

**Elisiane Iza Dos Santos**

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA MEDIÇÃO DE  
ABSORTÂNCIA SOLAR EM ELEMENTOS OPACOS**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Roberto Lamberts, PhD

Florianópolis, SC  
Junho de 2013.

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

DOS SANTOS, ELISIANE IZA  
COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA MEDIÇÃO DE ABSORTÂNCIA SOLAR  
EM ELEMENTOS OPACOS / ELISIANE IZA DOS SANTOS ;  
orientador, Roberto Lamberts ; co-orientador, Deivis Luis  
Marinoski . - Florianópolis, SC, 2013.  
204 p.

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

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Absortância a Radiação Solar. 3.  
Tintas. 4. Rugosidade. 5. Medição. I. Lamberts, Roberto .  
II. Marinoski , Deivis Luis . III. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil. IV. Título.

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - PPGEC

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA MEDIÇÃO DE  
ABSORTÂNCIA SOLAR EM ELEMENTOS OPACOS**

ELISIANE IZA DOS SANTOS

-----  
Prof. Roberto Caldas A. Pinto - Coordenador do PPGEC

-----  
Prof. Roberto Lamberts, PhD - Orientador e Moderador

COMISSÃO EXAMINADORA:

-----  
Prof. Dr. Saulo Güths - EMC/UFSC

-----  
Prof. Dr. Vicente de Paula Nicolau - EMC/UFSC

-----  
Prof. Dr. Maurício Roriz - PPGCI/UFSCAR



Dedico essa obra a um pedacinho de gente, meu filho Davi. Durante sua gestação me acompanhou nas angustias, choros e noites sem dormir, sendo a minha maior fonte de força para terminar esta jornada. Dedico ao meu marido Rafael que muito me auxiliou a iniciar esta caminhada. Aos meus pais, Derli e Lourdes, que sempre me incentivaram com muitas palavras e conselhos sábios.



## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Roberto Lamberts, pela orientação e oportunidade.

Ao Dr. Deivis Luis Marinowski por todo auxílio, dedicação e paciência a mim cedido, sendo um grande conselheiro e mais que um coorientador.

Ao CNPQ pela concessão da bolsa de estudos, indispensável para a realização do trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina por todo o suporte prestado aos alunos.

Aos Coordenadores do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) por disponibilizarem o espaço e equipamentos necessários para o desenvolvimento de todo este trabalho.

Ao professor Vicente de Paulo Nicolau do Laboratório de Ciências Térmicas (LABTERMO) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), por ceder espaço físico do laboratório e a banca de integração para realização dos testes. Também ao pesquisador Emanuel pelo auxílio com os testes realizados na bancada de integração.

À Dra. Kelen de Almeida Dornelles pelos ensaios realizados nas amostras de referência no Instituto de Química da UFSCar (SP).

Ao Centro de Referência em Tecnologia Inovadora (CERTI), no Campus Universitário da UFSC, pelos ensaios realizados no rugosímetro Taylor Hobson.

À Plastimper, por ceder gratuitamente os componentes necessários para fabricação da tinta a base de Sulfato de Bário.

Aos professores que participaram da banca de avaliação desta dissertação: Saulo Güths, Vicente de Paula Nicolau e Maurício Roriz.

Aos professores do programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Elvira Viveiros, Enedir Ghisi, Fernando Oscar Rutkay Pereira, Luis Roberto Prudêncio Júnior, Martin Ordenes, Saulo Güths, e Roberto Lamberts pelas disciplinas ministradas.

Aos meus pais Derli e Lourdes, meus irmãos Ricardo e Everton e ao meu esposo Rafael, por serem cinco grandes exemplos de batalhadores e vencedores em suas jornadas e pela fonte de apoio e estímulo permanente.

Agradeço a Deus pela minha jornada até aqui e por toda a iluminação a mim concedida.





## RESUMO

A radiação solar é um dos fatores que mais contribui para o ganho térmico em edificações, principalmente em regiões tropicais e de baixas latitudes, como é o caso do Brasil. As trocas de energia (luz e calor) entre os meios exterior e interior das edificações dependerão, fundamentalmente, da envoltória construtiva e de suas propriedades termo-físicas, em especial a propriedade de absorvância para os componentes opacos. A absorvância dos componentes opacos da envoltória construtiva determinam parte do impacto da radiação solar na edificação, pois indicam qual fração da energia solar que chega à edificação será absorvida por seu envelope, afetando seu ganho de calor e as temperaturas internas. A falta de dados atualizados de absorvância solar para superfícies opacas faz com que pesquisadores e especialistas utilizem a percepção visual ou valores estimados de absorvância, acarretando em uma escolha muitas vezes equivocada sobre a cor da envoltória, que pode causar uma cor com alta absorvância e baixa eficiência energética por parte da envoltória. Neste sentido, o valor da absorvância das superfícies externas do edifício deve ser o mais preciso possível e quando feita a análise da absorvância desses materiais na própria edificação é de suma importância que seja usado o instrumento correto para as características da envoltória. Este trabalho apresenta uma proposta para obtenção de dados de absorvância solar de superfícies opacas, verificando métodos utilizados para análise absorvativa de materiais opacos, avaliando a viabilidade de cada um desses métodos em função das diferentes texturas de materiais rugosos. Para comprovar a aplicabilidade dos métodos propostos serão realizados estudos com quatro instrumentos de medição para diferentes níveis de texturas de superfícies opacas, verificando os efeitos da rugosidade sobre a absorvância dessas superfícies. Os métodos baseiam-se em medições realizadas com uma bancada (com monocromador e uma esfera integradora), um espectrômetro portátil Alta II, um Luxímetro digital e um Luminâncímetro. O trabalho também contribui com valores de absorvâncias solares de tintas para a construção de um banco de dados referente às tintas disponíveis comercialmente no Brasil.

**Palavras-chave:** Tintas, Absorvância a Radiação Solar, Rugosidade, Medição.



## **ABSTRACT**



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Edificações na região do Alentejo (www.onedegreeless.org).....	24
Figura 1.2 - Construções com fachadas claras e telhado branco (www.onedegreeless.org).....	25
Figura 2.1 - Espectro eletromagnético. ....	29
Figura 2.2 - Espectro solar padrão adotado (ASTM, 2003) .....	31
Figura 2.3 - Esquema de posicionamento do Piranômetro. (ASTM E1918, 2006). ....	35
Figura 2.4 - Método do Espelho Esférico.....	41
Figura 2.5 - Bancada experimental para medições de refletividades espectrais . (Adaptado de NICOLAU e POSSAMAI, 2006). ....	43
Figura 2.6 - Absortâncias médias e respectivas curvas espectrais: Acrílica fosca x semi-brilho . (Adaptado de Dornelles e Roriz, 2007). ....	48
Figura 2.7 - Curvas espectrais de refletância de tintas refletiva (T2) e convencional (T5) de cor marrom. ....	58
Figura 2.8 - Inter-reflexão provocada pela rugosidade.....	67
Figura 2.9 - Texturas de superfície (Ferreira, 2005). ....	69
Figura 2.10 - Rugosímetro digital portátil com registro gráfico incorporado. ....	70
Figura 2.11 - Rugosímetro analógico. ....	70
Figura 2.12 - Níveis de altura da rugosidade (Ferreira, 2005). ....	71
Figura 2.13 - Valores máximos de pico (Ferreira, 2005). ....	72
Figura 2.14 - Formas de rugosidade (Ferreira, 2005).....	72
Figura 2.15 - Rugosímetro digital com registro incorporado (Ferreira, 2005). ....	73
Figura 2.16 - Cores das tintas aplicadas sobre as amostras rugosas. (Dornelles, 2009b).....	75
Figura 3.1 - Fluxograma das etapas da pesquisa. ....	80
Figura 3.2 - Placa cerâmica sem tratamento.....	81
Figura 3.3 - Lixa P36.....	83
Figura 3.4 - Lixa P24.....	83
Figura 3.5 - Curvatura da Lixa P24.....	84
Figura 3.6 - Exemplo de tamanho e nomenclatura.....	87
Figura 3.7 - Amostras com fundo cinza. ....	88
Figura 3.8 - Lixas P24 e P36 em detalhe.....	88
Figura 3.9 - Rolo de tinta com pelos curtos.....	89
Figura 3.10 - Pincéis utilizados na preparação das amostras. ....	90
Figura 3.11 - Modelos POP1, PP1 e CP1.....	91
Figura 3.12 - Amostras cerâmicas.....	92

Figura 3.13 - Amostras confeccionadas com lixas P36 e P24.....	93
Figura 3.14 - Amostras de referência.....	94
Figura 3.15 - Espectrofotômetro Varian CARY 5G para avaliação das amostras de referência.....	95
Figura 3.16 - Espectrômetro portátil ALTA II.....	97
Figura 3.17 - Espectrômetro ALTA II, conjunto de lâmpadas e sensor.....	97
Figura 3.18 - Curva de reflexão espectral do papel branco Ripax 75g/m <sup>2</sup> (DORNELLES e RORIZ, 2006).....	99
Figura 3.19 - Altura do aparato experimental ajustável a espessura da amostra a ser testada. ....	103
Figura 3.20 - Abertura na câmara deixando exposta a frente do espectrômetro.....	104
Figura 3.21 - Bancada com esfera de integração. ....	105
Figura 3.22 - Esquema da bancada para medições de refletividades espectrais.....	106
Figura 3.23 - Revestimento interno da esfera de integração. ....	107
Figura 3.24 - Esfera antes da nova pintura.....	107
Figura 3.25 - Esfera após a repintura. ....	109
Figura 3.26 - Espectro para o Sulfato de Bário (Newport corporation). ....	110
Figura 3.27 - Luxímetro digital Phyew. ....	112
Figura 3.28 - Cobertura de céu no momento dos ensaios. ....	112
Figura 3.29 - Posicionamento do Luxímetro.....	113
Figura 3.30 - Posicionamento do Luxímetro.....	113
Figura 3.31 - Rugosímetro Taylor Hobson. ....	115
Figura 3.32 - Confecção das negativas das amostras.....	116
Figura 3.33 - Negativas das amostras. ....	116
Figura 3.34 - Moldes das amostras confeccionados com gesso ortodôntico. ....	117
Figura 3.35 - molde da amostra sendo analisado pelo rugosímetro. ...	118
Figura 4.1 - Absortâncias totais para as faixas de 300 à 2500nm e 470 à 940nm. ....	121
Figura 4.2 - Curva espectral de absortância da amostra Branca emborrachada ajustada ao Espectro Solar.....	122
Figura 4.3 - Curva espectral de absortância da amostra Branca AF ajustada ao Espectro Solar. ....	123
Figura 4.4 - Curva espectral de absortância da amostra Preta AF ajustada ao Espectro Solar. ....	123
Figura 4.5 - Curva espectral de absortância da amostra Vermelha AF ajustada ao Espectro Solar. ....	124

Figura 4.6 e - Curva espectral de absorvância da amostra Verde AF ajustada ao Espectro Solar.....	124
Figura 4.7 - Curva espectral de absorvância da amostra Azul AF ajustada ao Espectro Solar.....	125
Figura 4.8 - Curva espectral de absorvância da amostra Azul PVA ajustada ao Espectro Solar.....	125
Figura 4.9 - Curva espectral de absorvância da amostra Azul ASB ajustada ao Espectro Solar.....	126
Figura 4.10 - Absorvância de referênciã e obtidas pela esfera, alta II e Luxímetro.....	129
Figura 4.11 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Branca Emborrachada.....	132
Figura 4.12 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Branca AF.....	133
Figura 4.13 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Preta AF.....	134
Figura 4.14 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Vermelha AF.....	134
Figura 4.15 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Verde AF.....	135
Figura 4.16 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Azul AF.....	135
Figura 4.17 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Azul PVA.....	136
Figura 4.18 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Azul ASB.....	136
Figura 4.19 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Branco Emborrachada.....	137
Figura 4.20 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Branca AF.....	137
Figura 4.21 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Preta AF.....	138
Figura 4.22 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Vermelha AF.....	138
Figura 4.23 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Verde AF.....	139
Figura 4.24 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Azul AF.....	139
Figura 4.25 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Azul PVA.....	140
Figura 4.26 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Azul ASB.....	140
Figura 4.27 - Absorvância Referênciã X Luxímetro digital.....	142
Figura 4.28 - Perfil de rugosidade das amostras cerâmicas pintadas com pistola de ar comprimido.....	143
Figura 4.29 - Perfil de rugosidade das amostras cerâmicas pintadas com rolo de lã sintética.....	144

Figura 4.30 - Perfil de rugosidade das amostras cerâmicas pintadas com pincel.....	144
Figura 4.31 - Perfil de rugosidade das amostras de lixa P36 pintadas com pistola de ar comprimido.....	145
Figura 4.32 - Perfil de rugosidade das amostras de lixa P36 pintadas com rolo de lã sintética. ....	145
Figura 4.33 - Perfil de rugosidade das amostras de lixa P36 pintadas com pincel.....	146
Figura 4.34 - Perfil de rugosidade das amostras de lixa P24 pintadas com pistola de ar comprimido.....	146
Figura 4.35 - Perfil de rugosidade das amostras de lixa P24 pintadas com rolo de lã sintética. ....	147
Figura 4.36 - Perfil de rugosidade das amostras de lixa P24 pintadas com pincel.....	147
Figura 4.37 - Absortância das amostras pintadas com pistola de ar comprimido.....	151
Figura 4.38 - Absortância das amostras pintadas com rolo.....	152
Figura 4.39 - Absortância das amostras pintadas com pincel. ....	152
Figura 4.40 - Absortâncias obtidas pelo ALTA II (pistola de ar comprimido).....	155
Figura 4.41 - Branca Emborrachada nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.....	156
Figura 4.42 - Branca AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.....	156
Figura 4.43 - Preta AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.....	157
Figura 4.44 - Vermelha AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.....	157
Figura 4.45 - Verde AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.....	158
Figura 4.46 - Azul AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.....	158
Figura 4.47 - Azul PVA nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.....	159
Figura 4.48 - Azul ASB nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.....	159
Figura 4.49 - Absortâncias obtidas pelo ALTA II (rolo de lã sintética). ....	160
Figura 4.50 - Branca Emborrachada nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética. ....	161



Figura 4.51 - Branca AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética. ....	161
Figura 4.52 - Preta AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética. ....	162
Figura 4.53 - Vermelha AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética. ....	162
Figura 4.54 - Verde AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética. ....	163
Figura 4.55 - Azul AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética. ....	163
Figura 4.56 - Azul PVA nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética. ....	164
Figura 4.57 - Azul ASB nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética. ....	164
Figura 4.58 Absortâncias obtidas pelo ALTA II (pincel).....	165
Figura 4.59 - Branca Emborrachada nas três rugosidades, pintada com pincel. ....	166
Figura 4.60 - Branca AF nas três rugosidades, pintada com pincel. ...	167
Figura 4.61 - Preta AF nas três rugosidades, pintada com pincel. ....	167
Figura 4.62 - Vermelha AF nas três rugosidades, pintada com pincel. ....	168
Figura 4.63 - Verde AF nas três rugosidades, pintada com pincel. ....	168
Figura 4.64 - Azul AF nas três rugosidades, pintada com pincel. ....	169
Figura 4.65 - Azul PVA nas três rugosidades, pintada com pincel. ....	169
Figura 4.66 - Azul ASB nas três rugosidades, pintada com pincel. ....	170
Figura 4.67 - Absortâncias obtidas pelo método da esfera das amostras pintadas com pistola de ar comprimido. ....	171
Figura 4.68 - Branca Emborrachada nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido. ....	172
Figura 4.69 - Branca AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido. ....	172
Figura 4.70 - Preta AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido. ....	173
Figura 4.71 - Vermelha AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido. ....	173
Figura 4.72 - Verde AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido. ....	174
Figura 4.73 - Azul AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido. ....	174
Figura 4.74 - Azul PVA nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido. ....	174

Figura 4.75 - Azul ASB nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido. ....	175
Figura 4.76 - Absortâncias obtidas pelo método da esfera das amostras pintadas com rolo de lã sintética. ....	176
Figura 4.77 - Branca Emborrachada nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética. ....	177
Figura 4.78 - Branca AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética. ....	178
Figura 4.79 - Preta AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética. ....	178
Figura 4.80 - Vermelha AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética. ....	178
Figura 4.81 - Verde AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética. ....	179
Figura 4.82 - Azul AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética. ....	179
Figura 4.83 - Azul PVA nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética. ....	179
Figura 4.84 - Azul ASB nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética. ....	180
Figura 4.85 - Absortâncias obtidas pelo método da esfera das amostras pintadas com pincel. ....	181
Figura 4.86 - Branca Emborrachada nas três rugosidades, pintada com pincel. ....	182
Figura 4.87 - Branca AF nas três rugosidades, pintada com pincel. ....	182
Figura 4.88 - Preta AF nas três rugosidades, pintada com pincel. ....	183
Figura 4.89 - Vermelha AF nas três rugosidades, pintada com pincel. ....	183
Figura 4.90 - Verde AF nas três rugosidades, pintada com pincel. ....	183
Figura 4.91 - Azul AF nas três rugosidades, pintada com pincel. ....	184
Figura 4.92 - Azul PVA nas três rugosidades, pintada com pincel. ....	184
Figura 4.93 - Azul ASB nas três rugosidades, pintada com pincel. ....	184
Figura 4.94 - Absortâncias obtidas pelo método do Luxímetro das amostras pintadas com pistola de ar comprimido. ....	185
Figura 4.95 - Absortâncias obtidas pelo método do Luxímetro das amostras pintadas com rolo de lã sintética. ....	187
Figura 4.96 - Absortâncias obtidas pelo método do Luxímetro das amostras pintadas com pincel. ....	188

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Especificações técnicas das redes de difração (Borges, 2004). .....	43
Tabela 2.2 - Valores integrados (totais) de absorvância (%) para os diferentes tipos e cores de tintas testadas em ambiente interno e externo. Santos et al.(2009). .....	55
Tabela 2.3 - Absorvâncias integradas para as amostras dentro da câmara escura X fora da câmara escura. Santos et al.(2009). .....	55
Tabela 2.4 - Refletâncias das amostras durante o tempo de exposição (Figueiredo et al., 2009). .....	62
Tabela 2.5 - Resultados de análise da rugosidade (adaptado de Wielock, 2004). .....	74
Tabela 3.1 - Granulometria das amostras rugosas segundo FEPA. ....	82
Tabela 3.2 - Legendas das cerâmicas. ....	85
Tabela 3.3 - Legendas da lixas P36. ....	86
Tabela 3.4 - Legendas das lixas P24. ....	86
Tabela 3.5 - Legendas das amostras de referência. ....	94
Tabela 3.6 - Valores das absorvâncias de referência (amostras cerâmicas). ....	95
Tabela 3.7 - Comprimentos de onda na faixa do visível. ....	98
Tabela 3.8 - Comprimentos de onda na faixa do infravermelho. ....	98
Tabela 3.9 - Refletâncias de referência na faixa do visível. ....	100
Tabela 3.10 - Refletâncias de referência na faixa do Infravermelho... ..	100
Tabela 3.11 - Tintas a base de Sulfato de Bário. ....	108
Tabela 3.12 - Comprimentos de onda para a esfera integradora. ....	110
Tabela 3.13 - Especificação dos moldes de gesso. ....	118
Tabela 4.1 - Valores das absorvâncias das amostras de referência (amostras cerâmicas). ....	119
Tabela 4.2 - Absorvâncias de referência e obtidas pelos métodos propostos. ....	128
Tabela 4.3 - Diferenças entre os métodos e as referências. ....	131
Tabela 4.4 - Ra, Rz e Rz max par os moldes ensaiados pelo rugosímetro. ....	148
Tabela 4.5 - Rugosidade média ( $\mu\text{m}$ ) e absorvância (%) pelo Alta II. ....	150
Tabela 4.6 - Absorvâncias (%) de todas as amostras para os três métodos analisados. ....	153



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
1.1	Importância e justificativas.....	23
1.2	Objetivos.....	26
1.2.1	Objetivo geral.....	26
1.2.2	Objetivos específicos.....	26
1.3	Delimitação do trabalho.....	27
1.4	Estrutura do trabalho.....	27
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>29</b>
2.1	Teoria da radiação solar e seus efeitos sobre superfícies.....	29
2.2	Métodos para verificação da absorvância/refletância para superfícies opacas.....	33
2.2.1	Métodos Normalizados.....	33
2.2.2	Esfera Integradora.....	40
2.3	Estudos realizados para análise de absorvância/refletância solar.....	44
2.3.1	Análises espectrofotométricas para materiais opacos.....	44
2.3.1.1	Análises por espectrofotômetro.....	44
2.3.1.2	Métodos alternativos: Scanner e Alta II.....	48
2.3.2	Análises de materiais seletivos.....	56
2.3.3	Materiais seletivos e o efeito das intempéries.....	59
2.3.4	Análises de materiais termocrômicos.....	63
2.3.5	Contribuição das coberturas.....	65
2.4	Rugosidade superficial de materiais.....	67
2.4.1	Métodos e equipamentos de medição de rugosidade.....	68
2.4.2	Rugosidade x Absorvância.....	73
2.5	Síntese do capítulo e discussão.....	77
<b>3</b>	<b>MÉTODOS.....</b>	<b>79</b>
3.1	Introdução.....	79
3.2	Amostras ensaiadas.....	81
3.2.1	Preparação das amostras.....	81
3.2.1.1	Especificação e corte dos materiais.....	81
3.2.1.2	Pintura das amostras.....	85
3.2.1.3	Fundo cinza.....	87
3.2.1.4	Aplicação das cores.....	89
3.3	Métodos experimentais.....	95
3.3.1	Método do espectrômetro portátil ALTA II.....	96
3.3.1.1	Equacionamento para o espectrômetro portátil Alta II.....	98

3.3.1.2	Câmara escura.....	103
3.3.2	Método da esfera integradora.....	104
3.3.2.1	Repintura da esfera .....	107
3.3.2.2	Equacionamento para o método da esfera integradora .....	109
3.3.3	Método do Luxímetro .....	111
3.3.3.1	Medições em ambiente natural .....	112
3.3.3.2	Equacionamento para o Luxímetro .....	113
3.4	Verificação da rugosidade.....	114
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>119</b>
4.1	Valores de referência.....	119
4.2	Comparação das absortâncias obtidas pelos métodos experimentais e os valores de referência.....	126
4.2.1	Incerteza dos métodos frente aos valores de referência.....	130
4.2.1.1	Referência x Esfera Integradora - Análise das curvas espectrais. .....	132
4.2.1.2	Espectrômetro ALTA II x Referência - Análise das curvas espectrais .....	137
4.2.1.3	Luxímetro Digital x Referência - Análise dos valores totais.	141
4.3	Verificação da Rugosidade.....	143
4.4	Rugosidade versus absortância.....	149
4.5	Absortâncias para três processos de pintura .....	153
4.5.1.1	Método do espectrômetro portátil.....	154
4.5.1.2	Método da Esfera Integradora .....	170
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>191</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>195</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Importância e justificativas.

Ao realizar o projeto de uma edificação, alguns parâmetros de segurança, economia e conforto, devem ser analisados, bem como a sua adequação ao uso e sua durabilidade. Harmonizar todos esses parâmetros não é algo simples e a edificação muitas vezes fica inadequada em alguns desses parâmetros. O parâmetro que o usuário mais mostra insatisfação geralmente é o conforto, no aspecto luminoso, sonoro e térmico.

O nível de conforto oferecido em um ambiente depende de condições térmicas, ergonômicas, acústicas, lumínicas e tátil, além da qualidade do ar. Mas para manter todas essas condições adequadas, principalmente as condições térmicas, e evitar que a edificação tenha um consumo energético alto, faz-se necessário um bom projeto arquitetônico tomando decisões que considerem o clima da região, analisando a edificação em detalhes simples como: volumetria do edifício, orientação das fachadas, posicionamento e sombreamento de janelas, sistemas construtivos das paredes e coberturas, e das propriedades termo-físicas dos elementos que o compõem.

O Brasil por sua grande extensão territorial apresenta uma grande diversidade climática. A região sul, por exemplo, é a única região brasileira localizada quase totalmente abaixo do Trópico de Capricórnio e, por isso, a mais fria. O clima dominante é o subtropical e são frequentes as geadas. Em altitudes elevadas ocorrem ocasionalmente precipitações de neve. A menor temperatura já registrada em território nacional, oficialmente, foi na cidade de Xanxerê, estado de Santa Catarina, chegando a  $-11,1^{\circ}\text{C}$ , em 20 de Julho de 1953. No restante do país é predominante o clima tropical, sendo a maior temperatura registrada na cidade do Bom Jesus do Piauí, em 21 de Novembro de 2005, chegando a  $44,7^{\circ}\text{C}$ . ([http://www.inmet.gov.br/html/informacoes/curiosidade/sobre\\_tempo.html](http://www.inmet.gov.br/html/informacoes/curiosidade/sobre_tempo.html)) Considerando essas rigorosas temperaturas ou até mesmo tentativa de amenizar o efeito delas nas edificações, devem ser pensadas já na fase de projeto soluções que possam amenizar o efeito, dessas temperaturas rigorosas, sobre as edificações.

A falta de informações sobre soluções energéticas, para clima frio quanto para o quente, vem sendo responsável pelo elevado número de construções com baixo desempenho térmico e elevado consumo de energia.

Para as regiões tropicais e de baixa latitude principalmente, o Sol, tanto como fonte de luz como de calor, é um elemento de extrema importância no estudo da eficiência energética de uma edificação. Da radiação solar incidente na edificação, o fator mais impactante, dentre outros, na sua carga térmica é a absorptância. A absorptância é definida por Incropera e DeWitt (2003), como sendo a fração da radiação incidente absorvida por uma superfície.

Através do envelope da construção, o ganho solar ocorrido depende da intensidade de radiação solar incidente e da absorptância da superfície externa da construção.

Essa absorptância normalmente é associada à cor da superfície. Por isso em muitos países cujo clima é quente, as cores claras são predominantes nas construções, com é o caso de **Métola**, uma vila portuguesa do distrito de Beja, região do **Alentejo** (Figura 1.1), pois acredita-se que cores claras possuem baixa absorptância solar.



**Figura 1.1 - Edificações na região do Alentejo**  
([www.onedegreeless.org](http://www.onedegreeless.org)).

Reduzindo-se a temperatura superficial externa de edificações, por sua vez reduz o fluxo de calor através do envelope da edificação. Esta redução pode ser atingida diminuindo a absorptância das superfícies opacas externas da edificação, o que diminui o ganho de calor pela envoltória.



As baixas absorvâncias das paredes e coberturas auxiliam na diminuição da temperatura interna das residências, tornando-as mais confortáveis termicamente no verão e reduzindo o consumo energético por ar condicionado. Também auxiliam na diminuição das ilhas de calor ocorridas em grandes centros urbanos.

Na Figura 1.2, as habitações apresentam, além das fachadas claras, telhados pintados na cor branca.



**Figura 1.2 - Construções com fachadas claras e telhado branco  
([www.onedegreeless.org](http://www.onedegreeless.org))**

O meio mais eficaz do projetista controlar a quantidade de calor que chega ao interior de uma edificação é considerar cuidadosamente o modo como o envelope construtivo absorve e reflete a radiação solar. Então o uso adequado das cores das superfícies e suas respectivas absorvâncias, pode trazer benefícios sem custo adicional. Basta que o profissional esteja atento às propriedades de cada material utilizado e seja capaz de aplicar a cor adequada à edificação, de acordo com o clima regional.

Essa escolha das cores das superfícies normalmente é feita partindo do pressuposto que cores claras refletem mais que as cores mais escuras, o que pode acarretar em uma decisão equivocada por parte

do projetista, pois a cor não é um indicativo preciso de quanto uma tinta absorve ou reflete a radiação solar.

Os próprios fabricantes de tintas não apresentam os dados de absorvância devido ao grande número de variações de cores existentes hoje no mercado e também por falta de exigência por parte dos projetistas e consumidores.

Mesmo na literatura técnica, os dados disponíveis eram até pouco tempo desatualizados e imprecisos, dispondo de apenas alguns valores médios de absorvâncias e refletâncias em superfícies. A literatura brasileira baseava-se, na maioria das vezes, na percepção visual ou em resultados obtidos no exterior, referindo-se a materiais e acabamentos que nem sempre correspondiam aos utilizados nas construções brasileiras.

Neste trabalho, pretende-se realizar um estudo sobre absorvâncias solares e estudar os efeitos de rugosidade da superfície sobre o valor da absorvância, através de quatro métodos de medição.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é avaliar diferentes métodos de medição de absorvância solar para tintas com aplicação na arquitetura, considerando o efeito de rugosidade superficial sobre a absorvância solar.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Como objetivos específicos decorrentes das atividades desenvolvidas durante a pesquisa, pretende-se:

- Determinar valores de absorvância solar de tintas utilizadas em superfícies opacas;
- Analisar o efeito da rugosidade superficial sobre a absorvância solar;
- Comparar os valores das absorvâncias medidas entre diferentes métodos e tintas que apresentam composições químicas distintas, mas cores iguais;
- Definir o melhor método de medição de absorvâncias para cada nível de rugosidade de superfície das amostras analisadas;

- Discutir os efeitos da variação de temperatura sobre a absorvância.

### **1.3 Delimitação do trabalho**

A realização de um estudo das propriedades absorvivas da envoltória de uma edificação é trabalhosa, muitas vezes não é possível a extração de uma amostra do envelope para que seja feita a análise laboratorial dessas propriedades. É necessário então um método no qual possam ser realizadas as medições na própria edificação.

Desta forma, neste trabalho serão apresentados três métodos de obtenção de absorvância solar de tintas comerciais utilizadas nas superfícies da envoltória construtiva. Todos os métodos apresentados fazem uso de instrumentos portáteis, o que possibilita que as medições sejam realizadas na própria edificação, se necessário.

### **1.4 Estrutura do trabalho**

Este texto encontra-se dividido em cinco capítulos. No capítulo 1 é apresentada uma breve introdução ao tema, importância e justificativas da pesquisa, e objetivos.

O capítulo 2 mostra uma revisão de literatura referente à radiação solar e sua influência na carga térmica das edificações. Mostra alguns métodos de medição de absorvância normalizados. Apresenta estudos feitos sobre resultados obtidos por análise espectrofotométrica e para outros métodos alternativos para tintas utilizadas na construção civil, materiais seletivos e termocrômicos, incluindo dados sobre refletância em telhados e coberturas. Faz um estudo sobre a rugosidade de materiais e seus efeitos sobre a absorvância destes.

O capítulo 3 trata dos materiais e métodos adotados na pesquisa: apresenta a confecção das diversas amostras analisadas experimentalmente, descreve o procedimento para as medições espectrofotométricas, assim como os métodos propostos apresentados neste trabalho para determinar a absorvância solar de superfícies opacas. Também apresenta um procedimento para ajustar os dados de absorvância ao espectro solar padrão, a análise do efeito da rugosidade superficial de diferentes amostras sobre a absorvância solar e uma análise térmica das amostras ensaiadas.

O capítulo 4 mostra os resultados deste estudo.

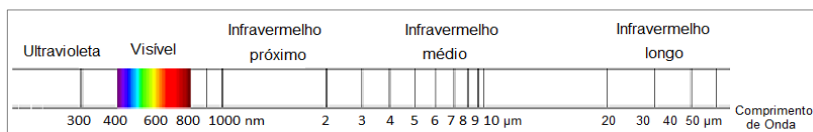
Por fim, o capítulo 5 apresenta a conclusão dos estudos apresentados na dissertação de mestrado.



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Teoria da radiação solar e seus efeitos sobre superfícies

**Radiação solar** é a designação dada à energia radiante emitida pelo Sol, transmitida sob a forma de radiação eletromagnética. Cerca de 35% desta energia é emitida como luz visível na parte de frequência mais alta do espectro eletromagnético (Figura 2.1), 50% na banda do infravermelho próximo e o restante como radiação ultravioleta. A radiação solar fornece anualmente para a atmosfera terrestre  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia (Spiro & Stigliani, 2009).



**Figura 2.1 - Espectro eletromagnético.**

A radiação ultravioleta é produzida em grande quantidade pelo Sol, sendo emitida na faixa de 100 a 380 nm, mas é, em parte, absorvida pela camada de ozônio. Apesar de chegar à superfície terrestre em pequena proporção, a radiação ultravioleta pode causar diversos efeitos como o desbotamento ou descoloração de pinturas, carpetes, móveis, roupas, quadros, etc. A região do ultravioleta responsável pelo desbotamento da matéria situa-se entre 300 e 380 nm (CASTRO, 2002).

A região visível do espectro solar compreende uma faixa espectral bem definida, que varia de 380 nm a 780 nm, e é aquela para a qual o olho humano é sensível, permitindo a visão dos objetos. Dependendo do comprimento de onda, a luz refletida por uma superfície produz as diferentes sensações de cores (DORNELLES, 2008).

A radiação do infravermelho próximo varia normalmente de 780nm a 2 μm. Especificamente a região do infravermelho próximo possui um grande efeito térmico, responsável pelo aquecimento.

A radiação emitida pelo sol ao atravessar a atmosfera terrestre, pode ser absorvida, refletida ou espalhada, dependendo das partículas e dos gases presentes na atmosfera. A atmosfera terrestre absorve grande parte da energia incidente da radiação solar e a parcela de radiação que não é absorvida e nem refletida chega à superfície terrestre dividida em duas parcelas:

- **Radiação Direta:** é a parcela de radiação solar que passa livremente pela atmosfera e incide sobre a superfície terrestre em diferentes ângulos que dependem da posição relativa do Sol a cada momento.

- **Radiação Difusa:** é a parte da radiação dispersa pela atmosfera, refletida pelas nuvens, e outros.

A **Radiação Global** é a soma dessas parcelas.

A ASTM-G173 (2003) na Figura 2.2 apresenta as curvas de distribuição espectral da energia solar acima da atmosfera terrestre e ao nível do mar (Radiação Global).

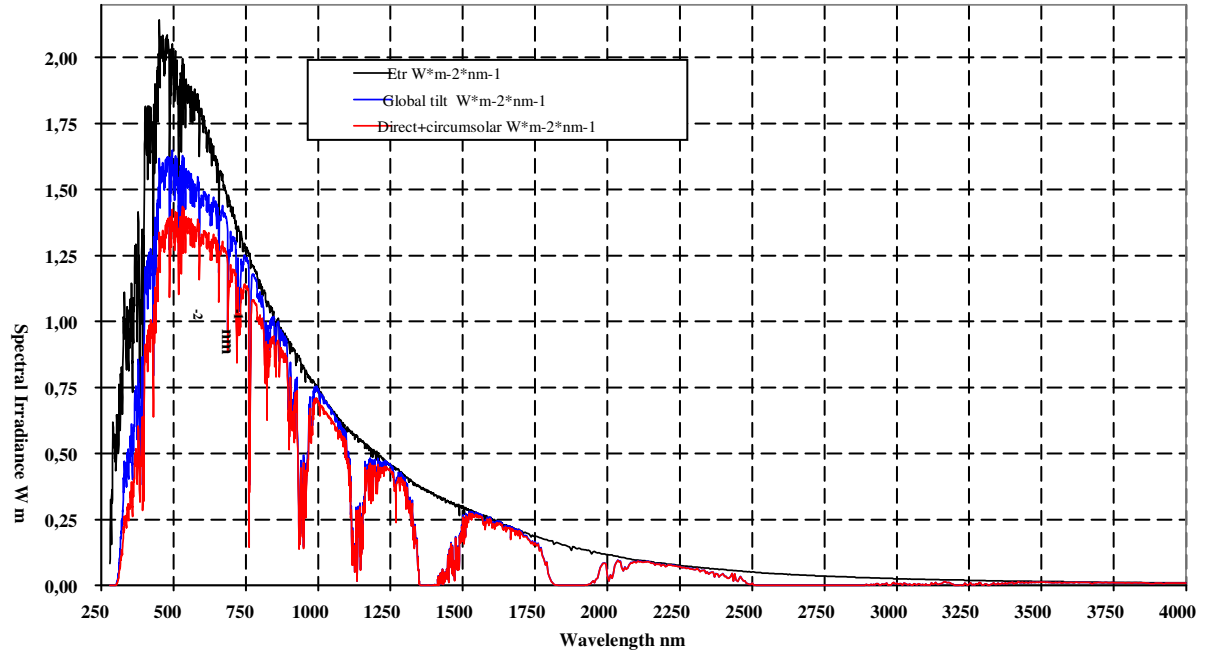


Figura 2.2 - Espectro solar padrão adotado (ASTM, 2003)

Quando a energia emitida no ultravioleta, visível e no infravermelho próximo é absorvida por superfícies, ela causa um ganho de calor, aumentando as temperaturas internas em edificações, portanto é de extrema importância seu estudo. O aumento de temperatura em grandes centros urbanos, somado com a emissão de gases na atmosfera, gera um efeito conhecido como ilha de calor. Para manter um padrão de conforto térmico as pessoas fazem uso excessivo de aparelhos de ar condicionado, gerando um alto consumo de energia elétrica. O meio mais eficiente de reduzir esses ganhos de calor solar é controlar a quantidade de energia que é absorvida por essas superfícies.

Quando uma quantidade de radiação atinge uma superfície qualquer, essa energia pode ser refletida, absorvida ou transmitida através do material, Equação (2.1)

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (2.1)$$

Onde:

$\alpha$  = fração absorvida da radiação incidente, ou absorptância;

$\rho$  = fração refletida da radiação incidente, ou refletância;

$\tau$  = fração transmitida da radiação incidente, ou transmitância.

Em elementos de superfície opaca, da energia radiante total incidente, parte é absorvida e a outra parte refletida, sendo a transmitância nula. Conforme Equação (2.2).

$$\alpha = 1 - \rho \quad (2.2)$$

A NBR15220-1(ABNT, 2005a) define os termos absorptância solar e refletância solar como sendo:

- *Absorptância Solar* ( $\alpha$ ): quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície;

- *Refletância Solar* ( $\rho$ ): quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

Quando se fala em absorptância, rapidamente é feita uma ligação da absorptância com a cor do material. Essa ligação faz com que a cor seja um indicativo do valor da absorptância (ou refletância) dos materiais, assim adotando o conceito de que a cor define a absorptância, ou seja, que a quantidade de radiação solar absorvida por um material dependeria da cor desse material. Este é um conceito equivocado que



não condiz com os recentes estudos apresentados (CASTRO, 2003; DORNELLES, 2009b ; SANTOS et al., 2009) . Isaac Newton há mais de 300 anos já definiu que a radiação não tem cor.

As cores não devem ser usadas como indicativos de absorvância solar, pois são apenas sensações visuais e que podem variar entre diferentes observadores. Esse conceito da cor ser um indicativo de propriedades térmicas ainda é adotado mesmo em importantes documentos considerados referência, como a norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005b).

Para compreender o conceito de cor observa-se que cada superfície possui uma capacidade específica em refletir luz nos diferentes comprimentos de onda, o que define sua curva de refletância espectral característica. Essa curva de refletância espectral é função das propriedades espectrais da fonte luminosa. Então a cor observada do objeto é função dessas características da fonte luminosa e do objeto observado.

As cores atribuídas aos objetos são aquelas percebidas sob a iluminação na qual esses objetos são comumente vistos e sua cor pode mudar de acordo com as condições de observação (PEREIRA, 2000).

Como a visão humana percebe apenas um estreito intervalo de radiações, não permite identificar as propriedades físicas de uma superfície em relação ao espectro solar total, como a absorvância ou refletância solar.

## **2.2 Métodos para verificação da absorvância/refletância para superfícies opacas**

A medição de propriedades radiantes ou ópticas apresenta uma série de dificuldades, pois diferentes bancadas e componentes são necessários, conforme a variável a ser medida. A seguir são apresentados alguns métodos utilizados para verificação das propriedades radiantes de elementos opacos.

### **2.2.1 Métodos Normalizados**

Para obter propriedades espectrais de materiais, vários métodos são descritos por normas internacionais, sendo esses métodos específicos para o tipo de material estudado e para as propriedades desejadas.

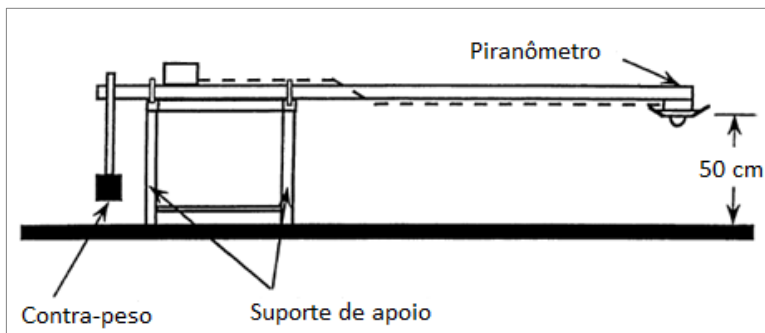
A ASTM E1918 (2006) apresenta um método de teste para a medição da refletância de energia solar para diferentes superfícies com

baixa inclinação e para materiais analisados em campo, utilizando um piranômetro. O método de ensaio é destinado ao uso quando o ângulo do sol com a normal a partir de uma superfície é inferior a  $45^\circ$ . O método aplica-se a grandes superfícies (círculos com pelo menos quatro metros de diâmetro e quadrados de quatro metros de lado) e superfícies homogêneas de baixa inclinação, como telhados, ruas e estacionamentos. A norma determina superfícies de baixa inclinação como sendo superfície de inclinação menor que  $9,5^\circ$ .

Neste método é utilizado o espectro solar com extensão de comprimento de onda de 0,3 a 3,5  $\mu\text{m}$ , onde encontra-se aproximadamente 99% da energia solar. O método PSP mede a refletância solar de superfícies em campo. O piranômetro é usado para medir a radiação solar que chega e que é refletida por uma superfície horizontal uniforme ou de baixa inclinação. A precisão da faixa espectral do piranômetro (PSP - *precision spectral pyranometer*), recomendada deve ser para a energia radiante na faixa de 0,28-2,8  $\mu\text{m}$ .

Um piranômetro normal apresenta valores de saída entre zero e 1400  $\text{W}/\text{m}^2$  e tempo de resposta de um segundo. O formato de cúpula do piranômetro minimiza os efeitos de convecção resultante da inclinação do piranômetro em ângulos diferentes. Por esta razão, o PSP é especialmente adequado para esse teste, uma vez que a medição da refletância solar requer do aparelho as alternativas de face voltada para cima e para baixo. A saída analógica do piranômetro é convertida para a saída digital com um medidor de leitura que tem uma precisão superior a  $\pm 0,5\%$  e uma resolução de  $1\text{W}/\text{m}^2$ . O contador é ajustado para a sensibilidade especificada pelo fabricante do piranômetro.

O piranômetro é montado na ponta de um “braço”, a uma posição que coloca o sensor a altura de 50 cm acima da superfície a ser analisada. Para minimizar o efeito de sombreamento da radiação refletida medida, o braço deve ser fino e longo para lançar a menor sombra possível sobre a amostra e permitir que o piranômetro seja voltado para cima e para baixo facilmente, como mostra a Figura 2.3.



**Figura 2.3 - Esquema de posicionamento do Piranômetro. (ASTM E1918, 2006).**

Os testes devem ser realizados em um dia claro e ensolarado, sem cobertura de nuvens ou nevoeiro durante as medições. O ensaio deve ser feito em condições que o ângulo de incidência solar com a normal, a partir da superfície de interesse, seja inferior a  $45^\circ$  para superfícies planas e de baixa inclinação. Isso limita o teste entre o horário das 9 horas às 15 horas, hora local padrão, quando a radiação solar é pelo menos 70% do valor obtido no meio-dia solar.

Antes de realizar cada medição deve-se alinhar o suporte de tal forma que os pontos de apoio do braço fiquem direcionados ao lado oposto do ângulo de incidência, e o piranômetro paralelo à superfície em que a medição é conduzida.

Com a face do piranômetro voltada para cima, é feita a leitura da radiação solar recebida, depois para baixo para ler a radiação solar refletida, com leitura constante durante pelo menos 10s em um intervalo de tempo inferior a 2min.

Outra norma que é válida para análise de propriedades solares de superfícies de baixa inclinação é a ASTM E 1980 (2001), que abrange dois métodos do cálculo do índice de refletância solar (SRI – *solar reflectance indication*) das superfícies opacas horizontais e de baixa inclinação (inferiores a  $9,5^\circ$  em relação à horizontal), em condições normais e com emissividade superior a 0,1.

A refletância solar é um importante fator que afeta a superfície e a temperatura do ar ambiente próximo da superfície. A fração desta energia absorvida é conduzida para o solo e para o interior dos edifícios, sendo uma fração transferida para o ar por convecção, elevando este a alta temperatura, e outra fração irradiada para o céu.

Superfícies com baixa emissividade podem irradiar efetivamente pouco para o céu e, portanto, ficam mais quentes. A determinação da refletância solar, da emitância térmica e o cálculo do índice de refletância solar, podem ajudar especialistas a escolher os materiais apropriados para tornar os seus edifícios e comunidades energeticamente mais eficientes.

O padrão solar e as condições ambientais para efeitos deste cálculo são definidos como irradiância de  $1000\text{W/m}^2$ , a temperatura do ar ambiente de  $310\text{K}$ , e temperatura do céu de  $300\text{K}$ . Três coeficientes de convecção de  $5$ ;  $12$ ;  $30\text{W/m}^2\cdot\text{k}$ , correspondem a ventos de baixa ( $0$  a  $2\text{m/s}$ ), média ( $2$  a  $6\text{m/s}$ ) e de alta velocidade (de  $6$  a  $10\text{m/s}$ ). Considerando uma superfície exposta ao sol, quando a condução no material é zero, a temperatura da superfície é obtida pela Equação (2.3):

$$\alpha I = \varepsilon\sigma(T_s^4 - T_{\text{SKY}}^4) + h_c(T_s - T_a) \quad (2.3)$$

Onde:

$\alpha$  = absorptância solar;

$I$  = fluxo solar ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ );

$\varepsilon$  = emissividade;

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann:  $5,66961 \times 10^{-8} (\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4})$ ;

$T_s$  = temperatura da superfície em estado de equilíbrio (K);

$T_{\text{sky}}$  = temperatura do céu (K);

$h_c$  = coeficiente de convecção, ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ );

$T_a$  = temperatura do ar (K).

Ao aplicar a refletividade solar, a emissividade térmica de uma superfície e o coeficiente de convecção, a Equação (2.4) será resolvida iterativamente para a temperatura da superfície.

$$T_s = 309,7 + \frac{(1066,07\alpha - 31,98\varepsilon)}{(6,78\varepsilon + h_c)} - \frac{(890,94\alpha^2 - 2153,86\alpha\varepsilon)}{(6,78\varepsilon + h_c)^2}$$

(2.4)

A temperatura da superfície estimada pela Eq. (2.4) tem precisão de  $1\text{K}$  e o índice de refletância solar é definido pela Equação (2.5):

$$SRI = 100 \frac{T_b - T_s}{T_b - T_w}$$

(2.5)

Onde:  $T_b$  e  $T_w$  são as temperaturas de estado de equilíbrio estacionário das superfícies preta e branca.

Sob o padrão solar em condições ambientes, da Equação (2.5) se regride a Equação (2.6):

$$SRI = 123,97 - 141,35\kappa + 9,655\kappa^2 \quad (2.6)$$

sendo:

$$\kappa = \frac{(\alpha - 0,029\varepsilon)(8,797 + h_c)}{9,5205\varepsilon + h_c} \quad (2.7)$$

Para absorvância maior que 0,1, e excluindo as superfícies coletoras (superfície com alta absorvância e baixa emitância térmica, isto é, absorvância superior a 0,8 e emitância inferior a 0,2), a Equação (2.4) estima o índice de refletância solar com um erro médio de 0,9 e erro máximo de 2%.

Então, quando dada a refletância solar e emissividade térmica de uma superfície de ensaio, calcula-se o índice de refletância solar para três coeficientes convectivos de 5, 12, 30  $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ , correspondendo a baixo, médio e de alta condições de vento, respectivamente.

Os dois cálculos abrangidos pela norma ASTM E 1980 (2001) para o índice de refletância solar, consistem em obter a temperatura da superfície em estado estacionário, para a superfície a ser analisada e as temperaturas das superfícies de referência preta e branca. Para isto, tanto a Equação (2.3) (com abordagem iterativa), como a Equação (2.4) podem ser utilizadas. Calcular o SRI da Equação (2.5).

Ou então, calcular o SRI diretamente pela Equação (2.6).

O índice de refletância solar de uma superfície de teste varia de acordo com duas propriedades de materiais: refletância solar e emissividade térmica; e quatro condições ambientais: o fluxo solar, coeficiente de convecção, temperatura do ar e temperatura de céu. A análise de sensibilidade detalhada para a variação do SRI em relação às condições ambientais anteriores foi estudada por Akbari (1996), sendo seu texto podendo ser usado como uma diretriz por profissionais.

O SRI prediz muito bem a refletância solar de materiais com alta emissividade ( $\epsilon > 0,8$ ), isto é, não-metais. Nestas condições, um erro de  $\pm 1\%$  na refletância solar resulta em um erro máximo de  $\pm 1,4$  no SRI. Da mesma forma, um erro de  $\pm 1\%$  na emissividade irá resultar em um erro máximo de  $\pm 0,6$  no SRI.

Para superfícies não metálicas, SRI é insensível à escolha do coeficiente de convecção. No caso de superfícies metálicas que são caracterizadas com baixas emissividades, o SRI calculado pelo processo acima descrito varia significativamente com a escolha do coeficiente de convecção. Portanto, o SRI deve ser relatado para três coeficientes convectivos correspondentes para baixa, média, e elevadas condições de vento.

Já a ASTM E1331 (2003) apresenta um método de medição espectrofotométrica de refletância, usando um sistema de medição óptico hemisférico. Este método faz uso de um espectrofotômetro e uma esfera de integração e é especialmente adequado para a medição de:

- Amostras de objetos coloridos, para a avaliação da cor;
- Superfícies planas de alto brilho, sendo o componente especular geralmente excluído durante a medição;
- Superfícies planas de pouco brilho, onde o componente especular pode ser tanto excluído ou incluído, por não apresentar diferença significativa nos resultados.

Para superfícies planas de brilho intermediário, o uso de geometria bidirecional é mais indicado, por levar à melhores resultados.

A calibração do aparato composto pelo espectrofotômetro e esfera integradora pode ser realizada segundo indicação do fabricante ou ainda de acordo com a ASTM E1164 (2009), que apresenta a calibração como sendo obrigatória a definição do zero na escala de refletância, usando uma amostra padrão de alta refletância.

Diferentemente da ASTM E1331 (2004), a ASTM E903 (1996), apresenta um método de medição da refletância apenas para materiais opacos, através do uso de espectrofotômetros com esfera integradora.

ASTM E903 (1996) destaca que a medição com o espectrofotômetro possibilita a obtenção de dados com mais precisão do que com qualquer outro sistema. Sugere que para materiais com alta reflexão difusa, devem ser usados como referência materiais com alta reflexão difusa, recomendando o uso de placas de alumínio ou óxido de magnésio, uma vez que ambos apresentam altas reflexões espectrais.

A ASTM E903 (1996) pode ser seguida para medições apenas de pequenas amostras de superfícies planas no tamanho de 0,1cm<sup>2</sup> de área, devendo ser amostras de materiais homogêneos. Então para materiais com superfície um pouco maiores que 5cm<sup>2</sup>, um método indicado é o definido pela ASTM C1549 (2002), com uso de um Refletômetro, mas apenas para superfícies planas e homogêneas.

Se a superfície a ser estuda for um pouco curva, o método mais indicado é pela ASTM E1918 (2006), fazendo uso de piranômetro que abrange uma área de medição de superfícies de 10m<sup>2</sup> também podendo ser ásperas e não uniforme.

Um estudo desenvolvido a partir da ASTM C1549 foi o C1549MC (CRRC, 2007), que apresentou um método estatístico simples, para medir refletância solar de superfícies aplicando ASTM C1549, aprovado para telhas de fibra de vidro e várias amostras planas ou quase planas.

Na falta de normas que indicassem métodos de obtenção de refletância para pequenas superfícies onduladas, Akbari et. al. (2008) propõe um método nomeado de E1918 A, que faz uso de um piranômetro para medir uma área de 1m<sup>2</sup> de superfícies uniformes, multicoloridas, segundo a ASTM 1918 (2006). Junto do piranômetro faz-se uso de dois discos de referência no aparato experimental, um negro e um branco, para estabelecer a seguinte relação (Equação 2.8):

$$R_T = R_B + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_W - R_B) \quad (2.8)$$

onde:

$R_T$  = Refletância solar da amostra;

$R_B$  = Refletância solar da máscara negra opaca;

$R_W$  = Refletância solar da máscara branca opaca;

$I_1$  = Irradiância da máscara branca opaca;

$I_2$  = Irradiância da máscara negra opaca;

$I_3$  = Irradiância da amostra.

Um total de 14 amostras de 2x2m foi analisado conforme a E1918 e E1918A, entre telhas curvas multicoloridas, telhas curvas de

uma cor e telhas planas com uma cor. Apesar dos autores reconhecerem que as variações entre a E1918 e E1918A para telhados multicoloridos pode indicar que a área de  $1\text{m}^2$  (E 1918A) não representa bem o telhado de  $10\text{m}^2$  medido por E1918, eles afirmam que E1918A pode ser usada no lugar da E1918 com boa aproximação.

### 2.2.2 Esfera Integradora

Para estudos de propriedades térmicas, muitas vezes é indicado o uso experimental de espectrofotômetros ou bancadas de medição, às vezes acompanhados de uma esfera integradora.

*“A refletância obtida com o uso de uma esfera integradora é denominada absoluta, pois inclui os fluxos especular e difuso refletidos pela amostra em todo o hemisfério”* (PERDIZ, 1990). Dependendo dos fluxos incidente e refletido, a calibração de superfícies utilizadas como padrões de refletância é geralmente realizada numa das geometrias: difusa/difusa, normal/difusa e difusa/normal. O primeiro termo descreve a geometria do fluxo incidente, e o segundo do fluxo refletido. Sendo que quando o fluxo refletido é normal, usa-se o termo de fator de refletância e quando é difuso, aplica-se o termo refletância.

Perdiz (1990), por exemplo, apresenta a derivação de relações para o cálculo de refletância absoluta, através de três métodos de medição: método goniofotométrico, por espelho hemisférico e por esfera integradora. Mostra a teoria da esfera integradora, apresentada pela primeira vez por Taylor em 1920 (GOEBEL, 1966, apud PERDIZ, 1990), assim como três aplicações detalhadas em diferentes configurações da esfera integradora (BUDDE, 1976 e GOEBEL, 1967, apud PERDIZ, 1990).

A refletância de uma superfície, segundo os autores, é definida como a relação entre o fluxo refletido pela superfície e o fluxo nela incidente, sendo que nesta definição não são considerados os ângulos de reflexão. Mas quando se considera a geometria dos fluxos incidentes e refletidos, geralmente é utilizado o termo de fator de refletância da superfície. Esse fator também depende do comprimento de onda da radiação incidente. A reflexão pode ocorrer de três formas: Especular - onde um fluxo de radiação incidente possui o mesmo ângulo de reflexão, difusa - onde o fluxo de radiação é refletido em todas as direções e Mista - onde podem ocorrer ambas as reflexões, especular e difusa.

Todas as superfícies apresentam reflexão difusa, com exceção do refletor especular perfeito. Então, qualquer método de medição que



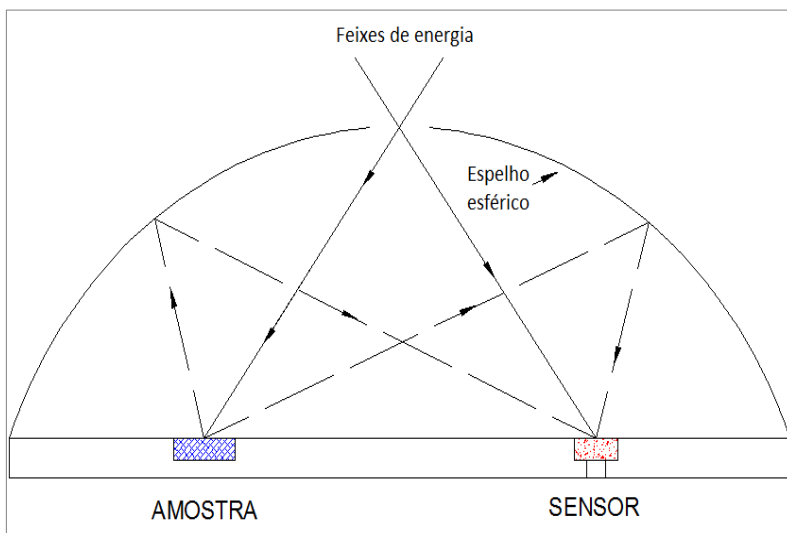
busca a refletância absoluta deve ser realizado com o uso de um goniofotômetro ou uma esfera integradora.

A medição da radiação difusa refletiva pode ser realizada por métodos goniofotométricos, espelho hemisférico ou esfera integradora.

- Método goniofotométrico (ou método ponto a ponto): A amostra é irradiada com um feixe estreito, geralmente com ângulo de incidência de  $0^\circ$  e mede-se o feixe de radiação refletido em diferentes ângulos (ANDERSEN e BOER, 2006). O fluxo refletido é dado através da integração numérica dos valores medidos da radiância da amostra. Por ser um método demorado, é mais utilizado para verificação de outros métodos.

- Método por espelho hemisférico: quando a integração dos vários ângulos do fluxo refletido pode ser combinada em uma única operação, e com auxílio de uma amostra do mesmo material do espelho de refletância conhecida.

A Figura 2.4 apresenta esse método onde através de um pequeno orifício no espelho é incidido um feixe de energia diretamente no detector, para medida do fluxo incidente e em seguida na amostra a ser analisada, que reflete esse fluxo para o espelho. O fluxo total, especular e difuso, refletido pela amostra, é coletado pelo espelho hemisférico e redirecionado para o detector.

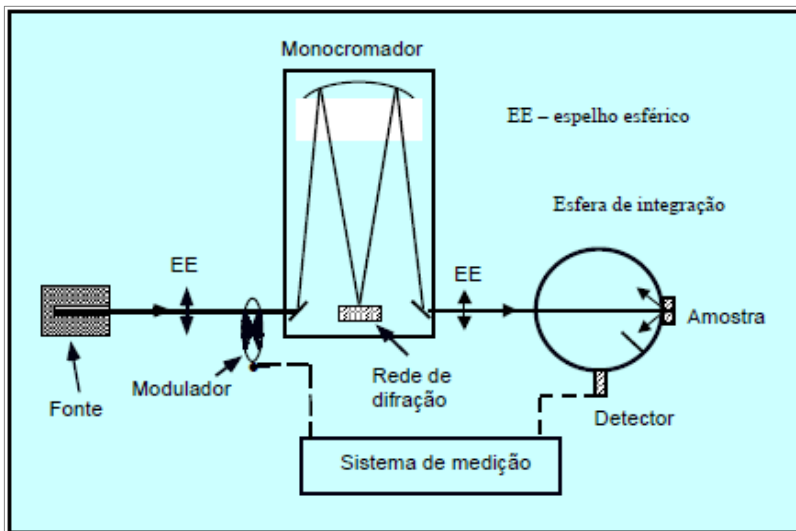


**Figura 2.4 - Método do Espelho Esférico.**

- Método da esfera integradora: Consiste na determinação da relação matemática entre o fluxo medido numa abertura da esfera e o fluxo incidente, numa segunda abertura, sobre uma amostra instalada numa terceira abertura. Como o fluxo incidente na amostra é por ela difundido no interior da esfera, onde sofre múltiplas reflexões antes de sair através da janela de medição, a determinação desta relação matemática envolve uma soma com infinitos termos.

Nicolau e Possamai (2006) realizaram medições de refletividade espectral usando uma esfera de integração. O trabalho apresentou uma esfera de integração construída em fibra de vidro e com o revestimento interno branco. A esfera foi acoplada a uma bancada experimental usando um monocromador e testada diversas vezes, sendo os resultados das refletividades apresentados de forma gráfica em função do comprimento de onda, caracterizando o comportamento de diferentes materiais.

A bancada é apresentada na Figura 2.5 onde um feixe de radiação produzido por uma lâmpada incandescente (filamento de tungstênio), é enviado ao monocromador. Este funciona com redes de difração permitindo obter feixes monocromáticos na sua fenda de saída, conforme o comprimento de onda escolhido. Cada rede de difração corresponde a uma faixa espectral específica (Tabela 2.1). O feixe monocromático é dirigido para o interior da esfera, atingindo a superfície da amostra na direção normal, sendo refletido em todas as direções, pois se trata de uma superfície difusora, por isso a denominação normal-hemisférica da variável medida. O detector é montado na parede da esfera, a  $90^\circ$  da amostra, usando-se um pequeno disco de bloqueio para que a primeira reflexão da amostra não atinja diretamente o detector.



**Figura 2.5 - Bancada experimental para medições de refletividades espectrais . (Adaptado de NICOLAU e POSSAMAI, 2006).**

**Tabela 2.1 - Especificações técnicas das redes de difração (Borges, 2004).**

Modelo	Densidade de linhas (linhas/nm)	Comprimento de onda de maior eficiência	Faixa espectral de utilização
77233	200	350 nm	200 – 1200 nm
77235	300	2 $\mu\text{m}$	1,1 – 4,8 $\mu\text{m}$
77236	150	4 $\mu\text{m}$	2,5 – 9,6 $\mu\text{m}$
77237	75	7 $\mu\text{m}$	4,5 – 19,2 $\mu\text{m}$
77244	200	1 $\mu\text{m}$	0,6 – 2,2 $\mu\text{m}$

Filtros do tipo “passa-alto” são usados para evitar que os comprimentos de onda, submúltiplos do valor usado na medição, também atinjam o detector. Para evitar que a radiação ambiente influencie na medição e para uma melhor relação sinal/ruído, o sistema de medição usa uma modulação do feixe de radiação, de forma que apenas a radiação modulada seja considerada.

Uma medição de referência é feita com uma amostra revestida com o mesmo material usado para o revestimento interno da esfera.

Cinco diferentes tintas acrílica fosca e esmalte semi-brilho, foram ensaiadas por Nicolau e Possamai (2006) com auxílio da esfera integradora através da bancada experimental para a região do espectro solar de 450 a 1050 nm. Os resultados apresentaram refletividade maior na faixa de comprimento de onda equivalente a sua respectiva cor (comportamento característico esperado pelos autores). Já no infravermelho, não se pode identificar a razão para que algumas tintas refletissem mais que outras. Essa mudança de comportamento pode estar associada à constituição química de cada tinta.

Nicolau e Possamai (2006) ainda apresentam um método de medição alternativo, para obter a refletividade espectral normal-hemisférica, por integração da refletividade espectral bidirecional, usando um goniômetro para girar o detector em torno da amostra ao invés da esfera integradora.

## **2.3 Estudos realizados para análise de absorvância/refletância solar**

A literatura nos últimos 5 anos vêm apresentando uma vasta gama de resultados para medições de absorvância e refletância solar de materiais que são utilizados na construção civil. Esse crescimento nesta área de pesquisa ocorre devido a necessidades de soluções imediatas para os problemas de aquecimento encontrados em grandes centros urbanos. Vários métodos estão sendo testados e estão apresentando resultados significativos, que podem auxiliar muito para a diminuição das cargas térmicas excessivas e do desconforto ocorrido pelo aquecimento no meio urbano.

### **2.3.1 Análises espectrofotométricas para materiais opacos**

Para obtenção de propriedades térmicas de materiais opacos, vários instrumentos de medição podem ser utilizados, tanto para medições laboratoriais, quanto para medições em amostras em ambiente natural, como a fachada de um edifício. A seguir são apresentados alguns instrumentos e seus métodos de medição sobre propriedades térmicas.

#### **2.3.1.1 Análises por espectrofotômetro**

A análise por espectrofotômetro permite obter dados de refletância ao longo de todo o espectro solar para as regiões do

ultravioleta, visível e infravermelho próximo, permitindo escolher as regiões de espectro que interessam. Este método é o mais indicado para análises laboratoriais de propriedades térmicas, pois o espectrofotômetro é um instrumento que fornece dados de refletância solar para superfícies opacas com grande precisão.

Um estudo espectrofotométrico foi realizado por Castro (2002), sobre o ganho de calor solar de superfícies, através da escolha adequada da cor da tinta. Este estudo propôs uma metodologia de análise da refletância para 15 cores de tintas pintadas em pastilhas cerâmicas e de 22 amostras retiradas de catálogo de fabricante de tintas (Coral Tintas).

Tendo como interesse a relação entre a cor das paredes externas, a capacidade de reflexão e absorção da radiação solar, e a transmissão de calor para o interior da edificação, a autora realiza o estudo em três fases de análise espectrofotométrica:

1ª fase: análise espectrofotométrica do catálogo do fabricante Tintas Coral, para a região do espectro solar de 350 a 800nm (apenas o visível), de 16 cores;

2ª fase: análise espectrofotométrica para a região de 300 a 2500 nm, das amostras do catálogo do fabricante.

Como resultado para essas duas fases foram traçadas curvas de integração das áreas correspondentes a cada região do espectro visível e total, e foi comprovado que cores cinza e concreto são aceitas para climas quentes, pois refletem 61% e 44%, respectivamente. E foi constatado que o amarelo vanilla(66%) é mais refletor que as cores branco gelo(57%), marfim(64%) e palha(52%), apesar do pressuposto visivelmente não parecer a respectiva ordem.

3ª fase: análise espectrofotométrica de amostras de tintas pintadas (acrílicas e PVA) em pastilhas de argamassa de cimento, e do catálogo do fabricante (acrílicas e PVA, sendo sete cores diferentes das amostras pintadas).

Os dados obtidos nessa fase permitiram o traçado de curvas e integração das áreas correspondentes a cada região do espectro (UV, vis, IV e total). Sendo que para as pastilhas pintadas, os gráfico e planilhas dos resultados mostram que as cores que refletem mais no visível não necessariamente refletem mais no IV. Por isso Castro (2002) afirma que não se pode inferir que uma cor que reflete muito no visível, também apresentará valor alto na refletância total. As amostras retiradas do catálogo apresentam resultados semelhantes aos das pastilhas, com boa aproximação do que ocorre na superfície real.

Já Castro et al. (2003), faz um estudo da refletância à radiação solar, sendo a técnica utilizada da análise espectrofotométrica, através

de um método que forneça a refletância total e as porcentagens ao longo do espectro.

Os autores contextualizam o trabalho assumindo que a capacidade do material refletir a radiação está diretamente relacionada com a cor e a textura da superfície do material: *“É fato conhecido que a cor de uma superfície opaca fornece boa indicação da sua capacidade de absorção da radiação solar. Quanto mais clara e brilhante, menor a absorção e, conseqüentemente, maior a reflexão”*. Esta declaração parte do pressuposto que a cor fornece boa indicação da capacidade de absorção da radiação solar.

Os testes foram realizados em um espectrofotômetro com uma esfera de integração acoplada ao equipamento. A esfera tem 60 mm de diâmetro, sendo revestida internamente por uma pintura de Sulfato de Bário com refletância conhecida de 0,998. Sendo o intervalo de radiação solar considerado para a integração de 300 a 2500 nm, subdividido em UV (300 a 380 nm), VIS (380 a 780 nm) e IV (780 a 2500 nm). Os autores ressaltam que a análise por regiões do espectro normalmente não é feita na literatura conhecida, e que apresenta dados apenas referentes à refletância total.

As amostras foram ensaiadas em pastilhas de cimento pintadas com 15 cores de tintas e por 22 amostras de catalogo do fabricante, com o intuito de verificar se a “cor” do catalogo corresponde com a amostra real. Para isso as regiões do espectro que interessam são as do visível (com relação à iluminação natural) e a refletância total (ganho de calor).

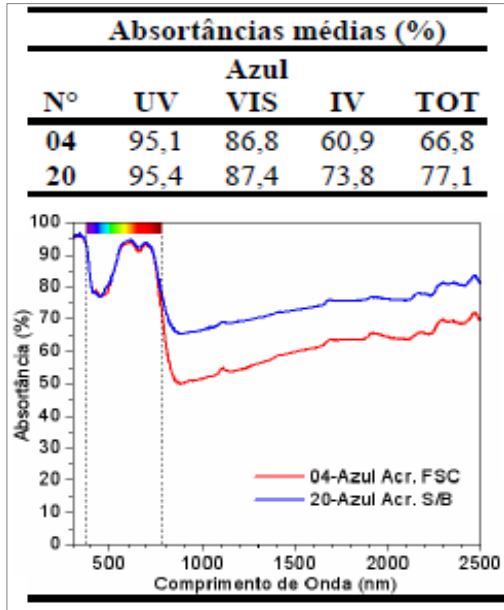
Os resultados mostraram que a refletância das pastilhas na região do ultravioleta foi bastante baixa em todas as amostras. As amostras de cores, mais claras para as mais escuras, comprovam o esperado pelos autores, de que cores mais claras refletem mais a luz visível, enquanto cores mais escuras absorvem mais. Com relação ao infravermelho, observou-se que algumas cores que refletem mais no visível não necessariamente tem maior refletância no infravermelho, sendo que algumas apresentaram boa refletância no visível, porém, valor igual ou mais baixo para o infravermelho.

Para as amostras do catálogo, os resultados comprovam o esperado, pois as cores claras apresentaram maiores refletâncias e as cores escuras menores. A maioria das cores exibiu um valor próximo para o visível e o total, sendo que a maior diferença foi de 15% para a cor azul profundo. Concluindo-se que o catálogo apresenta boa aproximação do real, mas não se deve generalizar, sendo importante averiguar a superfície real, como já estudado por Castro (2002).

Já Dornelles e Roriz (2007), apresentam dados de absorvância, obtidos a partir de medições em espectrofotômetro para amostras pintadas com diferentes cores de tinta do tipo látex acrílica e PVA, para o espectro solar total (ultravioleta, visível e infravermelho próximo). A fim de comprovar que as cores não são indicadores confiáveis das propriedades físicas das superfícies, foram realizados diversos ensaios laboratoriais das amostras, através de análises óticas em espectrofotômetro com uma esfera integradora acoplada. As amostras foram ensaiadas a cada 1 nm, no intervalo de 300 a 2500 nm, que é a região do espectro solar com maior concentração de energia, conforme o padrão definido pela ASTM G173 (2003). Este intervalo foi subdividido em três, caracterizando as regiões do ultravioleta (300 a 380 nm), visível (380 a 780 nm) e infravermelho-próximo (780 a 2500 nm). Para calibrar o equipamento são utilizadas duas amostras de referência, com refletâncias de 99% e 2% (branco e preto de referência, respectivamente).

Ao total foram 78 amostras confeccionadas com pastilhas cerâmicas, com rugosidades superficiais semelhantes às das vedações de edificações, e pintadas a partir de catálogos de cores básicas das tintas do tipo látex acrílica e látex PVA produzidas por diferentes fabricantes.

Os resultados mostram que as amostras com acabamento semi-brilho possuem absorvâncias totais superiores às de acabamento fosco (Figura 2.6), sendo a maior diferença observada na região do infravermelho próximo (780 a 2500 nm). Estes dados comprovam que, diferente do que é difundido no meio acadêmico, superfícies pintadas com tintas de acabamento semi-brilho não absorvem menos do que pinturas com acabamento fosco, confrontando inclusive as afirmações realizadas por Castro et al.(2003) sobre o assunto.



**Figura 2.6 - Absortâncias médias e respectivas curvas espectrais: Acrílica fosca x semi-brilho . (Adaptado de Dornelles e Roriz, 2007).**

Também no estudo de Dornelles e Roriz (2007) observou-se que tintas de mesmas cores produzidas por diferentes fabricantes apresentaram diferenças em suas absortâncias totais de até 9,4%. As diferenças ocorrem principalmente na região do infravermelho próximo e comprovam que, apesar de serem amostras de tintas de cores iguais e do mesmo tipo de acabamento, não apresentam absortâncias totais muito próximas por sofrerem influência dos distintos processos de produção de seus fabricantes.

As medições realizadas em espectrofotômetro para as diversas amostras comprovaram que valores de absortância apenas para a região visível não são confiáveis para caracterizar quanto uma superfície absorve (ou reflete) de energia solar, comprovando a limitação da visão humana para prever esses valores.

### 2.3.1.2 Métodos alternativos: Scanner e Alta II

Como o espectrofotômetro não permite a realização de medições em edificações construídas sem que seja extraída uma amostra para



análise em laboratório e além de seu alto custo, outros métodos vêm sendo pesquisados, na tentativa de que possam apresentar resultados confiáveis de medições.

No Brasil essas pesquisas estão em pleno desenvolvimento por pesquisadores como Dornelles e Roriz (2006) que apresentaram um método alternativo de baixo custo para identificação de absorvâncias solares com um equipamento denominado Espectrômetro Alta II. O método é apresentado e discutido, desenvolvendo equações para calcular as refletâncias, para faixa do visível, infravermelho próximo e espectro solar total. O equipamento Alta II mede as refletâncias correspondentes a radiações em 11 diferentes comprimentos de onda, entre 470 nm e 940 nm, sendo sete na região visível e quatro na região do infravermelho. Para uso do Alta II são adotados como referência dados obtidos em espectrofotômetro para uma folha de papel branco comum.

Foram analisadas 37 amostras de pastilhas cerâmicas com aplicação de tintas selecionadas do catalogo de diferentes fabricantes, em Látex acrílica e látex PVA. As amostras foram ensaiadas por medições espectrofotométricas com um espectrofotômetro e foi utilizada uma esfera integradora com pintura altamente refletiva (PTFE - Polytetrafluoroethylene). Para calibrar o equipamento foram utilizadas duas amostras de referência, com refletâncias de 99% e 2% (branco e preto de referência, respectivamente). As amostras foram ensaiadas a cada 1nm, no intervalo de 300nm a 2500nm, subdividido em três, caracterizando as regiões do ultravioleta (300nm a 380nm), visível (380nm a 780nm) e infravermelho-próximo (780nm a 2500nm), sendo que refletâncias obtidas foram ajustadas ao espectro solar padrão definido pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2003).

Obtendo-se as curvas de refletância espectral das amostras, as refletâncias médias em cada região do espectro solar e refletância total, é possível observar comparativamente que tintas acrílicas apresentam menos refletância ao longo de todo espectro do que tintas látex PVA, para a mesma cor e tipo de acabamento. O tipo de acabamento (fosco ou semi-brilho) interfere no comportamento espectrofotométrico de amostras de mesma cor, comprovando que não se deve escolher a tinta apenas pela cor, pois o acabamento pode modificar consideravelmente os ganhos de calor solar da superfície.

Como o Alta II não fornece valor de refletância e sim valores de voltagem adotaram-se dados obtidos do espectrofotômetro com referência de uma amostra de refletância elevada (papel branco Ripax,

75 g/m<sup>2</sup>). Esses dados de referência são utilizados na aplicação da Equação (2.9).

$$\rho_{(\lambda) amostra} = \left( \frac{V_{amostra} - V_{fundo}}{V_{referência} - V_{fundo}} \right) \times \rho_{referência} \quad (2.9)$$

Onde:

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

$V_{amostra}$  = voltagem da amostra (mV);

$V_{fundo}$  = voltagem de fundo, respectivamente para a amostra e referência (mV);

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

$\rho_{referência}$  = refletância da amostra de referência, para cada comprimento de onda (%).

Os gráficos comparativos das refletâncias obtidas em espectrofotômetro e Alta II mostram pequenas diferenças entre suas curvas espectrais, indicando que o equipamento Alta II pode ser utilizado para medir refletâncias de superfícies opacas.

Para verificar se as refletâncias das amostras podem ser estimadas sem uso do espectrofotômetro, foram identificadas equações, por análise de regressão, que relacionam as refletâncias medidas pelo espectrofotômetro com as obtidas pelo Alta II com os dados das 37 amostras testadas, para a faixa do visível, Equação (2.10), infravermelho próximo, Equação (2.11) e total, Equação (2.12).

$$\rho_{vis} (\%) = 5,12695 + 0,25417 \times \rho_{470} + 0,6542 \times \rho_{585} \quad (2.10)$$

R = 0,99 e DP = 2,98.

$$\rho_{IV} (\%) = -4,67681 - 4,07979 \times \rho_{880} + 5,0742 \times \rho_{940} \quad (2.11)$$

R = 0,98 e DP = 4,03.

$$\rho_T (\%) = -2,77973 + 0,12132 \times \rho_{735} - 2,76324 \times \rho_{880} \quad (2.12)$$

R = 0,99 e DP = 3,26.

onde:

$\rho_{vis}$  = refletância estimada para a faixa visível do espectro (%);

$\rho_{IV}$  = refletância estimada para a faixa infravermelho do espectro (%);

$\rho_T$  = refletância estimada para o espectro solar total (%);  
 $R$  = Coeficiente de correlação;  
 $DP$  = Desvio padrão;  
 $\rho_{470}$  = refletância obtida no ALTA para 470 nm (%);  
 $\rho_{585}$  = refletância obtida no ALTA para 585 nm (%);  
 $\rho_{735}$  = refletância obtida no ALTA para 735 nm (%);  
 $\rho_{880}$  = refletância obtida no ALTA para 880 nm (%);  
 $\rho_{940}$  = refletância obtida no ALTA para 940 nm (%).

As correlações encontradas sugerem que o procedimento proposto utilizando o ALTA II é confiável, servindo para obter valores de refletâncias e absorvâncias solares.

No ano seguinte, Dornelles e Roriz (2007b) discutem dois procedimentos alternativos para identificar a absorvância solar de superfícies opacas, agora com base em dados medidos em espectrofotômetro para 78 amostras pintadas com diferentes cores e tipos de tintas. A análise espectrofotométrica foi realizada com equipamentos e de acordo com Dornelles e Roriz (2006).

Os dois métodos alternativos usados são de um scanner comum e do espectrômetro Alta II.

No primeiro método, do scanner comum, foi realizada uma estimativa a partir dos parâmetros cromáticos digitais. As amostras foram digitalizadas e cada uma caracterizada pelos parâmetros dos sistemas cromáticos digitais RGB (Red, Green, Blue) e HSL (Hue, Saturation, Luminance). A leitura dos valores de RGB e HSL foi feita em um programa de edição de imagens. Identificaram-se equações que relacionassem as refletâncias medidas em diferentes intervalos do espectro com os parâmetros cromáticos digitais das amostras estudadas, para tintas com acabamento fosco, Equações (2.13) e (2.14), e acabamento semi-brilho, Equações (2.15) e (2.16). Essas equações permitem estimar as refletâncias para a faixa visível e para o espectro solar total.

$$\rho_{VIS} = -54,2942 + 0,2298 * R + 0,3003 * B + 0,2314 * S \quad (2.13)$$

$R = 0,99$  e  $SD = 3,30$

$$\rho_T = -57,3274 + 0,0609 * H + 1,2234 * L \quad (2.14)$$

$R = 0,96$  e  $SD = 4,36$

sendo:

R, B = parâmetros do sistema RGB;  
H, S, L = parâmetros do sistema HSL.

$$\rho_{\text{VIS}} = -23,0766 + 0,2108 * R + 0,1748 * B \quad (2.15)$$

R = 0,99 e SD = 3,13.

$$\rho_{\text{T}} = -33,7114 + 0,3603 * R - 0,0281 * S \quad (2.16)$$

R = 0,99 e SD = 2,67.

O segundo método trata de uma estimativa a partir de medições com o espectrômetro ALTA II, onde foram obtidas equações para as tintas com acabamento fosco Equações (2.17) e (2.18) diferentes das equações obtidas para as tintas com acabamento semi-brilho, Equações (2.19) e (2.20). As equações também permitem estimar as refletâncias para a faixa visível e para o espectro solar total:

$$\rho_{\text{VIS}} = -3,6592 + 0,8632 * \rho_{\text{Med}} + 0,2566 * \rho_{470} - 0,6508 * \rho_{560} + 1,5302 * \rho_{585} - 1,0333 * \rho_{600} \quad (2.17)$$

R = 0,99 e SD = 2,67.

$$\rho_{\text{T}} = 1,4753 + 1,5186 * \rho_{\text{Med}} - 0,2326 * \rho_{525} - 1,1804 * \rho_{645} + 0,7375 * \rho_{700} \quad (2.18)$$

R = 0,98 e SD = 3,29

Sendo:

$\rho_{\text{Med}}$  = refletância média obtida no ALTA (%);  
 $\rho_{525}$  = refletância obtida no ALTA para 525 nm (%);  
 $\rho_{560}$  = refletância obtida no ALTA para 560 nm (%);  
 $\rho_{585}$  = refletância obtida no ALTA para 585 nm (%);  
 $\rho_{645}$  = refletância obtida no ALTA para 645 nm (%).

$$\rho_{\text{VIS}} = -1,6787 - 0,2029 * \rho_{\text{Med}} + 0,5050 * \rho_{470} - 0,6841 * \rho_{560} + 1,5913 * \rho_{585} - 1,5325 * \rho_{600} + 1,3215 * \rho_{645} \quad (2.19)$$

R = 0,99 e SD = 1,53

$$\rho_{\text{T}} = -1,3517 + 0,2744 * \rho_{525} - 0,3889 * \rho_{560} + 0,1243 * \rho_{700} - 1,9794 * \rho_{880} + 2,7182 * \rho_{940} \quad (2.20)$$

R = 0,99 e SD = 1,67

Os métodos alternativos apresentaram resultados bastante satisfatórios, de acordo com as correlações encontradas. No entanto, as

tintas com acabamento semi-brilho não ofereceram correlações muito boas. Esse fato deve-se à sensibilidade dos equipamentos (scanner e espectrômetro ALTA II) à superfícies brilhantes.

Nos resultados são apresentados alguns gráficos comparativos entre refletâncias medidas em laboratório com o espectrofotômetro e as obtidas através do ALTA II, onde se observam poucas diferenças entre os valores medidos com os dois equipamentos. Das amostras ajustadas ao espectro solar padrão, a maioria teve um acréscimo em suas refletâncias totais, que comprova que as superfícies se comportam de maneiras distintas ante a radiação solar.

Os valores de refletância solar total, obtidos por espectrofotômetro, foram ajustados ao espectro solar padrão adotado pela ASTM (2003).

Outras equações de correlação entre o espectrofotômetro e o Alta II também são apresentadas por Dornelles (2008). Por vez as equações permitem estimar as absortâncias para a faixa visível, Equação (2.21) e para o espectro solar total, Equação (2.22):

$$\rho_{VIS} = 100,6759 - 0,2188 * \rho_{470} - 0,29538 * \rho_{525} - 0,46781 * \rho_{645} \quad (2.21)$$

$$R = 0,99 \text{ e } SD = 2,11$$

$$\rho_T = 100,7058 + 0,1921 * \rho_{700} - 0,2577 * \rho_{940} - 0,8690 * \rho_{Med} \quad (2.22)$$

$$R = 0,99 \text{ e } SD = 1,91$$

Mais um estudo realizado com o Equipamento Alta II é apresentado por Santos et al.(2009), onde testes são realizados em três condições de medição: ambiente interno (exposição à luz artificial), ambiente externo (exposição à luz natural) e em uma câmara escura (nenhuma exposição à luz), objetivando analisar a influência do ambiente de medição em relação à exposição à luz sobre o resultado da absortância de superfícies opacas.

Foram analisadas 5 diferentes cores básicas de tintas, produzidas por um fabricante nacional bastante popular. As tintas são do tipo látex PVA (branca, rosa pétala, azul celeste, terracota e preta) e acrílica semi-brilho (azul celeste). Em cada amostra (tijolo cerâmico) foram aplicadas duas demãos da tinta selecionada em cima de um fundo cinza aplicado para cobrir a cor original dos tijolos.

Nas comparações entre ambiente externo e interno, através das curvas espectrais obteve-se valores integrados da absorvância (total) para cada cor e tipo de tinta (Tabela 2.2). Em todos os casos o valor médio da absorvância foi sempre superior nas medições expostas ao sol. Embora os valores totais tenham sido próximos, os valores encontrados por comprimento de onda revelam variações significativas nas curvas espectrais. Isso afasta a ideia de que a diferença nos resultados esteja apenas associada à incerteza do instrumento.

**Tabela 2.2 - Valores integrados (totais) de absorvância (%) para os diferentes tipos e cores de tintas testadas em ambiente interno e externo. Santos et al.(2009).**

Branca PVA		Rosa Pétala PVA		Azul Celeste PVA		Azul Celeste AsB		Terracota PVA		Preta PVA	
Int.	Ext.	Int.	Ext.	Int.	Ex.	Int.	Ext.	Int.	Ext.	Int.	Ext.
17%	25%	29%	34%	61%	63%	65%	69%	60%	65%	95%	96%

**Tabela 2.3 - Absorvâncias integradas para as amostras dentro da câmara escura X fora da câmara escura. Santos et al.(2009).**

Branca PVA		Rosa Pétala PVA		Azul Celeste PVA		Azul Celeste AsB		Terracota PVA		Preta PVA	
Den.	For.	Den.	For.	Den.	For.	Den.	For.	Den.	For.	Den.	For.
10%	17%	20%	29%	64%	61%	63%	65%	53%	60%	95%	95%

Para as medições em ambiente interno e na câmara escura, observou-se uma maior sensibilidade a presença de luz visível por parte da tinta branca, rosa e terracota, resultando em uma elevação do valor da absorvância. Para o azul celeste PVA, houve apenas uma alteração expressiva da absorção na região do IV durante a medição na câmara escura, o que resultou em um valor maior de absorvância total, mesmo sem a presença de luz visível. A Tabela 2.3 apresenta os valores de absorvância total para cada cor e tipo de tinta analisada dentro e fora da câmara escura. Ressaltando que as medições “fora da câmara escura” são as mesmas que as medições em “ambiente interno”, por isso apresentam os mesmos valores.

Também foram realizadas comparações com tintas de mesma cor, mas com textura (acabamento) diferente, para verificar o comportamento da absorvância em cada ambiente de medição. Usando a amostra de tinta na cor azul celeste tipo látex PVA (fosco) e tipo acrílico semi-brilho (ASB), foram comparados os resultados dos dados obtidos com o espectrômetro ALTA II. Sobre as amostras de mesma cor, azul celeste com textura PVA e ASB, estas apresentaram valores de absorvância diferentes, porém próximos, mostrando que a absorvância não depende somente da aparência da tinta, mas também de sua textura.

A partir dos resultados deste último estudo é possível dizer que o melhor ambiente de medição é o da câmara escura, pois teoricamente não há interferência de nenhum tipo de luz externa. Já para testes de campo, seria necessário algum tipo de vedação que impedisse a infiltração de luz, porém sem alterar a distância normal do equipamento entre o sensor e a superfície analisada.

### **2.3.2 Análises de materiais seletivos**

Revestimentos coloridos com pigmentos convencionais tendem a absorver radiação no infravermelho próximo, mas materiais chamados “cool colors”, conhecidos como frios ou seletivos, são materiais com pigmentos que tem a capacidade de refletir fortemente parcela do espectro solar na região do infravermelho próximo. A substituição de pigmentos comuns para pigmentos frios, que tem a capacidade de refletir mais radiação do infravermelho próximo, pode levar ao desenvolvimento de revestimentos que têm cores semelhantes às comuns, mas com alta refletância solar.

Revestimentos frios podem ser aplicados nas superfícies da envoltória urbana ou serem utilizados para fabricação de materiais de



construção que refletem mais a energia solar do que materiais convencionais.

Pigmentos colorido frios também têm sido utilizado em revestimentos de camuflagem utilizada pelo exército para impedir a detecção de objetos, ajustando refletância normal do objeto para que ele se assemelhe à refletância do ambiente. Eles também são usados em revestimentos de navios, veículos e abrigos para evitar altas temperaturas no seu interior.

Pesquisadores já identificaram as propriedades ópticas de um grande número de pigmentos para a criação de um banco de dados das características desses pigmentos, e para classificá-los como “frio” ou “quente”.

Synnefa et al.(2006) relata medições de propriedades solares espectrais e o desempenho térmico de 10 protótipos de revestimentos coloridos frios, possíveis de serem usados na envoltória ou na cobertura de edifícios. Sendo medidos os seguintes parâmetros:

- **A temperatura de superfície:** por termopares ligados a um sistema de registro de dados e também uma câmera infravermelha;
- **A emitância do infravermelho:** com o uso de um dispositivo chamado emissômetro, que determina a emitância térmica total, em comparação com material padrão de alta e baixa emitância;
- **A refletância:** medida utilizando espectrofotômetro UV / VIS / IV, equipado com uma esfera integradora. Como material refletivo de referência uma placa do tipo PTFE (Politetrafluoretileno - é um polímero conhecido mundialmente pelo nome comercial teflon) foi utilizada.

Os resultados das medições espectrofotométricas mostram que na faixa do visível, as curvas de refletância para a amostra padrão e o revestimento frio de cor correspondente coincidem. Isto significa que os revestimentos têm a mesma cor da amostra padrão. Quase todos os revestimentos apresentam nível baixo ou moderado de refletância na faixa do infravermelho, enquanto que os revestimentos frios refletem significativamente a radiação nestes comprimentos de onda.

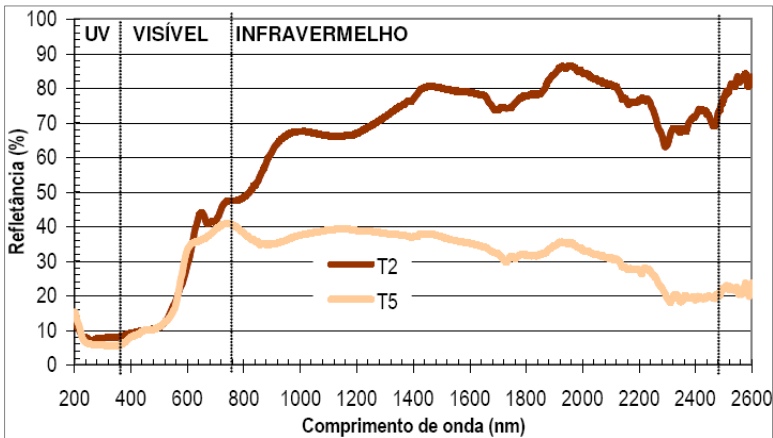
Todos os revestimentos contendo pigmentos reflexivos têm valores mais elevados de refletância solar. As medições da emitância infravermelha das amostras indicam um valor de  $0,88 \pm 0,02$ . Assim, os autores supõem que a emitância infravermelha dos revestimentos não foi afetada pelos pigmentos refletivos.

Durante o dia, todos os revestimentos frios mantinham as superfícies com temperaturas mais baixas do que os revestimentos de

cor padrão correspondente. Durante a noite, as temperaturas de superfície das amostras foram uniformes devido ao fato de que todos os revestimentos possuem uma emitância de aproximadamente 0,88. No entanto, revestimentos frios continuaram mais frios cerca de 0,1-1,6 °C que os revestimentos padrão de cores combinadas, provavelmente porque eles têm menor carga de radiação solar absorvida durante o dia.

Também foi observado que a exposição ao ambiente externo das amostras durante três meses teve um impacto sobre a sua refletância solar, mas não afetou significativamente seus valores de emitância infravermelha.

No Brasil, ainda está em desenvolvimento laboratorial à produção de tintas seletivas com pigmentos que apresentam alta refletância à radiação infravermelha. Dorneles (2009a) apresenta uma curva espectral de refletância, onde compara a refletância espectral de duas tintas refletivas seletivas produzidas por fabricantes brasileiros (Figura 2.7), ainda não disponibilizadas para o mercado da construção.



**Figura 2.7 - Curvas espectrais de refletância de tintas refletiva (T2) e convencional (T5) de cor marrom. (IKEMATSU, 2007, apud DORNELLES, 2009a).**

Buscando caracterizar diferentes tintas nacionais classificadas como refletivas por seus fabricantes, Dornelles (2009a) está desenvolvendo um trabalho que visa quantificar as propriedades físicas relacionadas à reflexão e emissão de calor por esses materiais. No trabalho, medições de temperaturas superficiais de placas pintadas com

essas tintas e expostas ao sol, comparadas com placas pintadas com tintas convencionais, contribuirão para comprovar a eficácia das tintas seletivas na redução das temperaturas superficiais de coberturas pintadas. Estes dados permitirão a difusão de dados precisos e atualizados de refletância e emissividade de tintas refletivas seletivas para pintura de coberturas de edifícios.

A pesquisa está em andamento, sendo desenvolvida por meio de procedimentos experimentais em laboratório e em campo, além de análises estatísticas e simulações computacionais. O estudo está dividido em três etapas principais, sendo elas: medições de refletância e emissividade em laboratório, monitoramento de temperaturas superficiais de chapas pintadas expostas ao sol e simulação computacional de edificações com coberturas seletivas e convencionais.

### **2.3.3 Materiais seletivos e o efeito das intempéries**

A exposição ao tempo tende a diminuir a refletância dos materiais claros e aumentar a refletância dos materiais mais escuros (Figueiredo et al., 2009). Isso ocorre devido ao efeito do acúmulo da sujeira depositada ao longo do tempo para materiais claros e o desbotamento para materiais escuros. Lembrando que a refletância no intervalo do ultravioleta determina a suscetibilidade dos materiais a desbotamento e descoloração, podem assim ocasionar esse aumento de refletância em materiais de cores escuras.

Uma análise com materiais frios, ou seletivos, foi realizada por Ichinose et al.(2009), com intuito de obter resultados para diminuir os efeitos de intempéries. O objetivo do trabalho foi investigar métodos para manter um bom desempenho em longo prazo para a pintura com alta refletividade. Dois tipos de tintas foram analisadas: com pintura convencional e com pintura de alta refletividade no espectro infravermelho próximo (materiais frios), onde algumas amostras também possuíam um revestimento fotocatalisador (Nano partículas de  $TiO_2$ ), a fim de evitar a desagregação. O desempenho de tintas foi avaliado ao longo do tempo com relação à contaminação e degradação da superfície dos painéis de teste, revestidos com as tintas.

Os painéis foram submetidos por um longo período à exposição ambiental e ao intemperismo acelerado, para testar os efeitos de condicionamento térmico e durabilidade dos revestimentos. Os testes foram realizados em dois locais nos arredores de Tóquio, Japão, onde o clima é moderado e úmido, sendo o primeiro local no parque industrial de frente para a baía de Tóquio e o segundo com as amostras expostas

no telhado de um prédio do campus universitário da *Tokyo University of Science*.

No primeiro teste os painéis com alta refletividade apresentaram um menor aumento de temperatura do que aqueles com tinta convencional. O fotocatalisador nos revestimento com alta refletividade mostrou-se muito eficaz contra a degradação em painéis brancos de alta refletividade e mais durável que nas pinturas convencionais.

Para o segundo testes, além dos painéis, foram expostas e analisadas amostras de acabamentos idênticos aos painéis, mas de menor tamanho. Uma boa correlação foi observada para a refletividade solar estimada da temperatura da superfície entre os painéis e as amostras pequenas. Esta observação proporciona uma compreensão da variação contínua na refletividade solar. Assim, a degradação da refletividade solar da superfície do painel pode ser principalmente devido à contaminação por adesão de partículas na superfície de revestimento. Painéis com pintura altamente reflexiva perderam de 10 a 20% da sua refletividade dentro de alguns meses após a exposição. Sendo que nos painéis altamente reflexivos ou de pintura comum com acabamento fotocatalisador, a degradação é mais lenta do que nos painéis sem acabamento fotocatalisador. Em geral, os resultados revelam que a degradação da superfície da pintura não pode ser negligenciada, e que a degradação ocorre principalmente devido à contaminação do ar.

Já Figueiredo et al.(2009) estudaram os efeitos da radiação solar sobre superfícies de pinturas externas com várias cores de tintas expostas às condições climáticas, com o objetivo de verificar a influência do envelhecimento das tintas nos valores de refletância da radiação solar.

Foi realizada uma análise, utilizando um espectrofotômetro com esfera integradora, em amostras de pastilhas pintadas com várias cores de tintas expostas às condições climáticas durante o período de dois anos. As análises foram submetidas a vários estágios de exposição ao sol, com o objetivo de verificar o desbotamento que cada cor sofreu ao longo do tempo em que ficou exposta. Com os resultados obtidos, elaborou-se uma comparação das análises realizadas para as mesmas cores, visando obter parâmetros que possam identificar o quanto a exposição das tintas ao tempo poderá influenciar nos valores de refletância à radiação solar.

A refletância das cores foi medida em laboratório nas amostras recém-pintadas e depois com tempo de exposição de 6, 12, 18 e 24

meses, obtendo-se, assim, as refletâncias de cada cor nas faixas do ultravioleta, visível, infravermelho e total, apresentadas na Tabela 2.4.

A partir dos valores para a refletância total com as tintas recém aplicadas, adotou-se um critério de classificação destas tintas considerando como "claras" aquelas cujos valores de refletância estão acima de 70%, como "médias" aquelas cujos valores estão entre 50 e 70% e como "escuras" aquelas que apresentaram refletâncias inferiores a 50%.

Os resultados mostraram que com relação à refletância total, a maioria das cores consideradas como claras e médias, ao longo de 24 meses expostas ao tempo, tiveram os valores de refletâncias diminuídos, quando comparado aos valores obtidos inicialmente. Mostrando que o efeito do acúmulo da sujeira depositada ao longo do tempo é bastante significativo. As amostras consideradas como cores médias, foram as que apresentaram maiores diferenças em relação aos valores obtidos inicialmente e após 24 meses de exposição. As cores escuras como Preto e Terra ao longo do tempo tiveram seus valores de refletância aumentados; nesse caso é considerada a hipótese de que talvez o efeito da sujeira acumulada ao longo do período de ensaios tenha sido menor que o efeito do desbotamento das cores escuras.

**Tabela 2.4 - Refletâncias das amostras durante o tempo de exposição (Figueiredo et al., 2009).**

Cores	REFLETÂNCIA TOTAL %			REFLETÂNCIA UV %			REFLETÂNCIA VISÍVEL %			REFLETÂNCIA INFRAVERMELHO %		
	Meses			Meses			Meses			Meses		
	0	12	24	0	12	24	0	12	24	0	12	24
Branco	81	78	74	8	10	8	80	71	65	86	85	82
Amarelo Vanila	75	74	74	8	7	8	67	64	66	81	83	81
Marfim	73	71	69	9	10	8	68	65	66	79	77	72
Azul Bali	69	63	62	8	8	8	36	33	32	84	75	75
Flamingo	68	65	63	8	10	9	51	52	50	77	73	70
Vermelho Cardinal	63	54	50	6	7	9	36	31	31	75	60	59
Laranja Barcelona	58	52	51	7	6	10	42	42	43	66	58	56
Azul Profundo	44	42	42	6	7	9	17	18	20	56	52	52
Terra	33	37	37	7	6	11	25	25	27	67	43	44

### 2.3.4 Análises de materiais termocrômicos.

Materiais termocrômicos ou camaleões são compostos por pigmentos, que respondem termicamente ao ambiente, mudando reversivelmente sua estrutura espectral com a variação da temperatura, produzindo uma mudança na sua cor visível. Ou seja, quando estão em seu estado frio, são de cor natural que pode ser uma cor escura, por exemplo, que absorve energia, e ao serem aquecidos chegam a uma temperatura limite de fase, onde a cor do material começa a se alterar, podendo se tornar uma cor clara com alta refletância de energia. E possuem efeito reversível, quando resfriados novamente, voltam a sua cor natural.

Os materiais termocrômicos podem funcionar como sistemas de poupança de energia, pois para altas temperaturas os revestimentos termocrômicos têm a capacidade de refletir a energia solar, reduzindo a temperatura da superfície, enquanto que para baixas temperaturas absorvem a energia solar aumentando a temperatura da superfície. Esses pigmentos podem ser altamente eficientes em sua refletância e podem ser utilizado em edifícios e estruturas urbanas auxiliando na redução do efeito de ilha de calor.

Karlessi et al.(2008), relatam o desenvolvimento e os testes comparativos de revestimento camaleões. A preparação dos pigmentos baseia-se em três compostos orgânicos, micro encapsulados com um tamanho médio de partícula de 5 $\mu$ m, com uma capa adequada, não absorvente de radiação infravermelha e que protege o sistema termocrômico dos produtos químicos a sua volta tais como a pintura de base e a oxidação. Os pigmentos termocrômicos são coloridos em seu estado quente e translúcidos em seu estado frio, sendo a mudança de cor ocorrida por volta dos 30°C. Foram preparadas 11 amostras de 6 cores diferentes sendo, em 6 dessas amostras adicionado TiO<sub>2</sub> a fim de evitar a transparência em seu estado aquecido. Para comparação foram produzidas amostras de revestimentos frios com alta refletividade e emitância infravermelha com o mesmo sistema de cores que os revestimentos termocrômicos. Os revestimentos foram aplicados em azulejos brancos (33x33cm), colocados sobre uma plataforma horizontal e isolados termicamente em sua superfície inferior.

Para as medições realizadas em Atenas, foram utilizados equipamentos como Termopares tipo K para medição de temperatura superficial, uma câmera infravermelha (AGEMA Thermovision 5707) para observar as diferenças de temperatura entre as amostras, um espectrofotômetro UV/VIS/IR (Varian Carry 5000) equipado com uma

esfera integradora (Labsphere DRA 2500) com uma placa PTFE como referência padrão de refletância conhecida e um emissômetro para medição das emitâncias no infravermelho.

Para análise da refletância espectral as amostras de revestimento termocrômico foram deixadas em ambiente condicionado à temperatura entre 18 °C a 20°C. Estando o revestimento em estado totalmente colorido, e em seguida, expostas ao ar livre, onde sua temperatura superficial observada foi de 45°C, quando estavam completamente incolores.

Os autores apresentam gráficos das curvas espectrais onde todas as amostras termocrômicas apresentam alta absorção na faixa do ultravioleta. Todos os revestimentos termocrômicos são altamente reflexivos no infravermelho próximo, indicando que são bons absorvedores de energia solar em baixas temperaturas e diminuem a absorção em altas temperaturas. Nas análises de emitância do infravermelho foram encontrados resultados com diferenças não significativas. Sobre a degradação, após deixar as amostras expostas ao clima por aproximadamente três meses, concluiu-se que é mais intensa na fase colorida do que na fase incolor.

Uma análise anterior também com revestimentos termocrômicos, foi realizada por MA et al. (2002), através de espectroscopia e por imagem infravermelha dos materiais quando expostos a uma lâmpada aquecida ou à luz solar.

Os resultados de imagem térmica infravermelha mostraram que, quando os pigmentos termocrômico foram adicionados a revestimentos brancos, expostos a uma lâmpada aquecida de 1000 W, esses passam a absorver a energia a uma temperatura abaixo de 18 °C, sendo essa a temperatura limite para a mudança da cor do revestimento, chamada de temperatura de comutação. Absorção de energia da lâmpada é interrompida automaticamente acima da temperatura de comutação.

Os resultados da exposição à radiação solar mostraram que, quando a temperatura estava abaixo da temperatura de comutação, o revestimento do tipo camaleão pode absorver quase a mesma quantidade de energia solar como um revestimento comum de mesma cor, e quando a temperatura estava acima da temperatura de comutação, podia refletir mais energia solar do que o de revestimentos comuns de mesma cor. Esses resultados mostraram que a construção de edifícios com revestimento do tipo camaleão podem contribuir para um ambiente termicamente confortável.



### 2.3.5 Contribuição das coberturas.

Coberturas Materiais termocrômicos ou camaleões são compostos por pigmentos, que respondem termicamente ao ambiente, mudando reversivelmente sua estrutura espectral com a variação da temperatura, produzindo uma mudança na sua cor visível. Ou seja, quando estão em seu estado frio, são de cor natural que pode ser uma cor escura, por exemplo, que absorve energia, e ao serem aquecidos chegam a uma temperatura limite de fase, onde a cor do material começa a se alterar, podendo se tornar uma cor clara com alta refletância de energia. E possuem efeito reversível, quando resfriados novamente, voltam a sua cor natural.

Os materiais termocrômicos podem funcionar como sistemas de poupança de energia, pois para altas temperaturas os revestimentos termocrômicos têm a capacidade de refletir a energia solar, reduzindo a temperatura da superfície, enquanto que para baixas temperaturas absorvem a energia solar aumentando a temperatura da superfície. Esses pigmentos podem ser altamente eficientes em sua refletância e podem ser utilizado em edifícios e estruturas urbanas auxiliando na redução do efeito de ilha de calor.

Karlessi et al.(2008), relatam o desenvolvimento e os testes comparativos de revestimento camaleões. A preparação dos pigmentos baseia-se em três compostos orgânicos, micro encapsulados com um tamanho médio de partícula de 5 $\mu$ m, com uma capa adequada, não absorvente de radiação infravermelha e que protege o sistema termocrômico dos produtos químicos a sua volta tais como a pintura de base e a oxidação. Os pigmentos termocrômicos são coloridos em seu estado quente e translúcidos em seu estado frio, sendo a mudança de cor ocorrida por volta dos 30°C. Foram preparadas 11 amostras de 6 cores diferentes sendo, em 6 dessas amostras adicionado TiO<sub>2</sub> a fim de evitar a transparência em seu estado aquecido. Para comparação foram produzidas amostras de revestimentos frios com alta refletividade e emitância infravermelha com o mesmo sistema de cores que os revestimentos termocrômicos. Os revestimentos foram aplicados em azulejos brancos (33x33cm), colocados sobre uma plataforma horizontal e isolados termicamente em sua superfície inferior.

Para as medições realizadas em Atenas, foram utilizados equipamentos como Termopares tipo K para medição de temperatura superficial, uma câmera infravermelha (AGEMA Thermovision 5707) para observar as diferenças de temperatura entre as amostras, um espectrofotômetro UV/VIS/IR (Varian Carry 5000) equipado com uma

esfera integradora (Labsphere DRA 2500) com uma placa PTFE como referência padrão de refletância conhecida e um emissômetro para medição das emitâncias no infravermelho.

Para análise da refletância espectral as amostras de revestimento termocrômico foram deixadas em ambiente condicionado à temperatura entre 18 °C a 20°C. Estando o revestimento em estado totalmente colorido, e em seguida, expostas ao ar livre, onde sua temperatura superficial observada foi de 45°C, quando estavam completamente incolores.

Os autores apresentam gráficos das curvas espectrais onde todas as amostras termocrômicas apresentam alta absorção na faixa do ultravioleta. Todos os revestimentos termocrômicos são altamente reflexivos no infravermelho próximo, indicando que são bons absorvedores de energia solar em baixas temperaturas e diminuem a absorção em altas temperaturas. Nas análises de emitância do infravermelho foram encontrados resultados com diferenças não significativas. Sobre a degradação, após deixar as amostras expostas ao clima por aproximadamente três meses, concluiu-se que é mais intensa na fase colorida do que na fase incolor.

Uma análise anterior também com revestimentos termocrômicos, foi realizada por MA et al. (2002), através de espectroscopia e por imagem infravermelha dos materiais quando expostos a uma lâmpada aquecida ou à luz solar.

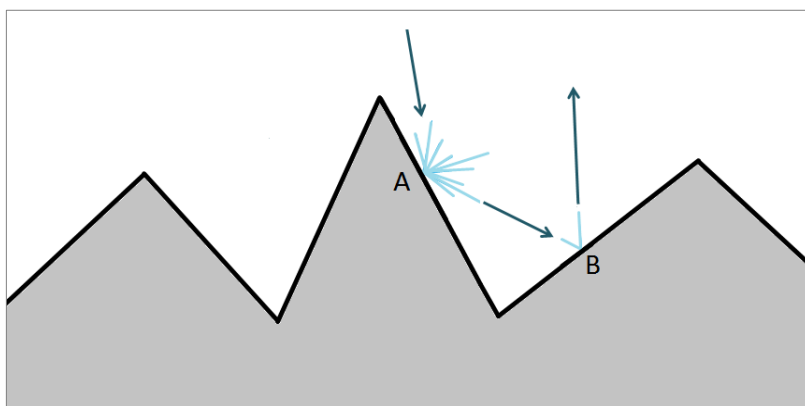
Os resultados de imagem térmica infravermelha mostraram que, quando os pigmentos termocrômico foram adicionados a revestimentos brancos, expostos a uma lâmpada aquecida de 1000 W, esses passam a absorver a energia a uma temperatura abaixo de 18 °C, sendo essa a temperatura limite para a mudança da cor do revestimento, chamada de temperatura de comutação. Absorção de energia da lâmpada é interrompida automaticamente acima da temperatura de comutação.

Os resultados da exposição à radiação solar mostraram que, quando a temperatura estava abaixo da temperatura de comutação, o revestimento do tipo camaleão pode absorver quase a mesma quantidade de energia solar como um revestimento comum de mesma cor, e quando a temperatura estava acima da temperatura de comutação, podia refletir mais energia solar do que o de revestimentos comuns de mesma cor. Esses resultados mostraram que a construção de edifícios com revestimento do tipo camaleão podem contribuir para um ambiente termicamente confortável.

## 2.4 Rugosidade superficial de materiais.

É conhecido que a composição química da superfície de um material é responsável pela quantidade de energia que esse material poderá absorver ou refletir em sua superfície. Mas esse não é o único fator que deve ser levado em consideração; a rugosidade de uma superfície também tem significativo efeito sobre a quantidade de radiação solar absorvida ou refletida pela mesma.

Quando uma superfície rugosa é atingida por um feixe de energia, ela sofre um efeito chamado de inter-reflexão. Essa inter-reflexão provoca um aumento no valor da energia absorvida pela superfície. A Figura 2.8 representa como ocorre a inter-reflexão.



**Figura 2.8 - Inter-reflexão provocada pela rugosidade.**

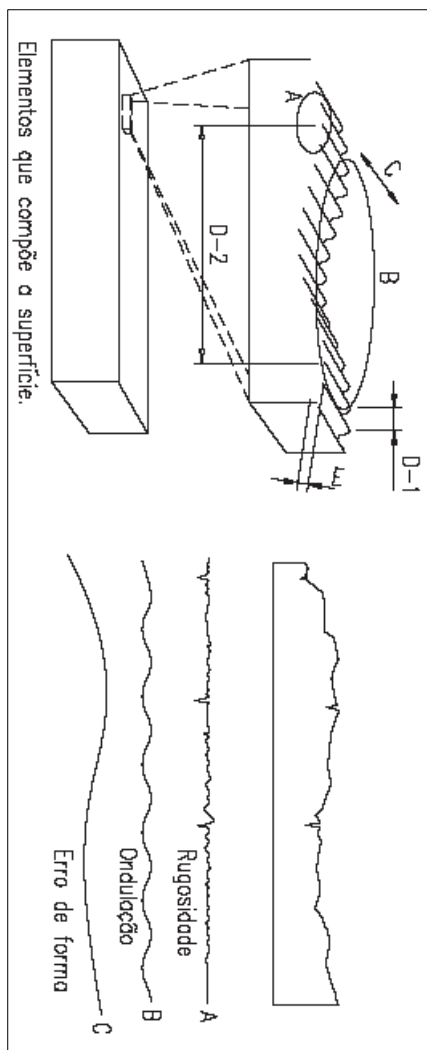
Quando o feixe de energia incide sobre a superfície no ponto A, parte é absorvida e parte é refletida geralmente (difusa) em todas as direções. Dessa energia refletida, uma parcela é absorvida por outros pontos da mesma superfície, como no ponto B. Então a energia que é absorvida pelo ponto A é a absorvância real da superfície, já a quantidade de absorvida pelo ponto B e outros, é uma energia extra que causa um aumento na absorvância total da superfície. Por isso faz-se necessário estudos para analisar como a rugosidade pode interferir nas propriedades absorvivas de um material. E para isso deve se identificar os diferentes tipos e níveis de rugosidades.

### **2.4.1 Métodos e equipamentos de medição de rugosidade**

A rugosidade de um material é diferenciada pelo tamanho (altura) das saliências existentes e a distribuição dessas saliências sobre a superfície do material. Essa rugosidade pode ser verificada por vários tipos de equipamentos, como perfilômetros de contato ou chamados rugosímetros, microscópios de varredura e até scanner de imagem.

Callil (2001) afirma que dependendo da resolução do instrumento de medição, a superfície efetiva estará mais ou menos próxima da real. Isto significa que, aumentando a resolução do instrumento de medição, por exemplo, alterar-se-á o resultado dos parâmetros de textura.

Existem vários princípios de medição de textura, cada um com uma faixa de medição e resolução características. Os instrumentos de medição dimensionais são classificados em três classes básicas: instrumentos para medição de erro de forma, de ondulação e de rugosidade. As texturas com ondulações, rugosidades e erro de forma são apresentadas na Figura 2.9.



**Figura 2.9 - Texturas de superfície (Ferreira, 2005).**

Para analisar a rugosidade de uma superfície o ideal é obter uma imagem gráfica da sua rugosidade. Isto é possível através de um equipamento denominado Rugosímetro. Pode ser um rugosímetro digital com registro gráfico incorporado (Figura 2.10) ou um sistema para avaliação de textura superficial analógico (Figura 2.11).



**Figura 2.10 - Rugosímetro digital portátil com registro gráfico incorporado.**

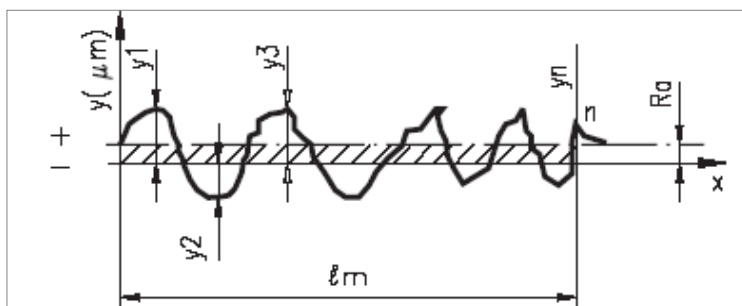


**Figura 2.11 - Rugosímetro analógico.**

Em uma superfície rugosa é possível analisar vários parâmetros de rugosidade, como a rugosidade média, rugosidade máxima e

rugosidade total. Um desses parâmetros denominado  $R_a$ , é definido por Dornelles (2009b), em que se consideram todos os pontos de um perfil da amostra a ser avaliada,  $R_a$  é o desvio padrão desses pontos em torno de uma reta estabelecidos a meia altura entre o pico mais alto e o vale mais profundo do perfil. Já Wiggers et al. (2007) considera que o parâmetro  $R_a$  indica a rugosidade média da superfície, ou seja, a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas dos afastamentos dos pontos do perfil de rugosidade, em relação à linha média, dentro do percurso de medição.

Ao realizar seu cálculo é necessário analisar as alturas de cada rugosidade, como mostra a Figura 2.12, onde o sinal positivo informa que esta acima da linha de referência e negativo abaixo.



**Figura 2.12 - Níveis de altura da rugosidade (Ferreira, 2005).**

Sendo:

$y$ : altura de cada rugosidade ( $\mu\text{m}$ );

$n$ : o número de rugosidades;

$l_m$ : o comprimento total de todas as rugosidades;

$x$ : linha de referência;

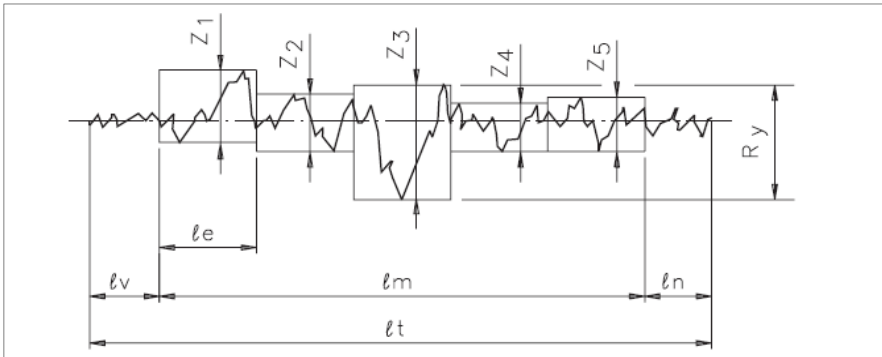
$R_a$ : a rugosidade média ( $\mu\text{m}$ )

Onde cálculo para  $R_a$  é apresentado pela Equação (2.23):

$$R_a = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} \quad (2.23)$$

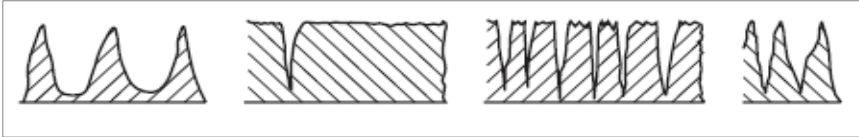
Dividindo-se o comprimento total de todas as rugosidades em  $n$  setores (usualmente 5) de iguais comprimentos ( $l_e$ ), em cada uma desses

setores analisando obtém-se o valor máximo de pico a pico (Figura 2.13). Este valor máximo é denominado de rugosidade máxima ( $R_y$ ).



**Figura 2.13 - Valores máximos de pico (Ferreira, 2005).**

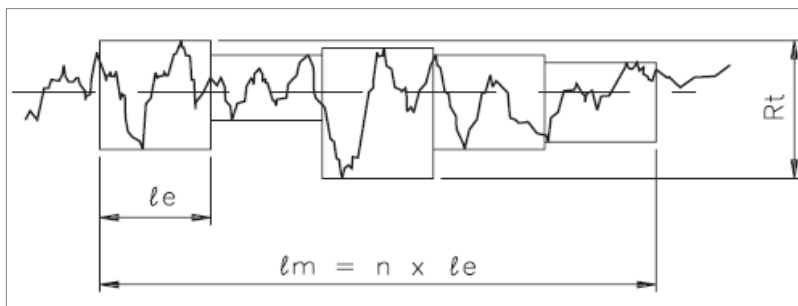
Assim diversas formas de rugosidades (Figura 2.14) podem ter o mesmo valor de  $R_y$ .



**Figura 2.14 - Formas de rugosidade (Ferreira, 2005).**

A rugosidade total ( $R_t$ ) é apresentada na Figura 2.15, e é encontrada somando-se o maior valor de pico acima da linha de referência e maior abaixo da linha de referência.





**Figura 2.15 - Rugosímetro digital com registro incorporado (Ferreira, 2005).**

A rugosidade média da superfície pode ser obtida também através da média das rugosidades máximas ( $z$ ) de cada setor. Esta rugosidade média ( $Rz$ ) é apresentada na Equação (2.24), onde  $n$  é o número de setores no qual a superfície esta dividida.

$$Rz = \frac{z_1 + z_2 + \dots + z_n}{n} \quad (2.24)$$

## 2.4.2 Rugosidade x Absortância

Pensando no efeito que a rugosidade da superfície de um material pode causar na absortância desse material, Wieloch et al. (2004) realizou estudos sobre gesso acrílico usado como revestimento externo em edificações, em sistemas de aquecimento passivo. As características de absortância em função da cor e micro-estruturas da camada externa do revestimento foram analisadas.

Para o procedimento experimental cinco conjuntos de amostras foram preparadas na forma de 3mm espessura de gesso acrílico com diferentes cores e armazenados em laboratório em condições normais a uma temperatura média de  $18^\circ\text{C}$  ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ) e umidade relativa do ar de 50% ( $\pm 5\%$ ) pelo período de 3 meses. Foram realizadas três tipos de análises:

- **Análise da capacidade de absorção de energia:** Realizada com um espectrofotômetro Cary5 (Varian), que permitiu medições na faixa de comprimento de onda de 175-3300nm;

• **Análise de Microestrutura:** A microestrutura interna foi analisada com o uso do método de porosimetria introduzindo mercúrio (MIP);

• **Análise de rugosidade:** Para descrever a geometria da superfície de amostra foi aplicado o método através de um perfilômetro de contato. A descrição da cavidade de poro é baseada na medição do comprimento real do contorno por um comprimento de referência. A descrição experimental é determinada por um conjunto de instrumentos com uma lâmina de detecção móvel usada para determinar a cavidade de poro. Qualquer alteração de estrutura de superfície foi registrada pelo conjunto de detectores de varredura em uma direção de superfície de referência do sistema (X, Y, Z). A precisão de leitura em um plano horizontal foi de 0,01mm, enquanto que o deslocamento vertical foi controlado com a precisão de 0,001mm.

Os resultados das medições espectrográficas apresentaram as capacidades de absorção de energia para cada amostra, sendo que o máximo valor de absorção obtido foi entorno de 96% para o comprimento de onda de 300 nm em todas as amostras, seguido por uma queda rápida nas amostras mais claras com aproximadamente 25% na faixa de 300 a 600 nm. Na faixa do infravermelho a curva de absorção, de praticamente todas as amostras, começa a aumentar, ao longo do comprimento de onda. A absorção no final da faixa de comprimento de onda foi de aproximadamente 57% para todas as amostras.

Os resultados da medição de rugosidade superficial, por perfilômetro de contato, foram apresentados sob a forma de tabelas. A Tabela 2.5 apresenta alguns valores obtidos.


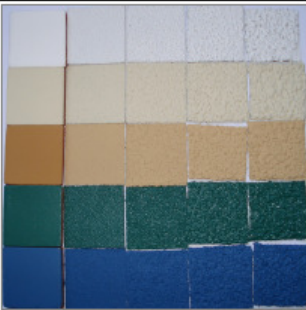




**Tabela 2.5 - Resultados de análise da rugosidade (adaptado de Wielock, 2004).**

Amostra	Rugosidade Média (mm)	Variação (mm)	Desvio Padrão (mm)	Erro Médio (mm)
Branco	0,268	0,036	0,182	0,006
Vermelho	0,254	0,041	0,203	0,006
Violeta escuro	0,580	0,042	0,204	0,006

A influência da rugosidade superficial das amostras sobre a absortância solar foi avaliada também por Dorneles (2009b), que procurou quantificar o efeito da rugosidade superficial sobre a absortância solar de superfícies opacas. Neste estudo Dornelles (2009b),

mediu também as refletâncias de amostras lisas e rugosas usando um espectrofotômetro com faixa de 185nm a 3300nm.

As amostras foram confeccionadas com diferentes níveis de rugosidade, em cinco cores distintas (Figura 2.16). Para a confecção das amostras, foram utilizadas lixas do tipo “lixa-ferro”, com quatro diferentes rugosidades superficiais de acordo com padrões de granulometria definidos pela *Federation of European Producers of Abrasives* (FEPA).

N°	NOME COMERCIAL	COR	TIPO	IMAGEM DAS AMOSTRAS
01	Amarelo Antigo		Acrilica Fosca	
04	Azul		Acrilica Fosca	
12	Marfim		Acrilica Fosca	
32	Verde Quadra		Acrilica Semi-brilho	
39	Branco		Látex PVA Fosca	

**Figura 2.16 - Cores das tintas aplicadas sobre as amostras rugosas. (Dornelles, 2009b).**

As rugosidades médias das amostras lisas ( $R_a$ ) foram obtidas através de um Perfilômetro de contato mecânico. Como o equipamento permite a medição apenas para amostras com valores de  $R_y$  inferiores a 0,6 mm, para estimar a rugosidade média das lixas pintadas, foi adotado um procedimento alternativo de leitura dos picos e vales das superfícies das amostras rugosas através da utilização de um scanner comum. O perfil de rugosidade das amostras foi digitalizado, posicionando-as na vertical sobre o scanner juntamente com uma régua de precisão milimétrica ao lado das amostras, a fim de obter a escala de variação dos picos e vales.

Para o cálculo da rugosidade média ( $R_a$ ) a partir dos perfis digitalizados em scanner, foram desenvolvidas rotinas computacionais para a leitura dos picos e vales, e posterior cálculo do  $R_a$ , conforme definição apresentada através da Equação (2.25). Os valores de  $R_a$  calculados para as amostras lisas e rugosas foram utilizados em análises de regressão para verificar a influência da rugosidade sobre a absorvância solar das amostras estudadas.

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (2.25)$$

Sendo:

Ra = Rugosidade média (mm);

$y_i$  = Diferença de nível entre “n” setores considerados no perfil da amostra (mm).

Estudos sobre rugosidade e absorvância, também vêm sendo realizados para telhados e coberturas, já que os mesmos são responsáveis por grande parte da carga térmica solar recebida por uma edificação.

Berdahl, et al. (2007) realizaram experimentos onde analisaram a refletância solar de telhas de asfalto utilizadas em coberturas. Os autores introduziram um modelo de análise que relaciona a “micro-refletância” de uma superfície de pequena região com a “macro-refletância” da telha. O modelo é usado para calcular o coeficiente de reflexão das telhas com uma mistura de grânulos de diferentes cores, quando a refletância das telhas de cores correspondentes (mono-cores) é conhecida.

Dos vários tipos de coberturas mais comuns (metal, madeira, barro), a elaboração de telhas de asfalto fresco é interessante, pois a rugosidade da superfície reduz a refletância abaixo do que de uma telha similar de superfície lisa.

As telhas de asfalto são fabricadas por prensagem de grânulos minerais pigmentados em uma fibra de vidro sobre uma folha de asfalto, tendo uma espessura geralmente na faixa de 5-15 $\mu$ m. A granulometria varia cerca de 0,4 a 2mm. Os grânulos cobrem a superfície de forma tão completa que apenas uma pequena fração do asfalto (25%) está exposta. Assim a absorvância solar do asfalto negro não é muito importante para as telhas com qualidade de fabricação.

Neste estudo para as medições de refletância, foi utilizado um espectrômetro, Perkin-Elmer Lambda 900 equipado com uma esfera de integração, e tamanho do feixe sobre a amostra cerca de 1 x 10mm. Uma vez que as telhas têm a maior reflexão sobre os topos dos grânulos e uma menor refletância no interstício, a refletância medida é muito sensível a exata localização do feixe na amostra. Através das medições os autores compreendem que para uma telha com mistura de várias cores, uma média da refletância de cada cor dá uma boa estimativa da refletância da mistura.

O efeito do asfalto exposto na refletância da telha não é conhecido com precisão, mas os autores estimam que o asfalto causa redução da refletância de uma telha bem-fabricada, em torno de 0,01 para uma telha que apresente refletância de 0,25. Já, a orientação do grânulo, alterado pelo processo de produção, pode modificar a refletância para mais de 0,025, ou 10% do valor nominal de 0,25.

## **2.5 Síntese do capítulo e discussão**

Este capítulo apresentou variados métodos e equipamentos para medição de propriedades térmicas em superfícies opacas, visando à análise da refletância solar dos componentes opacos da envoltória construtiva.

Apresentou também equipamentos e métodos ainda não normalizados, como a análise por scanner comum e através do espectrômetro portátil Alta II.

O Alta II é um equipamento de baixo custo, de fácil manuseio e apresenta valores próximos aos obtidos com equipamentos de maior precisão, podendo ser usado como recurso para medições laboratoriais a até mesmo para avaliação de superfícies opacas na própria edificação (medições “in-loco”).

Também foram apresentados diversos materiais “frios” que podem ser usados no envelope construtivo. Esses materiais seletivos ou termocrômicos possuem a capacidade de absorver pouca radiação solar, contribuindo para a redução do efeito das ilhas de calor em centros urbanos, para o aumento do conforto térmico dos usuários, e reduzindo também o consumo de energia com a utilização de sistemas de ar condicionado.

Além disso, são apresentados estudos sobre materiais que minimizam o ganho solar pela cobertura, sobretudo para regiões que apresentam clima quente. Esses materiais podem ser materiais que possuem baixa transmitância térmica e/ou baixa absorptância solar. A baixa absorptância solar pode ser obtida com aplicação de tintas comuns com alta refletância, normalmente nas cores claras como branco e gelo, ou com tintas seletivas, que são recomendadas por apresentarem maior resistência às intempéries do que tintas comuns.

Já para regiões que apresentam tanto clima quente quanto frio, os materiais termocrômicos são mais indicados, pois possuem capacidade de mudar reversivelmente sua estrutura espectral com a variação da temperatura. Este tipo de material quando exposto à altas temperaturas, passa a refletir, modificando também sua cor visível, e quando exposto

novamente a temperaturas baixas, volta a absorver a radiação, voltado a seu estado de coloração normal.

Uma revisão da literatura referente à rugosidade dos materiais e sua interferência sobre a absorvância solar também foi realizada neste capítulo, mostrando a necessidade de que esse fator seja levado em consideração. Pois quando um material é rugoso ou ondulado pode sofrer inter-reflexão, o que acarreta em um aumento da absorvância total do material.

### 3 MÉTODO

#### 3.1 Introdução

Neste capítulo apresenta-se a pesquisa aplicada, com descrição de todos os passos realizados para o desenvolvimento do trabalho, que consistem na delimitação da pesquisa e nos instrumentos, métodos e técnicas utilizadas.

A pesquisa teve como foco a verificação de métodos de obtenção de absorvância solar de tintas utilizadas na construção civil e disponíveis comercialmente no Brasil.

Com tintas de diferentes cores e tipos selecionadas, foram confeccionadas amostras em pastilha cerâmica e também em lixas com rugosidades de dois níveis, sendo preparada uma amostra de cada cor para cada rugosidade.

Os níveis de rugosidade de todas as amostras foram medidos por um perfilômetro de contato (rugosímetro), somente após serem pintadas. As amostras de cerâmica tiveram suas absorvâncias medidas por um espectrofotômetro e foram tratadas como amostras de referência, pois serviram de referência para as outras amostras rugosas, com a mesma tinta.

Três métodos de verificação de absorvância foram utilizados. As amostras com diferentes rugosidades foram testadas em cada um dos métodos.

O primeiro método foi realizado com um espectrômetro portátil (ALTA II). Neste método foram utilizados como referência os valores de refletância de uma folha de papel branco.

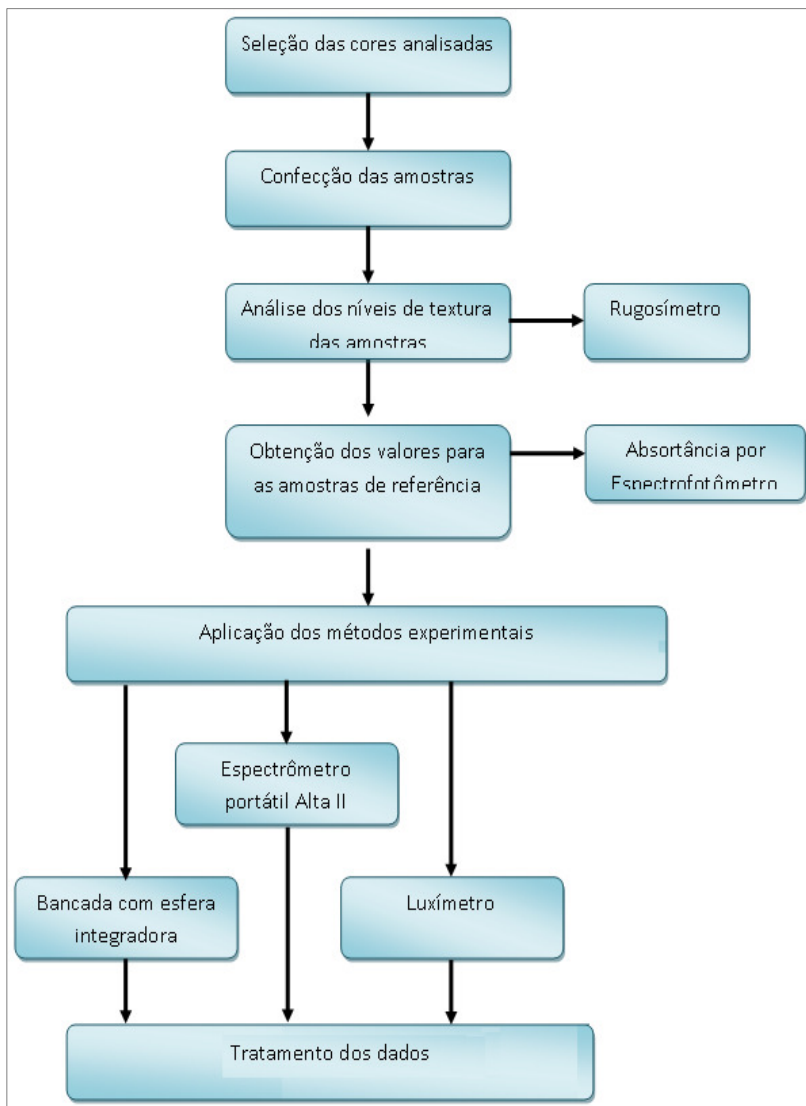
O espectrômetro portátil ALTA II é um equipamento que proporciona ao usuário encontrar valores de refletância em 11 bandas do espectro, entre 470 e 940 nm, sendo necessária a correção ao espectro solar padrão. Para realizar os testes foi utilizado um aparato experimental composto por uma câmara escura.

O segundo método consistiu na obtenção da absorvância solar através de uma bancada com monocromador e uma esfera integradora, que usa como referência o revestimento da esfera composto por Sulfato de Bário (BaSO<sub>4</sub>), com o índice de refletância referida sendo de 99,8%.

Para o terceiro método, conhecido como “Método do Luxímetro”, utilizou-se um luxímetro e como referência uma folha de papel branca.

Depois de aplicados os equacionamentos necessários, os resultados foram tratados analisando os valores de absorvância encontrados para cada um dos três métodos de medições confrontando cores, tipos de tintas e texturas.

A Figura 3.1 apresenta um fluxograma com as etapas da pesquisa, desde a escolha das cores e materiais das amostras até os métodos das medições de absorvância e a análise da influência da variação de temperatura.



**Figura 3.1 - Fluxograma das etapas da pesquisa.**



## 3.2 Amostras ensaiadas

O mercado de tintas imobiliárias oferece uma variedade muito ampla de tonalidades de cores e tipos de tintas. Para a confecção das amostras, foram selecionadas cinco cores de tintas comuns disponíveis no mercado brasileiro. O processo de preparação dessas amostras é apresentado a seguir.

### 3.2.1 Preparação das amostras

#### 3.2.1.1 Especificação e corte dos materiais

Para os testes realizados na determinação da absorvância solar, foram utilizados três tipos de superfícies como base para aplicação das tintas: uma cerâmica e duas lixas (P36 e P24).

#### **Placas Cerâmicas:**

Com dimensões de 10 x 10 cm feitas de argila sem qualquer tratamento (Figura 3.2). Em todo o estudo foram utilizadas 35 placas cerâmicas, sendo 24 para a aplicação de três métodos de análise de absorvância, 8 para análise de temperatura e 3 para a análise de rugosidade.



**Figura 3.2 - Placa cerâmica sem tratamento.**

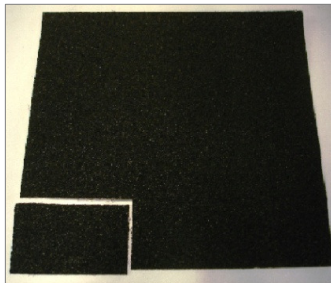
#### **Lixas:**

Para análise do efeito da rugosidade superficial sobre a absorvância solar de superfícies opacas, foram utilizadas lixas do tipo “lixa-ferro” com diferentes rugosidades superficiais, de acordo com padrões de granulometria definidos pela Federation of European Producers of Abrasives (FEPA). O diâmetro médio dos grãos de cada lixa e a sua classificação FEPA estão expostos na Tabela 3.1. As lixas adotadas são de classificação P36 e P24. Essas lixas foram escolhidas por apresentarem rugosidades superficiais homogêneas quanto à distribuição dos grãos.

**Tabela 3.1 - Granulometria das amostras rugosas segundo FEPA.**

MACROGRÃOS		MICROGRÃOS	
Tipo de grão	Diâmetro médio do grão em $\mu\text{m}$	Tipo de grão	Diâmetro médio do grão em $\mu\text{m}$
P 12	1815	P240	$58,5 \pm 2,0$
P 16	1324	P 280	$52,2 \pm 2,0$
P 20	1000	P 320	$46,2 \pm 2,0$
P 24	764	P 360	$40,5 \pm 1,5$
P 30	642	P 400	$35,0 \pm 1,5$
P 36	538	P 500	$30,2 \pm 1,5$
P40	425	P 600	$25,8 \pm 1,5$
P 50	336	P 800	$21,8 \pm 1,5$
P 60	269	P 1000	$18,3 \pm 1,5$
P 80	201	P 1200	$15,3 \pm 1,0$
P 100	162	P 1500	$12,6 \pm 1,0$
P 120	125	P 2000	$10,3 \pm 0,8$
P 150	100	P 2500	$8,4 \pm 0,5$
P 180	82		

**P36:** Lixa comercializada em formato retangular (Figura 3.3), em dimensões 22,5 x 27,5 cm. A folha dessa lixa é maleável e sua base é de tecido, o que possibilita recortar as amostras com uma tesoura simples. Foram recortadas 24 amostras de tamanho 3,5 x 7,0 cm, e 27 amostras de tamanho 3,5 x 3,5 cm.



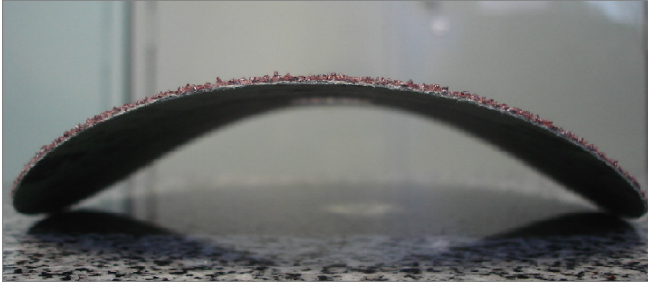
**Figura 3.3 - Lixa P36.**

**P24:** Essa lixa é comercializada em formato de disco (Figura 3.4), com raio de 6,5 cm, própria para uso em “lixadeiras”. Em uma lixa é possível retirar duas amostras de 3,5 x 7,0 cm, e duas de 3,5 x 3,5 cm. Foram utilizadas 13 lixas, através das quais foram confeccionadas 24 amostras de tamanho 3,5 x 7,0 cm, e 27 amostras de tamanho 3,5 x 3,5 cm.



**Figura 3.4 - Lixa P24.**

Sendo a lixa não maleável, o seccionamento só foi possível com uma máquina de corte com serra. As amostras não ficaram planas completamente, apresentaram um formato curvilíneo, devido ao próprio formato da lixa (Figura 3.5).



**Figura 3.5 - Curvatura da Lixa P24.**

A quantidade maior de amostras no tamanho 3,5 x 3,5 cm na lixa P24 e na lixa P36, deve-se ao fato de que mais 3 amostras de cada uma das duas rugosidade foram confeccionadas para serem utilizadas nas análises de rugosidade.

Os cortes das amostras foram realizados em dois tamanhos diferentes, para que fosse possível a utilização das mesmas em equipamentos distintos. Para as medições realizadas com a esfera integradora o tamanho das amostras utilizado é de 3,5 x 3,5 cm. O formato quadrado das pastilhas apresentou uma melhor adequação junto à esfera, permitindo melhor fixação no momento de ensaiá-las. Para o espectrômetro portátil ALTA II, o tamanho adotado foi de 3,5 X 7,0 cm, pois o formato retangular assegura maior estabilidade quanto ao manuseio no momento de ensaiá-las. Para os demais experimentos o tamanho escolhido também foi de 3,5 x 7,0 cm.

Todas as lixas e cerâmicas foram utilizadas com as mesmas condições em que foram adquiridas de seus fabricantes, sem qualquer alteração em suas texturas e composições.

### **Tintas:**

Para pintura das amostras foram escolhidas 5 cores de tintas (branco, preto, vermelho, azul e verde). Sendo a cor azul representada por 3 tipos de acabamento: PVA, acrílica semi-brilho e acrílica fosca, todas oriundas de fabricante nacional.

A tinta PVA tem seu uso recomendado para ambientes internos de construções, pois apresentam maior desgaste devido às intempéries. Entretanto é uma das tintas com menor custo no mercado, logo é utilizada também em fachadas externas. Já a tinta acrílica semi-brilho é um produto indicado tanto para áreas externas quanto internas de edificações. A tinta acrílica fosca é a escolhida para a maioria das

paredes interiores e tetos, ela não apresenta brilho algum, sendo que isso não reduz e nem modifica a sua qualidade. Portanto a tinta fosca, por ter um teor de resina mais baixo que a tinta semi-brilho apresenta resistência menor às intempéries.

A cor branca foi apresentada em duas formas de acabamento: acrílica fosca e emborrachada. As especificações sobre o uso da tinta acrílica fosca branca são as mesmas que a tinta acrílica fosca azul. A tinta emborrachada forma uma película impermeável e flexível sobre a superfície onde é aplicada, capaz de acompanhar o efeito de dilatação pela mudança de temperatura. Possui resistência e durabilidade, e conseqüentemente é aplicada geralmente em ambientes externos e telhados.

As demais tintas foram utilizadas com acabamento em acrílico fosco.

### 3.2.1.2 Pintura das amostras

As Tabelas 3.2, 3.3 e 3.4 foram montadas contendo a legenda de cada amostra de acordo com a rugosidade, a cor, tipo de tinta e o tipo de aplicação da tinta através de pincel (rolo de lã sintética com pêlo baixo ou pistola de ar comprimido). O que possibilita uma melhor organização e entendimento do processo.

**Tabela 3.2 - Legendas das cerâmicas.**

<b>NOMENCLATURA DAS CERÂMICAS</b>			
<b>Cores / Aplicação</b>	<b>Pistola</b>	<b>Rolo</b>	<b>Pincel</b>
Branca emborrachada	CJ1	CR1	CP1
Branca acrílica fosca	CJ2	CR2	CP2
Preta acrílica fosca	CJ3	CR3	CP3
Vermelha acrílica fosca	CJ4	CR4	CP4
Verde acrílica fosca	CJ5	CR5	CP5
Azul acrílica semi-brilho	CJ6	CR6	CP6
Azul PVA	CJ7	CR7	CP7
Azul acrílica fosca	CJ8	CR8	CP8

**Tabela 3.3 - Legendas da lixas P36.**

<b>NOMENCLATURA DAS LIXAS P36</b>			
<b>Cores / Aplicação</b>	<b>Pistola</b>	<b>Rolo</b>	<b>Pincel</b>
Branca emborrachada	PJ1	PR1	PP1
Branca acrílica fosca	PJ2	PR2	PP2
Preta acrílica fosca	PJ3	PR3	PP3
Vermelha acrílica fosca	PJ4	PR4	PP4
Verde acrílica fosca	PJ5	PR5	PP5
Azul acrílica semi-brilho	PJ6	PR6	PP6
Azul PVA	PJ7	PR7	PP7
Azul acrílica fosca	PJ8	PR8	PP8

**Tabela 3.4 - Legendas das lixas P24.**

<b>NOMENCLATURA DAS LIXAS P24</b>			
<b>Cores / Aplicação</b>	<b>Pistola</b>	<b>Rolo</b>	<b>Pincel</b>
Branca emborrachada	POJ1	POR1	POP1
Branca acrílica fosca	POJ2	POR2	POP2
Preta acrílica fosca	POJ3	POR3	POP3
Vermelha acrílica fosca	POJ4	POR4	POP4
Verde acrílica fosca	POJ5	POR5	POP5
Azul acrílica semi-brilho	POJ6	POR6	POP6
Azul PVA	POJ7	POR7	POP7
Azul acrílica fosca	POJ8	POR8	POP8

A Figura 3.6 apresenta os modelos com os dois tamanhos e os dois tipos de lixa, fixadas em uma folha de papel e com as legendas designadas para a cor e tipo de aplicação de tinta.



**Figura 3.6 - Exemplo de tamanho e nomenclatura.**

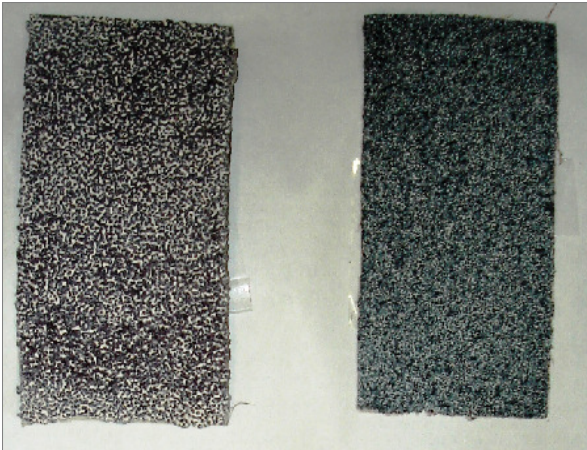
### **3.2.1.3 Fundo cinza**

Todas as amostras, tanto cerâmicas quanto lixas, foram cobertas por uma camada de tinta cinza (Figura 3.7). A pintura cinza é feita para amenizar a cor natural das amostras minimizando a interferência da base no acabamento final da superfície. A coloração do fundo foi realizada com pistola de ar comprimido e foi aplicada uma demão.



**Figura 3.7 - Amostras com fundo cinza.**

As amostras P24 ficaram com a textura visualmente mais clara que as amostras de rugosidade menor P36 (Figura 3.8). Como a lixa P24 apresenta grãos maiores, os espaços entre eles também são maiores. A tinta fez o preenchimento desses espaços.



**Figura 3.8 - Lixas P24 e P36 em detalhe.**



### 3.2.1.4 Aplicação das cores

A ação de pintura das amostras foi realizada após a secagem do fundo. Foram aplicadas três camadas de tinta das cores analisadas, respeitando sempre o intervalo mínimo de 3 horas entre cada aplicação. Foram tomados cuidados para obter amostras com superfícies homogêneas, predominando a cor da tinta considerada. As aplicações das tintas foram realizadas através de três métodos: pistola de ar comprimido, rolo de lã sintética e pincel; obtendo assim, três aplicações diferentes para cada cor analisada.

Todas as tintas foram diluídas com água, na proporção de 3:2, ou seja, três medidas de tinta para duas de água. Essa proporção foi escolhida devido à dificuldade encontrada pela máquina de spray ao fazer a sucção da tinta, quando pouco diluída.

Para a pintura com rolos, foram utilizados rolos rolo de lã sintética com pêlo baixo (Figura 3.9). Esse tipo de rolo foi escolhido por ser mais apropriado para pinturas em superfícies rugosas. Após o uso dos rolos, a lavagem foi imediata e seu uso somente ocorreu novamente quando os mesmos encontravam-se secos.



**Figura 3.9 - Rolo de tinta com pelos curtos.**

Os pincéis utilizados para a pintura foram de dois tamanhos diferentes, um deles com 2,5 polegadas e o outro com 1,5 polegadas (Figura 3.10). Sendo a pintura realizada com os pincéis limpos, secos e lavados após cada utilização, para evitar o efeito de coloração das cerdas e armazenamento de resíduos de tintas nas mesmas.



**Figura 3.10 - Pincéis utilizados na preparação das amostras.**

**a) Primeira camada:**

**Pistola de ar comprimido Rolo de lã sintética**

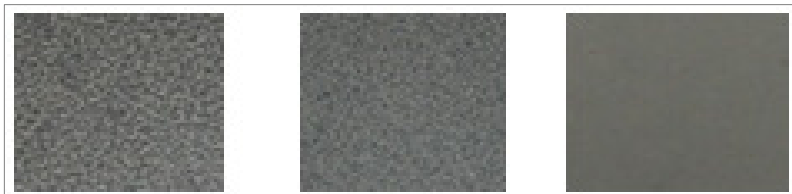
Nas cores brancas – devido à proporção em que a tinta foi diluída, a sua textura ficou muito aquosa, acabou escorrendo entre os sulcos das lixas, portanto pouco as coloriu.

O mesmo ocorreu com a tinta de cor vermelha, mas o efeito de cor ficou mais presente por se tratar de uma cor mais intensa.

Nas cores verde e preta a cobertura de tinta nessa primeira demão foi bem eficaz, cobrindo praticamente toda a amostra. O mesmo ocorreu com as 3 tintas nas cores azuis, apesar da diferença entre suas densidades, devido a finalidade de cada tinta.

**Pincel**

Após a pintura ser realizada em todas as amostras, pôde ser observado que o efeito de escorrimento da tinta não é observado visivelmente para a pintura com o pincel. Entretanto, as amostras pintadas com tinta branca tiveram pouco de sua superfície coberta (Figura 3.11).



**Figura 3.11 - Modelos P0P1, PP1 e CP1.**

Os demais modelos apresentaram uma boa cobertura das tintas, inclusive com as três diferentes tintas azuis.

**b) Segunda camada:**

A segunda camada de tinta foi necessária para obter amostras com uma cobertura de tinta mais uniforme. Entretanto os modelos feitos de lixa e pintados pela cor branca, devido ao escorrimento da tinta, não apresentaram boa cobertura.

**c) Terceira camada:**

Após a segunda camada de tinta, a cobertura das lixas e das cerâmicas foi considerada satisfatória, mas novamente a tinta branca apresentou problemas, sua cobertura ainda não estava uniforme. Fez-se necessário, então, uma terceira camada de tinta em todas as amostras.

A Figura 3.12 apresenta as amostras cerâmicas pintadas com pistola, rolo e pincel, para todas as tintas analisadas.

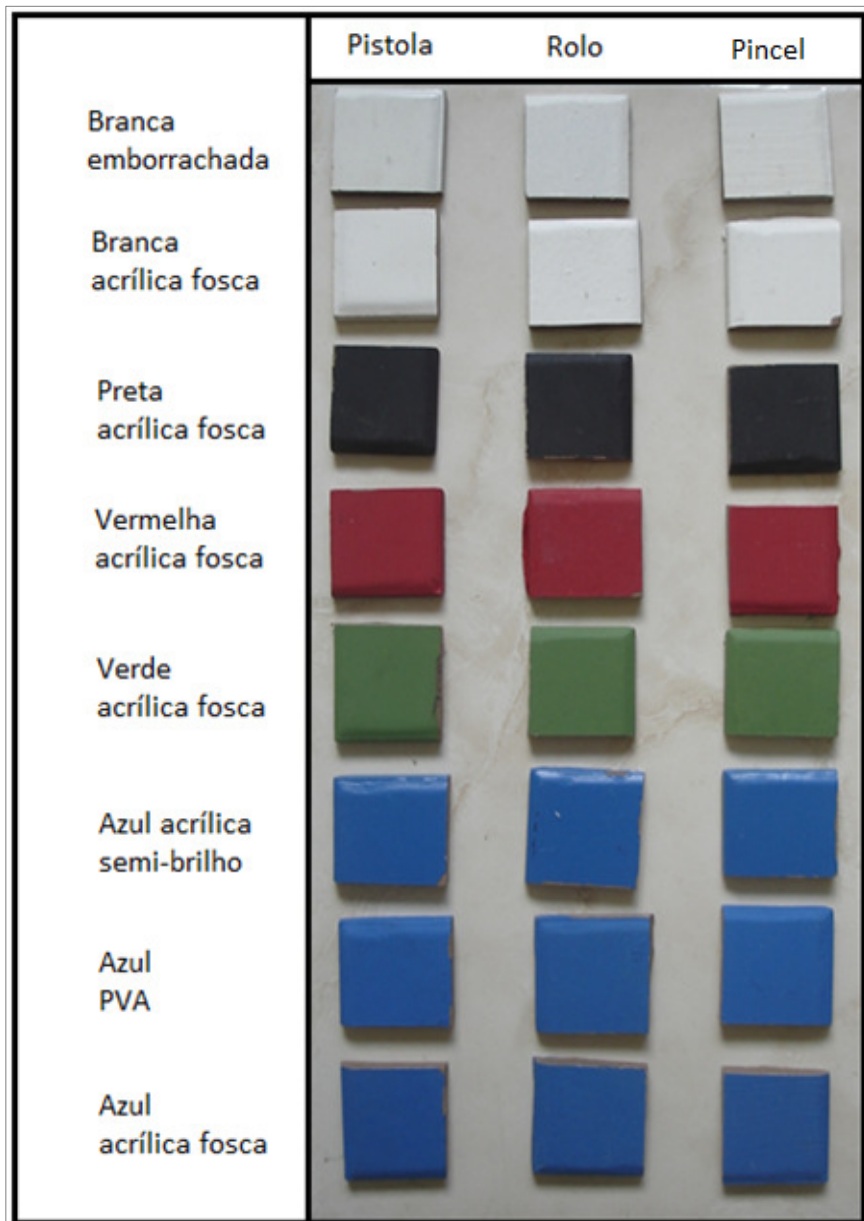
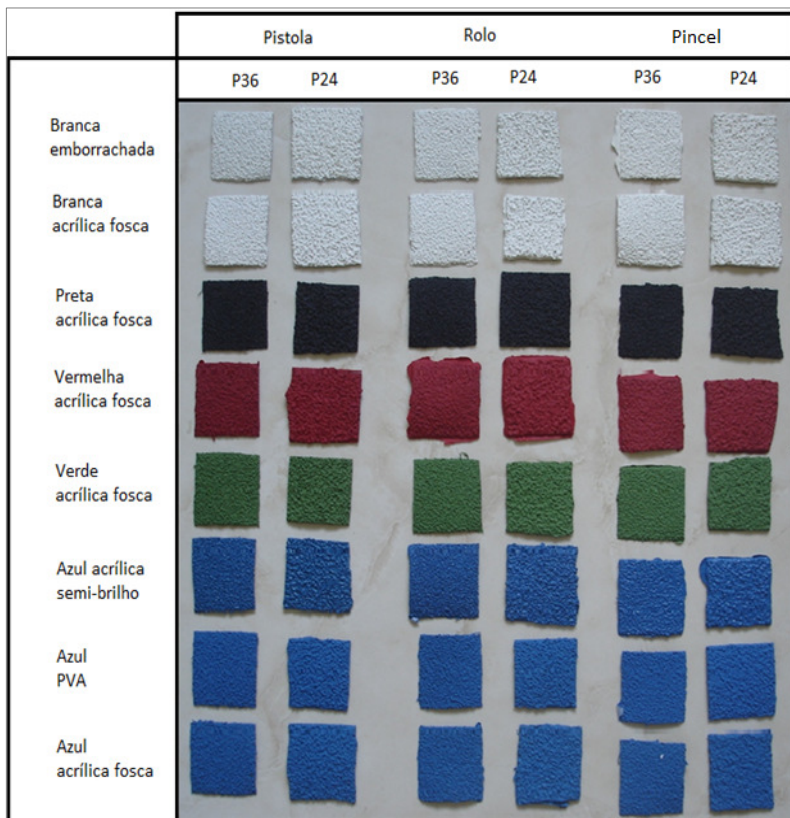


Figura 3.12 - Amostras cerâmicas.

As amostras confeccionadas com lixas de granulometria P24 e P36 são apresentadas na figura 3.13.



**Figura 3.13 - Amostras confeccionadas com lixas P36 e P24.**

#### **Amostras de referência**

As amostras de referência foram definidas como sendo as amostras confeccionadas com cerâmica e pintadas com pistola de ar comprimido. A fim de servirem como parâmetro de comparação com as demais amostras rugosas (Figura 3.14). A nomenclatura dessas amostras é apresentada na Tabela 3.5.

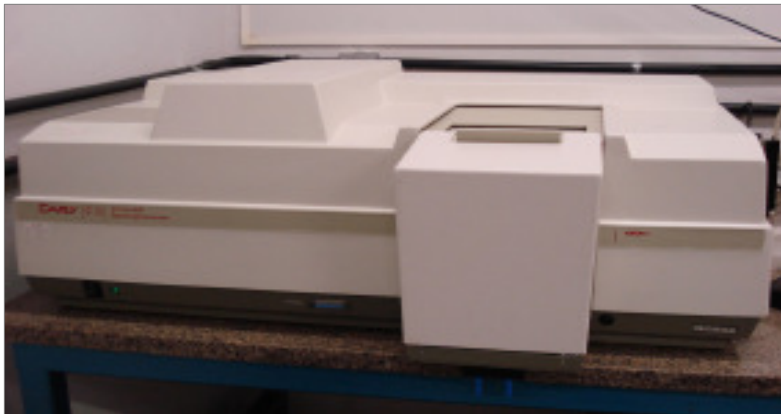


**Figura 3.14 - Amostras de referência.**

**Tabela 3.5 - Legendas das amostras de referência.**

<b>Cores</b>	<b>Nomenclatura</b>
Branca emborrachada	CJ.D1
Branca acrílica fosca	CJ.D2
Preta acrílica fosca	CJ.D3
Vermelha acrílica fosca	CJ.D4
Verde acrílica fosca	CJ.D5
Azul acrílica semi-brilho	CJ.D6
Azul PVA	CJ.D7
Azul acrílica fosca	CJ.D8

As amostras de referência tiveram sua absorvância obtida por meio de um espectrofotômetro da marca Varian, modelo CARY 5G (Figura 3.15), que pertence ao Instituto de Química da UFSCar (SP). As amostras foram ensaiadas pela Dra. Kelen de Almeida Dornelles.



**Figura 3.15 - Espectrofotômetro Varian CARY 5G para avaliação das amostras de referência.**

Esse equipamento permite cobrir a maior parte do espectro solar, sendo que as medidas foram tomadas a cada 1nm, na faixa de 300nm a 2500nm. As medidas foram ajustadas ao espectro solar padrão adotado pela ASTM G173 (2003) de acordo com o procedimento apresentado por Dornelles (2008), mostrado no item 2.3.1.1 desse trabalho.

Os valores das absorvâncias médias de referência, obtidos no espectrofotômetro CARY 5G e integrados no intervalo de 300nm a 2500 nm, são apresentados na **referencia**. para as diferentes faixas do espectro solar.

**Tabela 3.6 - Valores das absorvâncias de referência (amostras cerâmicas).**

Amostras	CJ.D1	CJ.D2	CJ.D3	CJ.D4	CJ.D5	CJ.D6	CJ.D7	CJ.D8
UV	0,94	0,93	0,96	0,95	0,95	0,96	0,95	0,96
Vis	0,16	0,08	0,97	0,76	0,87	0,86	0,86	0,85
IV	0,25	0,12	0,98	0,55	0,85	0,52	0,52	0,39
TOTAL	0,22	0,11	0,97	0,67	0,86	0,71	0,71	0,64

### 3.3 Métodos experimentais

São apresentados aqui três métodos para obtenção de valores de absorvâncias para superfícies opacas. As diferentes amostras produzidas

com todas as texturas foram analisadas pelos três métodos listados abaixo:

- Método do espectrômetro portátil;
- Método da esfera integradora;
- Método do luxímetro;

Além desses métodos, é apresentada também uma análise térmica das amostras que foi realizada observando a interferência da temperatura nas medições com as amostras expostas a temperaturas mais elevadas.

As superfícies das amostras foram analisadas também em relação a sua rugosidade com auxílio de um medidor de rugosidade.

### **3.3.1 Método do espectrômetro portátil ALTA II**

O espectrômetro portátil ALTA II (Figura 3.16) foi desenvolvido pelo *Lunar and Planetary Institute*. Na parte frontal do aparelho estão distribuídos onze botões correspondentes a cada comprimento de onda entre 470nm e 940nm, sendo sete na região do visível e quatro na região do infravermelho. Na parte de baixo do aparelho (Figura 3.17) encontra-se um orifício circular com um círculo de lâmpadas em seu interior. Cada uma das lâmpadas corresponde a uma tecla da parte frontal, que quando é pressionada a tecla, acende-se a lâmpada correspondente, assim emitindo energia. Essa energia quando refletida é detectada por um sensor no centro do orifício circular na parte de baixo do aparelho. Na parte frontal do equipamento há um visor que indica quanto de energia foi refletida. Essa leitura é feita em escala de voltagem (mV). Quando ligado, o instrumento faz uma leitura, mesmo não sendo pressionada nenhuma tecla, essa leitura realizada é chamada “Dark Voltage” (tensão escura ou voltagem do fundo), que é a quantidade de energia captada pela luz que se infiltra entre o aparelho e a amostra.





**Figura 3.16 - Espectrômetro portátil ALTA II.**



**Figura 3.17 - Espectrômetro ALTA II, conjunto de lâmpadas e sensor.**

Os sete comprimentos de onda na região do visível estão representados pelas cores: blue (azul), cyan (verde água), green (verde), yellow (amarelo), orange (laranja), red (vermelho) e deep red (vermelho escuro), e quatro na região do infravermelho, ou seja, acima da faixa do visível: IR1 , IR2 , IR3 e IR4.

A Tabela 3.7 mostra os valores dos comprimentos de onda do Espectrômetro ALTA II representados por cores dentro da faixa do

visível e a Tabela 3.8 apresenta os comprimentos de onda na faixa do infravermelho.

**Tabela 3.7 - Comprimentos de onda na faixa do visível.**

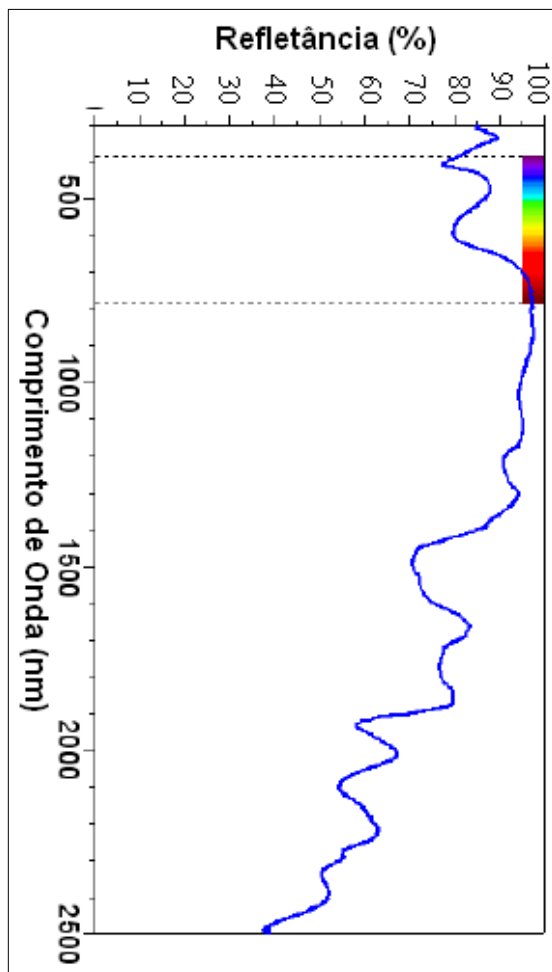
<b>Cor no espectro visível</b>	<b>Comprimento de onda (nm)</b>
Blue	470
Cyan	525
Green	560
Yellow	585
Orange	600
Red	645
Deep red	700

**Tabela 3.8 - Comprimentos de onda na faixa do infravermelho.**

<b>Região do infravermelho</b>	<b>Comprimento de onda (nm)</b>
IR1	735
IR2	810
IR3	880
IR4	940

### **3.3.1.1 Equacionamento para o espectrômetro portátil Alta II**

Para as medições com o espectrômetro Alta II, foram adotados como referência dados obtidos em um espectrofotômetro da marca Varian modelo CARY 5G para uma determinada superfície que apresenta elevada refletância. Nestas medições, adota-se como referência uma folha de papel branco comum (papel branco Ripax, 75g/m<sup>2</sup>), cuja curva de reflexão espectral é apresentada na Figura 3.18 (Dornelles e Roriz, 2006).



**Figura 3.18 - Curva de reflexão espectral do papel branco Ripax 75g/m<sup>2</sup> (DORNELLES e RORIZ, 2006).**

As refletâncias de referência são apresentadas nas Tabelas 3.9 e 3.10 abaixo:

**Tabela 3.9 - Refletâncias de referência na faixa do visível.**

Faixa do visível	Blue	Cyan	Green	Yellow	Orange	Red	Deep Red
	470	525	560	585	600	645	700
Refletância Ripax espectrofotômetro ( $\rho$ de referência)	87,8	84,2	80,7	79,8	79,7	87,7	95,1

**Tabela 3.10 - Refletâncias de referência na faixa do Infravermelho.**

Faixa do Infravermelho	IR 1	IR 2	IR 3	IR 4
	735	810	880	940
Refletância Ripax espectrofotômetro ( $\rho$ de referência)	96,6	96,8	97,3	95,8

Para determinar a refletância das amostras para cada um dos 11 comprimentos de onda, adota-se o seguinte procedimento:

a) Mede-se a voltagem de fundo de cada amostra, colocando-se o espectrômetro sobre sua superfície, sem deixar que o sensor seja atingido por qualquer fonte de energia luminosa.

b) Medem-se as voltagens, em cada comprimento de onda, para a amostra de referência (papel branco).

c) Medem-se as voltagens das demais amostras, para cada comprimento de onda. Repetem-se as medidas mais duas vezes para que possa ter uma medida de voltagem com maior confiabilidade.

d) Faz-se o cálculo da refletância no comprimento de onda para cada amostra, com os dados obtidos nas etapas “a”, ”b”, e “c”, a partir da Equação (3.1):

$$\rho_{(\lambda)} \text{ amostra} = \left( \frac{V_{\text{amostra}} - V_{\text{fundo}}}{V_{\text{referência}} - V_{\text{fundo}}} \right) \cdot \rho_{\text{referência}} \quad (3.1)$$

Dado que:

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

$V_{\text{amostra}}$  = voltagem da amostra (mV);

$V_{\text{fundo}}$  = voltagem de fundo (mV);

$V_{\text{referência}}$  = voltagem da amostra de referência (mV);

$\rho_{\text{referência}}$  = refletância da amostra de referência, para cada comprimento de onda (%).

Para chegar à quantidade de energia relativa que é absorvida pelas superfícies, os valores de refletância obtidos para cada amostra foram corrigidos de acordo com a intensidade da radiação solar para cada comprimento de onda, a partir do espectro solar padrão adotado (ASTM, 2003). Esse espectro padrão considera a radiação hemisférica solar global, composta da radiação direta, que atinge a Terra vinda do Sol, e a radiação difusa, que sofre espalhamento pela atmosfera.

Assim, adotou-se o procedimento proposto por Santos et al. (2009) para o ajuste da refletância solar total das amostras ao espectro solar padrão:

(a) A partir do espectro solar padrão adotado conforme ASTM (2003), encontra-se a irradiação solar padrão, com energia refletida pela amostra em cada intervalo de comprimento de onda, Equação (3.2):

$$I_{(\lambda)Re\ fle} = I_{(\lambda)Global} \times \rho_{(\lambda)Amostra} \quad (3.2)$$

Tendo:

$I_{(\lambda)Re\ fle}$  = irradiação no espectro solar padrão, com energia espectral refletida pela amostra, por comprimento de onda ( $Wm^{-2}nm^{-1}$ );

$I_{(\lambda)Global}$  = irradiação solar espectral global, para cada comprimento de onda ( $Wm^{-2}nm^{-1}$ );

$\rho_{(\lambda)amostra}$  = refletância espectral da amostra, para cada comprimento de onda

(b) Obtém-se a curva de intensidade da irradiação no espectro solar padrão, com energia refletida para cada intervalo de comprimento de onda, Equação (3.3):

$$IR_{(\lambda_{b-a})Re\ fle} = \frac{(I_{(\lambda)_aRe\ fle} + I_{(\lambda)_bRe\ fle}) \times (\Delta\lambda_{b-a})}{2} \quad (3.3)$$

Com:

$IR_{(\lambda_{b-a})Re\ fle}$  = fluxo de irradiância solar global refletida pela amostra, por comprimento de onda ( $W/m^2$ );

$I_{(\lambda)Re\ fle}$  = irradiação no espectro solar padrão, com energia refletida pela amostra, por comprimento de onda ( $wm^{-2}nm^{-1}$ );

$\Delta\lambda_{b-a}$  = intervalo de comprimento de onda (nm).

(c) Calcula-se o fluxo de irradiância solar refletida total para cada amostra. Equação (3.4):

$$IR_{Re\ fle. Total} = IR_{(525-470)} + IR_{(560-525)} + IR_{(585-560)} + IR_{(600-585)} + IR_{(645-600)} + IR_{(700-645)} + IR_{(735-700)} + IR_{(810-735)} + IR_{(880-810)} + IR_{(940-880)}$$

(3.4)

Tendo:

$IR_{Refle. Total}$  = fluxo de irradiância solar global total refletida pela amostra ( $W/m^2$ );

$IR_{(\lambda_b-a)Refle}$  = fluxo espectral de irradiância solar global refletida pela amostra, por comprimento de onda ( $W/m^2$ );

(d) Determina-se o total da irradiação no espectro solar padrão, com energia refletida somando-se as irradiações no espectro solar padrão, com energia refletida em cada intervalo de comprimento de onda com a Equação (3.5):

$$IR_{(\Delta\lambda)Total} = \sum_{\lambda=470}^{\lambda=940} \frac{I_{(\lambda)} + I_{(\lambda+1)}_{Global} \times \Delta\lambda_{(\lambda+1)-\lambda}}{2}$$

(3.5)

Sendo:

$IR_{(\Delta\lambda)Total}$  = fluxo total da irradiação solar padrão, por intervalo de comprimento de onda ( $W/m^2$ );

$I_{(\lambda)}$  = irradiação solar global, por comprimento de onda ( $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$ );

(e) Faz-se o cálculo da refletância total da amostra e da absortância total da amostra, pela Equação (3.6) e (3.7) respectivamente:

$$\rho_{amostra} = \frac{I_{Re\ fle(Total)}}{IR_{Total}}$$

(3.6)

$$\alpha_{amostra} = 1 - \rho_{amostra}$$

(3.7)

Onde:

$\rho_{amostra}$  = refletância da amostra;

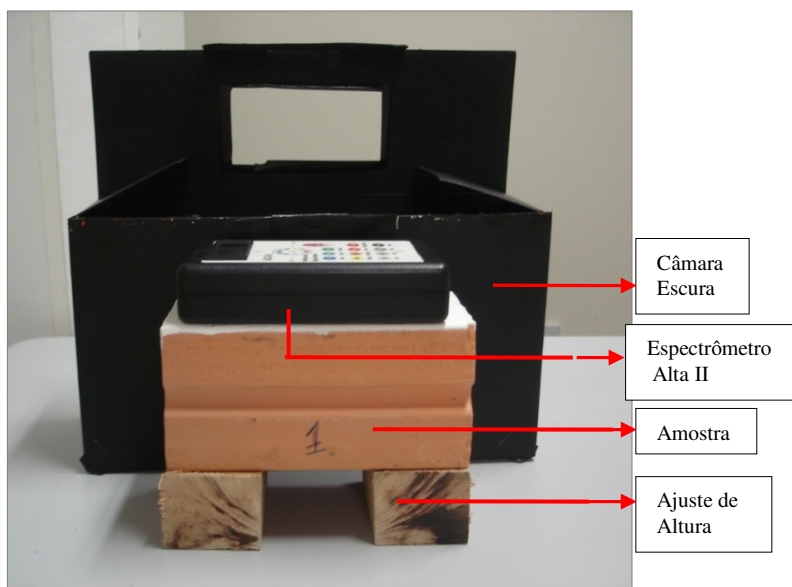
$\alpha_{amostra}$  = absortância da amostra;

$I_{\text{Refle(Total)}}$  = irradiação total no espectro solar padrão, com energia refletida;

$IR_{\text{Refle. Total}}$  = fluxo de Irradiância solar global total refletida pela amostra ( $\text{W}/\text{m}^2$ );

### 3.3.1.2 Câmara escura

O experimento foi realizado com auxílio de uma câmara escura para obter valores de absorvância sem infiltração de luz entre o Espectrômetro Alta II e a amostra analisada. Confeccionou-se a câmara escura escolhendo uma caixa próxima ao tamanho e altura do aparelho Alta II e com dimensões que permitam ajustes de altura do Alta II e de amostras com espessuras variadas, como apresentado na Figura 3.19 (Santos et al., 2009).



**Figura 3.19 - Altura do aparato experimental ajustável a espessura da amostra a ser testada.**

O aparato deve ser bem vedado, para impedir qualquer tipo de infiltração de luz, tanto solar quanto ambiente, deixando apenas uma abertura frontal (Figura 3.20), onde fica exposta a frente do espectrômetro facilitando a visualização dos valores apresentados no

display do instrumento. Esta abertura, onde há o contato entre a câmara e o Alta II também deve ser bem vedada, impedindo a infiltração de luz.



**Figura 3.20 - Abertura na câmara deixando exposta a frente do espectrômetro.**

### 3.3.2 Método da esfera integradora

Com a utilização de uma esfera integradora é possível realizar medições de refletividade espectral normal-hemisférica de materiais difusores opacos. Uma esfera desse tipo pode ser encontrada no mercado externo, porém com custo elevado. Neste trabalho, foi utilizada uma esfera de integração construída com fibra de vidro e com revestimento interno branco composto por Sulfato de Bário ( $\text{BaSO}_4$ ), que é uma referência internacional, chegando até a 99,8 % de refletância (HITACHI, 2005).

A esfera construída é acoplada a uma bancada, sendo os resultados das refletividades apresentados de forma gráfica em função do comprimento de onda, mostrando assim o comportamento dos materiais analisados.

A bancada (Figura 3.21) encontra-se no LabTermo – Laboratório de Ciências Térmicas da UFSC e consiste no arranjo de uma fonte de



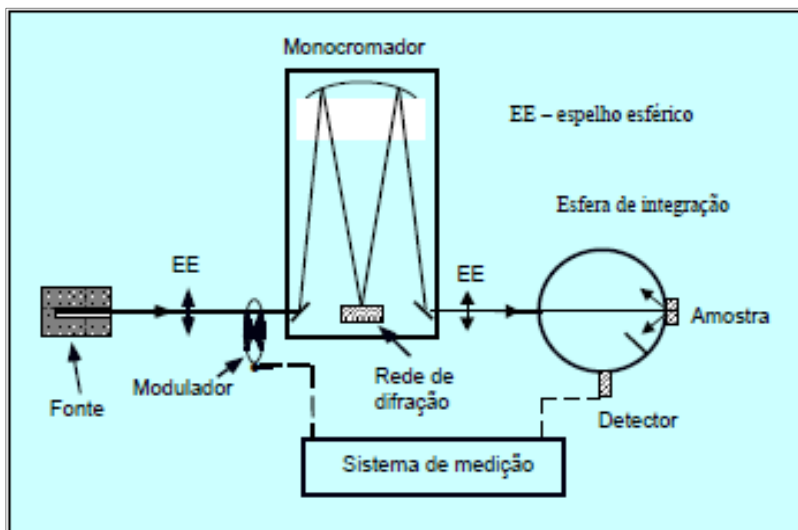
radiação, um monocromador, suporte para amostra, detector, sistema para aquisição de dados, esfera de integração, modulador, espelhos esféricos e filtros. A referida bancada permite a medição de refletâncias e transmitâncias espectrais direcionais não-polarizadas de materiais na faixa espectral de 450 a 1100nm.



**Figura 3.21 - Bancada com esfera de integração.  
(NICOLAU e POSSAMAI, 2006).**

Um esquema da bancada é mostrado na Figura 3.22. Segundo Nicolau e Possamai (2006), o feixe de radiação produzido por uma lâmpada incandescente (filamento de tungstênio), é enviado ao monocromador. Este funciona com redes de difração permitindo obter feixes monocromáticos na sua fenda de saída, conforme o comprimento de onda escolhido. O feixe monocromático é dirigido para o interior da esfera, atingindo a superfície da amostra na direção normal, sendo refletido em todas as direções, pois se trata de uma superfície difusora, por isto a denominação normal-hemisférica da variável medida. Uma medição prévia é feita com uma amostra revestida com o mesmo material usado para o revestimento interno da esfera, sendo os dois valores obtidos usados no cálculo da refletividade. O detector é montado na parede da esfera, a  $90^\circ$  da amostra, usando-se um pequeno disco de bloqueio para que a 1ª reflexão da amostra não atinja diretamente o detector. Os filtros tipo “passa-alto” são usados para evitar que os

comprimentos de onda, submúltiplos do valor usado na medição, também atinjam o detector. Por exemplo, se um comprimento de onda de  $2\mu\text{m}$  estiver sendo usado, os comprimentos de  $1\mu\text{m}$  e  $0,5\mu\text{m}$  também estarão presentes, necessitando-se, portanto de um filtro que bloqueie estes comprimentos. Para evitar que a radiação ambiente influencie na medição e para uma melhor relação sinal/ruído, o sistema de medição usa uma modulação do feixe de radiação, de forma que apenas a radiação modulada seja considerada.



**Figura 3.22 - Esquema da bancada para medições de refletividades espectrais.**

(NICOLAU e POSSAMAI, 2006).

A esfera contém uma janela para a entrada do feixe de radiação, uma janela para a colocação da amostra e ainda uma terceira janela para a montagem do detector. A medição de referência é feita com uma amostra construída com o mesmo material de revestimento da esfera. O revestimento é um material bastante difusor, de forma que a radiação incidente seja espalhada pelo interior da esfera, sendo uma parte captada pelo detector. A Figura 3.23 apresenta a esfera aberta de maneira que seja possível observar o seu interior com revestimento altamente refletivo.



**Figura 3.23 - Revestimento interno da esfera de integração. (NICOLAU e POSSAMAI, 2006).**

### **3.3.2.1 Repintura da esfera**

O último registro de uso da esfera foi em 2006 por Nicolau e Possamai (2006). Ao longo dos anos a pintura no interior da esfera ficou com aspecto amarelado e envelhecido (Figura 3.24). Para evitar erros no experimento devido a esse envelhecimento a esfera foi repintada.



**Figura 3.24 - Esfera antes da nova pintura.**

Para a repintura da esfera utilizou-se uma tinta a base de sulfato de bário, a qual foi produzida na fábrica da tinta da Plastimper localizada em São José, Santa Catarina.

Três compostos de tintas foram produzidos a fim de definir qual serial utilizado na pintura. Os compostos possuem porcentagens diferentes de Sulfato de Bário e de Dióxido de Titânio. O Dióxido de Titânio como pigmento branco age na formulação preenchendo os espaços entre as moléculas de Sulfato de Bário. As formulações de cada composto são apresentadas na Tabela 3.11.

**Tabela 3.11 - Tintas a base de Sulfato de Bário.**

PRODUTOS		PORCENTAGEM DOS PRODUTOS NOS COMPOSTOS (%):		
		1	2	3
Água		40,55	31,55	30,55
Aditivos	Umectante	0,30	0,30	0,30
	Dispersante	0,40	0,40	0,40
	Antiespumante	0,40	0,40	0,40
TiO <sub>2</sub>		8,00	6,00	8,00
BaSO <sub>4</sub>		33,00	44,00	43,00
Resina acrílica		16,00	16,00	16,00
Correção do PH		0,10	0,10	0,10
Espessante		1,00	1,00	1,00
Conservante		0,25	0,25	0,25

O composto escolhido para a utilização na pintura da esfera foi o composto de número 2. Este composto foi escolhido por apresentar uma absorvância próxima de 0,05. Entre os três, este é o composto com maior porcentagem de Sulfato de Bário e menor de Dióxido de Titânio. Os compostos 1 e 3 apresentaram absorvância relativamente maior nos valores de 0,056 e 0,051, respectivamente. A análise de absorvância do composto foi realizada através do método do Alta II.

Foram aplicadas três camadas do composto e após a secagem, a pintura foi considerada adequada para as medições (Figura 3.25).

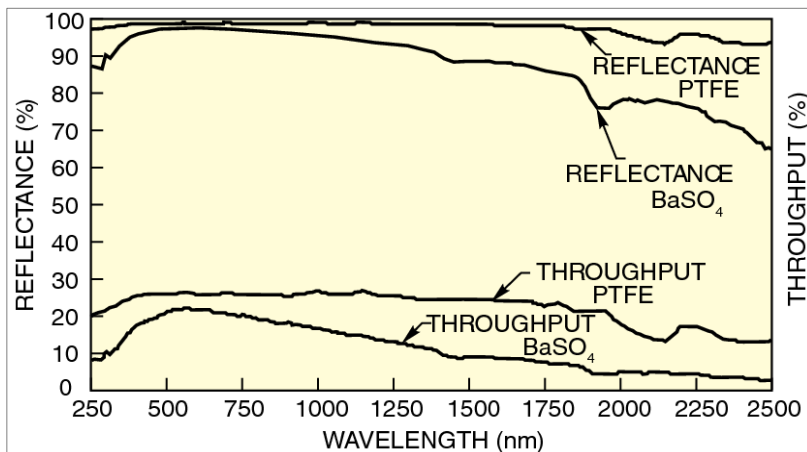


**Figura 3.25 - Esfera após a repintura.**

A amostra revestida com o mesmo material usado para o revestimento interno da esfera também foi repintada, para ser utilizada nas medições como amostra de referência.

### **3.3.2.2 Equacionamento para o método da esfera integradora**

Para realização dos cálculos, foram utilizadas os valores de absorvância de referência para o Sulfato de Bário, cedidos pela “*Newport Corporation*”. O espectro de referência para o Sulfato de Bário é apresentado na figura 3.26



**Figura 3.26 - Espectro para o Sulfato de Bário (Newport corporation).**

As medições foram realizadas nos comprimentos de onda apresentados na tabela 3.12, sendo oito comprimentos para a faixa do visível e cinco para a faixa do infravermelho.

**Tabela 3.12 - Comprimentos de onda para a esfera integradora.**

Comprimentos de onda na faixa do visível (nm)								Comprimentos de onda na faixa do infravermelho (nm)				
400	470	525	560	585	600	645	700	735	810	880	940	1000

O cálculo da refletância no comprimento de onda para cada amostra é realizado a partir da Equação (3.8):

$$\rho(\lambda)_{amostra} = \left( \frac{V_{amostra}}{V_{referencia}} \right) \times \rho_{referencia} \quad (3.8)$$

Sendo que:

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

$V_{\text{amostra}}$  = voltagem da amostra (mV);

$V_{\text{referência}}$  = voltagem da amostra de referência (mV);

$\rho_{\text{referência}}$  = refletância da amostra de referência, para cada comprimento de onda (%).

Os valores de refletância obtidos para cada amostra foram corrigidos de acordo com a intensidade da radiação solar para cada comprimento de onda, a partir do espectro solar padrão (ASTM, 2003). Para isso, adotou-se o mesmo procedimento utilizado no equacionamento do ALTA II, proposto por Santos et al. (2009), para o ajuste da refletância solar total das amostras ao espectro solar padrão, apresentado no item 3.4.1.1 deste trabalho.

### 3.3.3 Método do Luxímetro

O instrumento a ser usado nestes testes é o Luxímetro da marca Phywe (Figura 3.27) pertencente ao LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificação da UFSC. O Luxímetro Phywe pode ser calibrado por dois métodos possíveis: calibração manual e automática (PACHECO, 2008). No caso da calibração manual, estando de posse de um valor conhecido de iluminância, um fator de conversão pode ser introduzido manualmente de forma que a leitura do luxímetro fique de acordo com o valor conhecido. A calibração de forma automática funciona de forma inversa. Em vez de introduzir um fator de conversão com o objetivo de alcançar um valor conhecido de iluminância, introduz-se o valor de iluminância ao qual a fotocélula está exposta e o luxímetro calcula automaticamente o fator de conversão.



**Figura 3.27 - Luxímetro digital Phyew.**

### **3.3.3.1 Medições em ambiente natural**

Os ensaios foram realizados com todas as amostras expostas a luz solar em um mesmo dia no horário entre 11:45 e 12:15 horas. A condição era de céu claro, sem nuvens ou qualquer bloqueio (Figura 3.28). O procedimento experimental foi realizado no telhado/laje do bloco B da Engenharia Mecânica, no campus da UFSC.



**Figura 3.28 - Cobertura de céu no momento dos ensaios.**



As Figuras 3.29 e 3.30 apresentam imagens do posicionamento do equipamento no momento dos ensaios.



**Figura 3.29 - Posicionamento do Luxímetro.**



**Figura 3.30 - Posicionamento do Luxímetro.**

### **3.3.3.2 Equacionamento para o Luxímetro**

As medições foram realizadas baseadas no método do papel branco, onde deve-se adotar como referência valores encontrados para papel branco, atribuindo-se a ele uma refletância de 90%. Segundo Lamberts et al. (1997) e também Córca et al. (2005) o método do papel branco consiste na execução de duas medições com um luxímetro onde o equipamento é posicionando com a fotocélula a uma distância de 5 cm da superfície a ser medida.

Usa-se como procedimento, inicialmente, a medição do nível de iluminância refletida pelo papel, e logo em seguida, medir o nível de iluminância refletida pela amostra. O procedimento foi repetido três vezes para obter-se uma média dos valores iluminância.

Assumindo-se uma refletância de 90% para o papel branco, a refletância da superfície pode ser obtida por uma relação simples (Equação 3.9), onde é comparado o nível de iluminância refletida pela superfície da amostra, com o nível de iluminância refletida pelo papel branco:

$$\rho = \frac{E_c \cdot 90}{E_p} \quad (3.9)$$

$\rho$  = refletância da amostra (%);

$E_c$  = Nível de iluminância refletida pela amostra (lux);

$E_p$  = Nível de iluminância refletida pelo papel branco (lux);

90 = Corresponde ao valor adotado para a refletância do papel branco (em %).

Efetuada o cálculo para todas as observações, obtém-se uma média aritmética dos valores da refletância. Então através da Equação (3.10) é encontrado o valor de absortância da amostra.

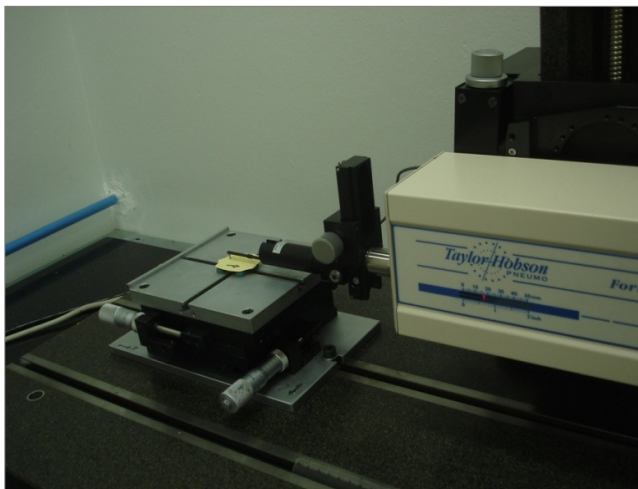
$$\alpha = 100 - \rho \quad (3.10)$$

$\alpha$  = absortância da amostra (%);

$\rho$  = refletância da amostra (%).

### 3.4 Verificação da rugosidade

As análises sobre a rugosidade foram realizadas na Fundação CERTI – Centros de Referência em Tecnologia Inovadora, no campus universitário da UFSC. O equipamento utilizado para os ensaios foi o rugosímetro Taylor Hobson (Figura 3.31).



**Figura 3.31 - Rugosímetro Taylor Hobson.**

Para essas análises foi necessário elaborar moldes das amostras, pois o equipamento não admite realização das medições diretamente nas lixas, já que os grãos de areia podem danificar o sensor do equipamento.

Os moldes foram confeccionados com material ortodôntico (Figura 3.32), onde inicialmente foi confeccionada uma negativa de cada amostra a ser analisada (Figura 3.33).

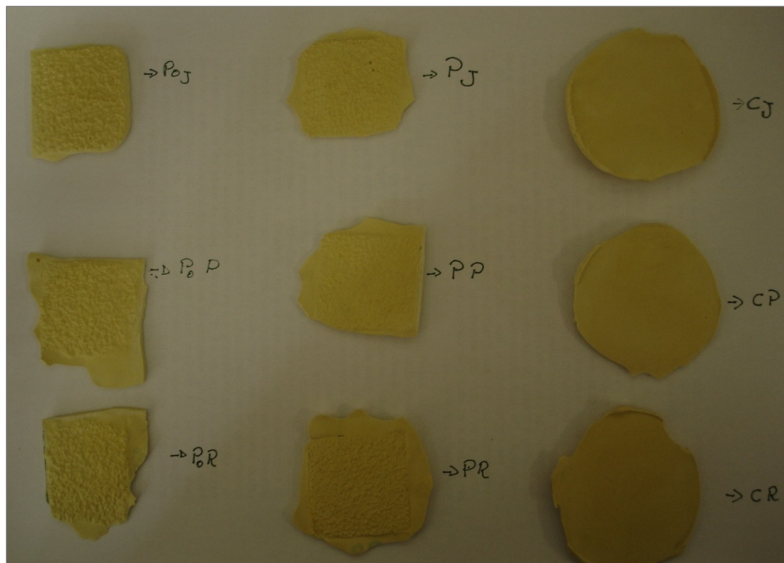


**Figura 3.32 - Confeção das negativas das amostras.**



**Figura 3.33 - Negativas das amostras.**

Com essas negativas e gesso ortodôntico foi possível fazer os moldes a serem utilizados nos ensaios (Figura 3.34).



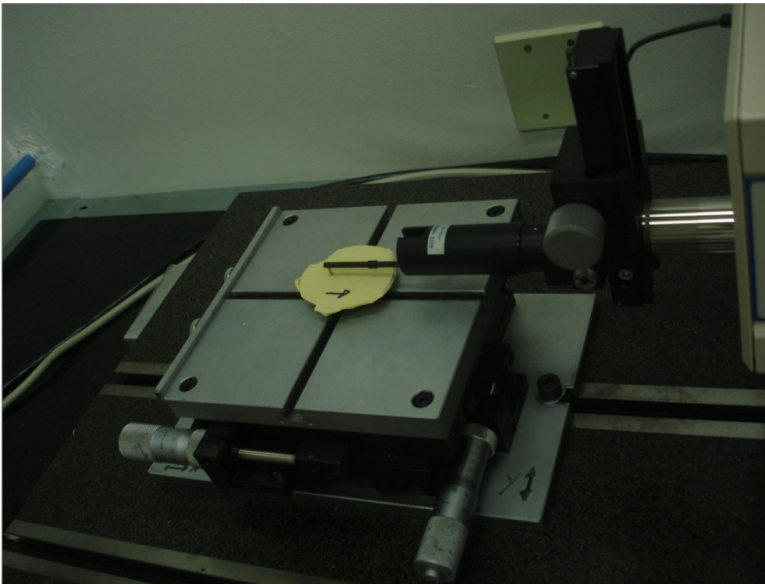
**Figura 3.34 - Moldes das amostras confeccionados com gesso ortodôntico.**

Foi confeccionado um molde para cada material (cerâmica, lixas P24 e P36), estudado com cada aplicação de tinta (pistola de ar comprimido, rolo e pincel), totalizando 9 moldes de gesso, especificados na Tabela 3.11 .

O rugosímetro determina o perfil da textura da amostra no comprimento de amostragem (cut-off) e diversos parâmetros de rugosidade (Figura 3.35). Para este estudo foram obtidos os parâmetros de Ra e Rz. O parâmetro Ra é a rugosidade média do perfil da amostra e o Rz corresponde à média das distâncias entre o ponto máximo e mínimo do perfil em cada módulo de medição (ZANETTINI, 2004), sendo que o comprimento da amostra é dividido em cinco módulos de medição. As incertezas metrológicas, para Ra e Rz, são respectivamente iguais a  $0,005+R/57$  e  $0,034+R/68$ , onde R é o resultado da medição do parâmetro em questão em  $\mu\text{m}$ .

**Tabela 3.13 - Especificação dos moldes de gesso.**

<b>MOLDES</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES</b>
<b>P0J</b>	Amostra de lixa P24 pintada com spray.
<b>P0P</b>	Amostra de lixa P24 pintada com pincel.
<b>P0R</b>	Amostra de lixa P24 pintada com rolo.
<b>PJ</b>	Amostra de lixa P36 pintada com spray.
<b>PP</b>	Amostra de lixa P36 pintada com pincel.
<b>PR</b>	Amostra de lixa P36 pintada com rolo.
<b>CJ</b>	Amostra cerâmica pintada com spray.
<b>CP</b>	Amostra cerâmica pintada com pincel.
<b>CR</b>	Amostra cerâmica pintada com rolo.

**Figura 3.35 - molde da amostra sendo analisado pelo rugosímetro.**

## 4 RESULTADOS.

Neste capítulo são apresentados os resultados encontrados para as medições realizadas através dos três métodos propostos para determinar a absorvância solar de superfícies opacas, as análises da rugosidade superficial e sua influência sobre a absorvância solar de superfícies opacas.

### 4.1 Valores de referência.

As absorvâncias médias de referência, obtidas com espectrofotômetro CARY 5G e ensaiadas por Kelen de Almeida Dornelles, foram integrados no intervalo de 300 a 2500nm e depois ajustados ao espectro solar padrão. São apresentados na Tabela (4.1), os valores médios nas diferentes regiões do espectro solar, os valores médios totais para 300 à 2500nm e para 470 à 940nm (faixa coberta pelo equipamento Alta II).

**Tabela 4.1 - Valores das absorvâncias das amostras de referência (amostras cerâmicas).**

Amostras	Abs UV	Abs VIS	Abs IV	Abs Total (300 à 2500nm)	Abs Total (470 à 940nm)
Branca Emborrachada	0,94	0,16	0,25	0,22	0,14
Branca AF*	0,93	0,08	0,12	0,11	0,05
Preta AF*	0,96	0,97	0,98	0,97	0,97
Vermelha AF*	0,95	0,76	0,55	0,67	0,40
Verde AF	0,95	0,87	0,85	0,86	0,81
Azul AF*	0,96	0,85	0,39	0,64	0,62
Azul PVA**	0,95	0,86	0,52	0,71	0,71
Azul ASB***	0,96	0,86	0,52	0,71	0,75

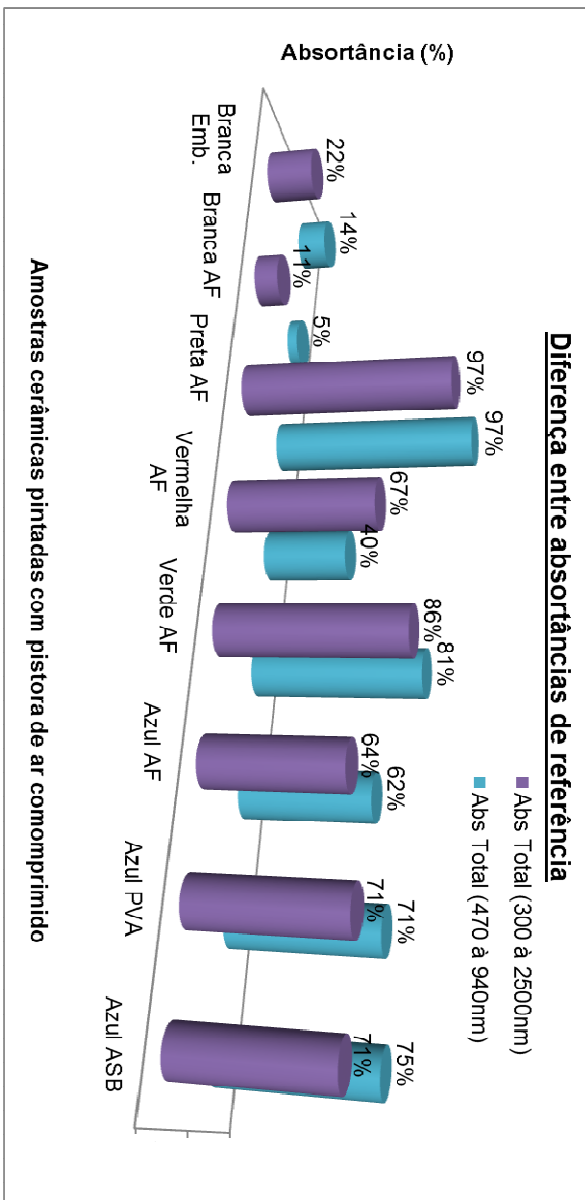
\* Acrílica Fosca

\*\* Acrílica PVA

\*\*\* Acrílica Semi-brilho

A Figura (4.1) apresenta um comparativo entre as absorptâncias médias totais de referência, para as faixas de 300 à 2500nm e para faixa de 470 à 940nm (faixa abrangida pelo Alta II).

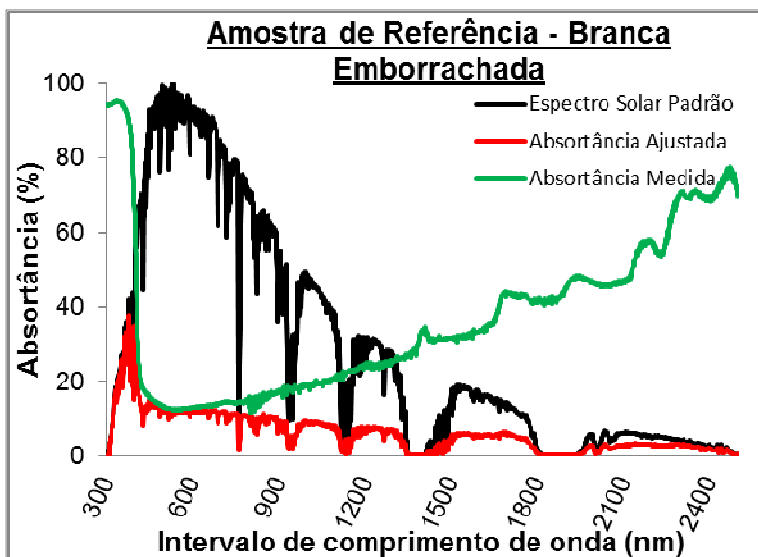




**Figura 4.1 - Absortâncias totais para as faixas de 300 à 2500nm e 470 à 940nm.**

Observa-se que a maioria das amostras teve uma redução de suas absorvâncias com a diminuição da faixa medida. Esta redução deve-se, principalmente, à baixa quantidade de radiação violeta presente no intervalo do espectro analisado (470 à 940nm). As amostras de tonalidade branca foram as que mais apresentarem uma diminuição da absorvância. Esse comportamento é resultado da menor absorvância dessas cores na região do visível do espectro solar e como consequência, a proporção de energi absorvida por essas tintas será menor.

As Figuras (4.2 à 4.9) apresentam o Espectro Solar Padrão (ASTM, 2003), a absorvância medida pela Dra Kelen A. Dornelles e a absorvância ajustada ao espectro solar padrão.



**Figura 4.2 - Curva espectral de absorvância da amostra Branca emborrachada ajustada ao Espectro Solar.**

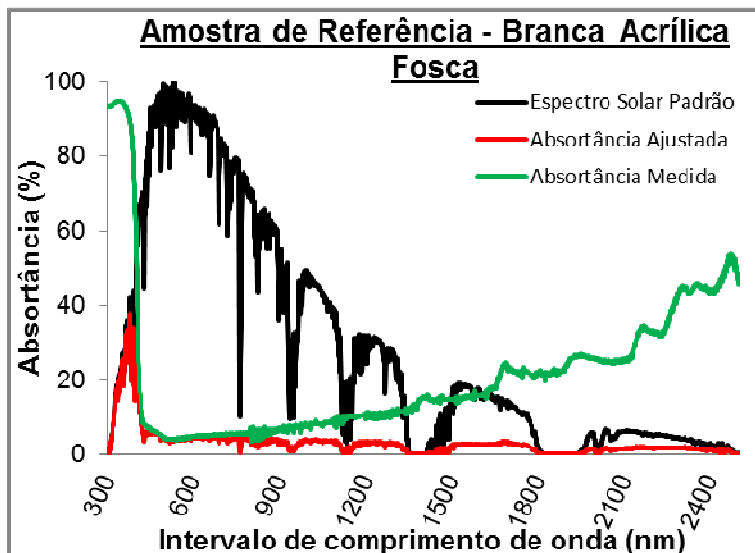


Figura 4.3 - Curva espectral de absorvância da amostra Branca AF ajustada ao Espectro Solar.

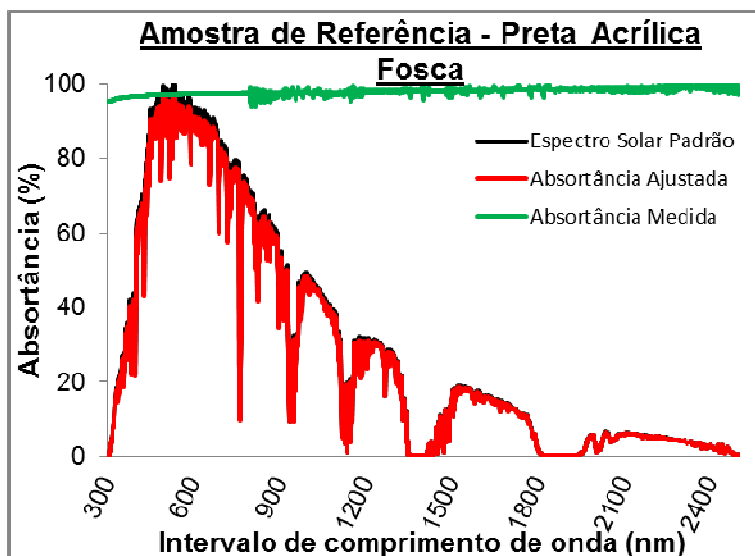


Figura 4.4 - Curva espectral de absorvância da amostra Preta AF ajustada ao Espectro Solar.

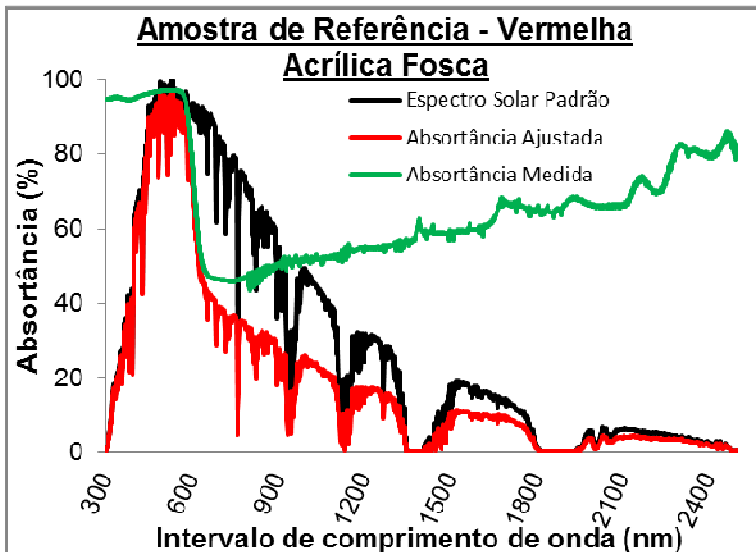


Figura 4.5 - Curva espectral de absorvância da amostra Vermelha AF ajustada ao Espectro Solar.

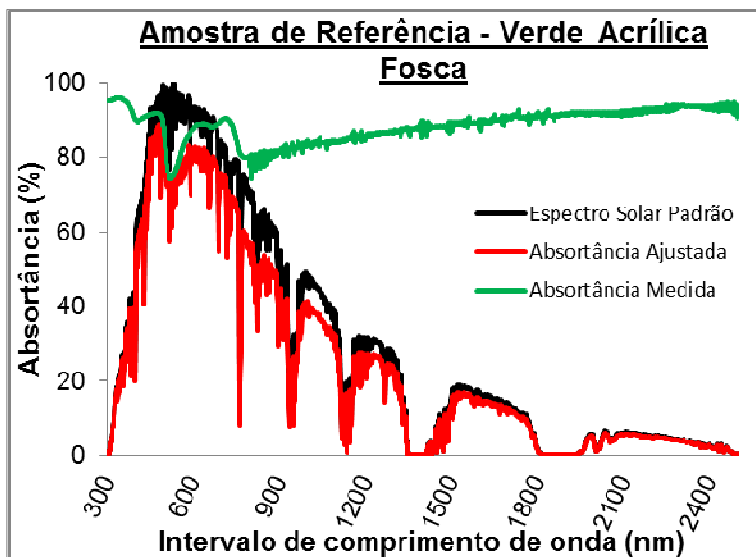


Figura 4.6 e - Curva espectral de absorvância da amostra Verde AF ajustada ao Espectro Solar.

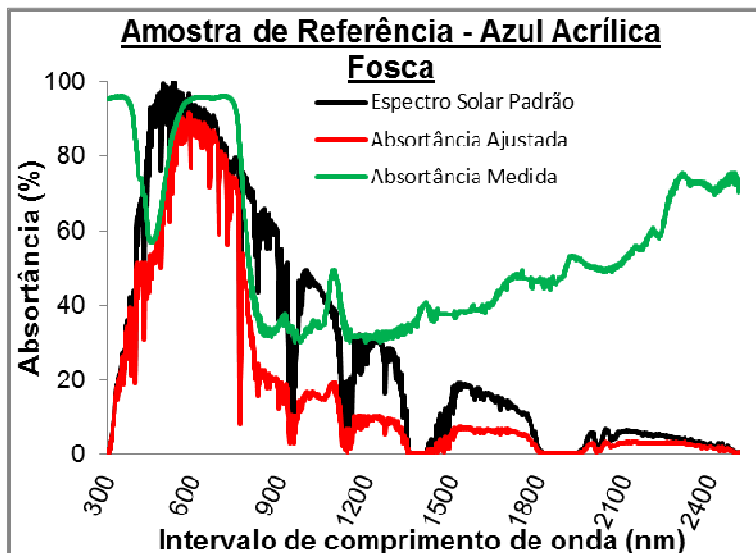


Figura 4.7 - Curva espectral de absorvância da amostra Azul AF ajustada ao Espectro Solar.

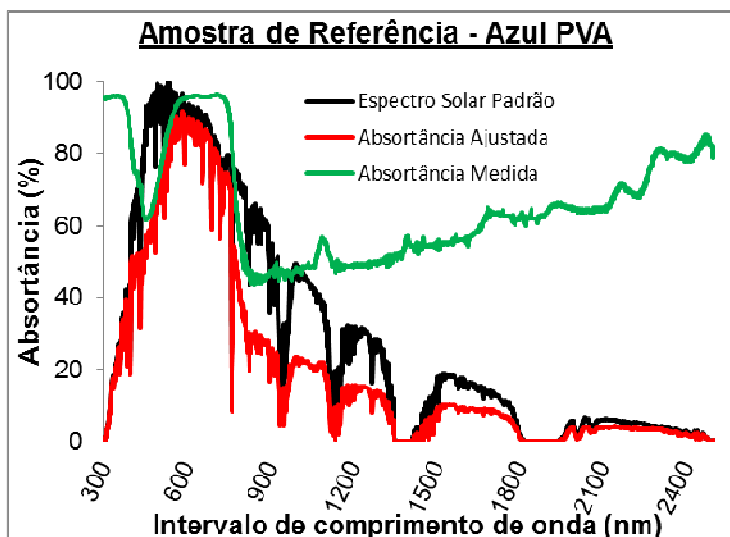
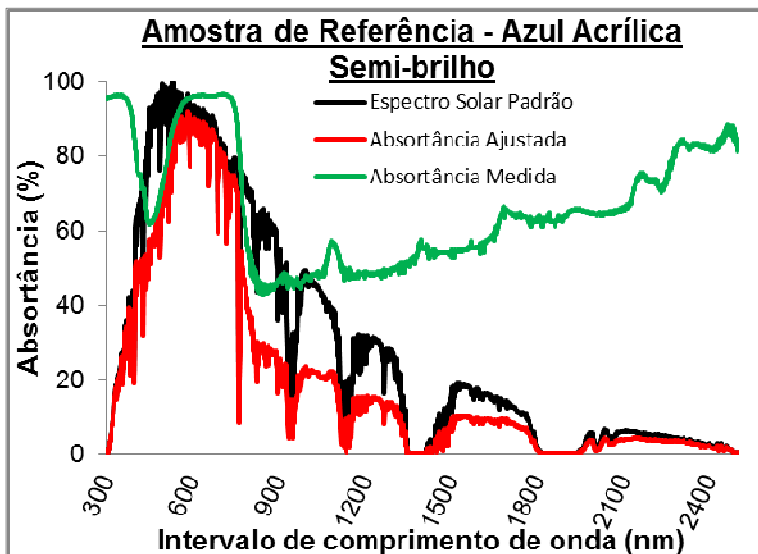


Figura 4.8 - Curva espectral de absorvância da amostra Azul PVA ajustada ao Espectro Solar.



**Figura 4.9 - Curva espectral de absorvância da amostra Azul ASB ajustada ao Espectro Solar.**

A maior variação observada, para as absorvâncias entre as diferentes faixas do espectro solar, é para a amostra branca acrílica fosca. Na faixa do ultravioleta a amostra absorve, em torno de 90% da energia presente nesta faixa. Na faixa do espectro visível, absorvância fica na faixa dos 10%, e já no infravermelho próximo, absorve pequena quantidade de energia como mostra o Figura (4.3), que apresenta as curvas espectrais ajustadas ao espectro solar padrão, conforme dados da ASTM (2003).

A cor preta (Figura 4.4), como esperado, foi a única que apresentou absorvância acima de 90% em todo o espectro solar.

#### **4.2 Comparação das absorvâncias obtidas pelos métodos experimentais e os valores de referência.**

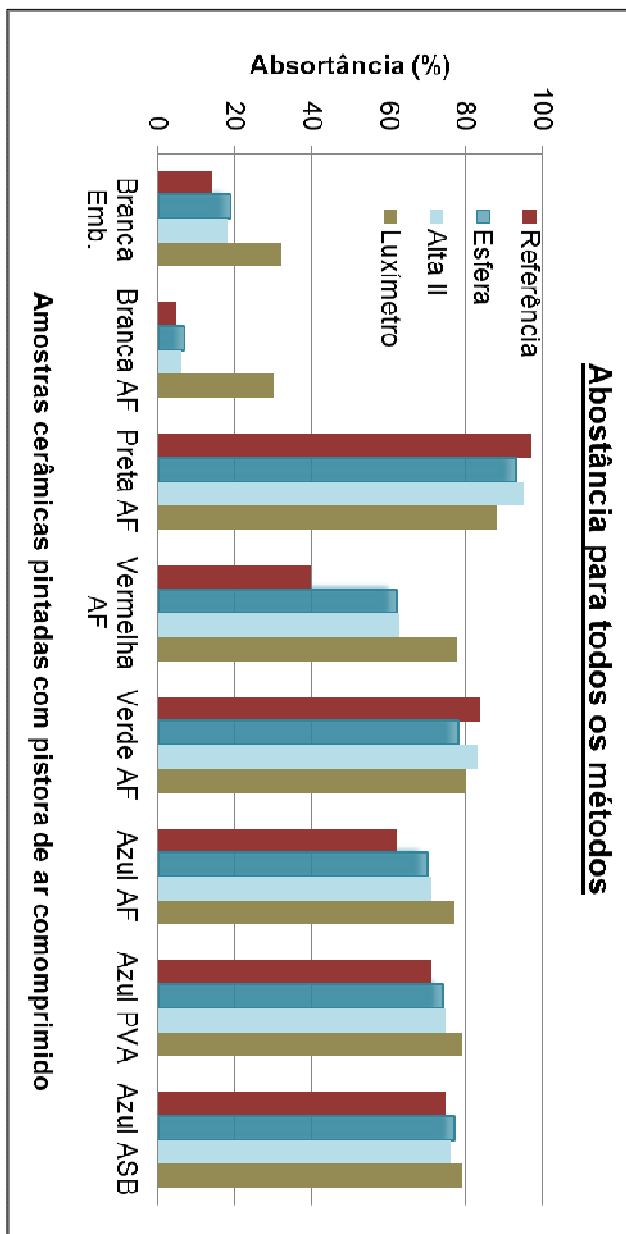
Esta comparação é realizada para as oito amostras de pastilhas cerâmicas pintadas com pistola de ar comprimido. São apresentadas como referência as respectivas absorvâncias corrigidas ao espectro solar padrão para o espectro total (300 a 2500nm), obtidas a partir das medições em espectrofotômetro CARY 5G. As absorvâncias solar obtidas pelo espectrômetro ALTA II, corrigidas ao espectro solar

padrão, são obtidas para a faixa de 470 à 940 nm. Já as absorptâncias medidas pela Esfera integradora, corrigidas ao espectro solar padrão, são obtidas na faixa de 400 à 1000nm. A faixa de medição do Luxímetro é a faixa do visível (400 à 700 nm). Todas absorptâncias obtidas para referência, para os métodos do Alta II e esfera integradora, são apresentadas na Tabela (4.2), com a mesma faixa de medição (470 à 940 nm). A absorptância do Luxímetro permanece na faixa do visível (400 à 700nm). Os mesmos valores são representados graficamente na Figura (4.10).

**Tabela 4.2 - Absortâncias de referência e obtidas pelos métodos propostos.**

<b>ABSORTÂNCIAS PARA TODOS OS MÉTODOS (%)</b>					
<b>Amostras</b>	<b>Referência (470 – 940nm)</b>	<b>Esfera Integradora (470 – 940nm)</b>	<b>Alta II (470 – 940nm)</b>	<b>Referência (400 – 7000nm)</b>	<b>Luxímetro (400 – 7000nm)</b>
Branca Emborrachada	14	19	18	15	32
Branca AF	5	7	6	6	30
Preta AF	97	93	95	97	88
Vermelha AF	40	62	63	86	78
Verde AF	84	78	83	82	80
Azul AF	62	70	71	84	77
Azul PVA	71	74	75	85	79
Azul ASB	75	77	76	85	79





**Figura 4.10 - Absortância de referência e obtidas pela esfera, alta II e Luxímetro.**

O melhor resultado obtido para todos os métodos foi para a tinta Azul ASB, onde os valores se equiparam. Em contraponto a tinta Vermelha AF apresenta os valores de absorvância com maiores diferenças entre todos os equipamentos.

Observa-se que a maioria das amostras teve uma redução de suas absorvâncias com a diminuição da faixa medida. Esta redução deve-se, principalmente, à baixa quantidade de radiação violeta presente no intervalo do espectro analisado (470 à 940nm). As amostras de tonalidade branca foram as que mais apresentarem uma diminuição da absorvância. Esse comportamento é resultado da menor absorvância dessas cores na região do visível do espectro solar e como consequência, a proporção de energia absorvida por essas tintas será menor.

As amostras na tonalidade branca são as que apresentam absorvância maior para o equipamento luxímetro. Com esse equipamento não é possível escolher a faixa no espectro solar que se quer medir, mede-se aproximadamente a partir dos 400 à 700nm, sendo que, os outros equipamentos permitem escolher que a medição seja realizada a partir dos 470 à 940 nm. Resultando que o Luxímetro abrange uma parte mais próxima da região do ultravioleta o resultado onde é de maior absorção de energia dessas cores nessa região, descartando a baixa absorção de energia que teria a partir dos 700nm.

#### **4.2.1 Incerteza dos métodos frente aos valores de referência**

A incerteza de cada método em comparação com as referências pode ser observada na Tabela 4.3, onde são apresentadas as diferenças absolutas e percentuais entre as absorvâncias, medidas por cada método, e os valores de referências.

Tabela 4.3 - Diferenças entre os métodos e as referências.

Diferença absoluta e percentual nos absorvâncias entre os métodos e as referências						
Amostras	Esfera Integradora (470 – 940nm)		Alta II (470 – 940nm)		Luxímetro (470 – 700nm)	
	Absoluto	Percentual	Absoluto	Percentual	Absoluto	Percentual
Branca Emborrachada	0,05	36%	- 0,04	29%	0,17	121%
Branca AF	0,02	40%	- 0,01	20%	0,24	480%
Preta AF	- 0,04	4%	0,02	2%	- 0,09	9%
Vermelha AF	0,22	55%	- 0,23	58%	-0,8	20%
Verde AF	- 0,06	7%	0,01	1%	- 0,02	2%
Azul AF	0,08	13%	- 0,09	15%	-0,07	11%
Azul PVA	0,03	4%	- 0,04	6%	-0,06	8%
Azul ASB	0,02	3%	- 0,01	1%	-0,06	8%
<b>Média dos erros</b>	<b>0,06</b>	<b>20%</b>	<b>0,06</b>	<b>16%</b>	<b>0,10</b>	<b>83%</b>

\*Resultados encontrados superiores às médias de erro absoluto e percentual, são apresentados em escrita vermelha.

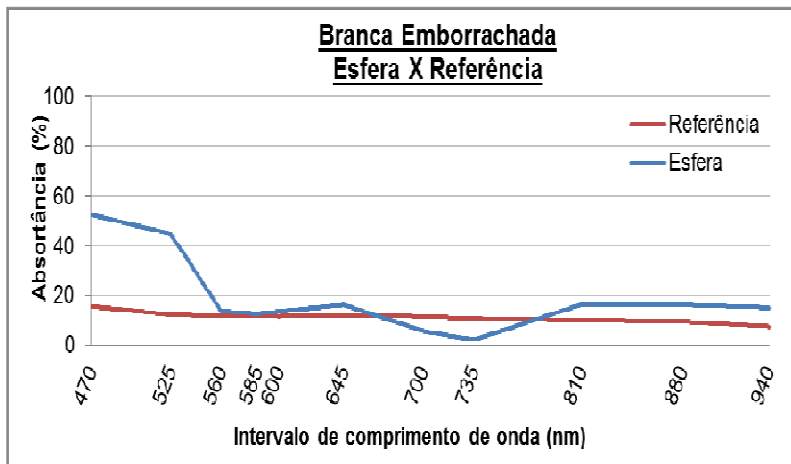
Através da média dos erros percentuais, na análise comparativa do comportamento das amostras frente a radiação solar, entre os métodos, observa-se que o Alta II apresenta melhores resultados no conjunto final das medições.

As maiores inconsistências encontradas para todos os métodos, são às amostras Brancas e a Vermelha, que apresentam maiores diferenças percentuais. Essa diferença percentual é justificada, pelo motivo que quanto menores são as absortâncias das amostras, mais significativas são as diferenças entre as absortâncias.

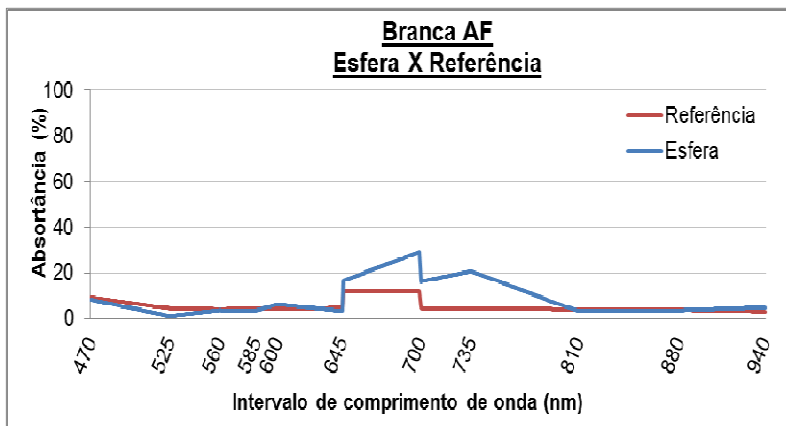
As amostras nas cores Preta AF e Verde AF apresentam diferenças absoluta e relativa abaixo das médias dos erros, para os três métodos de medição. As suas absortâncias são as mais altas para os três métodos e para a referência também.

#### 4.2.1.1 Referência x Esfera Integradora - Análise das curvas espectrais

Nas figuras (4.11 à 4.18) são apresentadas as curvas espectrais das absortâncias obtidas pelo método da esfera integradora (470 à 940 nm) comparadas com as curvas espectrais das absortâncias de referência (470 à 940 nm).

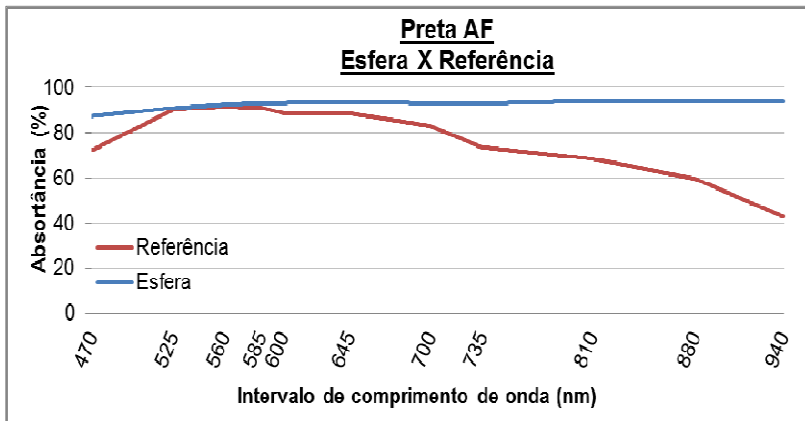


**Figura 4.11 - Curvas espectrais de absortância da amostra Branca Emborrachada.**

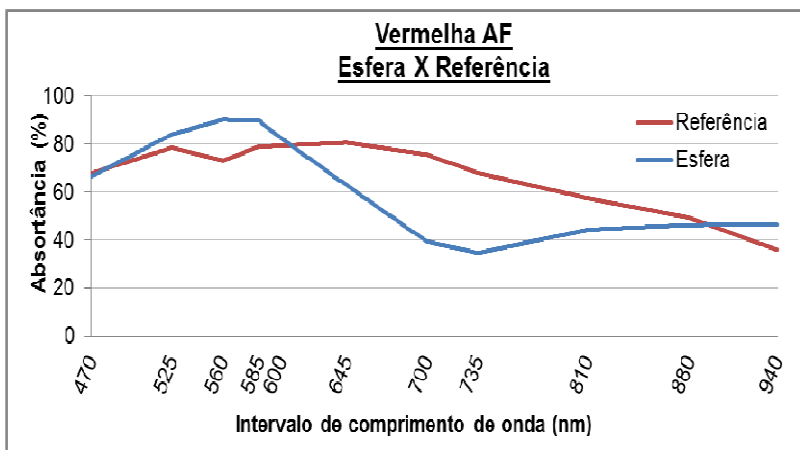


**Figura 4.12 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Branca AF.**

No Figura 4.12, em praticamente todo o espectro coberto é possível observar a baixa absorção de energia da amostra de tinta Branca AF analisada com a Esfera, sendo que a referência apresenta aumento de absorvância a partir do comprimento de onda de 735nm. Apesar da análise realizada com a referência apresentar uma elevação na sua absorvância na faixa do infravermelho, para as duas amostras, essa elevação não gerou uma diferença elevada no valor da absorvância total obtida com a esfera e com a referência (apenas 0,05, conforme Tabela 4.3).

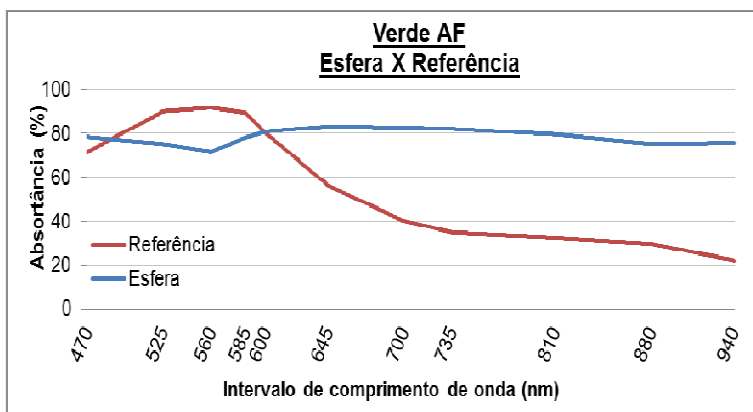


**Figura 4.13 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Preta AF.**

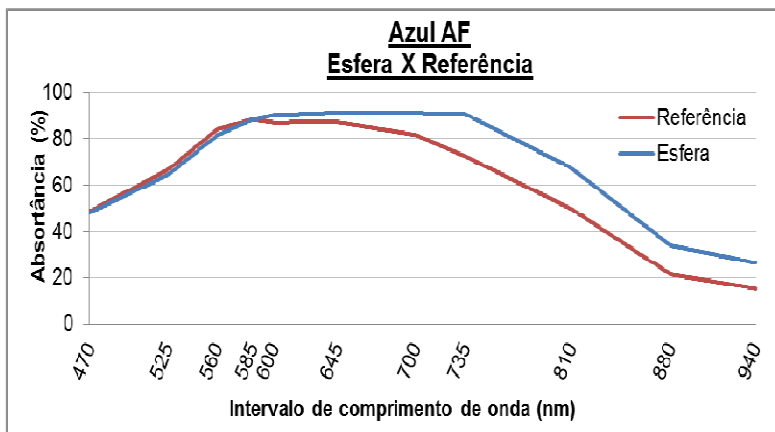


**Figura 4.14 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Vermelha AF.**

O mesmo pode se afirmar com relação à análise realizada com a tinta Vermelha AF (Figura 4.14). As curvas espectrais de referência e obtidas através da Esfera mostram o mesmo comportamento, sendo que a de referência apresenta valores superiores ao longo de toda a curva, aproximando-se apenas no intervalo de comprimento de onda de 600-645nm, mas novamente não gerando uma diferença significativa na absorvância total.

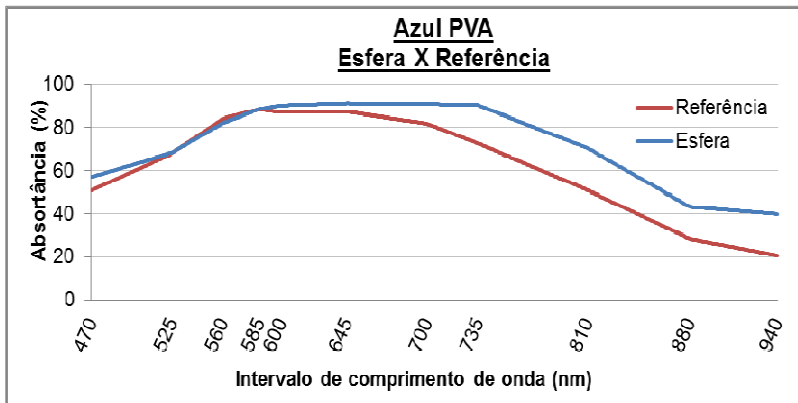


**Figura 4.15 - Curvas espectrais de absorptância da amostra Verde AF.**

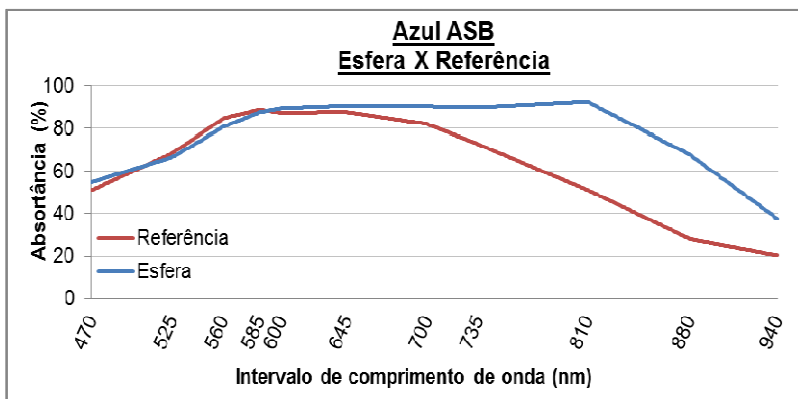


**Figura 4.16 - Curvas espectrais de absorptância da amostra Azul AF.**

As tintas Preta AF, Azul AF e Azul ASB apresentam as menores diferenças comparada com a referência nos valores medidos ao longo do espectro, Figuras (4.13, 4.15 e 4.16), enquanto as tintas Branca Emborrachada, Figura (4.11) Branca AF, Figura (4.12), e a tinta Vermelha AF, Figura (4.14), apresentam as maiores diferenças.



**Figura 4.17 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Azul PVA.**



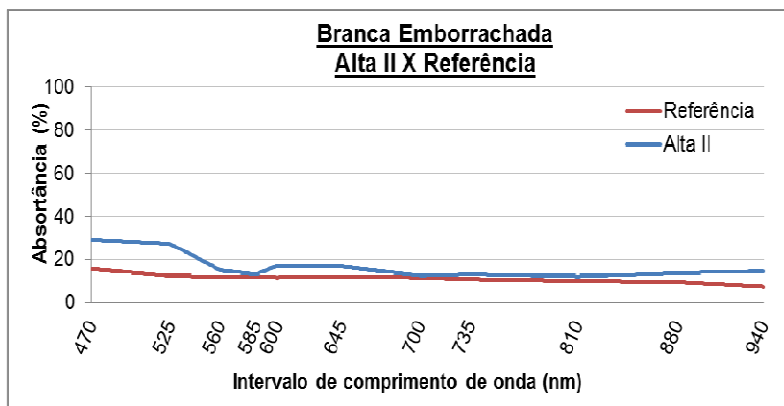
**Figura 4.18 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Azul ASB.**

Como mostra o Figura 4.17, na região do visível as curvas espectrais da tinta Azul AF possuem o mesmo comportamento e valores próximos aos da amostra de referência, apenas diferenciando de modo mais significativo próximo da região do infravermelho. Enquanto que no Figura 4.18, a amostra de tinta Azul ASB, tem a sua curva espectral com um elevado pico de valor medido com a Esfera de integração, no intervalo de comprimento de onda de 735 nm.

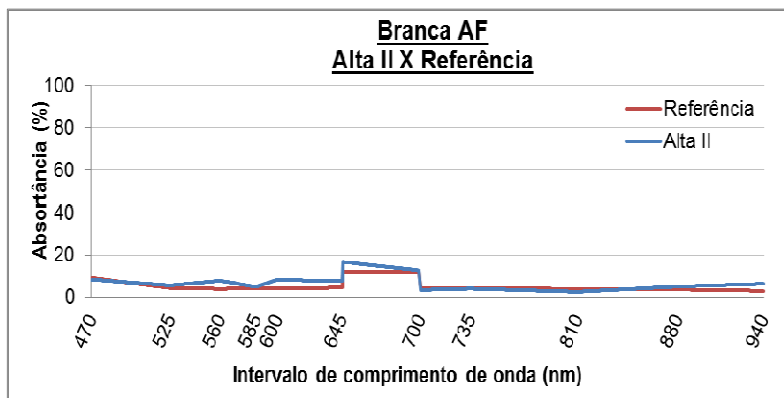


### 4.2.1.2 Espectrômetro ALTA II x Referência - Análise das curvas espectrais

O equipamento ALTA II é portátil e de fácil manuseio, muito prático para a realização de medições. Por isso o estudo sobre seu funcionamento é de grande importância para que seja entendido o nível de confiabilidade de seus resultados. Nas Figuras (4.19 à 4.26) são apresentados os gráficos comparativos entre absorvâncias obtidas através do espectrofotômetro e as obtidas através do espectrômetro ALTA II.

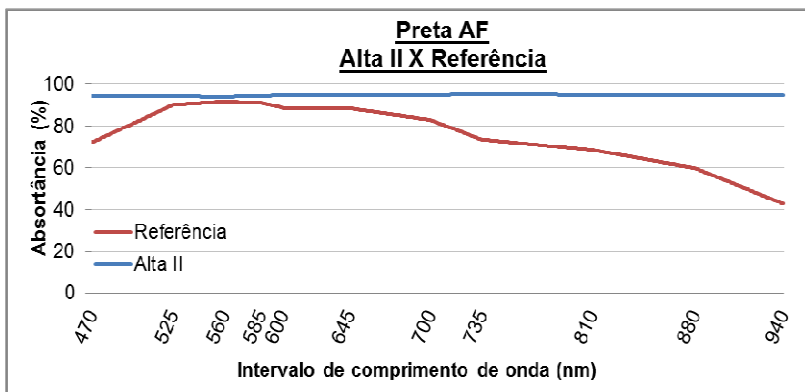


**Figura 4.19 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Branco Emborrachada.**

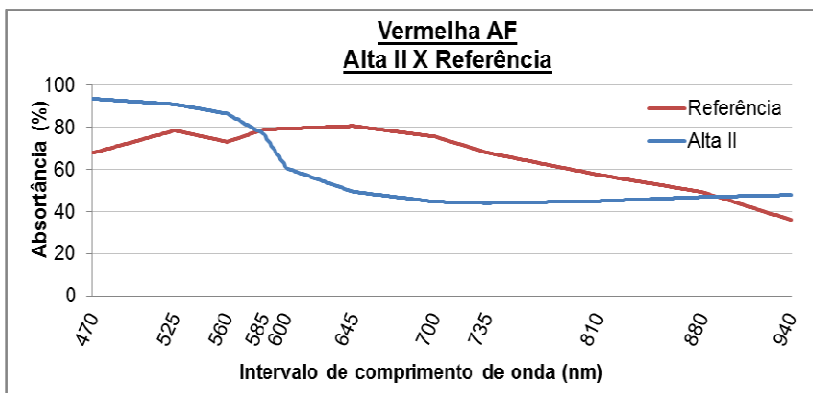


**Figura 4.20 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Branca AF.**

As diferenças nos valores absorptivos, comparados aos valores das amostras de referência, no geral, foram pequenas (máximo 0,9 absoluto, Tabela 4.3), exceto para a amostra de tinta Vermelha AF (diferença de 0,23), que como na comparação com a Esfera, apresentou a maior diferença de absorptância solar total.



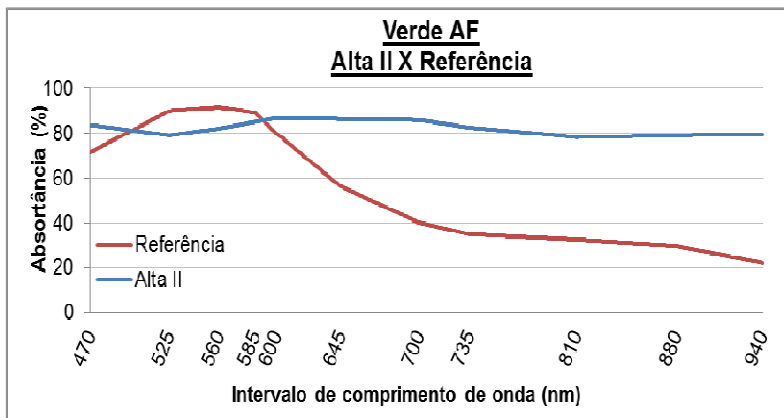
**Figura 4.21 - Curvas espectrais de absorptância da amostra Preta AF.**



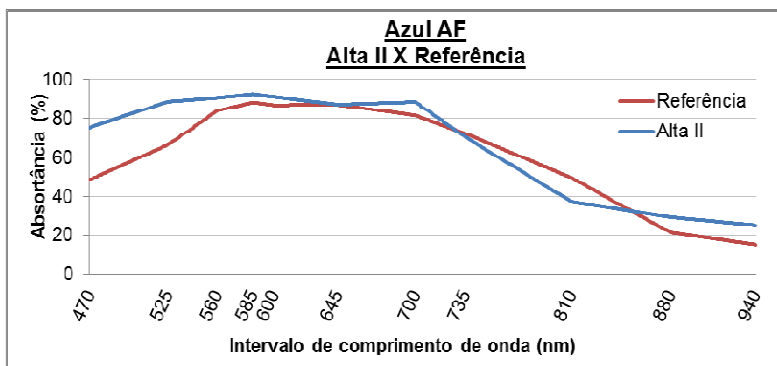
**Figura 4.22 - Curvas espectrais de absorptância da amostra Vermelha AF.**

A tinta Verde AF, apresentou menor diferença no valor de absorptância solar, entre a referência e o ALTA II (diferença de 0,01

absoluto – Tabela 4.3 ). Assim, observa-se que as curvas espectrais, Figura (4.21), possuem o mesmo comportamento e valores muito próximos ao longo de toda a trajetória.



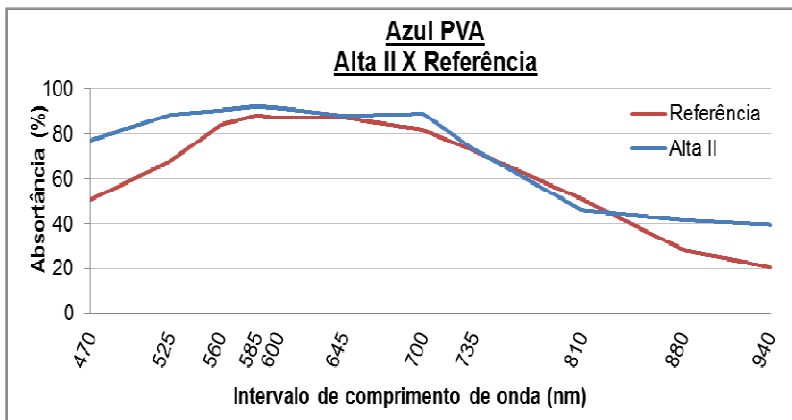
**Figura 4.23 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Verde AF.**



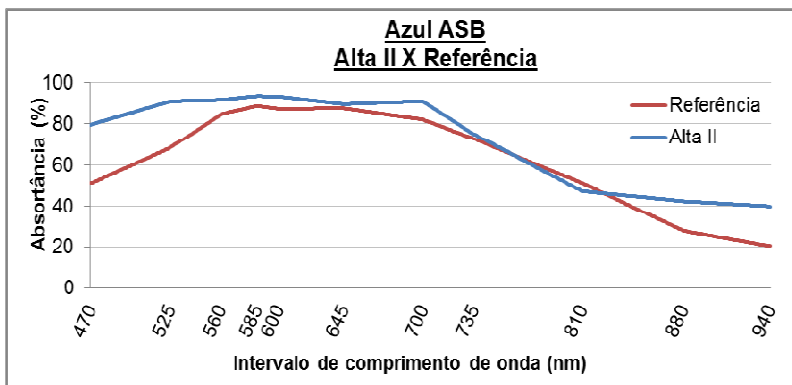
**Figura 4.24 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Azul AF.**

A Figura 4.24 apresenta a comparação entre os valores das absorvâncias espectrais de referência e do ALTA II, para a faixa de 470 à 940 nm, na amostra Azul AF. As curvas espectrais possuem valores de absorvância bem próximos, com as curva sempre se cruzando, sendo a diferença entre elas na região do ultravioleta, diminuindo na região do visível. Assim como nos ensaios realizados com auxílio da Esfera, essa tinta apresenta uma característica de maior absorção de energia solar na

faixa do visível, onde esta concentrada a maior quantidade de energia do espectro solar padrão.



**Figura 4.25 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Azul PVA.**



**Figura 4.26 - Curvas espectrais de absorvância da amostra Azul ASB.**

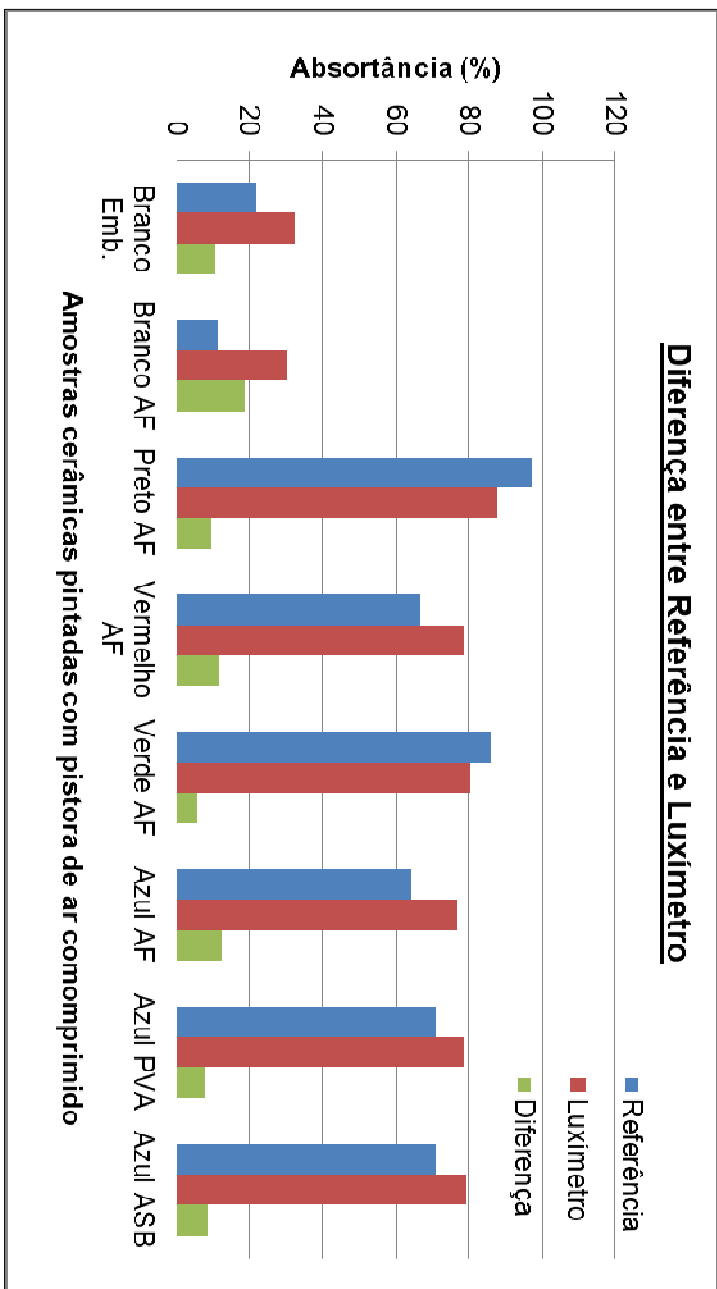
As demais amostras apresentaram valores de diferença não maiores que 0,04 (absoluto). Tanto o equipamento ALTA II, quanto a Esfera de integração, apresenta diferença média de 0,06 da absorvância das amostras comparadas com as suas respectivas referências, considerando todas as cores testadas. Se a variação da cor Vermelha AF for considerada um valor espúrio e retirado das análises, valor médio

das diferenças cai para 0,04 para a Esfera e 0,03 para o Alta II. Pode-se dizer então que os dois métodos, atingem boa aproximação com as absorvâncias obtidas nas amostras de referência.

#### **4.2.1.3 Luxímetro Digital x Referência - Análise dos valores totais**

Com os dados obtidos pelo Luxímetro e após a aplicação do equacionamento, é encontrado um valor de absorvância solar para todas as amostras analisadas.

A Figura 4.27 apresenta os valores encontrados, pelo Luxímetro, para as cerâmicas pintadas com pistola de ar, juntamente com os valores de referência e a diferença entre esses valores, todos as absorvâncias foram obtida para a faixa do espectro de 400 à 700 nm.



**Figura 4.27 - Absortância Referência X Luxímetro digital.**

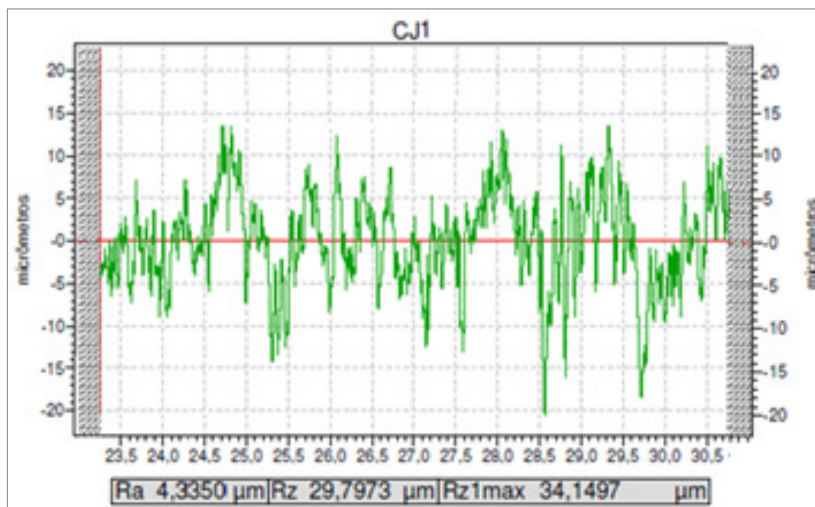
Nas medições realizadas com o Luxímetro digital, o maior erro absoluto nos valores das absorvâncias obtidas, com relação às referências, foi observado nas amostras Branca AF (0,24) e Emborrachada (0,17).

Como as medições com esse equipamento não permite obter as curvas espectrais, não é possível identificar possíveis variações de sensibilidade nas leituras entre os dois equipamentos, para os diferentes comprimentos de onda analisados nas amostras de referência.

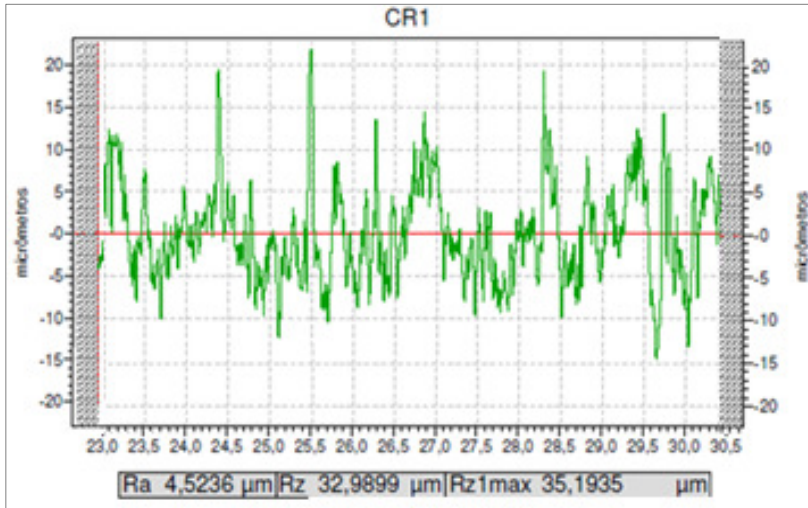
Pela observação dos resultados obtidos com o método do luxímetro digital é possível afirmar que o erro encontrado (diferença em relação a referência) é significativamente maior do que a observada nos outros dois métodos propostos.

### 4.3 Verificação da Rugosidade

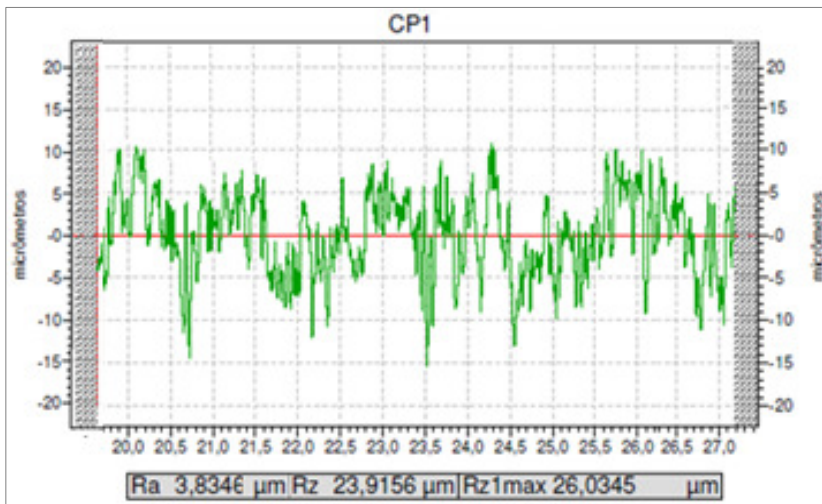
Nas Figuras 4.28 a 4.36 são apresentados os perfis dos moldes das amostras de diferentes rugosidades analisadas nesta etapa da pesquisa. Os perfis foram gerados por programa computacional o qual não permite neste momento da pesquisa modificar as escalas utilizadas pelo programa. Deve-se observar com cuidado cada Figura considerando as escalas de comprimento de alturas dos perfis (todas em micrômetros).



**Figura 4.28 - Perfil de rugosidade das amostras cerâmicas pintadas com pistola de ar comprimido.**



**Figura 4.29 - Perfil de rugosidade das amostras cerâmicas pintadas com rolo de lã sintética.**



**Figura 4.30 - Perfil de rugosidade das amostras cerâmicas pintadas com pincel.**



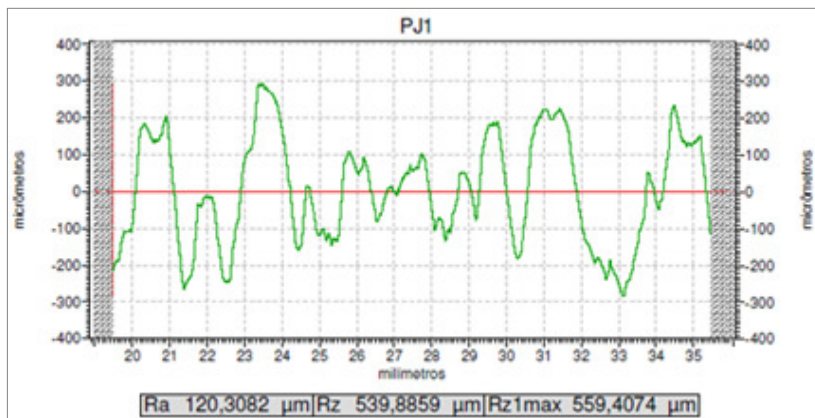


Figura 4.31 - Perfil de rugosidade das amostras de lixa P36 pintadas com pistola de ar comprimido.

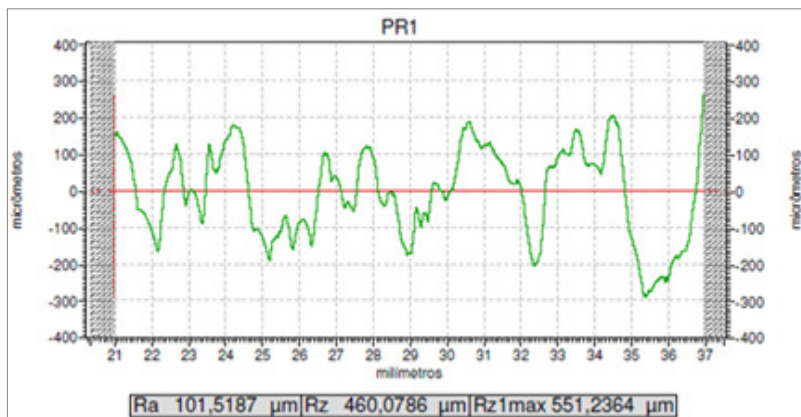


Figura 4.32 - Perfil de rugosidade das amostras de lixa P36 pintadas com rolo de lã sintética.

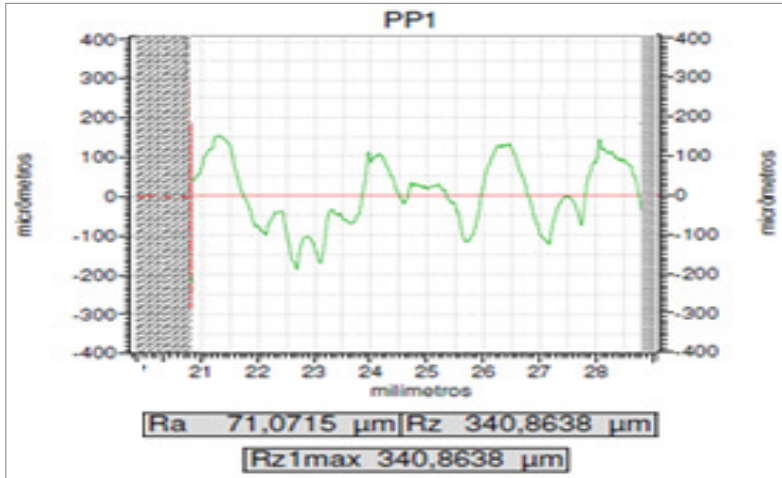


Figura 4.33 - Perfil de rugosidade das amostras de lixa P36 pintadas com pincel.

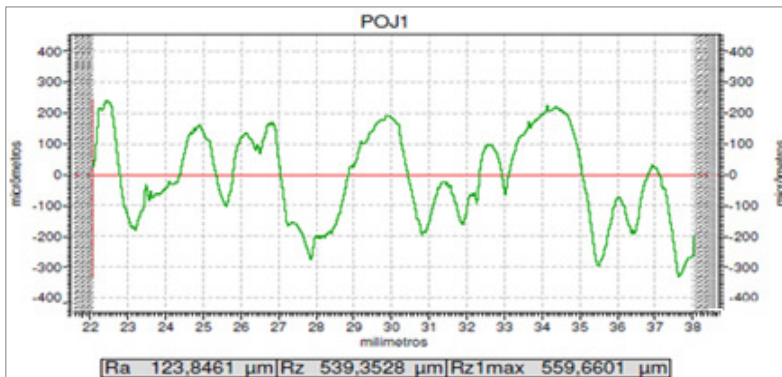
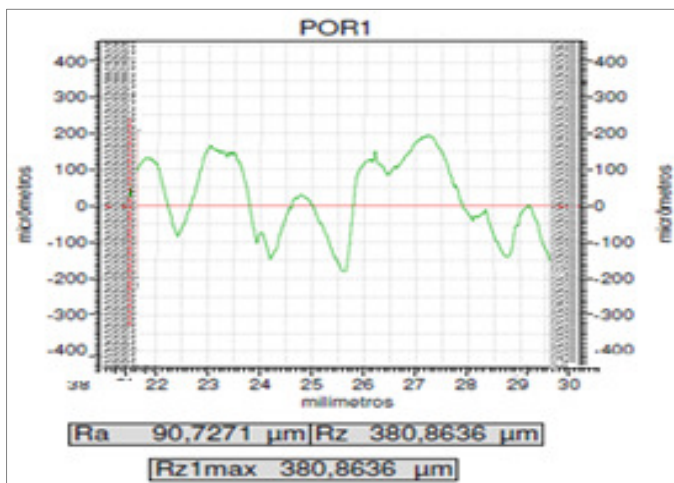
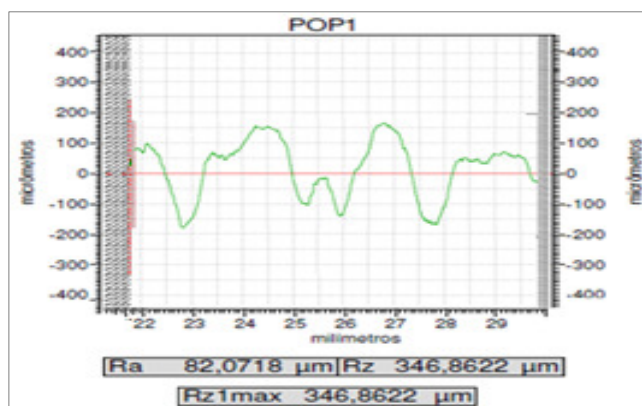


Figura 4.34 - Perfil de rugosidade das amostras de lixa P24 pintadas com pistola de ar comprimido.



**Figura 4.35 - Perfil de rugosidade das amostras de lixa P24 pintadas com rolo de lã sintética.**



**Figura 4.36 - Perfil de rugosidade das amostras de lixa P24 pintadas com pincel.**

O parâmetro estudado Ra, que é a rugosidade média do perfil da amostra, é apresentado na Tabela 4.4, para todos os moldes ensaiados, em três níveis de rugosidade e três métodos de pintura. A média das distâncias entre o ponto máximo e mínimo do perfil em cada módulo de medição (Rz) também é apresentado na tabela, junto ao Rzmax, que é a maior distância entre o ponto máximo e mínimo do perfil.

**Tabela 4.4 - Ra, Rz e Rz max par os moldes ensaiados pelo rugosímetro.**

<b>ESPECIFICAÇÕES</b>	<b>MOLDES</b>	<b>Ra (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Rz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Rz max. (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
Amostra cerâmica pintada com pistola.	<b>CJ</b>	4,3	29,8	34,1
Amostra cerâmica pintada com rolo.	<b>CR</b>	4,5	33,0	35,2
Amostra cerâmica pintada com pincel.	<b>CP</b>	3,8	23,9	26,0
Amostra de lixa P36 pintada com pistola.	<b>PJ</b>	120,3	539,9	559,4
Amostra de lixa P36 pintada com rolo.	<b>PR</b>	101,5	460,1	551,2
Amostra de lixa P36 pintada com pincel.	<b>PP</b>	71,1	346,9	346,9
Amostra de lixa P24 pintada com pistola.	<b>POJ</b>	123,8	539,4	559,7
Amostra de lixa P24 pintada com rolo.	<b>POR</b>	90,7	380,9	380,9
Amostra de lixa P24 pintada com pincel.	<b>POP</b>	82,1	340,9	340,9

As amostras cerâmicas apresentaram as menores médias de rugosidade. Dentre elas, a amostra CP (pintada com pincel) que provavelmente recebeu maior quantidade de tinta e essa tinta encobriu as imperfeições da cerâmica que causariam o efeito de rugosidade.

O mesmo ocorreu nas amostras de lixa P36, justificando o fato de a amostra pintada com pistola (PJ) apresentar maior nível de rugosidade, pois com a pistola, é possível colorir superficialmente um objeto usando pouca quantidade de tinta, já que com pincel e rolo, não é possível obter esse controle, pois durante a pintura, a tinta escorre entre os sulcos da superfície da amostra. Muitas vezes essa tinta acaba por preencher parcialmente esses sulcos, fazendo com que a superfície tenha sua rugosidade diminuída. Isso justifica também a amostra POR (com maior rugosidade) ter sua média de rugosidade inferior às amostra PR.

Essa teoria é comprovada observando os valores de Rz dos moldes ensaiados. Apesar de ser mais rugosa a amostras de lixas P24 (pintado com pincel), apresenta valores de Rz e Rzmax inferiores aos apresentados pela amostra de lixa P36.

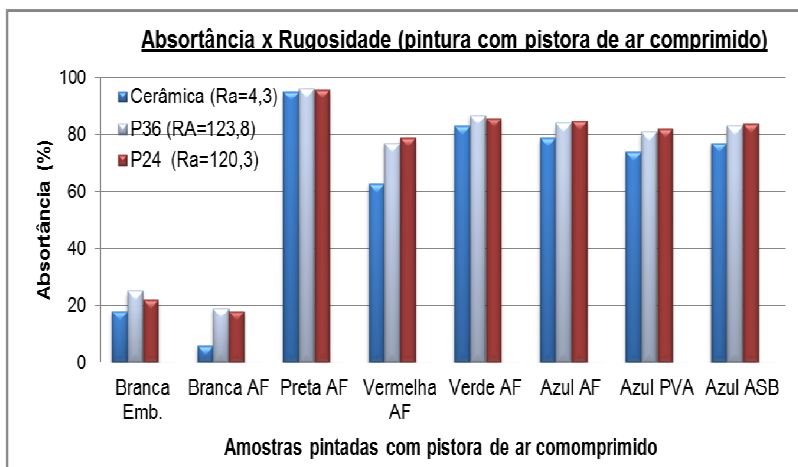
#### **4.4 Rugosidade versus absorvância**

Confrontando os valores médios de rugosidade ( $R_a$ ) com as absorvâncias das amostras obtidas pelo equipamento ALTA II, obtém-se a Tabela 4.5, para os três níveis de rugosidade.

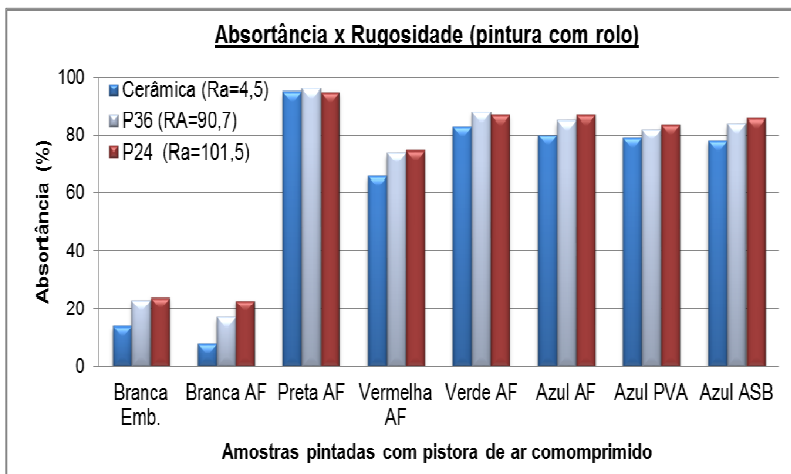
**Tabela 4.5 - Rugosidade média ( $\mu\text{m}$ ) e absorptância (%) pelo Alta II.**

Pintura		Pistola			Rolo			Pincel		
Amostra	Cerâm.	P36	P24	Cerâm.	P36	P24	Cerâm.	P36	P24	
<b>Ra</b>	<b>4,3</b>	<b>123,8</b>	<b>120,3</b>	<b>4,5</b>	<b>90,7</b>	<b>101,5</b>	<b>3,8</b>	<b>82,1</b>	<b>71,1</b>	
Branca Emb.	18	25	22	14	23	24	13	20	18	
Branca AF	6	19	18	8	17	23	6	21	19	
Preta AF	95	96	96	95	96	<b>95</b>	95	96	96	
Vermelha AF	63	<b>77</b>	79	66	74	75	64	<b>71</b>	75	
Verde AF	83	87	86	83	88	<b>87</b>	83	<b>85</b>	86	
Azul AF	79	<b>84</b>	85	80	85	87	79	81	81	
Azul PVA	74	<b>81</b>	82	79	82	84	75	<b>79</b>	80	
Azul ASB	77	<b>83</b>	84	78	84	86	78	<b>82</b>	84	

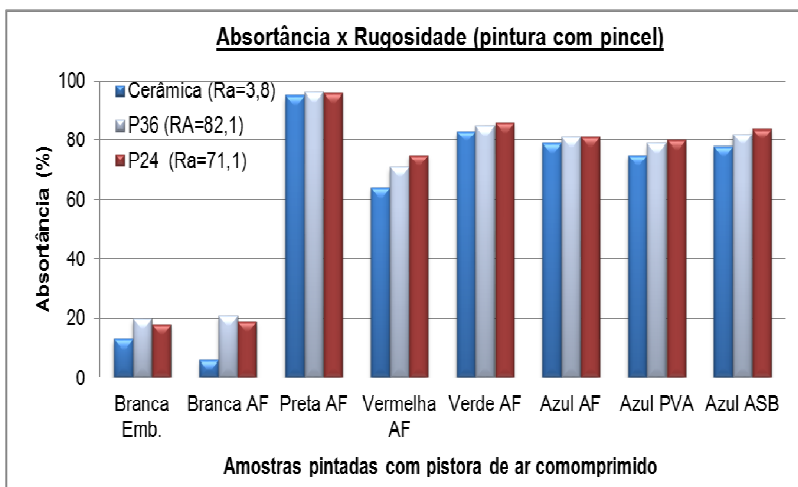
Os valores nos quadros pintados na cor cinza são os valores médios de rugosidade das amostras. As amostras seguem a tendência de que quanto maior rugosidade, maior é a absorção da amostra como é possível observar nas Figuras (4.37 à 4.39). Os valores em escrita **vermelha** são os valores que diferem dessa tendência, mas como são valores muito semelhantes aos valores do próximo nível de rugosidade, pode-se atribuir esta diferença ao fato de que não foram moldadas todas essas amostras para análise com o rugosímetro e como a quantidade de tinta existente na superfície de todas as amostras varia, essa variação interfere substancialmente na absorção da superfície de cada amostra.



**Figura 4.37 - Absortância das amostras pintadas com pistola de ar comprimido.**



**Figura 4.38 - Absortância das amostras pintadas com rolo.**



**Figura 4.39 - Absortância das amostras pintadas com pincel.**

Com o aumento da rugosidade o aumento mais significativo de absortância, foi identificado nas tintas de cores brancas. Esse comportamento é justificado pelo fato de que com essas tintas de menores absortâncias, a quantidade de energia refletida é maior e através das inter-reflexões, apresentam grande quantidade de energia reincidente em sua superfície e por consequência absorvem mais.



#### 4.5 Absortâncias para três processos de pintura

Todas as absortâncias solares obtidas pelos três métodos estudados nesse trabalho, são apresentados a seguir, na Tabela (4.6). Os valores são referentes a oito tipos de tintas, pintadas em amostras, com três níveis de rugosidades, através de três processos de pintura. Ao total são 72 (8 tintas x 3 rugosidades x 3 processos de pinturas) amostras que geram 216 (72 amostras x 3 métodos de medição) absortâncias solares.

**Tabela 4.6 - Absortâncias (%) de todas as amostras para os três métodos analisados.**

	ESFERA INTEGRADORA								
	Cerâmicas			Lixa P36			Lixa P24		
	Pistola	Rolo	Pincel	Pistola	Rolo	Pincel	Pistola	Rolo	Pincel
	<b>Branca Emb.</b>	29	33	31	31	27	27	21	26
<b>Branca AF</b>	10	12	18	10	22	28	12	19	15
<b>Preta AF</b>	94	94	95	96	96	95	95	96	95
<b>Vermelha AF</b>	65	69	67	79	76	75	76	70	75
<b>Verde AF</b>	81	83	84	86	87	87	86	87	84
<b>Azul AF</b>	73	79	78	84	87	83	83	83	80
<b>Azul PVA</b>	76	77	77	81	83	83	81	81	77
<b>Azul ASB</b>	80	79	77	83	85	84	81	82	81
	ESPECTRÔMETRO ALTA II								
	Cerâmicas			Lixa P36			Lixa P24		
	Pistola	Rolo	Pincel	Pistola	Rolo	Pincel	Pistola	Rolo	Pincel
	<b>Branca Emb.</b>	18	14	13	22	24	18	25	23
<b>Branca AF</b>	6	8	6	18	23	19	19	17	21
<b>Preta AF</b>	95	95	95	96	95	96	96	96	96
<b>Vermelha AF</b>	63	66	64	79	75	75	77	74	71
<b>Verde AF</b>	83	83	83	86	87	86	87	88	85
<b>Azul AF</b>	74	80	79	85	87	81	84	85	81
<b>Azul PVA</b>	77	79	75	82	84	80	81	82	79

<b>Azul ASB</b>	79	78	78	84	86	84	83	84	82
	<b>LUXÍMETRO DIGITAL</b>								
	<b>Cerâmicas</b>			<b>Lixa P36</b>			<b>Lixa P24</b>		
	<b>Pistola</b>	<b>Rolo</b>	<b>Pincel</b>	<b>Pistola</b>	<b>Rolo</b>	<b>Pincel</b>	<b>Pistola</b>	<b>Rolo</b>	<b>Pincel</b>
<b>Branca Emb.</b>	32	38	35	48	46	46	41	32	35
<b>Branca AF</b>	30	32	35	45	45	44	36	22	33
<b>Preta AF</b>	88	89	88	88	87	88	92	91	91
<b>Vermelha AF</b>	78	80	80	83	81	82	84	84	82
<b>Verde AF</b>	80	81	81	83	83	83	84	85	84
<b>Azul AF</b>	77	78	78	83	84	81	85	84	82
<b>Azul PVA</b>	79	80	79	82	82	82	84	84	83
<b>Azul ASB</b>	79	80	80	82	82	83	84	83	84

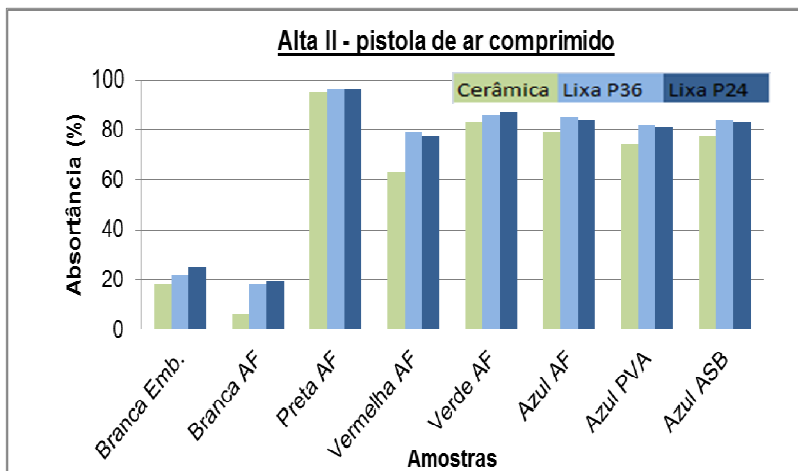
A representação gráfica dos valores e das curvas espectrais das absorptâncias, é apresentada a seguir junto de uma breve discussão sobre cada método de medição.

#### **4.5.1.1 Método do espectrômetro portátil**

A seguir são apresentados e discutidos os resultados obtidos através do espectrômetro portátil Alta II, para todas as amostras pintadas pelos três processos de pintura.

##### **Pistola de ar comprimido**

Em todas as cores e tipos de tintas, as amostras confeccionadas com lixas (P36 e P24), apresentam maiores absorptâncias em comparação as amostras cerâmicas. O Figura (4.40), compara as absorptâncias obtidas pelo ALTA II, de todas as amostras pintadas com pistola de ar comprimido, para as três rugosidades propostas.

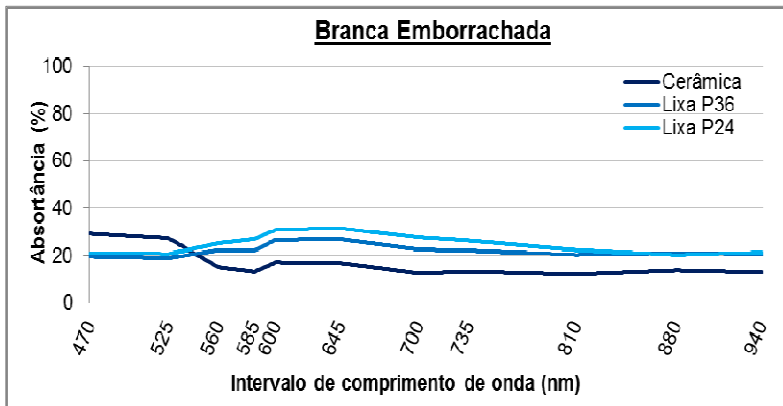


**Figura 4.40 - Absortâncias obtidas pelo ALTA II (pistola de ar comprimido).**

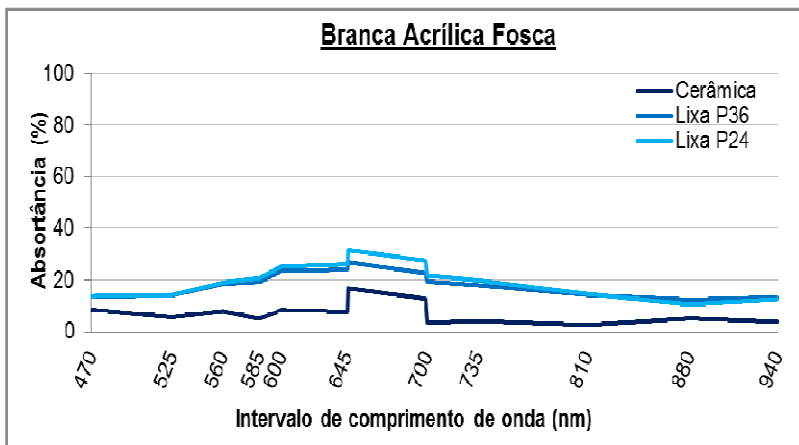
O fato das amostras de lixa apresentar maior absorvância solar comprova que uma superfície rugosa absorve maior quantidade de energia, pois sofre o efeito das inter-reflexões.

Apesar de ser classificada como mais rugosa, a lixa P24, não apresenta valores significativamente maiores que a lixa P36. Isso pode ser explicado pelo fato de com esse tipo de pintura, a tinta acaba por escorrer entre os sulcos da lixa, preenchendo-os e diminuindo a altura dos vales, o que acarreta em uma diminuição das inter-reflexões, então, diminuindo também a quantidade de energia absorvida pela superfície da amostra ensaiada.

As Figuras (4.41 à 4.48), apresentam as curvas espectrais obtidas com equipamento **Alta II**, nas entre as três rugosidades, para todas as amostras pintadas com **pistola de ar comprimido**.

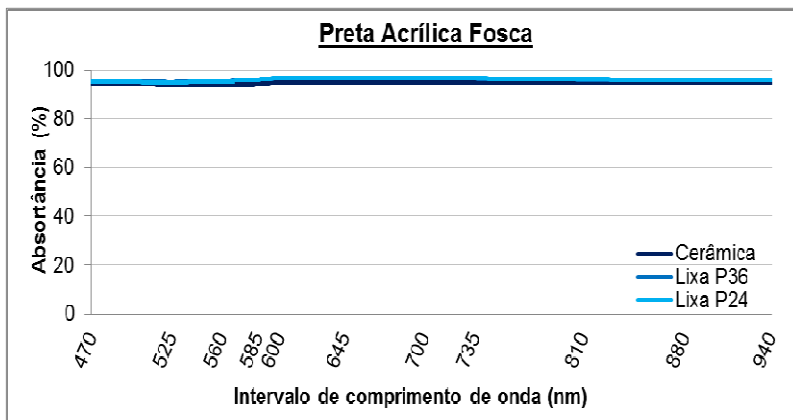


**Figura 4.41 - Branca Emborrachada nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.**

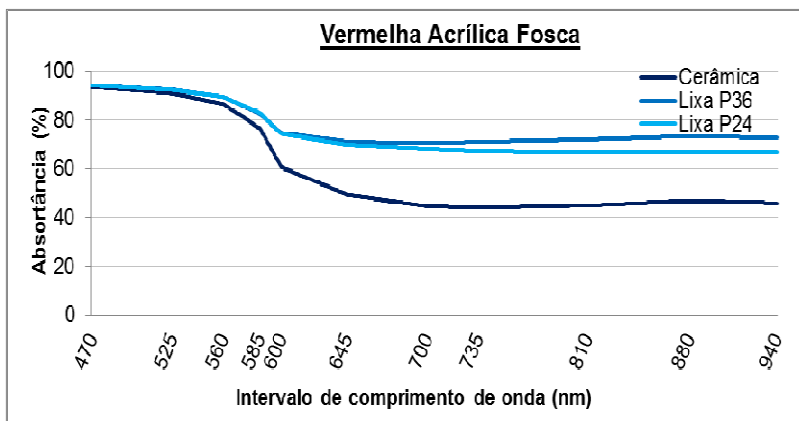


**Figura 4.42 - Branca AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.**

As amostras de tinta vermelha acrílica fosca apresentam a maior variação nos resultados de suas absortâncias (Figura 4.44), onde se pode observar que a amostra cerâmica tem uma queda mais acentuada de seus absortâncias a partir dos 600nm, e na região do infravermelho ocorre uma pequena elevação desses valores. Enquanto isso nas duas amostras rugosas se observa no início das curvas uma redução similar de seus valores, diferenciando-se estes um pouco a partir de 700nm.

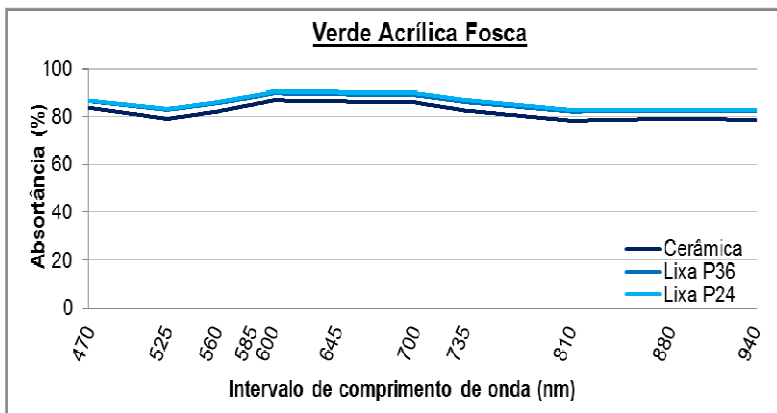


**Figura 4.43 - Preta AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.**

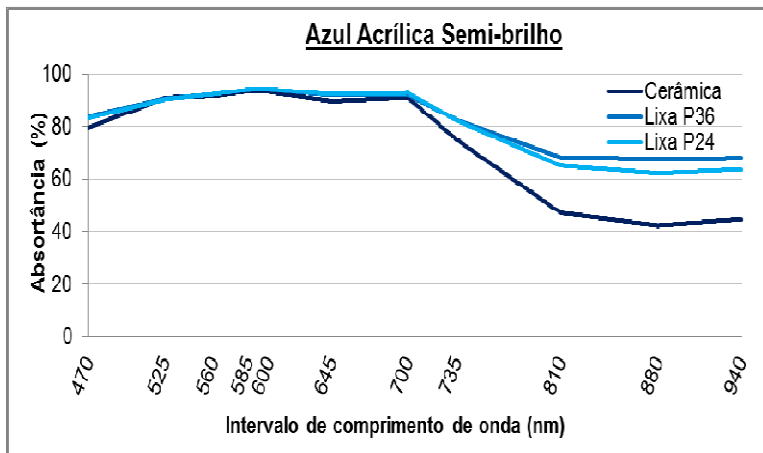


**Figura 4.44 - Vermelha AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.**

Para a tinta verde (Figura 4.45), as três amostras apresentam o mesmo comportamento em suas curvas espectrais, apesar da amostra cerâmica ter seus valores levemente menores. Esta estabilidade nas curvas, que também ocorre na cor preta, é observada nessas tintas que possuem um aspecto mais escuro.

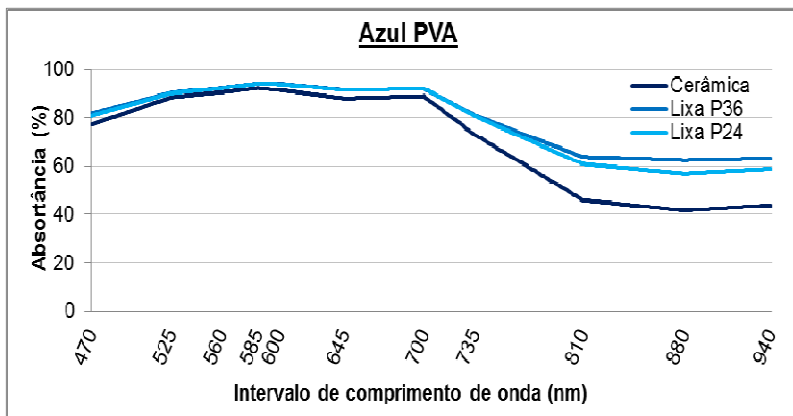


**Figura 4.45 - Verde AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.**

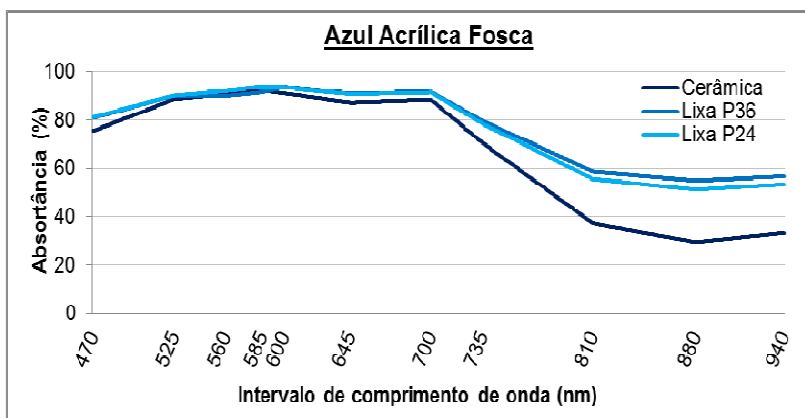


**Figura 4.46 - Azul AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.**

As amostras pintadas com os três tipos de tintas azuis demonstram o mesmo comportamento de valores espectrais.



**Figura 4.47 - Azul PVA nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.**

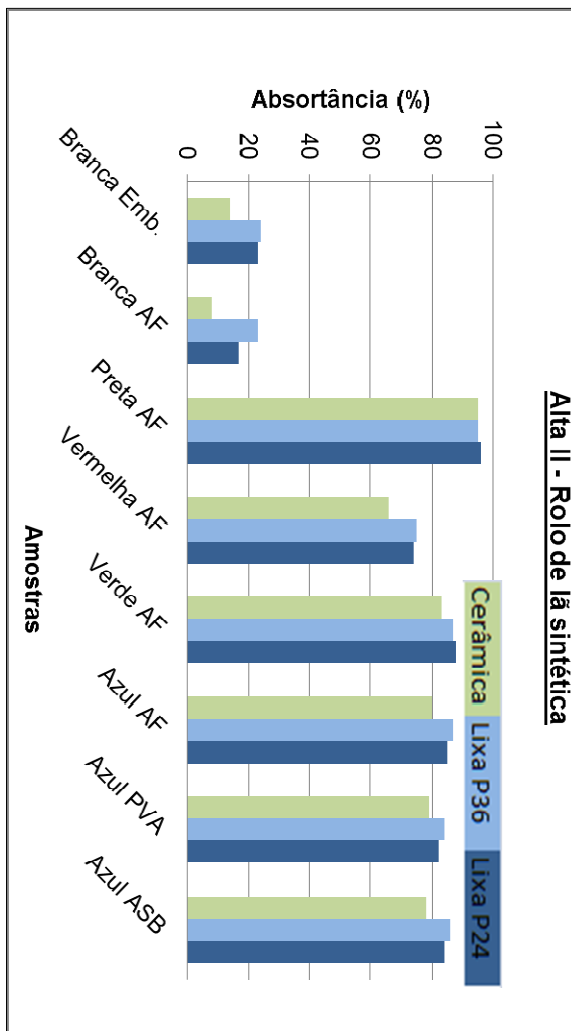


**Figura 4.48 - Azul ASB nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.**

Para esta cor as amostras cerâmicas têm uma queda mais rápida de seus valores próximos e na região do IV, sendo que a amostra PVA (Figura 4.47) tem uma queda ligeiramente mais acentuada de valores em suas três rugosidades, mas mostrando a mesma diferença entre a cerâmica e as lixas que as amostras acrílicas.

### **Rolo de lã sintética**

As absorptâncias solares das amostras pintadas com rolo apresentadas na Tabela (4.6), são representadas graficamente (Figura 4.9) para melhor visualização.



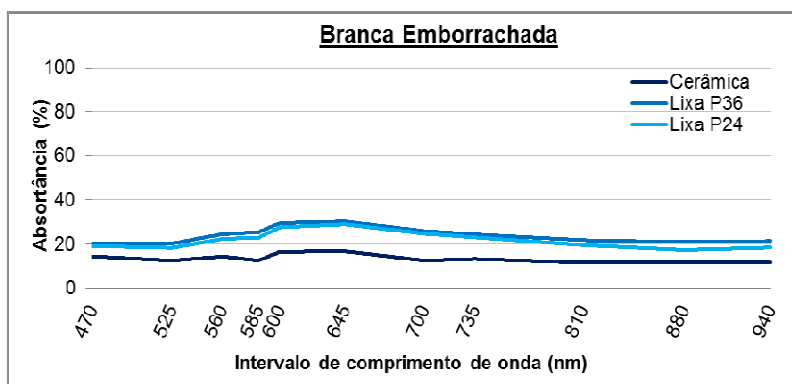
**Figura 4.49 - Absortâncias obtidas pelo ALTA II (rolo de lã sintética).**

Neste processo de pintura os absorptâncias solar, novamente são superiores nas amostras confeccionas com lixas. Pode-se observar que

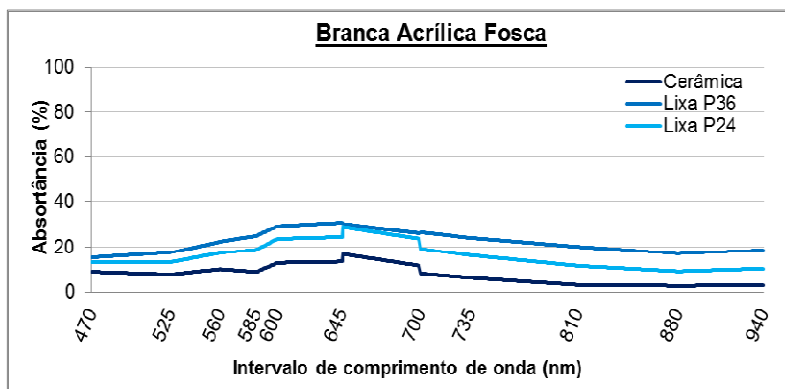


as amostras de lixa, com classificação P36, apresentam valores superiores de absorvância as amostras que teoricamente teriam maior rugosidade (P24). Isso também pode ser explicado pelo fato de que a tinta acaba por escorrer entre os sulcos da lixa, preenchendo-os e diminuindo a altura dos vales, o que acarreta em uma diminuição das inter-reflexões, então, diminuindo também a quantidade de energia absorvida pela superfície da amostra ensaiada.

As Figuras (4.50 à 4.51), apresentam as curvas espectrais obtidas com equipamento **Alta II**, nas entre as três rugosidades, para todas as amostras pintadas com **rolo de lã sintética**.



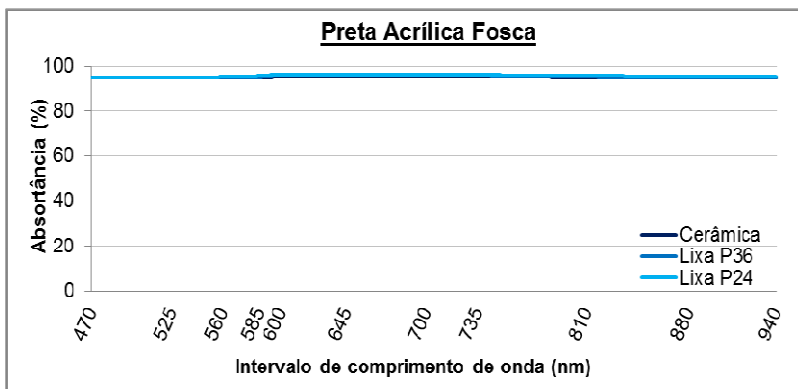
**Figura 4.50 - Branca Emborrachada nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética.**



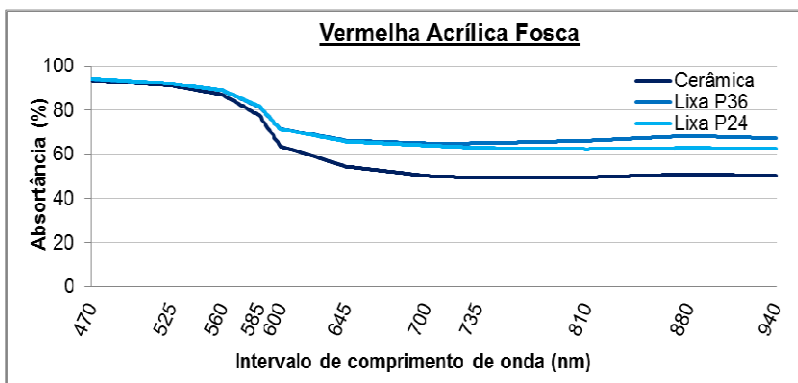
**Figura 4.51 - Branca AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética.**

As amostras nas cores brancas apresentam as maiores diferenças em suas absorvâncias totais, em especial as amostras pintadas com a tinta branca acrílica fosca. Apesar das curvas espectrais destas amostras com diferentes rugosidades manterem o mesmo padrão de comportamento ao longo de todo o espectro medido (Figura 4.51), é possível observar que os valores medidos nas lixas estão sempre acima na linha de resultado da amostra cerâmica.

As amostras na cor vermelha, também apresentaram significativa diferença em seus valores absorvativos, para as três diferentes rugosidades.

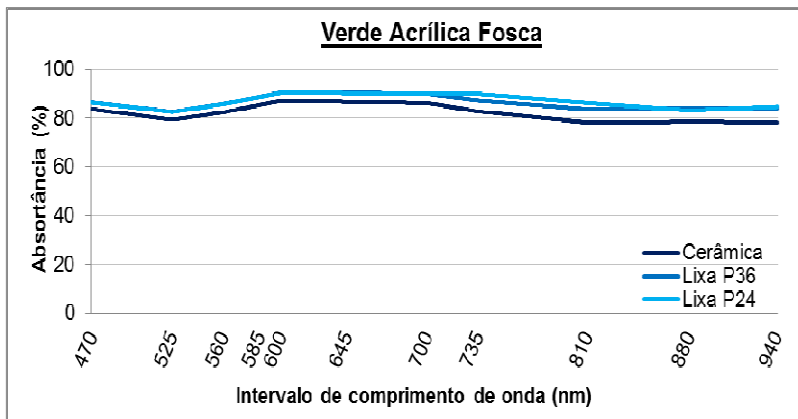


**Figura 4.52 - Preta AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética.**

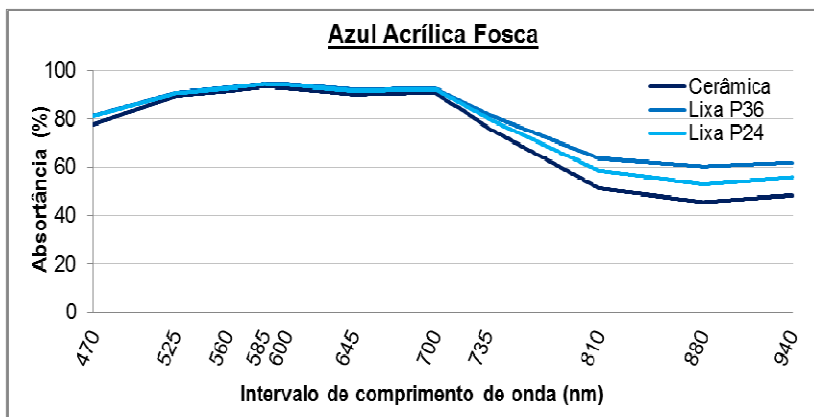


**Figura 4.53 - Vermelha AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética.**

Para a tinta verde (Figura 4.54), a amostra cerâmica mostra ter seus valores levemente menores, bem como a amostra na cor verde pintada com pistola de ar comprimido. Novamente nas amostras nas cores verde e preta é possível observar que as mesmas possuem uma estabilidade no comportamento em suas curvas espectrais.

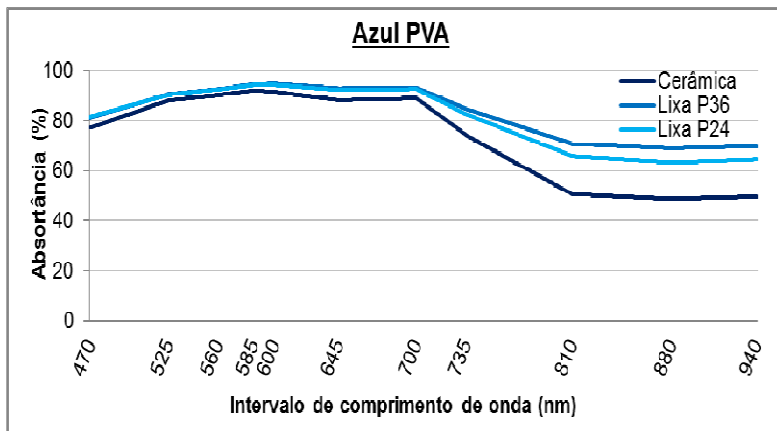


**Figura 4.54 - Verde AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética.**

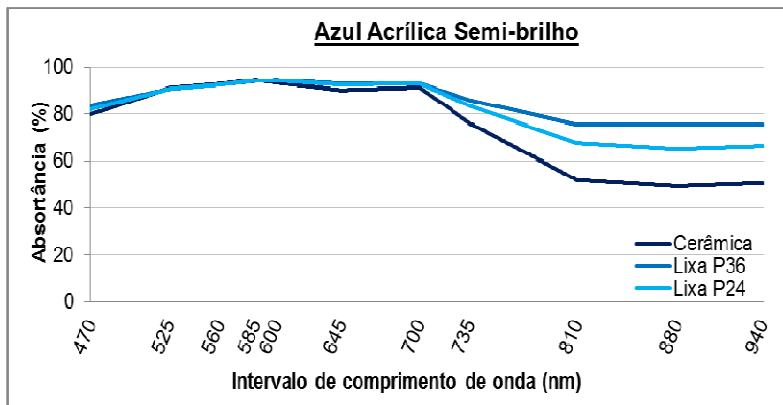


**Figura 4.55 - Azul AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética.**

As amostras na cor Azul ASB (Figura 4.57) apresentam, na região do IV, valores superiores aos apresentados pelas amostras da mesma tinta pintadas com spray. O mesmo acontece para as tintas Azul PVA e Acrílica Fosca.



**Figura 4.56 - Azul PVA nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética.**



**Figura 4.57 - Azul ASB nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética.**

**Pincel**

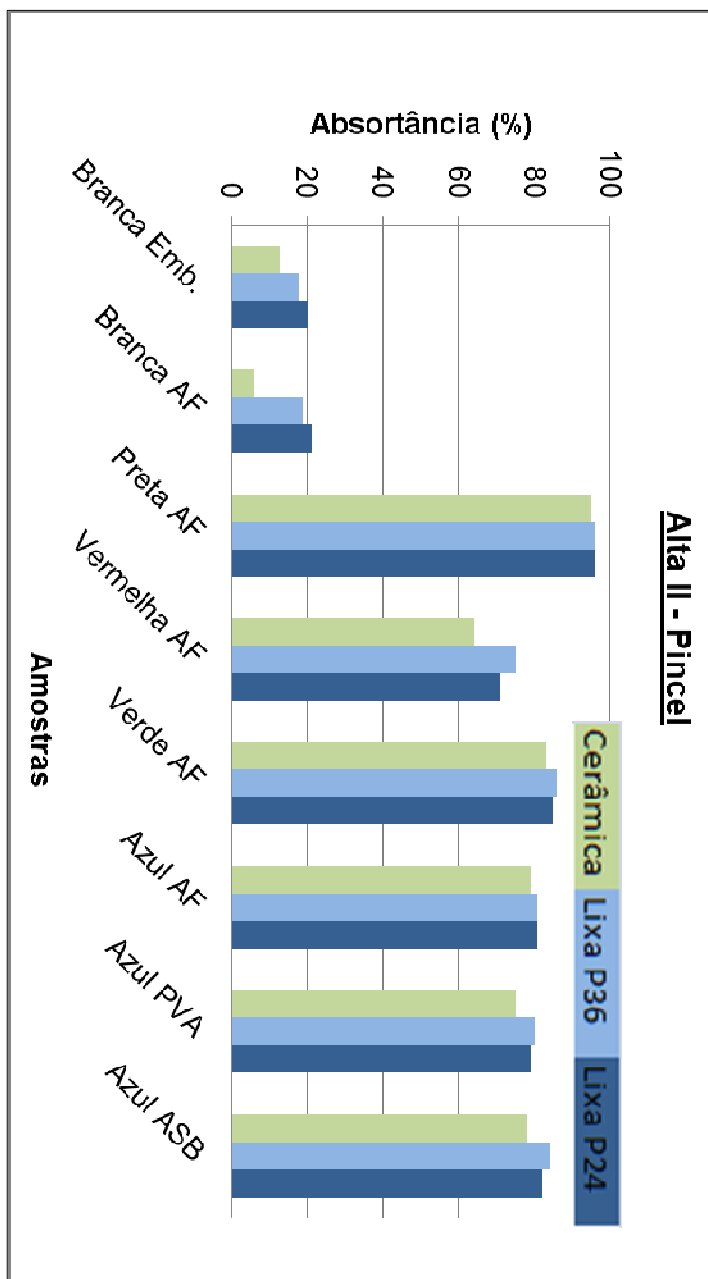


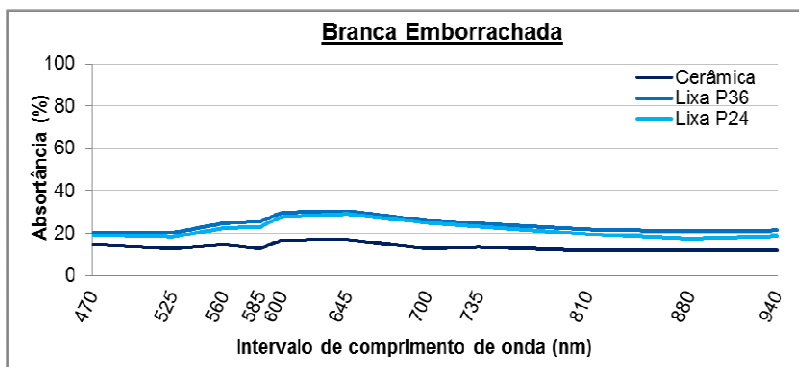
Figura 4.58 Absortâncias obtidas pelo ALTA II (pincel).

Em todas as cores e tipos de tintas, as amostras confeccionadas com lixas (P36 e P24) e pintadas com pincel, apresentaram maiores absorvâncias se comparadas às amostras cerâmicas. O Figura (4.58), compara as absorvâncias obtidas pelo método do ALTA II, de todas as amostras pintadas com pincel, para as três rugosidades propostas.

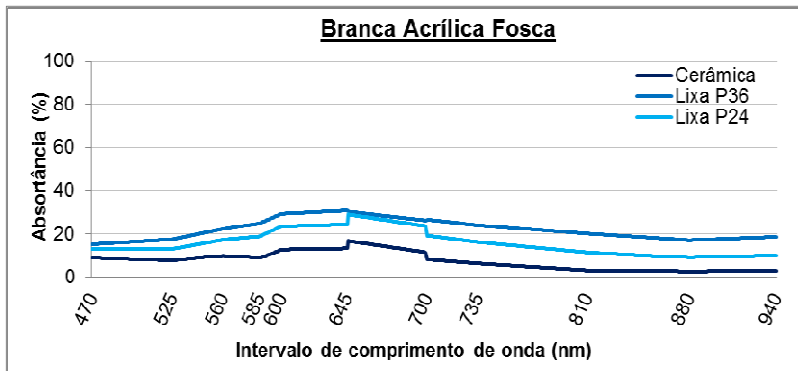
Em todos os processos de pintura analisados pelo ALTA II, as amostras na cor preta, apresentaram absorvâncias bem próximos, não havendo diferença significativa.

As Figuras (4.59 à 4.66), apresentam as curvas espectrais obtidas com equipamento **Alta II**, nas entre as três rugosidades, para todas as amostras pintadas com **pincel**.

Novamente a tinta Branca Acrílica Fosca, para a amostra cerâmica (0,06), apresenta absorvância com valor aproximadamente quatro vezes inferior às amostras de lixas P36 (0,19) e P24 (0,21). Assim como nos outros dois processos de pintura (pistola e rolo) as curvas mantêm o mesmo padrão de comportamento, Figura (4.60).

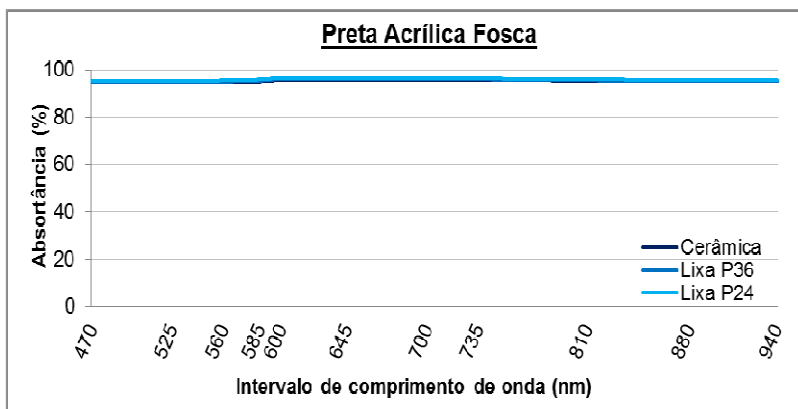


**Figura 4.59 - Branca Emborrachada nas três rugosidades, pintada com pincel.**

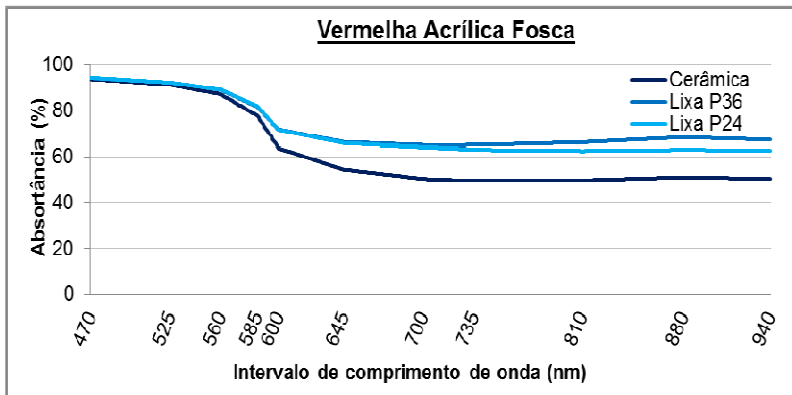


**Figura 4.60 - Branca AF nas três rugosidades, pintada com pincel.**

Já na cor vermelha, os valores espectrais obtidos para as amostras de cerâmica, lixa P36 e lixa P24, pintadas com pincel (64, 75 e 71, respectivamente), são muito próximos dos valores obtidos com a pintura com rolo (66, 75 e 74). Figura (4.62).

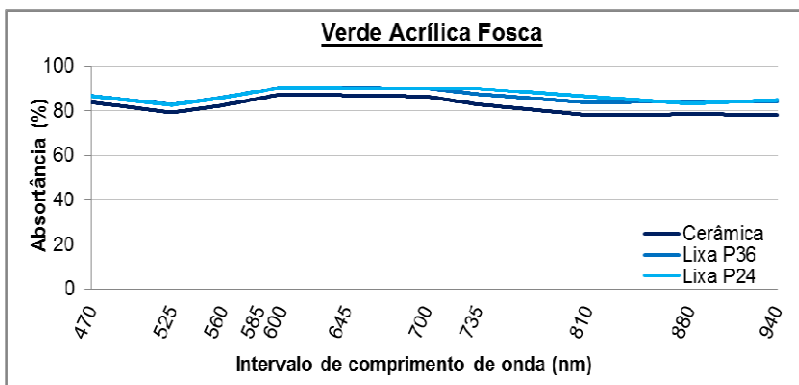


**Figura 4.61 - Preta AF nas três rugosidades, pintada com pincel.**



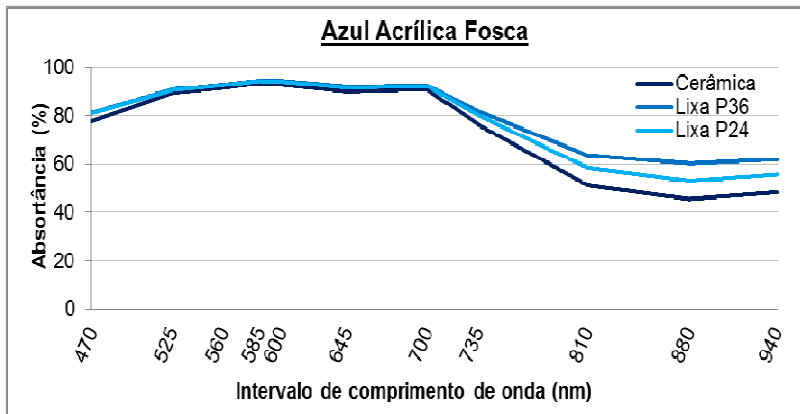
**Figura 4.62 - Vermelha AF nas três rugosidades, pintada com pincel.**

Na pintura realizada com a tinta Acrílica Fosca Azul e com pincel (Figura 63), os absortâncias apresentados pelas três rugosidades na região do IV são inferiores aos valores das amostras com pintura a Rolo e Pistola de ar comprimido. Acentuando ainda mais a queda nos seus valores na curva espectral na região do IV, em especial para as lixas (P36 e P24).



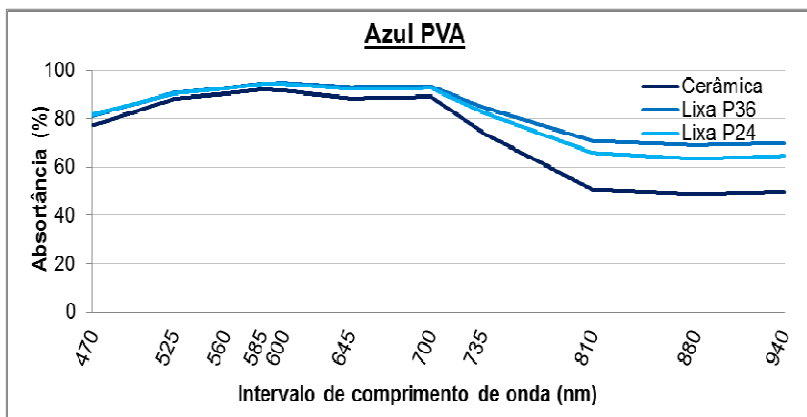
**Figura 4.63 - Verde AF nas três rugosidades, pintada com pincel.**



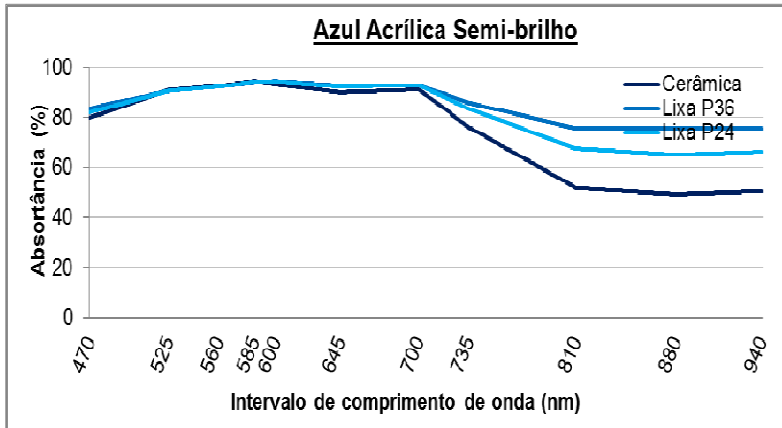


**Figura 4.64 - Azul AF nas três rugosidades, pintada com pincel**

As amostras de tintas azul PVA, pintadas com pincel (Figura 4.65), apresentam na região do IV valores superiores aos valores obtidos com pintura spray e inferiores aos valores obtidos na pintura com rolo.



**Figura 4.65 - Azul PVA nas três rugosidades, pintada com pincel.**



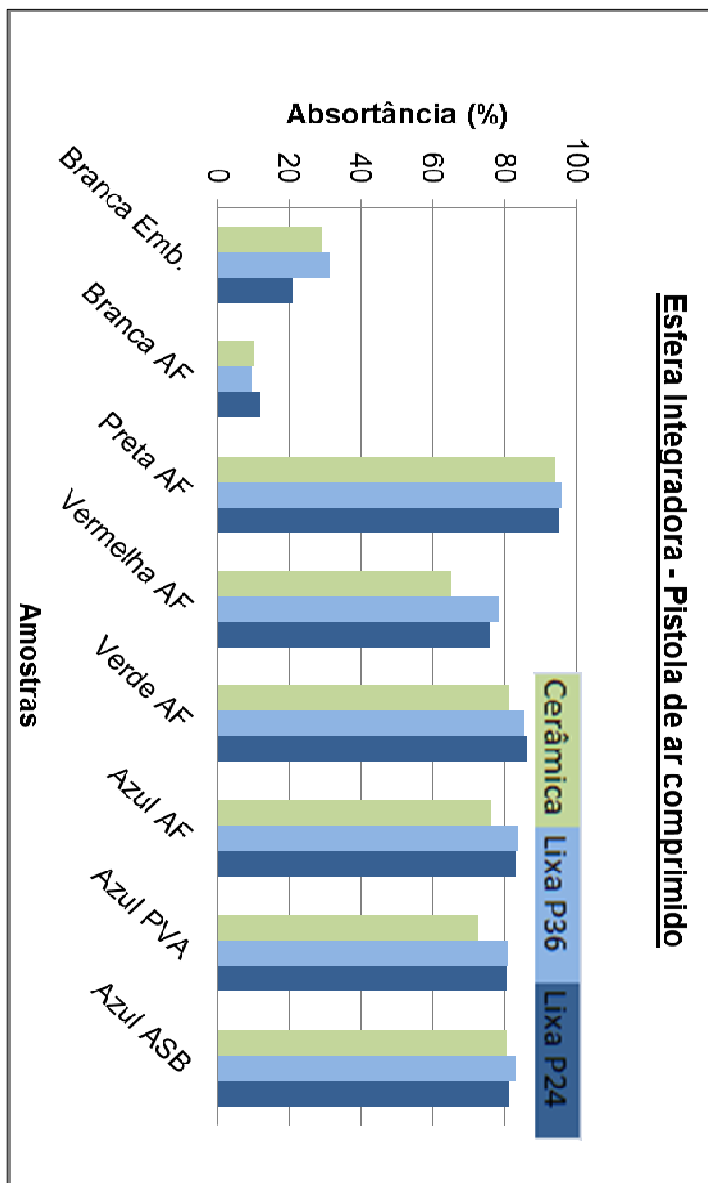
**Figura 4.66 - Azul ASB nas três rugosidades, pintada com pincel.**

#### 4.5.1.2 Método da Esfera Integradora

A seguir são apresentados os resultados obtidos através da bancada de medição acoplada de uma esfera integradora, para todas as amostras pintadas pelos três processos de pintura.

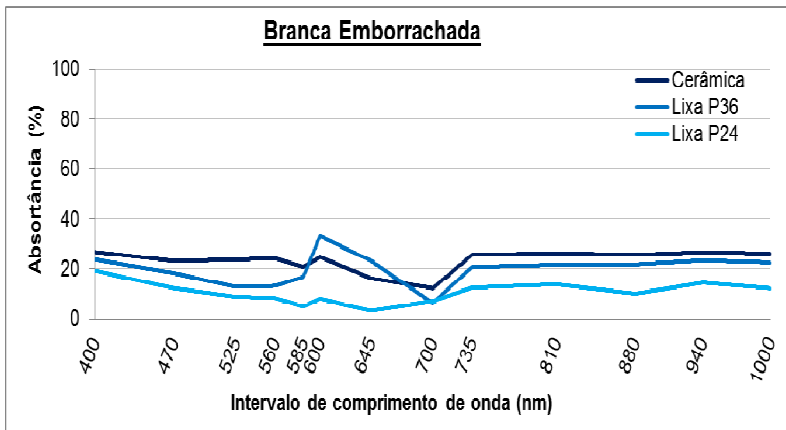
##### **Pistola de ar comprimido**

Na Figura (4.67), novamente é possível visualizar que todas as amostras de lixa foram as que apresentaram maiores valores absorptivos, exceto a amostra na cor branca emborrachada, onde a amostra de maior rugosidade (P24) foi a que apresentou menor valor absorptivo.

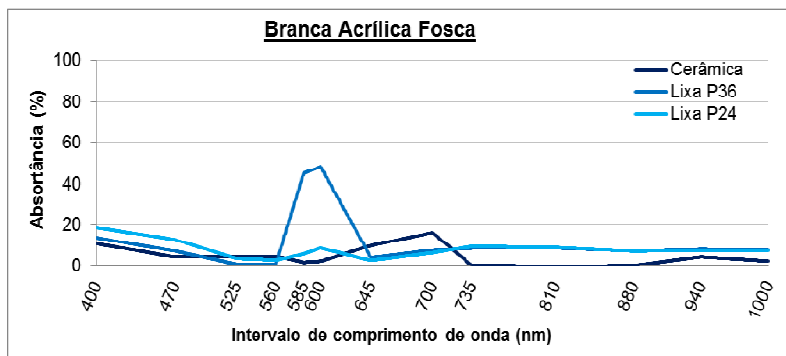


**Figura 4.67 - Absortâncias obtidas pelo método da esfera das amostras pintadas com pistola de ar comprimido.**

As Figuras (4.68 à 4.75), apresentam as curvas espectrais obtidas com equipamento **Esfera Integradora**, nas entre as três rugosidades, para todas as amostras pintadas com **pistola de ar comprimido**.



**Figura 4.68 - Branca Emborrachada nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.**

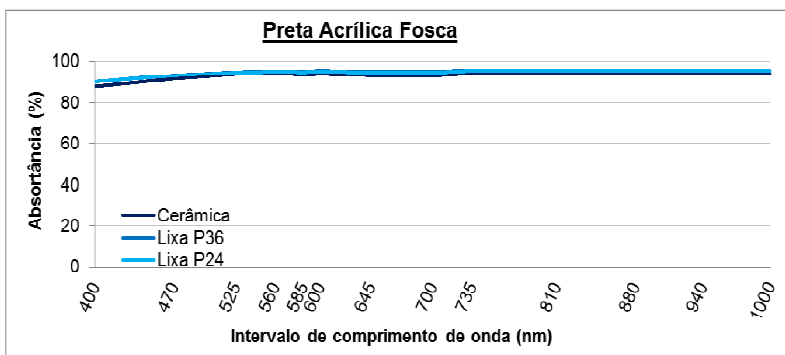


**Figura 4.69 - Branca AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.**

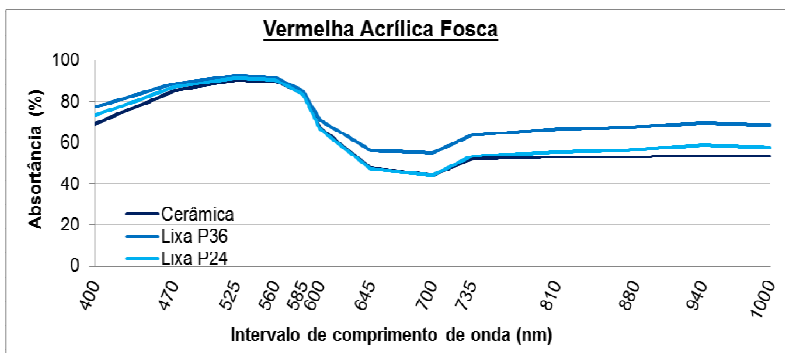
A curva espectral da Lixa P24 na cor branca emborracha (Figura 4.68), não apresenta grandes picos de elevação, diferentemente das outras duas amostras com o mesmo tipo de tinta, onde suas curvas mostram grandes picos alterando o seu valor total de absorção.

Já para a tinta do tipo branca acrílica fosca, as três amostras apresentam o mesmo padrão de comportamento espectral (Figura 4.69),

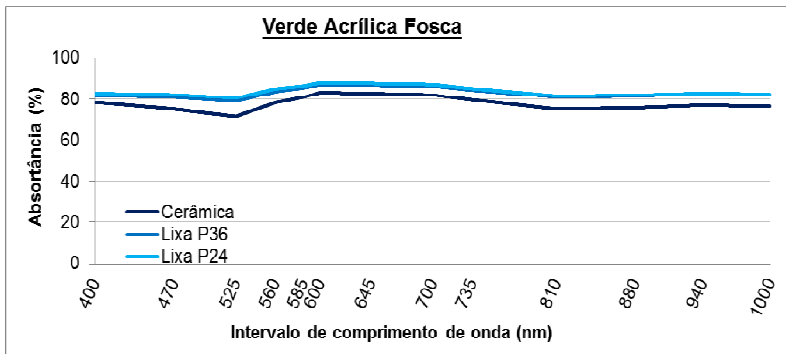
e seus valores absorptivos são próximos, predominando a menor absorptância para a amostra mais rugosa P24.



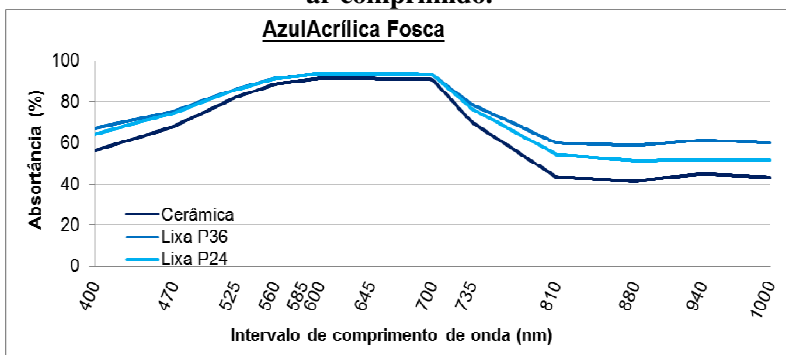
**Figura 4.70 - Preta AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.**



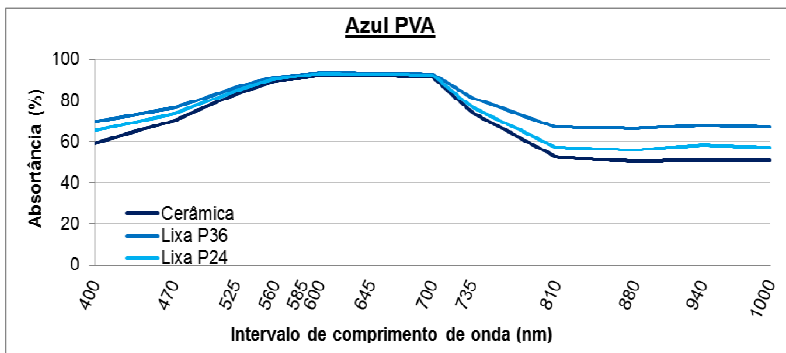
**Figura 4.71 - Vermelha AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.**



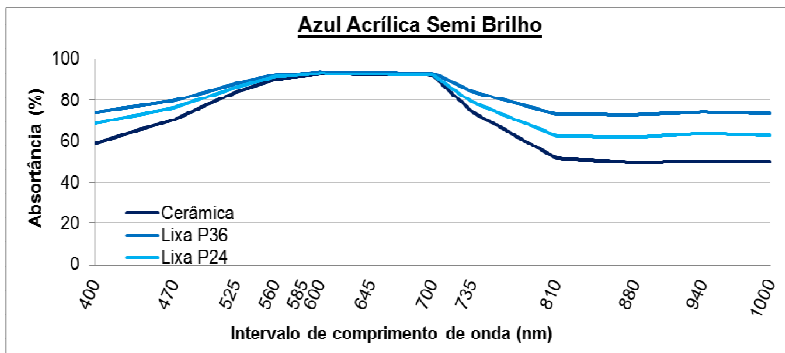
**Figura 4.72 - Verde AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.**



**Figura 4.73 - Azul AF nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.**



**Figura 4.74 - Azul PVA nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.**

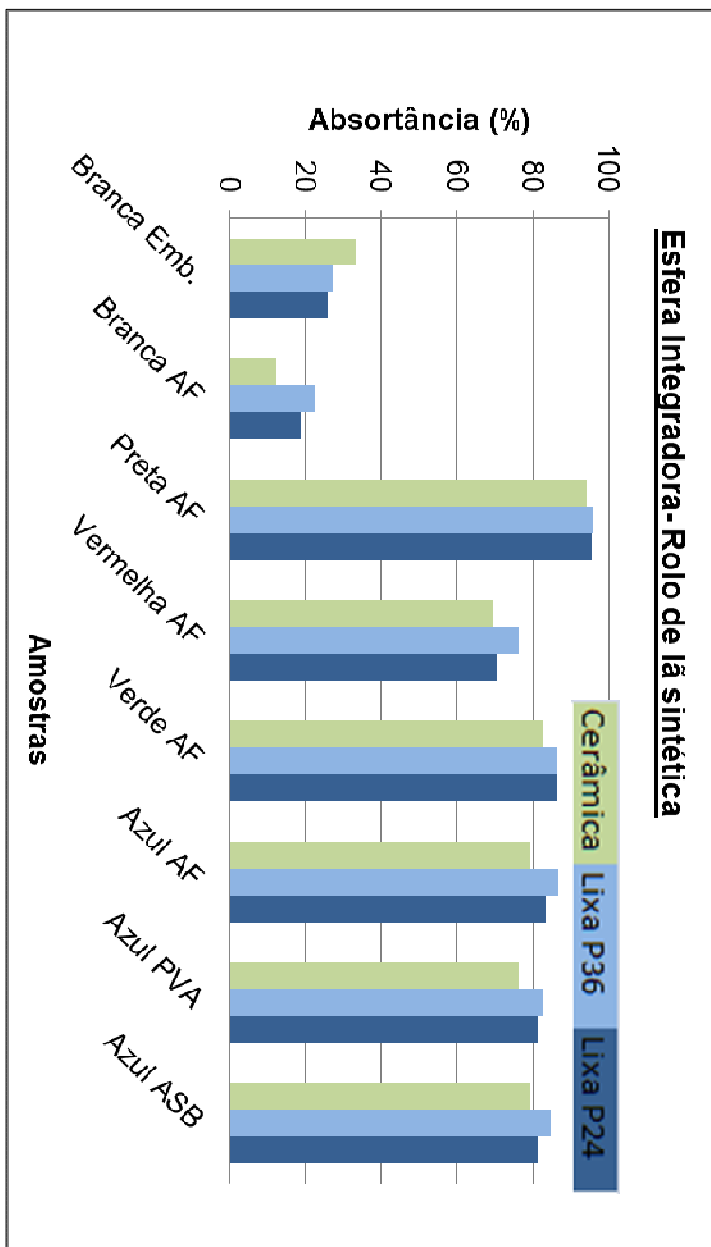


**Figura 4.75 - Azul ASB nas três rugosidades, pintada com pistola de ar comprimido.**

O fato de as amostras mais rugosas (P24) apresentarem os menores absortâncias foi explicado anteriormente, pelo fato de que a tinta acaba por escorrer entre os sulcos da lixa, preenchendo-os e diminuindo a altura dos vales, o que acarreta em uma diminuição das inter-reflexões, então, diminuindo também a quantidade de energia absorvida pela superfície da amostra ensaiada.

### **Rolo de lã sintética**

Novamente, exceto para a tinta branca emborrachada, todas as amostras cerâmicas apresentam absortâncias abaixo dos valores encontrados nas amostras consideradas mais rugosas (Figura 4.76).



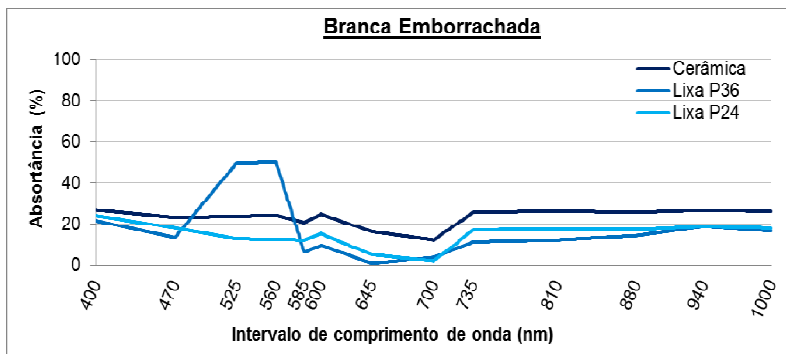
**Figura 4.76 - Absortâncias obtidas pelo método da esfera das amostras pintadas com rolo de lã sintética.**



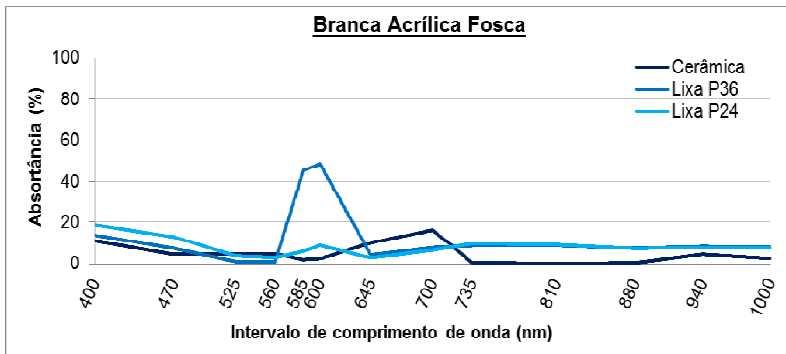
Uma peculiaridade é observada nas amostras Brancas que foram pintadas com rolo de lã sintética.

As Figuras (4.77 à 4.84), apresentam as curvas espectrais obtidas com equipamento **Esfera Integradora**, nas entre as três rugosidades, para todas as amostras pintadas com **rolo de lã sintética**.

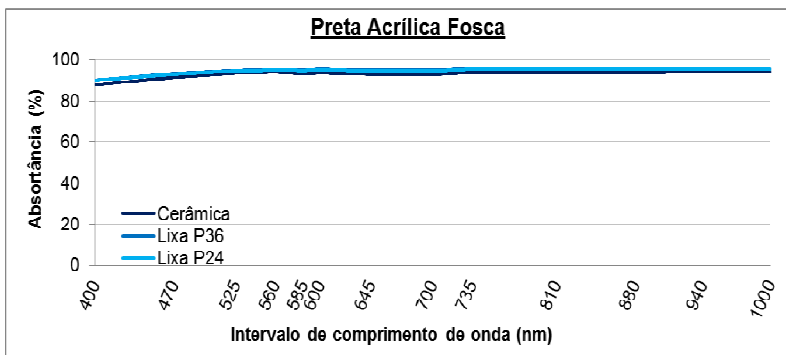
As duas amostras de lixa P36, apresentam uma prolongada crista nas suas curvas espectrais, sendo para a amostra Branca emborrachada (Figura 4.77), entre os comprimentos de onda 450 até 600nm e para a amostra Banca AF (Figura 4.78), de 560 até 700 nm. Esse fenômeno não é possível ser explicado como sendo uma disfunção do equipamento ou até mesmo uma má regulagem do mesmo, mas sim pode ser visto como uma avaria no momento da medição, que pode ter sido causado por um pico de iluminação do ambiente de medição ou até mesmo por uma característica da amostra com essa rugosidade e com aplicação desses tipos cores de tintas.



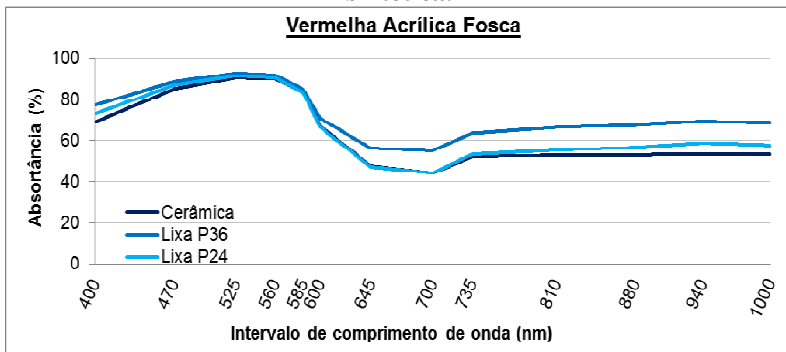
**Figura 4.77 - Branca Emborrachada nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética.**



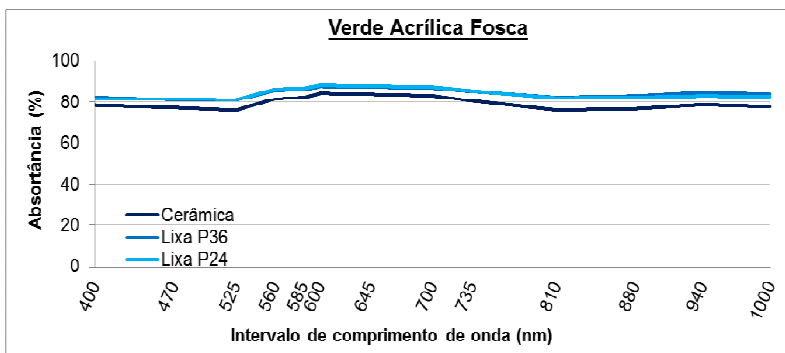
**Figura 4.78 - Branca AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética.**



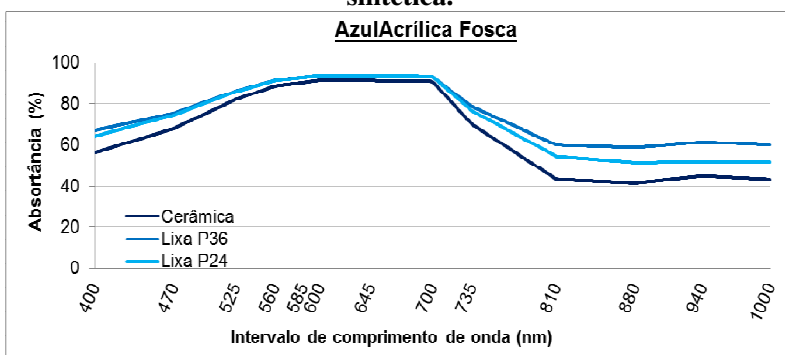
**Figura 4.79 - Preta AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética.**



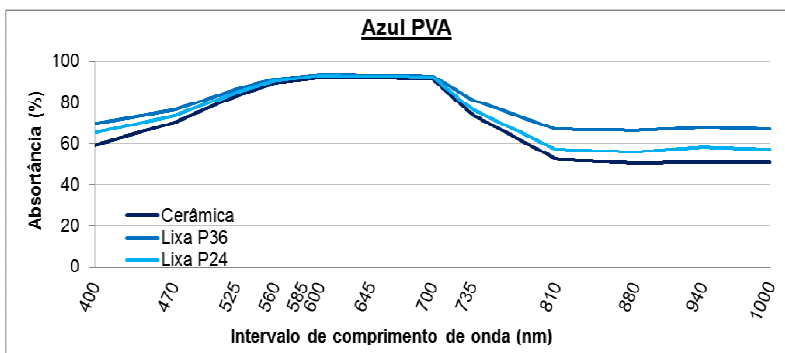
**Figura 4.80 - Vermelha AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética.**



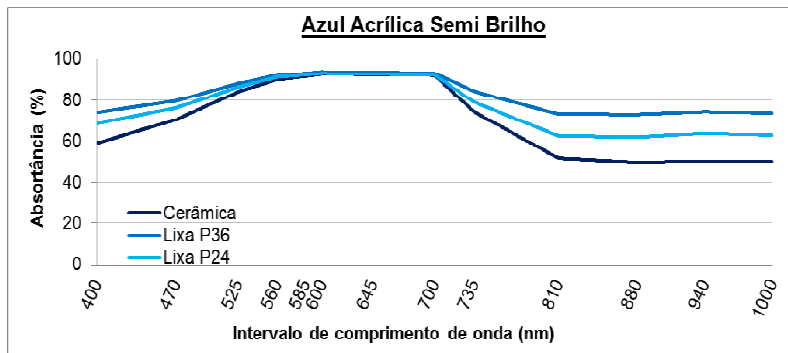
**Figura 4.81 - Verde AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética.**



**Figura 4.82 - Azul AF nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética.**



**Figura 4.83 - Azul PVA nas três rugosidades, pintada com rolo de lã sintética.**

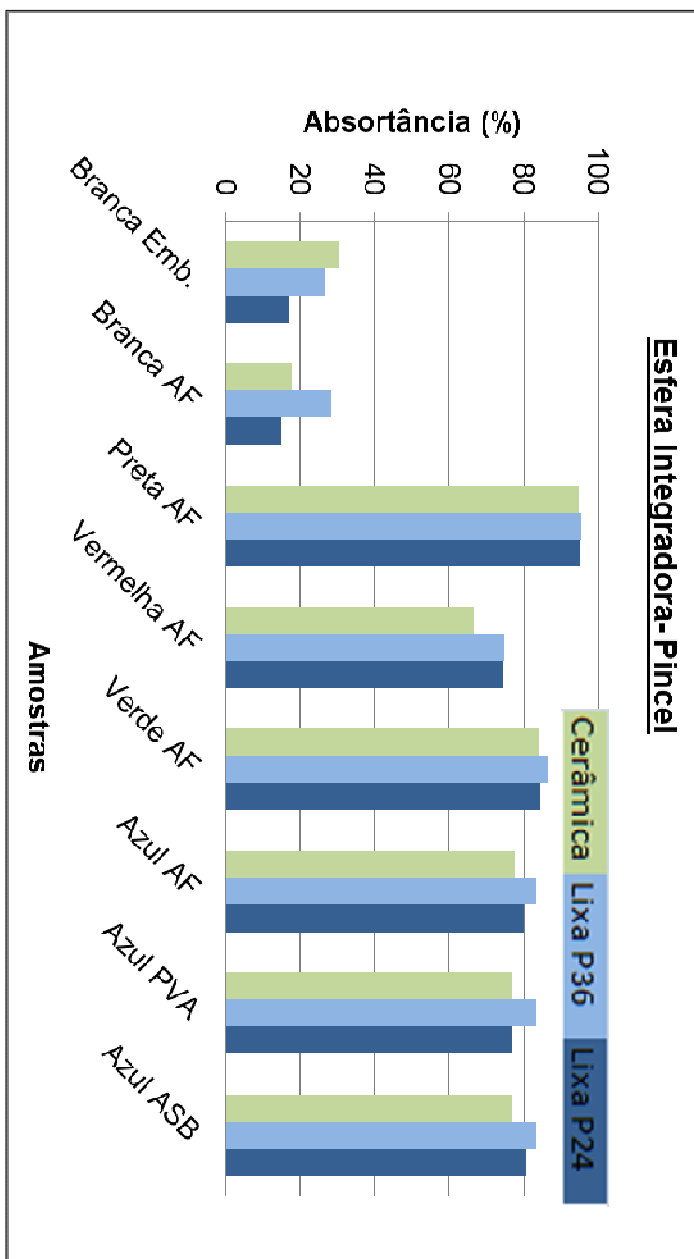


**Figura 4.84 - Azul ASB nas três rugosidades, pintada com rolo de lâ sintética.**

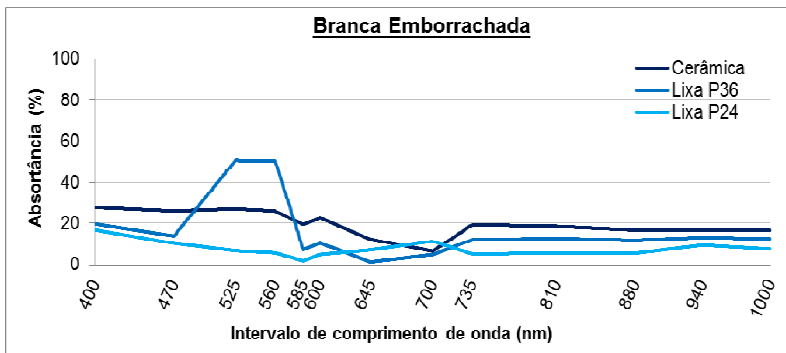
### **Pincel**

Em todas as amostras analisadas que foram pintadas com pincel (exceto nas amostras pintada com tinta Branca Emborrachada), as amostras que apresentaram maiores valores foram as de média rugosidade, ou seja, as amostras de lixa P36 (Figura 4.85). Comprovando que absorve mais que as amostras cerâmicas por serem mais rugosas e absorve mais que as amostras de lixa P24, pois nas amostras de lixa P24, ocorre o fenômeno de escorrimento da tinta, preenchendo os vales da rugosidade, conseqüentemente, diminuindo as interreflexões e seus valores absortivos. Esse fenômeno de escorrimento da tinta ocorre também nas lixas de média rugosidade, mas com menor intensidade do que nas de maior rugosidade.

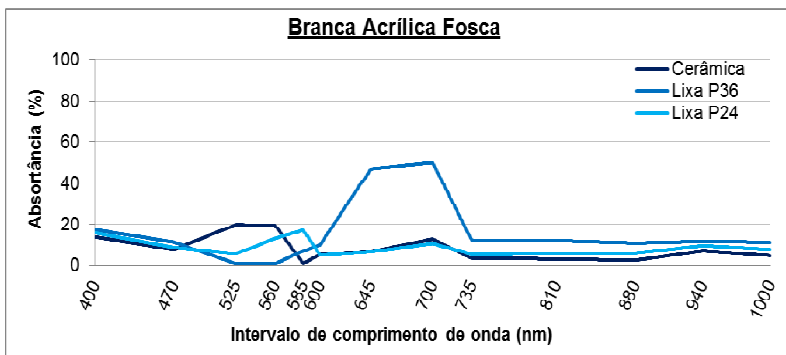
As Figuras (4.86 à 4.93), apresentam as curvas espectrais obtidas com equipamento **Esfera Integradora**, nas entre as três rugosidades, para todas as amostras pintadas com **pincel**.



**Figura 4.85 - Absortâncias obtidas pelo método da esfera das amostras pintadas com pincel.**

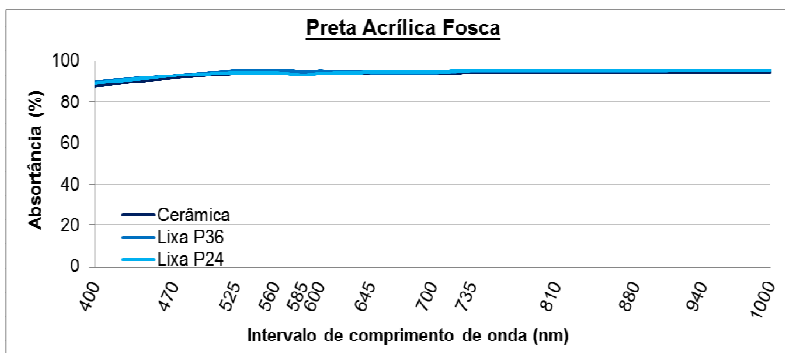


**Figura 4.86 - Branca Emborrachada nas três rugosidades, pintada com pincel.**

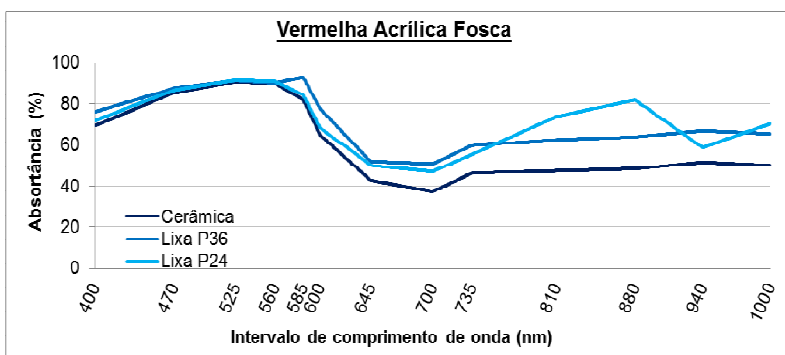


**Figura 4.87 - Branca AF nas três rugosidades, pintada com pincel.**

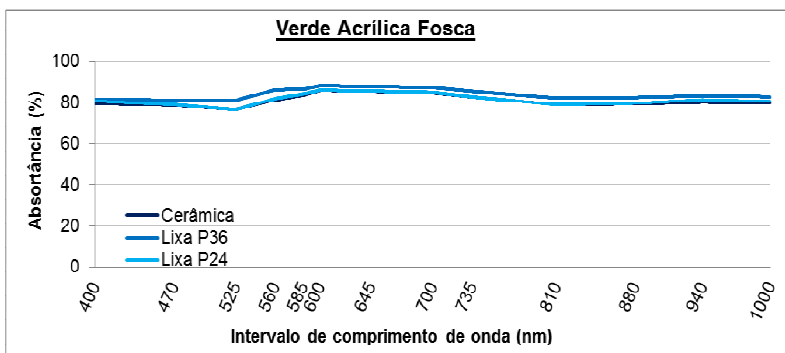
As maiores variações nos valores absorptivos são observadas novamente para as amostras nas cores Branca Emborrachada (Figura 4.80) e AF (Figura 4.81). Onde novamente, é observada a ocorrência de elevação nos valores das amostras de lixa P36, criando uma crista prolongada nas suas curvas espectrais.



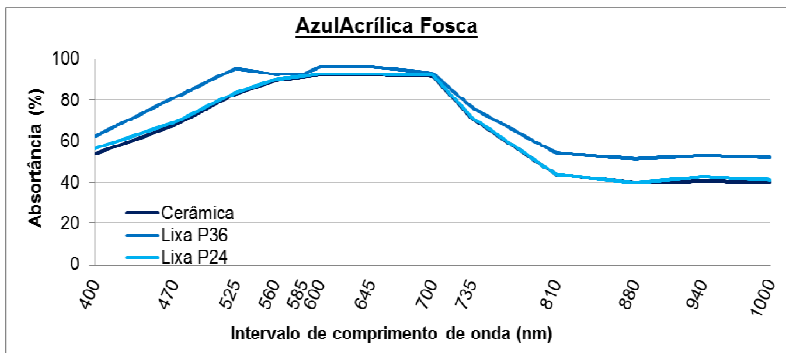
**Figura 4.88 - Preta AF nas três rugosidades, pintada com pincel.**



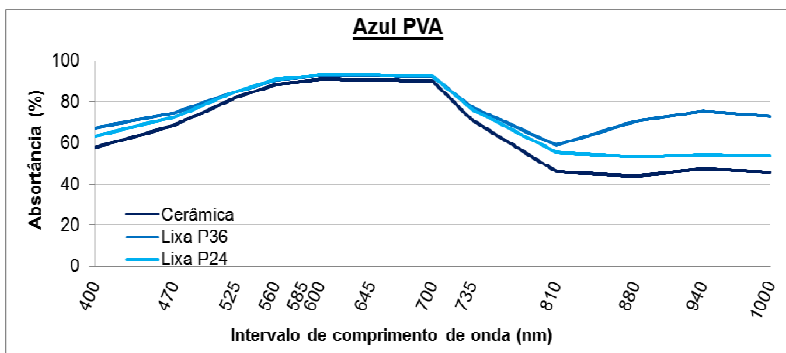
**Figura 4.89 - Vermelha AF nas três rugosidades, pintada com pincel.**



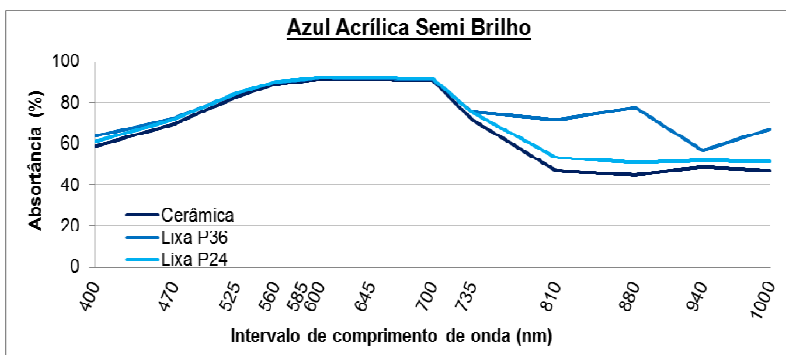
**Figura 4.90 - Verde AF nas três rugosidades, pintada com pincel.**



**Figura 4.91 - Azul AF nas três rugosidades, pintada com pincel.**



**Figura 4.92 - Azul PVA nas três rugosidades, pintada com pincel.**



**Figura 4.93 - Azul ASB nas três rugosidades, pintada com pincel.**

#### 4.5.1.3 Método do Luxímetro



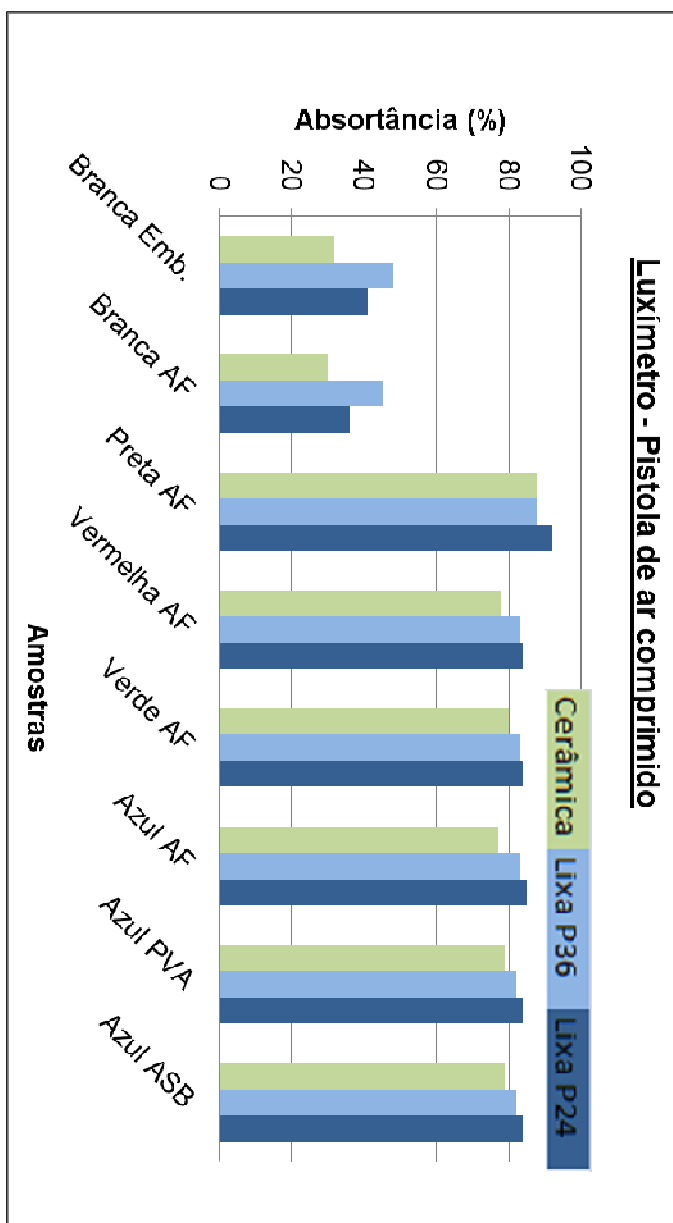
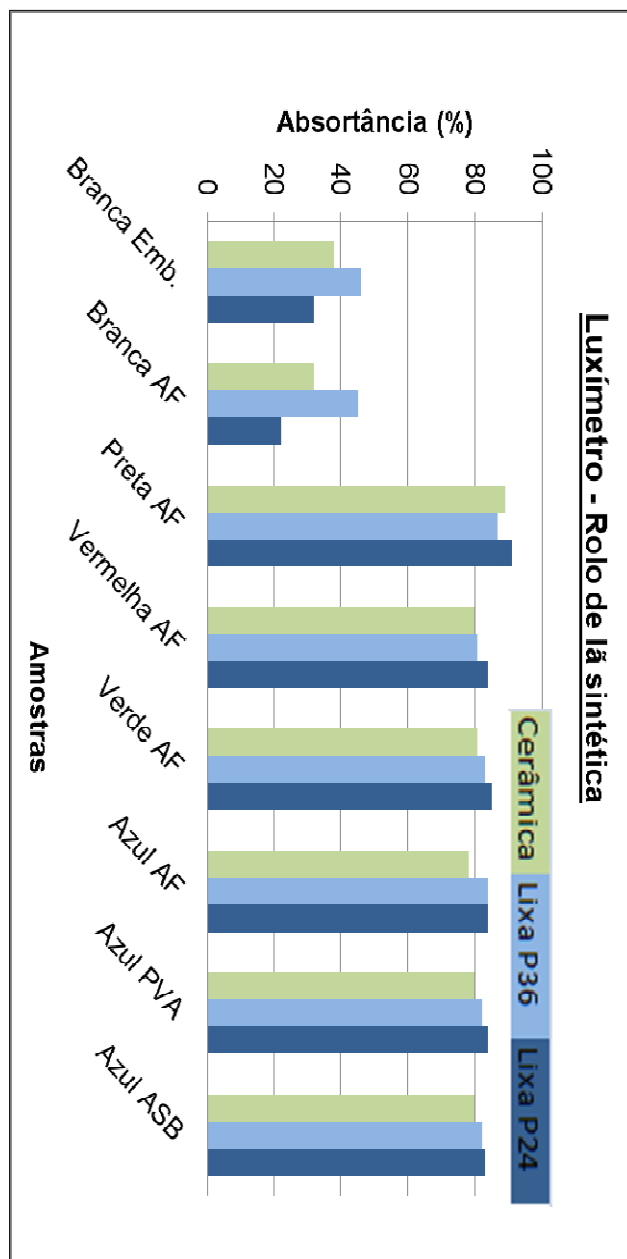


Figura 4.94 - Absortâncias obtidas pelo método do Luxímetro das amostras pintadas com pistola de ar comprimido.

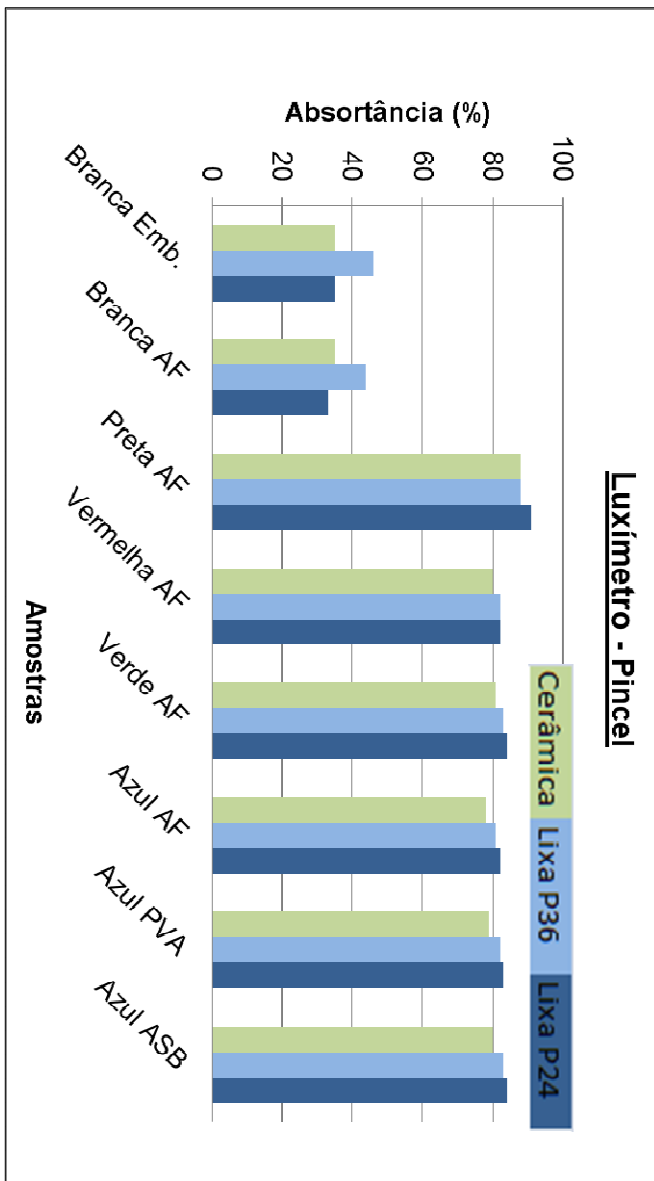
Para as amostras pintadas com Pistola de ar comprimido (Figura 4.34), as amostras nas cores Azul PVA e ASB, apresentaram os mesmos valores, sendo para cerâmica 0,79, lixa P36 0,82 e P24 0,84.

No Figura (4.88) a maior diferença absoluta observada é para a amostra Branca AF (0,23), entre as Lixas P36 (0,45) e P24 (0,22). A tinta Branca Emborrachada, também apresenta uma considerável diferença entre os dois tipos de lixas (0,14). O fato de a tinta Branca Emborrachada não apresentar valores diferenciados altos tanto quanto a Branca AF, deve-se a situação de sua tonalidade ser menos alva (clara) do que a Branca AF. Dado o fato de que o equipamento Luxímetro faz uma leitura geral na faixa do visível, onde nesse caso a cor torna-se um fator considerável no resultado de absorvância final.

As amostras ensaiadas, pintadas com pincel (Figura 4.89) apresentaram, numericamente aproximado, as mesmas situações que as pintadas com Pistola de ar comprimido e com rolo de lã sintética.



**Figura 4.95 - Absortâncias obtidas pelo método do Luxímetro das amostras pintadas com rolo de lã sintética.**



**Figura 4.96 - Absortâncias obtidas pelo método do Luxímetro das amostras pintadas com pincel.**

Para os três processos de pintura as amostras apresentaram absorvências maiores nas amostras mais rugosas de rugosidade P24 (exceto nas tintas de cor branca). Diferentemente do que acontece com os outros dois equipamentos (Alta II e Esfera Integradora). Isso ocorre porque o Luxímetro abrange apenas a faixa do visível, não sendo possível analisar a quantidade de energia que uma amostra absorve fora desta faixa.

Nas tintas do tipo branca emborrachada e branca acrílica fosca, os maiores valores absorvivos são obtidos nas amostras de rugosidade P36. Essa exceção pode ser explicada, pelo fato de que o equipamento apresenta maior sensibilidade às amostras de cores claras, já que o mesmo atua apenas na faixa do visível.

Pode-se considerar que por ser um equipamento que mede a energia refletida de uma amostra apenas na faixa do visível, suas medidas não são consideráveis quando se busca resultados mais precisos, pois não consegue analisar as energias absorvidas pelas amostras durante as inter-reflexões que também fazem com que a amostra absorva mais energia na faixa no Infravermelho.



## 5 CONCLUSÕES

A partir do estudo realizado sobre a absorvância solar de superfícies opacas em diferentes rugosidades, obtidas através de três métodos de medição, destaca-se que:

- Com os valores de absorvância obtidas com o Espectrofotômetro Gary 5G, para as amostras de referência, observa-se que existe grande variação de absorvâncias nas diferentes regiões do espectro solar. Faz-se então necessário que esses valores sejam conhecidos, para melhor compreensão do comportamento absorvivo das tintas. Qualquer análise sobre absorvância realizada deve ser feita com a maior faixa espectral possível para obter valores espectrais médios consistentes.
- Com as amostras de referência analisadas pelos três métodos conclui-se que:
  - A bancada experimental com Esfera Integradora é um aparato de delicado manuseio e de difícil alinhamento. Torna-se inviável para medições necessárias serem realizadas em campo. Os resultados indicam a grande precisão do aparato, podendo ser utilizado com segurança para análises de absorvância em superfícies opacas.
  - O Espectrômetro portátil ALTA II, além de ser de baixo custo é de fácil manuseio. Os resultados de absorvância solar se equiparam em precisão com os obtidos com a Esfera Integradora. A pesquisa apresentou um método, cujos resultados comprovam a boa precisão para tintas de maior absorção e menor precisão para tintas de menor precisão.
  - Luxímetro digital, Phyre. Fotômetro utilizado para medir a iluminância de superfícies, utilizado neste trabalho para determinar absorvância solar de superfícies opacas, apresenta baixa precisão do equipamento para o método proposto.
  - Dos três procedimentos propostos nesta pesquisa, a estimativa de absorvância solar a partir de medições com o método proposto com Espectrômetro Alta II, se mostrou a mais confiável. Seguido proximamente do método proposto com a Esfera Integradora.
- Os dados obtidos permitiram o traçado de curvas e integração das áreas correspondentes a cada região do espectro (UV, vis, IV e total). Sendo que para as pastilhas pintadas, os gráfico e planilhas dos resultados mostrando que as cores que refletem

mais no visível não necessariamente refletem mais no IV. Por isto Castro (2002) afirma que não se pode inferir que uma cor que reflete muito no visível, também apresentará valor alto na refletância.

- Na comparação dos valores das absorvâncias medidas entre os três métodos, as tintas que apresentam composições químicas distintas, mas com cores iguais, destaca-se:
  - A tinta Branca Emborracha não mostra ser a melhor escolha para pintura de uma superfície, considerando apenas a sua baixa absorvância. Nos três métodos analisados, apresentou uma absorvância alta para a sua cor, comprovando que não deve-se prognosticar a absorvância pelo estado visível da amostra.
  - Sobre as amostras de mesma cor, Azul, com textura PVA, Acrílica Fosca e Acrílica Semi-brilho, estas apresentam absorvâncias próximos, porém diferentes, mostrando que a absorvância não depende só da aparência visual da tinta, mas sim de sua composição química.
  - Entre as cores azuis, as amostras da tinta azul PVA (em suas três rugosidades) apresentam menor absorvância do que as amostras de tintas azuis acrílicas, mostrando que a absorvância não depende só da aparência da tinta, mas também da sua composição.
  - A tinta Azul Acrílica Fosca, apresenta comportamento diferenciado das outras tintas Azuis na região do infravermelho, absorvendo menor energia nessa faixa do espectro, o que acarreta em uma absorvância de 0,64 (valor de referência) significativamente menor comparada com as amostras pintadas com tinta do tipo Acrílica Semi-brilho (0,71) e PVA (0,71).
  - A tinta Azul Semi-brilho por sua vez, no geral, apresentou os maiores valores absorvativos para os três métodos, comparada com as outras tintas de mesma cor. Apesar de visivelmente apresentar mais brilho, isto não é um indicativo de maior refletância de energia.
- A análise do efeito da rugosidade superficial sobre a absorvância solar, mostrou que as lixas P36 e P24, embora visualmente e granulometricamente tenham uma textura diferente, têm valores de rugosidades semelhantes (em termos de  $R_a$  e  $R_z$ ). Por isso em muitas das amostras os resultados de absorvância



encontrados para os dois substratos com aplicação da mesma tinta é praticamente o mesmo.

- Na aplicação das tintas com alta capacidade de absorção (ex: preto e verde, com absortância > 80%), a variação da rugosidade do substrato (lixas e cerâmica) não causa interferência significativa sobre os resultados da medição. Esse comportamento ocorre, uma vez que a energia refletida na superfície de volta para o sensor, neste caso, é baixa, minimizando as incertezas dos instrumentos e o efeito da diferença de rugosidade da base de aplicação. Ainda concluí-se que para estas duas cores, juntamente com a cor vermelha, os valores totais (integrados) de absortância têm as menores variações entre si, independentemente do equipamento de medição utilizado.
- Também para quase todas as amostras pintadas com pistola de ar comprimido e pincel, os valores da absortâncias medidos pelos três métodos apresentados, nas amostras cerâmicas são inferiores aos valores obtidos nas amostras de lixas. Esta baixa pode ser atribuída basicamente ao efeito da menor rugosidade da superfície cerâmica ( $R_a = 4$  e  $R_z = 23$ , pintadas com pistola de ar comprimido) em relação às lixas. Isto está de acordo com o que encontramos em Dornelles (2009), ao apresentar análises de regressão indicativas de que o aumento da rugosidade aumenta a absortância de cada amostra.
- O efeito de escorrimento, principalmente, nas amostras de lixa P24, pintadas com rolo, foi constatado. O fenômeno de escorrimento ocorre quando a tinta preenche os vales da rugosidade, conseqüentemente, diminuindo as interreflexões e também a quantidade de energia absorvida. Esse fenômeno de escorrimento da tinta ocorre também nas lixas de média rugosidade (P36), mas com menor intensidade do que nas de maior rugosidade.
- Considerando mais este estudo realizado, é possível aceitar mais fortemente a hipótese de que o equipamento ALTA II e a Esfera Integradora possuem confiabilidade aceitável para realização de ensaios sobre absortância solar de superfícies opacas, pois os resultados encontrados nesse estudo sobre os absortâncias são coerentes com as análises de rugosidades superficiais.



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

AKBARI, H.; LEVINSON, R.; BERDAHL, P. ASTM standards for measuring solar reflectance and infrared emittance of construction materials and comparing their steady-state surface temperatures. **ACEEE 1996 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings: Efficiency and Sustainability**, v. 1, p. 1.1-19, 1996.

AKBARI, H., LEVINSON, R., STERN, S. **Procedure for measuring the solar reflectance of flat or curved roofing assemblies**, Solar Energy, 2008

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, **C 1549-02**: standard test method for determination of solar reflectance near ambient temperature using a portable solar reflectometer. Annual Book of ASTM Standards 04.06. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials; 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, **C 1164-09a**: standard practice for obtaining spectrometric data for object-color evaluation; 2009a.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E1331-04**: standard test method for reflectance factor color by spectrophotometry using hemispherical geometry, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E1918-06**: standard test method for measuring solar reflectance of horizontal and low-slope surface in the field, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E1980-01**: standard practice for calculationg solar reflectance index of horizontal and low-sloped opaque surfaces, 2001.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, **E903**. standard test method for solar absorptance, reflectance, and transmittance or materials using integrating spheres, USA, 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **G173-03**: standard tables for reference solar spectral irradiances - direct

normal and hemispherical on 37° tilted surface. ASTM International, 2002.

ANDERSEN, M., BOER, J.; **Goniophotometry and assessment of bidirectional photometric properties of complex fenestration systems**. Energy and Buildings, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15220-1**: desempenho térmico de edificações - parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005 a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15220-3**: desempenho térmico de edificações - parte 3: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

BERDAHL, P.; AKBARI, H.; JACOBS, J.; KLINK F. **Surface roughness effects on the solar reflectance of cool asphalt shingles**, Solar Energy Materials and Solar Cells, 2007.

BORGES, M. T. C. M.; **Determinação de propriedades radiativas espectrais de vidros e películas**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

CALIL, L.F.P. **Estudo de caso para avaliação do tratamento dado á tecnologia de superfície no meio fabril**. 2001. 155 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

CASTRO, A.P.A.S.. **Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica**. 2002. 127 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil , Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

CASTRO, A. P. A. S.; LABAKI, L C; CARAM, R. M.; BASSO, A.; FERNANDES, M. R. **Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral**. Ambiente Construído, revista da ANTAC, 2003, Porto Alegre.

CRRC, 2007. CRRC-1 Method #1: **Standard practice for measuring solar reflectance of a flat, opaque, and heterogeneous surface using a portable solar reflectometer.** Cool Roof Rating Council. Online em <http://coolroofs.org/documents/CRRCTestMethod1Final072605.pdf>.

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. **Identificação da absortância solar de superfícies opacas por meio de espectrômetro de baixo custo.** IX Encontro nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Florianópolis, 2006.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. **Influência das tintas imobiliárias sobre o desempenho térmico e energético de edificações,** 2007.

DORNELLES, K.; RORIZ, M. **Métodos alternativos para identificar o absortância solar de superfícies opacas.** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ANTAC, Porto Alegre, 2007b.

DORNOLLES, K.A. **Comportamento espectral de tintas seletivas produzidas no Brasil para pintura de telhados e sua influencia sobre o desempenho térmico e energético de edificações.** X Encontro nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009a.

DORNOLLES, K.A. **Absortância solar da superfícies opacas: base de dados de tintas látex acrílica e PVA e a influência da rugosidade superficial.** X Encontro nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009b.

FERREIRA, J.C.E. **Rugosidades: Planejamento do Processo Assistido por Computador - CAPP.** Apresentação de slides sobre Planejamento do Processo Assistido por Computador – CAPP. UFSC, Departamento de Engenharia Mecânica, 2005.

FIGUEIREDO, E.; CASTRO, A. P. A. S.; LABAKI, L. C.; CARAM, L. **Medidas de refletância de cores para pintura externa exposta ao**

**tempo.** X Encontro nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009.

FONTOYNOT, M. **Daylight performance of Buildings**, James & James Ltd, 1999.

HITACHI. **Diffuse reflectance accessory for the Cary 4 & Cary 5**, 1995

ICHINOSE, M.; INOUE, T.; SAKAMOTO, Y. **Long-term performance of high-reflectivity exterior panels**, Building and Environment, 2009

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

INCROPERA, F. P. AND DEWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**, 5ª edição, Rio de Janeiro, RJ, cap 12 e 13, 2002.

KARLESSI, T., SANTAMOURIS, M., POSTOLAKIS, K., SYNNEFA, A., LIVADA, I. **Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures**, Solar Energy, 2008.

MA, Y.; ZHANG, X; ZHU, B.; WU, K. **Research on reversible effects and mechanism between the energy-absorbing and energy-reflecting states of chameleon-type building coatings**, Solar Energy, Vol 72, No. 6, 2002.

MARCHI, S. R. **Análise da influencia da cor no potencial de aproveitamento da luz natural no ambiente construído**. 2007. 129 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em engenharia mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

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.

PACHECO, M.T.G.; SANTOS, E.I. **Relatório técnico: Calibração dos Luxímetros do LabEEE**, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

PEINANDO, H.; PERES, D. L.; MENEGUETTI, M. P. M. Z. **Resultado de um monitoramento térmico em telhado de fibrocimento**, Revista de Engenharia e Tecnologia, 2009.

PERDIZ, V. A. **Reflectância: Teoria Geral e uso da Esfera Integradora**. Instituto de Atividades Espaciais, Centro Técnico Aeroespacial de São José dos Campos; VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Manaus, 1990.

PEREIRA, C. P. A. **A cor no desenho industrial: fundamentos para o projeto cromático de produtos**. 2000. 183p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Curso de Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

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, 2005.

SANTOS, E.I.; MARINOSKI, D.L.; DORNELLES, K.; CARLO, J.C; RORIZ, M.; LAMBERTS, R. **Manual para abtenção da absorância solar em superfícies opacas**, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

SANTOS, E. I.; MARINOSKI, D. L. M.; LAMBERTS, R. **Influencia do ambiente de medição sobre a verificação da absorância de superfícies opacas utilizando um espectrômetro portátil**. X Encontro nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009.

SANTOS, E.I.; MARINOSKI, D.L.; LAMBERTS, R. **Métodos de verificação de absorâncias em superfícies opacas. Testes com o espectrômetro**, Relatório de atividade , Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

**SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; APOSTOLAKIS, K. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment, Solar Energy, 2006.**

**SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; AKBARI, H. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions, Energy and Buildings, 2007.**

**WIELOCH, M; KLEMM, A. J.; KLEMM, P. Solar energy absorption by acrylic coatings–I: absorption characteristics. Building and Environment 39, 2004.**

**WIGGERS, W.S.; SANTOS, R.A.; HOTZA, D. Evolução do Porcelanato ao Longo do Processo de Polimento. Cerâmica industrial, 2007.**

**WRAY, C.; AKBARI, H. The effects of roof reflectance on air temperatures surrounding a rooftop condensing unit, Energy and Building, 2008.**