

INFLUÊNCIA DO AMBIENTE DE MEDIÇÃO SOBRE A VERIFICAÇÃO DA ABSORTÂNCIA DE SUPERFÍCIES OPACAS UTILIZANDO UM ESPECTRÔMETRO PORTÁTIL

Elisiane I. dos Santos (1); Deivis L. Marinoski (2); Roberto Lamberts (3)

(1) Física, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, elisiane@labeee.ufsc.br

(2) Eng. Civil, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, deivis@labeee.ufsc.br

(3) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, lamberts@labeee.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Cx Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721 5184

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a aplicação do espectrômetro portátil ALTA II para a verificação de valores de absorvância solar em elementos opacos. Foram utilizadas como amostras de teste 5 cores de tintas disponíveis comercialmente, aplicadas sobre a face de tijolos cerâmicos. Os testes foram realizados em três condições de medição: ambiente interno (exposição à luz artificial), ambiente externo (exposição à luz natural) e em uma câmara escura. Os valores encontrados no intervalo espectral de medição são ajustados ao espectro solar padrão. Após isso, os resultados das absorvâncias totais em cada ambiente de medição foram comparados para as condições ambiente interno versus ambiente externo, e dentro da câmara versus fora da câmara. Em alguns casos foram observadas variações significativas dos valores da absorvância devido à influência do ambiente de medição. Esta mesma análise foi aplicada também a duas amostras com a mesma cor, porém com texturas diferentes.

Palavras-chave: Tintas, Absorvância a Radiação Solar, Medição, Espectrômetro Portátil

ABSTRACT

This paper presents a study about use of portable ALTA II spectrometer to verify solar absorptance on opaque elements. Five samples of commercial paints available in Brazilian trade were used. These paints were applied on the surface of ceramic bricks. The tests were performed in three conditions of measurement: internal environment (exposure to artificial light), external environment (exposure to sunlight) and a dark chamber. The values found in the spectral range of measurement are adjusted to the standard solar spectrum. Then, the results of total absorptance measured were compared to the conditions internal environment versus outdoors, and inside dark chamber versus outside. In some cases significant variations were observed in absorptance values due to the influence of environmental measurement. The same analysis was also applied to two samples with the same color, but with different textures.

Keywords: Paints, Solar Radiation Absorptance, Measurement, Portable Spectrometer.

1. INTRODUÇÃO

A radiação solar é um dos fatores que mais contribui para o ganho térmico em edifícios, 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, do envelope construtivo e das propriedades termofísicas dos elementos que o compõem. Dentre essas propriedades, uma das que exerce grande influência sobre os ganhos de calor solar da envoltória de um edifício é a absorvância solar. A absorvância solar é definida como a razão entre a energia solar absorvida pela superfície e o total da energia solar incidente na superfície (ABNT 2005a).

O valor da absorvância depende diretamente do acabamento da superfície, sendo que no caso das edificações esse acabamento final é muitas vezes obtido através de pintura com tintas industrializadas.

Atualmente existem poucas informações sobre valores de absorvância das tintas disponível no mercado. A literatura técnica normalmente apresenta apenas valores de absorvância associados ao tom das cores, dividindo-as em claras, médias e escuras (Lamberts et al., 1997; ABNT 2005b)

Porém, nos últimos anos pesquisas passaram a ser conduzidas buscando caracterizar efetivamente esta propriedade nas tintas utilizadas no Brasil. Como exemplo disso, pode-se citar Castro et al.(2003) e Dornelles (2008) que apresentam dados de absorvância solar para diferentes cores e tipos de tintas utilizadas em superfícies opacas de edifícios, a partir de medições de refletância em espectrofotômetro.

É com base na necessidade de mais informações a respeito da absorvância solar para tintas aplicadas em superfícies opacas, que este artigo apresenta e discute alguns testes para verificação desta propriedade por meio da aplicação do espectrômetro ALTA II.

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo é analisar a influência do ambiente de medição, em relação à exposição à luz, sobre o resultado da medida da absorvância de superfícies opacas através do uso do espectrômetro portátil ALTA II.

3. ESPECTRÔMETRO ALTA II

O Espectrômetro portátil ALTA II foi inicialmente desenvolvido para fins pedagógicos pelo Lunar and Planetary Institute, localizado em Houston, Texas (EUA). Na parte frontal do aparelho (Figura 1) estão distribuídos onze botões correspondentes a cada comprimento de onda entre 470 e 940nm, sendo sete comprimentos na região do visível e quatro na região do infravermelho. Na base 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 acende a lâmpada correspondente, assim emitindo energia. Essa energia quando refletida é detectada por um sensor no centro do orifício circular na base do aparelho. Na parte frontal do equipamento também há um display que indica o valor da energia que refletida em forma de micro 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).



Figura 1 – Vista frontal do espectrômetro ALTA II.



Figura 2 – Base do aparelho: 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 acima da faixa do visível: IR1 (IV1), IR2 (IV2), IR3 (IV3) e IR4 (IV4). A Tabela 1 mostra os valores destes comprimentos em cada região do espectro.

Tabela 1- Faixa espectral de medição do ALTA II

Região do visível	Comprimento de onda (nm)
Blue	470
Cyan	525
Green	560
Yellow	585
Orange	600
Red	645
Deep red	700
Região do infravermelho	-
IR1	765
IR2	810
IR3	880
IR4	940

4. METODOLOGIA

O método de trabalho adotado está dividido nas seguintes etapas:

1. Preparação das amostras para a medição;
2. Procedimentos matemáticos associados ao uso do espectrômetro ALTA II.
3. Testes em ambiente interno, externo e em uma câmara escura.

4.1 Preparação das amostras

As amostras utilizadas foram 6 tijolos com superfícies opacas. Estes elementos foram escolhidos como amostras, pois apresentam uma superfície plana e com as dimensões necessárias para o bom posicionado do espectrômetro durante a medição.

Em todas as amostras foi previamente aplicado um fundo de tinta Látex PVA cinza claro, para evitar que a cor original da superfície dos tijolos interfira nas medições.

Então foram selecionadas 5 diferentes cores básicas de tintas, produzidas por um fabricante nacional bastante popular, do tipo látex PVA (branca, rosa pétala, azul celeste, terracota e preta) e acrílica semibrilho (azul celeste). Em cada amostra foi aplicada duas demão da tinta selecionada em cima do fundo (Obs.: ressalta-se que embora não tenham sido abordados nesta pesquisa, questões relacionadas com a espessura das demãos de tinta aplicada e rugosidade da superfície, estes fatores podem ter influência sobre os valores medidos. A Figura 3 apresenta as amostras prontas para a experimentação, sendo duas da mesma cor azul celeste, nos tipos látex PVA e acrílica semibrilho.

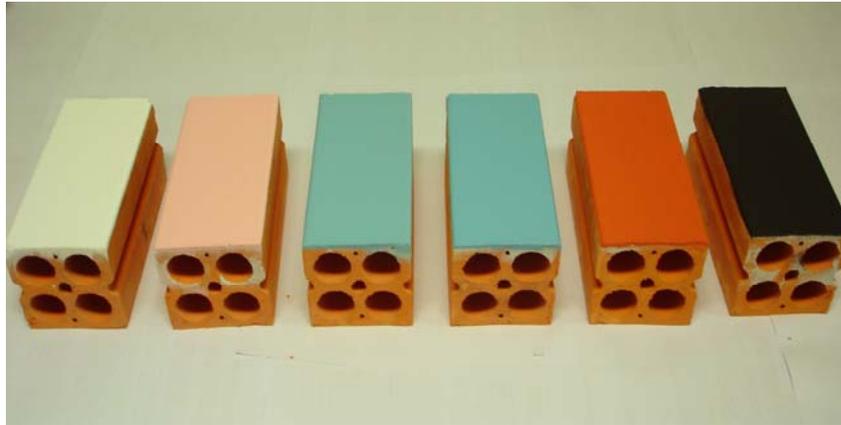


Figura 3. Amostras prontas para experimentação
(da esquerda para a direita temos: branca, rosa pétala, azul celeste PVA, azul celeste acrílico semibrilho, terracota e preta).

4.2 Procedimentos matemáticos associados ao uso do ALTA II

Para determinar a absortância total das amostras, adota-se o seguinte procedimento dividido em duas etapas:

Etapa 1:

- a) Mede-se a voltagem de fundo da amostra, colocando o espectrômetro sobre sua superfície.
- b) Mede-se a voltagem, em cada comprimento de onda, para a amostra de referência* (papel branco) e seu fundo.
- c) Mede-se a voltagem nas demais amostras, para cada comprimento de onda (estas medidas são repetidas três vezes, e calcula-se uma média).
- 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 Eq. 1:

$$\rho_{(\lambda)amostra} = \left(\frac{V_{amostra} - V_{fundo_amostra}}{V_{referencia} - V_{fundo_referencia}} \right) \times \rho_{referencia} \quad [\text{Eq. 1}]$$

* Nas verificações com o espectrômetro ALTA II, apresentadas neste trabalho, foram adotadas como valores de referência as refletâncias de uma folha de papel branco comum (Ripax, 75g/m²), obtidos em um espectrofotômetro da marca Varian modelo CARY 5G (Dornelles, 2008).

Dado que:

$\rho_{(\lambda)amostra}$ = 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 (%).

Etapa 2:

Para 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. Neste estudo foram adotados os valores segundo a 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 a seguinte seqüência para o ajuste da refletância 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):

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

Tendo:

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

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

$\rho_{(\lambda)amostra}$ = 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):

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

Com:

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

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

$\Delta\lambda_{b-a}$ = 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):

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

Onde:

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

$IR_{(\lambda_{b-a})Re\ fle}$ = 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 ($\text{Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$);

$\Delta\lambda$ = intervalo de comprimento de onda (nm).

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

$$\rho_{amostra} = \frac{IR_{Re\ fle.Total}}{IR_{(\Delta\lambda)Total}} \times 100 \quad [\text{Eq. 6}]$$

$$\alpha_{amostra} = 100 - \rho_{amostra} \quad [\text{Eq. 7}]$$

Para:

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

$\alpha_{amostra}$ = absortância total 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);

4.3 Ambientes de medição

4.3.1 Testes internos

Esta etapa de testes foi realizada em um local fechado (corredor central do 1º andar do bloco B do dep. Eng. Civil da UFSC), com luz ambiente mantida por lâmpadas fluorescente e sem entradas de luz externa (OBS.: iluminância aproximada de 200lux, para plano de trabalho a 80cm do piso.).

4.3.2 Testes externos

As medições externas foram realizadas em local sem obstruções (estacionamento), estando as amostras exposta a luz solar direta já por meia hora antes da experimentação. Neste dia a condição de céu era aberto com poucas nuvens (OBS.: Iluminância na faixa dos 80000lux e irradiação global horizontal em torno de $700\text{W}/\text{m}^2$).

4.3.3 Câmara escura

Esta terceira seqüência de medição foi realizada dentro de uma câmara escura montada especificamente para o uso do ALTA II. Confeccionou-se a câmara escura utilizando uma caixa de papelão pintada na cor preta, com dimensões próximas as do conjunto aparelho e amostra, mas que permite ajuste de altura em seu interior (Figura 4). O aparato foi cuidadosamente vedado para impedir qualquer tipo de infiltração de luz, deixando apenas uma abertura frontal (Figura 5), onde fica exposta a frente do espectrômetro facilitando a visualização dos valores apresentados no display do equipamento. Esta abertura, onde há o contato entre a câmara e o ALTA II também foi vedada.

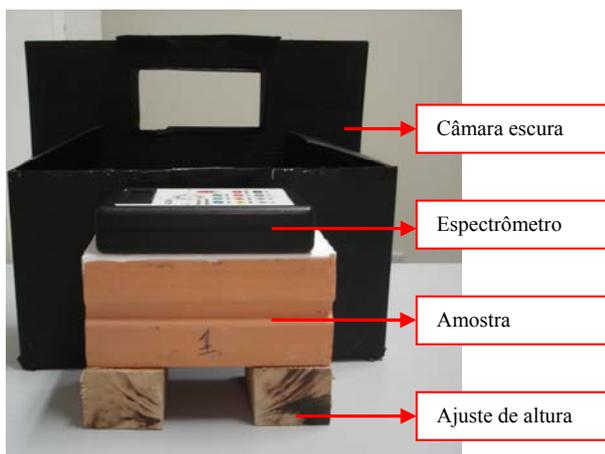


Figura 4. Aparato experimental para teste na câmara escura.



Figura 5. Abertura na câmara, deixando exposta a frente do espectrômetro.

5. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados das medições realizadas com o ALTA II em cada um dos ambientes de teste propostos na metodologia e o comparativo entre eles.

5.1 Medições em ambiente interno x externo

Os gráficos da Figura 6 apresentam o comportamento das curvas espectrais da absorptância para as 6 amostras testadas em ambiente interno e externo, ao longo do intervalo de comprimentos de onda cobertos pelo ALTA II.

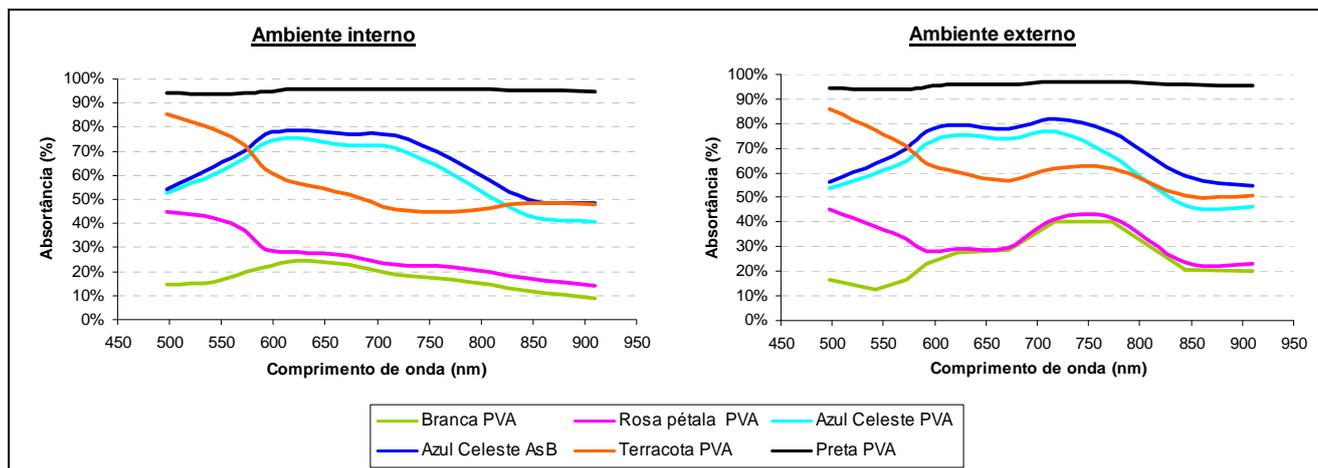


Figura 6. Comportamento espectral das amostras nas medições em ambiente interno (esquerda) e externo (direita).

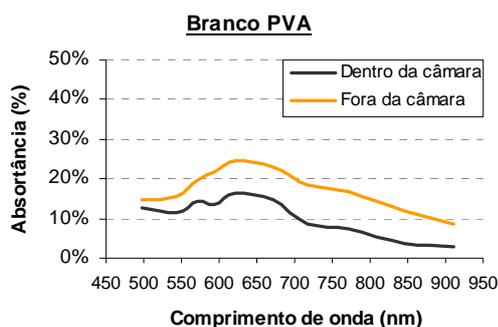
Através das curvas espectrais é possível obter valores integrados da absorptância (total) para cada cor e tipo de tinta. Esses valores estão representados na Tabela 2. Observa-se que em todos os casos o valor médio da absorptância é sempre superior para as amostras expostas ao sol. Podemos perceber também que, embora os valores integrados (Tabela 2) em alguns casos sejam próximos para os dois ambientes (interno e externo), nos gráficos da Figura 6 a variação do valor da absorptância para determinados 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 que no ambiente externo a curva espectral destas mesmas cores apresentam maiores alterações de absorptância a partir deste mesmo ponto.

Tabela 2. Valores integrados (totais) de absorptância para os diferentes tipos e cores de tintas testadas.

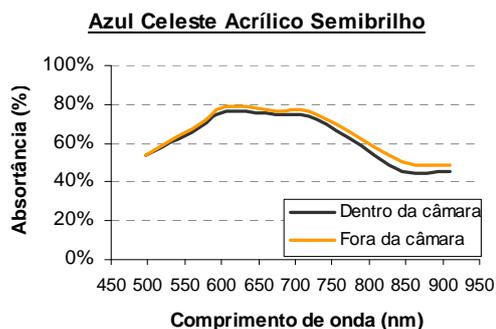
Tinta Branca PVA		Tinta Rosa pétala PVA		Tinta Azul Celeste PVA		Tinta Azul Celeste AsB		Tinta Terracota PVA		Tinta Preta PVA	
Inter.	Exter.	Inter.	Exter.	Inter.	Exter.	Inter.	Exter.	Inter.	Exter.	Inter.	Exter.
17%	25%	29%	34%	61%	63%	65%	69%	60%	65%	95%	96%

5.2 Medições em ambiente interno x câmara escura

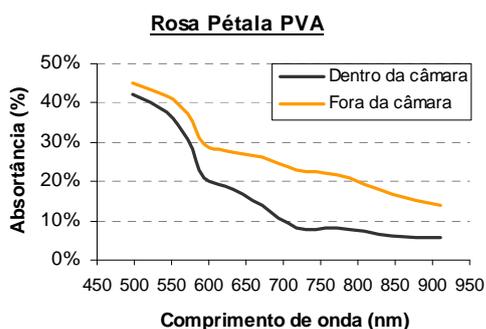
Agora os valores das absorptâncias encontrados com os testes realizados em ambiente interno (exposto a iluminação artificial) são comparados aos resultados da câmara escura. Os gráficos da Figura 7 apresentam estas comparações.



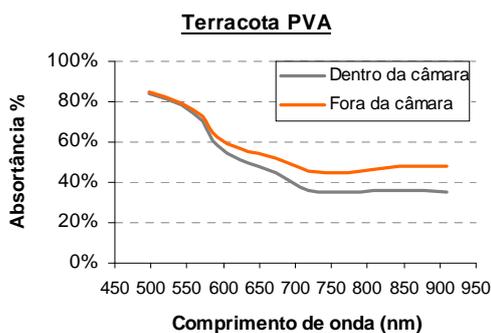
(a)



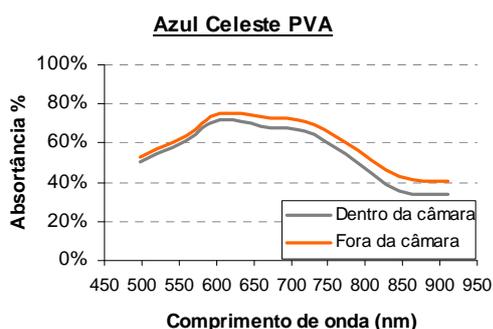
(d)



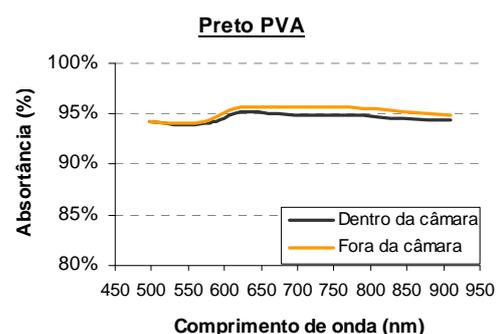
(b)



(e)



(c)



(f)

Figura 7. Absortâncias dentro e fora da câmara escura para a amostra de tinta: branca (a); rosa pétala (b); azul celeste PVA (c); azul celeste acrílico semibrilho (d); terracota (e); preta (f)

Através das curvas apresentadas na Figura 7 é obtido um valor de absortância total para cada cor e tipo de tinta. Esses valores estão representados na Tabela 3, para a condição de medição dentro e fora da câmara escura.

Tabela 3. Absortâncias integradas para as amostras 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	
Dento	Fora	Dentro	Fora	Dentro	Fora	Dentro	Fora	Dentro	Fora	Dentro	Fora
10 %	17%	20%	29%	56%	61%	63%	65%	53%	60%	95%	95%

[†] Valores encontrados por Dornelles (2008) para algumas tonalidades próximas a das amostras testadas:

Cor / Textura	Absortância ajustada ao espectro solar padrão
Branco / Látex PVA Fosca	11,1%
Azul angra / Látex PVA Fosca	32,3%
Azul Profundo / Látex PVA Fosca	76,0%
Azul / Acrílica Semi-brilho	79,9%
Terracota / Acrílica Fosca	64,6%
Terracota / Acrílica Semi-brilho	68,4%
Preto / Látex PVA Fosca	97,4%

Observa-se aqui uma maior sensibilidade a presença de luz visível por parte da tinta branca, rosa e terracota, resultando em uma elevação do valor da absorptância entre 7% a 9% (absoluto). No caso do azul celeste acrílico semibrilho e preto esta variação foi menos significativa como mostraram as curvas dos gráficos (d) e (f). Já para o azul celeste PVA (gráfico c), o valor medido para absorptância dentro da câmara foi 5% (absoluto) menor que o resultado fora da câmara.

5.4 Comparações da mesma cor com diferentes texturas

Também foram realizadas comparações com tintas de mesma cor, mas com textura (acabamento) diferente, para verificar o comportamento da absorptância em cada ambiente de medição. Usando a amostra de tinta na cor azul celeste tipo látex PVA (fosco) e tipo acrílico semibrilho, foram comparados os resultados dos dados coletados com o espectrômetro ALTA II.

5.4.1 Azul celeste PVA x azul celeste acrílica semibrilho (ambiente interno)

A Figura 8(a) apresenta a curva espectral da absorptância para os dois tipos de tinta azul na medição realizada em ambiente interno. Observa-se neste caso que a tinta azul celeste acrílica semibrilho apresenta maior absorptância no intervalo de comprimento de onda, tanto na faixa do infravermelho quanto na faixa do visível, tendo uma absorptância total de 65 %, enquanto a amostra azul látex PVA, tem uma absorptância total de 61%.

5.4.2 Azul celeste PVA x azul celeste acrílica semibrilho (ambiente externo)

Com o experimento realizado em ambiente externo, ou seja, com a amostra exposta a luz solar direta, assim como no ambiente interno, obtém-se um valor superior para a absorptância total da tinta azul celeste acrílica semibrilho de 69%. Enquanto isso a mesma cor, mas com acabamento em látex PVA, apresenta uma absorptância mais baixa, igual a 63%. A Figura 8(b) mostra as curvas das absorptâncias determinadas nos intervalos entre 450nm e 950nm para as duas tintas durante a medição em ambiente externo.

5.4.2 Azul celeste PVA x azul celeste acrílica semibrilho (câmara escura)

No teste realizado no interior da câmara escura novamente se observou a mesma tendência dos testes internos e externos, onde o azul celeste PVA mantém valores de absorptância inferiores ao azul acrílico semibrilho em toda a região do espectro abrangida (Figura 8(c)). Porém agora, observaram-se os valores totais mais baixos de absorptância para as duas tintas, em comparação com as duas situações de medição anteriores. Respectivamente, 63% e 56% para a tinta de acabamento acrílico semibrilho e látex PVA.

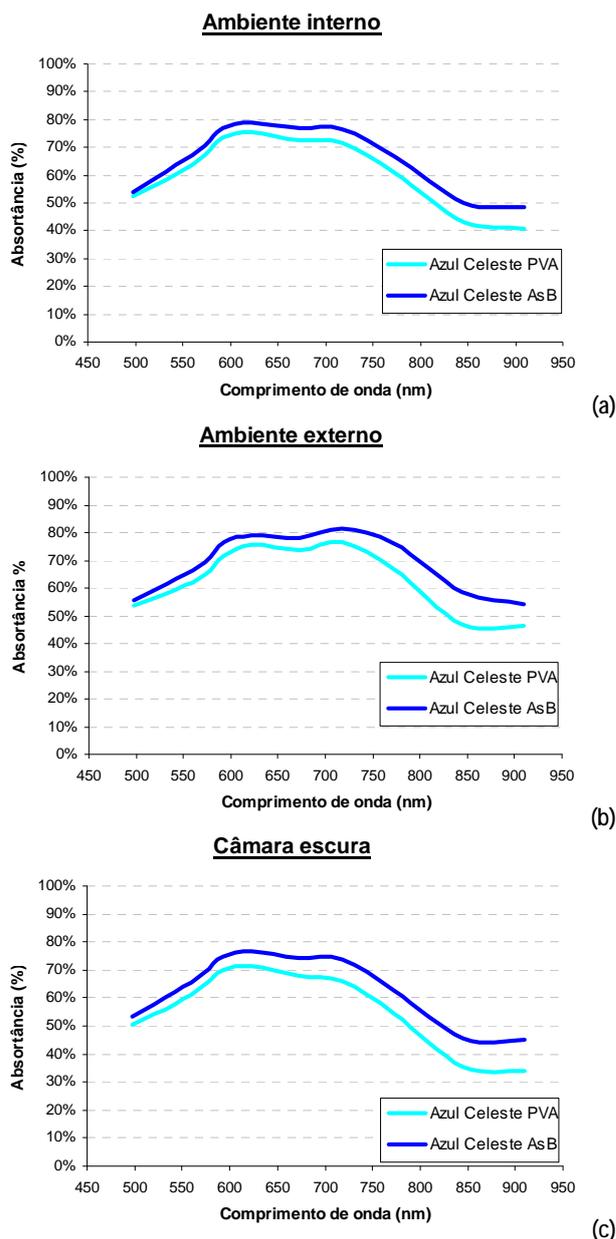


Figura 8. Curvas espectrais da absorptância para a tinta azul celeste com diferentes texturas, obtida em três ambientes de teste: interno (a); externo (b); câmara escura (c).

5.5 Análise do fundo e considerações sobre incertezas de medição

Antes de cada seqüência de medição dos valores em cada comprimento de onda é realizada a leitura da voltagem de fundo (dark voltage), ou seja, a leitura sem o acionamento de nenhuma lâmpada do ALTA II. A Figura 9 apresenta os valores de fundo para as amostras em cada um dos ambientes de medição. Observa-

se que os valores de fundo são significativamente alterados nas medições em ambiente externo. Coincidentemente as cores em que o valor de fundo sofre maior elevação (branca, Rosa e Terracota) são as mesmas que tem as maiores variações entre os valores de absorvância medidos para o ambiente interno x externo (Tabela 2). No caso da comparação dentro da câmara escura x fora (ou ambiente interno), o fundo têm valores muito próximos nos dois ambientes, mesmo assim a Tabela 3 mostrou uma maior variação (redução) do valor da absorvância para estas mesmas cores: branca, Rosa e Terracota. Isso demonstra que a presença de luz não tem uma influência uniforme sobre a alteração do resultado da absorvância medida, mas que esta alteração provavelmente esteja associada também a composição da tinta.

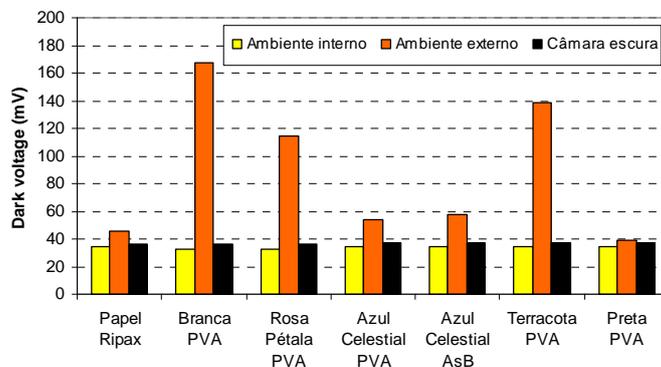


Figura 9. Variação da leitura de fundo (dark voltage) nos diferentes ambientes de medição

Em relação a incertezas envolvidas nas medições utilizando o ALTA II, destaca-se que a faixa espectral de medição do ALTA II (470 até 970nm) cobre um intervalo onde está contido 57% da energia total do espectro solar. Sendo que a integração da área (energia) abaixo da curva gerada pelos 11 comprimentos de onda medidos pelo ALTA II, apresenta uma variação de apenas 2,3% (acima) em relação a área integrada diretamente com os comprimentos de onda do espectro solar padrão, cujo valores são dados de 1 em 1nm

Também, Dornelles (2008) identificou curvas de correlação entre os valores de absorvância medidos com o ALTA II e valores medidos através de uma espectrôfotometro CARY 5G, que cobre toda a faixa do espectro solar. Estas curvas apresentaram coeficiente de correlação $R=0,99$ tanto no espectro visível (desvio padrão = 2,11%) quanto no espectro solar total (desvio padrão = 1,91%).

Sobre a variação entre as leituras dos diferentes comprimentos de onda, nota-se que estas são sempre muito pequenas nas diferentes seqüências de medição e independentemente da amostra utilizada. Neste estudo foram testadas seis amostras de tintas, sendo que para cada amostra é lida a resposta do detector (mV) em 11 comprimentos de onda, e esta seqüência é repetida 3 vezes, conforme a metodologia proposta. Isso resulta em um total de 198 leituras para cada ambiente de medição (externo, interno e câmara escura). Em cada um destes ambientes foram verificadas as seguintes faixas de variação das leituras em torno da média, ao longo de todos os comprimentos de onda:

- Medição em ambiente externo: 0,1% a 1,4%
- Medição em ambiente interno: 0,1% a 0,2%
- Medição na câmara escura: 0,1% a 0,2%

Outra verificação de incerteza, apenas a título de comparação, pode ser feita por confrontar os valores obtidos por Dorneles (2008) com os valores de absorvância obtidos nesta pesquisa, para a mesma cor e textura e ambiente de medição semelhante (interno). Neste caso temos os valores para cores teoricamente consideradas limites (branca e a preta), onde se observa os seguintes (Tabela 4):

Tabela 4. Variação dos resultados de absorvância observados

Cor	Neste trabalho	Dorneles (2008)	Diferença
Branco PVA	17%	11,1%	5,9%
Preto PVA	95%	97,4%	2,4%

Porém, para uma avaliação conclusiva das incertezas envolvidas no uso do ALTA II ainda é necessária uma série de testes inter-laboratoriais, utilizando a mesma amostra de tinta submetidas a diferentes sensores, sob semelhantes condições ambientais de medição.

6. CONCLUSÕES

No caso da comparação entre a medição interna e externa, observamos que todas as tintas apresentaram um valor de absorvância 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 (o que é comprovado pela análise do fundo). Ainda, notou-se que embora os valores médios das absorvâncias 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.

No confronto entre ambiente interno e câmara escura, assim como nos testes em ambiente interno e externo, observa-se uma variação da absorvância devido à variação da presença de luz. Dentro da câmara o valor da absorvância foi menor do que o observado no teste onde o equipamento estava exposto a luz visível (artificial), com exceção da tinta Azul celeste semibrilho (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. Porém, a análise dos resultados do fundo (dark voltage) mostra que as alterações nos valores da absorvância medida em cada ambiente é resultado da presença da luz associada à composição da tinta. No entanto um maior número de testes ainda precisa ser realizado visando caracterizar efetivamente esse fenômeno e também permitir uma melhor análise de incerteza.

Mas, a partir dos resultados observados até o momento, é possível dizer que o melhor ambiente de medição é na câmara escura, pois teoricamente não há interferência de nenhum tipo de luz externa. Já para situações de edificações já construídas, onde não é possível retirar uma amostra da superfície para avaliá-la em laboratório, então é necessário algum tipo de vedação nas bordas do equipamento que impeça a infiltração de luz, minimizando a interferência da mesma. Porém esta vedação não deve alterar a distância normal do equipamento entre o sensor e a superfície analisada

Sobre as amostras de mesma cor, azul celeste com textura PVA e AsB, estas apresentaram valores de absorvância próximos, porém diferentes, mostrando que a absorvância não depende só da aparência da tinta, mas também de sua textura. Além disso, cabe destacar que alterações na composição química de uma mesma tinta produzida por um determinado fabricante, mas em lotes diferentes, podem prejudicar a reprodução dos resultados encontrados.

REFERÊNCIAS

- 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, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220-1: Desempenho Térmico de Edificações – parte 1: Definições, símbolos e unidades, Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220-2: Desempenho Térmico de Edificações - parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.
- CASTRO, A. P. de A. S.; LABAKI, L. C.; CARAM, R. M.; BASSO, A.; FERNANDES, M. R. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. Revista Ambiente Construído, ANTAC, vol. 3; n°2, pag 69-76, Porto Alegre, 2003.
- DORNELLES, K. A. Absorvância 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.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. Eficiência Energética na Arquitetura. São Paulo: PW Editores, 1997.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ELETROBRAS/PROCEL e ao CNPq pelos recursos financeiros aplicados no financiamento deste estudo.