CORRELAÇÃO ENTRE ABSORTÂNCIA SOLAR E PARÂMETROS DE COR DE TINTAS

Lorena Couto (1); Kelen Dornelles (2); Victor Roriz (3)

(1) Mestre, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, lorenacouto@usp.br, Universidade de São Paulo

(2) Pós-doutora, Professora do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, kelend@usp.br, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São-Carlense, 400, São Carlos-SP, (16) 3373-9285

(3) Pós-doutor, Colaborador do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, vfroriz@gmail.com, Universidade de São Paulo

RESUMO

As características da superfície dos materiais que compõem o envelope construtivo, exercem grande impacto na transmissão de calor para o ambiente interno, o que sugere a importância de conhecer as propriedades da envoltória e compreender as relações entre elas. Entre as propriedades das tintas que podem ser aplicadas nas fachadas das edificações, encontram-se a absortância solar e os parâmetros que caracterizam as cores. Sabe-se que em geral, tintas mais claras tendem a absorver menos radiação solar, e as mais escura tendem a absorver maior quantidade desta radiação. Este artigo busca analisar, para seis diferentes cores de tintas com acabamento fosco, as relações entre a absortância solar e seus parâmetros de cor. A absortância solar foi calculada a partir da refletância solar, esta por sua fez foi medida em um espectrofotômetro com esfera integradora e ajustado ao espectro solar padrão. Para os parâmetros de cor, foi utilizado um colorímetro que realiza medições considerando o espaço de cor CIELab. As correlações dos dados de foram realizadas através de análises de regressão. Entre os valores de absortância solar, foi percebido que as cores mais claras apresentaram menores absortâncias solares, seguidas das tintas vermelha e azul, que apresentaram absortâncias semelhantes, por fim a cor preta foi aquela com maior absortância entre todas. Para a correlação entre a absortância solar e o parâmetro L*, foi encontrado um R^2 de 0,939, com erro padrão de 0,087. Já considerando todos os parâmetros de cor (L*, a*, b*, C e h) juntos e correlacionando-os com a absortância, o R^2 foi ainda maior, de 0,999, com erro padrão menor, 0,009. Apresentando-se, assim, a correlação de todos os parâmetros como mais confiável que utilizando somente a luminosidade (L*), para as amostras aqui avaliadas.

Palavras-chave: refletância solar, colorimetria, tintas.

ABSTRACT

The surface characteristics of the materials of the building envelope have a great impact on the transmission of heat to the internal environment, which suggests the importance of knowing the properties of the envelope and understanding the relationships between them. Among the properties of the paints that can be applied to the facades of buildings are solar absorptance and the parameters that characterize the colors. It is known that in general, lighter paints tend to absorb less solar radiation, and darker paints tend to absorb a greater amount of this radiation. This paper intends to analyze, for six different colors of paints with matte finish, the correlation between solar absorptance and their color parameters. The solar absorptance was calculated from the solar reflectance, which in turn was measured in a spectrophotometer with an integrating sphere and adjusted to the standard solar spectrum. For the color parameters, a colorimeter that takes measurements considering the CIELab color space was used. The correlations of the data were performed by regression analysis. Among the solar absorptance values, it was noticed that the lighter colors presented lower solar absorptances, followed by the red and blue colors, which presented similar absorptances, and finally the black color was the one with the highest absorptance among all. For the correlation between solar absorptance and the L* parameter, an R^2 of 0.93 was found, with a standard error of 0.08. Considering all color parameters (L*, a*, b*, C and h) together and correlating them with the absorbance, the R^2 was even higher, 0.99, with a lower standard error of 0.03. Thus, the correlation of all parameters is more reliable than using only the luminosity (L*) for the samples evaluated here.

Keywords: solar reflectance, colorimetry, paints.

1. INTRODUÇÃO

A melhoria dos índices de conforto dos usuários no interior dos edifícios, a redução das temperaturas dos edifícios e cidades e ainda a redução do consumo de energia elétrica para o condicionamento dos ambientes, têm sido objetivos a serem alcançados pela arquitetura Bioclimática. Conhecer as propriedades da envoltória das edificações é um dos passos necessários para se atingir estes objetivos, a este respeito, Givoni (1998) afirma que o valor de absortância solar da envoltória de uma edificação é fator determinante para definir o impacto que a radiação solar direta terá sobre a temperatura interna deste edifício, pois afeta diretamente o ganho de calor através das superfícies.

Se a temperatura de uma superfície está ligada ao calor que esta recebe e absorve, pode-se concluir que a absortância solar tem grande influência nesta temperatura, além disso, a quantidade de calor emitida pela superfície, também influenciará em sua temperatura. Portanto, um material que permite baixa porcentagem de absorção da radiação incidente, tende a manter uma temperatura superficial baixa. Conforme a NBR 15220-01 (ABNT, 2005), a porcentagem de radiação absorvida por uma superfície é conhecida como absortância solar.

As características termofísicas e ópticas dos materiais que compõem o envelope construtivo, como a absortância solar, determinam como se dará a transferência de calor do exterior para o interior de uma edificação (ALCHAPAR; CORREA, 2016). Portanto, o estudo aprofundado dessas características auxilia a compreensão do comportamento das edificações com relação à radiação que nelas incidem, e dá subsídios para o estudo do conforto dos usuários no interior dos edifícios.

Pesquisas (SANTAMOURIS, KOLOKOTSA, 2015; PISELLO *et al.* 2016; GILBERT *et al.,* 2017), confirmam esta relação entre a absortância solar da envoltória da edificação com a redução da temperatura interna dos edifícios, e com a redução do consumo de energia para condicionamento dos ambientes internos. O que corrobora com a ideia de que a absortância solar é fator importante para um bom desempenho térmico das edificações, e ainda com a necessidade de se conhecer e compreender as relações desta propriedade da superfície e os demais fatores que a compõem.

Isto posto, faz-se necessária uma melhor compreensão das relações entre a absortância solar das superfícies e suas demais características, como por exemplo, em se tratando de tintas, os parâmetros que caracterizam suas cores. Sabe-se que em geral, tintas com coloração mais claras tendem a absorver menos radiação solar, e aquelas com coloração mais escura tendem a absorver maior quantidade desta radiação.

Contudo, como Dornelles (2008) apresenta, as tintas claras podem ter variações de absortância solar mesmo entre cores com mesma nomenclatura no mercado, e ainda entre cores claras distintas, essas variações são ainda maiores. Neste trabalho foi utilizado o espaço de cor CIELab, sugerido pela norma NBR 15077 (ABNT, 2004) como padrão para determinação de cores de tintas para a construção civil.

Faz-se necessária a adoção de parâmetros para a definição das cores devido às variações de cor das superfícies de acordo com o observador e fonte de luz incidente. Os parâmetros utilizados para a análise dos dados colhidos neste trabalho, do CIELab, são estabelecidos pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE), e é composto por cinco parâmetros, sendo os primeiros referentes às coordenadas neste espaço de cor (Figura 1), a luminosidade L*, as coordenadas de cor a* referentes à variação entre verde e vermelho, e as coordenadas b* indicando a variação entre azul e amarelo. A Figura 1 ilustra o espaço de cor CIELab, com as coordenadas referentes à L*, a* e b*, já os parâmetros C e h são obtidos através das coordenadas a* e b* (ISO/CIE, 2019), e referem-se respectivamente à saturação (*chroma*) e ao ângulo em que a cor está representada no espaço CIELab (tonalidade).

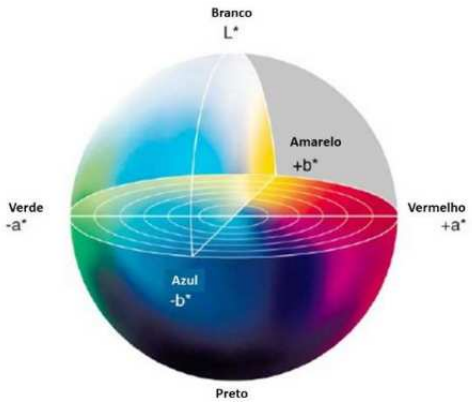


Figura 1 - Espaço de cor CIELab.
Fonte: Adaptado de DELTA COLOR (2023).

O espaço de cor CIELab é utilizado na indústria de materiais de construção, como ferramenta de caracterização das superfícies, como exemplo, para analisar a idade de madeiras classificando e qualificando-as (DELUCIS, et al., 2014). Ou ainda para caracterizar as alterações de cor de pinturas a partir da adição de novos componentes (PRIMO *et al.*, 2019).

Pesquisas como a de Grillo *et. al* (2011), já apresentam correlações entre os valores de refletância solar e os parâmetros de cor após a degradação de superfícies de polipropileno por elevadas temperaturas, percebendo-se que com as alterações sofridas pela superfície, a forma como os diferentes comprimentos de onda são refletidos é afetada, impactando diretamente na sua refletância solar e nos seus parâmetros de cor.

Estes parâmetros são ainda utilizados na indústria da construção civil, para avaliar a validade de tintas e a variação de sua pigmentação (MATSUMOTO, 2022), ou ainda para a avaliação da degradação da tinta após processo de envelhecimento acelerado (PISELLO *et al.*, 2017), apresentando como as intempéries alteram os valores se suas coordenadas CIELab. Da mesma forma, Morini *et al.* (2018) avaliou a alteração nas coordenadas de cor L, a* e b* após o processo de envelhecimento de amostras de tintas, percebendo que os parâmetros das amostras envelhecidas caracterizavam colorações mais escuras, percebendo ainda que esta variação interferiu no valor final de refletância solar das amostras, com maior variação na região do visível.

A partir do exposto, percebe-se a importância de compreender as relações entre os parâmetros de cor de tintas brasileiras e seus valores de absortância solar, correlação esta, proposta neste artigo como forma de avançar no conhecimento dos materiais que compõem o envelope construtivo das edificações brasileiras.

2. OBJETIVO

O presente artigo tem por objetivo correlacionar a absortância solar de tintas foscas com seus parâmetros de cor CIELab, estabelecidos pela NBR 15077 (ABNT, 2004), a fim de compreender se a partir destes parâmetros, pode-se estimar a absortância solar.

3. MÉTODO

Buscando analisar as relações entre a absortância solar de tintas presentes no mercado da construção civil brasileira, e seus parâmetros de cores, esta pesquisa selecionou seis diferentes cores de tintas com acabamento fosco, todas do mesmo fabricante. As tintas foram aplicadas, conforme as orientações da embalagem, em placas cimentícias medindo 10 cm x 6 cm de lado, aproximadamente (Figura 2).

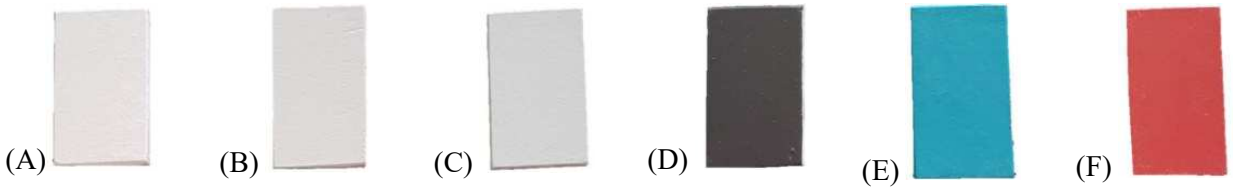


Figura 2 - Amostras selecionadas, cores Branco Neve (A); Vento Sul (B); Urso Polar (C); Patativa (D), Martim Pescador (E) e Nectarina (F).

Este artigo deriva de uma pesquisa de doutorado que busca analisar o envelhecimento natural de seis cores de tintas em três diferentes cidades, Teresina – PI, São Carlos – SP, e Florianópolis – SC, portanto a quantidade de amostras selecionadas tem relação com o método e procedimentos realizados nesse doutorado. Tendo isto em vista, as medições dos parâmetros de cor e cálculo da absortância solar foram realizadas para trinta e seis amostras de cada uma das seis cores, totalizando duzentas e dezesseis amostras.

Para identificar as amostras, a cada uma das cidades foi dada uma sigla, presentes na tabela 1, e a partir destas, uma nomenclatura foi dada a cada amostra.

Tabela 1 - Siglas das cores e cidades.

Cor	Sigla	Cor	Sigla	Cidade	Sigla
Branco Neve	B	Patativa	P	Teresina	THE
Vento Sul	VS	Martim Pescador	A	São Carlos	SCS
Urso Polar	UP	Nectarina	V	Florianópolis	FLN

3.1. Medição de refletância solar e cálculo de absortância solar

Considerando que todas as amostras utilizadas tratam de superfícies opacas, e que para estas superfícies, do total da radiação solar incidente, uma porcentagem será refletida e o restante absorvida pelo material (Equação 1), a absortância solar das tintas aqui avaliadas foi calculada a partir dos valores de refletância solar medidos.

$$\alpha + \rho = 1 \qquad \text{Equação 1}$$

Sendo:
α – absortância solar
ρ – refletância solar

Para obtenção da refletância solar das amostras, foi utilizado um espectrofotômetro com esfera integradora, segundo o especificado na norma ASTM E903 (ASTM, 2020a), com medições de refletância espectral a cada 1 nm, considerando todo o espectro solar, entre 300 e 2500 nm. Posteriormente, a partir dos dados medidos de refletância espectral, foi realizado um ajuste ao espectro solar padrão, conforme a norma ASTM G13 (ASTM, 2020b), a partir deste ajuste foi calculada a refletância solar.

3.2. Medição de parâmetros no espaço de cor CIELab

Visando obter dados que caracterizem a cor das amostras independente das variações de luz e observador, os parâmetros de cor das tintas selecionadas foram medidos utilizando um colorímetro Colorium 2 Delta Color, juntamente ao software Lab7 Delta Color.

Este equipamento mede as coordenadas L*, a*, b*, C* e h presentes no espaço de cor CIELab, estabelecido pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE), e adotado pela NBR 15077 (ABNT, 2004). O procedimento de medição teve início com a calibração do equipamento de acordo com padrões de fabricação, e então foram realizadas medições em três pontos de cada uma das amostras, e uma média dos valores foi adotada para cada parâmetro.

4. RESULTADOS

Os dados de refletância solar medidos, para as três regiões do espectro solar, assim como a refletância solar e a absortância solar das amostras, estão listados na tabela 2, e as curvas de refletância espectral para cada uma das cores, podem ser observadas no gráfico 1.

Tabela 2 - Valores de refletância para o ultravioleta, visível, infravermelho, refletância solar e absortância solar das amostras.

Cor da amostra	ρ	α	Cor da amostra	ρ	α
Branco Neve	0,85	**0,15**	Patativa	0,08	**0,92**
Vento Sul	0,72	**0,28**	Martim Pescador	0,36	**0,64**
Urso Polar	0,63	**0,37**	Nectarina	0,40	**0,60**

Inicialmente, pode-se observar pela curva de refletância espectral das amostras e por seus valores finais de absortância e refletância, que conforme o esperado, a tinta preta (Patativa) apresentou maior absortância solar, e a de menor absortância foi a de cor branca (Branco Neve), e isto é percebido em todo o espectro solar. Para analisar as demais cores, é importante salientar que duas (Vento Sul e Urso Polar), possuem cores claras e semelhantes, enquanto as duas outras possuem cores vibrantes, sendo uma delas vermelha (Nectarina) e a seguinte azul (Martim Pescador).

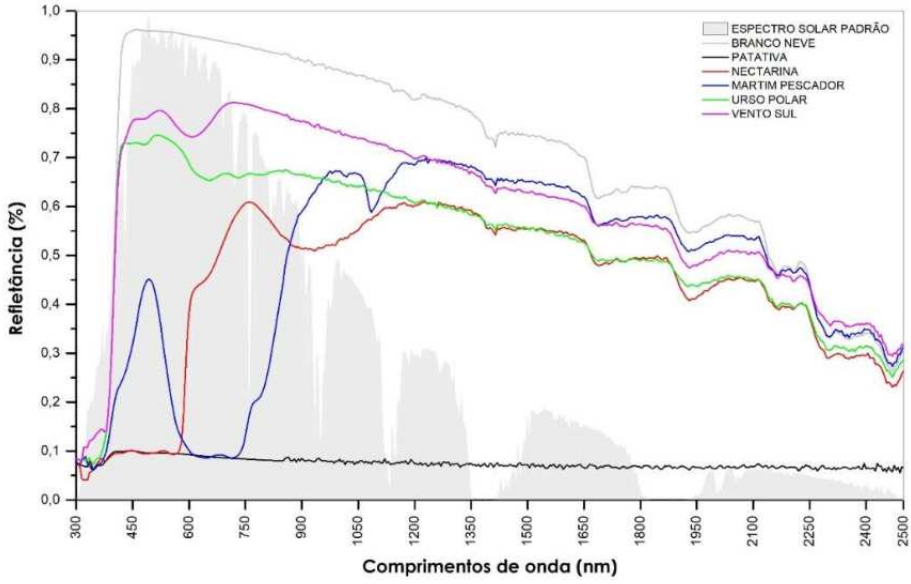


Gráfico 1 - Refletância espectral das amostras e espectro solar padrão.

Analisando as amostras vermelha e azul, percebe-se inicialmente que suas absortâncias solares são bem próximas (0,60 e 0,64 respectivamente), contudo, observando suas curvas espectrais apresentam comportamentos consideravelmente distintos. Percebe-se que aproximadamente a partir de 1200 nm, as curas chegam a quase coincidir com as cores mais claras, sendo que a curva da tinta vermelha (Nectarina) se aproxima da curva da tinta Urso Polar, enquanto a azul (Martim Pescador) se aproxima da Vento Sul. Visualmente, as cores mais claras são muito semelhantes, contudo, suas curvas são distintas, assim como suas absortâncias solares (0,28 e 0,37).

Os dados de parâmetros de cor medidos no colorímetro levando em consideração o espaço de cor CIELab, são apresentados na Tabela 3, onde pode-se compará-los aos valores de absortância solar das amostras. Apesar das cores das amostras se repetirem, foram realizadas as medições dos parâmetros de todas as 36 amostras de cada cor, o que permitiu que seja observada a presença de pequenas variações nos valores medidos para cada parâmetro, demonstrando alterações nas cores imperceptíveis a olho nu.

Tabela 3 - Dados de absortância solar e parâmetros de cor das tintas.

Continua...

TERESINA – THE													
C	**L***	**a***	**b***	**C***	**h**	**α**	**Amostra**	**L***	**a***	**b***	**C***	**h**	**α**
B.01	99,32	-3,11	1,16	3,32	159,53	0,15	P.01	40,4	-2,53	-0,16	2,53	183,54	0,92
B.02	99,13	-3,97	0,66	4,02	170,51	0,15	P.02	40,47	-2,59	-0,06	2,59	181,32	0,92
B.03	99,25	-3,43	0,98	3,56	164,07	0,15	P.03	40,46	-2,59	-0,06	2,59	181,34	0,92
B.04	99,04	-4,35	0,38	4,37	175,02	0,15	P.04	40,31	-2,57	-0,06	2,57	181,23	0,92
B.05	99,23	-3,49	0,94	3,62	164,96	0,15	P.05	40,54	-2,59	-0,07	2,59	181,55	0,92
B.06	99,19	-3,69	0,82	3,78	167,44	0,15	P.06	40,51	-2,59	-0,06	2,59	181,26	0,92
B.07	98,64	-6,43	1,3	6,56	168,54	0,15	P.07	40,46	-2,57	0,09	2,57	182,02	0,92
B.08	99,18	-3,72	0,8	3,81	167,8	0,15	P.08	40,67	-2,6	-0,06	2,6	181,3	0,92
B.09	99,3	-3,19	1,12	3,38	160,71	0,15	P.09	40,44	-2,58	-0,09	2,58	182,08	0,92
B.10	99,31	-3,12	1,16	3,33	159,69	0,15	P.10	40,47	-2,57	-0,11	2,57	182,36	0,92
B.11	99,19	-3,68	0,83	3,77	167,26	0,15	P.11	40,61	-2,57	-0,08	2,57	181,73	0,92
B.12	99,28	-3,29	1,06	3,46	162,21	0,15	P.12	40,41	-2,59	-0,08	2,59	181,82	0,92
VS.01	92,36	-7,5	3,8	8,41	153,15	0,28	A.01	55,07	-17,86	-17,52	25,02	224,45	0,64
VS.02	92,31	-7,7	3,52	8,47	155,44	0,28	A.02	55,26	-17,92	-17,54	25,08	224,38	0,64
VS.03	92,25	-7,71	3,63	8,52	154,79	0,28	A.03	54,83	-17,72	-17,27	24,74	224,26	0,64
VS.04	92,15	-7,52	4,03	8,53	151,84	0,28	A.04	55,15	-17,84	-17,34	24,88	224,19	0,64
VS.05	92,38	-7,63	3,76	8,51	153,78	0,28	A.05	55,21	-17,86	-17,62	25,08	224,61	0,64
VS.06	92	-7,64	3,47	8,39	155,58	0,28	A.06	54,92	-17,73	-17,28	24,76	224,26	0,64
VS.07	91,86	-7,63	3,27	8,3	156,81	0,28	A.07	55,12	-17,86	-17,41	24,94	224,27	0,64
VS.08	92,34	-7,6	3,89	8,54	152,91	0,28	A.08	55,08	-17,56	-16,99	24,44	224,05	0,64
VS.09	92,59	-7,72	3,94	8,67	152,95	0,28	A.09	55,16	-17,99	-17,63	25,19	224,41	0,64
VS.10	92,48	-7,7	3,79	8,58	153,82	0,28	A.10	54,99	-17,81	-17,38	24,89	224,3	0,64
VS.11	92,07	-7,55	4,07	8,57	151,66	0,28	A.11	55,01	-17,75	-17,23	24,74	224,15	0,64
VS.12	92,6	-7,59	4,07	8,61	151,8	0,28	A.12	55,16	-17,97	-17,58	25,14	224,38	0,64
UP.01	88,02	-9,88	2,45	10,18	166,06	0,37	V.01	44,65	36,75	16,44	40,26	24,1	0,60
UP.02	88,58	-9,96	2,5	10,2	165,92	0,37	V.02	44,68	36,25	16,19	39,71	24,07	0,60
UP.03	88,65	-10	2,38	10,27	166,62	0,37	V.03	44,62	36,43	16,33	39,92	24,15	0,60
UP.04	88,75	-9,94	2,52	10,25	165,8	0,37	V.04	44,55	36,34	16,34	39,85	24,2	0,60
UP.05	88,53	-9,99	2,47	10,29	166,08	0,37	V.05	44,5	36	16,09	39,44	24,08	0,60
UP.06	88,83	-10,01	2,45	10,31	166,24	0,37	V.06	44,66	36,51	16,34	40	24,11	0,60
UP.07	88,65	-10	2,38	10,27	166,62	0,37	V.07	45	36,08	16,07	39,5	24,01	0,60
UP.08	88,83	-10,03	2,41	10,32	166,48	0,37	V.08	44,55	36,34	16,34	39,85	24,2	0,60
UP.09	88,38	-9,96	2,54	10,28	165,68	0,37	V.09	44,9	36,17	16,18	39,62	24,11	0,60
UP.10	88,84	-9,99	2,47	10,29	166,12	0,37	V.10	44,59	36,88	16,51	40,4	24,12	0,60
UP.11	88,8	-9,99	2,45	10,28	166,23	0,37	V.11	44,55	36,47	16,34	39,96	24,14	0,60
UP.12	88,94	-10,02	2,45	10,32	166,25	0,37	V.12	44,64	35,55	15,76	38,89	23,91	0,60
SÃO CARLOS – SCS													
C	**L***	**a***	**b***	**C***	**h**	**α**	**Amostra**	**L***	**a***	**b***	**C***	**h**	**α**
B.01	99,1	-4,11	0,89	4,21	167,83	0,15	P.01	40,54	-2,55	-0,2	2,56	184,38	0,92
B.02	99,31	-3,14	1,14	3,34	160,03	0,15	P.02	40,48	-2,57	-0,19	2,58	184,17	0,92

Continuação...

SÃO CARLOS – SCS													
C	**L***	**a***	**b***	**C***	**h**	**α**	**Amostra**	**L***	**a***	**b***	**C***	**h**	**α**
B.03	99	-4,59	0,73	4,65	170,92	0,15	P.03	40,47	-2,55	-0,17	2,56	183,81	0,92
B.04	98,96	-4,82	1,01	4,93	168,16	0,15	P.04	40,36	-2,3	-0,24	2,54	185,49	0,92
B.05	99,21	-3,61	0,87	3,71	166,42	0,15	P.05	40,37	-2,57	-0,2	2,58	184,41	0,92
B.06	99,13	-3,98	0,65	4,03	170,66	0,15	P.06	40,68	-2,57	-0,14	2,57	183,04	0,92
B.07	99,12	-4,02	0,62	4,07	171,25	0,15	P.07	40,42	-2,56	-0,19	2,56	184,28	0,92
B.08	99,19	-3,17	1	3,85	164,92	0,15	P.08	40,35	-2,54	-0,23	2,55	185,14	0,92
B.09	99,14	-3,94	0,92	4,05	166,85	0,15	P.09	40,56	-2,56	-0,21	2,56	184,71	0,92
B.10	99,05	-4,31	0,49	4,34	173,56	0,15	P.10	40,45	-2,57	-0,17	2,58	183,87	0,92
B.11	99,31	-3,15	1,14	3,35	160,08	0,15	P.11	40,37	-2,55	-0,2	2,56	184,38	0,92
B.12	99,29	-3,24	1,09	3,42	161,43	0,15	P.12	40,44	-2,56	-0,19	2,56	184,24	0,92
VS.01	92,75	-7,62	3,7	8,51	157,57	0,28	A.01	55,05	-17,84	-17,72	25,14	224,81	0,64
VS.02	92,55	-7,68	3,55	8,46	155,2	0,28	A.02	55,46	-18,2	-18,09	25,66	224,83	0,64
VS.03	92,18	-7,72	3,2	8,35	157,51	0,28	A.03	55,36	-18,06	-17,91	25,44	224,75	0,64
VS.04	92,59	-7,71	3,5	8,46	155,59	0,28	A.04	55,18	-17,96	-17,8	25,29	224,76	0,64
VS.05	92,6	-7,74	3,41	8,46	156,21	0,28	A.05	54,96	-17,88	-17,69	25,15	224,69	0,64
VS.06	92,33	-7,7	3,41	8,42	156,14	0,28	A.06	55,11	-17,84	-17,73	25,16	224,82	0,64
VS.07	92,55	-7,5	3,52	8,29	154,88	0,28	A.07	54,92	-17,71	-17,57	24,94	224,77	0,64
VS.08	92,35	-7,69	3,43	8,42	155,96	0,28	A.08	55,19	-17,85	-17,69	25,13	224,75	0,64
VS.09	92,26	-7,62	3,74	8,49	153,86	0,28	A.09	55,01	-17,78	-17,54	24,97	224,61	0,64
VS.10	92,67	-7,69	3,63	8,51	154,74	0,28	A.10	55,28	-17,97	-17,89	25,35	224,87	0,64
VS.11	92,49	-7,65	3,73	8,51	153,97	0,28	A.11	55,21	-17,95	-17,86	25,32	224,84	0,64
VS.12	92,53	-7,51	3,49	8,28	155,08	0,28	A.12	55,31	-18,04	-17,88	25,4	224,74	0,64
UP.01	89,19	-10,02	2,07	10,23	168,34	0,37	V.01	44,66	36,87	16,35	40,34	23,91	0,60
UP.02	88,77	-9,94	2,06	10,15	168,32	0,37	V.02	44,57	36,8	16,32	40,25	23,91	0,60
UP.03	89,04	-10	2	10,2	168,7	0,37	V.03	44,65	36,31	16,14	39,73	23,96	0,60
UP.04	89,35	-10,03	2,05	10,24	168,45	0,37	V.04	44,71	36,47	16,13	39,88	23,86	0,60
UP.05	88,98	-9,97	2,15	10,2	167,85	0,37	V.05	44,6	36,47	16,11	39,87	23,83	0,60
UP.06	89,33	-10,02	2,06	10,23	168,38	0,37	V.06	44,59	36,26	16,16	39,7	24,03	0,60
UP.07	89,15	-9,99	2,11	10,21	168,08	0,37	V.07	44,61	36,46	16,22	39,9	23,99	0,60
UP.08	89,12	-10	2,07	10,21	168,33	0,37	V.08	44,71	36,35	16,13	39,77	23,93	0,60
UP.09	89,06	-9,97	2,06	10,18	168,34	0,37	V.09	44,56	36,29	16,06	39,68	23,87	0,60
UP.10	89,24	-10,01	2,11	10,23	168,12	0,37	V.10	44,71	36,68	16,33	40,15	23,99	0,60
UP.11	89,3	-10	2,09	10,21	168,21	0,37	V.11	44,64	36,56	16,24	40	23,95	0,60
UP.12	89,1	-9,99	2,15	10,22	167,82	0,37	V.12	44,72	36,42	16,16	39,85	23,93	0,60
FLORIANÓPOLIS – FLN													
C	**L***	**a***	**b***	**C***	**h**	**α**	**Amostra**	**L***	**a***	**b***	**C***	**h**	**α**
B.01	99,25	-3,43	0,98	3,56	164,07	0,15	P.01	40,4	-2,53	-0,16	2,53	183,54	0,92
B.02	99,13	-3,99	0,88	4,09	167,63	0,15	P.02	40,43	-2,56	-0,14	2,56	183,17	0,92
B.03	99,11	-4,07	0,64	4,12	171,03	0,15	P.03	40,41	-2,55	-0,14	2,55	183,18	0,92
B.04	99,25	-3,41	0,99	3,55	163,82	0,15	P.04	40,28	-2,54	-0,15	2,54	183,44	0,92
B.05	99,31	-3,14	1,14	3,34	160	0,15	P.05	40,39	-2,55	-0,11	2,55	182,5	0,92
B.06	99,03	-4,47	0,8	4,54	169,8	0,15	P.06	40,64	-2,56	-0,11	2,57	182,37	0,92
B.07	99,16	-3,83	0,74	3,9	169,02	0,15	P.07	40,49	-2,55	-0,1	2,55	182,28	0,92
B.08	99,2	-3,62	0,87	3,72	166,54	0,15	P.08	40,44	-2,54	-0,16	2,55	183,49	0,92
B.09	99,31	-3,15	1,14	3,35	160,08	0,15	P.09	40,35	-2,55	-0,13	2,55	182,94	0,92
B.10	99,12	-4,03	0,94	4,14	166,86	0,15	P.10	40,2	-2,53	-0,21	2,54	184,72	0,92
B.11	99,3	-3,19	1,12	3,38	160,71	0,15	P.11	40,41	-2,55	-0,09	2,55	182,08	0,92
B.12	99,12	-3,99	0,65	4,04	170,76	0,15	P.12	40,35	-2,55	-0,15	2,56	183,31	0,92
VS.01	91,81	-7,57	3,49	8,34	155,25	0,28	A.01	54,9	-17,83	-17,67	25,1	224,74	0,64
VS.02	91,79	-7,61	3,84	8,52	153,2	0,28	A.02	55,29	-17,86	-17,71	25,15	224,76	0,64
VS.03	91,95	-7,58	4,05	8,59	151,92	0,28	A.03	55,16	-17,96	-17,74	25,24	224,65	0,64
VS.04	91,92	-7,63	3,71	8,49	154,04	0,28	A.04	55,36	-17,96	-17,89	25,35	224,88	0,64
VS.05	92,33	-7,63	3,87	8,56	153,09	0,28	A.05	55,23	-17,85	-17,68	25,12	224,72	0,64

Conclusão.

FLORIANÓPOLIS – FLN													
C	**L***	**a***	**b***	**C***	**h**	**α**	**Amostra**	**L***	**a***	**b***	**C***	**h**	**α**
VS.06	92,2	-7,73	3,76	8,6	154,08	0,28	A.06	55,29	-17,97	-17,82	25,1	224,77	0,64
VS.07	92,46	-7,55	4,08	8,58	151,64	0,28	A.07	55,41	-18,08	-17,95	25,48	224,79	0,64
VS.08	92,39	-7,56	4,13	8,62	151,39	0,28	A.08	55	-17,71	-17,51	24,91	224,68	0,64
VS.09	91,81	-7,49	3,77	8,39	153,3	0,28	A.09	55,37	-18,13	-18,03	25,57	224,83	0,64
VS.10	91,76	-7,53	3,97	8,51	152,24	0,28	A.10	55,23	-17,81	-17,63	25,06	224,71	0,64
VS.11	92,18	-7,58	3,99	8,56	152,21	0,28	A.11	55,22	-17,92	-17,78	25,24	224,77	0,64
VS.12	92,24	-7,49	4,04	8,51	151,7	0,28	A.12	55,37	-18,08	-17,96	25,49	224,81	0,64
UP.01	88,87	-10,03	2,3	10,26	167,09	0,37	V.01	44,46	36,38	16,15	39,8	23,94	0,60
UP.02	88,82	-10	2,37	10,28	166,65	0,37	V.02	44,64	36,2	16,18	39,67	24,07	0,60
UP.03	88,76	-10,01	2,28	10,26	167,18	0,37	V.03	44,53	36,32	16,2	39,76	24,04	0,60
UP.04	88,68	-9,97	2,31	10,24	166,94	0,37	V.04	44,5	36,74	16,45	40,26	24,11	0,60
UP.05	88,6	-10	2,3	10,26	167,03	0,37	V.05	44,46	36,38	16,15	39,8	23,94	0,60
UP.06	88,83	-10,02	2,27	10,28	167,26	0,37	V.06	44,52	36,4	16,28	39,87	24,1	0,60
UP.07	88,82	-10,01	2,22	10,26	167,48	0,37	V.07	44,46	36,1	16,07	39,51	23,99	0,60
UP.08	88,86	-10,01	2,33	10,28	166,9	0,37	V.08	44,64	36,15	16,12	39,58	24,04	0,60
UP.09	88,25	-9,96	2,18	10,19	167,67	0,37	V.09	44,88	36,25	16,7	39,69	24,04	0,60
UP.10	88,57	-10,01	2,21	10,25	167,54	0,37	V.10	44,55	36,72	16,39	40,21	24,05	0,60
UP.11	88,42	-9,97	2,33	10,24	166,82	0,37	V.11	44,57	36,39	16,2	39,84	24	0,60
UP.12	88,92	-10,03	2,25	10,28	167,34	0,37	V.12	44,53	36,72	16,41	40,23	24,08	0,60

4.1. Correlação entre parâmetros de cor e absortância solar

A partir dos dados medidos e previamente apresentados, foram realizadas correlações através da análise de regressão linear entre os valores de absortância solar e os parâmetros de cor de cada amostra. Inicialmente foi observada a correlação entre os valores de absortância solar e o os dados de L* (luminosidade), a fim de entender a relação entre a quantidade de branco na composição das cores e sua relação com a absortância solar das tintas analisadas. Para estes parâmetros, conforme pode-se observar no Gráfico 2, a regressão linear resultou em uma correlação negativa, ou seja, enquanto um parâmetro aumenta, o outro diminui seu valor, com Coeficiente de Correlação (R) de 0,939, com erro padrão de 0,087. Este coeficiente é considerado alto, posto que quanto mais próximo de 1 é o R encontrado, maior a correlação entre os dados avaliados. Estes valores foram encontrados a partir do cálculo de regressão linear realizado no Excel, que além da correlação entre os valores, apresenta o erro padrão.

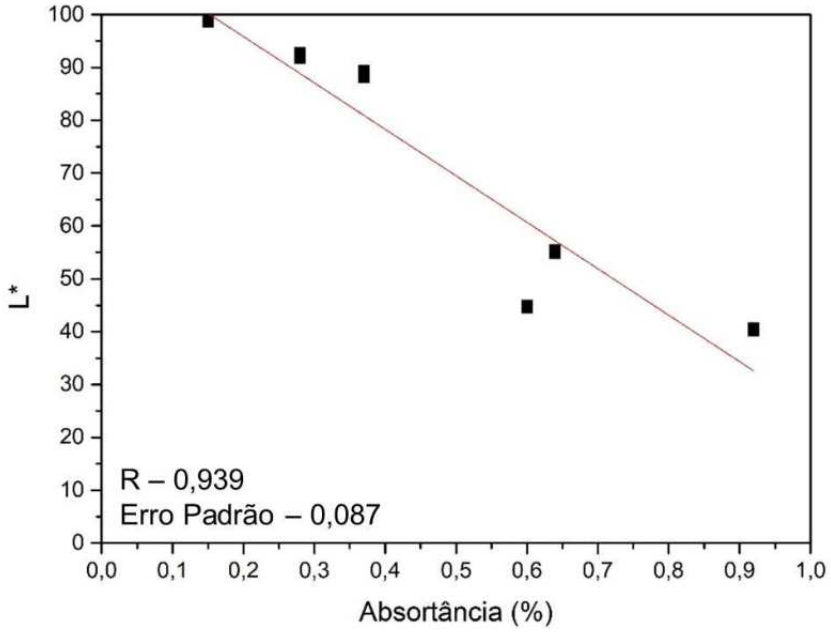


Gráfico 2 - Correlação entre luminosidade (L*) e absortância solar (α).

Buscando ainda compreender as relações entre os parâmetros de cor como um todo de uma tinta, e sua absortância solar, foram realizadas análises de correlação separadamente entre os demais parâmetros medidos, assim como uma correlação múltipla entre todos os parâmetros juntos e a absortância solar das amostras selecionadas.

Para os demais parâmetros, observou-se que o valor do Coeficiente de Correlação encontrado foi muito baixo, conforme observado no Gráfico 3. Não podendo confirmar que separadamente estes parâmetros têm alguma relação com a absortância solar, para as amostras avaliadas.

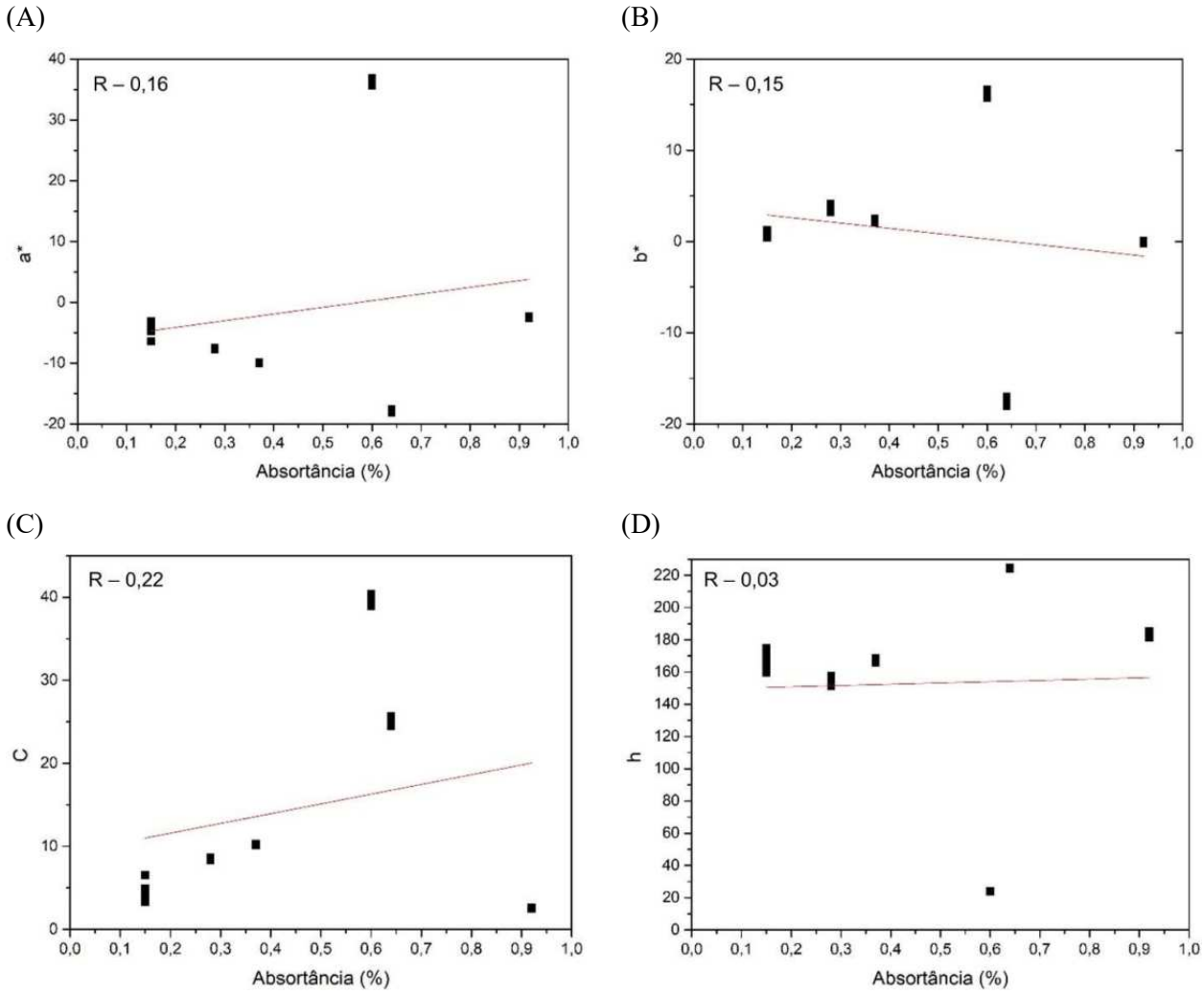


Gráfico 3 - Correlações entre parâmetros de cor e absortância solar, a*X absortância solar (A), b* X absortância solar (B), C X absortância solar (C), h X absortância solar (D).

Contudo, analisando através de regressão linear a relação entre todos os parâmetros de cor com a absortância solar, observou-se um R de 0,999, e erro padrão de 0,009. Esta correlação mostrou-se melhor que aquelas realizadas separadamente entre cada parâmetro de cor e a absortância solar, mostrando uma possibilidade de obtenção da absortância solar de uma tinta, a partir dos valores de seus parâmetros de cor com alto nível de proximidade da absortância real.

5. CONCLUSÕES

A partir dos dados apresentados neste trabalho, pode-se concluir primeiramente, que dentre as amostras de tintas foscas analisadas, aquelas com as cores mais claras apresentaram menor absortância solar que aquelas com cores mais escuras ou vibrantes. Portanto, a tinta branca possui menor absortância, seguida das cores mais claras (Vento Sul e Urso Polar), posteriormente as tintas coloridas azul (Martim Pescador) e vermelha (Nectarina) e por fim a tinta preta (Patativa) apresentou maior absortância solar (0,15, 0,28 0,37, 0,60, 0,64 e 0,92 respectivamente).

Observou-se ainda que o comportamento da curva espectral da amostra azul, na região do infravermelho, se assemelha ao da amostra Vento Sul, uma das cores que a olho nu possui uma cor semelhante ao branco. E ainda que a amostra vermelha, possui curva espectral semelhante à da cor Urso Polar.

Finalmente, pode-se observar as correlações presentes entre os parâmetros de cor das tintas, e sua absortância solar, notando-se que, ao comparar somente o parâmetro referente à luminosidade (L*), uma alta correlação com R de 0,939 foi encontrada, com baixo erro padrão (0,087), considerando que quando um fator aumenta, o outro diminui. Ou seja, quando a absortância solar de uma tinta diminui, sua luminosidade cresce, dentre as amostras analisadas neste trabalho.

Contudo, uma correlação ainda mais alta foi encontrada a partir da regressão linear múltipla utilizando todos os parâmetros de cor das tintas e relacionando-os com a absortância solar. O valor de R encontrado para esta correlação foi de 0,999, com um erro padrão ainda menor (0,009). Apesar da diferença de apenas 0,07 quando comparados o Coeficiente de Correlação da absortância solar com a luminosidade e o R entre a absortância solar com todos os parâmetros de cor, considera-se vantajosa a adoção deste último em caso de estimativa desta propriedade a partir da cor das tintas. Concluindo-se que a utilização de todas os parâmetros de cor para estimar a absortância solar de uma tinta apresentou-se como uma alternativa mais confiável que a utilização somente da luminosidade (L*). Todavia, ainda há a necessidade de que mais cores e diferentes acabamentos sejam testados, para que estas relações possam ser confirmadas, abrindo-se a possibilidade para a obtenção da absortância solar de tintas a partir de seus parâmetros de cor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM. E903–20**: standard test method for solar absorptance, reflectance and transmittance of materials using integrating spheres. West Conshohocken, 2020a.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM. G173-03**: standard tables for reference solar spectral irradiances: direct normal and hemispherical on 37° tilted surface. West Conshohocken, 2020b.

ALCHAPAR, N. L.; CORREA, E. N. Aging of roof coatings. Solar reflectance stability according to their morphological characteristics. **Construction and Building Materials**, v. 102, p. 297–305, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15077**: Tintas para construção civil: Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais – Determinação da cor e da diferença de cor por medida instrumental. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico das edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

DELUCIS, R. de A.; TABORDA, V. C.; CORREA, L. W.; VEJA, R. de A.; GATTO, DARCI A. Avaliação da cor dos lenhos juvenil e adulto de cedro por meio do método CIEL*a*b*. **Revista Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**. v.11, p. 251-259, 2014.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar em superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA.** Campinas, 2008. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

GILBERT H. E., ROSADO, P. J., BAN-WEISS, G., HARVEY, J. T., LI, H., MANDEL, B. H., MILLSTEIN, D., MOHEGH, A., SABOORI, A., LEVINSON, R. Energy and environmental consequences of a cool pavement campaign. **Energy and Buildings**, v. 157, p. 53-77, 2017.

GIVONI, B. **Climate Considerations in Building and Urban Design**. Van Nostrand Reinhol. USA, 1998.

GRILLO, D. C., CACERES, C. A., CANERAVOLO, S. V. Análise colorimétrica do polipropileno após degradação termomecânica sob múltiplas extrusões. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 11., 2011, Campos do Jordão. **Anais**... Campos do Jordão, 2011.

ISO/CIE **11664-4**: Colorimetry – Part 4: CIE 1976 L*a*b* colour space. Londres, 2019.

MATSUMOTO, N. M.. **Desenvolvimento do método multivariado acelerado para a determinação do prazo de validade de tintas unindo quimiometria, cinética química e colorimetria.** Campinas, 2022. 192 P. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação do Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2022.

MORINI, E., CASTELLANI, B., NICOLINI, A., ROSSI, F., BERARDI, U. Effects of aging on retro-reflective materials for building applications. **Energy and Buildings,** v. 179, p. 121-132. 2018.

SANTAMOURIS, M.; KOLOKOTSA, D. On the impact of urban overheating and extreme climatic conditions on housing, energy, comfort and environmental quality of vulnerable population in Europe. **Energy and Buildings,** v. 98, p. 125–133. 2015.

PISELLO, A. L., CASTALDO, V. L., FABIANI, C., COTANA, F. Investigation on the effect of innovative cool tiles on local indoor thermal conditions: finite element modeling and continuous monitoring. **Building Environment**, v. 97, p. 55–68. 2016.

PISELLO, A. L., CASTALDO, V. L., FABIANI, C., COTANA, F. PCM for improving polyurethane-based cool roof membranes durability. **Solar Energy Materials and Solar Cells,** v. 160, p. 34-42. 2017.

PRIMO, J. de O., BORTH, K. W., PERON, D. C., TEIXEIRA, V. de C., GALANTE, D., BITTENCOURT, C. Synthesis of green cool pigments (CoxZn1-xO) for application in NIR radiation reflectance. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 780, p. 17-24. 2019.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à CAPES pela concessão da bolsa de doutorado.