

ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES OPACAS: BASE DE DADOS DE TINTAS LÁTEX ACRÍLICA E PVA E A INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL

Kelen Almeida Dornelles (1)

(1) Doutora em Engenharia Civil, Pós-doutoranda, kelend@terra.com.br
Departamento de Arquitetura e Urbanismo, EESC/USP
Av. Trabalhador São-carlense, 400. 13566-590. São Carlos/SP - Brasil

RESUMO

A radiação solar é responsável por importante parcela da carga térmica dos edifícios e seu impacto sobre esta carga depende, principalmente, da absorptância solar do envelope construtivo. A falta de dados precisos e atualizados de absorptância solar para superfícies opacas faz com que pesquisadores e especialistas utilizem a percepção visual ou adotem tabelas baseadas em cores, consagrando-se o conceito de que a absorptância seria crescente na medida em que as cores fossem mais escuras. Para comprovar que a visão humana não é instrumento adequado para indicar o quanto uma superfície absorve de energia solar, este trabalho apresenta dados de absorptância solar para diferentes cores e tipos de tintas utilizadas em superfícies opacas de edificações no Brasil, a partir de medições de refletância em espectrofotômetro. Os dados de absorptância solar obtidos com o espectrofotômetro foram ajustados ao espectro solar padrão, considerando-se que a energia solar não é constante ao longo do espectro. Este ajuste indicou que a absorptância diminui quando submetida às diferentes intensidades da radiação solar. Finalmente, analisou-se o efeito da rugosidade superficial sobre a absorptância solar de amostras pintadas com diferentes cores de tintas, cujos resultados indicaram que a rugosidade aumenta linearmente a absorptância das superfícies. As diversas análises e discussões apresentadas neste trabalho comprovam que apenas a cor não é fator determinante da absorptância de uma superfície opaca.

Palavras-chave: absorptância solar, superfícies opacas, conforto térmico, tintas.

ABSTRACT

Solar radiation is the main responsible factor for the thermal load of buildings, and its impact over this load depends, mainly, on the solar absorptance of the building envelope. The lack of reliable and current data implies that researchers and specialists use visual perception or adopt tables based on surface colors to quantify the solar absorptance, which enhances the concept that absorptance increases as much as colors are darker. In order to show that the human eye is not reliable indicator of how much solar energy a surface absorbs, this work presents solar absorptance data for different paint colors, which are commonly used in Brazilian façades, measured with a spectrophotometer. Solar absorptance data measured with the spectrophotometer were adjusted to the standard solar spectrum, because the solar energy is not constant along the solar spectrum. This correction indicated solar absorptance diminishes when submitted to different solar radiation intensities. Finally, the influence of roughness on the solar absorptance was analyzed, whose results indicated roughness linearly increases surfaces solar absorptance. The several analysis and discussions presented in this work prove that only color is not a determinant factor of the solar absorptance.

Keywords: solar absorptance, opaque surfaces, thermal comfort, coatings.

1. INTRODUÇÃO

Em uma edificação, o consumo de energia com sistemas de refrigeração pode ser significativamente reduzido limitando-se o ganho de calor solar através de seu envelope, o qual depende da intensidade da radiação solar incidente e da absorptância da superfície externa, característica normalmente associada à utilização de diferentes cores superficiais. Para Givoni (1998), as absorptâncias do envelope determinam o impacto da radiação solar na edificação, pois indicam qual fração da energia solar que chega à edificação é realmente absorvida por seu envelope, afetando seu ganho de calor e as temperaturas internas, e qual fração é refletida, sem nenhum efeito sobre as condições térmicas da edificação.

A absorptância solar (α) é definida como o “*quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície*” (ABNT, 2005). Trata-se, assim, de uma propriedade determinante sobre a quantidade de calor absorvida pelas superfícies externas das edificações e sobre suas temperaturas internas.

O meio mais eficaz do projetista poder controlar a quantidade de calor que chega ao interior de uma edificação é considerar cuidadosamente o modo como o envelope construtivo tanto absorve quanto reflete a radiação solar. Segundo Givoni (1981), superfícies com baixa absorptância solar que refletem a maior parte do calor e da luz do Sol (radiação infravermelha e visível) usualmente são lisas e pintadas com cores “claras”.

Os impactos térmicos resultantes do uso de diferentes absorptâncias no envelope das edificações têm sido objeto de inúmeras pesquisas. Estudos experimentais e simulações por computador demonstraram que o uso de envelopes com alta refletância solar pode diminuir consideravelmente as temperaturas do ar no interior das edificações (MEIER, 1997). Segundo Berdhal e Bretz (1997), a economia com sistemas de ar condicionado é alcançada reduzindo-se a temperatura superficial externa de edificações, que por sua vez reduz o fluxo de calor através do envelope da edificação. Esta redução pode ser atingida aumentando-se a refletância das superfícies opacas externas da edificação, o que diminui o ganho de calor pelas envoltentes.

Atualmente, a grande variedade de cores, tipos de tintas e revestimentos disponíveis no mercado tem influenciado significativamente nos projetos arquitetônicos. No entanto, os fabricantes das diversas marcas de tintas e revestimentos não apresentam valores de absorptância e/ou refletância das diferentes cores que produzem. Devido à falta destes dados, o profissional escolhe a cor a ser utilizada apenas por sua percepção visual, sem dispor de dados referentes à absorção ou reflexão das diferentes tonalidades. Mesmo na literatura técnica, os dados disponíveis são desatualizados e imprecisos, dispondo de apenas alguns valores médios de absorptâncias e refletâncias em superfícies. Além disso, os dados encontrados na literatura brasileira atual baseiam-se, na maioria das vezes, na percepção visual ou em resultados obtidos no exterior, referindo-se a materiais e acabamentos que nem sempre correspondem aos utilizados nas construções brasileiras.

No Brasil, são poucas as pesquisas sobre o comportamento dos materiais opacos frente à absorção do calor solar. Rosado e Pizzutti (1997) publicaram dados para 165 diferentes amostras obtidas em um estudo cujo objetivo principal foi elaborar um manual para aplicação de cores em edificações. Granja (2002) estudou a influência da cor na transmissão de calor através de um fechamento opaco homogêneo, considerando-se diferentes absorptâncias à radiação solar. Também se investigou a diminuição da influência da absorptância à medida que se aumenta a espessura do fechamento. Castro (2002) estudou a atenuação do ganho de calor solar através da escolha adequada da cor externa, com base em medidas de refletância solar para amostras de catálogo e amostras pintadas com diferentes cores de tintas. Os resultados indicaram considerável diferença entre as refletâncias apresentadas por amostras pintadas e as obtidas a partir do catálogo, o que evidencia os riscos representados pelas decisões tomadas com base apenas na aparência, pois nem sempre a cor escolhida no catálogo representa o comportamento da superfície pintada. Segundo Castro (2002), deve-se averiguar o comportamento da cor em superfície real.

Além de supor que a absorptância solar depende das cores das superfícies, a maioria dos autores desconsidera o efeito da rugosidade superficial que os corpos apresentam e que afeta significativamente a quantidade de radiação solar absorvida ou refletida por uma superfície. Seker e Tavil (1996) mediram rugosidades e absorptâncias de amostras com 10 níveis distintos de rugosidades superficiais, cujas análises indicaram que cada 0,08 mm de acréscimo na rugosidade elevam a absorptância da superfície em 23%.

Buscando apresentar dados precisos e atualizados de absorptância solar de superfícies opacas, são divulgados neste trabalho dados de absorptância solar medidos em espectrofotômetro para diferentes cores e tipos de tintas comumente utilizadas em fachadas de edifícios no Brasil, as quais foram analisadas em pesquisa de doutorado realizada por Dornelles (2008). Os dados foram ajustados ao espectro solar padrão da ASTM (2003) e a influência da rugosidade superficial das amostras sobre a absorptância solar foi avaliada.

2. OBJETIVO

Disponibilizar dados de absorptância solar de diversas cores e tipos de tintas utilizadas em superfícies opacas de edificações no Brasil, a partir de medições de refletância em espectrofotômetro e ajustes ao espectro solar padrão, além de analisar o efeito da rugosidade superficial sobre a absorptância solar de amostras pintadas com diferentes cores de tintas.

3. MÉTODO

Para se atingir os objetivos deste trabalho, foram realizados diversos ensaios laboratoriais de amostras pintadas com diferentes cores de tintas, através do uso de espectrofotômetro. Este tipo de ensaio permite varrer a região espectral relativa ao ultravioleta, visível e infravermelho-próximo, possibilitando o estudo detalhado das regiões do espectro que interessam à pesquisa. Também se considerou nesta pesquisa a influência do espectro solar padrão sobre a intensidade de radiação solar que é absorvida pelas superfícies. Esta correção faz-se

necessária, pois a intensidade da radiação solar não é constante ao longo do espectro, o que modifica a quantidade de energia solar que é realmente absorvida pelas superfícies expostas ao Sol. Finalmente, analisou-se a influência da rugosidade superficial das amostras sobre suas absorptâncias, fato muitas vezes desconsiderado pela literatura técnica especializada. Esta análise foi feita a partir da confecção de amostras com diferentes níveis de rugosidade e pintadas com diferentes cores de tinta.

3.1. Amostras analisadas

Para a confecção das amostras, foram selecionadas diversas cores de tintas de diferentes fabricantes, de acordo com seu uso freqüente em fachadas de edifícios no Brasil, totalizando 78 amostras (Figura 1). As cores foram escolhidas a partir de catálogos de cores básicas das tintas do tipo látex acrílica e PVA produzidas pelas indústrias Suvinil e Sherwin Williams (Metalatex e Novacor). As tintas do tipo látex PVA são recomendadas apenas para uso interno por apresentarem menor resistência às intempéries. Entretanto, seu uso em paredes externas é bastante freqüente, pois custam menos que as tintas acrílicas, e por este motivo também foram incluídas nas análises deste trabalho. Também foram selecionadas tintas com diferentes tipos de acabamento superficial (fosca e semi-brilho) para observar eventuais diferenças nas refletâncias de tintas que apresentam composições químicas distintas, mas com cores iguais.

Para se obter resultados mais próximos àqueles de uma superfície real, foram utilizadas pastilhas cerâmicas no tamanho de 35 x 35 mm, com rugosidades superficiais semelhantes às das vedações de edificações, permitindo resultados mais realistas. As pastilhas foram pintadas com uma demão de tinta na cor cinza claro como fundo, seguida de duas demãos de tinta da cor a ser analisada, com intervalo mínimo de duas horas entre demãos. Tomou-se o cuidado de se obter amostras com superfícies homogêneas, predominando a cor da tinta considerada. O formato quadrado das pastilhas apresenta uma melhor adequação junto ao suporte do espectrofotômetro, permitindo melhor fixação e assegurando maior estabilidade quanto ao manuseio no momento de ensaiá-las. A nomenclatura das cores foi adotada segundo os catálogos dos fabricantes e a cor e tonalidade aproximadas das amostras descritas na Tabela 1.

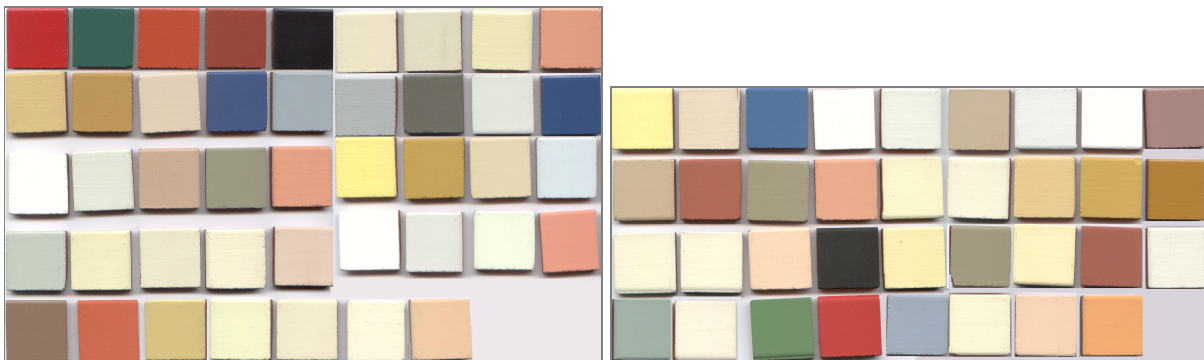


Figura 1 – Amostras de tintas látex PVA e acrílica analisadas.

Tabela 1 – Amostras analisadas e respectivas cores e tonalidades aproximadas.

Tipo	Nº	Nome Comercial	Cor	Tonalidade	Tipo	Nº	Nome Comercial	Cor	Tonalidade	
Metalatex Acrílica Fosca	1	Amarelo Antigo		Amarelo médio	Novacor Látex PVA Fosca	40	Branco Gelo		Branco médio	
	2	Amarelo Terra		Amarelo escuro		41	Erva doce		Verde claro	
	3	Areia		Bege		42	Flamingo		Laranja claro	
	4	Azul		Azul escuro		43	Laranja		Laranja	
	5	Azul Imperial		Azul claro		44	Marfim		Amarelo claro	
	6	Branco		Branco		45	Palha		Amarelo claro	
	7	Branco Gelo		Branco médio		46	Pérola		Amarelo claro	
	8	Camurça		Marrom claro		47	Pêssego		Rosa claro	
	9	Concreto		Cinza médio		Suvinil Acrílica Fosca	48	Alecrim		Verde claro
	10	Flamingo		Laranja claro			49	Azul bali		Azul claro
	11	Jade		Cinza claro			50	Branco Neve		Branco
	12	Marfim		Amarelo claro			51	Branco Gelo		Branco médio
	13	Palha		Amarelo claro			52	Camurça		Marrom claro
	14	Pérola		Amarelo claro			53	Concreto		Cinza médio

continua

	Tipo	N°	Nome Comercial	Cor	Tonalidade		Tipo	N°	Nome Comercial	Cor	Tonalidade
Metal. Acr.il. Fosca		15	Pêssego		Rosa claro		Suvini Acrífica Fosca	54	Marfim		Amarelo claro
		16	Tabaco		Marrom			55	Marrocos		Amarelo médio
		17	Terracota		Laranja escuro			56	Mel		Amarelo
Metalatex Acrífica Semi-brilho		18	Amarelo Antigo		Amarelo médio		Suvini Látex PVA Fosca	62	Amarelo Canário		Amarelo
		19	Amarelo Terra		Amarelo escuro			63	Areia		Bege
		20	Azul		Azul escuro			64	Azul Profundo		Azul escuro
		21	Branco Gelo		Branco médio			65	Branco Neve		Branco
		22	Cinza		Cinza escuro			66	Branco Gelo		Branco médio
		23	Cinza BR		Cinza claro			67	Camurça		Marrom claro
		24	Crepúsculo		Rosa médio			68	Cerâmica		Marrom escuro
		25	Flamingo		Laranja claro			69	Concreto		Cinza médio
		26	Marfim		Amarelo claro			70	Flamingo		Laranja claro
		27	Palha		Amarelo claro			71	Marfim		Amarelo claro
		28	Pérola		Amarelo claro			72	Palha		Amarelo claro
		29	Preto		Preto			73	Pérola		Amarelo claro
		30	Telha		Vermelho escuro			74	Pêssego		Rosa claro
		31	Terracota		Laranja escuro			75	Preto		Preto
		32	Verde Quadra		Verde escuro			76	Vanila		Amarelo
		33	Vermelho		Vermelho			77	Verde Musgo		Verde
Novacor Látex PVA Fosca		34	Amarelo Canário		Amarelo	78	Vermelho Cardinal		Vermelho		
		35	Amarelo Terra		Amarelo escuro						
		36	Areia		Bege						
		37	Azul angra		Azul claro						
		38	Bianco Sereno		Branco médio						
		39	Branco		Branco						

3.2. Medições em espectrofotômetro

A análise por espectrofotômetro é o meio mais indicado para obter as respostas que este trabalho se propôs a atingir, pois é o instrumento que fornece dados de refletância solar para superfícies opacas com maior precisão. As medições de refletância foram realizadas de acordo com padrões definidos pela American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers através da norma ASHRAE 74-1988 (ASHRAE, 1988). Utilizou-se o espectrofotômetro da marca Varian modelo CARY 5G, que pertence ao Instituto de Química da UFSCar. Este equipamento opera na faixa entre 185 nm e 3300 nm, possibilitando escolher as regiões do espectro pertinentes à pesquisa. Neste trabalho, as amostras foram ensaiadas a cada 1nm, no intervalo de 300 a 2500 nm, que é a região do espectro solar que apresenta maior concentração de energia proveniente do Sol, de acordo com o espectro solar padrão definido pela ASTM (2003). Para calibrar o equipamento, foram utilizadas duas amostras de referência com refletâncias de 99% e 2% (branco e preto de referência, respectivamente), produzidas pela Labsphere. As refletâncias absolutas das amostras ensaiadas foram obtidas para cada comprimento de onda a partir das curvas de base definidas por essas referências, em um gráfico que relaciona comprimento de onda (abscissas) com percentagem de reflexão (ordenadas).

3.3. Ajuste das absortâncias ao espectro solar padrão

O procedimento mais comum utilizado para a obtenção das características óticas de superfícies opacas é a integração da área sob a curva do gráfico resultante do ensaio e a divisão desta pela área total máxima dentro do intervalo medido, obtida quando a reflexão (ou absorção) é 100 % para todos os comprimentos de onda. Neste caso, seria 2200 (300 a 2500 nm) multiplicado por 100, resultando em 220.000. Desta forma, as refletâncias e absortâncias médias foram calculadas para três intervalos do espectro solar, caracterizando as regiões do ultravioleta (300 a 380 nm), visível (380 a 780 nm) e infravermelho (780 a 2500 nm), além do espectro solar total (300 a 2500 nm), através da integração das curvas obtidas nos ensaios espectrofotométricos.

Os dados de absortância solar obtidos pelo espectrofotômetro caracterizam o comportamento ótico das diferentes amostras quando expostas a uma energia constante ao longo de todo o espectro solar. No entanto, este cálculo não considera o percentual de energia incidente em cada comprimento de onda, pois o espectrofotômetro não faz essa distinção, o que acarreta distorções no caso da caracterização das superfícies frente à radiação solar, pois esta apresenta variações acentuadas de valores de energia incidente no intervalo estudado (SANTOS, 2002).

Para se chegar à quantidade de energia relativa (ponderada) que é absorvida pelas superfícies, os valores de absorptância 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 neste trabalho (ASTM, 2003). Este espectro padrão considera a radiação hemisférica solar global, composta pela radiação direta, que atinge a Terra vindo diretamente do Sol, e a radiação difusa, que sofre espalhamento pela atmosfera (Figura 2). Para representar de forma mais precisa a quantidade de energia solar que chega ao território brasileiro, seria ideal obter um espectro solar padrão específico para o Brasil a partir das condições atmosféricas observadas no país. Na falta de dados específicos, esta pesquisa baseou-se nos dados publicados pela ASTM (2003).

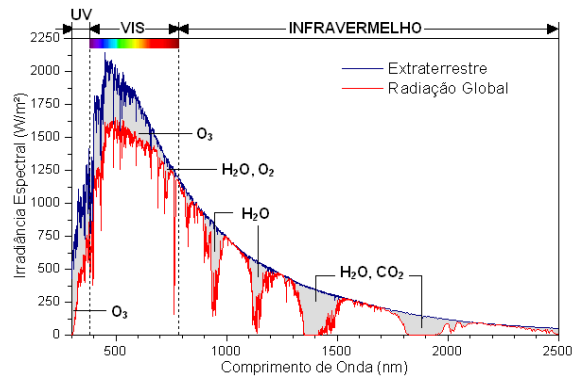


Figura 2 – Distribuição espectral da energia solar ao nível do mar (radiação global) e acima da atmosfera terrestre (extraterrestre), e principais gases absorvedores da radiação solar.

Fonte: adaptado de DUFFIE e BECKMAN (1984).

Assim, adotou-se o seguinte procedimento para o ajuste da absorptância solar total das amostras ao espectro solar padrão:

- i. Obtém-se a curva de intensidade relativa do espectro solar padrão (Equação 1), considerando-se cada comprimento de onda do espectro solar (sugere-se montar uma planilha para o cálculo):

$$IR_{\lambda} = \frac{I_{(\lambda)}}{I_{MÁX}} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

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

$I_{(\lambda)}$ = Irradiância solar global, para cada comprimento de onda, com base nos valores informados pelo espectro solar padrão (W/m^2);

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

- ii. Calcula-se a absorptância relativa das amostras, para cada comprimento de onda (sugere-se montar uma planilha para este cálculo).

$$\alpha_{Rel(\lambda)} = IR_{\lambda} \times \alpha_{\lambda} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$\alpha_{Rel(\lambda)}$ = Absorptância relativa, em cada comprimento de onda (%);

IR_{λ} = Intensidade relativa da Irradiância Solar Global, por comprimento de onda, obtida com a Equação 1;

α_{λ} = Absorptância medida em espectrofotômetro, por comprimento de onda (%).

- iii. Calcula-se a média das Absorptâncias Relativas ($Med\alpha_{Rel}$) da amostra e a média da intensidade relativa da Irradiância Solar Global (Med_{IR}), através da integração das curvas obtidas nos itens “i” e “ii”.
- iv. Obtém-se a Absorptância Solar Ajustada ao espectro solar padrão, para cada amostra analisada, conforme a equação 3. Neste caso, pode-se calcular a absorptância ajustada para todo o espectro solar considerado ou apenas para a parte de maior interesse (visível ou infravermelho, por exemplo). Para isso, as médias calculadas no item “iii” devem considerar apenas os valores correspondentes ao intervalo considerado.

$$\alpha_{Ajust} = \frac{Med\alpha_{Rel}}{Med_{IR}} \quad \text{Equação 3}$$

Sendo:

α_{Ajust} = Absorptância ajustada ao espectro solar padrão (%);

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

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

3.4. Análise do efeito da rugosidade superficial sobre as absorptâncias

Procurando-se quantificar o efeito da rugosidade superficial sobre a absorptância solar de superfícies opacas, mediu-se as refletâncias em espectrofotômetro para amostras lisas e rugosas. Para simular amostras com superfícies rugosas, foram utilizadas lixas do tipo “lixa-ferro” fabricadas pela 3M com quatro diferentes rugosidades superficiais (Tabela 2), de acordo com padrões de granulometria definidos pela Federation of European Producers of Abrasives (FEPA), as quais foram pintadas com cinco cores distintas (Tabela 3). Essas lixas foram escolhidas porque apresentam rugosidades superficiais homogêneas quanto à distribuição dos grãos.

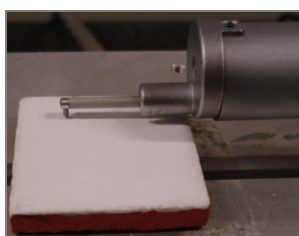
Tabela 2 – Granulometria das amostras rugosas.

CLASSIFICAÇÃO FEPA	DIÂMETRO MÉDIO DO GRÃO (MM)
P16	1,324
P24	0,764
P36	0,538
P50	0,336

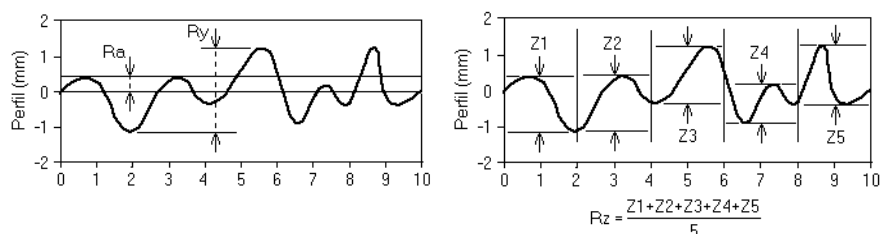
Tabela 3 – Cores e tipos das tintas aplicadas sobre as amostras rugosas.

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

As rugosidades médias das amostras lisas (R_a) foram obtidas através de um Perfilômetro de Contato Mecânico (Figura 3a), disponível do Departamento de Física da Universidade Federal de São Carlos. Este equipamento faz a leitura dos picos e vales da superfície considerada, cujos movimentos verticais são transformados em sinais elétricos. O equipamento fornece valores de R_a , R_y e R_z (Figura 3b), entre outros parâmetros, além do perfil de rugosidade superficial das amostras. Considerando-se todos os pontos de um perfil da amostra a ser avaliada, R_a é o desvio padrão desses pontos em torno de uma reta estabelecida a meia altura entre o pico mais alto e o vale mais profundo do perfil. R_y é a diferença de nível (mm) entre o pico mais alto e o vale mais profundo do perfil considerado. Dividindo-se o perfil em “n” setores (5 é um número usual, conforme ilustrado na Figura 3b), registra-se a amplitude máxima (Z) de cada setor, ou seja, a diferença de nível entre seu pico mais alto e seu vale mais profundo; o parâmetro R_z é a média aritmética entre as “n” amplitudes:



a) Perfilômetro durante medição da rugosidade.

b) Parâmetros R_a , R_y e R_z de caracterização da rugosidade de superfícies.Figura 3 – Perfilômetro de contato mecânico para medir a rugosidade superficial das amostras e parâmetros R_a , R_y e R_z .

Para determinar a rugosidade média das lixas pintadas não foi possível a utilização desse equipamento, pois ele não permite a medição de amostras com valores de R_y (diferença de nível entre picos e vales) superiores a 600 μm (0,6 mm). Especificamente no Departamento de Física da UFSCar, esse equipamento é utilizado para medições de rugosidades superficiais de amostras de vidros, películas e cerâmicas, superfícies que apresentam escalas de rugosidade média inferiores às lixas utilizadas nesta pesquisa.

Assim, 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 das amostras, conforme apresentado na Figura 4.

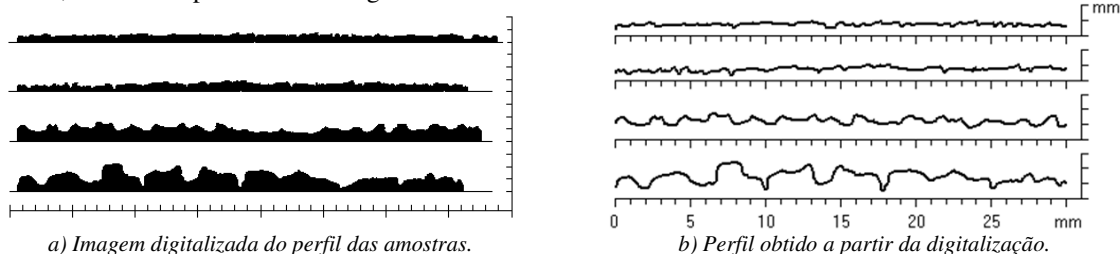


Figura 4 – Perfil digitalizado das amostras rugosas para obtenção da rugosidade média.

Para o cálculo da rugosidade média (Ra) das amostras a partir dos perfis digitalizados em scanner, foram desenvolvidas rotinas computacionais para a leitura dos picos e vales, e posterior cálculo do Ra , conforme definição apresentada através da Equação 4. Os valores de Ra calculados para as amostras lisas e rugosas (Tabela 3) foram utilizados em análises de regressão para verificar a influência da rugosidade sobre a absorptância solar das amostras estudadas.

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad \text{Equação 4}$$

Sendo:

Ra = Rugosidade média (mm);

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

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Dados de absorptância solar medidos em espectrofotômetro

Nas figuras 5 e 6 são apresentadas algumas curvas espectrais de absorptância das amostras avaliadas e na Tabela 4 as respectivas absorptâncias médias para as regiões do ultravioleta (300 a 380 nm), visível (380 a 780 nm), infravermelho (780 a 2500 nm) e espectro solar total (300 a 2500 nm), obtidas a partir das medições de refletância em espectrofotômetro ($\alpha = 1 - \rho$), juntamente com os dados ajustados ao espectro solar padrão.

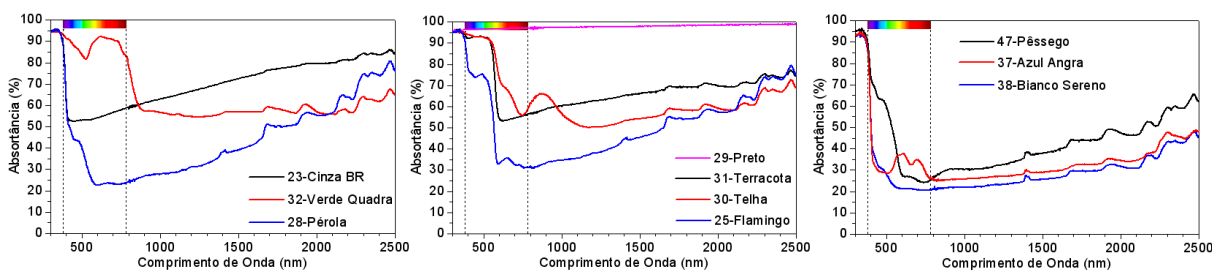


Figura 5 – Curvas espectrais de absorptância de algumas tintas látex acrílica e PVA - Sherwin Williams.

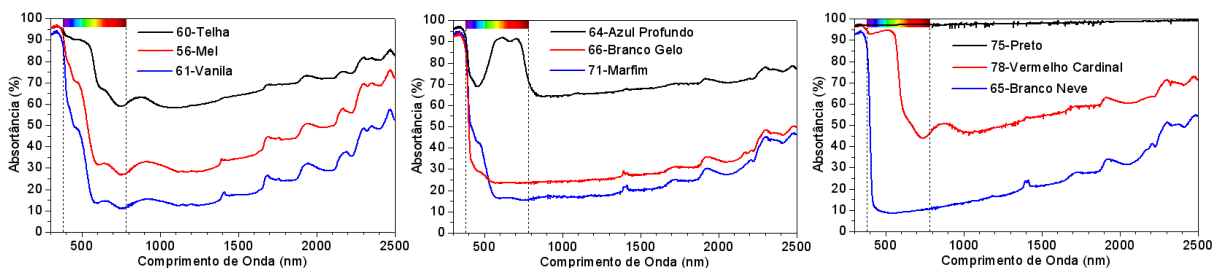


Figura 6 – Curvas espectrais de absorptância de algumas tintas látex acrílica e PVA - Suvinil.

4.2. Dados de absorptância solar ajustados ao espectro solar padrão

Na tabela 4 são apresentadas as absorptâncias das amostras ajustadas ao espectro solar padrão, conforme método apresentado no item 3.3. Observa-se que a maioria das amostras teve uma redução de suas absorptâncias, o que comprova que as superfícies se comportam de maneira distinta frente à radiação solar. Esta redução deve-se, principalmente, à baixa quantidade de radiação ultravioleta que chega à superfície terrestre. As amostras com tonalidade escura (**grifadas**) foram as que apresentaram, em geral, aumento nas suas absorptâncias quando ajustadas ao espectro solar padrão. Este comportamento é resultado da maior absorptância dessas cores na região visível do espectro solar, que é a região com maior concentração de energia proveniente do Sol. Conseqüentemente, a proporção de energia solar absorvida por essas amostras será maior, conforme exemplos apresentados na Figura 7.

Tabela 4 – Absorptâncias médias (%) por faixa do espectro, medidas em espectrofotômetro (Espect.) e ajustadas ao espectro solar padrão (Ajust.).

continua

Tipo	N°	Nome Comercial	ULTRAVIOLETA		VISÍVEL		INFRAVERMELHO		TOTAL	
			Espect.	Ajust.	Espect.	Ajust.	Espect.	Ajust.	Espect.	Ajust.
Metalatex Acrílica Fosca	1	Amarelo Antigo	96,0	95,6	54,7	53,5	54,6	46,8	56,1	51,4
	2	Amarelo Terra	96,7	96,5	69,6	68,9	62,6	57,2	65,1	64,3
	3	Areia	95,4	94,8	45,8	44,5	51,7	42,8	52,2	44,9
	4	Azul	95,1	94,7	86,8	87,0	60,9	56,4	66,8	73,3
	5	Azul Imperial	94,4	93,8	63,4	62,7	75,8	70,4	74,2	66,9
	6	Branco	94,9	94,4	14,0	11,6	28,4	16,7	28,2	15,8

continua

Tipo	N°	Nome Comercial	ULTRAVIOLETA		VISÍVEL		INFRAVERMELHO		TOTAL	
			Espect.	Ajust.	Espect.	Ajust.	Espect.	Ajust.	Espect.	Ajust.
Metalatex Acrílica Fosca	7	Branco Gelo	95,0	94,5	36,5	34,8	46,4	37,2	46,4	37,2
	8	Camurça	95,0	94,5	60,1	59,3	60,6	53,3	61,8	57,4
	9	Concreto	95,4	95,0	74,1	73,4	79,5	74,8	79,1	74,5
	10	Flamingo	96,1	95,7	55,0	54,3	50,5	41,5	53,0	49,5
	11	Jade	94,5	94,0	50,7	49,5	61,0	53,5	60,3	52,3
	12	Marfim	94,5	93,9	34,6	32,8	42,5	31,5	43,0	33,6
	13	Palha	94,8	94,2	36,7	35,0	45,4	35,8	45,6	36,7
	14	Pérola	95,1	94,5	34,0	32,3	40,9	30,8	41,6	33,0
	15	Pêssego	95,2	94,6	43,7	42,5	50,0	40,6	50,5	42,8
16	Tabaco	95,0	94,7	79,4	79,1	77,6	76,2	78,6	78,1	
17	Terracota	96,1	95,7	70,1	69,9	62,3	56,9	65,0	64,6	
Metalatex Acrílica Semi-brilho	18	Amarelo Antigo	95,3	95,1	53,6	52,4	53,7	44,2	55,2	49,7
	19	Amarelo Terra	95,7	95,6	71,7	71,0	69,3	64,5	70,7	68,6
	20	Azul	95,4	95,0	87,4	87,6	73,8	70,1	77,1	79,9
	21	Branco Gelo	94,3	93,7	33,0	31,2	50,4	39,1	48,9	36,2
	22	Cinza	95,0	94,6	84,8	84,5	90,6	88,2	89,7	86,4
	23	Cinza BR	94,4	93,9	56,2	55,2	73,7	66,3	71,2	61,1
	24	Crepúsculo	94,2	93,6	67,1	66,7	70,8	63,7	71,0	66,0
	25	Flamingo	94,9	94,5	52,6	51,9	50,7	39,5	52,7	47,3
	26	Marfim	94,3	93,9	35,0	33,1	43,0	31,8	43,4	33,9
	27	Palha	94,1	93,4	37,4	35,8	52,6	41,3	51,3	39,6
	28	Pérola	94,3	93,7	33,5	31,8	46,6	33,4	45,9	33,9
	29	Preto	96,0	96,1	96,7	96,7	98,0	97,6	97,7	97,1
	30	Telha	95,3	95,2	78,3	78,5	58,6	57,9	63,5	69,6
	31	Terracota	95,8	95,6	72,8	72,6	66,9	62,2	69,1	68,4
	32	Verde Quadra	94,1	94,0	88,6	88,4	58,5	59,7	65,2	75,5
33	Vermelho	93,3	93,1	71,1	71,1	59,1	54,7	62,6	64,2	
Novacor Látex PVA Fosca	34	Amarelo Canário	94,2	93,7	36,1	34,3	26,9	20,2	31,1	29,3
	35	Amarelo Terra	95,8	95,7	66,6	65,7	58,4	54,7	61,3	61,4
	36	Areia	94,1	93,4	42,9	41,5	38,1	33,4	41,1	39,0
	37	Azul angra	93,0	92,4	34,9	33,6	32,5	27,8	35,2	32,3
	38	Bianco Sereno	92,4	91,8	27,8	26,0	29,3	24,1	31,3	26,6
	39	Branco	92,8	92,0	10,9	8,7	17,1	9,9	18,7	11,1
	40	Branco Gelo	92,9	92,3	33,9	32,4	38,9	33,1	39,9	34,0
	41	Erva doce	92,6	92,0	25,5	23,6	23,5	16,3	26,4	21,9
	42	Flamingo	94,9	94,6	53,5	52,8	45,8	37,4	49,0	46,8
	43	Laranja	95,2	94,7	49,5	48,6	33,5	27,0	38,6	39,9
	44	Marfim	94,1	93,4	32,3	30,4	32,4	25,6	34,6	29,7
	45	Palha	94,1	93,6	32,7	30,9	27,7	22,5	31,0	28,5
	46	Pérola	93,6	93,0	26,9	24,9	30,3	23,2	32,0	25,7
	47	Pêssego	94,7	94,2	43,4	42,2	41,9	33,6	44,1	39,5
Suvivil Acrílica Fosca	48	Alecrim	95,5	95,2	64,2	63,3	68,1	63,3	68,4	64,0
	49	Azul bali	95,7	95,3	60,1	59,8	45,2	34,0	49,7	48,9
	50	Branco Neve	92,2	91,7	10,0	7,6	18,2	9,0	19,4	10,2
	51	Branco Gelo	91,9	91,4	28,5	26,8	37,1	30,0	37,5	29,7
	52	Camurça	94,9	94,6	57,3	56,3	59,9	53,2	60,7	55,8
	53	Concreto	94,3	94,1	71,6	70,9	75,0	70,9	75,1	71,5
	54	Marfim	92,0	91,5	29,3	27,4	30,4	22,5	32,4	26,7
	55	Marrocos	95,6	95,5	61,6	60,7	52,2	45,7	55,5	54,7
	56	Mel	95,9	95,6	47,8	46,4	43,1	33,8	45,9	41,8
	57	Palha	93,0	92,5	28,4	26,6	32,8	24,6	34,2	27,2
	58	Pérola	91,8	91,3	24,4	22,6	26,9	18,1	28,8	22,1
	59	Pêssego	93,7	93,4	38,5	37,1	39,2	29,7	41,1	35,0
	60	Telha	95,9	95,8	76,8	76,7	67,9	62,7	70,6	70,8
	61	Vanila	92,5	92,1	29,1	27,3	24,9	16,7	28,1	23,9
Suvivil Látex PVA Fosca	62	Amarelo Canário	93,3	92,8	32,4	30,5	22,2	15,6	26,7	25,2
	63	Areia	91,6	91,1	39,2	37,8	35,6	30,4	38,3	35,7
	64	Azul Profundo	96,0	95,7	83,1	83,2	69,5	66,7	72,9	76,0
	65	Branco Neve	92,7	92,3	14,0	11,8	27,2	17,5	27,2	16,2
	66	Branco Gelo	92,1	91,5	28,5	26,8	31,6	26,3	33,3	28,1
	67	Camurça	94,0	93,6	56,9	55,9	51,9	47,9	54,4	53,2
	68	Cerâmica	96,6	96,4	73,4	73,4	58,3	54,4	62,5	65,3
	69	Concreto	95,6	95,3	71,9	71,1	75,1	71,0	75,3	71,6
70	Flamingo	94,2	93,8	51,6	50,8	39,0	34,6	43,3	44,4	
71	Marfim	93,5	92,9	28,0	26,0	25,4	19,2	28,4	24,5	

Tipo	N°	Nome Comercial	ULTRAVIOLETA		VISÍVEL		INFRAVERMELHO		TOTAL	
			Espect.	Ajust.	Espect.	Ajust.	Espect.	Ajust.	Espect.	Ajust.
Suvivil Látex PVA Fosca	72	Palha	91,3	90,8	28,6	26,8	29,7	22,7	31,8	26,4
	73	Pérola	92,5	91,9	25,5	23,6	26,0	18,6	28,3	22,9
	74	Pêssego	92,5	92,0	35,2	33,9	28,1	22,0	31,7	29,8
	75	Preto	97,1	97,1	97,1	97,1	98,2	97,7	98,0	97,4
	76	Vanila	93,0	92,5	32,6	30,8	27,8	20,9	31,1	27,7
	77	Verde Musgo	96,5	96,4	83,5	83,0	76,7	75,4	78,7	79,8
	78	Vermelho Cardinal	96,4	96,2	72,2	72,4	57,0	51,2	61,2	63,3

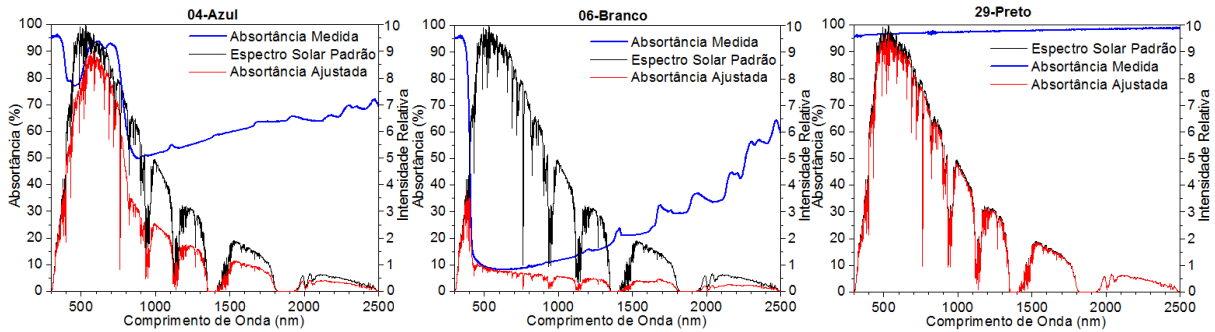


Figura 7 – Curvas espectrais de absorvância das amostras 04, 06 e 29 ajustadas ao espectro solar padrão.

4.3. Análise do efeito da rugosidade superficial sobre as absorvâncias

Nas figuras 8 e 9 são apresentadas as curvas espectrais de absorvância das amostras lisas e rugosas analisadas nesta etapa da pesquisa.

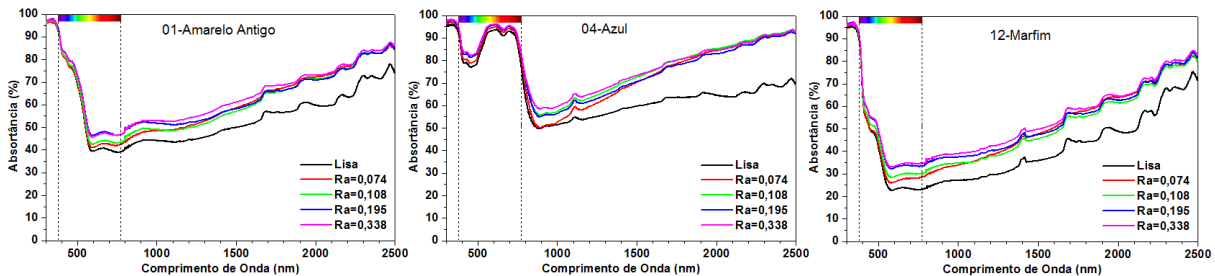


Figura 8 – Curvas espectrais de absorvância das amostras rugosas e lisas n° 01, 04 e 12.

Na Tabela 5 são apresentados os dados de absorvância solar médios obtidos para as amostras lisas e rugosas.

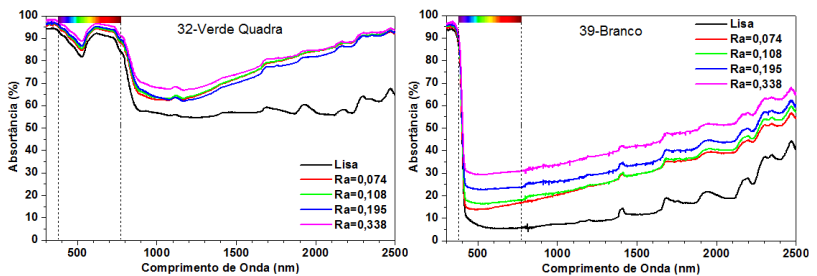


Figura 9 – Curvas espectrais de absorvância das amostras rugosas e lisas n° 32 e 39.

Tabela 5 – Absorvâncias totais para amostras lisas e rugosas.

Tinta aplicada sobre as amostras	Absorvâncias totais (%), em função da rugosidade superficial.					
	Rugosidade (Ra, em mm) das amostras apoiadas sobre o sensor					
Nome comercial	Lisa (0,003)	0,074	0,108	0,195	0,338	
01-Amarelo Antigo	56,1	63,3	63,1	64,5	65,8	
04-Azul	66,8	77,1	79,2	78,0	79,8	
12-Marfim	43,0	52,1	51,7	53,7	55,3	
32-Verde Quadra	65,2	80,1	80,5	79,6	82,5	
39-Branco	18,7	32,8	34,2	38,4	45,5	

Análises de regressão indicaram que a rugosidade aumenta linearmente a absorvância de cada amostra (Figura 10) e os coeficientes angulares das retas apontam aumento mais significativo na tinta branca, de menor absorvância. Este comportamento seria previsível, pois nas amostras de menores absorvâncias as inter-reflexões envolvem grandes quantidades de energia. Os resultados sugerem, no entanto, a existência de outros fatores interferindo no processo, pois os aumentos de absorvância nas outras tintas não são proporcionais às suas respectivas absorvâncias. O marfim, cuja amostra lisa tem a segunda menor absorvância, sofre um aumento proporcionalmente menor que o azul. A explicação para esta aparente contradição exigirá novas análises dos resultados obtidos.

Embora a amostra lisa indique absorvância ligeiramente mais baixa, a tinta verde é mais sensível aos efeitos da rugosidade que a azul. Nesse caso, o motivo provável da inversão seja o fato da tinta verde ser do tipo semi-brilho, enquanto a azul é fosca. Já foi provado que a maior parte das tintas de acabamento semi-brilho analisadas neste trabalho apresentaram absorvâncias superiores às tintas de acabamento fosco.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, destaca-se a importância de divulgar dados precisos e atualizados de absorvância solar de superfícies opacas, a partir de métodos precisos e confiáveis para medição dessa propriedade física das superfícies. Os resultados indicaram a necessidade da correta quantificação da absorvância solar das superfícies, visto que o olho humano não é um indicador confiável de quanto uma superfície absorve ou reflete de energia solar. O ajuste das absorvâncias ao espectro solar comprovou a necessidade desta correção, pois as medições em espectrofotômetro caracterizam o comportamento ótico das diferentes amostras quando expostas a uma energia constante ao longo de todo o espectro solar, o que não representa a quantidade de energia relativa que é absorvida pelas superfícies.

A rugosidade superficial da amostra deve ser considerada na determinação de sua absorvância solar. As medições em espectrofotômetro para amostras rugosas pintadas com diferentes cores de tintas indicaram que a rugosidade aumenta linearmente a absorvância de cada superfície, com aumento mais significativo na amostra pintada de cor branca. Este comportamento é resultado da menor absorvância da tinta branca, onde as inter-reflexões na superfície rugosa envolvem maiores quantidades de energia. Os resultados das outras amostras sugerem, no entanto, a existência de outros fatores interferindo no processo, pois os aumentos de suas absorvâncias não foram proporcionais às suas respectivas absorvâncias. Também se observou que as amostras pintadas com tintas semi-brilho foram mais sensíveis aos efeitos da rugosidade do que àquelas pintadas com tintas de acabamento fosco. Este comportamento provavelmente seja resultado da maior absorvância que as tintas semi-brilho apresentam em relação às tintas de acabamento fosco.

6. REFERÊNCIAS

- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **74-1988**: method of measuring solar-optical properties of materials. Atlanta, 1988.
- ASTM - 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.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações - parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.
- BERDHAL, P.; BRETZ, S. E. Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. **Energy and Buildings**, v. 25, p. 149-158, 1997.
- CASTRO, A. P. A. S. **Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica**. 2002. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- DORNELLES, K. A. **Absorvância solar de superfícies opacas**: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1984.
- GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. London: Applied Science Publishers, 1981.
- _____. **Climate considerations in building and urban design**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- GRANJA, A. D. Transmissão de calor em regime periódico: efeito da inércia térmica em fechamentos opacos. 2002. 132p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- MEIER, A. Special issue on urban heat islands and cool communities. **Energy and Buildings**, v. 25, p. 95-177, 1997.
- ROSADO, C.; PIZZUTTI, J. L. A influência das cores no conforto térmico-luminoso e na redução do consumo de energia nas edificações. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador, 1997.
- SANTOS, J. C. P. **Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar**. 2002. 393p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2002.
- SEKER, D. Z.; TAVIL, A. Ü. Evaluation of exterior building surface roughness degrees by photogrammetric methods. **Building and Environment**, v. 31, n. 4, p. 393-398, 1996.

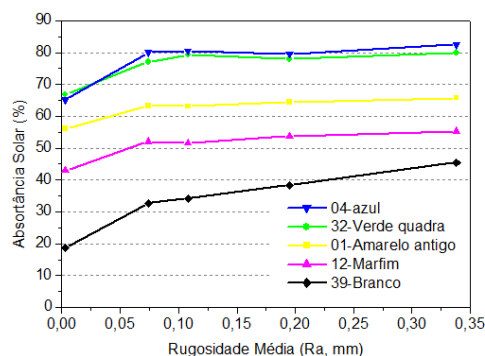


Figura 10 – Absorvâncias médias das amostras rugosas, em função da rugosidade média (Ra).