabilidade desta norma é mais apropriada ao uso em grandes superfícies e se enquadra aos objetivos específicos deste trabalho.

2.5.3 Uma variação da ASTM E1918

A E1918 (2016) pode gerar desvios consideráveis quando suas condições não são atendidas. Em superfícies menores, por exemplo, o fator de forma entre o sensor e a superfície analisada pode ficar reduzido a tal ponto que as superfícies no entorno afetem os resultados e a condição $R_{E1918} \cong R_{g,0}$ não seja atendida.

Levinson et al. (2010b) exemplificam que para a condição anteriormente citada em que uma superfície branca ($R_g = 0,80$) e uma

superfície preta ($R_g = 0,05$) de diâmetro 3 metros possuam em seu entorno uma superfície cinza de $R_g = 0,20$ os valores obtidos pela mensuração através de um piranômetro seriam alterados para $R_{E1918} = 0,74$ e $0,065$ respectivamente.

Na primeira condição a refletividade de norma da superfície branca estaria subestimada em $0,06$ e para a superfície preta haveria uma superestimava de $0,015$.

Estas dificuldades somadas a impossibilidade, ou no mínimo, a dificuldade de se movimentar uma área superior a 10 m^2 ($F = 0,99$) para condições variadas de exposição ao tempo e inclinação resultaram no desenvolvimento de um método, não normatizado pela ASTM, que Akbari et al. (2008a) chamaram de E1918A.

Este método baseado na ASTM E1918 utiliza, também, um piranômetro para medir a refletância da superfície, entretanto ele pode ser adaptado, com uma ótima precisão para superfícies de somente 1 m^2 . A Figura 2.14 mostra a correlação obtida por Akbari et al. (2008a) entre a medição de 10 amostras monocromáticas e multicromáticas medidas com a norma E1918 e sua variante a E1918A.

Para as superfícies monocromáticas o valor absoluto da medida de refletância solar entre a norma E1918 e sua variação não ultrapassou $0,02$, enquanto a diferença entre as superfícies multicromáticas não excedeu $0,03$. Akbari et al. (2008a) explicam que a diferença tende a ser maior em superfícies multicoloridas em razão de a amostra de 1 m^2 nem sempre apresenta uma boa representação da mescla de cores exibida numa grande superfície (10 m^2).

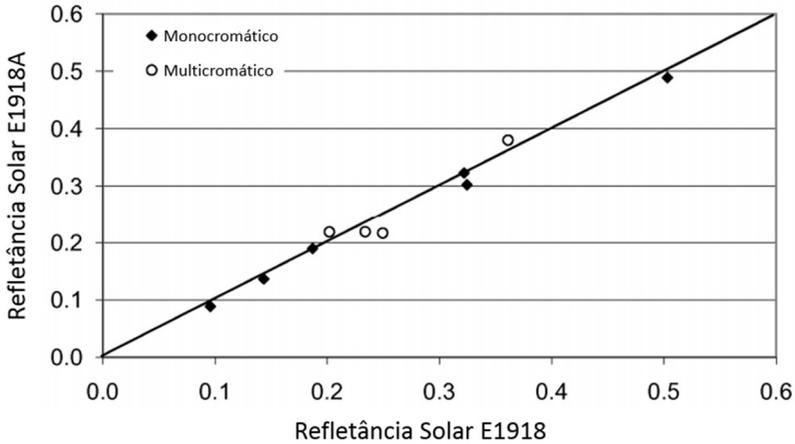


Figura 2.14 - Comparação entre as refletâncias solares de dez amostras comparadas entre a norma E1918 e a variação proposta E1918A. (Fonte: adaptado de Akbari *et al.*, 2008)

Os procedimentos práticos de mensuração da E1918A seguem os da E1918. Assim a irradiação solar incidente no sensor do piranômetro voltado para a superfície é uma média ponderada da reflexão solar da superfície e de seu entorno.

A proposta, dessa forma, mensura consecutivamente três reflexões (R_w , R_b , e R_t) de composições distintas (branca, preta e da superfície). Os subscritos foram mantidos conforme o artigo original, portanto referem-se as siglas em inglês – “white”, “black” e “target”. Para isso considera-se uma superfície (denominada t) de área A_t e refletância R_t na qual o entorno s (“surroundings”) possui uma refletância R_s . Deve-se ter entendido que $R_t = R_{E1918A}$.

Cobre-se inteiramente a superfície com uma máscara opaca branca de refletância solar R_w e mede-se a irradiação solar I_1 incidente no sensor do piranômetro. Repete-se o procedimento medindo I_2 para uma máscara

opaca preta de refletância solar R_b . Por último a superfície é descoberta e mede-se I_3 .

Segundo Levinson et al. (2010b) cada máscara deve ser, idealmente, uma superfície refletora não seletiva e que reflita difusamente de maneira a minimizar a variação na refletância com a posição solar.

As refletâncias destas máscaras são determinadas pelos procedimentos da ASTM E903 o qual usa um espectrofotômetro com uma esfera integradora para medir a refletância espectral da superfície e depois o valor é corrigido de acordo com a intensidade da radiação solar

A relação entre a irradiação solar I_H , as irradiações I_1 , I_2 e I_3 e a refletâncias solares R_w , R_b , R_t é dada pelas expressões abaixo (Equação 2.12a, Equação 2.12b, Equação 2.12c e Equação 2.13), onde F é o fator de forma do sensor do piranômetro a superfície estudada:

$$I_1 = [F R_w + (1 - F)R_s]I_H \quad \text{[Equação 2.12a]}$$

$$I_2 = [F R_b + (1 - F)R_s]I_H \quad \text{[Equação 2.12b]}$$

e

$$I_3 = [F R_t + (1 - F)R_s]I_H \quad \text{[Equação 2.12c]}$$

Solucionando a refletância solar para a superfície alvo através da interpolação das irradiações obtém-se:

$$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2}(R_w - R_b) \quad \text{[Equação 2.13]}$$

Akbari et al. (2008) explicam que o erro na mensuração de I é inversamente proporcional ao fator de forma (F) da superfície, isto é, quanto menor for a A_t maior é o erro das irradiações medidas.

2.5.4 Influência da forma

A rugosidade da superfície e sua forma afetam a maneira com que a luz interage com as partículas do material. A luz, ao incidir sobre um determinado ponto dessa superfície, tem uma parcela refletida e estas ondas refletidas podem atingir outra parte do material aumentando a sua absorção total. Este fenômeno é conhecido como Inter-reflexão e pode ocorrer tanto nas microirregularidades quanto entre curvaturas do material denominadas ondulações.

2.5.4.1 Rugosidade

A rugosidade de um material são as variações geométricas de pequena escala na sua superfície, consistido de picos e vales que dão textura à superfície, em termos técnicos seria a topografia superficial do material. Pela definição básica do termo percebe-se logo que estas irregularidades não seguem nenhum padrão lógico que possa ser definido matematicamente haja vista que suas origens e magnitudes surgem de processos diferentes de formação (SEKER; TAVIL, 1995).

Seker e Tavil (1995) mediram a rugosidade e as absorções de 10 amostras (40 mm x 40 mm) pintadas de branco e com níveis de irregularidades diferentes onde foram calculadas quatro rugosidades parciais e posteriormente a média da amostra. As absorções foram calculadas através de um espectrofotômetro no comprimento de onda de 300 a 2500 nm com intervalos de 50 nm. Os resultados mostraram que um aumento de 1 mm no parâmetro de rugosidade médio da superfície (R_a) (Figura 2.15) aumenta a energia absorvida pela superfície em 23%.

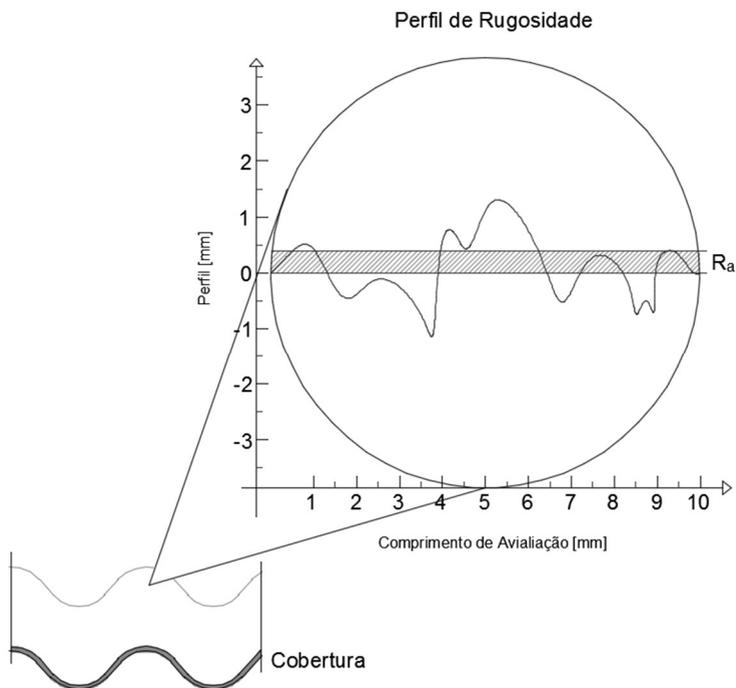


Figura 2.15 – Valor médio de rugosidade.
 Fonte: adaptado de Seker e Tavil, 1995.

Dornelles, Roriz e Roriz (2007) verificaram a influência da rugosidade na absorvância da superfície de 25 amostras distribuídas em cinco colorações (branco, marfim, amarelo, verde e azul) e cinco graus de rugosidade. O resultado apresentou um aumento linear de acordo com o aumento da rugosidade, contudo o aumento mais significativo ocorreu para a cor branca em razão da maior refletividade o que aumenta as parcelas inter-refletidas. A absorvância subiu de 18,7% para uma amostra polida para 45,5%.

2.5.4.2 Ondulação

A inter-reflexão que ocorre na microescala se repete nas reentrâncias de uma cobertura em razão da sua forma – ondulada, canaletas. Assim cada parte da cobertura absorve uma porção da radiação solar global e reflete de maneira difusa e hemisférica o restante. Esta parcela, dependentemente do fator de forma do material, irá atingir outra parte do material e será absorvida proporcionalmente a absorvidade do material e sua rugosidade superficial.

Dessa forma Dornelles, Roriz e Roriz (2007) explicam que em razão disso a radiação que incide sobre um ponto será a soma da radiação direta, difusa e refletida do entorno e de outros pontos do material o que provocará um aumento considerável na absorção total. Contudo os autores mostraram que apenas a primeira inter-reflexão possui um efeito significativo o que pode ser observado na Figura 2.16.

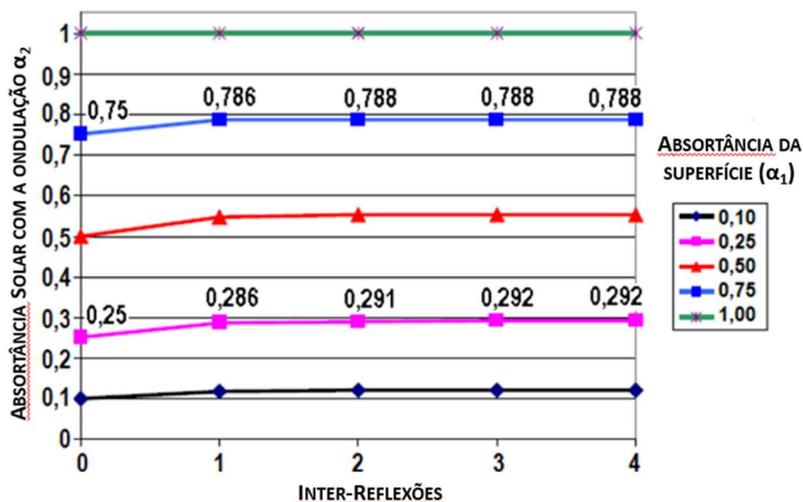


Figura 2.16 - Absortância corrigida (α_2) e absortância da superfície (α_1) em relação as inter-reflexões.

Fonte: adaptado de Dornelles, Roriz e Roriz, 2007.

Roriz (2011) verificou que as inter-reflexões geram influência significativa nos fluxos de radiação em coberturas de forma que, em superfícies claras como o branco gelo, a absortância solar variou entre 37,2% e 47,2% dependendo da geometria da telha. O branco variou de 11,1% a 15,8%. A Figura 2.16 mostra a evolução das absortâncias em relação ao formato da telha.

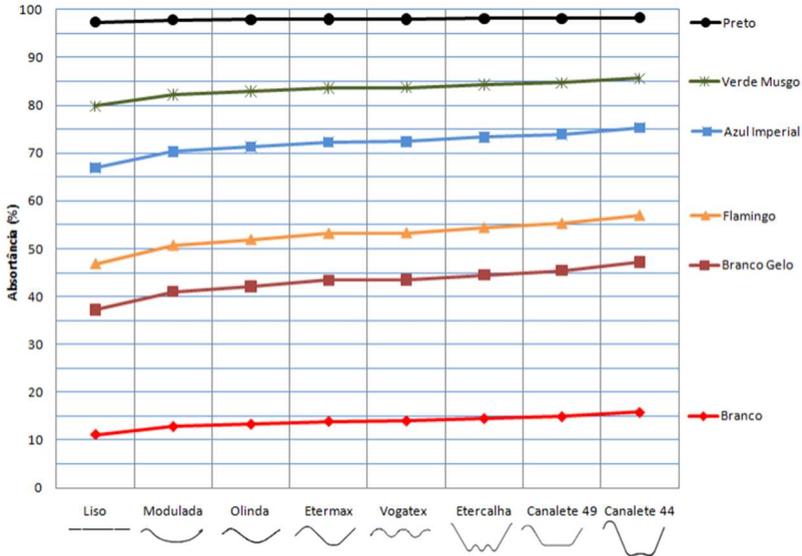


Figura 2.17 - Absortâncias efetivas.

Fonte: Roriz, 2007.

A despeito destes estudos mostrarem a grande influência da rugosidade e da ondulação na absorção e, portanto, na refletância, os valores obtidos através do método da norma E1918 (2016) já abrangem tais fatores por medirem a radiação solar global refletida. Contudo a correção proposta por Roriz (2011) permite comparar as telhas onduladas medidas através deste método e amostras medidas em laboratório.

2.6 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Os estudos realizados ao longo deste capítulo demonstraram que apesar da vasta concordância acadêmica de que os materiais reflexivos melhoram o desempenho térmico de edificações seu envelhecimento e

sua manutenção são assunto por vezes citados como necessário, e são pouco aprofundados pela singularidade de cada região espaços urbanos.

Dessa forma buscou inicialmente estabelecer uma base científica geral que trata da física da radiação focando nas faixas do espectro eletromagnético. Em seguida o texto abordou a forma como o fluxo de energia solar atinge a Terra e a influência dos gases constituintes na magnitude, distribuição espectral e direcional desta radiação, definindo-se, para tanto, o que significa coeficiente de massa de ar (MODEST, 2003; CALLISTER, 2007; INCROPERA et al., 2011; DUFFIE; BECKMAN, 2013)

A sequência lógica dos estudos, depois que a radiação adentra a atmosfera, é a forma como ela interage com a superfície onde se discute as parcelas absorvidas, refletidas e transmitidas para logo inserir as concepções na característica opaca das superfícies deste trabalho. Com base em artigos publicados e nos resultados obtidos, procurou-se estabelecer a fundamentação necessária para amparar a construção da metodologia e ter uma base para interpretar os resultados (MODEST, 2003; ABNT, 2005; PERIN, 2009; RORIZ et al.; 2012; ASTM E284-13b, 2013; LAMBERTS et al. 2014).

Nesse contexto se estudou os artigos que tratavam especificamente da perda da refletância em razão do envelhecimento da cobertura e foi possível observar que procedimentos de limpeza apresentaram bons resultados de recuperação da refletância. Em seguida se definiu albedo relacionando-o com as características espectrais da radiação térmica e se concluiu que a parcela de ultravioleta está diretamente ligada à deterioração de envelhecimento (COAKLEY, 2002; PRADO; FERREIRA, 2005; LEVINSON et al., 2005a).

Dando prosseguimento, após os tratar da interação da radiação térmica com os materiais, estudou-se a emitância e a transmissão de calor, onde se concluiu que apesar da usual alta emitância dos materiais e construção civil quando estes são associados a alta reflexão apresentam melhoras significativas nas condições térmicas das edificações especialmente em climas tropicais (LAMBERTS, 1988; AKBARI, 2003; SANTAMOURIS et al., 2007; DORNELLES et al., 2011; PEREIRA, 2014).

Na bibliografia normativa o foco foi para os métodos de análise de refletância como a ASTM E1918 e ASTM E903 que possibilitariam analisar as coberturas da UFSC e prover dados experimentais de campo e laboratório. Discutiu-se brevemente um método alternativo à ASTM E1918 proposto por Akbari et al. (2008a) que possibilitaria medir pequenas superfícies de até um metro quadrado.

E finalizando o capítulo estudou-se a influência da forma na refletância das superfícies através das inter-reflexões em microescala oriundas da rugosidade; e a macro escala que trata da ondulação da telha, ou seja, sua forma (SEKER; TAVIL, 1995; RORIZ, 2007; DORNELLES; RORIZ; RORIZ, 2007).

Com base nesses estudos, parte-se para a definição de um método de trabalho.



3 METODOLOGIA

A pesquisa foi dividida em quatro etapas de trabalho com a primeira focando na aquisição, cadastramento e classificação das edificações de interesse através das suas características segundo quatro grupos distintos de análise referentes a pintura de 2013 a 2016. Na segunda fase, produziu-se as amostras de telhas que foram testadas em laboratório e comparadas com medições realizadas em campo. A terceira etapa analisou as edificações levantadas na primeira etapa em função da idade das pinturas. A última etapa avaliou os efeitos das condições de medição em campo.

A seguir, na Figura 3.1, é apresentado um fluxograma com as etapas da pesquisa de maneira a sistematizá-la e organizá-la graficamente.

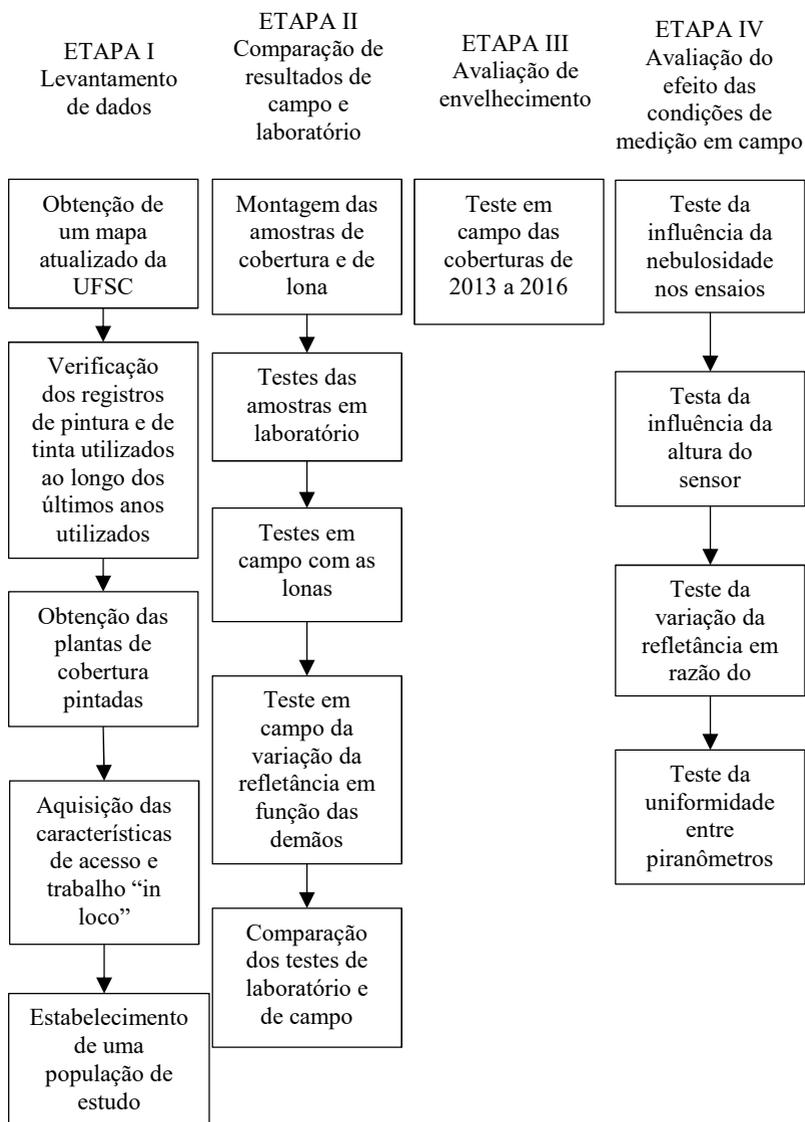


Figura 3.1– Fluxograma das etapas que serão desenvolvidas no trabalho.

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS (ETAPA I)

O estudo se concentrou nas edificações da UFSC que em razão da forte expansão de sua infraestrutura predial incorporou o conceito de superfícies reflexivas nas edificações novas e existentes, no intuito de melhorar o desempenho térmico dos ambientes construídos e seu entorno.

3.1.1 Obtenção de um mapa atualizado da UFSC

Atualmente, a UFSC possui 5 *campi* localizados predominantemente no litoral do estado de Santa Catarina com a exceção do campus de Curitibanos. Antes da expansão que se formalizou em 2009 com a inauguração do campus de Araranguá, através do processo de interiorização, a UFSC contava unicamente com um campus em Florianópolis, centralizado na região do bairro da trindade.

Este último é o maior dos cinco *campi* com uma área construída de 397.683,47 m² inserido num terreno que abrange 102 hectares (1.020.768,63 m²) segundo dados do DPAE/UFSC (2015). Numa verificação matemática simples o campus universitário possui uma taxa de ocupação (relação entre a projeção das edificações e a área do terreno) de 15,6%. São 354 prédios espalhados numa zona que converge três bairros – Trindade, Pantanal e Córrego Grande – e que segundo Lago (1996) se expandiu fortemente após a década de 70 com a instalação da Universidade e órgãos públicos como Eletrosul, EPAGRI, CELESC, TELESC e a construção da Avenida Beira-mar ligando o centro aos bairros.

Os valores acima são de fato aproximações dada a inconstância das fontes e as imprecisões nas medições que deram origem aos mapas de

cadastro. Apenas como exemplo, o terreno da Universidade é constituído de 66 certidões de registro público segundo o SPIUnet (2015).

Diante da diversidade de documentos, o mapa base foi obtido junto a Coordenadoria de Planejamento da UFSC, que possui um cadastro técnico atualizado (novembro de 2014) das áreas construídas pertencentes a Universidade.

3.1.2 Verificação dos registros de pintura e tipo de tinta utilizados ao longo dos últimos anos

Os registros dos últimos três anos de pintura das coberturas foram obtidos junto ao Departamento de Manutenção Predial da UFSC. O cuidado e a continuidade do que foi executado ao longo deste período é responsabilidade da unidade fiscalizadora, entretanto, devido às modificações administrativas nos departamentos da UFSC e na gestão de pessoas, não houve uma continuidade da equipe, o que alterou os padrões e formas de controle.

Assim os dados das coberturas que sofreram intervenção nos últimos três anos tiveram que ser coletados e organizados numa tabela segundo as áreas e datas em que foram pintados e posteriormente acrescentados ao mapa padrão obtido. Estas informações foram ratificadas através do software livre Google Earth (2015) que apresenta atualização recente, de 27 de agosto de 2015, e qualidade de imagem suficientemente adequada para identificar as áreas claras das superfícies. As edificações foram, ainda, inspecionadas “in-loco” confrontando por fim todos os elementos adicionados ao mapa base.

Ao final desta fase todos os prédios que sofreram intervenções e o ano em que tais serviços de pintura foram executados foram reunidos num único mapa base atualizado o qual norteará as próximas sub etapas.

3.1.3 Obtenção das plantas de cobertura pintadas e aquisição das suas características de acesso e trabalho “in-loco”

Para garantir um cadastramento preciso foram obtidos dados construtivos das edificações da UFSC contidos em projetos executivos do Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia e a inspeção “in-loco” dos prédios.

Tais informações se mostram relevantes para o conhecimento das unidades, o que permitiu a seleção de um número de amostras (telhados) para a realização dos testes experimentais de campo, tendo por fim a medição de refletância dessas coberturas.

Foram obtidas as informações de localização (centro, setor, unidade e nome), características construtivas (área total da construída, pavimentos, orientação do prédio, tipo e número de águas da cobertura), o ano da pintura e a descrição do entorno. Estas informações foram resumidas numa tabela que permitiu a escolha dos prédios que foram efetivamente estudados.

3.1.4 Estabelecimento de uma população de estudo

A etapa seguinte, após as análises exploratórias, consistiu em classificar as edificações em função dos elementos coletados anteriormente segundo dois critérios - o ano de pintura da área de cobertura e facilidade de acesso à área.

Ao todo foram levantadas 46 unidades, onde, destas, nem todas são edificações de sala de aula e laboratórios como era o caso das garagens e galpões da Prefeitura Universitária. Outras unidades, como os prédios do Colégio Aplicação e do Hospital Universitário, não permitiam a entrada aos finais de semana, o que limitaria os testes de campo e, portanto, foram descartados.

Prédios sem fácil acesso à cobertura, onde a subida era realizada por alçapões, também foram descartados pela impossibilidade de entrar com os equipamentos. Alguns outros, prédio da Engenharia Mecânica, apresentavam coberturas novas, mas com inclinações muito elevadas que não permitiam instalar o equipamento. Algumas unidades como o prédio do Centro de Física e Matemática não apresentavam tomadas na caixa da água ou em local onde a extensão elétrica alcançasse.

Excluindo estes complicadores, considerou-se inicialmente os pontos mais próximos ao local de armazenamento dos equipamentos de medição, e observando as idades, foram definidos os pontos de estudo que são explicados no capítulo de resultados.

3.2 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE CAMPO E LABORATÓRIO (ETAPA II)

Esta etapa constitui a parte de comparação entre os testes realizados em campo e os realizados em laboratório com intuito de estabelecer relações de refletância de mesmas superfícies.

3.2.1 Montagem das amostras de cobertura e de lonas

Foram confeccionadas três amostras de telha de fibrocimento para cada estágio do processo de pintura, ou seja, foram realizadas doze amostras. Três delas foram mantidas na cor natural do fibrocimento; em três, foi dada uma demão de pintura; em outras três, duas demãos e nas últimas três amostras, três demãos.

O tamanho entre duas cristas consecutivas das telhas de fibrocimento varia consideravelmente no mercado (7,5 cm até 18 cm) e os modelos instalados na Universidade não seguem uma padronização, assim, diante da grande variedade, e do fato de que diferentes ondulações resultariam em diferentes valores de absorção, e, portanto, reflexão, optou-se por utilizar modelos planos.

Dessa forma, o recorte das nove amostras foi realizado com uma serra circular e as dimensões foram adaptadas para obter a parte mais plana possível da telha. Para as telhas metálicas apenas se demarcou as dimensões e se realizou os cortes numa superfície nova.

As amostras foram pintadas com a mesma tinta utilizada nas coberturas da UFSC, com um rolo de lã sintética com “pelo baixo” (especial para tintas acrílicas e látex) de acordo com os procedimentos definidos pelo fabricante conforme Tabela 3.1.

A ABNT NBR 13245 02/2011, ainda define padrões para a limpeza da superfície e eliminação de focos de micro-organismos como mofo. Entretanto devido a utilização de telhas novas não foi necessária a limpeza prévia do substrato em razão do bom estado e coesão. Eliminou-se a poeira natural da superfície com um pano levemente umedecido e se aguardou a superfície secar.

Não foi aplicado nenhum fundo preparador em razão de que o fabricante não orienta tal procedimento. Foi realizada a diluição da tinta com água misturando manualmente até obter uma solução homogênea.

A aplicação da tinta, em cada demão, foi feita independentemente do número de passadas do rolo – a aparência final foi o fator relevante de maneira que a superfície ficasse uniforme em brilho e rugosidade e sem escorrimento de tinta. Após cada demão o rolo foi lavado e seco para a próxima demão.

Tabela 3.1 - Procedimentos de preparação e pintura das amostras.

Tinta	Sherwin Williams
	Metalatex ECO Telha Térmica
Limpeza da Superfície	ABNT NBR 13245 02/2011
Fundo Preparador	Não Aplicável
Diluyente	Água Limpa
Diluição da Tinta	20% - 30% (1ª demão); 10% - 20% (demais demãos)
Mistura	Manual
Instrumento de Pintura	Rolo de lã para epóxi
Aplicação	Cobrimento da superfície independentemente do número de passadas
Número de demãos	3
Secagem entre demãos	4 horas

No que concerne as amostras de lonas, foram realizados cortes no excesso de material utilizado para os ensaios de campo, totalizando duas amostras pretas e duas brancas, com um formato quadrado e 10 cm de lado. Também, três amostras de coberturas metálicas novas foram avaliadas para possibilitar a comparação de referência entre os dados coletados em campo e em laboratório.

3.2.2 Teste das amostras em laboratório

Em razão de que as últimas pinturas realizadas no campus de Florianópolis já possuem mais de um ano, decidiu-se verificar as características de reflexão de uma cobertura nova recém pintada. Mas diante da dificuldade e custo de executar uma pintura nova exclusivamente para os ensaios de campo as amostras foram testadas em laboratório com o auxílio de um espectrofotômetro.

No que concerne as lonas, inicialmente, este teste foi pensado como uma forma de comparar o teste realizado em campo através do piranômetro com os em laboratório (através do espectrofotômetro) pela facilidade de retirar amostras do material.

Foram realizados quatro testes iniciais sendo duas medidas de uma folha lona preta e duas de uma folha branca. Em razão da transparência de uma única folha, testou-se duplicar a lona branca. Em seguida foi utilizada uma base branca (também medida) sob a lona branca e posteriormente sob a lona preta. A Figura 3.2 apresenta um esquema gráfico da sequência de testes.

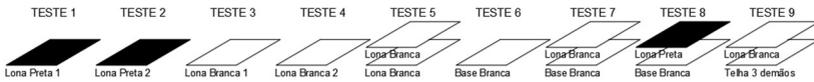


Figura 3.2 - Sequência de ensaios das amostras de lona.

A refletância espectral das amostras foi obtida por intermédio de um espectrofotômetro do modelo Lambda 1050 (Figura 3.3), modelo PerkinElmer pertencente ao Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) do Departamento de Engenharia Civil da UFSC.

A Tabela 3.2 apresenta as principais características técnicas do equipamento segundo Marinoski et al. (2013).

Tabela 3.2 - Características do espectrofotômetro Lambda 1050.

Fonte: adaptado de Marinoski et al. (2013)

Descrição	Especificação
Faixa Espectral	175 nm - 3300 nm
Resolução	
UV/VIS	≤ 0,05 nm
IV Próximo	≤ 0,20 nm
Precisão do λ	
UV/VIS	± 0,080 nm
IV Próximo	± 0,300 nm



Figura 3.3 – Espectrofotômetro LAMBDA 1050.

Este equipamento possui duas lâmpadas, uma de deutério e outra de tungstênio, que emitem feixes de luz em comprimentos de onda que abrangem grande parte do espectro solar. As medições foram realizadas nos comprimentos de onda de 300 nm a 2500 nm adquirindo dados a cada 5 nm. Segundo Levinson et al. (2010a) este intervalo é suficiente para obter resultados consistentes.

Os valores mensurados foram ajustados para o espectro solar padrão conforme os cálculos descritos a seguir (ASTM E903, 2012):

a) a refletância na banda espectral medida em porcentagem é transformada num valor adimensional dividindo-se o valor obtido por 100;

b) a irradiação do espectro solar padrão é obtida pelo produto da refletância espectral para cada comprimento de onda pela irradiação solar global espectral (obtida da ASTM G173-03) conforme mostrado pela Equação 3.1;

$$G_{(\lambda)Refletida} = \rho_{(\lambda)} \cdot G_{(\lambda)} \quad [\text{Equação 3.1}]$$

Onde:

$G_{(\lambda)Refletida}$ é a irradiação solar global espectral refletida pela amostra ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$);

$\rho_{(\lambda)}$ é a refletância espectral da amostra (adimensional);

$G_{(\lambda)}$ é a irradiação solar global espectral ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$).

c) a irradiação refletida é então integrada no intervalo de comprimento de onda desejado (no caso o 5 nm) por meio da Equação 3.2;

$$I_{(\lambda_{x-y})Refletida} = \left[\frac{G_{(\lambda_y)Refletida} + G_{(\lambda_x)Refletida}}{2} \right] \cdot (\lambda_y - \lambda_x) [\text{Equação 3.2}]$$

Onde:

$I_{(\lambda_{x-y})Refletida}$ é a intensidade de irradiação solar global refletida pela amostra no intervalo (W/m^2);

$G_{(\lambda_y)Refletida}$ é a irradiação solar global refletida pela amostra no comprimento de onda y, ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$);

$G_{(\lambda_x)Refletida}$ é a irradiação solar global refletida pela amostra no comprimento de onda x, ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$);

λ_y é o comprimento de onda y (nm);

λ_x é o comprimento de onda x (nm), sendo $y > x$.

d) em seguida integra-se a irradiação global para o intervalo dos dados fornecidos pela ASTM G173-03 através da Equação 3.3;

$$I_{(\lambda_{x-y})} = \left[\frac{G(\lambda_y) + G(\lambda_x)}{2} \right] \cdot (\lambda_y - \lambda_x) \quad [\text{Equação 3.3}]$$

Onde:

$I_{(\lambda_{x-y})}$ é a intensidade de irradiação solar global no intervalo (W/m^2);

$G(\lambda_y)$ é a irradiação solar global no comprimento de onda y ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$);

$G(\lambda_x)$ é a irradiação solar global no comprimento de onda x ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$);

λ_y é o comprimento de onda y (nm);

λ_x é o comprimento de onda x (nm), sendo $y > x$.

e) assim, calculando-se o quociente da soma das intensidades de irradiação refletida pela soma das intensidades de irradiação global obtém-se a refletância solar ajustada ao espectro padrão. A Equação 3.4 apresenta a fórmula já transformando o valor em porcentagem.

$$\rho_{solar} = \left(\frac{\sum I_{(\lambda_{x-y})\text{Refletida}}}{\sum I_{(\lambda_{x-y})}} \right) \cdot 100 \quad [\text{Equação 3.4}]$$

Onde:

ρ_{solar} é a refletância solar ajustada (%);

$\sum I_{(\lambda_{x-y})\text{Refletida}}$ é a intensidade de irradiação solar global refletida pela amostra no intervalo (W/m^2);

$I_{(\lambda_{x-y})}$ é a intensidade de irradiação solar global no intervalo (W/m^2).

3.2.3 Teste em campo com as lonas

Nos testes de campo utilizando o método da ASTM E1918 (2016), que será discutido na Etapa III, normalmente as condições de tempo são

fatores de grande influência e podem afetar os resultados da refletância. Contudo, em vista que se testará a influência da presença de nuvens, optou-se por verificar duplamente os resultados da refletância através de um material que pudesse ser testado em campo e em laboratório com maior facilidade do que amostras de telha.

Após a execução de algumas medições preliminares se percebeu que não seria possível retirar amostras suficientes da telha sem substituir uma ou mais folhas de fibrocimento, gerando custos à Universidade. Assim se decidiu utilizar uma lona branca e outra preta, considerando os extremos de alta e baixa refletância, e que foram dispostas sobre uma cobertura para realização do ensaio através da norma ASTM E1918 (2016) e posteriormente levadas até o laboratório e ensaiadas num espectrofotômetro.

Foram realizadas doze medições separadas em quatro dias distintos: 1) céu claro e sem nuvens; 2) céu claro e poucas nuvens; 3) céu claro com muitas nuvens; e 4) céu completamente nublado. Para cada dia foi verificada a refletância da cobertura seguida da lona branca e da lona preta.

As lonas utilizadas foram adquiridas novas e possuem uma forma quadrada de aproximadamente cinco metros de lado de maneira a atender as condições de área mínima de superfície sob o sensor definidas na ASTM E1918 (2016). Os testes ocorreram pela mensuração de um ponto na cobertura do DMPI sendo seguido pela inserção da lona preta e depois da lona branca, e coletando novamente o valor da refletância da cobertura.

Repetiu-se a análise para a cobertura como forma de verificar se houve alteração entre as refletâncias devido a diferença de horário entre os testes. De fato, o período dos testes é curto, mas a instalação da lona

na superfície demandou, em alguns casos, mais tempo do que o previsto, devido a existência de ventos e dificuldades de fixação.

Após estes testes amostras das lonas (10 cm x 10 cm) foram confeccionadas e levadas ao laboratório para serem testadas num espectrofotômetro, verificando as diferenças entre as refletâncias obtidas em laboratório e em campo.

3.2.4 Teste em campo da verificação da refletância em função das demãos

Para a realização deste teste foi necessário planejar as medições durante o processo de pintura de uma cobertura de maneira que fosse possível verificar os valores da refletância de uma cobertura nova, de uma cobertura com a primeira demão e assim sucessivamente.

Como o processo ocorreu em mais de um dia, no primeiro se obteve os valores de refletância para a cobertura de fibrocimento nova (sem pintura) e para uma demão. Contudo no dia seguinte as condições de nebulosidade não permitiram a medição na telha com duas demãos. O teste seguinte já foi realizado para a terceira demão de tinta, conforme informado pelo Departamento de Manutenção.

3.2.5 Comparação dos testes de laboratório e de campo

Para as amostras, em razão da ondulação existente na telha instalada em campo, foi feita uma correlação utilizando a pesquisa de Roriz (2007). A refletância (R_{espec}) obtida nos ensaios com o espectrofotômetro ajustada para o espectro solar padrão foi usada para

determinar a absorvância pelas expressões 3.5 e 3.6, para superfícies opacas:

$$\alpha + \rho = 1 \quad [\text{Equação 3.5}]$$

em seguida foi inserida a absorvância (α_1) na expressão 3.6 calculando α_0 .

$$\alpha_0 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + FF_{12} - \alpha_1 \cdot FF_{12}} \quad [\text{Equação 3.6}]$$

Onde:

α_1 – absorvância;

α_0 – absorvância da superfície (incluindo o efeito da forma)

ρ – refletividade do material

FF_{12} – fator de forma da superfície em relação ao seu entorno.

Em posse da absorvância da superfície incluindo o efeito de forma, e recalculando a refletância pela Equação 3.5, é possível comparar as amostras das telhas sem pintura e com pintura.

3.3 AVALIAÇÃO DE ENVELHECIMENTO (ETAPA III)

Esta parte do trabalho avaliou as populações de estudo definidas na ETAPA I com o intuito de obter as refletâncias médias dos pontos das coberturas e compará-las em razão da idade.

De maneira a estabelecer um valor de referência para os valores de refletância envelhecidos obtidos nesta etapa, foi utilizada a equação 2.11 proposta pelo Conselho de Classificação de Coberturas Frias (CRRC, em inglês).

A partir da refletância obtida em campo para uma superfície nova com três demãos foi estabelecido um valor de $\rho_{envelhecida}$ que seria a refletância solar envelhecida padrão para uma cobertura pintada nas condições aplicadas ao longo dos trabalhos de manutenção do DMPI.

3.3.1 Medição da refletância em campo das coberturas de 2013 a 2016

O ensaio seguiu a ASTM E1918 (2016) que apresenta um método de avaliação em campo para medição da refletância de energia solar utilizando piranômetros (medidor de radiação solar). O piranômetro é apoiado numa estrutura que o sustenta acima da superfície. Um multímetro digital é conectado aos equipamentos e mede a tensão (μV) gerada por eles. Cada elemento que compõe a bancada de testes descrito acima é explicado abaixo.

Os dados coletados através deste procedimento normativo foram comparados entre si para a verificar como a refletância foi alterada ao longo dos anos de 2013 a 2016. Contudo como as coberturas escolhidas são de locais diferentes, os testes analisaram, ainda, e se a localização afetou os resultados para coberturas de idade aproximada. Por fim, foi testada a refletância de um ponto ao longo de um ano, entre janeiro de 2016 e fevereiro de 2017.

Junto aos testes nas coberturas de fibrocimento, foram testadas duas coberturas metálicas sendo uma nova, instalada em 2016, e outra envelhecida, de 2005.

3.3.1.1 Piranômetro

Diferente do que enuncia a norma ASTM E1918 (2016), onde a intensidade da radiação solar sobre uma superfície é medida separadamente da refletida, neste trabalho realizou-se a medição simultaneamente - sem a rotação do piranômetro.

Os testes utilizaram dois piranômetros do modelo da marca Kipp&Zonen CMP 21 instalados numa bancada desenvolvida por Marinoski (2013). O uso de dois sensores possibilita a leitura simultânea da radiação global incidente (ondas curtas, W/m^2) e da radiação refletida (ondas curtas, W/m^2) sem a necessidade de intervenção do operador que, segundo o autor, minimiza a chance de erros. A Figura 3.4 mostra o detalhe de instalação dos dois piranômetros.



Figura 3.4– Detalhe de montagem dos dois piranômetros.

A disposição, o que efetivamente é um equipamento denominado albedômetro, diminui ainda o efeito de convecção interna já que não há a necessidade de alternadamente facear o equipamento para cima e para baixo. O efeito de convecção em piranômetros com domos é resultante de trocas de energia não-radiativas entre o sensor-domo e o ambiente, por isso, o uso de um domo duplo criando uma camada amortecedora nesta

troca. O mesmo vale para a radiação trocada entre o sensor e a atmosfera mais fria. Ambos estes fatores são responsáveis pelo efeito não linear entre a irradiação de 100 a 1000 W/m² comparada a irradiação de calibração de 500 W/m² (KIPP&ZONEN, 2013).

A Figura 3.5 apresenta a imagem e o esquema do piranômetro CMP 21. As terminologias apresentadas no esquema foram traduzidas das informações técnicas do fabricante.

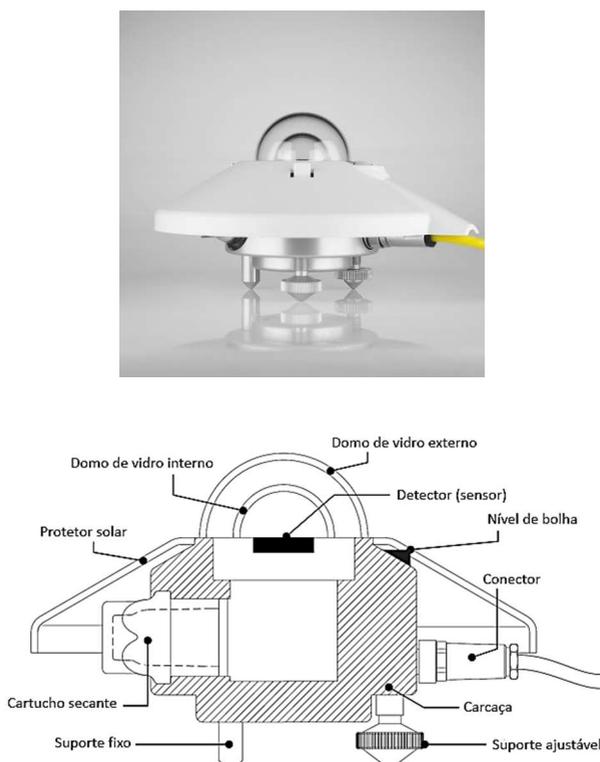


Figura 3.5– Imagem do piranômetro CMP 21 da Kipp&Zonen e o detalhamento construtivo de um corte.

(Adaptado de Kipp&Zonen, 2013)

O modelo apresenta as características técnicas citadas na Tabela 3.3 e comparadas com as recomendações da norma e da Organização Mundial de Meteorologia (sigla em inglês, WMO) (2013). Segundo o fabricante, o modelo CMP 21 é considerado um piranômetro de padrão secundário de acordo com as referências da ISO 9060 (1990).

Tabela 3.3 – Verificação das características técnicas do sensor do piranômetro.

	Sensor		
	Recomendações		Características do Piranômetro (Kipp&Zonen CMP 21)
	Norma ASTM E1918 (2016)	WMO (Alta Qualidade)	
Banda espectral	0,28 μm - 2,8 μm	0,3 μm - 3 μm	0,28 μm - 2,8 μm
Não linearidade	< 0,5% (0 W/m^2 - 1400 W/m^2)	< 0,5% (100 W/m^2 - 1000 W/m^2)	< 0,2% (100 W/m^2 - 1000 W/m^2)
Offset zero A (Trocas Radioativas)	-	< 7 W/m^2	< 7 W/m^2
Offset zero B (Trocas Convectivas)	-	< 2 W/m^2	< 7 W/m^2
Resolução (Menor alteração perceptível)	1 W/m^2	1 W/m^2	1 W/m^2
Resposta a variação de temperatura	-	2% (até 50 °C)	1% (-20 °C - +50 °C)
Domo duplo	Sim	-	Sim
Resposta a inclinação	-	< 0,5%	< 0,2%

3.3.1.2 Bancada

As medições de referência em campo foram realizadas utilizando a bancada construída por Marinowski (2013). A bancada possui a função

de distanciar o piranômetro da superfície projetando-o de maneira que os suportes gerem o mínimo de interferências nas medições da intensidade da radiação solar.

A montagem deve garantir que a posição do piranômetro inferior seja no mínimo de 50 cm acima da superfície. Um afastamento superior abrangeria uma área de visualização (fator de forma) superior podendo incluir irradiações de superfícies indesejáveis.

Portanto, de fato, pode-se dividir o aparato em duas partes principais:

- a) bancada constituída de quatro apoios reguláveis com estrutura para a instalação de uma mesa onde ficará o sistema de aquisição de dados e encaixe e travamento do braço; e
- b) braço metálico com suporte para os piranômetros numa das extremidades do tubo e contrapeso na outra.

Em seguida é apresentada uma imagem do modelo proposto na norma ASTM E1918 (2016) – Figura 3.6 - e a bancada construída por Marinovski (2013) – Figura 3.7.

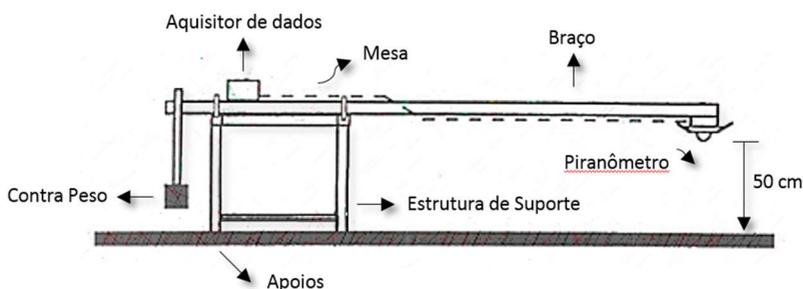


Figura 3.6 – Elevação esquemática do suporte, braço de suporte, contrapeso e piranômetro

(Adaptado da norma ASTM E1918, 2016).



Figura 3.7– Vista da bancada montada no solo.

3.3.1.3 Leitor de dados

A leitura dos dados foi feita através de um multímetro ligado aos dois piranômetros. Primeiro foram verificados os valores do equipamento faceado para cima (I_i) e logo em seguida, realizou-se a medição do piranômetro voltado para baixo (I_r).

Onde I_i é a *irradiação solar incidente* e I_r é a *irradiação solar refletida*. A relação (R_{E1918}) que representa a *refletância solar medida segundo o método da ASTM E1918* será $R_{E1918} = I_r/I_i$.

Inicialmente os registros foram obtidos sequencialmente em intervalos de dois minutos ao longo de 30 minutos, contudo após as primeiras análises percebeu-se que o intervalo entre a coleta dos dados poderia ser reduzido para um minuto sem qualquer prejuízo aos resultados. No total foram coletadas 15 medidas por ponto, totalizando 45 registros para obter uma refletância média da superfície. Cabe acrescentar que, nas condições estabelecidas na ASTM E1918 (2016), em razão da

estabilidade das irradiações, dez valores de irradiação incidente e refletida são suficientes

Os dados foram anotados na planilha demonstrada na Figura 3.8. A tabela possui dois quadros principais que descrevem o local da medição e as condições gerais do dia. Ao lado existem três grupos, um para cada ponto, com espaço para 15 registros, a hora de anotação de cada um e os valores obtidos do multímetro. São dois piranômetros – P959 faceado para a cobertura e P960 para o céu.

REGISTRO DE MEDIÇÃO													
Dados da Edificação		Ponto 1				Ponto 2				Ponto 3			
		Registro	Hora	P959 (Cobertura)	P960 (Céu)	Registro	Hora	P959 (Cobertura)	P960 (Céu)	Registro	Hora	P959 (Cobertura)	P960 (Céu)
Centro:	Unidade:	1				1				1			
Setor UFSC:	Nome:	2				2				2			
Número Pav.:	A_{ext} :	3				3				3			
A_{int} :	Águas:	4				4				4			
Tipo Cobertura:	Ano Pintura:	5				5				5			
Inclinação [°]:	Inclinação [%]:	6				6				6			
Condições do dia		7				7				7			
Data:		8				8				8			
Hora de início:		9				9				9			
Hora de fim:		10				10				10			
Céu:		11				11				11			
		12				12				12			
		13				13				13			
		14				14				14			
		15				15				15			
Descrição Geral da Superfície no entorno de cada ponto		:											

Figura 3.8 – Tabela para registro das medições.

Durante o ensaio é realizada a leitura inicial da irradiação solar e num intervalo não superior a 5 segundos é coletada a medida da irradiação refletida. Os valores produzidos pelo piranômetro são em mVDC e para a verificação dos valores utilizou-se um multímetro do digital do modelo Agilent 3497A.

A conexão dos equipamentos foi realizada através de dois cabos que saem dos sensores e são ligados ao multímetro por meio de um par de cliques tipo “jacaré” (Classificação CAT III 1000V, 15A).

Esta tensão medida, quando multiplicada pela sensibilidade do piranômetro na unidade de Watts por metro quadrado por microvolt ($W/m^2/\mu V$) fornece a radiação em Watts por metro quadrado (W/m^2).

A constante de calibração dos piranômetros é determinada principalmente pelas propriedades físicas do detector térmico interno, segundo o fornecedor do equipamento, a condutividade térmica das peças internas, a potência termoelétrica e as dimensões do elemento sensível influenciam na sensibilidade. A Tabela 3.4 – Sensibilidade (constante) dos sensores apresenta os valores que estão especificados no certificado de calibração do equipamento.

Tabela 3.4 – Sensibilidade (constante) dos sensores

Piranômetro	Piranômetro	$\mu V/W/m^2$	$W/m^2/\mu V$	$W/m^2/\mu V$
CMP 21	P959	8,74	$1144,16 \times 10^{-4}$	0,114416
CMP 21	P960	11,31	$884,17 \times 10^{-4}$	0,088417

3.3.1.4 Procedimentos Adotados

Respeitando-se o fato de que a distribuição espectral de I_i e o ângulo de incidência θ_z dos raios solares, ambos variam com a hora do dia e o dia do ano observou-se, segundo metodologia apresentada, o intervalo horário em que as medições se aproximam mais das condições estabelecidas em norma.

Os ensaios foram realizados no ano de 2016 e início de 2017. O intuito foi realizar a maior parte dos estudos entre janeiro e março de 2016 quando os valores de irradiação são mais elevados e o ângulo de incidência solar for menor que 45° .

Contudo em virtude da dificuldade logística de obter acesso as coberturas, movimentar os equipamentos, instalá-los e realizar os testes, a realização de mais de um teste por dia foi extremamente difícil, o que prolongou a duração dos experimentos até fevereiro de 2017.

Cada superfície foi previamente escolhida e visitada com antecedência onde foram demarcadas as áreas de análise. Cada área admite um círculo de quatro metros de diâmetro medido a partir do centro da projeção do sensor na cobertura conforme estabelece a norma ASTM E1918 (2016).

Os procedimentos recomendados pela norma ASTM E1918 (2016) estão citados abaixo com uma breve explicação teórica:

- a) cobrimento de nuvens e neblina tornam as medições instáveis – o horizonte de visualização do sensor deve estar desimpedido de qualquer cobertura de nuvens;
- b) irradiação solar total deve ser no mínimo 70% da irradiação solar ao meio dia – a norma especifica que o ângulo de incidência máximo de 45° , delimitando os horários disponíveis para realização da medição, normalmente entre 9h e 15h no horário solar local;
- c) a área de aferição não pode estar sombreada por outro corpo que não seja o sensor ou o braço de suporte – qualquer interferência de sombras afetará a irradiação direta recebida pela superfície e consequentemente sua reflexão;

- d) paralelismo entre o sensor e a superfície analisada – de forma a manter um afastamento uniforme do piranômetro e da superfície estudada;
- e) intervalo entre a medição da irradiação total e a refletida não pode ser maior que 2 minutos – pelo fato de que um intervalo superior, mesmo em condições climáticas estáveis, suscitaria diferenças na irradiação global incidente afetando a relação final. Este problema foi evitado pela utilização da composição de dois piranômetros proposta por Marinoski (2013);
- f) três áreas de medição com espaçamento entre elas de no mínimo de dez vezes a altura do sensor a superfície – a norma no intuito de caracterizar uma superfície (gerar um valor médio de refletância) propões no mínimo três medições em pontos distintos na tentativa de reduzir a influência das diferenças que um material possui e a que está exposto.

3.3.1.5 Comparação do envelhecimento

Os valores obtidos foram comparados com o esperado pela Equação 2.11, que estima a redução da refletância devido ao envelhecimento, o que possibilitará verificar se as condições estabelecidas pela Comissão de Energia da Califórnia (CEC) adequa-se bem ao uso nas condições onde o campus universitário (UFSC) se encontra.

3.4 AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS CONDIÇÕES DE MEDIÇÃO DE CAMPO (ETAPA IV)

3.4.1 Teste da influência da nebulosidade nos ensaios

A presença de nuvens afeta diretamente os resultados das medições de um piranômetro. A irradiação global incidente diminuiu pela interposição de nuvens que refletem uma parte de volta ao espaço modificando as parcelas de irradiação direta e difusa.

Como a cidade de Florianópolis possui uma nebulosidade média acima de 50% segundo Goulart (1997), com meses de verão apresentando médias acima de 64%, foi verificada se as refletâncias medidas com 1) céu claro e sem nuvens; 2) céu claro e poucas nuvens; 3) céu claro com muitas nuvens; e 4) céu completamente nublado; possuíam uma equivalência que indicasse a viabilidade de se realizar os testes em condições diferentes da norma.

Para tal escolheram-se dois pontos fixos num telhado de fácil acesso e foram realizados quatro testes segundo as condições climáticas estabelecidas acima.

3.4.2 Teste da influência da altura do sensor

A norma ASTM E1918 (2016) estabelece um valor mínimo de 50 cm para a altura do sensor em relação a superfície, valor este que será utilizado, conforme anteriormente citado, ao longo de todas as medições.

Contudo, considerando: a) a imprecisão do instrumento de medida – uma trena; b) a irregularidade da superfície – telhas onduladas; c) montagem da bancada – suportes se apoiam nas ondulações da telha; e d) caimento da cobertura – o que gera pequenas variações no paralelismo

entre a haste e a superfície; este valor pode sofrer pequenas variações. Dessa forma verificou-se como a modificação da altura afetava os valores da refletância.

O teste foi realizado num mesmo ponto e em um único dia de forma sequencial. Assim foi inicialmente medido a refletância a uma distância da superfície de 35 cm, 45 cm, 55 cm e 65 cm. Após estas alturas decidiu-se verificar ainda a refletância a uma altura, inicialmente descartada em razão da proximidade e das sombras do equipamento, de 25 cm.

3.4.3 Teste da variação da refletância em razão do horário

Outra especificação da norma ASTM E1918 (2016) é quanto ao horário em que a radiação esteja no mínimo a 70% de seu valor máximo ao meio dia, ou seja, das 9h até as 15h do horário local. Nos dias de inverno a norma estabelece um intervalo das 10h até as 14h.

Assim, foram realizados dois testes, um em 28 de março de 2016, começando aproximadamente às 16h e seguindo até a influência de sombras e instabilidade nos dados; e outro em 2 de julho de 2016, iniciando-se às 15h e indo até o limite da incidência de radiação. Em ambas as situações foram iniciadas as mensurações logo após o horário determinado na norma ASTM E1918 (2016) e verificada a variação da refletância ao longo dos horários.

3.4.4 Teste da uniformidade entre piranômetros

A ASTM E1918 (2016) inclui a necessidade do sensor possuir um domo duplo para minimizar os efeitos convectivos originados do movimento de alteração da sua posição – para o céu e para a cobertura.

Contudo, o modelo adotado possui dois piranômetros fixos nestas posições, e cada um possui um fator de sensibilidade diferente. Apesar de se ter estabelecido uma posição padrão ao longo de todos os testes, verificou-se a relação entre os dois sensores através da rotação do braço metálico de suporte de maneira a realizar as leituras da irradiação solar incidente para cada um.

O teste foi realizado de forma separada em 13 de janeiro 2017 nas condições estabelecidas na norma ASTM E1918 (2016). Assim, inicialmente tomava-se o valor da irradiação solar incidente (I_{iP959}) para o piranômetro P959 e num intervalo inferior a um minuto, girando o braço de suporte, mediu-se a irradiação solar incidente (I_{iP960}) para o piranômetro P960. A relação entre ambos (I_{iP959}/ I_{iP960}) deve ser, idealmente, igual a um.



4 RESULTADOS

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS (ETAPA I)

4.1.1 Obtenção de um mapa atualizado da UFSC

Diante da grande área abrangida pelo campus se buscou inicialmente um mapa atualizado (Figura 4.1) contendo as edificações e infraestrutura. A Coordenadoria de Planejamento da UFSC concedeu o cadastro técnico atualizado do campus, contendo todas as edificações e espaços existentes.

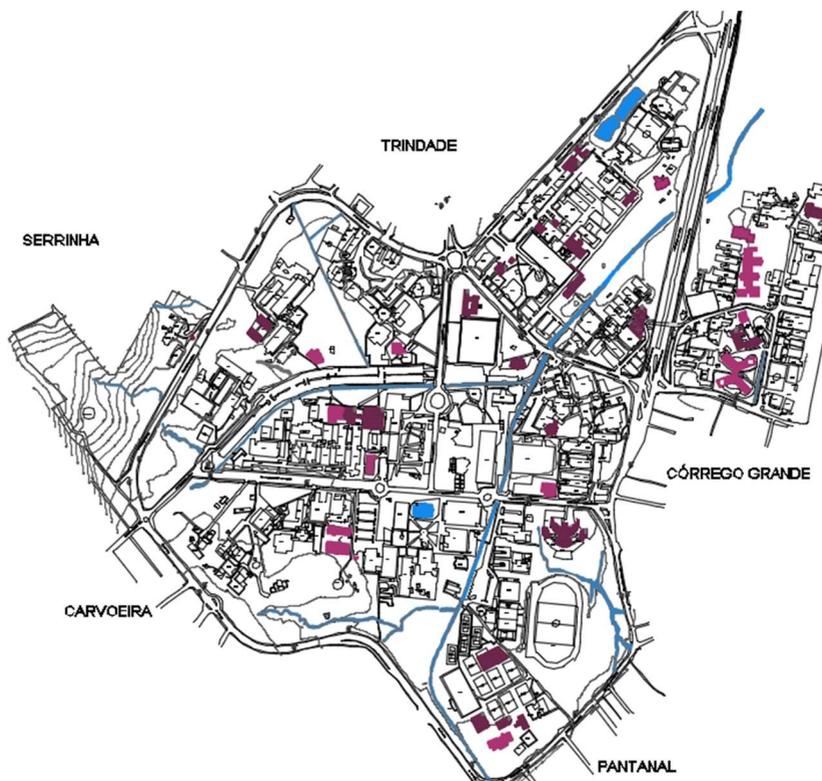


Figura 4.1 - Mapa atualizado em 2014 do campus da UFSC.

4.1.2 Verificação dos registros de pintura e tipo de tinta utilizados ao longo dos últimos anos

Junto ao Departamento de Manutenção Predial da UFSC resgataram-se os registros das coberturas que haviam sido pintadas ao longo dos últimos três anos. Conforme os registros do DPMI/UFSC os serviços ocorreram entre 2013 e 2016.

As informações estavam difusas em planilhas separadas por Centros e foi necessária uma organização prévia num só documento, separando as intervenções realizadas por ano e local. Estas informações, uma vez estabelecidas, foram inseridas no mapa apresentado na Figura 4.2 servindo de resumo gráfico da localização das edificações que sofreram intervenção em suas coberturas.

Os dados foram verificados e ratificados através do software livre Google Earth (2015) que apresentava atualização recente de 27 de agosto de 2015 com qualidade de imagem suficientemente boa para identificar as áreas com aparência mais clara das superfícies em análise.

É oportuno destacar que se excluiu desta análise todos os serviços de lavação, limpeza e substituição de coberturas detendo a atenção as que, exclusivamente, foram pintadas. Usualmente a pintura é a última parte do serviço, ocorrendo, em ordem sequencial, mas nem sempre integral, às seguintes etapas - recuperação de partes da estrutura, substituição das telhas defeituosas ou de toda cobertura, lavação e pintura.

Na Tabela 4.1, portanto, apresenta-se um trecho resumido da tabela elaborada com as informações das edificações que tiveram interferências em suas coberturas. A tabela completa encontra-se no apêndice deste trabalho.

Tabela 4.1 – Cadastramento com as informações pertinentes das edificações da população de estudo.

Localização			Características Construtivas		
Centro	Unid.	Nome	A. Cob. [m ²]	Tipo Cobertura	Mês/Ano Pintura
Centro de Ciências Biológicas	CCB21	Bl. A MIP	526,91	Fibrocimento Canalete 8 mm	Jan/14
	CCB29	Bl. B ECZ/BEG	525,93	Fibrocimento Canalete 8 mm	Jan/14
	CCB31	Bl. C Bioquímica	525,93	Fibrocimento Canalete 8 mm	Jan/14
	CCB22	Bl. D Farmacologia	420,74	Fibrocimento Canalete 8 mm	Jan/14

4.1.4 Estabelecimento de uma população de estudo

Com base nas informações das edificações conforme exemplificado na Tabela 4.1, foram selecionadas as coberturas na quais ocorreram os testes de campo. Os fatores que nortearam a escolha tiveram por base, inicialmente, as condições de logística e montagem do equipamento, seguidas dos fatores técnicos como inclinação da cobertura, idade da pintura e tipo de telha.

A sequência adotada para a escolha está ordenada abaixo junto com suas justificativas:

- a) facilidade de acesso à cobertura - é o primeiro fator em razão de que a movimentação e montagem do equipamento demandam uma extensiva preparação, incluindo transporte das partes do equipamento e escada;
- b) idade da pintura;
- c) inclinação da cobertura – um fator limitante na norma ASTM E1918 (2016) e na montagem do equipamento;
- d) acesso ao espaço nos finais de semana - o tempo disponível no meio da semana não era o suficiente para realizar os ensaios ou as condições climáticas não eram ideais;
- e) independência de terceiros - o processo de medição apesar de ser realizado individualmente envolve terceiros na liberação dos espaços, disponibilidade de energia para ligar os equipamentos, abertura de cancelas de estacionamento para chegar até o local com veículos, portanto as edificações que possibilitam acessos aos finais de semana, sem a dependência de outras pessoas, são sempre preferíveis.

Dessa forma escolheram-se cinco locais que se enquadravam pelo menos em parte nesses quesitos. Estes estão destacados, pelos círculos azuis, no mapa da Figura 4.3.

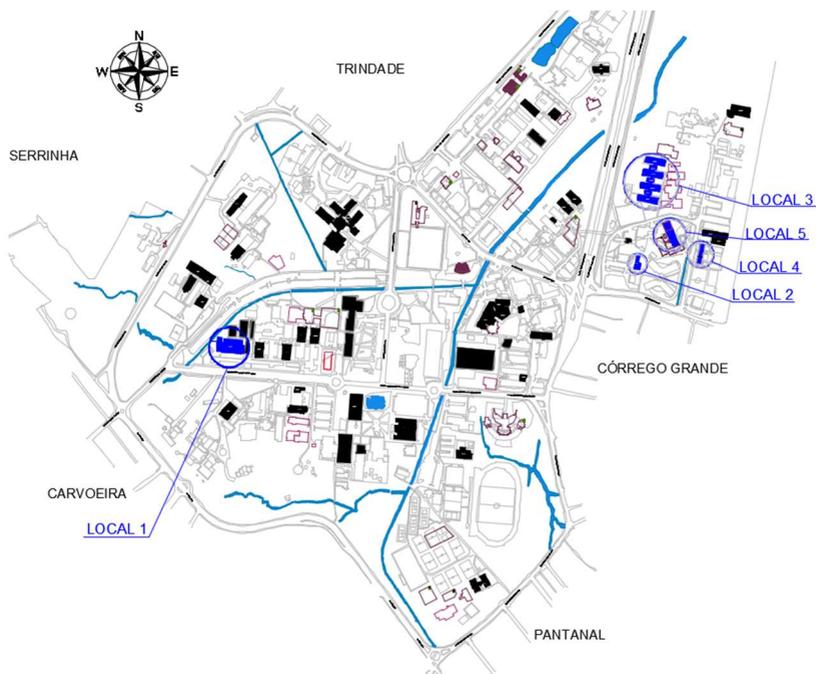


Figura 4.3 – Mapa do campus universitário (UFSC) com os locais pré-selecionados destacados com um círculo azul.

O primeiro local escolhido, localizado em frente ao Colégio Aplicação não se enquadrava nos quesitos “a”, “d” e “e”, entretanto apresentava uma variedade de coberturas com pinturas que datavam, segundo os registros do DMPI, de 2013. O local ainda passaria por troca de cobertura – o que permitiria verificar a refletância de telhas novas sem pintura – e repintura, possibilitando a verificação da diferença entre a primeira demão e a pintura acabada. O panorama da Figura 4.4 possibilita uma vista geral da área.



Figura 4.4 - Panorama do local 1 (CCB).

O segundo local se enquadrou em todos os quesitos pré-estipulados, e pela facilidade de acesso foi o ponto de teste utilizado para realizar os principais ensaios de limite da norma, isto é, verificar a influência da nebulosidade nas medições; verificar a influência da altura do sensor do piranômetro nos resultados; testar os limites de tempo estipulados na norma ASTM E1918; medir a refletância das lonas e do tecido. O local ainda incluía a cobertura do Departamento de Projetos (DPAE/UFSC) que foi utilizada para verificação da refletância de uma cobertura antiga.

A Figura 4.5 apresenta a fachada da principal edificação utilizada – DMPI. O espaço situa-se no bairro Córrego Grande próximo ao Departamento de Engenharia Civil e engloba os principais departamentos técnicos da Universidade.

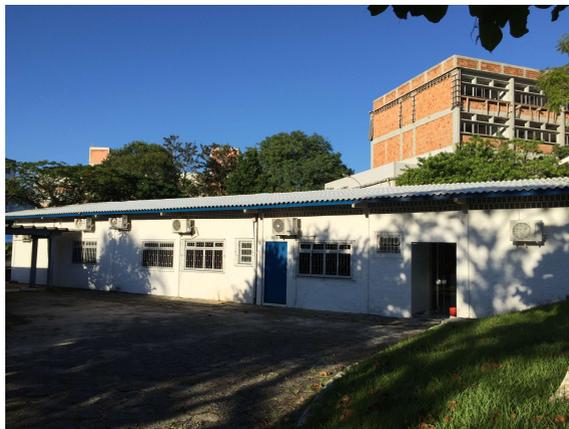


Figura 4.5 - Fachada frontal do local 2 - DMPI.

O local 3 refere-se as quatro edificações do CCB Morfologia. O espaço, próximo ao Biotério da UFSC, abriga diversos laboratórios e salas administrativas, mas foi escolhido por atender a todos os quesitos listados e por que tivera suas coberturas pintadas na mesma época (janeiro 2013), mas com deteriorações muito diferenciadas. Na Figura 4.6 são apresentadas três imagens das edificações sendo a primeira (esquerda) as duas últimas edificações – blocos CCB31 e CCB33 - a da direita, as duas primeiras edificações – blocos CCB21 e CCB29 - contidas na imagem central da fachada.



Figura 4.6 - Fachada das quatro edificações do local 3 - CCB MIP (centro), cobertura das duas últimas edificações (esquerda) e das duas primeiras (direita).

A principal razão da escolha do quarto local – prédio antigo do EQA - foi o estado de deterioração de suas coberturas. O não atendimento ao quesito “a” se deu pela dificuldade de acesso a cobertura – por um pequeno alçapão – entretanto, considerando o fato de que os outros quesitos foram atendidos; e a dificuldade de se encontrar coberturas envelhecidas que garantissem a segurança necessária para a realização, o local foi utilizado para medição. A Figura 4.7 mostra a imagem da edificação.



Figura 4.7 - Vista aérea do local 4- prédio antigo do EQA.

Por último o local número cinco (prédio novo do EQA) foi avaliado. O prédio ainda estava em construção, e por esta razão apresentava cobertura brancas metálica recém instaladas. Esta edificação atendia a todos os quesitos estabelecidos (Figura 4.8).



Figura 4.8 - Vista aérea do local 5 - novo prédio do EQA.

4.2 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE CAMPO E LABORATÓRIO (ETAPA II)

4.2.1 Montagem das amostras de cobertura e de lonas

As amostras de telha foram retiradas de uma folha de fibrocimento armazenada no depósito da empresa responsável pela manutenção das coberturas da UFSC, e apesar de novas, apresentavam na face superior, desprotegida, um escurecimento em relação ao lado posterior. A partir desta constatação se decidiu utilizar o lado mais novo de onde foram extraídas doze amostras.

Estas, em razão do bom estado de coesão e limpeza, receberam apenas uma limpeza superficial com pano umedecido para retirar as poeiras naturais do material e numa segunda etapa foi iniciado o

procedimento de pintura. Utilizou-se ainda três amostras de telhas envelhecidas retiradas de uma telha de fibrocimento que foi trocada.

Foram cortadas, ainda, três amostras de uma telha metálica nova (pintura na fábrica) para possibilitar a comparação das refletâncias obtidas em campo.

A Figura 4.9 apresenta as amostras utilizadas no ensaio, sendo as três primeiras relativas as amostras da telha metálica nova, seguidas de três amostras de telha envelhecida, três de telha nova, três amostras com uma demão, três com duas demãos e três com três demãos de tinta. As medições realizadas nas amostras de telha original foram realizadas em pontos sem inscrições.

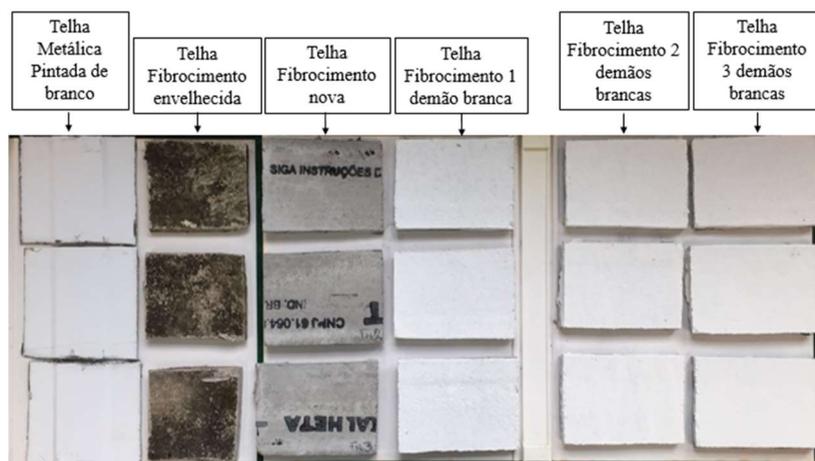


Figura 4.9 - Amostras de telhas metálicas e de fibrocimento utilizadas no ensaio.

Importa destacar que foi tomado um único ponto de cada amostra para a medição da refletância no espectrofotômetro. Nas telhas de fibrocimento nova e sem pintura, os pontos escolhidos evitaram as partes que possuem letras pretas.

4.2.2 Teste das amostras em laboratório

Os resultados dos ensaios com espectrofotômetro foram incluídos num único gráfico (Figura 4.10) com as refletâncias ajustadas para o espectro solar padrão. Optou-se por agrupar as amostras a partir das telhas envelhecidas até as com três demãos com intuito de dar a noção de progressão. As telhas metálicas ficaram separadas no início do gráfico.

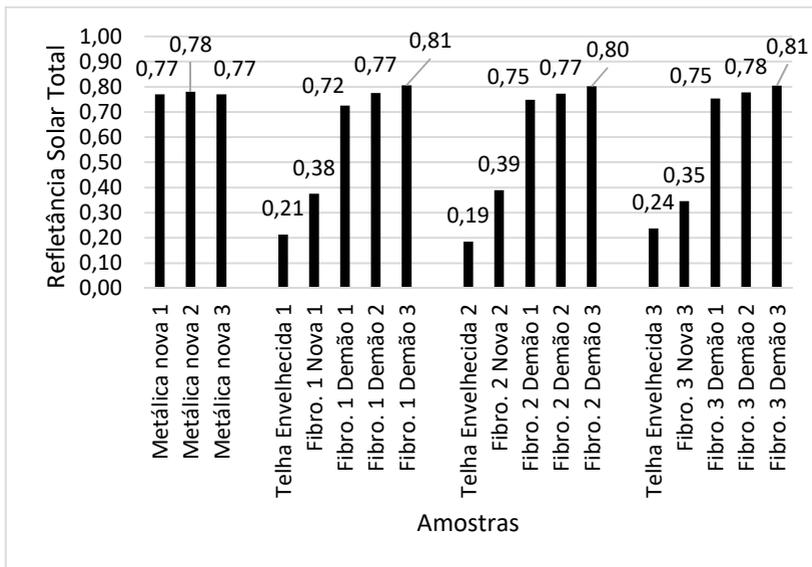


Figura 4.10 – Refletância solar total de amostras de telhas medidas no espectrofotômetro.

Os resultados obtidos mostraram mesmas faixas de valores entre as amostras para cada demão de pintura. Os maiores desvios encontrados nas refletâncias ocorreram para as telhas envelhecidas (0,05), novas (0,04) e primeira demão (0,03). Isso ocorreu pelo fato de que existe uma menor uniformidade nos acabamentos superficiais nestes casos e a

medição num único ponto nem sempre faz uma boa representação da mescla de cores exibida na amostra.

Pode-se concluir que o principal aumento da refletância ocorre após a primeira demão, quando há uma mudança nas características superficiais da amostra. O aumento da refletância após a primeira demão, para as três amostras (Fibro. 1, Fibro. 2 e Fibro. 3), foi de $0,37 \pm 0,03$. Esse aumento após a segunda demão foi de $0,03 \pm 0,02$ e após a terceira demão, de $0,03 \pm 0,01$.

As amostras das lonas foram testadas conforme sequência apresentada no item 3.2.2 e os resultados foram apresentados na Figura 4.11. Os primeiros quatro testes (Preta 1 e 2, Branca 1 e 2) demonstraram que ao utilizar apenas uma folha simples de lona, a transparência do material afetava consideravelmente os resultados da refletância. Na segunda etapa, seguiu-se com a medição de duas folhas brancas de lona sobrepostas (Branca dupla); uma folha branca e outra preta, ambas com a base branca de papelão (Base, Branca + base, Preta + base); e por último a lona Branca mais uma telha com três demãos.

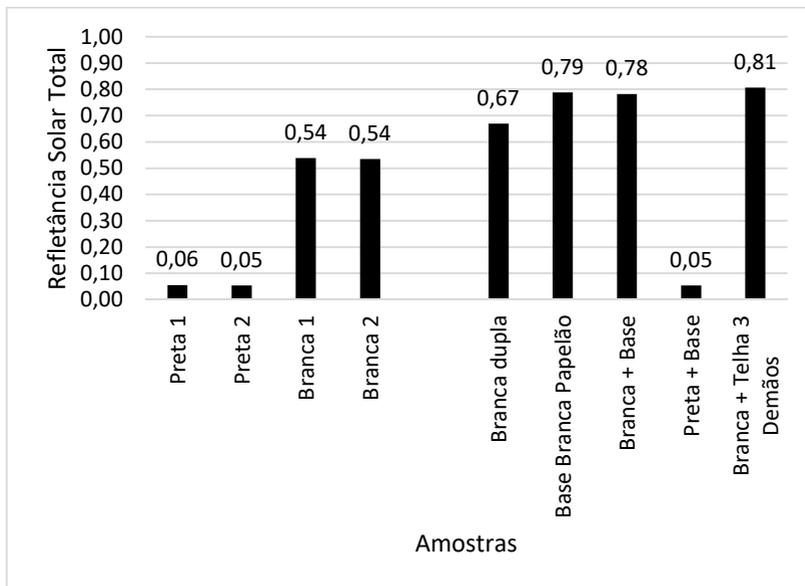


Figura 4.11 - Refletância solar total das amostras de lona testadas em laboratório.

Ao variar o material abaixo das lonas foi observado um acréscimo na refletância solar total demonstrando que a composição do material apresenta um índice de transparência. Portanto, o ensaio com o espectrofotômetro evoluiu alterando o material abaixo da lona, mas mantendo a mesma amostra de lona branca como acabamento. Os resultados mostraram que de uma refletância inicial de 0,54 (sem base), a mesma amostra atingiu 0,81 com uma telha pintada com três demãos de branco como base. Este foi o valor de referência para a comparação com as refletâncias das lonas obtidas em campo.

4.2.3 Teste em campo com as lonas

O teste com a lonas foi realizado exclusivamente no ponto 1 da edificação do DMPI (Local 2) em quatro dias com condições climáticas diferentes – céu limpo e sem nuvens, céu com nuvens esparsas, céu com muitas nuvens e céu nublado sem aberturas – adaptadas no teste para avaliação da interferência da nebulosidade na refletância. A Tabela 4.2 apresenta os dados da edificação e a Figura 4.12 mostra as imagens do teste num dia sem nuvens assim como uma planta de cobertura e a orientação da superfície.

Tabela 4.2 - Dados da edificação do DMPI.

Centro:	DMPI	Unidade:	ETU02
Setor UFSC:	01D	Nome:	Depto. Manutenção Predial e Infra.
Número Pav.:	1	A_{tot} [m²]:	266,00
A_{cob} [m²]:	266,00	Águas	2
Tipo Cobertura:	Fibrocimento Ondulada 8 mm	Ano Pintura:	jan/14
Inclinação [°]:	7,34	Inclinação [%]:	12,9

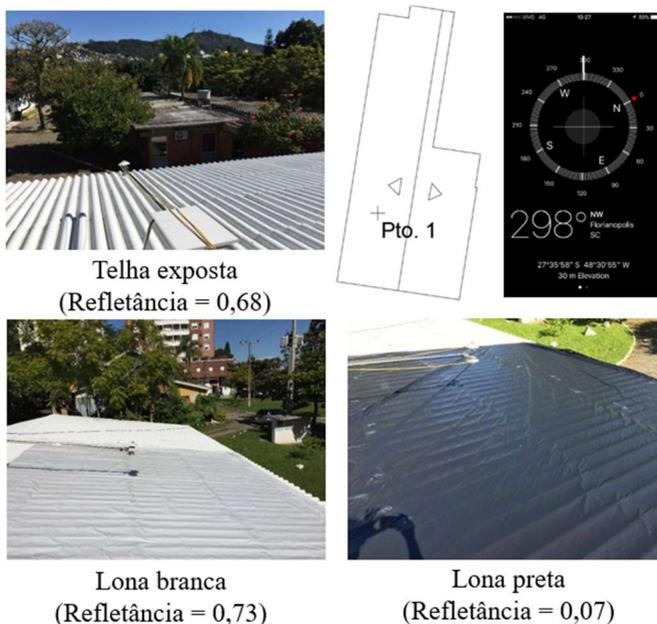


Figura 4.12 - Imagens dos testes com lonas realizado no ponto 1 do local 2 (DMPI).

A sequência das análises, portanto, ocorreu com a tomada de cinco leituras de irradiação da cobertura (telha exposta), dez leituras com uma lona branca sobre a telha, seguindo de mais dez leituras para lona preta sobre a telha e mais cinco para a cobertura (telha exposta). A seguir são apresentados os gráficos (Figura 4.13 a Figura 4.16) contendo as refletâncias da cobertura, lona branca e preta para as quatro situações de condições de céu estudadas.

Pode-se perceber inicialmente que apesar das diferentes irradiações incidentes e refletidas, principalmente para o dia de céu nublado, as refletâncias calculadas apresentam valores equivalentes como pode ser percebido na Tabela 4.5 e representação gráfica na Figura 4.17.

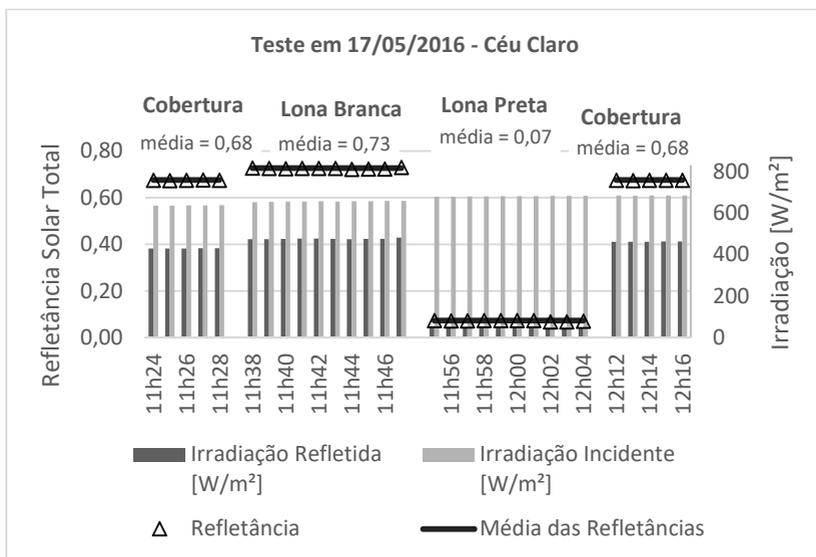


Figura 4.13 - Irradiações e refletâncias da cobertura, lona branca e preta para as condições de céu claro e sem nuvens.

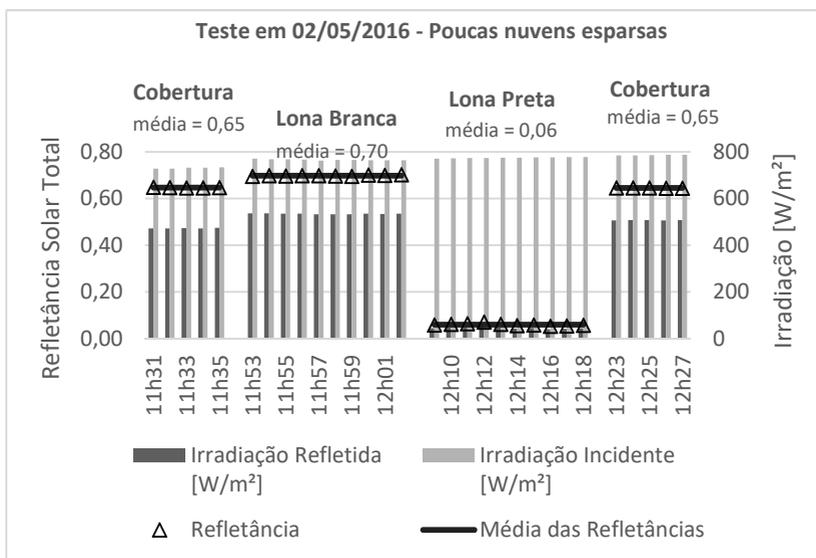


Figura 4.14 - Irradiações e refletâncias da cobertura, lona branca e preta para as condições de céu com nuvens esparsas.

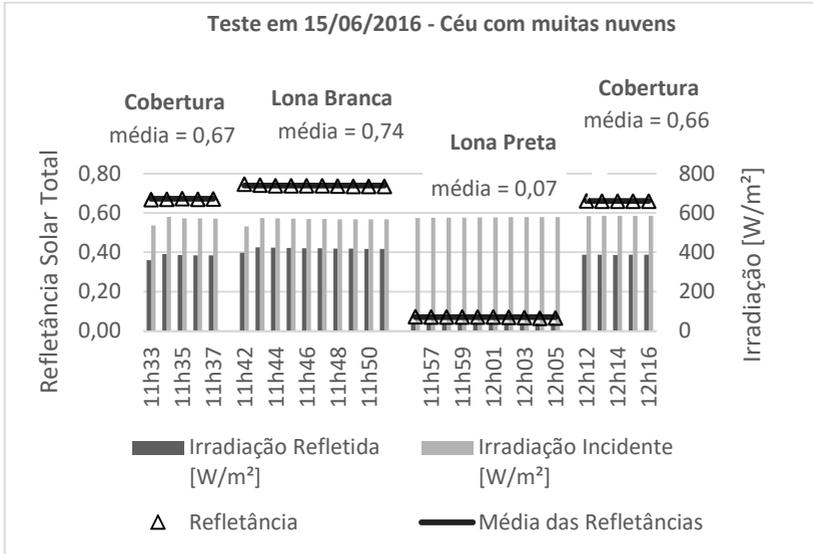


Figura 4.15 – Irradiações e refletâncias da cobertura, lona branca e preta para a condição de céu com muitas nuvens.

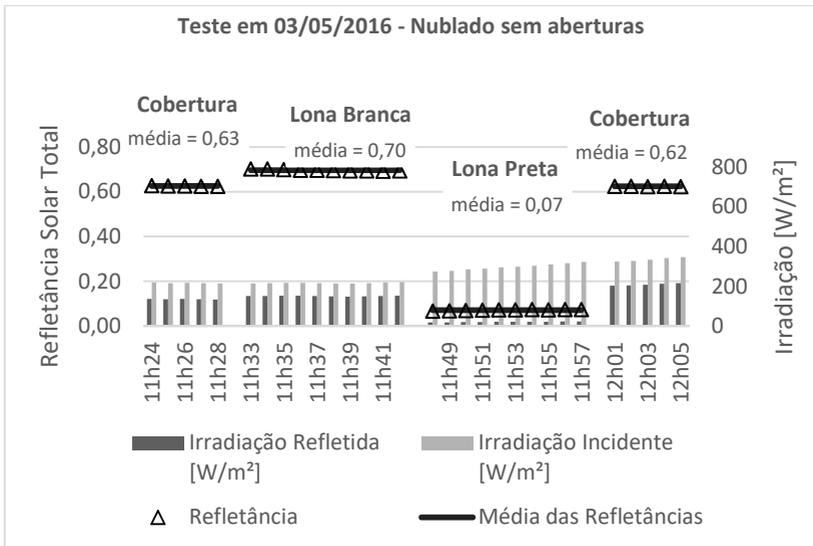


Figura 4.16 - Irradiações e refletâncias da cobertura, lona branca e preta para as condições de céu nublado sem aberturas.

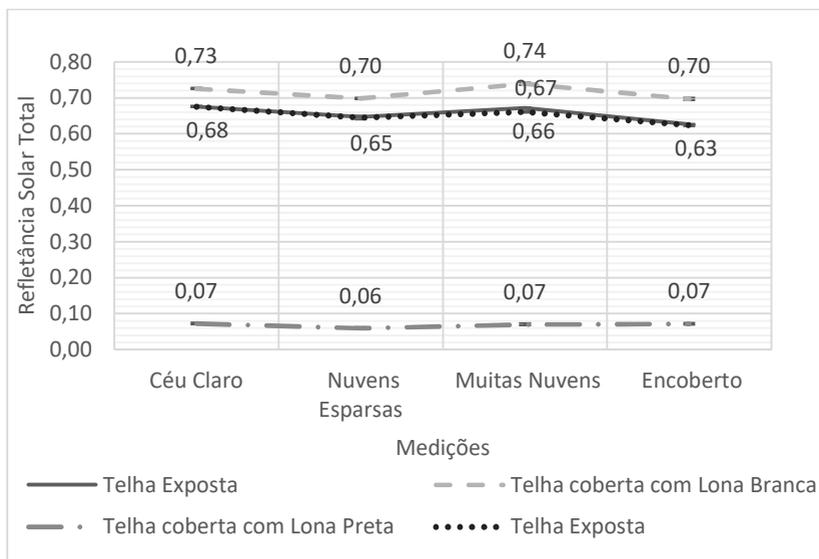


Figura 4.17 - Comparação das refletâncias médias para as lonas branca e preta e para cobertura em função das condições climáticas.

Ao comparar a dispersão dos resultados das refletâncias médias da cobertura, lona branca e preta nos seus respectivos grupos para as condições climáticas testadas, os valores mostram que:

- o teste realizado nas lonas brancas apresentou uma diferença máxima de 0,04;
- para a lona preta a diferença foi de 0,01; e
- para os valores da cobertura a diferença foi de 0,05.

Outra comparação importante é entre a refletância obtida em campo nas condições da norma ASTM E1918 (R_{E1918}) e a da lona branca obtida em laboratório com a telha com três demãos servindo de base ($R_{ESPEC \text{ Lona Branca} + \text{Telha 3D}}$). Esta diferença $|R_{E1918\text{campo}} - R_{ESPEC \text{ Lona Branca} + \text{Telha 3D}}| = 0,08$ é consequência das características das bases. Primeiro, a telha com três demãos utilizada como base no teste de laboratório possui

uma refletância de 0,81 enquanto a refletância da cobertura de campo é 0,73; segundo, os efeitos de inter-reflexão da irradiação nas ondulações da telha reduzem a refletância que atinge o sensor do piranômetro.

A lona preta teve um aumento em torno de 0,01 na refletância testada em campo. Neste caso a transparência da lona teve pouca influência na refletância em razão de sua alta absorção, ou seja, pouco da irradiação que atravessa a lona e é refletido pela cobertura abaixo consegue retornar ao sensor.

4.2.4 Teste em campo da verificação da refletância em função das demãos

No decorrer do trabalho algumas áreas estavam passando por um processo de revitalização e conseqüente manutenção das coberturas como foi o caso do Centro de Ciências Morfológicas - CCB. Dessa forma realizou-se o teste para as coberturas novas, coberturas com uma demão e com três demãos. No período programado para a medição da refletância da segunda demão as condições do tempo não satisfizeram as exigências da norma ASTM E1918 (2016).

A Figura 4.18 apresenta os pontos escolhidos no CCB09c para a realização deste teste, sendo necessário esclarecer que o teste foi dividido em dois dias em razão das condições meteorológicas e do procedimento de pintura. Assim, o ponto 1 refere-se a refletância de uma telha de fibrocimento nova sem pintura, os pontos dois e três representam a refletância após a primeira demão, e do quarto ao sétimo a refletância da cobertura após três demãos. Os pontos 1, 2, 5 e 7 tiveram suas refletâncias verificadas na direção oposta a incidência solar com o intuito de verificar

se esta posição afetaria os resultados das refletâncias em relação ao melhor posicionamento definido em norma.



Figura 4.18 - Planta de cobertura com localização e imagem dos pontos escolhidos – CCB09c.

A Figura 4.19 apresenta os resultados das refletâncias obtidas para os sete pontos verificados de forma evolutiva, ou seja, a partir da telha sem acabamento até a telha com três demãos.

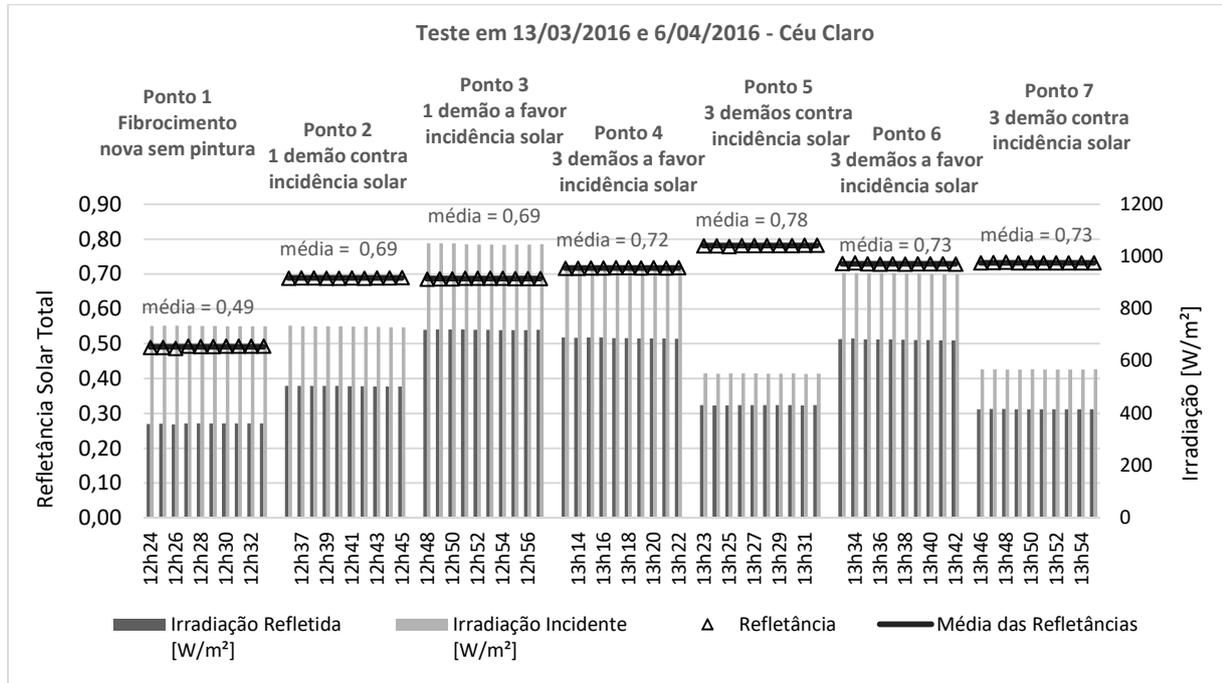


Figura 4.19 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1 ao 7 em ordem de evolução de pintura para o local 1.

Observou-se que apesar da mudança na orientação do sensor a refletância média do ponto 2 e do ponto 3 permaneceram constantes: 0,69. Isso indica que esta mudança de posição não influi na refletância quando atendidas as condições climáticas da norma ASTM E1918 (2016). Para os pontos 4, 6 e 7 as respectivas refletâncias médias foram de 0,72, 0,73 e 0,73. Todas as médias apresentaram desvio padrão de 0,001.

Observa-se, contudo, que a refletância média obtida para o ponto 5 ultrapassou os valores encontrados nos outros três pontos mesmo com a mesma condição de pintura ($0,78 \pm 0,001$). Como não se identificou qualquer inconsistência nos valores de irradiação ou, visualmente, na camada de pintura, acredita-se que isto se deu em virtude da presença de um equipamento de ar condicionado situado em frente ao sensor (Figura 4.20), mas que não foi percebido no momento dos testes.

O aparelho encontrava-se aproximadamente a dois metros do sensor e num nível mais baixo de maneira que se estabeleceu um certo fator de forma entre ambos os equipamentos. Por menor que fosse esta relação a incidência solar e a tinta branca e metalizada do condensador com alta refletância não podem ser descartados na influência dos resultados. Portanto este ponto 5 será descartado nas análises dos resultados e serão utilizados somente os valores dos pontos 4, 6 e 7.

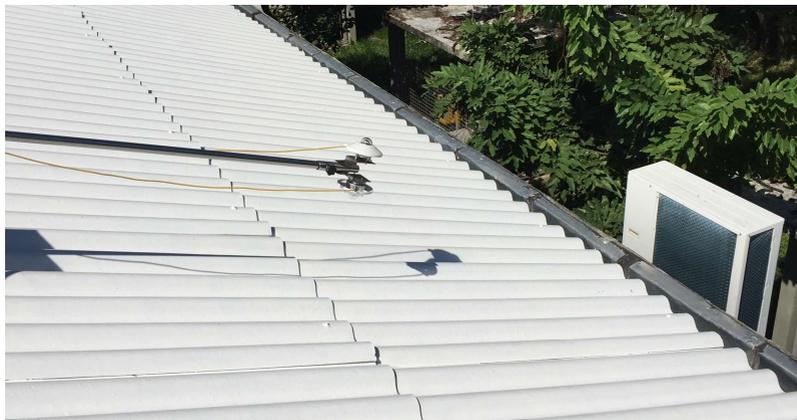


Figura 4.20 – Imagem do ar-condicionado em frente ao sensor.

O gráfico seguinte (Figura 4.21) mostra uma progressão do ganho de reflexão com a pintura da cobertura. Pela apresentação dos dados se percebe um ganho substancial no valor de refletância na aplicação da primeira demão com um incremento menor para a terceira demão, essa tendência reforça o que foi encontrado para as amostras. A razão deste ganho após a primeira demão é a alteração das características superficiais da telha, de um tom cinza sem brilho para uma cor branca brilhosa. As demãos seguintes apenas aumentam a película melhorando o cobrimento e a durabilidade, contudo com ganhos menos significativos no valor de refletância.

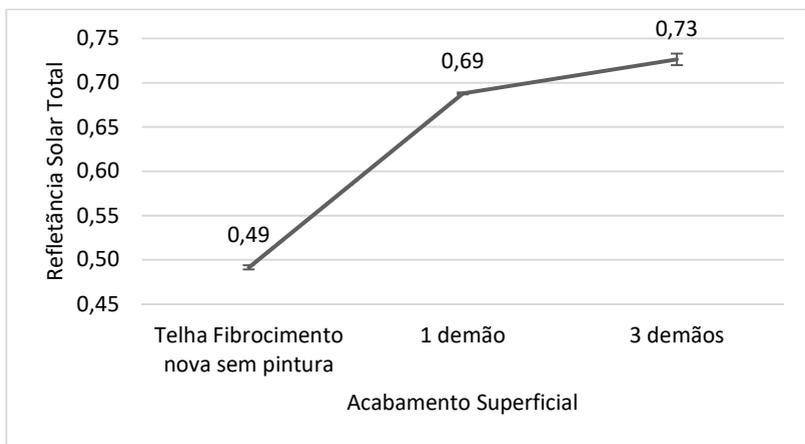


Figura 4.21 – Ganho na refletância média em campo através da pintura.

4.2.5 Comparação dos testes de laboratório e de Campo

Analisando-se comparativamente o processo de pintura de campo e laboratório (amostras Fibro. 1, 2 e 3), percebe-se, inicialmente, uma grande diferença absoluta nas refletâncias. Contudo os valores de laboratório podem ser corrigidos em relação aos efeitos de forma (Capítulo 3.2.5) chegando aos valores apresentados no gráfico da Figura 4.22. Os testes consideraram um fator de forma FF_{12} de 0,77 e abaixo se apresenta um exemplo do uso da equação 3.6 para calcular a refletância da Amostra de Lab. 1 (primeira demão). A absortância (α_1) foi calculada como $1 - 0,72 = 0,28$.

$$\alpha_0 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + FF_{12} - \alpha_1 \cdot FF_{12}} = \frac{0,28}{0,28 + 0,77 - 0,28 \cdot 0,815} = 0,33;$$

Em seguida foi calculado a refletância corrigida para o efeito de forma $1 - 0,33 = 0,67$.

Após estas correções os valores das refletâncias para a primeira demão ficaram mais próximos, contudo ao se analisar o valor após a

terceira demão a indicação é que o cobrimento de tinta das amostras de laboratório foi muito mais efetivo do que em campo. Isso é facilmente percebido ao considerar que a refletância das amostras sem pintura saltou em torno de 0,37 após a primeira demão enquanto em campo o ganho foi de 0,20.

As amostras de laboratório tiveram ainda uma evolução na refletância de 0,02 a 0,06 da primeira para a segunda demão e 0,03 a 0,04 da segunda para a terceira demão enquanto a refletância em campo saltou 0,04 da primeira demão para a terceira. Estas comparações deixaram muito evidente a importância do controle de pintura das telhas, demonstrando que é possível obter melhores refletâncias com a melhora do processo e das condições de aplicação.

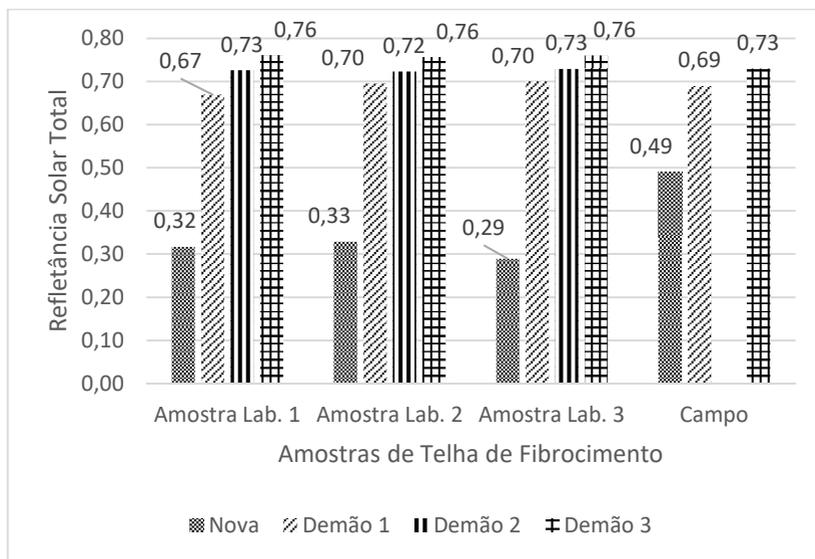


Figura 4.22 - Comparação da refletância solar total das amostras em laboratório e medição em campo.

4.3 AVALIAÇÃO DE ENVELHECIMENTO

A partir dos primeiros dados coletados em campo para uma cobertura nova com três demãos de tinta foi estabelecida a refletância solar envelhecida com três anos segundo o TITLE 24 da Comissão de Energia da Califórnia. Assim, através da equação 2.11, o valor de referência da refletância foi de 0,54.

Observando-se que a refletância solar envelhecida mínima aceita no código de obras da Califórnia (TITLE 24) é de 0,63, o valor de referência calculado fica abaixo o limite estabelecido para uma cobertura fria. Mas para este trabalho, a importância deste dado é referencial. Tem a função de servir de base para se comparar os valores de refletância média, obtidas para as coberturas do campus, com os limites estabelecidos pelo código TITLE 24. Assim, após a medição das refletâncias em campo, a conclusão fará uma análise dos dados em função destes valores.

4.3.1 Medição da refletância em campo das coberturas de 2013 a 2016

4.3.1.1 Telhas envelhecidas (EQA antigo)

Esta edificação foi construída em 1993 e encontra-se no local de número quatro da Figura 4.3, e desde então não passou por manutenção na cobertura de maneira que o cobrimento superficial se acumulou ao longo de 23 anos. A Tabela 4.3 apresenta os dados da edificação enquanto a Figura 4.23 retrata a planta de cobertura com os três pontos escolhidos para as medições. Por fim, a Figura 4.24 apresenta o gráfico com irradiações e refletâncias observadas neste dia e para estes pontos.

Tabela 4.3 - Dados da Edificação do EQA antigo.

Centro:	EQA	Unidade:	CTC24
Sector UFSC:	01C	Nome:	Bloco E - Eng. Química
Número Pav.:	3	A_{tot} [m²]:	899,13
A_{cob} [m²]:	299,71	Águas	2
Tipo Cobertura:	Telha Fibrocimento Ondulada 6,00 m x 8 mm	Ano Pintura:	Aprox. 1993
Inclinação [°]:	17,3	Inclinação [%]:	31,14%

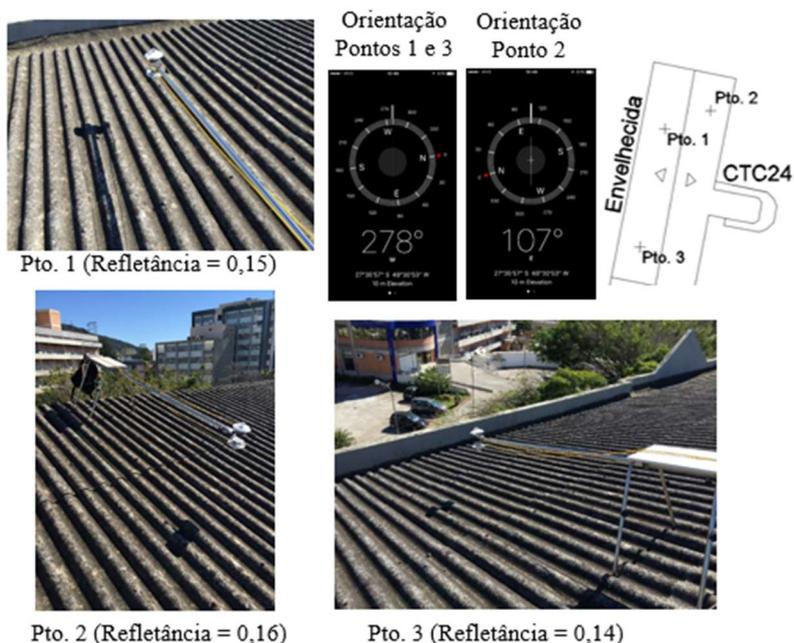


Figura 4.23 - Planta de cobertura do EQA (Local 4) com localização dos pontos e suas respectivas imagens.

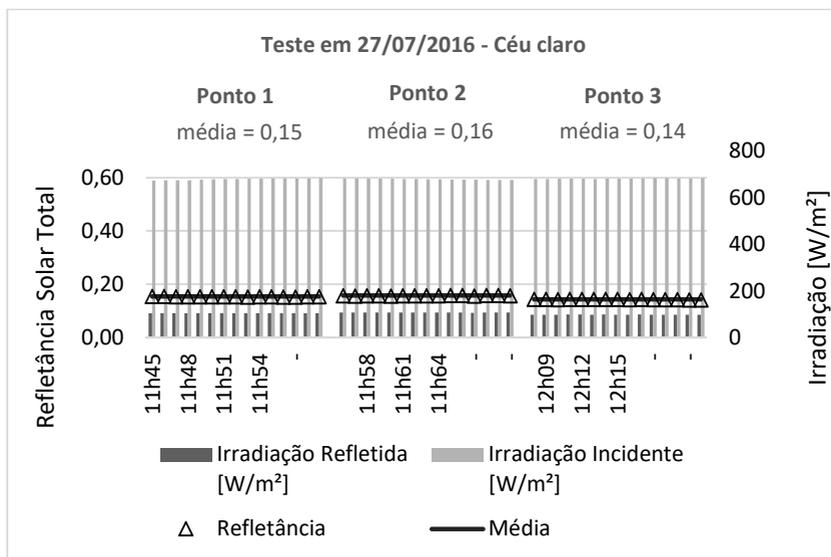


Figura 4.24 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1, 2 e 3 do EQA.

Do gráfico da Figura 4.24 estabelece-se os respectivos valores de refletância média do EQA antigo para os pontos 1 (0,15), para o ponto 2 (0,16) e para o ponto 3 (0,14) resultando numa refletância média da cobertura igual a $0,15 \pm 0,006$.

Comparativamente com os resultados medidos para as amostras de telhas envelhecidas, os valores de campo apresentaram refletâncias absolutas menores. Contudo é aceitável concluir que tais diferenças são normais do processo de envelhecimento, onde as superfícies testadas apresentam idades e locais de exposição distintos. Em síntese, todos os testes (laboratório e campo) foram realizados em superfícies com mais de 20 anos sem manutenção e tiveram uma refletância média de $0,18 \pm 0,03$ [$(0,21 + 0,19 + 0,24 + 0,15 + 0,16 + 0,14)/6$]. Numa comparação com a refletância média (0,37) das amostras de fibrocimento natural novo da (Figura 4.10) isto é uma redução de aproximadamente 50%.

4.3.1.2 Pinturas no ano de 2013 (CCB – Morfologia)

O Centro de Ciências Morfológicas pertence ao CCB e é uma das áreas mais antigas da Universidade e apesar da importância acadêmica seus laboratórios e salas de aulas situam-se em prédios com mais de 30 anos. Nos últimos anos, contudo, houve uma revitalização da área e suas coberturas foram todas substituídas e pintadas de branco.

O centro está situado no local um da Figura 4.3 e apresenta 5 edificações principais das quais quatro foram estudadas, sendo uma delas já apresentada no início deste capítulo, quando se tratou do procedimento de pintura. Dessa forma a Tabela 4.4 apresenta os dados das edificações e a Figura 4.25 retrata um panorama do espaço. Com exceção do CCB05 todas as coberturas foram pintadas em dezembro de 2013 e estavam passando por novos procedimentos de troca de telhas e pinturas.

Tabela 4.4 - Dados das edificações CCB09a e CCB09b.

	CCB09a	CCB09b		CCB09a	CCB09b
Centro:	CCB	CCB	Unid.:	CCB09a	CCB09b
Setor UFSC:	09A	09A	Nome:	Morfologia	Morfologia
Nº Pav.:	1	1	A_{tot} [m²]:	323,4	363,76
A_{cob} [m²]:	323,4	336,68	Águas	2	2
Tipo Cobertura:	Fibrocimento ondulada 8 mm	Fibrocimento ondulada 8 mm	Ano Pintura:	dez/13	dez/13
Inclinação [°]:	31,1	31,1	Inclinação [%]:	60,80%	60,80%



Figura 4.25 - Panorama do local 1 com planta de cobertura e características dos espaços.

Os pontos do CCB09a tiveram a mesma orientação no intuito de evitar a influência de árvores altas que estavam junto a edificação, contudo isso os colocou na água oposta a incidência do sol. Já para o CCB09b a escolha dos pontos foi mais simples em razão de não apresentar interferências no entorno. A Figura 4.26 apresenta as imagens dos pontos e suas orientações. A Figura 4.27 e Figura 4.29 apresentam o gráfico das irradiações e refletâncias.

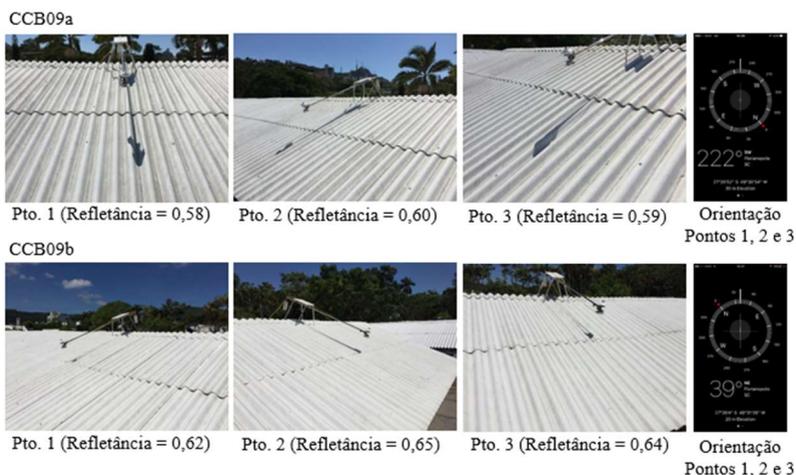


Figura 4.26 – Pontos de medição do CCB09a e CCB09b marcados na planta de cobertura da Figura 4.25 e orientações.

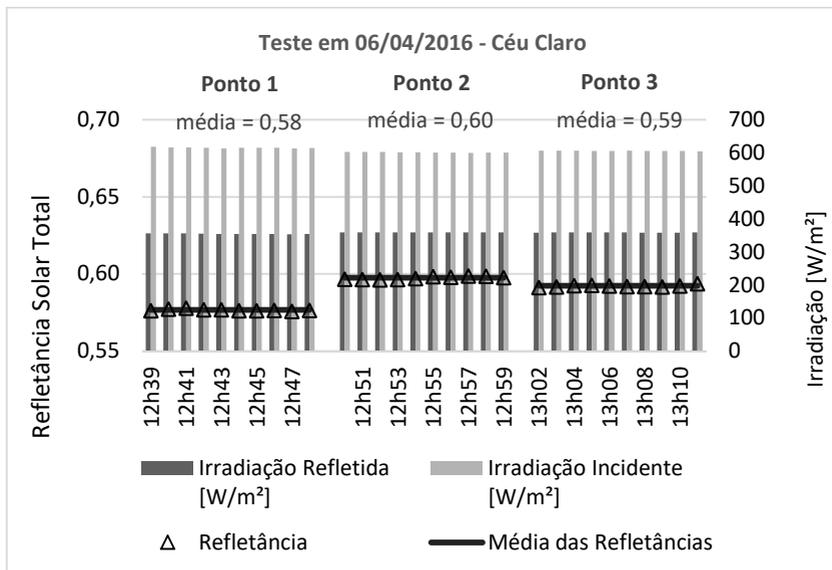


Figura 4.27 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1, 2 e 3 do CCB09a.

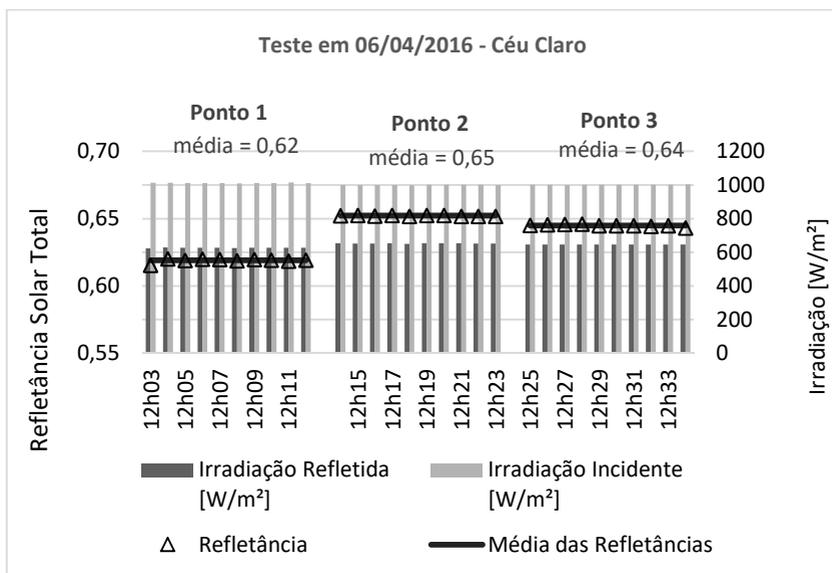


Figura 4.28 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1, 2 e 3 do CCB09b.

Ambas as coberturas, CCB09a e CCB09b, posicionadas lado a lado, com pinturas do mesmo mês e ano, apresentam valores de refletâncias médias significativamente distintas. Para o CCB09a, a refletância média dos três pontos foi de $0,59 \pm 0,009$ enquanto para o CCB09b foi de $0,64 \pm 0,014$, uma diferença de 0,05.

Esta comparação permite concluir que a refletância média de uma cobertura exposta às intempéries pode apresentar variações que tornam difícil associar determinada refletância, apenas, a idade de telha, mesmo quando estão num mesmo local. O fator idade não é um parâmetro por si só suficiente para indicar a degradação da refletância média de uma superfície. As características técnicas de um serviço de pintura como a qualidade, integridade e limpeza do substrato; condições ideais de formação da película de tinta; e técnica de aplicação das demãos também são fatores relevantes. Contudo avaliar o peso da influência de cada fator isoladamente necessitaria maiores estudos no intuito de isolar os diversos efeitos sobre a cobertura.

4.3.1.3 Pinturas no ano de 2014 (CCB-MIP)

Os testes foram realizados no local três da Figura 4.3, Centro de Ciências Bilógica – Microbiologia, Imunologia e Parasitologia, composto por quatro edificações principais unidas por prédios de ligação. Cada uma das coberturas possui duas águas pintadas e lavadas em janeiro de 2014, segundo registros do DMPI.

Apesar da data de pintura coincidir, as quatro coberturas apresentam revestimentos em estados de degradação bem distintos entre si, inclusive, com grande variação nos pontos de uma mesma cobertura. A Figura 4.29 mostra a planta de cobertura da edificação com os pontos

de medição escolhidos e a Tabela 4.5 resume os dados das edificações estudadas.

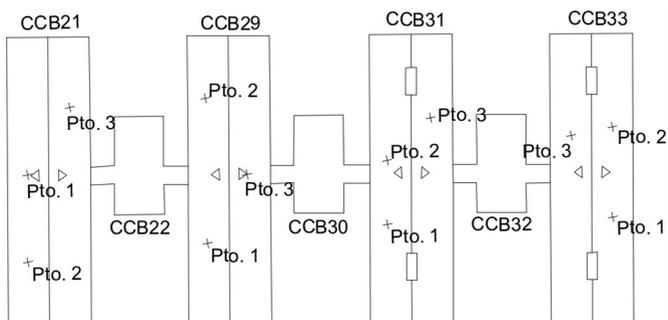


Figura 4.29 – Planta da cobertura das edificações (CCB-MIP) com características das edificações – Local 3.

Tabela 4.5 - Dados das edificações do Centro de Ciências Biológicas.

	CCB21	CCB29	CCB31	CCB33
Centro:	CCB	CCB	CCB	CCB
Setor UFSC:	01C	01C	01C	01C
Número Pav.:	4	4	4	4
A_{cob}:	526,91	526,57	526,57	526,57
Tipo Cobertura:	Telha Fibrocimento ondulada 6,00 m x 8 mm	Telha Fibrocimento ondulada 3,00 m x 8 mm	Telha Fibrocimento Maxiplac 3,00 m x 8 mm	Telha Fibrocimento Maxiplac 3,00 m x 8 mm
Inclinação [°]:	3,5°	6,4	3,5	6,4
Nome:	Bloco A - MIP	Bloco B - ECZ/BEG	Bloco C - Bioquímica	Bloco D - Farmacologia
A_{tot}:	2103,72	2133,92	2133,92	2133,92
Águas	2	2	2	2
Ano Pintura:	jan/14	jan/14	jan/14	jan/14
Inclinação [%]:	6,11%	11,73%	6,11%	11,21%

Para uma melhor exposição dos resultados deste teste uniram-se todos os pontos ensaiados de todas as coberturas numa mesma figura (Figura 4.30). As orientações utilizadas são da direção dos pontos um e dois enquanto as dos pontos três foram suprimidas por questões de espaço. Contudo, por se tratar de coberturas de duas águas (Figura 4.29), as orientações são antagônicas.

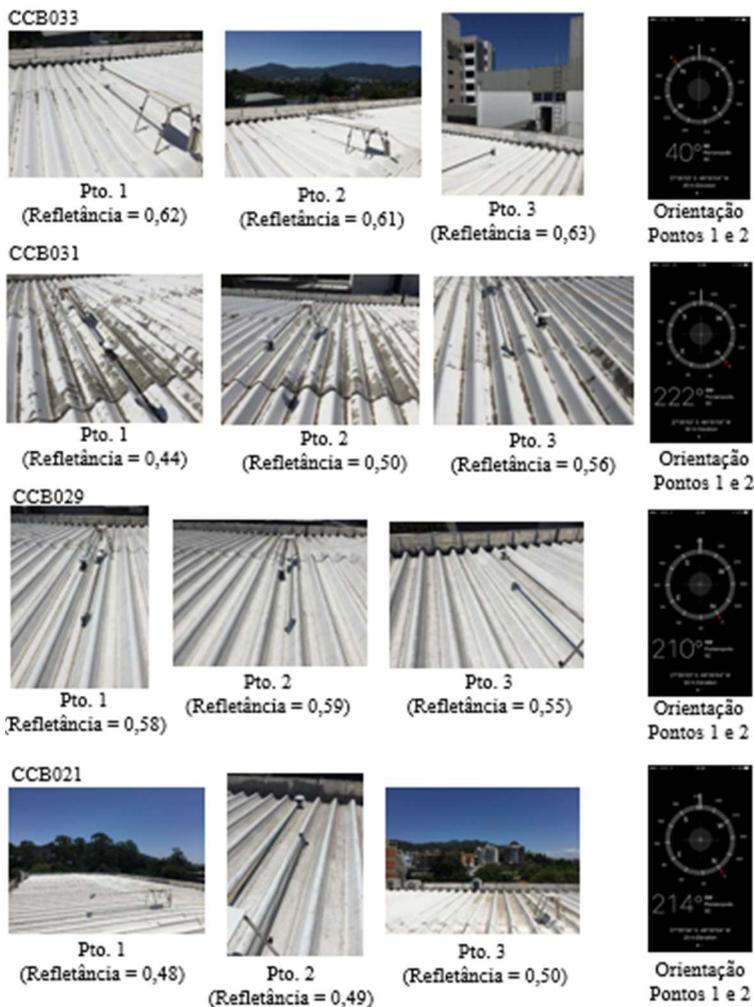


Figura 4.30 – Pontos ensaiados das quatro edificações e as orientações.

Em seguida são apresentados os gráficos obtidos nos ensaios. Iniciou-se pelo prédio CCB033 e seguiu-se na direção do CCB021 (Figura 4.31, Figura 4.32, Figura 4.33 e 4.34) – os números das edificações não são sequenciais.

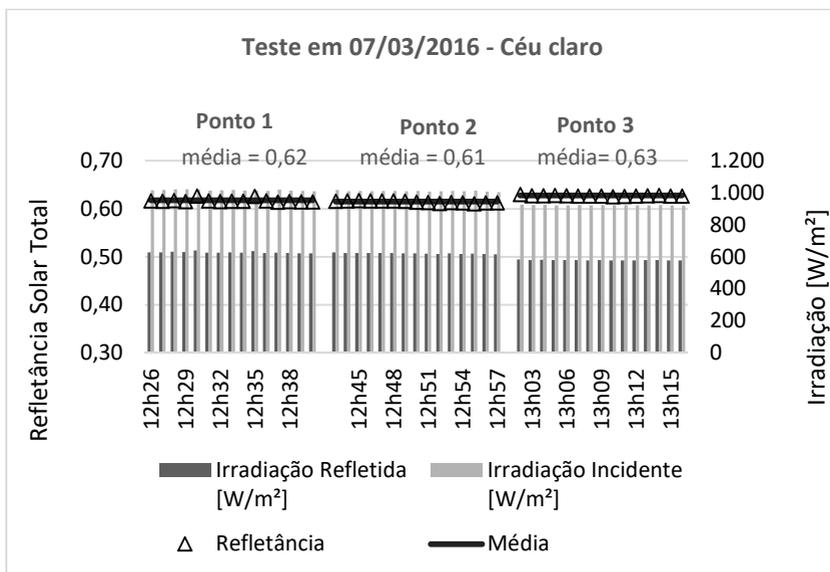


Figura 4.31 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1, 2 e 3 do CCB033.

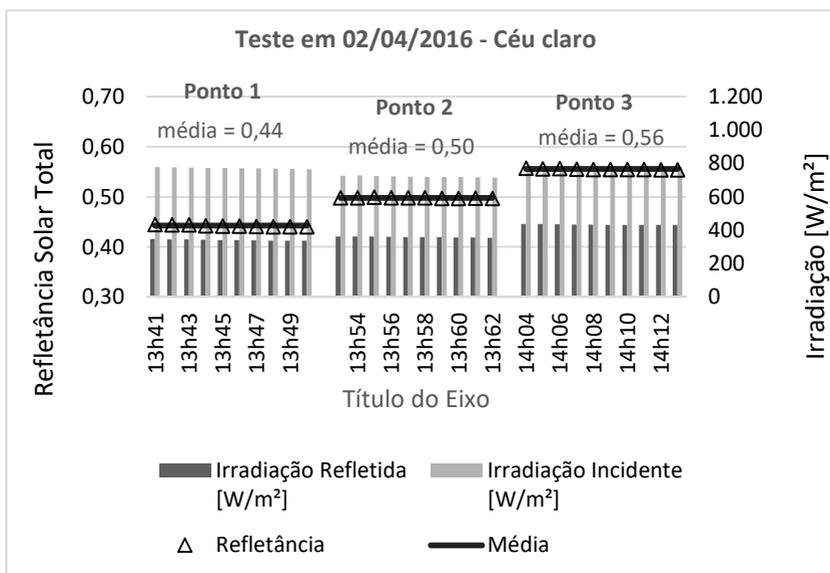


Figura 4.32 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1, 2 e 3 do CCB031.

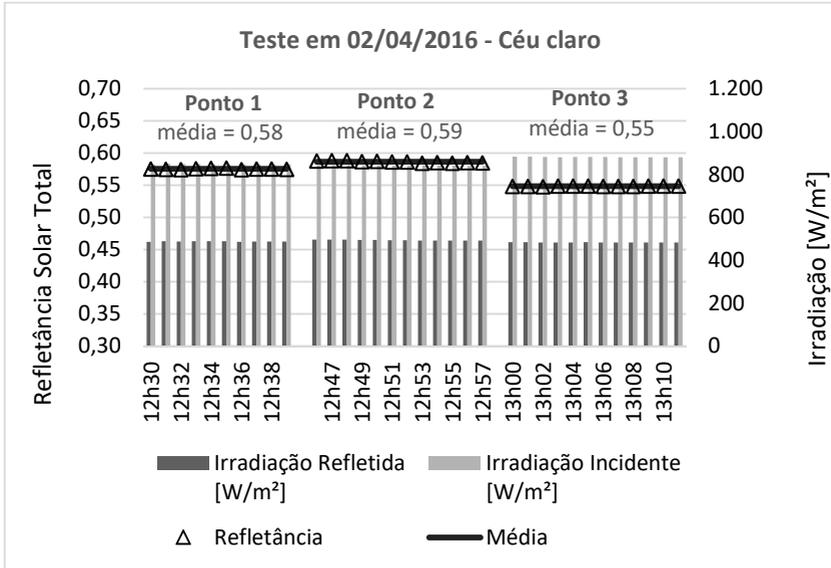


Figura 4.33 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1, 2 e 3 do CCB029.

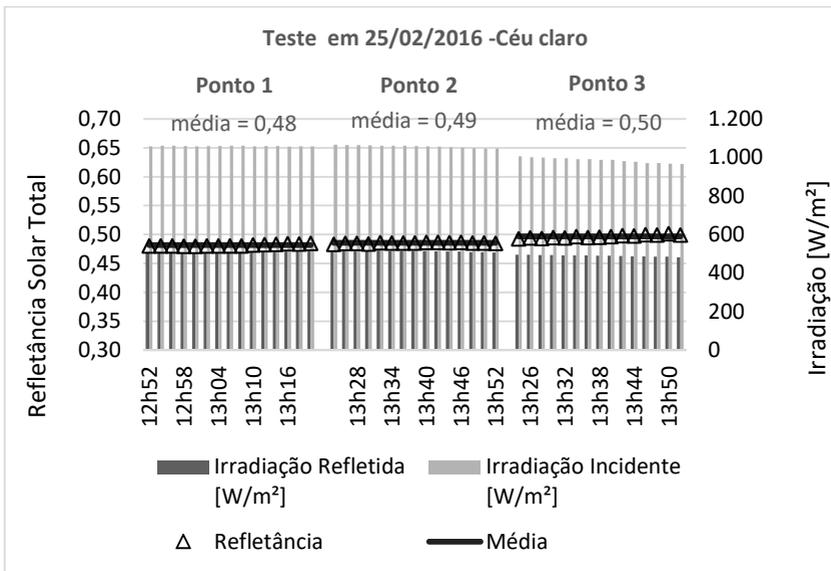


Figura 4.34 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1, 2 e 3 do CCB021.

Antes de se passar a uma análise dos gráficos é preciso destacar algumas informações pertinentes:

- a) o CCB033 e CCB031 apresentavam telhados ondulados enquanto o CCB029 e CCB021 tinham telhas do tipo “Kalhetão”;
- b) as telhas do tipo “Kalhetão” tinham manchas de pó nas laterais das cristas em função do carreamento de pó;
- c) as quatro coberturas apresentavam depósitos de pó no vales e pontos de descascamento na película de tinta;
- d) das quatro edificações, o CCB031 apresentava a película de tinta mais danificada;
- e) das quatro edificações, o CCB029 tinha a película de tinta mais homogênea e bem conservada;
- f) as irradiações mais baixas medidas no CCB031 se devem ao fato de que o teste foi realizado após o teste do CCB029.

De maneira a melhor interpretar os resultados a Figura 4.35 resume os valores de refletâncias (eixos horizontais) de cada ponto (eixo vertical) para cada cobertura (linhas).

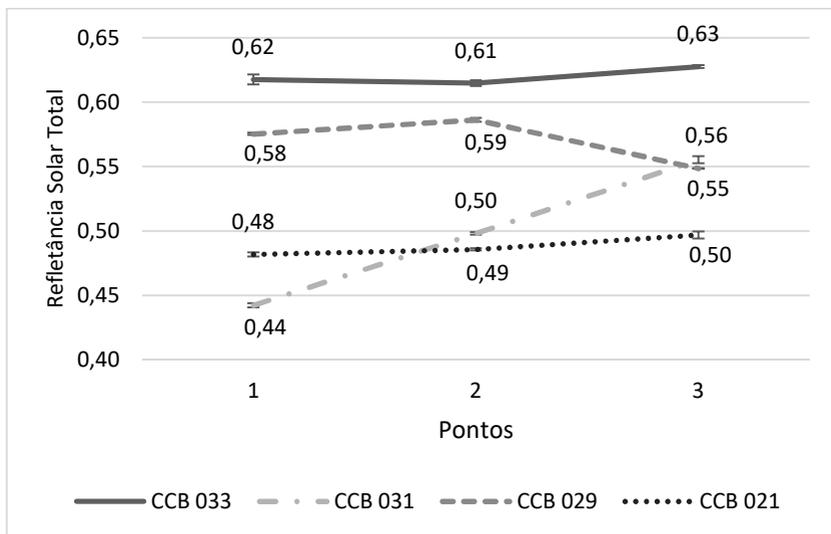


Figura 4.35 – Comparação das refletâncias médias dos pontos 1, 2 e 3 das quatro edificações do CCB.

As refletâncias médias das coberturas foram: para o CCB033, $0,62 \pm 0,006$; para o CCB031, $0,50 \pm 0,047$; para o CCB029, $0,57 \pm 0,017$ e para o CCB021, $0,49 \pm 0,007$. O maior desvio padrão encontrado foi para o CCB031 que apresentava a maior degradação superficial na película de tinta. Para situações como esta o ideal seria utilizar mais de três pontos de teste. Apenas comparativamente o desvio padrão encontrado na cobertura com mais de 20 anos foi de 0,006.

O CCB029 que apresentava a pintura mais homogênea, sem descascamentos, teve o segundo maior desvio padrão quando foi feita e média dos três pontos, contudo o desvio encontrado para os pontos individuais ficou abaixo de 0,002.

Em consonância com os dados de 2013 as refletâncias médias dos pontos de estudo de uma cobertura deteriorada podem variar de um ponto

para o outro e mais imprevisivelmente de uma cobertura para outra. Deve-se levar em consideração o fato de que todas as coberturas partiram de condições distintas de substrato o que afetou os resultados finais das refletâncias.

No caso particular do CCB031, que era a cobertura com maior perda de aderência da película de tinta, a diferença foi de $|R_{E1918 \text{ (ponto1)}} - R_{E1918 \text{ (ponto 3)}}| \approx 0,11$. Nesse caso, por exemplo, em uma simulação computacional, a adoção da refletância de vários pontos evitaria erros consideráveis na transferência de calor da superfície se comparada ao uso de um valor médio.

A análise destes resultados permite concluir, ainda, que a idade da pintura não explica, por si só, a taxa da perda de refletância. Por se tratar de ensaios realizados em superfícies reais, sujeitos às características do serviço de pintura, às condições do substrato e às condições climáticas é natural que exista diferença entre os valores de refletância de uma superfície para outra e até mesmo de um ponto para o outro.

Uma forma de melhorar a análise de superfícies nestas condições é estabelecer mais áreas de estudo e caracterizá-las em função das condições do substrato de maneira a identificar como os valores de refletância representam estas áreas.

4.3.1.4 Pinturas no ano de 2016 (CCB05 e CCB09c)

O CCB05 e o CCB09c apresentavam pinturas de janeiro de 2016, ou seja, com dois meses de idade quando foi realizado o teste em março do mesmo ano. As características do entorno de muita vegetação, para o CCB05, impediram a tomada de três pontos na cobertura conforme os procedimentos de medição estabelecidos na metodologia. O CCB09c é a

mesma edificação utilizada nos testes de pintura em campo (4.2.4), mas agora apenas os pontos com as três demãos foram utilizados.

A Tabela 4.6 resume as características das edificações do CCB05 e CCB09c enquanto os pontos utilizados estão na Figura 4.36. As Figura 4.37 e Figura 4.38 apresentam os gráficos das irradiações e refletâncias para o CCB05 e CCB09c respectivamente.

Tabela 4.6 - Dados das edificações CCB05 e CCB09c.

	CCB05	CCB09c		CCB05	CCB09c
Centro:	CCB	CCB	Unid.:	CCB05	CCB09a
Setor UFSC:	09A	09A	Nome:	Morfologia	Morfologia
Nº Pav.:	1	1	A_{tot} [m²]:	219,82	323,4
A_{cob} [m²]:	287,99	323,4	Águas	2	2
Tipo Cobertura:	Fibrocimento ondulada 8 mm	Fibrocimento ondulada 8 mm	Ano Pintura:	jan/16	mar/16
Inclinação [°]:	30,2	31,1	Inclinação [%]:	58,20	60,80

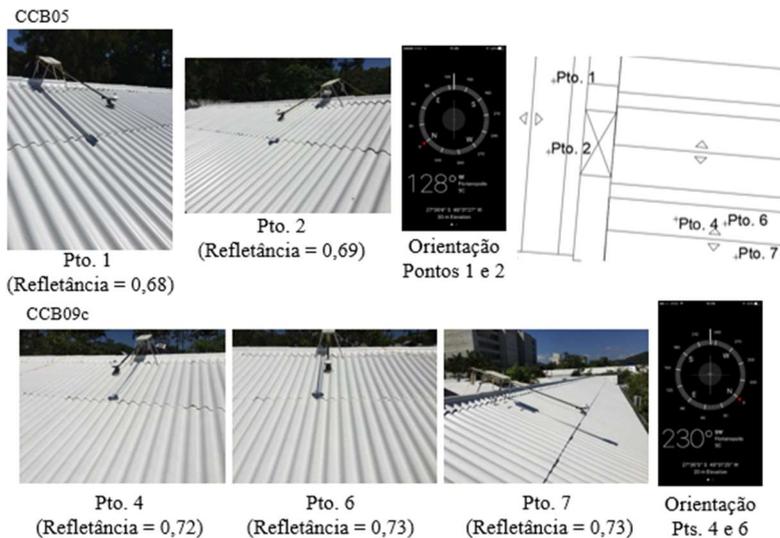


Figura 4.36 – Pontos ensaiados e orientações das duas edificações – Local 1.

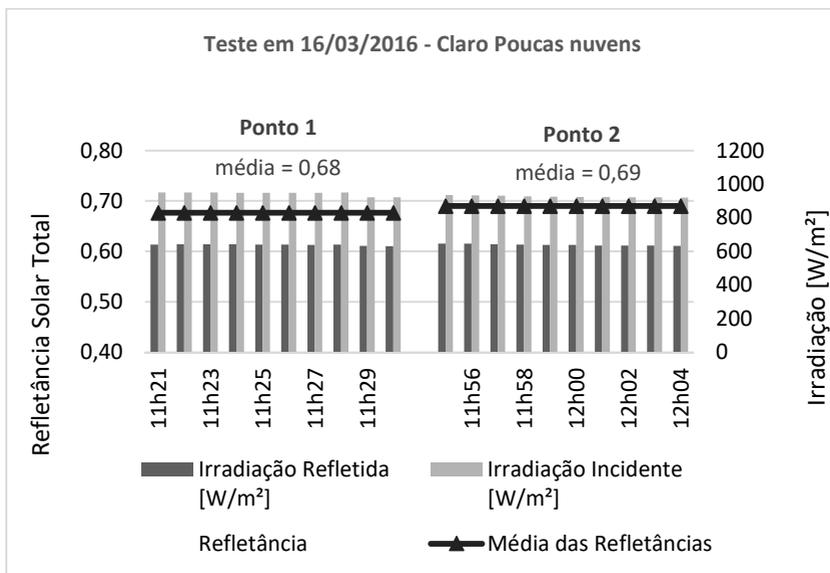


Figura 4.37 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1 e 2 do CCB05.

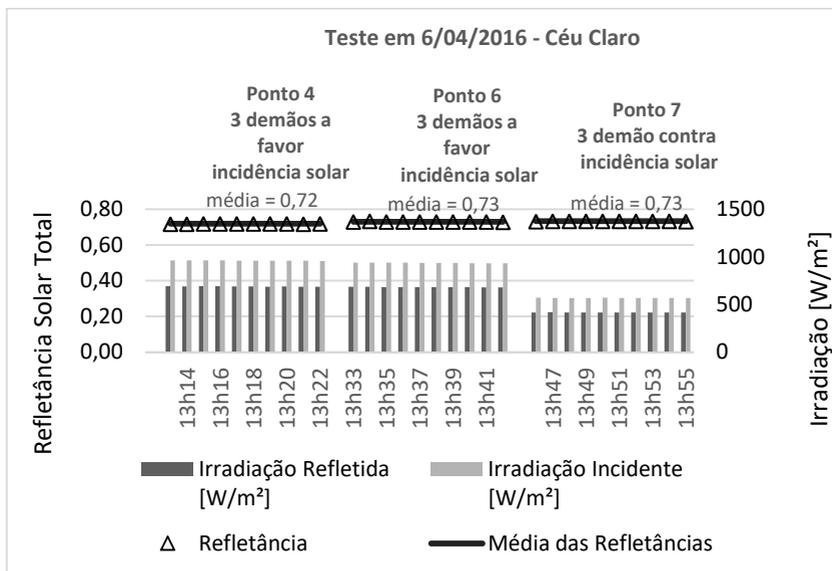


Figura 4.38 - Irradiações e refletâncias dos pontos 1 e 2 do CCB09c.

Apesar da diferença significativa entre os valores de refletância média medidos (respectivamente $0,68 \pm 0,007$ e $0,73 \pm 0,007$) para as coberturas com menos de um ano, ao ser considerado as variáveis no processo de pintura e de medição, pode-se considerar que as refletâncias médias apresentam uma tendência de ficarem próximas a 0,7. Fato que pode ser verificado pelas amostras pintadas com três demãos e corrigidas considerando os efeitos de forma ($FF = 0,815$) da cobertura (Figura 4.22).

4.3.1.5 Comparação do envelhecimento

Na edificação do DMPI (local 2) foram realizados os principais testes de avaliação do efeito das condições de medição de campo e o agrupamento destes dados possibilita uma análise anual do ponto 1 desta edificação marcado na planta de cobertura da edificação (Figura 4.39). Os

dados foram agrupados num gráfico (Figura 4.40) mostrando a variação das refletâncias medidas.

Inicialmente foi planejado realizar apenas oito testes sendo o último em janeiro de 2017. Contudo após uma semana com grandes volumes de chuva (de 30 de janeiro até 3 de fevereiro), o dia 4 de fevereiro estava com o céu claro e foi realizado mais um teste no intuito de verificar se a semana de chuva havia alterado a refletância medida no dia 13 de janeiro.



Figura 4.39 - Fotos do ponto 1 do DMPI (local 2) ao longo do ano de 2016 e início de 2017.

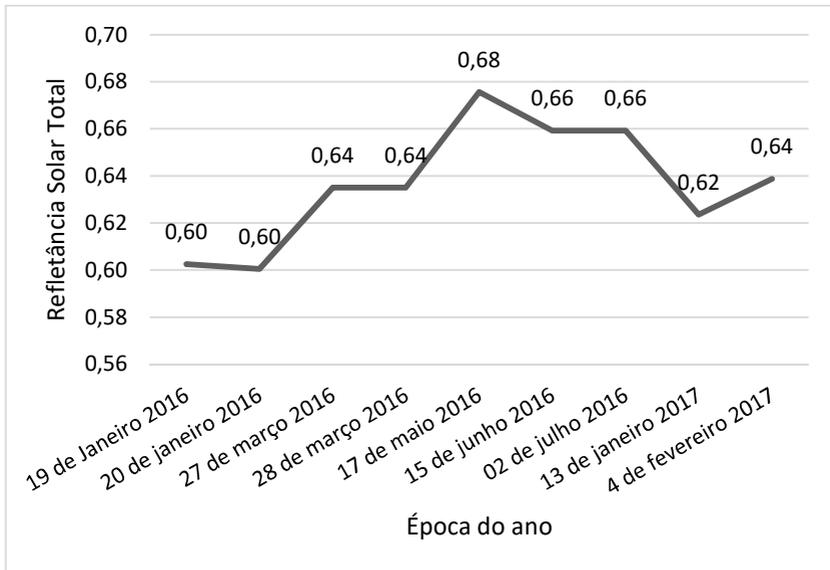


Figura 4.40 - Variação anual da refletância para o ponto 1 do DMPI.

Os resultados coletados no ponto 1 da cobertura do DMPI variaram ao longo do ano com valores mínimos ocorrendo em janeiro de 2016 e mais elevados em maio de 2016, voltando a cair em janeiro de 2017. O valor médio encontrado no intervalo de um ano foi de $0,64 \pm 0,04$. Isso indica que apesar da tendência de redução da refletância com o envelhecimento da cobertura conforme apresentado na bibliografia (LEVINSON et al., 2005a; WILKES et al., 2000; ROODVOETS et al., 2004), o período de um ano analisado não é conclusivo neste sentido, ao contrário, indica variações consideráveis ao longo dos meses e mesmo após um ano indicou pequena elevação.

Essas variações na refletância, segundo Levinson et al. (2010a), são ocasionadas pela variação espectral em função da altitude solar, mais baixa nos períodos de inverno, e, portanto, sujeita a maiores massas de ar.

Os ângulos de incidência mais baixos podem gerar erros relativos, como os encontrados para os meses de maio, junho e julho.

A variação pode ter sido originada, ainda, pelo acúmulo de pó sobre a cobertura e lavagem pelas chuvas. Uma indicação destas variações pode ser observada na elevação de 0,02 na refletância média total do dia 13 de janeiro de 2017 para o dia 4 de fevereiro do mesmo ano. A semana que antecedeu a medição do dia 4 apresentou condições do tempo de chuva diária o que possivelmente “lavou” a superfície.

4.3.1.6 Envelhecimento em Telhas metálicas (EQA antigo e novo)

A análise foi realizada para duas coberturas metálicas trapezoidais, uma do prédio do EQA antigo (local 4) e outro do EQA novo (local 5) (Figura 4.3). Na cobertura metálica antiga a estrutura apresentava problemas de falta de rigidez superficial o que impossibilitou a medição de mais de um ponto, enquanto para o EQA novo três pontos foram medidos. Os testes ocorreram respectivamente em 27 de julho e 7 de setembro de 2016.

A Tabela 4.7 resume os dados e características das edificações testadas enquanto a Figura 4.41 apresenta ambas as áreas com as imagens dos pontos testados e a Figura 4.42 apresenta os resultados das irradiações e refletâncias dos pontos.

Tabela 4.7 - Dados das edificações do EQA antigo e novo.

	EQA ANTIGO	EQA NOVO		EQA ANTIGO	EQA NOVO
Centro:	EQA	EQA	Unid.:	CTC24	CTC32
Sector UFSC:	01C	01C	Nome:	Bloco E Eng. Química	Eng. Química Ampliação
Nº Pav.:	3	5	A_{tot} [m²]:	899,13	2486,77
A_{cob} [m²]:	299,71	641,58	Águas	2	2
Tipo Cobertura:	Telha Metálica Trapezoidal 6,00 m	Telha Metálica Trapezoidal 6,00 m	Ano Pintura:	jun/05	Instalada em 2016
Inclinação [°]:	17,3	3,43	Inclinação [%]:	31,14%	6,00%

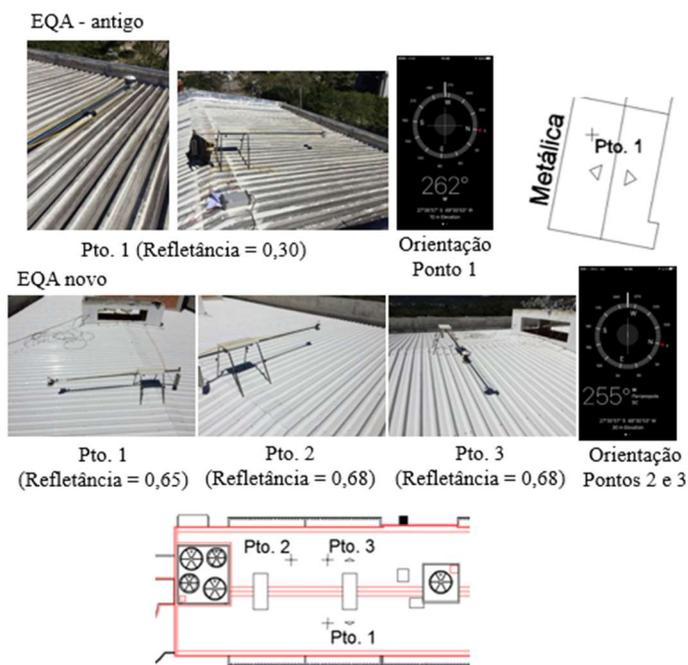


Figura 4.41 – Imagens dos pontos testados do EQA antigo (Local 4) e novo (Local 5).

Este desgaste deve ser considerado ao se escolher uma cobertura deste tipo na fase de projetos das edificações da Universidade, principalmente no que tange a manutenção de uma cobertura metálica. Uma cobertura no estado de deterioração da utilizada neste trabalho teria um processo de manutenção mais trabalhoso e mais especializado do que o de uma cobertura de fibrocimento.

As amostras de telhas metálicas analisadas em laboratório (item 4.2.2) que pertenciam a uma das telhas do EQA novo apresentaram uma refletância média de $R_{\text{espec}} = 0,77$. Contudo, considerando a influência da forma, não prevista no ensaio com o espectrofotômetro, FF_{12} de 0,712, tem-se que a refletância média corrigida é de $R_{\text{espec}} = 0,70$, diferença de 0,03 (0,70 - 0,67) em relação ao valor obtido em campo para a telha nova.

4.4 AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS CONDIÇÕES DE MEDIÇÃO DE CAMPO (ETAPA IV)

4.4.1 Verificação da influência da nebulosidade nos ensaios

Os primeiros testes realizados neste trabalho objetivaram a verificação de como a nebulosidade afetava os resultados de refletância no método estabelecido na norma ASTM E1918 (2016). Para a realização das medições escolheram-se dois pontos no prédio do DMPI (local 2) – Figura 4.3. Neste caso, foram selecionados apenas dois pontos porque uma das extremidades do telhado (parte superior da planta de cobertura) e toda a fachada direita possuíam árvores que afetavam a leitura dos dados do multímetro.

Foram escolhidas quatro condições de medição: a primeira, um dia sem nuvens, ou seja, a condição estabelecida na ASTM E1918 (2016);

a segunda, um dia com nuvens esparsas; a terceira situação foi um dia com muitas nuvens, inclusive com cobrimentos parciais do sol; e, por último, um dia completamente nublado, sem qualquer abertura de sol. A Figura 4.43 apresenta imagens dos pontos um e dois para os quatro tipos de céu (cobertura de nuvens).



Figura 4.43 – Imagens dos pontos um e dois para os quatro tipos de céu DMPI (local 2).

A cobertura, segundo os registros de pintura mantidos pelo Departamento de Manutenção Predial e Infraestrutura (DMPI), foi pintada em janeiro de 2013 e mantém um acabamento de tinta intacta (sem descascamentos), mas com acúmulo de sujeira nos vales das ondulações.

As Figura 4.44 a Figura 4.46 mostram respectivamente os resultados encontrados para cada uma das situações climáticas de medição apresentadas.

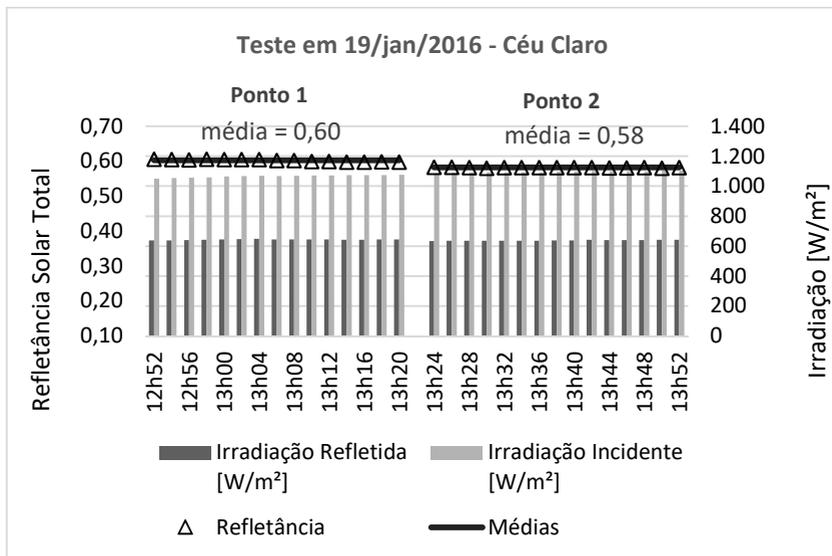


Figura 4.44 – Irradiações e refletâncias para céu claro – DMPI (local 2).

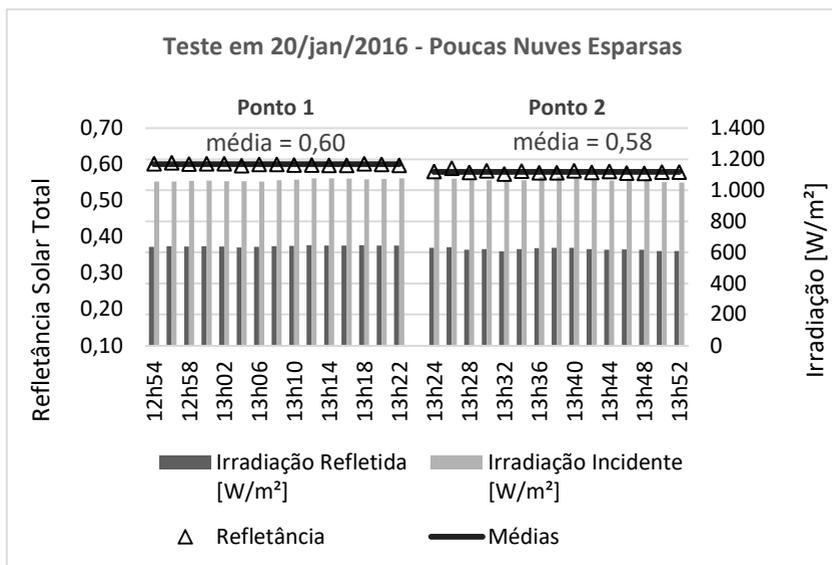


Figura 4.45 – Irradiações e refletâncias para céu com poucas nuvens esparsas – DMPI (local 2).

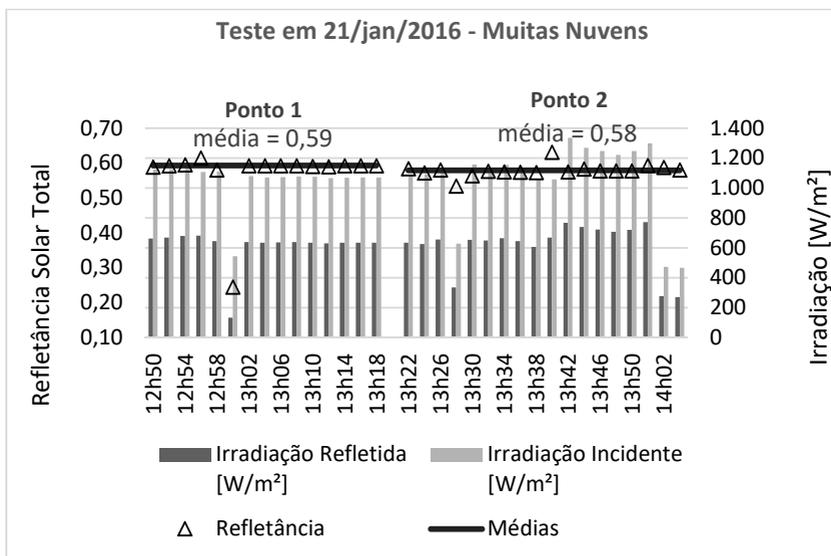


Figura 4.46 – Irradiações e refletâncias para céu com muitas nuvens – DMPI (local 2).

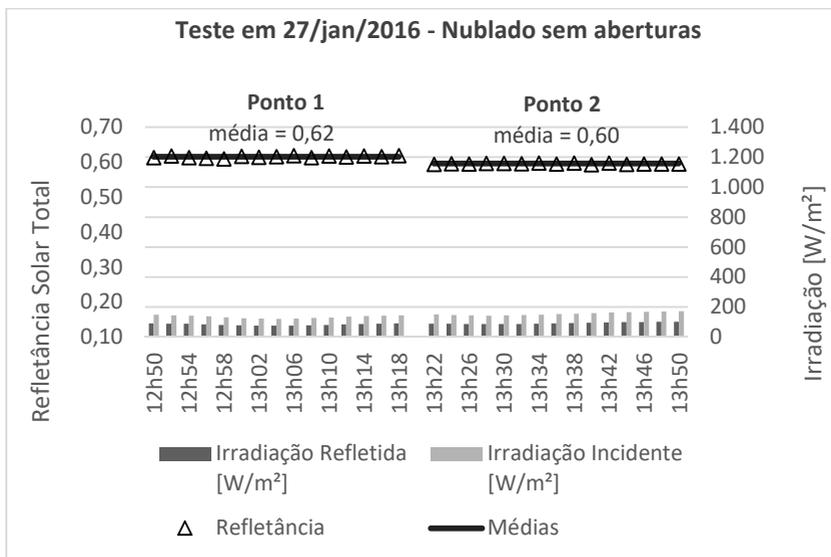


Figura 4.47 – Irradiações e refletâncias para céu encoberto – DMPI (local 2).

Em seguida se apresenta a Tabela 4.8 e a Figura 4.48 contendo os valores médios de refletância e o desvio padrão dos dados calculados para os pontos 1 e 2, e da média da cobertura - R_{E191} (Média Cobertura) = $(R_{E1918}(\text{Média Pto 1}) + R_{E1918}(\text{Média Pto 2}))/2$ - para as quatro condições de medição citadas anteriormente. Como os pontos são idênticos, os horários são os mesmos e as medições foram realizadas num intervalo de 8 dias a Tabela 4.8 mostra ainda que o desvio padrão máximo encontrado para os pontos individualmente é de 0,007 para a condição de tempo com muitas nuvens. Já para a médias de todos os valores (ponto 1 e ponto 2) os desvios aumentaram para 0,011.

Observa-se ainda que a média da cobertura para o dia de céu claro, poucas e muitas nuvens é a mesma - 0,59. E a maior diferença da média da cobertura foi entre o céu claro e o céu completamente nublado de 0,02, o que é pouco significativo.

Tabela 4.8 – Resumo das condições dos dias, médias e desvio padrão dos pontos e média da cobertura.

Condição de Medição	Ponto 1		Ponto 2		Ponto 3	
	Média	Desv. P.	Média	Desv. P.	Média	Desv. P.
Sem nuvens	0,60	0,003	0,58	0,001	0,59	0,011
Nuvens esparsas	0,60	0,002	0,58	0,003	0,59	0,011
Muitas nuvens	0,59	0,002	0,58	0,007	0,59	0,009
Nublado	0,62	0,003	0,60	0,001	0,61	0,010

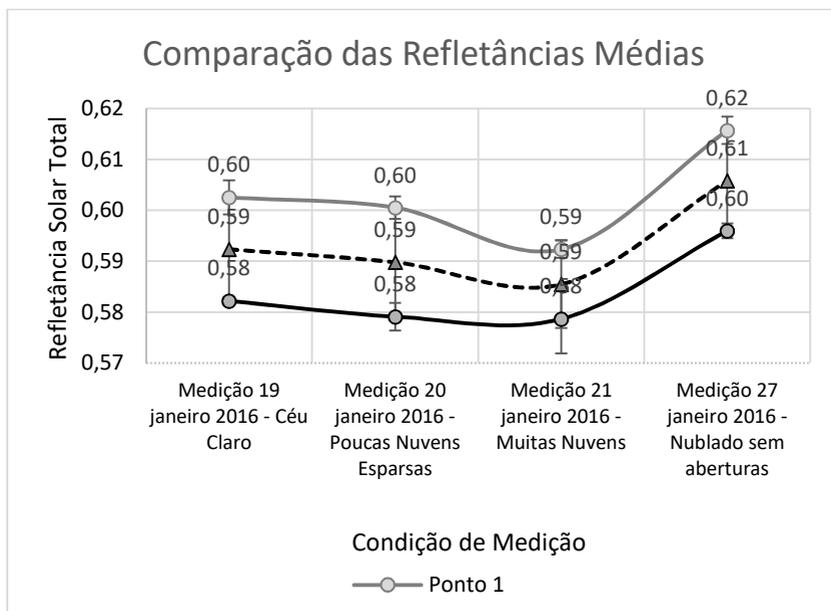


Figura 4.48 - Médias e desvios padrão dos pontos 1, 2 e média da cobertura – DMPI.

Portanto através da utilização do método do piranômetro os resultados desse trabalho sugerem que é possível realizar os testes em qualquer condição climática com erro inferiores a 0,02. Contudo importa destacar que as condições de nebulosidade são subjetivas e sujeitas a interpretação de forma que um céu com nuvens nunca será igual ao outro.

Mesmo diante desta indicação todos os outros testes realizados neste trabalho seguiram os padrões da norma ASTM E1918 (2016) haja vista que a pequena quantidade de medições nestes testes não gera uma certeza estatística suficiente para a adoção integral de mudança do método.

4.4.2 Verificação da influência da altura do sensor

O teste da influência da altura do sensor nos valores de refletância surgiu das imprecisões na montagem do equipamento e em garantir uma altura constante de 50 cm conforme estabelecido na ASTM E1918 (2016).

O teste consistiu, inicialmente, em verificar a refletância de um mesmo ponto (ponto 1) do local 2 (DMPI) para quatro alturas do sensor partindo de 35 cm e incrementando 10 cm a cada nova coleta de dados. A Figura 4.49 mostra quatro imagens do sensor instalado e a planta de cobertura com o ponto utilizado para os testes.

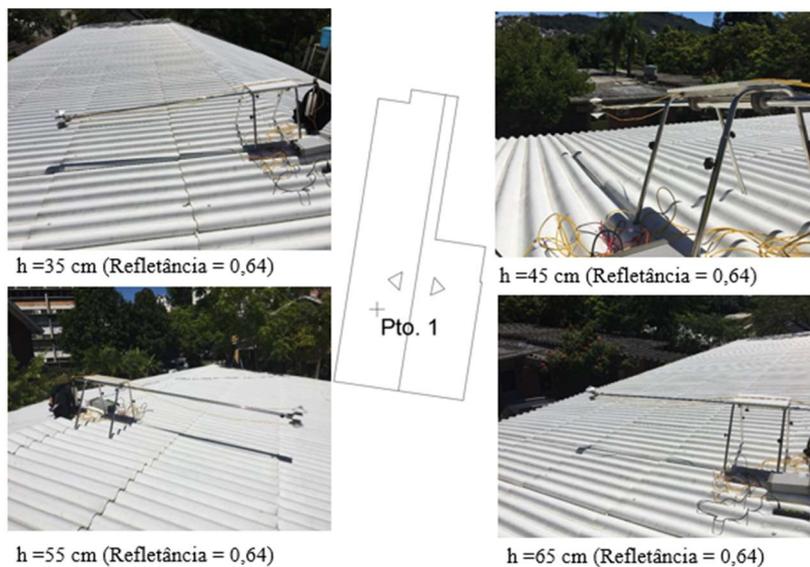


Figura 4.49 - Fotos com a alturas testadas e a planta de cobertura do local da medição.

Ao final da quarta medição decidiu-se realizar o teste para uma altura de 25 cm anteriormente descartada pois considerou-se que a sombra

do equipamento geraria inconstâncias nas leituras do multímetro, o que de fato não se confirmou, como pode ser percebido pela Figura 4.50.

A Figura 4.50 apresenta os valores coletados para as cinco alturas de sensor no mesmo ponto 1 do teste anterior (Verificação da influência da nebulosidade nos ensaios e, por se tratar do mesmo ponto, a refletância média deveria ser próxima a do teste anterior ($0,60 \pm 0,003$)).

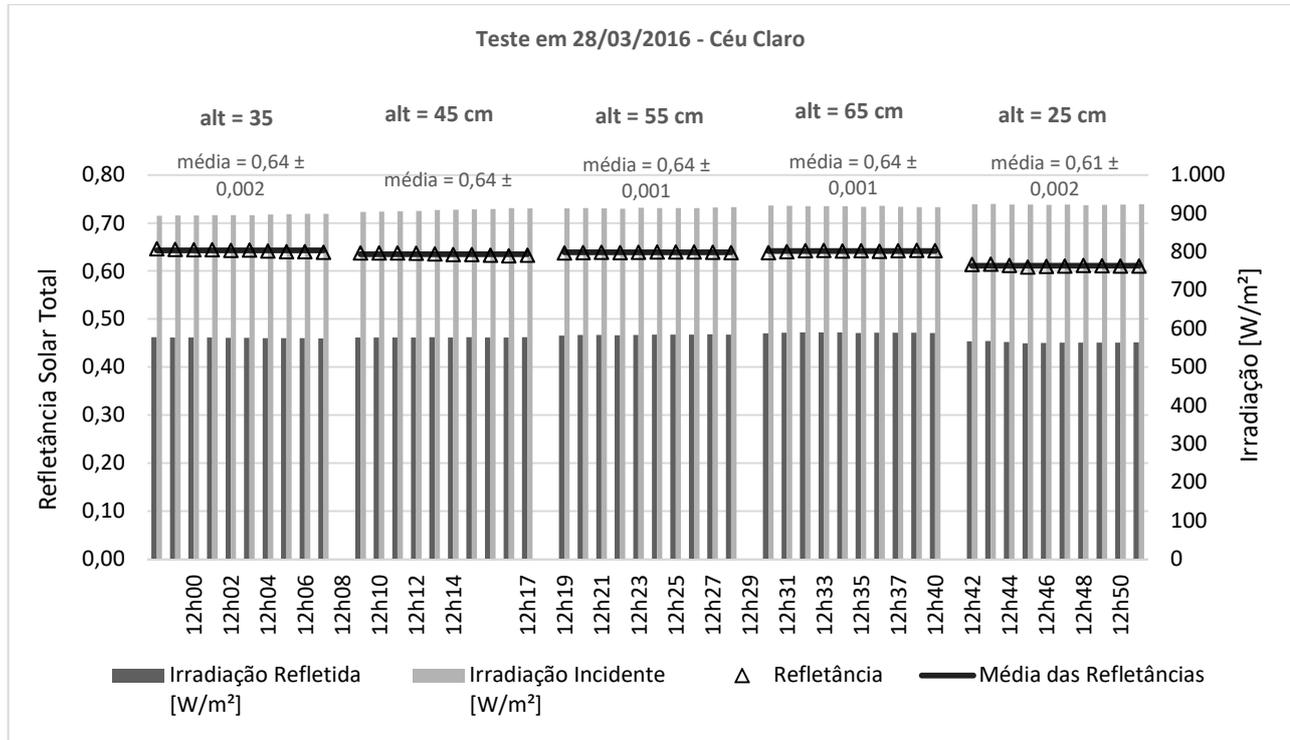


Figura 4.50 – Irradiações e refletâncias para as cinco alturas do sensor.

A análise dos dados desse teste demonstra que apesar de existir uma mínima diferença da refletância do ponto 1 de acordo com a altura do sensor até a superfície da cobertura, os pequenos erros na verificação da altura do equipamento originados pela imprecisão na sua montagem não geram inconsistências significativas do valor de refletância solar global do ponto quando há uma variação na altura de ± 15 cm em relação ao padrão da norma ASTM E1918.

Contudo deve-se levar em consideração dois fatos. O primeiro diz respeito a refletância medida na altura de 25 cm, onde o fator de forma da sombra do equipamento para o sensor gera uma maior influência no resultado da irradiação refletida medida (irradiação da cobertura). Em valores absolutos, a irradiação média refletida pela cobertura nas outras alturas (35 cm – 65 cm) ficou em torno de 580 W/m^2 para uma irradiação média incidente de aproximadamente 910 W/m^2 , enquanto para a altura de 25 cm obteve-se, uma irradiação refletida de aproximadamente 560 W/m^2 para uma irradiação média incidente de 920 W/m^2 . Ou seja, apesar do aumento da irradiação incidente, a irradiação refletida reduziu.

O segundo fator diz respeito ao valor da refletância média das alturas quando comparado com a média obtida no teste dos efeitos da nebulosidade. Esperava-se, por se tratar do mesmo ponto 1, um valor de refletância mais próximo de 0,60. Contudo para a altura de 45 cm e 55 cm a refletância foi de 0,64, uma diferença de 0,04.

4.4.3 Teste de horários

Este teste consistiu em instalar o equipamento, no ponto 1 do local 2 (Figura 4.3), e coletar os dados de refletância em dois períodos, o primeiro ao meio dia, e o segundo, começando próximo às 16h e seguindo

até o pôr do sol no mês de março e no mês de julho começando próximo às 15h. A Figura 4.51 mostra as imagens do ponto 1 em vários momentos do teste para o mês de março e para o mês de julho.

Teste de março



11h59 (Refletância = 0,64) 15h42 (Refletância = 0,63) 16h04 (Refletância = 0,63) 17h14 (Refletância = 0,59)

Teste de julho



11h38 (Refletância = 0,66) 15h00 (Refletância = 0,64) 15h30 (Refletância = 0,64) 16h30 (Refletância = 0,63)

Figura 4.51 – Imagens do ponto 1, local 2, ao longo dos testes em março e julho.

As Figura 4.52 e Figura 4.53 apresentam os gráficos com as irradiações incidente e refletidas, assim como as médias pontais para março e para julho. Destes gráficos é importante destacar que a partir das 17h01 para março, e das 16h23 para julho, houve um decréscimo na refletância, sendo os valores descartados nas análises.

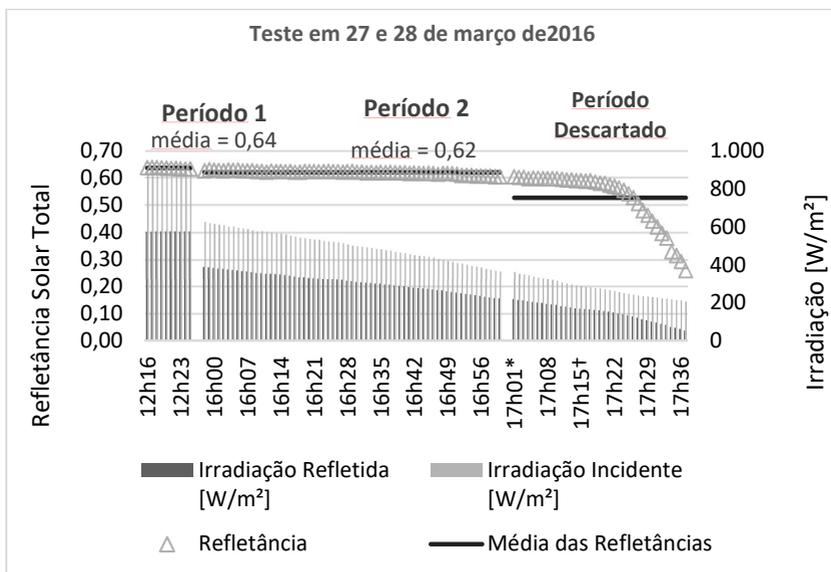


Figura 4.52 – Irradiação incidente, refletida e as refletâncias médias para março.

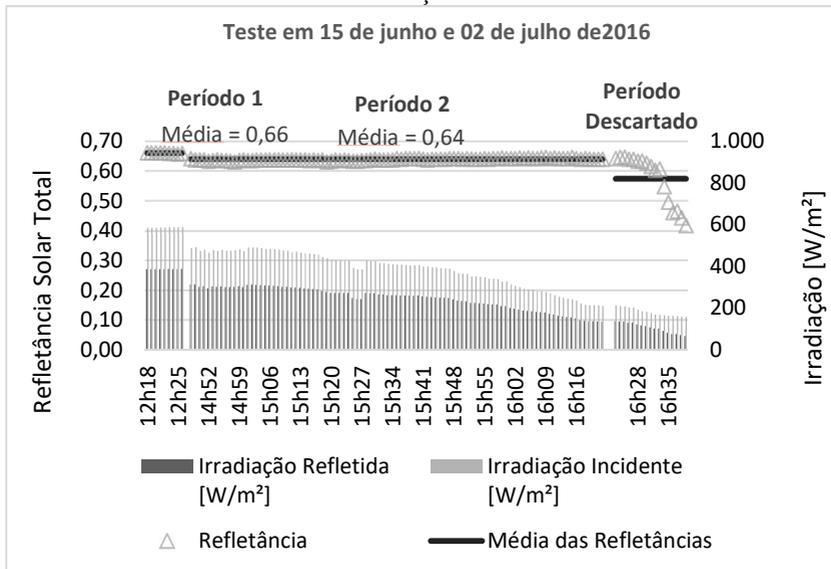


Figura 4.53 - Irradiação incidente, refletida e as refletâncias médias para julho.

A partir dos dados coletados neste teste é possível verificar que a média da refletância no período um (próximo ao meio dia) para março foi de $0,64 \pm 0,002$, e para julho $0,66 \pm 0,001$. A média do período dois (período da tarde) para março foi de $0,62 \pm 0,006$, e para julho foi de $0,64 \pm 0,003$.

É possível concluir que as orientações da norma ASTM E1918 (2016) são restritivas ao estabelecerem horários fixos entre 9h e 15h nos meses de verão e das 10h às 14h para o inverno. O observado dos resultados é que as refletâncias para os horários estabelecidos em norma (1º período) ficaram 0,02 mais elevados que para os horários após às 16h (2º período) tanto para o verão quanto para o inverno. Isso provavelmente ocorre pelo ângulo mais baixo do sol e menor intensidade da irradiação solar.

4.4.4 Teste da uniformidade dos piranômetros

Este teste verificou a relação entre os piranômetros e foi realizado no ponto 1 do DMPI (local 2). Mediu-se, assim, a irradiação solar incidente com o piranômetro P960 (I_{iP960}) e em seguida, num intervalo inferior a um minuto, girando a haste de suporte, mediu-se a irradiação solar incidente com o piranômetro P959 (I_{iP959}). A Tabela 4.9 - Comparação da relação das irradiações solares incidentes sobre os piranômetros, apresenta os valores medidos nos multímetros seguidos da irradiação solar calculada pela constante dos sensores, resultando na relação I_{iP959}/I_{iP960} . Quanto mais próximo da unidade for esta relação, melhor os dois sensores estão medindo igualmente a variável.

Tabela 4.9 - Comparação da relação das irradiações solares incidentes sobre os piranômetros.

Reg.	Hora	P959 [μ V]	Irradiação		Irradiação		Relação = I_{IP959}/I_{IP960}
			Solar em P959 [W/m ²]	P960 [μ V]	Solar em P960 [W/m ²]		
1	13h52	9.608	1.099	12.330	1.090	1,0084	
2	13h53	9.636	1.103	12.343	1.091	1,0102	
3	13h54	9.632	1.102	12.351	1.092	1,0092	
4	13h55	9.623	1.101	12.378	1.094	1,0060	
5	13h56	9.560	1.094	12.384	1.095	0,9990	
6	13h57	9.581	1.096	12.360	1.093	1,0031	
7	13h58	9.540	1.092	12.376	1.094	0,9975	
8	13h59	9.543	1.092	12.372	1.094	0,9982	
9	14h00	9.563	1.094	12.386	1.095	0,9991	
10	14h01	9.571	1.095	12.390	1.095	0,9996	
11	14h02	9.556	1.093	12.389	1.095	0,9981	
12	14h03	9.551	1.093	12.381	1.095	0,9983	
13	14h04	9.546	1.092	12.359	1.093	0,9995	
14	14h05	9.551	1.093	12.367	1.093	0,9994	
15	14h06	9.568	1.095	12.384	1.095	0,9998	
Média =							1,0017

A partir destes dados percebe-se que a relação entre os valores se aproxima da unidade com a maior relação sendo 1,012 e a menor de 0,9975.

Estas pequenas diferenças entre as irradiações solares são aceitáveis em razão do próprio processo de medição que não ocorre ao mesmo tempo. Portanto, considerando a boa relação entre os valores, que resultaram numa média de 1,0017, diferença de 0,17% em relação ao valor ideal de irradiação, não foi adotado nenhum fator de correção para os dados deste trabalho.

4.5 SÍNTESE DOS RESULTADOS

As edificações analisadas neste trabalho apresentavam predominantemente dois tipos de cobertura – a ondulada ($FF = 0,815$) e a “kalhetão” ($FF = 0,712$) – e estrutura geométrica de duas águas. Seus suportes inferiores são de madeira com poucas exceções em estruturas metálicas, e são travadas com parafusos de vedação específicos de telhas de fibrocimento ou metálicas, quando é a situação.

A pintura de coberturas de fibrocimento foi estudada através de testes em laboratório e em campo ao que se concluiu preliminarmente que o aumento da refletância média teve a maior evolução na primeira demão, diferença de 0,37 para as amostras de laboratório e 0,20 para os testes em campo. Da primeira demão para a terceira demão, as refletâncias dos testes de laboratório aumentaram 0,06 e os testes de campo aumentaram 0,04.

Em seguida as refletâncias de laboratório foram corrigidas considerando os efeitos de forma da ondulação da telha de maneira a possibilitar uma comparação com as refletâncias obtidas em campo. Nesta comparação percebeu-se diferenças em torno de 0,04, sendo que os valores obtidos em campo mais baixos que os das amostras medidas em laboratório.

Os testes com a lona demonstraram que a transparência do material testado influenciava nos resultados de refletância. Ao utilizar como base uma amostra de telha pintada com três demãos de tinta, a refletância da lona aumentou de 0,54 para 0,81. Em campo as lonas brancas tiveram

uma refletância de 0,73, sendo que a telha abaixo da lona já possuía dois anos de degradação.

No que concerne as lonas pretas, a diferença entre a refletância de campo e de laboratório foi em torno de 0,01. Esta diferença mais baixa se deve a alta absorção da lona preta nos dois sentidos da irradiação, a incidente solar e a refletida pela telha abaixo. Ou seja, pouco do que atravessa a lona e é refletido pela telha consegue atingir o sensor do piranômetro.

Foi estudada uma cobertura de fibrocimento envelhecida, com mais de 20 anos. As refletâncias solares médias obtidas foram de 0,15, enquanto as amostras de fibrocimento envelhecido obtiveram refletâncias medidas em laboratório entre 0,19 e 0,24. A média da refletância das telhas envelhecidas (teste em campo e teste em laboratório) foi de $0,18 \pm 0,03$. Destaca-se que as amostras não são corpos de prova extraídos das coberturas testadas, mas de outras telhas com idade aproximada também usada no campus.

Os testes das coberturas já pintadas ocorreu ao longo do ano de 2016 e estudou pinturas executadas de 2013 a 2016, entretanto no ano de 2015, em razão do vencimento do contrato administrativo e realização de nova licitação, não houve nenhuma pintura.

A Tabela 4.10 resume os valores de refletâncias encontrados para cada cobertura, em ordem de antiguidade. Todos os testes foram realizados em 2016.

Tabela 4.10 - Resumo das refletâncias de acordo com o ano de pintura.

Data da Medição	Data Pintura	Local	Refletância
2016	2013	CCB09a	0,59
		CCB09b	0,64
	2014	CCB033	0,62
		CCB031	0,50
	2015	CCB029	0,57
		CCB021	0,49
	2015	Sem pinturas	
	2016	CCB05	0,68
		CCB09c	0,73

Verificou-se a variação da refletância ao longo de um ano para a cobertura do DMPI em relação da variação da distribuição espectral em função da altitude solar, e, apesar da tendência de degradação, não foi possível observar isto pelos valores coletados entre 2016 e 2017. Na verdade, houve uma oscilação em torno da refletância de $0,64 \pm 0,04$.

O teste com as coberturas metálicas objetivou estabelecer uma ordem de grandeza da perda da refletância através da comparação do envelhecimento de duas coberturas metálicas. Os dados mostraram uma refletância média de 0,66 para a telha recentemente instalada (2016), enquanto a cobertura envelhecida, com mais de 10 anos, foi de 0,30 (1993). As amostras da cobertura metálica nova apresentaram uma refletância solar média de 0,71 após correção para os efeitos de forma.

Em relação montagem do equipamento este trabalho alcançou os objetivos propostos, verificando a alteração das condições de montagem do equipamento, pequenas variações nas alturas, condições de tempo fora dos padrões de normas, horários estendidos de medição e uniformidade

dos piranômetros. Assim a Tabela 4.11 apresenta os valores de erros máximos encontrados para cada situação quando comparados com as condições de norma.

Tabela 4.11 - Resumo dos erros máximos encontrados para cada teste.

Teste de nebulosidade (Jan)	Teste de nebulosidade (Maio/Jun)	Altura Sensor	Teste Horário (Março)	Teste Horário (Jun/Jul)
0,02	0,05	0,03	0,02	0,02

Quanto a uniformidade dos dois piranômetros, os valores da relação das irradiações solares ficaram próximos a unidade, e nenhum fator de correção foi aplicado aos dados de irradiação usados do trabalho.

Para finalizar e criar um panorama geral do que foi medido em campo, a Figura 4.54 apresenta, de maneira resumida, todos os resultados medidos em ordem de idade. Iniciou-se pela a refletância média obtida para as lonas pretas seguida da refletância média das telhas envelhecidas e assim sucessivamente, por ordem cronológica dos registros de pintura, até a refletância média da lona branca.

Na Tabela 4.12, foi realizada a conversão de todas as refletâncias obtidas em campo, e portanto, com influência dos fatores de forma (FF), para refletâncias de amostras de laboratório, desconsiderando-se os fatores de forma.

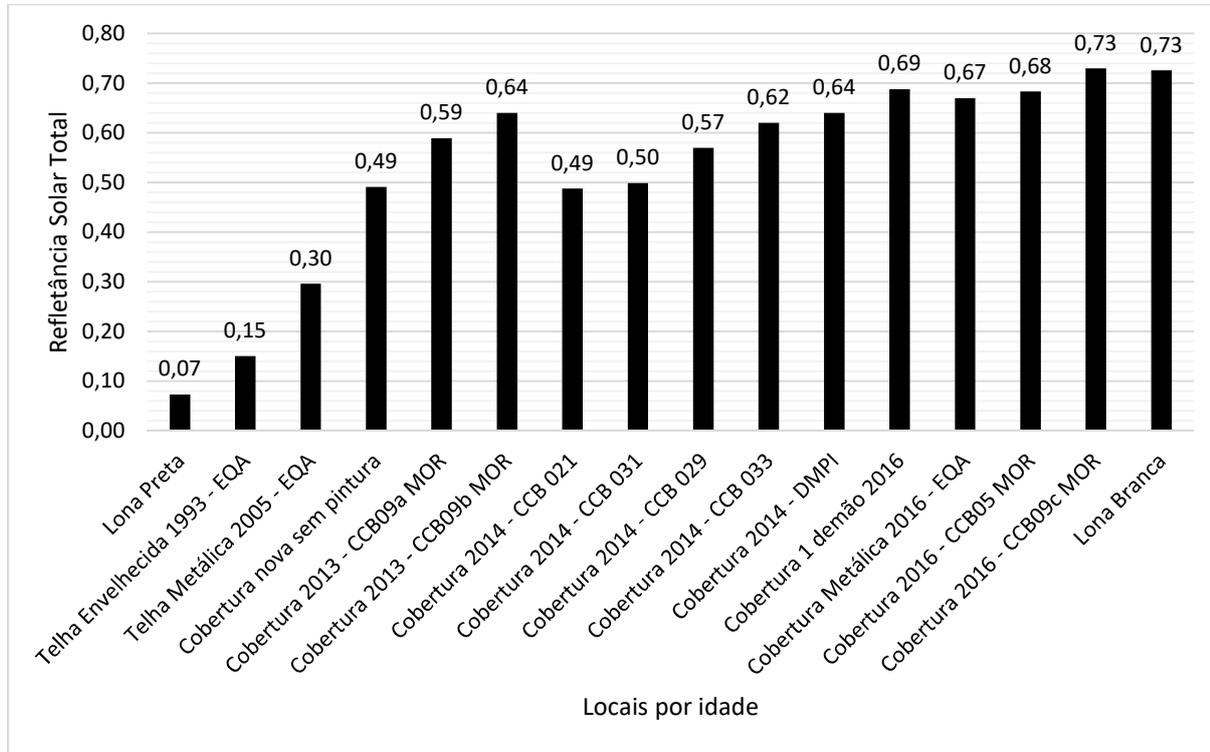


Figura 4.54 – Média das refletâncias testadas em campo em ordem de idade.

Tabela 4.12 - Equivalência das refletâncias obtidas em campo (com FF) para amostras (sem FF).

Local	Data Pintura	Data do Teste	Caract. Telhado		Refletância	
			Tipo	FF ₁₂	Campo	Lab.
DMPI	jan/14	17/05/2016	Ondulada	0,77	0,68	0,73
DMPI	jan/14	02/05/2016	Ondulada	0,77	0,65	0,71
DMPI	jan/14	15/06/2016	Ondulada	0,77	0,67	0,73
DMPI	jan/14	03/05/2016	Ondulada	0,77	0,63	0,69
CCB-MOR-Sem Pintura	n/a	13/03/2016	Ondulada	0,77	0,49	0,56
CCB-MOR-1ª demão	mar/16	13/03/2016	Ondulada	0,77	0,69	0,74
CCB-MOR-2ª demão			não testada			
CCB-MOR-3ª demão	mar/16	06/04/2016	Ondulada	0,77	0,77	0,81
EQA antigo fibrocimento	Aprox. 1993	27/07/2016	Ondulada	0,77	0,15	0,19
CCB09a-MOR	dez/13	06/04/2016	Ondulada	0,77	0,59	0,65
CCB09b-MOR	dez/13	06/04/2016	Ondulada	0,77	0,64	0,70
CCB33-MIP	jan/14	07/03/2016	Maxiplac	0,712	0,62	0,70
CCB31-MIP	jan/14	02/04/2016	Maxiplac	0,712	0,5	0,58
CCB29-MIP	jan/14	02/04/2016	Ondulada	0,77	0,57	0,63
CCB21-MIP	jan/14	25/02/2016	Ondulada	0,77	0,49	0,56
CCB05-MOR	jan/16	16/03/2016	Ondulada	0,77	0,68	0,73
CCB09c-MOR	mar/16	06/04/2016	Ondulada	0,77	0,73	0,78
EQA antigo metálica	jun/05	27/07/2016	Trapezoidal	0,712	0,30	0,38
EQA novo metálica	2016	07/09/2016	Trapezoidal	0,712	0,67	0,74

Conforme pode ser observado da Figura 4.54 acima a perda da refletância ao longo dos anos de envelhecimento não é uniforme. Esta grande variação nos valores de refletância obtidos em campo surge das influências a qual o serviço de pintura está sujeito. Assim desde a

qualidade do substrato até as condições climáticas no período de execução podem afetar o resultado da película de tinta.

Segundo a Equação 2.11 do código TITLE 24 a refletância para as coberturas de 2013 deveria se aproximar de 0,54, contudo as refletâncias medidas ficaram acima desta referência (0,59 e 0,64). Mesmo assim, no que concerne o limite mínimo estabelecido pelo código TITLE 24 para refletância solar envelhecida, de 0,63, o CCB09b MOR (2013) foi a única cobertura que obteve um desempenho superior.



5 CONCLUSÕES

Esta pesquisa foi desenvolvida de forma a identificar como os procedimentos de pintura das telhas das edificações da UFSC afetavam a refletância das coberturas. Desde 2013 as edificações da UFSC passaram por reformas em suas coberturas sem análises dos seus resultados. Assim, de forma a melhor explicar e entender os fatores que influenciam este tipo de serviço, foram preparadas amostras de telhas e de lonas, e foram realizados testes de campo e laboratório que resultam nas seguintes conclusões:

- os testes com o espectrofotômetro baseado em normas internacionais permitem um maior controle sobre o procedimento e os fatores que influenciam na refletância das amostras. São boas referências de comparação para as refletâncias obtidas em campo. Contudo, em função das características individuais de cada teste de campo, a relação das refletâncias de laboratório e de campo deve ser analisada com uma ótica cuidadosa, guardando-se as particularidades de cada ensaio;
- os estudos com as amostras de lonas mostraram que a transparência do material resultava numa grande influência da base utilizada;
- para as amostras de telha de fibrocimento foi possível verificar que a refletância melhora com maior intensidade na primeira demão (aumento médio de aproximadamente 100% em relação a telha nova sem pintura) em razão de que esta altera as propriedades superficiais da telha. As outras demãos melhoram o cobrimento e espessam a película de tinta, contudo geram incrementos bem menores nas refletâncias (4,5% e 3,8%, respectivamente). Os resultados de campo confirmaram a teoria, mesmo

que seus valores de refletância tenham ficado abaixo do medido nas amostras de laboratório. Isso ocorre pelas particularidades do serviço de pintura de campo que não possuem o mesmo controle do processo.

- em função da heterogeneidade das superfícies envelhecidas e novas sem pintura, é importante realizar a medição de mais de um ponto de referência por amostra de forma a estabelecer um valor de refletância médio para a amostra.

As coberturas de vários locais da UFSC foram escolhidas para obter a refletância para várias idades de telhas. Foi testado uma cobertura de fibrocimento envelhecida com mais de 20 anos e de 2013 a 2016 foram avaliados oito telhados. No ano de 2015, por razões administrativas, não foram realizados os serviços de pintura. Desses estudos pode-se ressaltar que:

- apesar de ser possível incluir todas as refletâncias num mesmo gráfico e traçar uma linha de deterioração buscando uma expressão de envelhecimento, tal relação não seria mais que uma informação geral sem bases estatísticas;

- a cobertura envelhecida apresentou uma redução de aproximadamente 50% em relação a uma telha nova sem pintura (na época da execução da edificação, em 1993, não se pintavam os telhados). Os valores de refletância das amostras de fibrocimento envelhecido, que pertenciam a um outro telhado substituído, apresentaram refletância próxima ao obtido em campo demonstrando uma certa homogeneidade ao longo do envelhecimento;

- os parâmetros que influenciaram as degradações superficiais diferem de local para local e até mesmo numa mesma cobertura. No caso do CCB031 a diferença da refletância média do ponto um para o ponto

três foi de até 0,12;

- em duas áreas estudadas no CCB-MIP a película de tinta havia descolado do substrato e numa delas (CCB031) a deterioração era quase completa indicando uma falha na execução do serviço. Segundo as consultas feitas aos documentos do DMPI, os serviços de reparação da cobertura iniciavam pela substituição das telhas antigas e somente depois era realizada a pintura das peças, o que eliminava o risco de uma situação onde o substrato não apresentasse integridade adequada. Nestas duas coberturas não ocorreu o processo de substituição das telhas e a pintura foi realizada sobre a superfície lavada. A indicação é que o processo de lavagem não tenha sido eficiente e afetou a aderência da película de tinta;

- o teste da variação da refletância ao longo de um ano para a cobertura do DMPI não permitiu identificar uma redução da refletância para o período. Isto se deu porque nos dois primeiros anos existe uma perda acentuada da refletância que tende a se estabilizar e variar em torno deste patamar. Estas pequenas variações na refletância podem ocorrer pelos ciclos de depósito de poeira e lavagem da chuva.

As telhas metálicas foram testadas em campo e em laboratório permitindo comparar os valores de refletância para uma cobertura nova e avaliar a degradação em relação a envelhecida. Apesar dos poucos testes percebeu-se uma redução significativa na refletância inclusive com a perda da aderência da película de tinta na cobertura envelhecida, isso demonstra a importância da manutenção destes telhados para a sua durabilidade.

Na terceira etapa os resultados de avaliação do efeito das condições de medição de campo mostraram que:

- é possível realizar os testes com qualquer condição de céu desde

que sejam coletados mais de dez dados com um espaçamento de um a dois minutos entre cada leitura, e seja realizada a eliminação de valores espúrios através de métodos estatísticos. A diferença entre o céu claro e completamente nublado para janeiro foi de 0,02 e para julho 0,05;

- os primeiros quatro testes ocorreram todos no mês de janeiro de 2016, enquanto os quatro testes com as lonas ocorreram em maio e em junho. Este fator, que pode ter aumentado a dispersão dos valores de refletância, é a altitude solar mais baixa (maio e junho) o que indica uma interposição maior da atmosfera ($AM > 1$);

- a altura do sensor demonstra que apesar de existir uma diferença da refletância em razão da altura do sensor devido ao fator de forma, os pequenos erros na verificação da altura do equipamento originados pela imprecisão (normalmente ± 5 cm) na sua montagem não geram inconsistências significativas do valor de refletância solar do ponto. De fato, os dados sugerem que erro de ± 15 cm não influenciam significativamente os resultados;

- é possível realizar os testes por período mais longos do que o descrito na ASTM E1918 (2016). Os resultados mostraram que é possível realizar os testes com erros máximos de 0,02 e desvios padrões inferiores a 0,006, atentando-se unicamente para ausência de sombras nas regiões estudadas. Idealmente nenhum teste ocorreu até estas altitudes solares extremamente baixas, contudo a possibilidade de antecipar ou prolongar um teste em curtos períodos não afetaria significativamente os resultados.

5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Em razão das características investigativas terem sido realizadas em campo e sujeitas a todas as influências reais a que os processos de transferência de calor estão submetidos, nenhum resultado preliminar desta dissertação pretende alegar que não existem exceções as conclusões obtidas.

De fato, efetivamente, as conclusões são observações fundamentadas nos dados coletados, mas que não esgotam as possibilidades e nem garantem estatisticamente que os resultados obtidos possam ser extrapolados para outros casos sem as precauções de novos estudos.

Do lado prático dos testes, o processo de transporte dos equipamentos, seguido da exposição ao sol nos períodos de verão são fatores que deverão ser melhor planejados em estudos mais longos. Todos os testes foram realizados por uma pessoa, o que obrigou, em alguns casos, várias viagens para transportar as peças. Nos pontos mais distantes utilizou-se os veículos elétricos da Prefeitura Universitária – PU/UFSC - pois a movimentação de uma escada tornava a logística impossível de ser feita a pé.

A montagem do equipamento na cobertura é simples e pôde ser feita sem grandes dificuldades para todos os espaços. A verificação das distâncias, paralelismo e estabilidade são facilmente executadas e após um período de adaptação se tornam mais céleres. A partir da movimentação do equipamento até o momento em que ele estava pronto para medir gastava-se aproximadamente uma hora. Em locais mais distantes uma hora e meia.

As coberturas mais antigas, apresentavam falta de segurança para o acesso, estruturas de madeira e telhas envelhecidas e de pouco espessura, o que tornava a movimentação do equipamento perigosa, isso reduziu as áreas onde o teste poderia ter sido realizado.

Os testes realizados nas coberturas de fibrocimento já pintadas iniciaram com o objetivo de estabelecer uma relação da degradação da refletância ao longo dos anos, entretanto logo após a análise dos resultados preliminares se verificou que a comparação desses dados resultaria em mais imprecisões do que conclusões, pois cada cobertura está sujeita a diferentes ambientes e características de pintura

Os testes realizados com lona exigiram maior preparação para sua fixação em razão das presenças de ventos. Inicialmente se pretendia realizar o teste de maneira a ondular as lonas conforme o formato das telhas realizando uma análise dos efeitos de forma, contudo a leveza do material e sua transparência impossibilitaram o teste.

5.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- Testar comparativamente tintas específicas para cobertura e tintas normais;
- realizar um teste com a ASTM E1819 (2016) para medir numa cobertura a relação da refletância e da rugosidade;
- desenvolver um teste de envelhecimento voltado para as condições atmosféricas de Florianópolis;
- comparação entre os testes com espectrofotômetro e com piranômetro. Pintar telhas e medir com piranômetro e depois levar amostras extraídas para o laboratório;

- partindo de coberturas idênticas (mesma telha e mesma refletância) verificar como ocorre a degradação em locais diferentes do campus e da cidade e em posições diferentes numa mesma área;
- verificar a variação da refletância antes e após etapas de lavagem.

6 REFERÊNCIAS

- ABDESSALAM, M.; CASARI, R.; MARCHIO, D., MACE, D., MALEY, V., **Climatiser dans les DOM : guide pratique pour le tertiaire.** v. 7, p. 23–34, 1998.
- AKBARI, H. et al. **Evolution of cool-roof standards in the United States.** Advances in building energy Research, v. 2, n. 1, p. 1-32, 2008.
- AKBARI, H. Measured energy savings from the application of reflective roofs in two small non-residential buildings. **Energy**, v. 28, p. 953-967, 2003.
- AKBARI, H. et al. **Peak power and cooling energy savings of shade trees.** Energy and Buildings 25,. p. 139, 148, 1998.
- Akbari, H., Konopacki, S., Parker, D., Wilcox, B., Eley, C., Van Geem, M. Calculations in support of SSP90.1 for reflective roofs. **ASHRAE Transactions 104 (1B)**, 984–995, 1998.
- AKBARI, H., LEVINSON, R., STERN, S. Procedure for measuring the solar reflectance of flat or curved roofing assemblies, **Solar Energy**, v.82, n.7, p. 648-655, 2008a.
- AKBARI, H.; MENON, S.; ROSENFELD, A. Global cooling: increasing worldwide urban albedos to offset CO₂. **Springer Science**, v. 94, n. 3-4, p. 275-286, 2008.
- AKBARI, H.; POMERANTZ, M.; TAHA, H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. **Solar Energy**, v. 70, n. 3, p. 295-310, 2001.
- AKBARI, H.; DAVIS S.; DORSANO S.; HUANG J.; WINNETT S. **Cooling our communities: A guidebook on tree planting and light-colored surfacing.** U.S. Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division. Berkeley. 1992.

AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY (AMS). **Glossary of Meteorology**. Disponível em: < http://glossary.ametsoc.org/wiki/electromagnetic_spectrum>. Acessado em: 12 de agosto de 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E1918-16**: standard test method for measuring solar reflectance of horizontal and low-slope surface in the field, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E490-00a**: standard solar constant and zero air mass solar spectral irradiance tables, 2014.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, VENTILATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Fundamentals handbook**. Atlanta: [s.n.], 2001.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 90.1-2001a**: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, SI Edition. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA.

ASHIE, Yasunobu. **Management of Urban Heat Environment**. “In”: HANAKI, Keisuke (Org.). Urban Environmental Management and Technology. [s.l.]: Springer, 2008. p. 215–238.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: desempenho térmico de edificações, parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: desempenho térmico de 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, 2005b. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: desempenho térmico de edificações, parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.

BALARAS, C. A.; ARGIRIOU, A. A. **Infrared thermography for building diagnostics**. *Energy and Buildings*, v.34 (2002) p. 171-183.

BEN - **Balanco Energético Nacional** (National Energy Report). Relatório Final– Ano base 2013 (Final Report – base year 2013). Rio de Janeiro: EPE. 2014.

BETTS, R. A.; BEST, M. J. Relative impact of radiative forcing, landscape effects and local heat sources on simulated climate change in urban areas. BETWIXT Technical Briefing Note No. 6, Met Office, Exeter, UK, 2004.

BRETZ, S.; AKBARI, H. Long-term performance of high-albedo roof coatings, **Energy and Buildings**, v. 25 (2), p. 159–167, 1997.

BRITO FILHO, J. P.; HENRIQUEZ, J. R.; DUTRA, J. C. C. Effects of coefficients of solar reflectivity and infrared emissivity on the temperature and heat flux of horizontal flat roofs of artificially conditioned nonresidential buildings. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 440-445, 2011.

CALLISTER, W. D. **Materials science and engineering: An introduction**. 7th Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York, 2007.

CASTRO, A. P. de A. S., et al. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. **Ambiente Construído**, v. 3, n. 2, p. 69-76, Porto Alegre, 2003.

CHENG, V.; NG, E.; GIVONI, B. Effect of envelope color and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. **Solar Energy**, v.78, p. 528-534. 2005.

COAKLEY, J. A. Reflectance and albedo, surface. “In”: HOLTON, J. R.; CURRY, J. A.; PYLE, J. A. **Encyclopedia of the atmospheric sciences**. Academic Press, p. 1914–1923, 2002.

COOK J. C., YARBROUGH D. W., WILKES K. E. Contamination of reflective foils in horizontal applications and the effect on thermal performance. **ASHRAE Trans.**, p. 677–81, 1989-01.

COWAN, H. J. **Reflective insulation and the control of thermal environments**. University of Sydney, 1973. Disponível em: < <http://www.concertinafoilbatts.com/acireflective.pdf> >. Acesso em: 1 de setembro de 2015.

CRUTZEN, P. J. New directions: the growing urban heat and pollution “island” effect — impact on chemistry and climate. **Atmospheric Environment**, v. 38, p. 3539–3540, 2004.

PARKER, Danny S. Theoretical Evaluation of the NightCool Nocturnal Radiation Cooling Concept. U.S. Department of Energy. Florida, 2005.

DORNELLES, K. A.; **Absortância solar de superfícies opacas: conceitos, métodos de determinação e base de dados para tintas imobiliárias**. 2008. 135 p. Tese Doutorado - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M.; RORIZ, V. CARAM, R. **Desempenho térmico de tintas brancas com microesferas cerâmicas para uso em coberturas de edifícios**. “In:” XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, ENAC, Rio de Janeiro, 2011.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. ; RORIZ, V. **Determination of the solar absorptance of opaque surfaces.** “In:” The 24th Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA), Singapore, 2007.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. **A ilusão das cores na identificação da absorptância solar de superfícies opacas.** “In:” IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, ENAC, Ouro Preto, 2007.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes.** 4^a ed., New Jersey: Wiley, 2013.

EIA - **Energy Information Administration.** Total Energy, Electricity End Use, Data. Página consultada em 08 de fevereiro de 2014. <http://www.eia.gov/beta/MER/index.cfm?tbl=T07.06#/?f=A&start=2003&end=2013&charted=5-6-7>

FERREIRA, F. L.; PRADO, R. T. A. **Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil.** Boletim técnico da escola politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2003.

FREMPONG, M. **Influence of climate on the performance of attic radiant barriers in the Continental United States.** Master’s thesis, Architectural Engineering Department, The University of Kansas. 2001.

GARDE, F. **Validation et développement d’un modèle thermo-aéroulrique de bâtiments en climatisation passive et active.** Intégration multimodèle de systèmes. Ph.D. Thesis: Sci. Université de La Réunion. France, 1997.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis, 1997. 345 p.

GUEYMARD, C. A. The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models. **Solar Energy**, v. 76, p. 423-453, 2004.

Google Earth 7.1.2.2041. 2015. UFSC, Florianópolis 27°35'57.49"N, 48°31'04.61"W, altitude de 900 m. 3D Buildings data layer. Em <<http://www.google.com/earth/index.html>>. Acesso em outubro de 2015.

HARVEY, D. **Spectroscopic Methods of Analysis**. “In”: Harvey David. Modern Analytical Chemistry. New York, McGraw-Hill; 2000. p. 374.

HOYT, D. V.; SCHATTEN, K. H., **The Role of the Sun in Climate Change**. Oxford Univ. Press, Oxford, 279 pp. U. K, 1997.

ICHINOSE, T., SHIMODOZONO, K., HANAKI, K. Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo, **Atmospheric Environment**, v. 33, p. 3897-3909, 1999.

IKEMATSU, P. **Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Tradução Eduardo M. Queiroz, Fernando L. P. Pessoa. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

KIRCHSTETTER, T. W., NOVAKOV, T. Evidence that the spectral dependence of light absorption by aerosols is affected by organic carbon. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, 2004.

KOENIGSBERGER, O. H. et al. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madrid: Paraninfo, 1977.

KONOPACKI, S.; AKBARI, H. **Measured energy savings and demand reduction from a reflective roof membrane on a large retail store in Austin**. Lawrence Berkeley National Laboratory, CA. 2001.

KONOPACKI, S.; AKBARI, H.; GARTLAND, L.; e RAINER, L. **Demonstration of energy savings of cool roofs**. Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBNL-40673, Berkeley, CA, 1998.

LAGO, Mara C. de Souza. **Modos de vida e identidade**: Sujeitos no processo de urbanização da Ilha de Santa Catarina. Florianópolis, Ed. UFSC, 1996, p. 60.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura (3ª Edição)**. ELETROBRAS/PROCEL Editores, 2014. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf>. Acesso em 1 de julho de 2015.

LAMBERTS, R. **Heat transfer through roofs of low cost brazilian houses**. Tese doutorado – Department of Civil Engineering. The University of Leeds, 1988.

LAMBERTS, R.; WESTPHAL, F. Energy Efficiency in Buildings in Brazil. “In”: Symposium On Construction & Environment Theory Into Practice, São Paulo, 2000. **Anais....** São Paulo, 2000.

- LEE, S. W.; LIM, C. H.; SALLEH, E. I. B. Reflective thermal insulation systems in building: A review on radiant barrier and reflective insulation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, p. 643-661, 2016.
- LEVINS W. P., HALL J. A. Measured effects of dust on the performance of radiant barriers installed on top of attic insulation. **ASHRAE Trans.**, p. 253–60, 1990-96.
- LEVINSON, R.; AKBARI, H.; BERDAHL, P. Measuring solar reflectance – Part I: defining a metric that accurately predicts solar heat gain. **Solar Energy**, v.84, n.9, p. 1717-1744, 2010a.
- LEVINSON, R.; AKBARI, H.; BERDAHL, P. Measuring solar reflectance – Part II: Review of practical methods. **Solar Energy**, v.84, n.9, p. 1745-1759, 2010b.
- LEVINSON, R., BERDAHL, P., AKBARI, H. Effects of soiling and cleaning on the reflectance and solar heat gain of a light-colored roofing membrane. **Atmospheric Environment**, v. 39, p. 7807-7824, 2005a.
- LEVINSON, R., BERDAHL, P., AKBARI, H. Solar spectral optical properties of pigments—Part II: survey of common colorants. **Solar Energy Materials and Solar Cells** v.89 (4), p. 351–389, 2005b.
- LEVINSON, R., BERDAHL, P., AKBARI, H. Solar spectral optical properties of pigments—Part I: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 89 (4), p. 319–349, 2005c.
- LEVINSON, R.; et al. Inclusion of Cool Roofs in Nonresidential Title 24 Prescriptive Requirements. **Energy Policy**, v. 33, p 151-170, 2005.
- LINDBERG, J. D., DOUGLASS, R. E., GARVEY, D. M. Carbon and the optical properties of atmospheric dust. **Applied Optics**, v. 32, p. 6077–6081, 1993.

- LIU, K. N. **An introduction to atmospheric radiation**. New York: Academic Press Inc., 2002. 583 p.
- LOMBARD, L. P.; ORTIZ J.; POUT C. A review on buildings energy consumption information. **Energy and Buildings**, v.40, p. 394-398, 2008.
- LOTZ F. J. The Effect of Dust on the Efficacy of Reflective Metal Foil Used as Roof/ Ceiling Insulation. **Council of Scientific & Industrial Research**. Research Rep. 212. Pretoria, South Africa, 1964.
- LOVELAND, T. R.; REED, B. C.; BROWN, J. F.; OHLEN, D. O.; ZHU, Z.; YANG, L.; MERCHANT, J. W. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 21:6-7, p. 1303-1330, 2000.
- MEDINA, M. A. On the performance of radiant barriers in combination with different attic insulation levels. **Energy and Buildings**, v. 33, n. 1, p. 31–40, 2000.
- MEDINA, M. A.; YOUNG, B. A perspective on the effect of climate and local environmental variables on the performance of attic radiant barriers in the United States. **Building and Environment**, v.41, n.12, p.1767-1778, 2006.
- MARINOSKI, D. L. **Projeto e montagem de uma bancada para verificação da refletância solar de superfícies opacas através de medições em campo**. Relatório de estágio pós-doutoral. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.
- MARINOSKI, D. L.; et al. Análise comparativa de valores de refletância solar de superfícies opacas utilizando diferentes equipamentos de medição em laboratório. “In”: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: ENCAC, 2013.

MODEST, M. F. **Radiative Heat Transfer, Second Edition**. California, Elsevier Science, Academic Press, 2003.

NAKICENOVIC, N., GRÜBLER, A. & McDonald, A. *Global Energy Perspectives*. Cambridge University Press, New York, NY, 299 pp, 1998.

NICOLAU, V. P., POSSAMAI, T.S. **Medição de refletividades espectrais usando uma esfera de integração**. 2006. 127 p. XI Brazilian Congress of Thermal Science and Engineering, Curitiba, 2006.

NOBOA H., O'NEAL D., TURNER W.D. A model of the effect of dust on the emissivity of radiant barriers. *ASHRAE Trans.*, p. 23–30, 1994.

PEREIRA, C. D. **Influência da refletância e da emitância de superfícies externas no desempenho térmico de edificações**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Tese de Doutorado. Florianópolis, 2014.

PERIN, A. L. **Desenvolvimento de um equipamento para medição de emissividade**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, 2009.

PRADO, R. T. A.; FERREIRA, F. L. Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials. *Energy and Buildings*, v. 37, n. 4, p. 295–300, 2005.

Reflective Insulation Manufacturers Association International. **RIMA-I**. *Understanding and Using Reflective Insulation, Radiant Barriers and Radiation Control Coatings*. 2014.

ROODVOETS, D., MILLER, W. A., DESJARLAIS, A. O. **Saving energy by cleaning reflective thermoplastic low-slope roofs**. In: *Proceedings of Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings*, vol. IX, 2004, Clearwater, FL.

RORIZ, V. F. **Efeitos de ondulação e rugosidade de superfícies sobre suas absorptâncias e emitâncias: modelo teórico e experimental.**

Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Tese de Doutorado. Campinas, 2011.

RORIZ, V. F.; CARAM, R. M.; RORIZ, M. Absortâncias e emitâncias efetivas de superfícies: Um método para estimá-las e exemplos de suas importâncias. **Ambiente Construído**, v.12, n. 2, p. 7-22, 2012.

ROSENFELD A.H. et al, **Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, and updates.** Energy and Buildings 22, 1995. p. 255–265.

SANTAMOURIS, M. et al. On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. **Solar Energy**, v.70, n. 3, p. 201-216, 2001.

SANTOS, E. I. **Comparação de Métodos para Medição de Absortância Solar em Elementos Opacos.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de mestrado. Florianópolis, 2013.

SATO N. M. N.; LOH, K.; LIBORIO, I. M. S. Desempenho térmico de tintas frias em componentes de cobertura. “In”: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: ENCAC, 2013.

SEKER, D. Z.; TAVIL, A. Ü. Evaluation of exterior building surface roughness degrees by photogrammetric methods. **Building and Environment**, 31, 1996. 393-398.

SHI, Z.; ZHANG, X. Analyzing the effect of the longwave emissivity and solar reflectance of building envelopes on energy-saving in buildings in various climates. **Solar Energy**, v.85, n.1, p.28–37, 2011.

SIEGEL, R.; HOWELL, J. **Configuration factors for diffuse surfaces with uniform radiosity**. “In”: Thermal radiation heat transfer, fourth edition. New York, Taylor & Francis Group, 2002.

SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING M. Technical summary. “In”: **Climate change 2007 - The physical science basis**. Cambridge University Press, New York, 2007.

SOUBDHAN, T.; FEUILLARD, T.; BADE, F. Experimental evaluation of insulation material in roofing system under tropical climate. Elsevier, **Solar Energy**, v. 79, n. 2005, p. 311-320, 2004.

SUEHRCKE, H.; PETERSON, E. L.; SELBY, N. Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate. **Energy and Buildings**, v. 40, p. 2224-2235, 2008.

STEFFEN, C. A.; MORAES, E. C.; GAMA, F. F. Radiometria óptica Espectral – Tutorial. In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: INPE, 1996.

SYNNEFA, A., SANTAMOURIS, M., LIVADA, I. A study of the thermal performance and of reflective coatings for the urban environment. **Solar Energy**, v. 80, p. 968–981, 2006.

TANNER, D. B. **Optical effects in solids**. Department of Physics, University of Florida, FL, 2013.

TOULOUKIAN, Y. S.; DE WITT, D. P. **Thermal radiative properties: nonmetallic solids**. Coatings, Thermophysical Properties of Matter, v.8, IFI/Plenum, New York, 1972.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies – Cool Roofs**.

Disponível

em:

<<http://www.epa.gov/heatisd/resources/compendium.htm>>. Acesso em: 01 ago. 2011.

VITTORINO, F.; SATO, N. M. N., AKUTSU, M. **Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas.**

“In:” Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, ENCAC, Paraná, 2003.

WILKES, K.E.; PETRIE, T.W., ATCHLEY, J.A., CHILDS, P.W. Roof heating and cooling loads in various climates for the range of solar reflectances and infrared emittances observed for weathered coatings.

“In”: **Proceedings of the 2000 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, American Council for an Energy-Efficient Economy**, vol. 3, Washington, pp. 3.361–3.372, 2000.

Apêndice

Apêndices

Apêndice 1 – Tabela contendo as informações das edificações que tiveram interferências em suas coberturas e que possuíam coberturas brancas.

Localização				Características construtivas						Mês/Ano Pintura	Descrição do Entorno	
Centro	Setor	Unidade	Nome	Área Total Construída [m ²]	Pav.	Orientação das águas	Área de Cobertura [m ²]	Tipo de Cobertura	Águas			Acesso a Cobertura
Colégio Aplicação	08B	CA01	Bloco A - Patio Coberto	437,61	1	Noroeste - Sudeste	396,20	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso externo com o auxílio de escadas	jul/13	Cobertura com nível mais baixo que o restante das edificações do Aplicação. Vegetação abundante no entorno do colégio, mas distante desta cobertura.
	08B	CA03	Bloco C - Laboratórios	1355,77	3	Noroeste - Sudeste	407,88	Telha Fibrocimento Kalheta 8 mm	2	Acesso até o último andar e alçapão	jul/13	Construções no entorno.
	08B	CA04	Bloco D -Salas de Aula	2321,54	2	Nordeste - Sudoeste	1146,39	Telha Fibrocimento Kalheta 8 mm	2	Acesso externo com o auxílio de escadas	mai/13	Cercado por vegetação pesada em duas laterias. Numa das outras duas possui ligação com outra edificação.

Localização				Características construtivas						Mês/Ano Pintura	Descrição do Entorno	
Centro	Setor	Unidade	Nome	Área Total Construída [m ²]	Pav.	Orientação das águas	Área de Cobertura [m ²]	Tipo de Cobertura	Águas			Acesso a Cobertura
Centro de Ciências Físicas e Matemáticas	09C	CFM04	Bloco 3 - Física	530,23	1	Leste - Oeste	530,23	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso externo com o auxílio de escadas	nov/13	Cercado predominantemente por áreas contruídas, mas possui algumas árvores no entorno.
	09C	CFM07	Bloco 7 - Física	514,05	1	Leste - Oeste	514,05	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso externo com o auxílio de escadas	abr/14	Cercado predominantemente por áreas contruídas, mas possui algumas árvores no entorno.
	09C	CFM08	Bloco 8 - Física	514,05	1	Leste - Oeste	514,05	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso externo com o auxílio de escadas	mai/14	Cercado predominantemente por áreas construídas, mas possui algumas árvores no entorno.
	07B	CFM24	Bloco G - Física	1602,69	3	Noroeste - Sudeste	380,74	Metálica trapezoidal branca em aço zincado	2	Acesso interno com escada até a cobertura	2010 (aprox.)	Cercado predominantemente por áreas construídas e com vegetação na parte sudeste.
	07A	CFM36	Bloco I - Administração Química	2506,60	5	Noroeste - Sudeste	501,32	Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso interno com alçapão	mai/14	Parte sudeste construída e o restante arborizado.

Localização				Características construtivas							Mês/Ano Pintura	Descrição do Entorno
Centro	Setor	Unidade	Nome	Área Total Construída [m ²]	Pav.	Orientação das águas	Área de Cobertura [m ²]	Tipo de Cobertura	Águas	Acesso a Cobertura		
Centro de Ciências Biológicas	09B	CCB01	Bloco B5	521,94	1	Leste - Oeste	521,94	Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso externo com o auxílio de escadas	dez/13	Construído em todo o entorno com poucas árvores presentes.
	09A	CCB05	Blocos E - Salas de Aula	219,82	1	Leste - Oeste	287,99	Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso externo com o auxílio de escadas	jan/16	Predominantemente construído na direção leste e arborizado na direção oeste.
	09A	CCB06	Bloco F - Histologia	285,63	1	Leste - Oeste	285,63	Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso externo com o auxílio de escadas	dez/13	Integralmente construída. Bloco MUT05 é um prédio alto a leste.
	09A	CCB07	Bloco G - Fisiologia	666,29	1	Leste - Oeste	666,29	Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso externo com o auxílio de escadas	dez/13	Integralmente construída. Poucas árvores no entorno.
	09A	CCB08	Bloco H - Técnica Operatória	406,95	1	Leste - Oeste	406,95	Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso externo com o auxílio de escadas	dez/13	Integralmente construída. Poucas árvores no entorno.
	09A	CCB09a	Bloco I - Anatômico	1076,86	1	Norte-Sul	1076,86	Fibrocimento Ondulada 8 mm	6	Acesso externo com o auxílio de escadas	mar/16	Predominantemente construído.
	01C	CCB21	Bloco A - MIP	2103,72	4	Nordeste-Sudoeste	526,91	Telha Fibrocimento Canaleta 8 mm	2	Escadas até a cobertura com grade metálica de fechamento	jan/14	Altura aproximada de 20 metros vista sem interferência de vegetação. Lado sudeste com construção dos blocos do CCB. Próximo a Av. Meira Mar.

Localização			Características construtivas							Mês/Ano Pintura	Descrição do Entorno	
Centro	Setor	Unidade	Nome	Área Total Construída [m ²]	Pav.	Orientação das águas	Área de Cobertura [m ²]	Tipo de Cobertura	Águas			Acesso a Cobertura
Centro de Ciências Biológicas	01C	CCB29	Bloco B - ECZ/BEG	2103,72	4	Nordeste-Sudoeste	525,93	Telha Fibrocimento Canaleta 8 mm	2	Escadas até a cobertura com grade metálica de fechamento	jan/14	Altura aproximada de 20 metros vista sem interferência de vegetação. Lado sudeste com construção dos blocos do CCB e próximo a Av. Beira Mar.
	01C	CCB31	Bloco C - Bioquímica	2103,72	4	Nordeste-Sudoeste	525,93	Telha Fibrocimento MaxiPlac 8 mm	2	Escadas até a cobertura com grade metálica de fechamento	jan/14	Altura aproximada de 20 metros vista sem interferência de vegetação. Lado sudeste com construção dos blocos do CCB e próximo a Av. Beira Mar.
	01C	CCB33	Bloco D - Farmacologia	2103,72	5	Nordeste-Sudoeste	420,74	Telha Fibrocimento MaxiPlac 8 mm	2	Escadas até a cobertura com grade metálica de fechamento	jan/14	Altura aproximada de 20 metros vista sem interferência de vegetação. Lado sudeste com construção dos blocos do CCB e próximo a Av. Beira Mar.
Centro de Comunicação e Expressão	09D	CCE01	Bloco A	2594,40	3	Leste - Oeste	864,80	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Escadas até a cobertura e alçapão	abr/14	Entorno predominantemente construído com grandes edificações no entorno.
	09D	CCE03	Bloco C	2067,09	1	Leste - Oeste	2067,09	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Escadas até a cobertura e alçapão	abr/14	Entorno predominantemente construído com grandes edificações no entorno.

Localização				Características construtivas							Mês/Ano Pintura	Descrição do Entorno
Centro	Setor	Unidade	Nome	Área Total Construída [m ²]	Pav.	Orientação das águas	Área de Cobertura [m ²]	Tipo de Cobertura	Águas	Acesso a Cobertura		
Centro Sócio Econômico	06D	CSE01	Bloco A - Ligação	1398,54	3	Várias águas	466,18	Telha Fibrocimento Canalete 8 mm	4	Acesso interno com escada até a cobertura	abr/14	Árvore altas no entorno das edificações, mas sem influência na cobertura.
	06D	CSE02	Bloco B - Sala de Aula	3510,24	3	Várias águas	1170,08	Telha Fibrocimento Canalete 8 mm	4	Acesso interno com escada até a cobertura	abr/14	Árvore altas no entorno das edificações, mas sem influência na cobertura.
	06D	CSE04	Bloco D - Administrativo	1811,76	3	Noroeste - Sudeste	603,92	Telha Fibrocimento Canalete 8 mm	2	Acesso interno com escada até a cobertura	abr/14	Árvore altas no entorno das edificações, mas sem influência na cobertura.
Centro Ciências Jurídicas	06D	CCJ01	Bloco E - Salas de Aula e Administrativo	2138,16	4	Nordeste - Sudoeste	534,54	Telha Fibrocimento Canalete 8 mm	2	Escadas até último andar e alçapão	abr/14	Árvore altas no entorno das edificações, mas sem influência na cobertura.
Centro de Ciências da Educação	05B	CED04	Bloco C	603,08	4	Norte-Sul	150,77	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso interno com escada até a cobertura	2010 (aprox.)	Predominantemente construído com poucas áreas impermeáveis.
	05B	CED05	Bloco D	2318,25	5	Norte-Sul	463,65	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso interno com escada até a cobertura	2011 (aprox.)	Predominantemente construído com poucas áreas impermeáveis.

Localização			Características construtivas							Mês/Ano Pintura	Descrição do Entorno	
Centro	Sector	Unidade	Nome	Área Total Construída [m ²]	Pav.	Orientação das águas	Área de Cobertura [m ²]	Tipo de Cobertura	Águas			Acesso a Cobertura
Centro de Convivência Universitária	00C	CVU01	Centro de Convivência Universitária	2555,32	2	Leste-Oeste	1277,66	Telha Fibrocimento Maxiplac 8 mm	2	Escadas até a cobertura e alçapão	2011 (aprox.)	Predominantemente construído com poucas áreas impermeáveis.
	00C	IU01	Imprensa Universitária	1792,94	1	Norte-Sul	1792,94	Telha Fibrocimento Maxiplac 8 mm	2	Acesso externo com o auxílio de escadas	nov/13	Predominantemente construído com poucas áreas impermeáveis.
Restaurante Universitário	00D	RU04	Secretaria / Cozinha / Almoxarifado / C. Térmica	1318,56	1	Leste-Oeste	1318,56	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso externo com o auxílio de escadas	jan/14	Predominantemente construído com poucas áreas impermeáveis. Estaciona- mento sem calçamento nas proximidades. Muito pó.
	00D	RU14	Refeitório e Cozinha (Nova Ala) Restaurante Universitário	3104,12	2	Leste-Oeste	1552,06	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso externo com o auxílio de escadas	jul/14	Predominantemente construído com poucas áreas impermeáveis. Estaciona- mento sem calçamento nas proximidades. Muito pó.

Localização				Características construtivas							Mês/Ano Pintura	Descrição do Entorno
Centro	Setor	Unidade	Nome	Área Total Construída [m ²]	Pav.	Orientação das águas	Área de Cobertura [m ²]	Tipo de Cobertura	Águas	Acesso a Cobertura		
Centro de Ciências Tecnológicas	03B	CTC07	Bloco G - Engenharia de Produção e Sistemas	1847,54	2	Norte-Sul	923,77	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso até o último andar e alçapão	mai/14	Predominantemente construído.
	03B	CTC11	Eng. Mecânica	8625,86	3	Norte - Várias águas	2875,29	Telhas de Fibrocimento Ondulada 8 mm (sheds)	7	Acesso até a cobertura por dentro de laboratórios - Plataforma metálica	2016	Predominantemente construído. Grande estacionamento na parte sul. Próximo ao rio com algumas árvores nas margens.
	01A	CTC12	Bloco L - Ligação - Eng. Sanitária e Ambiental	1638,20	4	Norte-Sul	409,55	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso interno com escada até a cobertura	2010 (aprox.)	Predominantemente construído.
	01A	CTC20	Bloco C - Eng. Química	307,37	1	Norte-Sul	307,37	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso externo com o auxílio de escadas	abr/14	Predominantemente construído.
	01A	CTC21	Bloco D - Eng. Química	564,39	1	Norte-Sul	564,39	Telha Fibrocimento Maxiplac 8 mm	2	Acesso externo com o auxílio de escadas	abr/14	Predominantemente construído.
	03A	CTC24	Bloco E - Eng. Química	1407,78	3	Leste-Oeste	469,26	Telha Metálica de Aço Zincado 0,63 mm Envelhecida	2	Acesso até o último andar e alçapão	2005 (aprox.)	Predominantemente construído. Única área verde próxima é um campo de futebol.

Localização			Características construtivas							Mês/Ano Pintura	Descrição do Entorno	
Centro	Sector	Unidade	Nome	Área Total Construída [m ²]	Pav.	Orientação das águas	Área de Cobertura [m ²]	Tipo de Cobertura	Águas			Acesso a Cobertura
Centro de Ciências Tecnológicas	03A	CTC31	Departamento de Informática e Estatística	3266,84	4	Noroeste - Sudeste	816,71	Telha Fibrocimento Canaleta 8 mm	2	Acesso até a cobertura	jul/14	Predominantemente construído.
	03A	CTC32	Eng. Química	3271,50	6	Nordeste-Sudoeste	545,25	Telha Metálica de Aço Zinco do 0,63 mm	2	Acesso até o último andar e alçapão	2016	Predominantemente construído.
	02B	CTC47	Petrogás	533,40	1	Norte-Sul	533,40	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm (Em reforma)	2	Em reforma não foi possível identificar	Em reforma	Predominantemente construído.
Dep. Manutenção Predial e Infra.	01B	ETU02	Departamento de Manutenção Predial e Infraestrutura	266,00	1	Fachada principal Oeste	266,00	Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Diretamente ao telhado via escada móvel	jan/14	2 laterais com revestimentos sextavados no solo; 1 com grama e outra com vegetação edificações próximas
Instituto Universitário	01D	IST01	Instituto Universitário - Eng. Biomédica (IEB)	2390,16	6	Norte-Sul	398,36	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso interno com escada até a cobertura	2012 (aprox.)	Entorno predominantemente arborizado. Edificação mais alta que árvores. Muita umidade.

Localização				Características construtivas							Mês/Ano Pintura	Descrição do Entorno
Centro	Setor	Unidade	Nome	Área Total Construída [m ²]	Pav.	Orientação das águas	Área de Cobertura [m ²]	Tipo de Cobertura	Águas	Acesso a Cobertura		
Centro de Ciência da Saúde	02D	CCS11	Bloco L - Junto ao HU	1004,67	3	Noroeste - Sudeste	334,89	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso externo com o auxílio de andaimes ou destravamento da telha	2012 (aprox.)	Predominantemente arborizado e junto as construções mais altas do Hospital Universitário.
	02D	CCS19	Bloco J - Laboratórios	1721,08	4	Nordeste-Sudoeste	430,27	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso interno com escada até a cobertura	mar/14	Predominantemente construído. Lateral noroeste próxima ao rio com árvores altas algumas atingindo a altura da edificação.
	02D	CCS21	Bloco K - Laboratórios	1721,08	4	Nordeste-Sudoeste	430,27	Telha Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso interno com escada até a cobertura	mar/14	Predominantemente construído. Lateral noroeste próxima ao rio com árvores altas algumas atingindo a altura da edificação.
Hospital Universitário	02B	HU27	Bloco G1 - Lavanderia	2483,12	4	Nordeste-Sudoeste	620,78	Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso via outros telhados	2013 (aprox.)	Lateral noroeste próxima a uma avenida. Restante do entorno predominantemente construído.
	02B	HU13	Bloco E1	2133,28	4	Nordeste-Sudoeste	533,32	Fibrocimento Ondulada 8 mm	2	Acesso via outros telhados	2013 (aprox.)	Lateral noroeste próxima a uma avenida. Restante do entorno predominantemente construído.