RELATÓRIO DE PESQUISA

Financiadora do Projeto:	ELETROBRAS/PROCEL
Titulo:	Métodos para verificação de absortâncias em superfícies opacas (parte 1): Testes com o espectrômetro ALTA II
Data:	10/02/2009
Elaborado por:	Elisiane Isa dos Santos, IC Deivis Luis Marinoski, M.Eng
Equipe técnica:	Elisiane Isa dos Santos, IC Deivis Luis Marinoski, M.Eng Joyce Carlo, Dra. Prof. Roberto Lamberts, PhD
Laboratórios envolvidos:	LabEEE

Sumário

1. INTRODUÇÃO ____ *3*

2. OBJETIVO ____ *3*

3. DESCRIÇÃO DOS APARELHOS ____ *3*

3.1 Espectrômetro ALTA ____ **3**

3.2 Luxímetro ____ **6**

4. METODOLOGIA ____ *7*

4.1 Preparação das amostras ____ **7**

4.2 Uso do ALTA II ____ **9**

4.3 Testes internos ____ **10**

4.3.1 Medições com ALTA II ____ **10**

4.4 Testes externos ____ **15**

4.5 Câmara escura ____ **16**

4.5 Testes de resposta do ALTA II ____ **18**

4.5.1 Testes de resposta do ALTA II em diferentes alturas ____ **18**

4.5.2 Testes de resposta do ALTA II com vedação no equipamento ____ **19**

5. RESULTADOS ____ *20*

5.1 Medições em ambiente Interno x Externo ____ **20**

5.2 ALTA x Luxímetro ____ **23**

5.3 Câmara escura ____ **25**

5.4 Comparação da mesma cor com diferente textura ____ **27**

5.5 Teste de Resposta do ALTA II ____ **29**

5.5.1 Testes de resposta do ALTA II em diferentes alturas ____ **29**

5.5.2 Testes de resposta do ALTA II com vedação no equipamento ____ **31**

5.6 Temperaturas superficiais ____ **33**

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS ____ *38*

REFERÊNCIAS ____ *41*

1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta um estudo sobre a aplicação do espectrômetro ALTA II para a verificação de valores de absortância solar em elementos opacos. Foram utilizadas como amostras de teste 5 cores de tintas disponíveis comercialmente, aplicadas sobre a face de tijolos cerâmicos. As medições foram realizadas em três condições de iluminação: ambiente interno (luz artificial), ambiente externo (luz natural) e em uma câmara escura. Os valores obtidos com o espectrômetro em ambiente interno e externo foram comparados com resultados de absortância encontrados com o uso de um Luxímetro digital. Os resultados das diversas medições são comparados e analisados, assim como aspectos do funcionamento do espectrômetro. Além disso, é apresentado o resultado da verificação das temperaturas superficiais das amostras durantes os testes e a variação desta temperatura em função da cor.

A pesquisa faz parte de um projeto de pesquisa realizado pelo LabEEE/UFSC em convênio com o PROCEL/ELETROBRAS, visando dar suporte ao desenvolvimento de um método de verificação de absorbância em superfícies opacas, para ser utilizado no Brasil.

2. OBJETIVO

Realizar medições da abosrtância solar em superfícies opacas, fazendo uso de um espectrômetro portátil e comparar os resultados destas medições para diferentes tipos e cores de tintas industriais. Comparar também os resultados obtidos com valores obtidos através das medições realizadas com um Luxímetro digital.

3. DESCRIÇÃO DOS APARELHOS

3.1 Espectrômetro ALTA

O Espectrômetro ALTA II foi inicialmente desenvolvido para fins pedagógicos pelo Lunar and Planetary Institute, localizado em Houston, Texas (EUA). O

instrumento ALTA II (Figura 1) mede a quantidade de energia em mV. 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 2) encontra-se um orifício circular com um círculo de lâmpadas em seu interior, cada uma das lâmpadas corresponde a um botão da parte frontal, que quando pressionado o botão, acende-se a lâmpada correspondente, assim emitindo energia (Figura 3). 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 uma tela LED que indica o quanto de energia foi refletida em forma de voltagem (mV). Quando ligado, o instrumento faz uma leitura mesmo não sendo pressionado nenhum botão, este valor é chamado “Dark Voltage” (tensão escura ou voltagem do fundo), é a quantidade de energia captada pela luz que infiltra entre o aparelho e a amostra. A Figura 1 mostra a imagem do espectrômetro ALTA II.

Figura 1. Espectrômetro ALTA II.

Na Figura 2 pode-se observar o conjunto de lâmpadas do espectrômetro ALTA II, representando cada comprimento de onda. Pode se observar também o sensor que detecta a energia refletida.

Figura 2. 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 (IV1), IR2 (IV2), IR3(IV3) e IR4(IV4). A Figura 3 mostra um exemplo do acendimento da lâmpada quando pressionado o botão Green correspondente ao comprimento de onda de 560nm.

Figura 3. Espectrômetro ALTA II emitindo energia

A Tabela 1 mostra os valores dos comprimentos de onda do Espectrômetro ALTA II representados por cores dentro da faixa do visível e a Tabela 2 apresenta os comprimentos de onda na faixa do infravermelho.

Tabela 1. Comprimentos de onda na faixa do visível.

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

Tabela 2. Comprimentos de onda na faixa do infravermelho.

Região do infravermelho	Comprimento de onda (nm)
IR1	765
IR2	810
IR3	880
IR4	940

3.2 Luxímetro

O Luxímetro digital Minipa modelo MLM-1332 (Figura 4), é um fotômetro que consiste de um sensor fotométrico com um filtro de correção óptica, conectado a um circuito de tratamento de sinal com um visor digital. Esse equipamento usado para medir a luminosidade de um ambiente, podendo ser utilizado para determinar a absortância de uma área plana. O Luxímetro mede a quantidade de luz em Lux com faixa de 200Lux, 2000Lux, 20000Lux (leitura x10), 200000Lux (leitura x100). Possui uma fotocélula em forma de calota esférica.
A Figura 4 apresenta o luxímetro digital e sua fotocélula.

Figura 4. Luxímetro digital

4. METODOLOGIA

A metodologia consiste na preparação das amostras, calibração dos instrumentos e na descrição dos testes realizados.

Sendo que este experimento tem por objetivo obter absortâncias de superfícies opacas, então, para isso foram realizados testes com os instrumentos ALTA II e o Luxímetro, em ambientes internos e externos, visando à comparação dos dois devido à diferença de luz e a interferência da quantidade de luz nos dois ambientes. Tudo foi fotografado e também obtidas as temperaturas superficiais das amostras.

Para averiguação da confiabilidade do instrumento ALTA II, foram feitos testes com um aparato denominado Câmara escura, o qual fornece uma simulação de uma situação de um ambiente totalmente sem luz, o que deixa o experimento exposto à espécie alguma de fonte luminosa, assim não havendo infiltração de luz que possa interferir nos resultados.

Também foram comparados os resultados obtidos para tintas da mesma cor, uma sendo Látex PVA e a outra Acrílica semi-brilho.

4.1 *Preparação das amostras*

As amostras são 6 tijolos com superfícies opacas pintadas com 5 diferentes cores e 2 tipos de tintas (PVA e semi-brilho). Foram escolhidos tijolos para amostras, pois o espectrômetro ALTA fica posicionado perfeitamente em cima das mesmas, assim o equipamento fica equilibrado, evitando possibilidades de

infiltrações de luz. Os seis tijolos foram selecionados pela sua superfície plana e sem rugosidade como mostra a Figura 5.

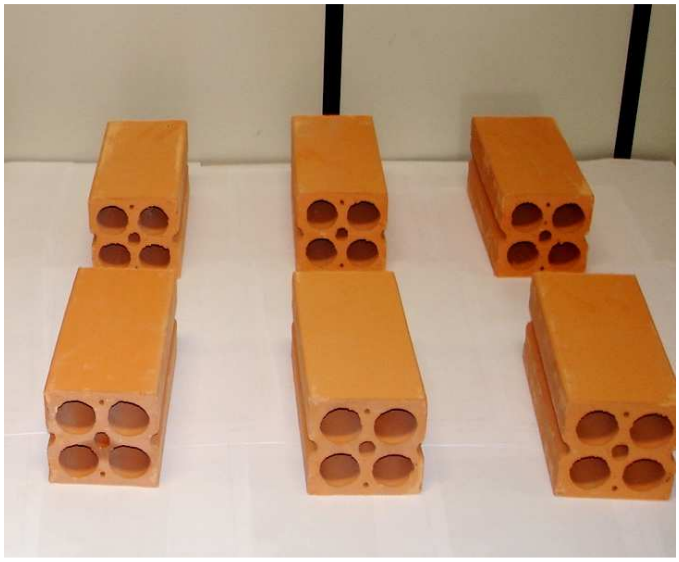

Figura 5. Tijolos de superfície plana.

As amostras são preparadas aplicando-se uma camada de tinta Látex PVA cinza para formar um fundo de modo que a cor da superfície dos tijolos não interfira nas medições. A Figura 6 mostra as amostras com a aplicação da cor de fundo cinza.

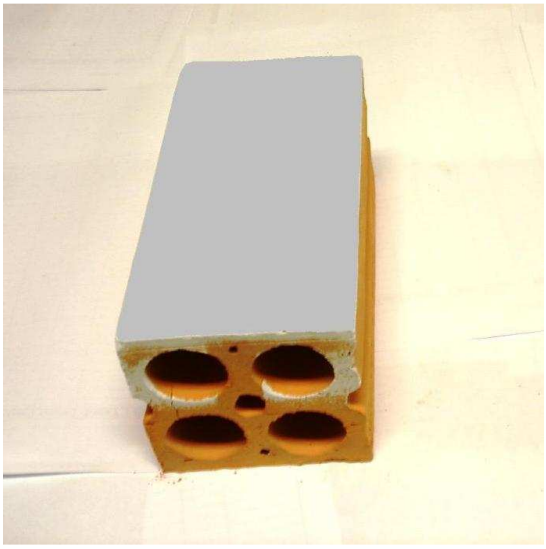

Figura 6. Amostras com fundo cinza.

Para confecção das amostras escolheu-se 5 diferentes cores básicas de tintas da marca “Suvinil”, do tipo látex PVA e acrílica semi-brilho. Para látex PVA nas cores: branca, rosa pétala, azul celestial, terracota e preta. Para acrílica semi-

brilho na cor azul celestial. Em cada amostra aplicam-se duas camadas da tinta selecionada em cima do fundo cinza.

A Figura 7 apresenta as amostras prontas para a experimentação, sendo duas da mesma cor azul celestial, nos tipos látex PVA e acrílica semi-brilho.

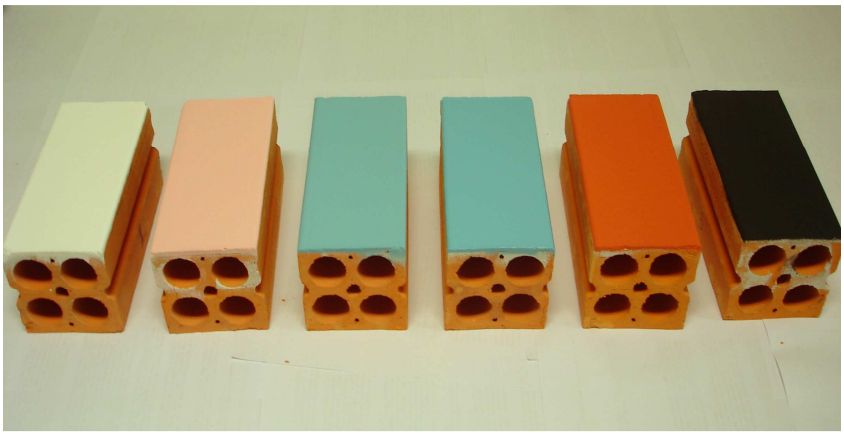

Figura 7. Amostras prontas para experimentação.

4.2 *Uso do ALTA II*

O aparelho ALTA II mede a quantidade de energia (gerando um sinal correspondente em mV) que é refletida de volta, com alguns processos matemáticos pode-se determinar a absortância da amostra em porcentagem.

Durante a coleta de dados, o posicionamento do equipamento deve ser feito colocando-se o espectrômetro sobre a superfície das amostras, sem deixar que o sensor seja atingido por qualquer fonte de energia luminosa, como apresenta a Figura 8.

Figura 8. Espectrofotômetro posicionado na amostra.

4.3 *Testes internos*

Foram realizados testes em local fechado, com luz ambiente do tipo lâmpadas fluorescente e sem infiltração de luz externa (luz solar), utilizando três equipamentos, o espectrômetro ALTA II, o Luxímetro digital e Termômetro infravermelho. Pretende-se encontrar a absortância da amostra com o espectrômetro ALTA II, a absortância da amostra relativa à quantidade de luz ambiente fazendo uso da luxímetro digital, e, a temperatura das amostras usando um termômetro infravermelho.

4.3.1 Medições com ALTA II

Para as medições com o espectrômetro ALTA foram adotados como referência dados obtidos em espectrofotômetro da marca Varian modelo CARY 5G para uma determinada superfície que apresente elevada refletância. Nestas medições, adota-se como referência uma folha de papel branco comum (papel branco Ripax, 75g/m²), cuja curva de reflexão espectral é apresentada na Figura 9 (Dornelles, 2008).

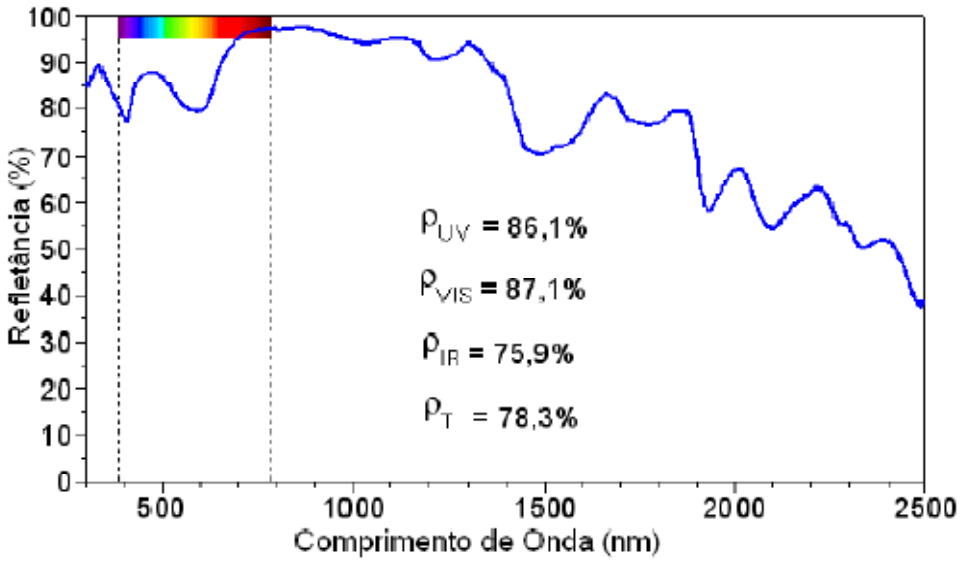

Figura 9. Curva de reflexão espectral do papel branco Ripax 75g/m^2.

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 da 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 1:

$$\rho_{(\lambda)amostra} = \left(\frac{V_{amostra} - V_{fundo}}{V_{referência} - V_{fundo}} \right) \times \rho_{referência} \qquad \text{[Eq. 1]}$$

Dado que:

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

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

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

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

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

Para se chegar à quantidade de energia relativa que é absorvida pelas superfícies, os valores de refletância obtidos para cada amostra devem ser 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 seguinte procedimento 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 o valor da irradiação solar padrão, com energia refletida pela amostra em cada intervalo de comprimento de onda (Eq. 2):

$$I_{(\lambda)\,\mathrm{Re}\,fle} = I_{(\lambda)} \times \rho_{(\lambda)\,Amostra} \qquad \text{[Eq. 2]}$$

Tendo:

$I_{(\lambda)Refle}$ = irradiação do espectro solar padrão refletida pela amostra, por comprimento de onda ($wm^{-2}nm^{-1}$);

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

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

(b) Obtém-se a curva integral da quantidade de irradiação no espectro solar padrão, com energia refletida, para um intervalo de comprimento de onda desejado (Eq. 3):

$$IR_{(\lambda_{b-a})\,\mathrm{Re}\,fle} = \frac{(I_{(\lambda)_a\,\mathrm{Re}\,fle} + I_{(\lambda)_b\,\mathrm{Re}\,fle}) \times (\Delta\lambda_{b-a})}{2} \qquad \text{[Eq. 3]}$$

Com:

$IR_{(\lambda_{b-a})Refle}$ = intensidade de irradiação solar global refletida pela amostra, por intervalo de comprimento de onda (W/m^2);

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

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

(c) Calcula-se a intensidade de irradiação solar refletida total para cada amostra, nos intervalos de medição do ALTA II (Eq. 4):

$$IR_{\text{Re } fle.Total} = IR_{(525-470)} + IR_{(560-525)} + IR_{(585-560)} + IR_{(600-585)} + IR_{(645-600)} + IR_{(700-645)} + IR_{(735-700)} + IR_{(810-735)} + IR_{(880-810)} + IR_{(940-880)} \quad \text{[Eq. 4]}$$

Tendo:

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

$IR_{(\lambda_{b-a})Refle}$ = intensidade de irradiação solar global refletida pela amostra, por intervalo de comprimento de onda (W/m^2);

(d) Determina-se a intensidade total da irradiação no espectro solar padrão, ao longo da faixa espectral de interesse (Eq. 5)

$$IR_{(\Delta\lambda)Total} = \sum_{\lambda=470}^{\lambda=940} \frac{(I_{(\lambda)} + I_{(\lambda+1)})_{Global} \times \Delta\lambda_{(\lambda+1)-\lambda}}{2} \quad \text{[Eq. 5]}$$

Sendo:

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

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

(e) Faz-se o cálculo da refletância total da amostra (Eq. 6) e da absortância total da amostra (Eq. 7):

$$\rho_{amostra} = \frac{IR_{\text{Re } fle.Total}}{IR_{(\Delta\lambda)Total}} \quad \text{[Eq. 6]}$$

$$\alpha_{amostra} = 1 - \rho_{amostra} \quad \text{[Eq. 7]}$$

Onde:

$\rho_{amostra}$ = refletância da amostra (%)

$\alpha_{amostra}$ = absortância da amostra (%)

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

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

4.1.2 Medições com Luxímetro digital

Para as medições com o luxímetro deve-se adotar como referência valores encontrados para papel branco, atribuindo-se a ele uma refletância de 90%.

O luxímetro é posicionando com a fotocélula a uma distancia de 5cm da superfície a ser medida.

Usa-se o procedimento de medir o nível de iluminância refletida pelo papel e logo em seguida medir o nível de iluminância refletida pela amostra. Repete-se o procedimento 3 vezes.

Depois de medido o nível de iluminância refletida pela superfície da amostra, compara-se com o nível de iluminância refletida pelo papel branco utilizando a Equação 10:

$$\rho = \frac{E_c \cdot 90}{E_p} \qquad \text{[Eq 10]}$$

ρ = refletância da cerâmica (%);

E_c = Nível de iluminância refletida pela cerâmica (lux);

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

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

Efetuado o cálculo para todas as observações, obtém-se uma média aritmética dos valores da refletância. Através da Equação 11 é encontrado o valor de absortância da amostra.

$$\alpha = 100 - \rho \qquad \text{[Eq 11]}$$

α = absortância da amostra (%);

ρ = refletância da amostra (%).

4.1.3 Termômetro infravermelho

Para as medições com o Termômetro infravermelho digital Fluke modelo 66 (Figura 10), adotou-se emissividade ε = 0,95, escolhendo como unidade de medida de temperatura graus Celsius.

Mede-se a temperatura em graus Celsius apontando o termômetro para a amostra, logo após cada medição feita com o espectrômetro ALTA II para cada comprimento de onda. Faz-se uma média entre as medições e obtém-se a temperatura de cada amostra.

Figura 10. Termômetro infravermelho digital Fluke 66.

4.4 Testes externos

Os testes realizados em local aberto com luz solar direta, são feitos com três equipamentos, o espectrômetro ALTA II, o Luxímetro digital e a Câmera infravermelha Flir modelo e25 (Figura 11), visando encontrar as absortâncias e temperaturas das amostras, no momento em que são realizados os testes.

Figura 11. Câmera infravermelha Flir e25.

O céu deve estar totalmente sem nuvens para que não haja variações da quantidade de radiação solar, a qual as amostras estarão expostas, nem interferência das variações das mesmas nas medições com luxímetro. As amostras são colocadas ao sol, meia hora antes da experimentação

Seguem-se as medições com o espectrômetro ALTA II e o luxímetro digital assim como nas medições realizadas em ambiente interno. E fazem-se os mesmos cálculos para encontrar os valores as absortância medidas com o ALTA II e o luxímetro.

Para medição das temperaturas das amostras, utiliza-se a câmera infravermelha. A câmera infravermelha é um dispositivo de medição à distância que detecta energia emitida pela amostra na faixa do infravermelho (calor), e usando um programa computacional, pode-se identificar a temperatura em qualquer ponto do corpo fotografado pela câmera.

Depois de fotografada a amostra, verifica-se a temperatura em cinco pontos da imagem da amostra, nos cantos e no centro, calcula-se uma média e obtém-se uma temperatura média para a amostra no momento das medições.

4.5 Câmara escura

Esta parte do experimento é feita com uma câmara escura confeccionada, para obter valores de absortância sem qualquer possibilidade de infiltração de luz entre o Espectrômetro ALTA II e a amostra.

Confeccionou-se a câmera escura escolhendo uma caixa próxima ao tamanho e altura do aparelho ALTA II e da amostra e com dimensões que permitam ajustes de altura do ALTA em seu interior, como apresentado na Figura 12.

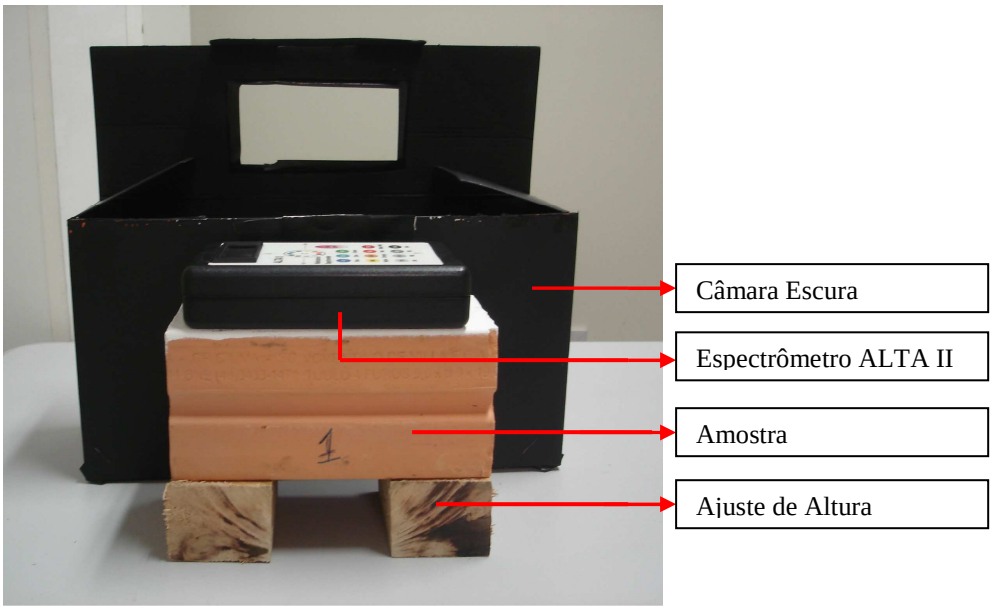

Figura 12. Altura do aparato experimental, comparada com a amostra a ser testada.

O aparato deve ser bem vedado, para impedir qualquer tipo de infiltração de luz, tanto solar quanto ambiente, deixando apenas uma abertura frontal (Figura 14), 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 possibilidade de infiltração de luz.

Na Figura 13 observa-se a abertura na câmara escura deixando exposta a frente do espectrômetro.

Figura 13. Abertura na câmara, deixando exposta a frente do espectrômetro.

As amostras serão testadas, comparando os resultados encontrados, para absortâncias obtidas com o espectrômetro ALTA II, com os resultados dos testes feitos em ambiente interno e externo.

4.5 Testes de resposta do ALTA II

Para os teste de resposta do ALTA II, serão feito dois procedimentos, um variando a distâncias entre o equipamento e a amostra , e o outro procedimento utilizando uma vedação no espectrômetro de maneira a impedir qualquer infiltração de luz.

4.5.1 Testes de resposta do ALTA II em diferentes alturas

Os testes serão realizados com auxílio da câmara escura, já que a mesma simula um ambiente sem interferência da iluminação existente sobre o equipamento. Será testada a amostra de tinta Branca Látex PVA, a esta ficará posicionada dentro da câmara escura em diferentes distâncias com relação ao equipamento. Essas distâncias serão controladas por pequenos suportes de madeira, posicionados entre o equipamento e a amostra, nas alturas de 1,0 e 1,6 cm como mostra a Figura 14.
A Figura 15 apresenta o Espectrômetro posicionado a uma altura de 1,0 cm da amostra a ser testada.

Figura 14. Amostra a ser testada com distância de 1,0 cm do equipamento.

Os resultados obtidos para as distâncias de 1,0 e 1,6 cm, serão comparados com o resultado para a distância zero, ou seja, o resultado para a tinta de cor Branca látex PVA, dentro da Câmara escura, teste realizado no item 4.3.

4.5.2 Testes de resposta do ALTA II com vedação no equipamento

Para amenizar possíveis infiltrações de luz entre o Espectrômetro ALTA II e as amostras, no momento da medição, optou-se por uma vedação ao equipamento.

A vedação é feita por uma fita emborrachada, fixada na parte de baixo do equipamento, como mostra a figura 16.

Quando posicionado o ALTA sobre a amostra, a fita emborrachada irá aderir à amostra (Figura 15) não permitindo assim passagem de luz entre o equipamento e a amostra. Deve-se tomar cuidado para essa fita não tampar ou ficar na frente do conjunto de lâmpadas na região esférica do sensor.

Na Figura 16 podem-se observar as fitas de vedação coladas no Espectrômetro.

Figura 15. Espectrômetro ALTA II com fitas de vedação.

As medições serão feitas dentro e fora da câmara escura com a amostra de tinta Branca Látex PVA, e comparadas com as medições dentro e fora da câmara escura, porém sem as fitas de vedação, testes realizados nos itens 4.1 e 4.3.

5. RESULTADOS

5.1 Medições em ambiente Interno x Externo

A partir das medições com o ALTA II obtém-se o valor percentual das absortâncias para cada amostra, em cada intervalo de comprimento de onda disponível (470nm até 940 nm). Esses dados são encontrados tanto para ambiente interno e externo. A Tabela 3 mostra a comparação desses valores para as amostras de diferentes cores de tinta Látex PVA e Acrílica semi-brilho (AsB).

Tabela 3. Absortâncias para diferentes tipos e cores de tinta dentro de cada intervalo de onda do ALTA II

Comp. (nm)	Tinta Branca PVA Absortância (%)		Tinta Rosa pétala PVA Absortância (%)		Tinta Azul Celeste PVA Absortância (%)		Tinta Azul Celeste AsB Absortância (%)		Tinta Terracota PVA Absortância (%)		Tinta Preta PVA interno Absortância (%)	
	Inter.	Exter.	Inter.	Exter.	Inter.	Exter.	Inter.	Exter.	Inter.	Exter.	Inter.	Exter.
470 a 525	15	9	45	42	53	54	54	56	85	85	94	95
525 a 560	16	0	42	33	61	59	63	63	79	75	94	94
560 a 585	20	1	37	26	67	62	70	69	73	67	94	94
585 a 600	22	11	29	22	73	72	77	77	63	60	95	95
600 a 645	25	19	28	25	75	75	79	79	57	57	96	96
645 a 700	23	21	26	26	73	74	77	78	52	54	96	96
700 a 735	19	35	23	38	71	77	77	82	46	59	96	97
735 a 810	17	34	22	38	61	67	66	76	45	59	96	97
810 a 880	12	12	17	19	43	47	50	59	48	47	95	96
880 a 940	9	11	14	19	41	46	49	54	48	47	95	96

Através dos valores da Tabela 3, pode se obter um valor de absortância total para cada cor e tipo de tinta. Esses valores estão representados na Tabela 4.

Tabela 4. Valores médios de absortância para diferentes tipos e cores de tinta.

Tinta Branca PVA		Tinta Rosa pétala PVA		Tinta Azul Celeste PVA		Tinta Azul Celeste AsB		Tinta Terracota PVA		Tinta Preta PVA interno	
Inter.	Exter.	Inter.	Exter.	Inter.	Exter.	Inter.	Exter.	Inter.	Exter.	Inter.	Exter.
17 %	16%	29%	30%	61%	63%	65%	69%	60%	62%	95%	96%

Os valores ficam bem próximos em cada amostra testada em ambiente interno e externo, sendo que somente na amostra da tinta Branca PVA, o valor médio para absortância é inferior com a amostra exposta ao sol, nas demais amostras, os valores são sempre superiores para as amostras expostas ao sol.

A figura a seguir (Gráfico 1) apresenta os valores das absortância, para as 6 amostras testadas em ambiente interno (lâmpadas fluorescentes), encontrados através do espectrômetro ALTA II, estando os valores integrados nos intervalos de comprimento de onda do ALTA II (470nm à 940 nm).

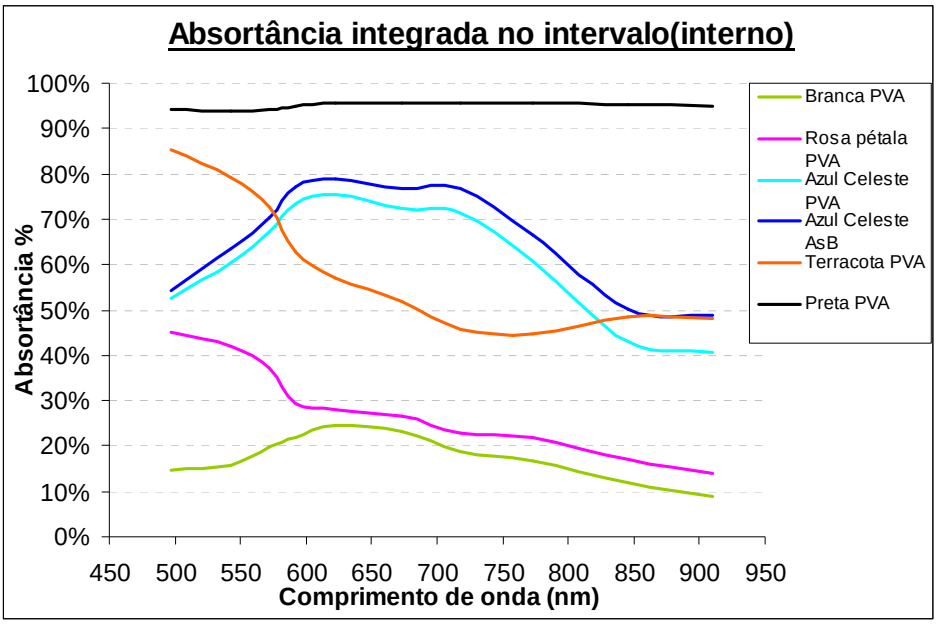

Gráfico 1. Dados obtidos para absortância com o espectrômetro ALTA II para ambientes internos.

Os valores para absortância integradas nos intervalos do espectrômetro ALTA II, para amostras exposta a luz solar (ambiente externo), são representados pelo Gráfico 2.

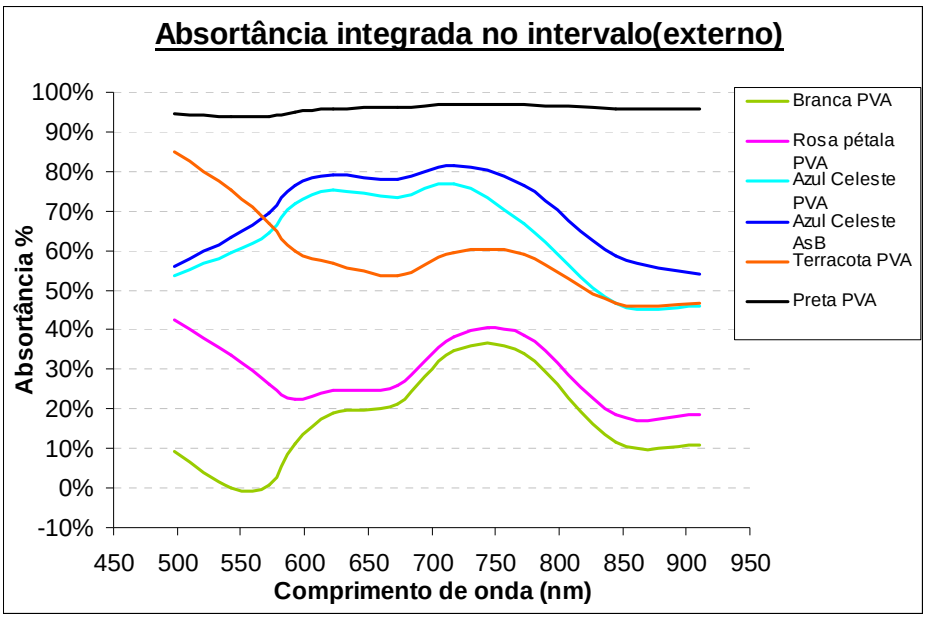

Gráfico 2. Dados obtidos para absortância com o espectrômetro ALTA II para amostras expostas ao sol(ambiente externo).

Podemos perceber que, embora os valores médios (Tabela 4) sejam próximos para os dois ambientes (interno e externo), nos Gráficos 1 e 2 a variação do valor da absortância em alguns comprimentos de onda sofre uma alteração significativa. Por exemplo, no ambiente interno as cores branca e rosa pétala, apresentam uma curva espectral mais regular a partir de 600nm, enquanto no externo, a curva espectral apresenta maiores alterações de absortância a partir deste mesmo ponto.

Também foram realizados testes com Luxímetro digital nos dois ambientes, o Gráfico 3 apresenta a comparação desses resultados.

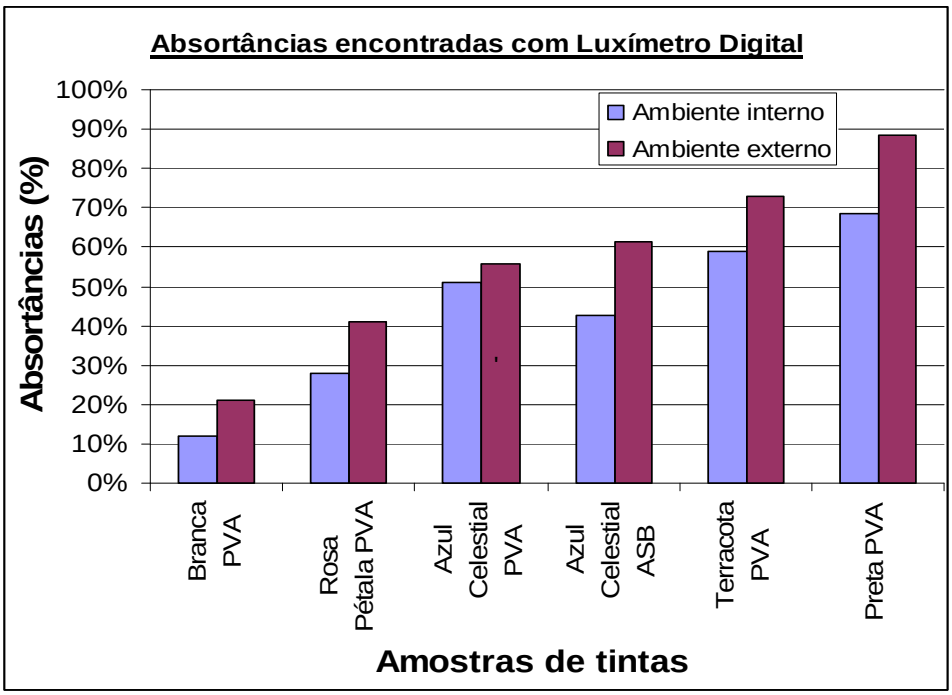

Gráfico 3. Absortâncias obtidas através o instrumento Luxímetro para ambientes interno e externo

5.2 ALTA x Luxímetro

As medições foram feitas em ambiente interno, com luz ambiente (luz fluorescente), ou seja, em ausência de luz solar, e em ambiente externo com as amostras expostas a radiação solar direta.

Os dados de iluminância foram coletados, com o Luxímetro, no mesmo momento em que foram coletados os dados com o ALTA II.

A comparação com o Luxímetro é importante, pois o Luxímetro pode ser usado como uma alternativa simplificada para determinar a absortância dos materiais, e observar se os valores encontrados com o Luxímetro são coerentes com os valores encontrados pelo ALTA II.

5.2.1 Ambiente interno

Os valores das absortâncias obtidas em porcentagem para cada amostra, como o Luxímetro digital e com o espectrômetro ALTA II, em ambiente interno, são apresentados no Gráfico 4. O Gráfico mostra a comparação desses valores de absortância dados em porcentagem para as diferentes amostras de tintas.

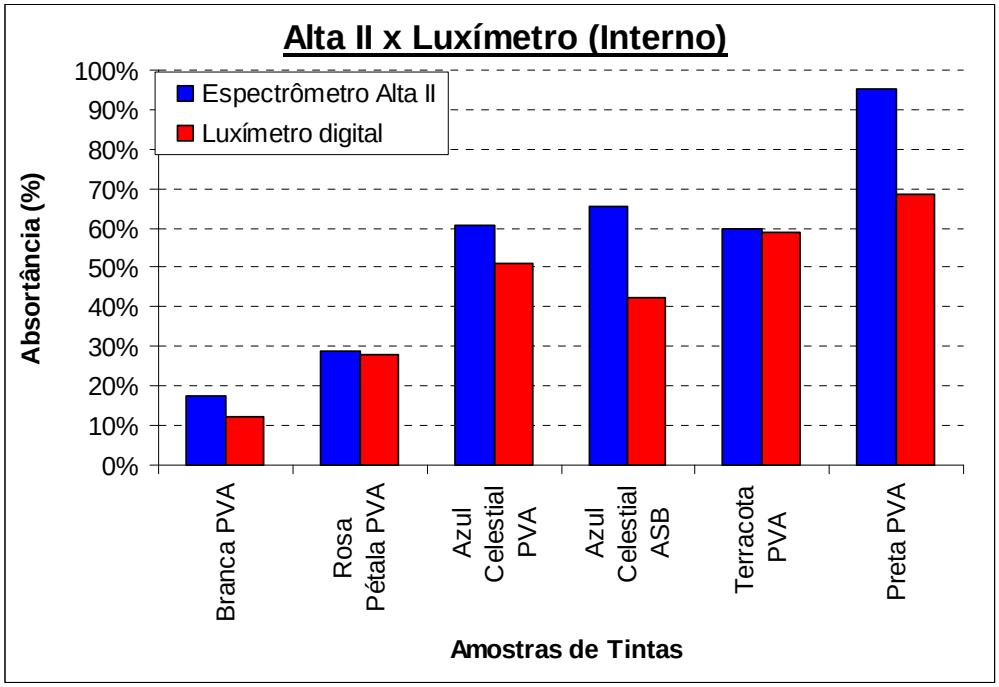

Gráfico 4. Absortâncias obtidas através dos instrumentos Luxímetro e ALTA para ambiente interno.

Observa-se que os valores das absortâncias encontrados para o luxímetro digital foram inferiores aos encontrados com o espectrômetro, em ambiente interno. Em alguns casos a variação entre os resultados dos sensores foi pequena (valores da tinta branca, rosa pétala e Terracota obtidos com o luxímetro ligeiramente inferior aos valores do ALTA), mas no caso das tintas de cor azul celestial e preta a variação foi significativa, chegando a uma diferença de mais de 20% no caso desta última.

5.2.2 Ambiente Externo

O Gráfico 5 mostra a comparação feita dos valores das absortâncias encontrados para os instrumentos ALTA II e Luxímetro digital, sendo as medidas realizadas com as amostras expostas ao sol (ambiente externo). Pode se observar que não há uma predominância de maior valor das absortâncias para um determinado instrumento. Diferente do que aconteceu na medição em ambiente interno, agora as absortâncias das tintas branca, rosa pétala e Terracota obtidas com o luxímetro apresentam valores acima dos valores observados com o espectrômetro ALTA. A maior variação aconteceu na amostra de tinta Terracota, com uma diferença de aproximadamente 11% a

mais para o luxímetro. Enquanto isso, a variação dos resultados dos dois instrumentos para as tintas Azul celeste e preta, que antes chega a ultrapassar 20%, caiu para no máximo 9%.

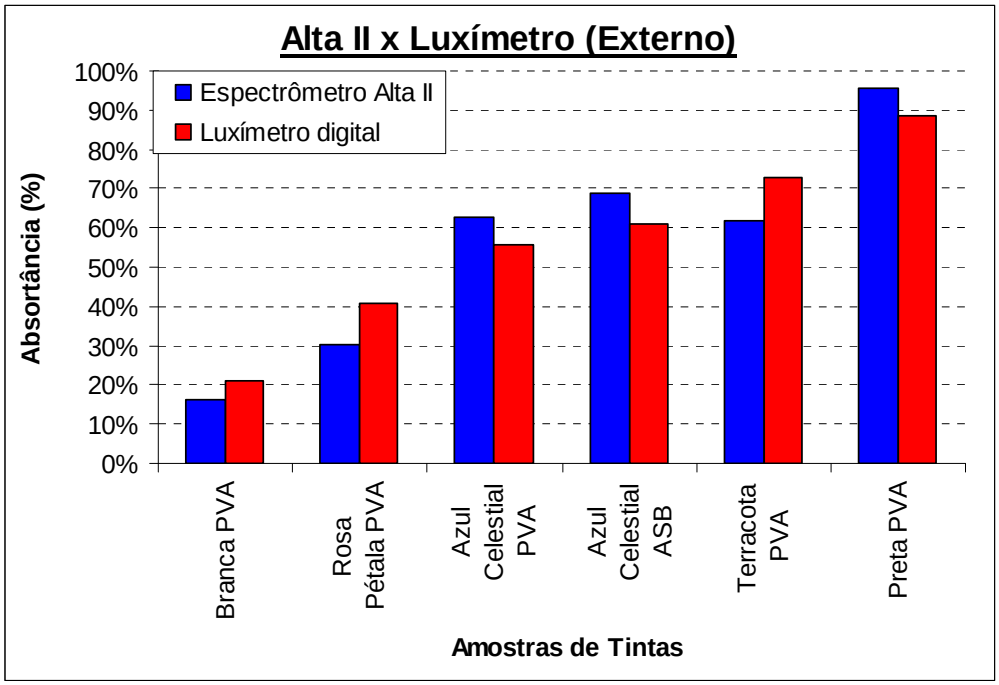

Gráfico 5. Absortâncias obtidas através dos instrumentos Luxímetro e ALTA para ambiente externo.

5.3 Câmara escura

Agora, os valores das absortâncias encontrados com os testes feitos com as amostras dentro da câmara escura são comparados aos valores obtidos fora da câmara escura (exposto a iluminação artificial). Os Gráficos 6 ao 11, apresentam essas comparação.

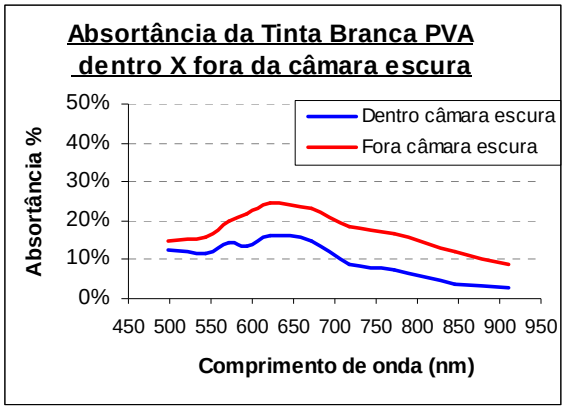

Gráfico 6. Absortâncias dentro e fora da câmara escura para a amostra de tinta Branca.

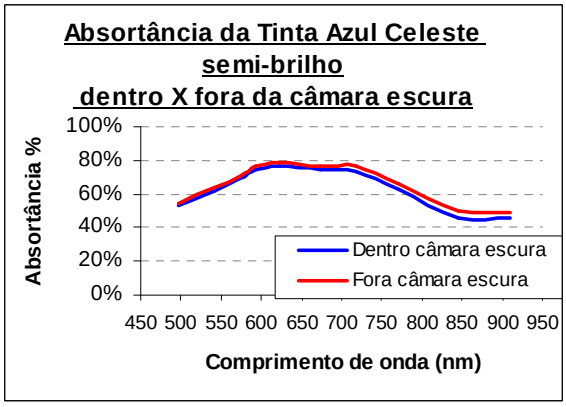

Gráfico 9. Absortâncias dentro e fora da câmara escura para a amostra de tinta Azul Celeste Semi-brilho.

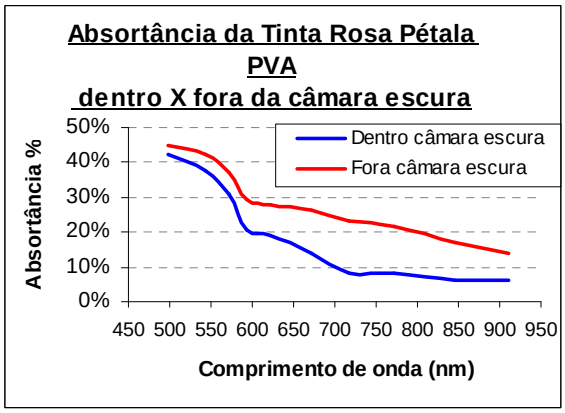

Gráfico 7. Absortâncias dentro e fora da câmara escura para a amostra de tinta Rosa Pétala.

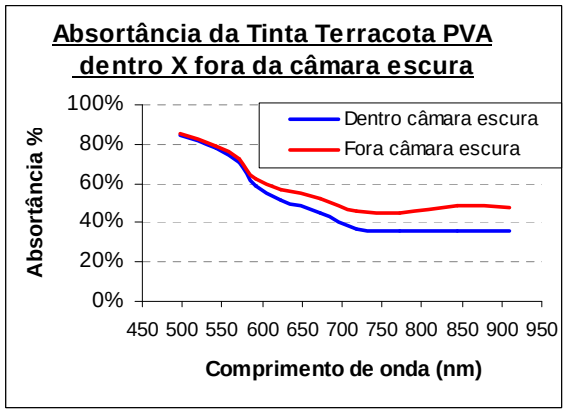

Gráfico 10 . Absortâncias dentro e fora da câmara escura para a amostra de tinta Terracota.

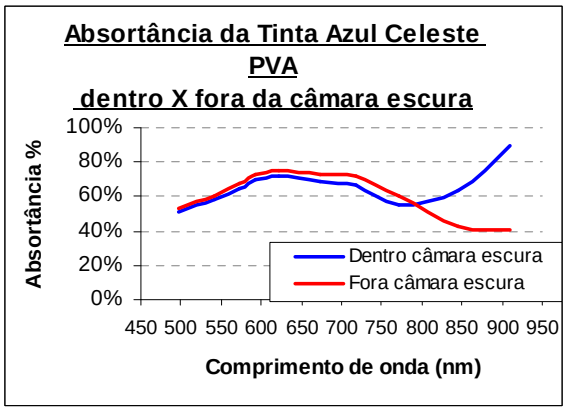

Gráfico 8. Absortâncias dentro e fora da câmara escura para a amostra de tinta Azul Celeste Látex PVA.

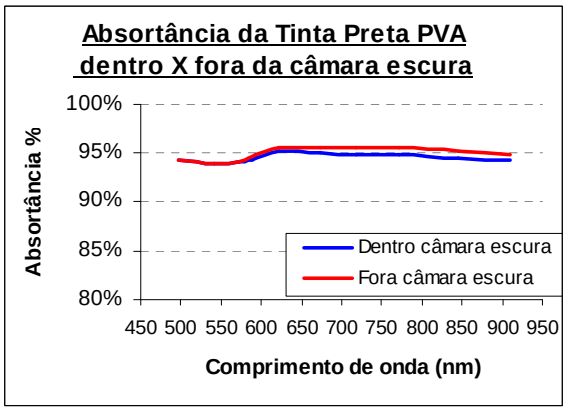

Gráfico 11. Absortâncias dentro e fora da câmara escura para a amostra de tinta Preta

Através dos valores apresentados pelos Gráficos 6 a 11, pode se obter um valor de absortância total para cada cor e tipo de tinta, tendo assim noção da

quantidade de radiação absorvida pela superfície em que foi aplicada a tinta. Esses valores estão representados na Tabela 5, para dentro e fora da câmara escura.

Tabela 5. Absortâncias integradas para a amostra dentro da câmara escura X fora da câmara escura.

Tinta Branca PVA		Tinta Rosa pétala PVA		Tinta Azul Celeste PVA		Tinta Azul Celeste AsB		Tinta Terracota PVA		Tinta Preta PVA interno	
Dento	Fora	Dentro	Fora	Dentro	Fora	Dentro	Fora	Dentro	Fora	Dentro	Fora
10 %	18%	19%	28%	66%	62%	64%	66%	53%	60%	95%	95%

Observa-se aqui uma maior sensibilidade a presença de luz visível por parte das tintas branca, rosa e terracota. Assim como na medição com o luxímetro (detecção no espectro visível) o aumento da intensidade da luz ocasionou um valor maior de absortância, agora a também a alternância entre inexistência de luz e a exposição à luz durante o teste, resultou numa elevação do valor da absortância na segunda situação. Esta elevação variou de 7% a 9%.

Nas demais cores (azul celeste semi-brilho e preto) esta variação não foi muito significativa como mostraram as curvas dos gráficos 8 e 10. Apenas no caso do Azul celeste PVA, houve uma maior alteração da absorção na região do IV, durante a medição na câmara escura (gráfico 8).

5.4 Comparação da mesma cor com diferente textura

Também foi realizada uma comparação com tintas de mesma cor, mas com textura (acabamento) diferente, para verificar o comportamento da absortância. Usando a amostra de tinta na cor azul celeste tipo látex PVA (fosco) e tipo acrílico semi-brilho, foram comparados os resultados dos dados coletados em ambiente interno e externo com o espectrômetro ALTA II.

5.4.1 Azul Celeste PVA X Azul Celeste Acrílica Semi-Brilho (interno)

O Gráfico 12 apresenta a absortância integrada no intervalo de comprimento de onda entre 450nm e 950 nm, para a tinta azul celeste acrílica semi-brilho e azul celeste látex PVA**.**

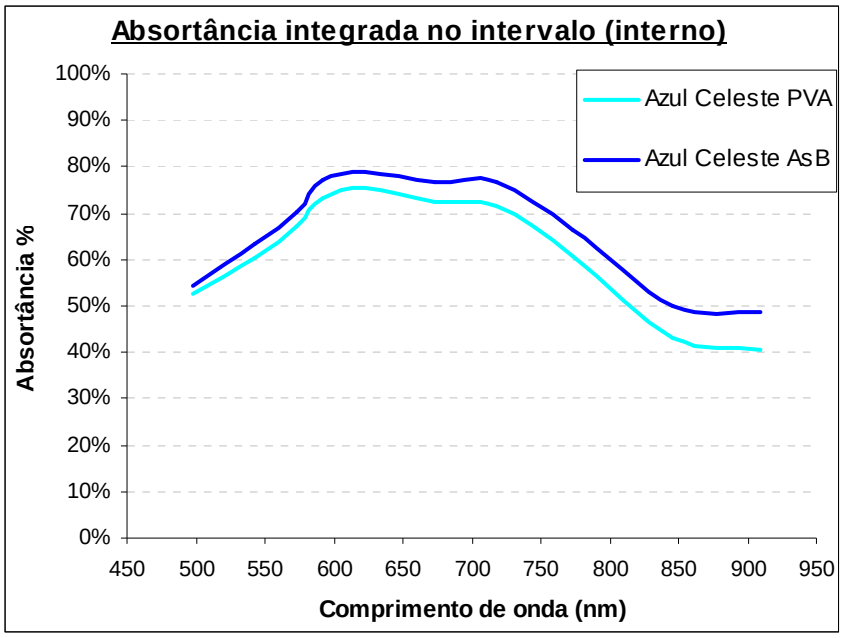

Gráfico 12. Absortância integrada no intervalo para tinta azul celeste com texturas diferentes, em ambiente interno.

A tinta azul celeste acrílica semi-brilho apresenta maior absortância no intervalo de comprimento de onda, tanto na faixa do infravermelho quanto na faixa do visível, tendo uma absortância total de 65 %, enquanto a amostra azul látex PVA, tem uma absortância total de 61%.

5.4.2 Azul Celeste PVA X Azul Celeste acrílica Semi-Brilho (externo)

Com o experimento realizado em ambiente externo, ou seja, com a amostra exposta a luz solar, assim como no ambiente interno, obtém-se um valor superior para a absortância total da tinta azul celeste acrílica semi-brilho de 69%, enquanto a mesma cor, mas com acabamento em látex PVA, apresenta uma absortância mais baixa de 63%.

O Gráfico 13 apresenta as curvas das absortância integradas nos intervalos entre 450nm e 950nm para tinta azul celeste nas texturas acrílica semi-brilho e látex PVA.

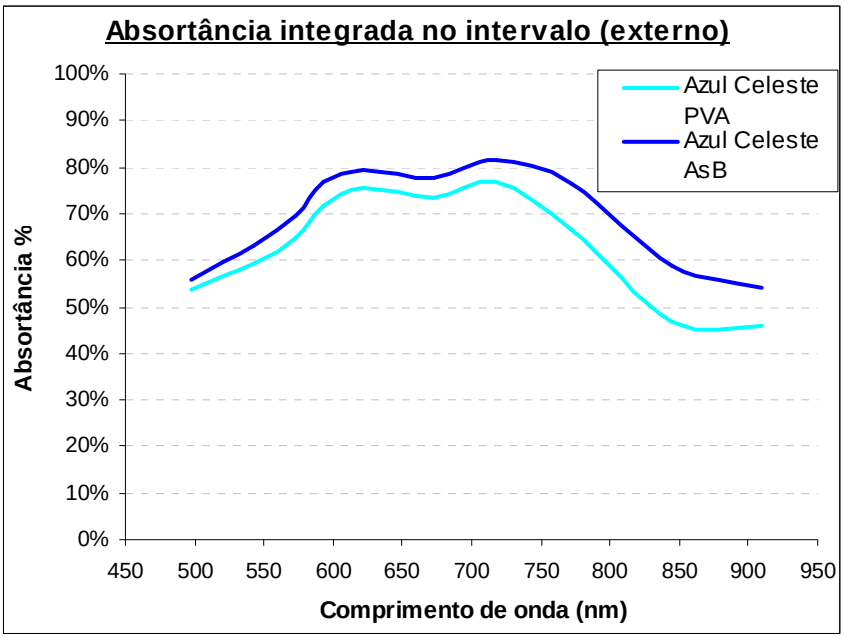

Gráfico 13. Absortância integrada no intervalo para tinta azul celeste com texturas diferentes, em ambiente externo.

Tanto em ambiente externo quanto interno a amostra com acabamento em acrílico semi-brilho apresentou uma absortância superior que a tinta látex PVA, mostrando assim que a absortância da tinta não depende apenas da cor, mas também de sua composição.

5.5 Teste de Resposta do ALTA II

Testes foram realizados para obter resultados quanto as resposta do ALTA II, visando comparar possibilidades e a viabilidade de aplicação do equipamento quando alterada sua configuração normal de utilização.

5.5.1 Testes de resposta do ALTA II em diferentes alturas

O experimento foi realizado para observar se variações de distâncias entre o espectrômetro e a amostra pudessem dar diferenças significativas nos valores das absortâncias da amostra testada. Para não ocorrer interferência de luz infiltrada entre o equipamento e a amostra, e experimento foi realizado com auxílio da câmara escura, assim isolando o aparato de qualquer fonte luminosa.

Os resultados encontrados são apresentados no Gráfico 14 e mostram os valores das absortâncias integradas nos intervalos entre 450nm e 950nm, para a amostra de tinta Branca Látex PVA, estando o equipamento em contato com a amostra (altura zero) e com as distâncias de 1,0 cm e 1,6 cm de altura entre o equipamento e a amostra.

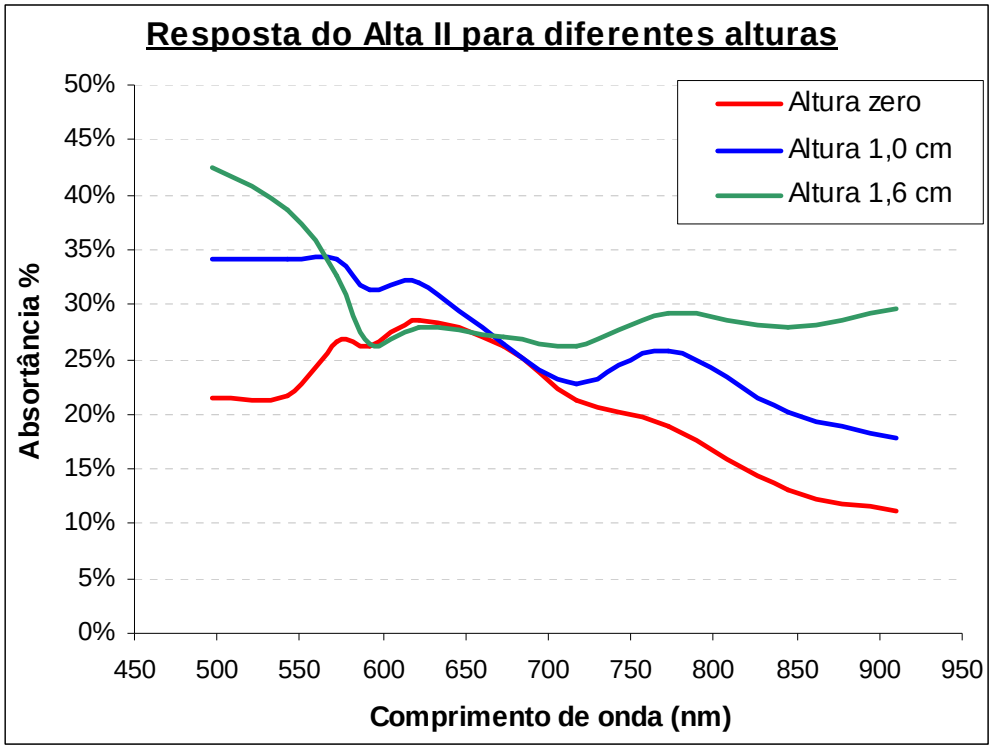

Gráfico 14. Absortâncias encontradas para diferentes alturas do Espectrômetro ALTA II.

As absortâncias médias para a amostra de tinta Branca são apresentadas na Tabela 6 e pode-se observar que quanto maior a altura entre o Espectrômetro e a amostra, maior a leitura de energia feita pelo equipamento, não havendo interferência de iluminação externa.

Tabela 6. Absortâncias integradas para a amostra de tinta Branca PVA dentro da câmara escura em diferentes alturas

Altura	Absortância
Zero	10%
1,0 cm	28%
1,6 cm	31%

A variação da altura interfere diretamente nos resultados, pois com maior altura a quantidade de radiação que deveria chegar ate a amostra se perde por essa

fenda (espaço) entre a amostra e o equipamento, o mesmo acontece com a radiação refletida pela amostra que não chega no seu todo ao sensor do equipamento. Por isso o equipamento faz uma leitura da quantidade menor da radiação refletida, conseqüentemente o valor da absortividade aumenta.

5.5.2 Testes de resposta do ALTA II com vedação no equipamento

Com intuito de amenizar a infiltração de luz entre o Espectrômetro e as amostras durantes as medições, foram realizados testes utilizando uma fita de vedação de 2,0 mm de espessura, ao longo do perímetro da base.
Foram comparados os valores de absortâncias encontrados, para a amostra de tinta Branca látex PVA, para os experimentos com a fita de vedação e sem as fita de vedação, realizados em ambiente de luz artificial. Estes valores de absortâncias integradas nos intervalos entre 450nm e 950nm são apresentados no Gráfico 15.

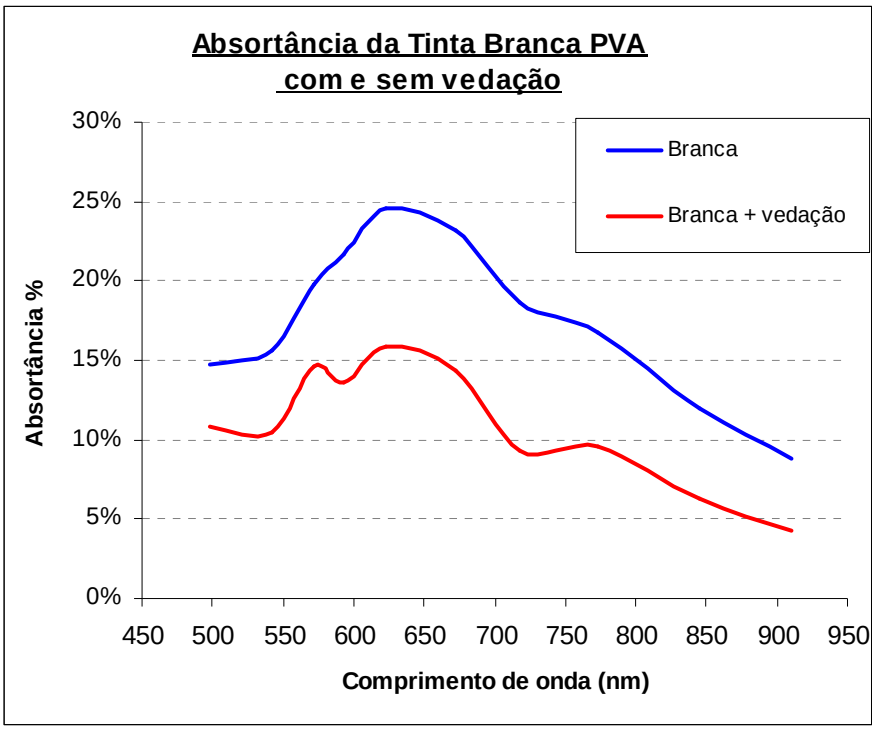

Gráfico 15. Absortâncias encontradas para do Espectrômetro ALTA II, com e sem vedação.

Também foram feitos testes com equipamento vedado dentro da câmara escura, para averiguar a possibilidade de que a diferença de altura, causada

pela fita de vedação entre o equipamento e a amostra, pudesse interferir nos valores de absortâncias medidos.

Os testes realizados com e sem vedação no equipamento, dentro da câmara escura, estão representados no Gráfico 16, sendo os valores das absortâncias integradas nos intervalos entre 450 e 950nm.

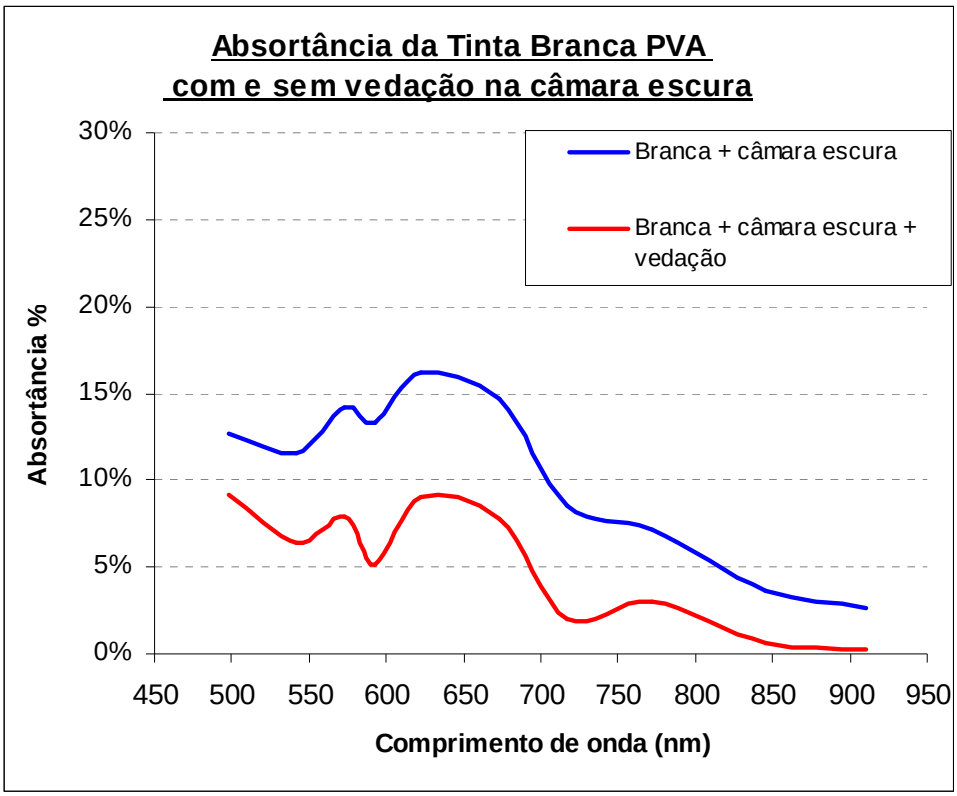

Gráfico 16. Absortâncias encontradas para do Espectrômetro ALTA II, com e sem vedação, na câmara escura.

As absortâncias médias para a amostra de tinta Branca PVA, são apresentadas na Tabela 7, onde se pode observar que quanto menor a infiltração de luz, menor são os valores dos resultados obtidos.

Tabela 7. Absortâncias integradas para a amostra dentro da câmara escura e fora da câmara escura, com e sem vedação.

Amostra	Absortância
Branca	18%
Branca + vedação	11%
Branca + câmara escura	10%
Branca + câmara escura + vedação	5%

Os valores de absortância encontrados para a amostra de tinta branca em ambiente interno comparados com a mesma amostra, porém com vedação, possui uma absortância 39% maior (Gráfico 15), isso demonstra que a vedação interfere no experimento possivelmente porque impede a infiltração de luz externa e a fuga da energia emitida pelo espectrômetro.

Comparando a amostra na câmara escura com a amostra apenas com vedação, observa-se que os resultados se assemelham, não podendo saber ao certo se a espessura da vedação interfere nos resultados.
Através do Gráfico 16, pode-se notar que há uma diferença de 50% nos resultados das absortâncias, para a mesma amostra sem vedação, levando em consideração que o único diferencial entre os experimentos nesse caso é a vedação, pode-se deduzir que essa diferença é devido a vedação que impede a fuga de energia do espectrômetro, ou devido a espessura da vedação, ou ainda os dois fatores em conjunto.

Nesse caso a elevação, ocasionada pela espessura da fita de vedação entre o equipamento e a amostra, gera uma absortância menor do que a altura zero, diferente do que acontece no item 5.5.1, em que a absortância aumenta com o aumento da altura da distância entre o equipamento e a amostra, e a absortância menor é observada na altura zero (tabela 6).

5.6 Temperaturas superficiais

Conforme descrito no Item 4.1, para o experimento realizado em ambiente interno, foram coletados valores de temperatura das amostras testadas. Esses valores são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Temperaturas das amostras durante os ensaios em ambiente interno.

Amostras	**Temperaturas em ºC**
Branca PVA	30,3
Rosa Pétala PVA	30,2
Azul Celeste PVA	30,3
Azul Celeste AsB	30,2
Terracota PVA	30,2
Preta PVA	30,3

Durante o experimento realizado em ambiente externo, foram fotografadas as amostras expostas à radiação solar direta (Figura 16) ao final do período de 1,5 horas de exposição. A Figura 16 apresenta as amostras expostas à radiação solar direta.

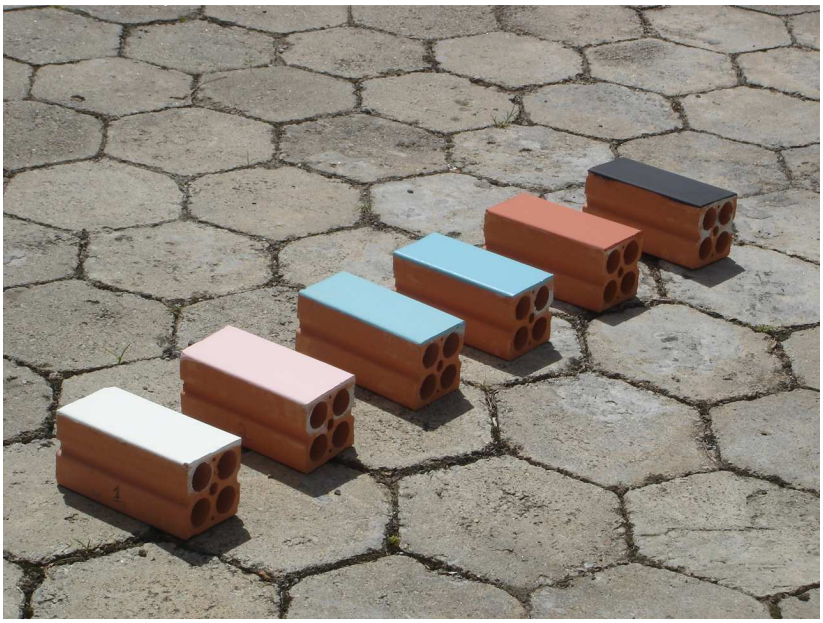

Figura 16. Amostras exposta a radiação solar direta

As amostras foram fotografadas com a câmera infravermelha, para analise das suas temperaturas superficiais (Figura 17).

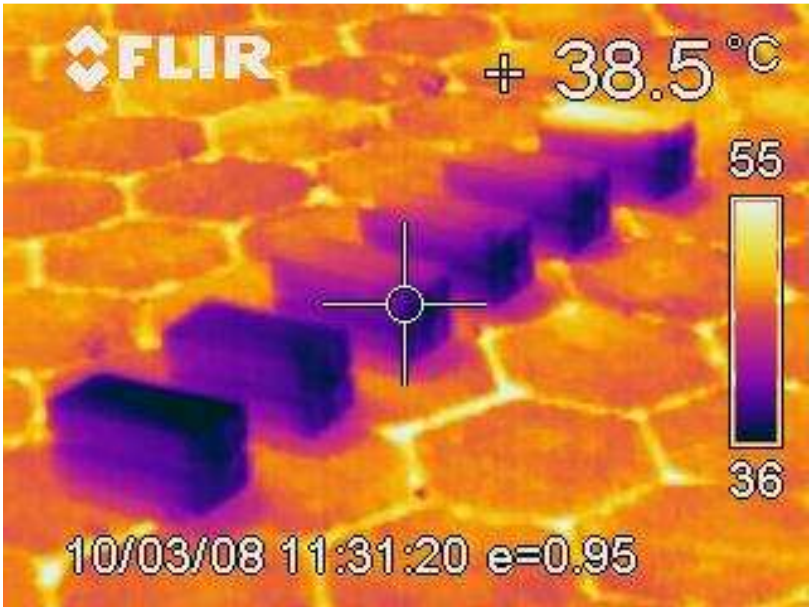

Figura 17. Amostras expostas a radiação solar direta, fotografadas pela câmera infravermelho.

Sendo que a imagem apresenta os valores das temperaturas das amostras, pegando-se 5 pontos (nos 4 cantos e no centro) da amostra, pode-se definir uma temperatura média para cada amostra, essas temperaturas encontradas, estão apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9. Temperaturas das amostras durante os ensaios em ambiente externo.

Amostras	Temperaturas em ºC
Branca PVA	37,4
Rosa Pétala PVA	40,3
Azul Celeste PVA	47,1
Azul Celeste AsB	47,9
Terracota PVA	47,8
Preta PVA	56,5

A Figura 18 apresenta as imagens das amostras de tinta na cores Branca Látex PVA, Rosa Pétala Látex PVA e Azul Celestial Látex PVA, expostas a radiação solar. A variação da temperatura superficial das amostras está entre 36ºC e 57ºC.

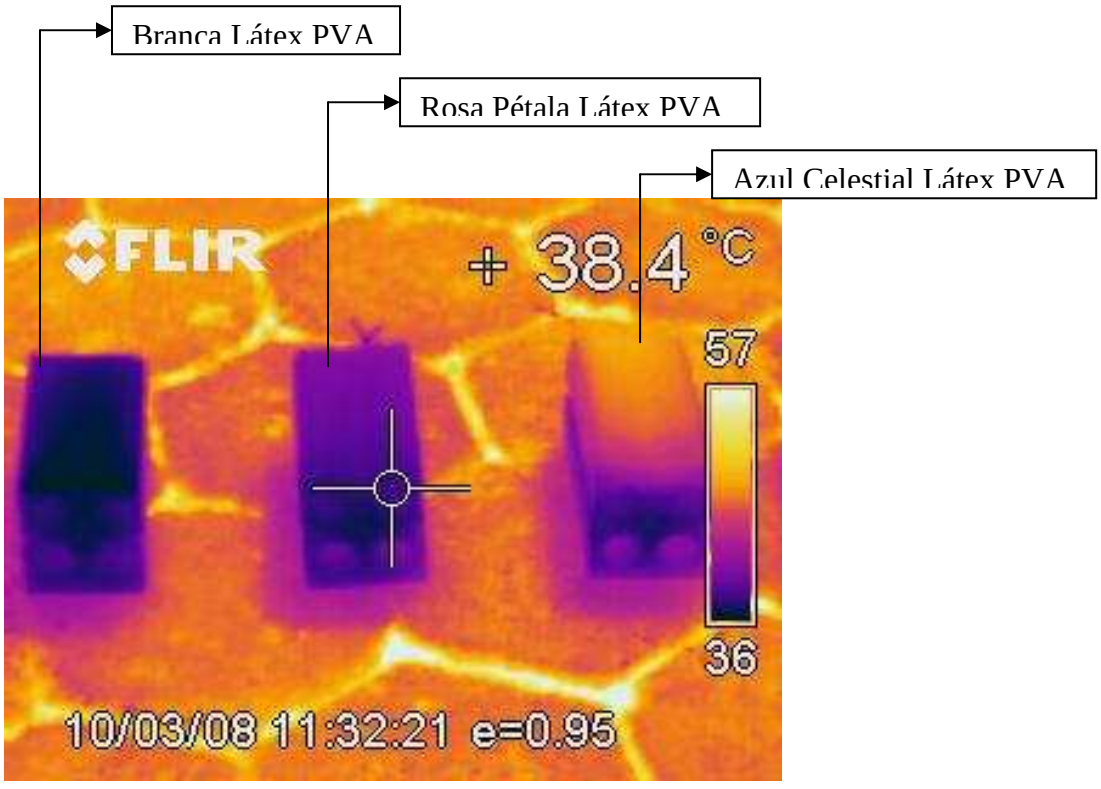

Figura 18. Amostras expostas a radiação solar direta, fotografadas pela câmera infravermelho.

As amostra nas cores Azul Celestial Acrílica Semi-brilho, Terracota Látex PVA e Preta Látex PVA, são observadas na Figura 19, que apresenta as sua imagens com uma variação de temperatura superficial de 37ºC a 60ºC.

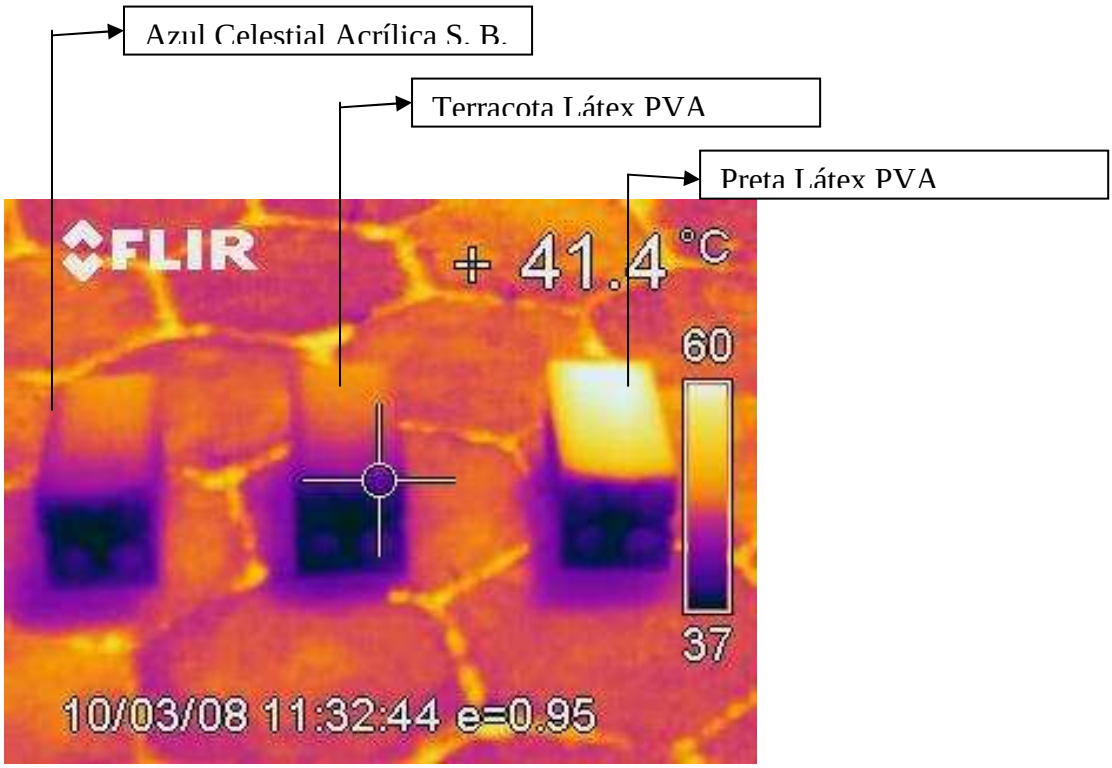

Figura 19. Amostras expostas a radiação solar direta, fotografadas pela câmera infravermelho.

O Gráfico 17 apresenta as temperaturas superficiais médias comparadas com as temperaturas das amostras no experimento de ambiente interno.

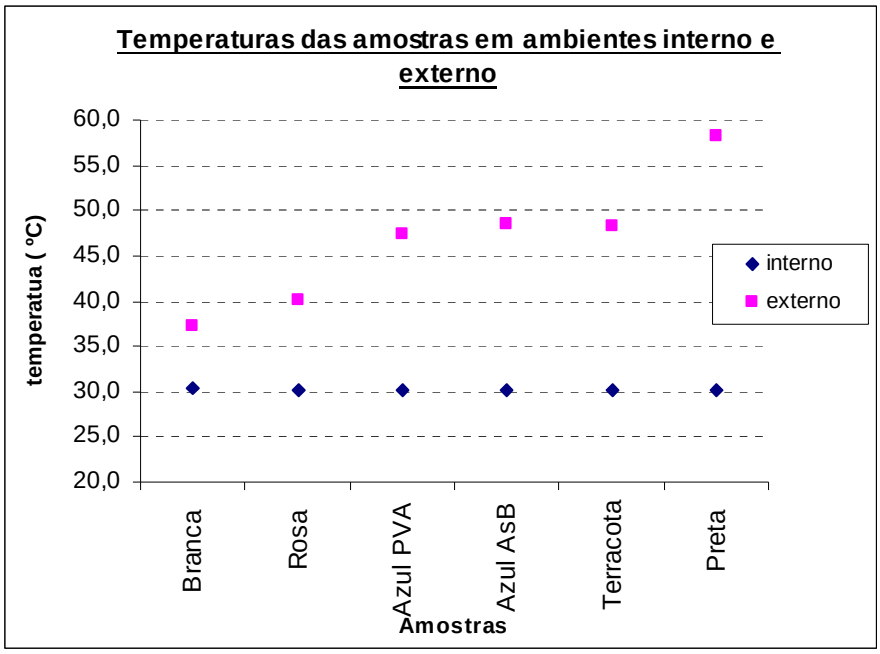

Gráfico 17. Temperatura das amostras em ambientes interno e externo, em ºC.

A Tabela 10 mostra a comparação das absortâncias e temperaturas superficiais das amostras testadas em ambientes interno e externo.

Tabela 10. Temperaturas das amostras durante os ensaios em ambiente externo

Amostras	Ambiente Interno		Ambiente Externo	
	Absortância	Temperatura	Absortância	Temperatura
Branca PVA	17%	30,3ºC	16%	37,4 ºC
Rosa Pétala PVA	29%	30,2ºC	30%	40,3 ºC
Azul Celeste PVA	61%	30,3ºC	63%	47,1 ºC
Azul Celeste AsB	65%	30,2ºC	69%	47,9 ºC
Terracota PVA	60%	30,2ºC	62%	47,8 ºC
Preta PVA	95%	30,3ºC	96%	56,5 ºC

Embora seja possível observar a ocorrência de um pequeno aumento do valor da absortância, quando a amostra sofre uma elevação da temperatura, não é possível associar estes fatores. Por outro lado, como já verificado ao longo desta pesquisa, a infiltração de luz visível é um fator que comprovadamente causa alterações, uma vez que o equipamento é sensível á esta região do espectro.

Mesmo assim esta verificação com imagens em IV é importante para destacar como a cor aplicada pode influenciar na temperatura do elemento, e conseqüentemente no desempenho térmico da edificação. Além disso, essa análise mais uma vez destaca que a aparência da cor apenas no espectro visível (visão humana) muitas vezes não representar a propriedade esperada para determinada cor. Para exemplificar isso, neste caso podemos comparar os resultados das tintas Azul Celeste AsB e Terracota PVA. Embora a tinta Terracota seja “visivelmente mais escura” por assim dizer, ela apresenta uma absortância inferior a da tinta Azul AsB, e conseqüentemente uma temperatura inferior quando exposta a radiação solar.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A respeito de cada uma das etapas da realização do trabalho, as seguintes considerações na forma de respostas a alguns questionamentos podem ser feitas:

Há diferença entre testes internos (sob luz artificial) e externos (exposta a luz solar)?

No caso da comparação entre a medição interna e externa, observamos que, com exceção da tinta de cor branca, todas as outras tintas apresentaram um valor de absortância mais elevado quando a medição foi realizada na condição de exposição à luz solar. Uma explicação para este efeito seria o fato de que no ambiente externo há maior quantidade de luz e conseqüentemente maior infiltração de luz entre o contato do espectrômetro e as amostras testadas. Devido ao pequeno número de medições e a proximidade entre valores médios do teste em ambiente interno e externo, não é possível ainda afirmar isso com convicção. No entanto, notou-se que embora os valores médios das absortâncias sejam próximos nos dois ambientes (interno e externo), para algumas cores os valores encontrados por comprimento de onda revelam variações significativas nas curvas espectrais. Isso afasta a idéia de que a diferença nos resultados esteja apenas associada à incerteza do instrumento.

As amostras de mesma cor, azul celeste, com textura PVA e AsB, apresentam absortâncias próximas, porém diferentes, mostrando que a absortância não depende só da aparência da cor da tinta, mas também de sua textura.

O que descobrimos com a comparação com o luxímetro?

Na comparação das medições entre o ALTA II e o luxímetro, percebemos que o luxímetro também sofre influência da intensidade de luz.. Na medição em ambiente interno os resultados de absortância obtidas com o luxímetro ficaram sempre abaixo dos valores obtidos com o ALTA II. Em alguns casos a variação foi pequena, mas em outros foi elevada chegando a mais de 20%. Quando a medição foi realizada sob a luz solar direta, todos os valores de absortância obtidos com o luxímetro tiveram uma elevação, em alguns casos reduzindo consideravelmente a diferença que antes existia entre os dois sensores, e em outros até ultrapassando o valor medido com o espectrômetro. Embora uma comparação direta entre o espectrômetro e o luxímetro não seja apropriada do ponto de vista espectral, uma vez que os mesmos cobrem intervalos diferentes, é possível observar que a medição com luxímetro tem uma variabilidade bem maior em função da condição de luz.

O que descobrimos com a câmara escura?

Assim como nos testes em ambiente interno e externos, observa-se uma variação da absortância devido à variação da intensidade de luz. Dentro da câmara escura o valor da absortância foi menor do que o observado no teste onde o equipamento estava exposto a luz visível (artificial), com exceção da tinta Azul celeste semi-brilho (aumentou) e preto (manteve o mesmo valor). Acredita-se que a infiltração de luz nas bordas do espectrômetro seja a causa dessa alteração do resultado. Com a maior infiltração de luz pelas bordas, a sensibilidade do detector à luz emitida pelo próprio equipamento diminui, e ele capta uma menor quantidade de energia refletida na faixa espectral de medição, entendendo assim como uma maior absorção dessa energia pela superfície analisada. No entanto um maior número de testes ainda precisa ser

realizado visando caracterizar efetivamente esse fenômeno para qualquer tipo de tinta, ou associá-lo a composição da tinta.

A conclusão é que o melhor modo é dentro da câmara escura? Por quê?

Para testes experimentais o melhor método é o da câmara escura, pois é um ambiente onde teoricamente não há interferência de nenhum tipo de luz externa. Já para testes de campo, seria necessário algum tipo de vedação que impeça a infiltração de luz, porém que não altere a distância normal do equipamento entre o sensor e a superfície analisada.

O que aprendemos sobre a variação de altura, sobre a vedação com fita, e da carga da bateria?

Sobre a variação de distância (1,0 cm, e 1,6cm) entre a amostra e o equipamento, observamos que esta variação modifica (eleva) o resultado da absortância, provavelmente devido tanto ao espalhamento da radiação emitida pelo aparelho quanto à refletida pela amostra, reduzindo assim a energia que retorna ao detector. Já no caso em que foi aplicada uma fita de vedação de pequena espessura (2,0 mm), observou-se que o valor da absortância também sofre alteração em relação a uma medição normal sem este acessório. No entanto, neste caso o valor da absortância da superfície diminuiu. Isso indica que de alguma forma, uma maior quantidade da radiação emitida está voltando ao detector ou que a variação de altura está afetando a sensibilidade do detector. Assim, devido ao reduzido número de testes ainda não foi possível chegar a uma resposta conclusiva sobre esta questão, ou seja, se a redução do valor da absortância é resultado da melhor vedação ou da variação na altura (ou das duas coisas de maneira associada).

Outro detalhe interessante observado durante os testes esta relacionado com a carga da bateria. Se a bateria não estiver com a carrega quase completa, os resultados são alterados (imprecisos), pois o aparelho emitirá radiação com

menor intensidade. Assim é necessário sempre observar a carga da bateria antes de fazer os testes.

O que aprendemos sobre o teste de temperatura?

Em relação análise de temperatura foi possível observar que o acabamento (textura) da superfície do material tem influência direta no seu desempenho térmico, quando está exposta diretamente à radiação solar. Ainda no caso das tintas, apenas o conhecimento empírico de que cores com aspecto mais escuro tem maior absortância do que cores claras não é o suficiente para avaliar o material em relação a esta propriedade. Assim, fica evidente a necessidade de testes de verificação das propriedades das tintas ou outros tipos de acabamentos para superfícies opacas, uma vez que suas propriedades estão associadas à composição química do material.

O que ainda é preciso ser feito?

Embora tenha sido possível obter algumas conclusões preliminares a respeito do uso do espectrômetro ALTA II através deste estudo, mais medições ainda precisam ser realizadas para avaliar a repetitividade dos valores obtidos nas leituras e também realizar uma análise estatística das incertezas nas medições. Também é necessário:

- Realizar testes para verificar a influência da rugosidade sobre o valor da absortância;
- Fazer comparações das medições do ALTA II com outros espectrofotômetros na mesma faixa espectral;
- Testar mais cores e texturas de tintas, usando a uma tinta branca com absortância conhecida como referência.

REFERÊNCIAS

DORNELLES, K. A.. **Absortância Solar de superfícies opacas: Conceitos, Métodos de determinação e base de dados para tintas imobiliárias**. Tese

(Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **G173-03:** standard tables for reference solar spectral irradiances - direct normal and hemispherical on 37° tiltedurface. ASTM International, 2003.