



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGIA**

ALEXSANDRA SANTOS ALBUQUERQUE

**CONFIABILIDADE DO MÉTODO DE MENSURAÇÃO DE COR DE RESINAS
COMPOSTAS POR IMAGENS OBTIDAS EM LUPA ESTEREOSCÓPICA**

ARACAJU

2023

ALEXSANDRA SANTOS ALBUQUERQUE

**CONFIABILIDADE DO MÉTODO DE MENSURAÇÃO DE COR DE RESINAS
COMPOSTAS POR IMAGENS OBTIDAS EM LUPA ESTEREOSCÓPICA**

Monografia apresentada ao Departamento de Odontologia como requisito para a conclusão do curso de Odontologia da Universidade Federal de Sergipe para obtenção do grau de cirurgiã-dentista.

Orientador: Prof. Dr. André Faria-e-Silva

ARACAJU

2023

ALEXSANDRA SANTOS ALBUQUERQUE

**CONFIABILIDADE DO MÉTODO DE MENSURAÇÃO DE COR DE RESINAS
COMPOSTAS POR IMAGENS OBTIDAS EM LUPA ESTEREOSCÓPICA**

Monografia apresentada ao Departamento de Odontologia como requisito para a conclusão do curso de Odontologia da Universidade Federal de Sergipe para obtenção do grau de cirurgiã-dentista.

Aprovado em ____/____/____.

Banca Examinadora

Prof^a Dr. André Faria-e-Silva - Orientador
Universidade Federal de Sergipe

Prof.^(a) Dr(a). - 1º Examinador
Universidade Federal de Sergipe

Prof.^(a) Dr(a). - 2º Examinador
Universidade Federal de Sergipe

EPÍGRAFE

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a minha formação como estudante e ser humano.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, expresso minha gratidão a Deus por sua infinita bondade em minha vida, por ser minha força e guia em meio às adversidades. Agradeço aos meus pais Alexandre e Angélica, por todo cuidado, por sempre apoiarem minhas decisões e serem minha grande fonte de incentivo. Agradeço aos meus irmãos, Yasmin e Kaio Felipe por todo apoio em minha jornada. A David, meu companheiro e amigo, agradeço pelo amor, incentivo, confiança e contribuição para o meu crescimento.

Agradeço aos meus amigos, Beatriz, Henrique e Evelyn, que são os melhores amigos que alguém poderia ter, obrigada por todo amor incondicional. Aos amigos que a Odontologia me presenteou, em especial a minha turma, como gosto de chamá-los, "Odontobonde", agradeço pela cumplicidade e união que tornaram esses anos de graduação incríveis. Aos grandes mestres, conhecidos como Professores, que tanto iluminaram as decisões ampliaram os caminhos nesta incrível jornada.

Ao meu orientador Prof. Dr. André Luis Faria-e-Silva, pela confiança depositada em mim para o desenvolvimento de sua pesquisa, que foi essencial para a concretização deste trabalho científico.

A todos que fizeram parte da minha jornada e contribuíram para o que sou hoje, minha mais sincera gratidão.

“É como se corresse sobre o mar para as estrelas, na mais maravilhosa viagem do mundo. Uma viagem como o Professor nunca leu nem inventou. Seu coração bate tanto, tanto, que ele o aperta com a mão”

Jorge Amado, Capitães de Areia ²⁷

RESUMO

Este estudo avaliou a confiabilidade de um método de mensuração de cor usando imagens obtidas por uma câmera de dispositivo de carga acoplada (CCD) e uma lupa estereoscópica. Espécimes com formato de disco foram criados a partir do compósito Filtek Z350 XT em cores DA1, DA2, DA3 e DA4 (n=3). As coordenadas de cor CIELAB desses espécimes foram medidas por um espectrofotômetro SP60 em fundos branco e preto. As mesmas espécies foram fotografadas por uma câmera CCD acoplada à lupa estereoscópica, e as cores das imagens (vermelho-verde-azul-RGB) foram medidas por um software de processamento de imagem e convertidas em coordenadas CIELAB. Para cada coordenada de cor, os dados das imagens foram ajustados por regressões lineares para predizer e se equiparar aos dados do espectrofotômetro. Foram calculados o índice de brancura (WID), o parâmetro de translucidez (PT00) e as diferenças de cor (ΔE_{00}) entre as cores dos compostos. Os dados foram analisados pela ANOVA de medidas repetidas e teste de Tukey ($\alpha=0,05$). As imagens da lupa tendiam a ser mais escuras e avermelhadas do que a cor real. No entanto, o ajuste dos dados resultou em valores semelhantes de WID, ΔE_{00} e PT00 aos valores observados para o espectrofotômetro. Foram observadas diferenças apenas para o WID do compósito DA3 e ΔE_{00} ao comparar DA1 e DA3 sobre o fundo preto. No entanto, essas diferenças não foram clinicamente relevantes. Concluiu-se que o uso de dados ajustados de imagens adquiridas com uma lupa de estereoscópio é um método viável para medir a cor.

Palavras-chave: Cor; Resinas Compostas; Estética Dentária; Odontologia; Espectrofotômetro.

ABSTRACT

This study assessed the reliability of a color measuring method using images obtained from a charge-coupled device (CCD) camera and a stereoscopic loupe. Disc-shaped specimens were built using the composite Filtek Z350 XT (shades DA1, DA2, DA3, and DA4) ($n = 3$). CIELAB color coordinates of specimens were measured with the spectrophotometer SP60 over white and black backgrounds. Images from the same specimens were acquired with a CCD camera attached to a stereoscope loupe. The image's color was measured (red-green-blue - RGB) using image processing software and converted to CIELAB coordinates. For each color coordinate, data from images were adjusted using linear regressions predicting those from SP60. Whiteness Index (WID) and translucency parameter (TP00) of specimens, and color differences ($\Delta E00$) among pair-wise shades were calculated. Data were analyzed by repeated-measures ANOVA and Tukey's test ($\alpha = 0.05$). Images from loupe tended to be darker and redder than the true color. Adjusting data resulted in similar WID, $\Delta E00$, and TP00 to those values observed for the spectrophotometer. Differences were observed only for the WID of the shade DA3, and $\Delta E00$ for comparing DA1 and DA3 over the black background. However, these differences were not clinically relevant. Using adjusted data from images acquired with a stereoscope loupe was a feasible method to measure color.

Keywords: Color. Composite Resins. Dental Esthetic. Dentistry. Spectrophotometry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Gráficos do cálculo da coordenada de cor L^*	23
Figura 2 – Gráficos do cálculo da coordenada de cor a^*	23
Figura 3 – Gráficos do cálculo da coordenada de cor b^*	24
Figura 4 – Médias e desvios padrão do WID pelos métodos de mensuração de cor do estudo.....	25
Figura 5 – Médias e desvios padrão da diferença global de cor (ΔE_{00}) pelos métodos de mensuração de cor do estudo.....	26
Figura 6 – Médias e desvios padrão da diferença geral de cor (ΔE_{00}) pelos métodos de mensuração de cor do estudo.....	26
Figura 7 – Médias e desvios padrão do parâmetro de translucidez (PT00) pelos métodos de mensuração de cor do estudo.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficientes das equações de regressão lineae para o ajuste dos dados das coordenadas de cor CIELAB.....	21
Tabela 2 – Médias e desvios padrão das coordenadas de cor CIELAB pelos métodos de mensuração de cor.....	22

LISTA DE ABREVIATURAS

CIE	Comissão Internacional de Iluminação
CIELAB	O espaço de cores $L^*a^*b^*$ definido pela Comissão Internacional de Iluminação
RGB	Sistema de cores aditivas Vermelho, Verde e Azul
L^*	Coordenada de luminosidade
a^*	Coordenada cromática (vermelho-verde)
b^*	Coordenada cromática (amarelo-azul)
ANOVA	Análise de Variância
RM ANOVA	Análise de variância de medidas repetidas
CCD	Dispositivo de carga acoplada
DSLR	Digital Single Lens Reflex
WID	Índice de brancura
PT	Parâmetro de translucidez

LISTA DE SÍMBOLOS

$\Delta E^* ab$	diferença de cor CIELAB
ΔE_{00}	diferença de cor
$P < 0,001$	probabilidade menor que 0,1 %
$p < 0,05$	probabilidade menor que 5%
=	igual
mW/cm^2	miliwatts por centímetro quadrado
ΔE_{00}	diferença de cor
$\varnothing$	diâmetro
$\approx$	aproximadamente
mm	milímetro
cm	centímetro
nm	nanômetro
%	porcentagem
°	grau
*	asterisco
X	coordenada de referência do espaço de cores CIE 1931
Y	coordenada de referência do espaço de cores CIE 1931
Z	coordenada de referência do espaço de cores CIE 1931
>	maior que
<	menor que

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVO GERAL.....	16
2.1 Objetivos Específicos.....	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
4 RESULTADOS.....	21
5 DISCUSSÃO.....	28
6 CONCLUSÃO.....	31
 REFERÊNCIAS.....	 32

1 INTRODUÇÃO

Na odontologia, a ciência da cor é um tema de grande relevância, visto que muitos procedimentos dentários têm como objetivo aprimorar a estética dos dentes, tais como restaurações, clareamento dental e microabrasão do esmalte, por exemplo. A cor final dos dentes depende de interações entre fenômenos ópticos como refletância, difração, absorção e transmitância da luz ¹. No entanto, a percepção da cor pelo olho humano envolve aspectos subjetivos afetados por fatores como a experiência dos avaliadores, cor do entorno, tempo de avaliação, entre outros ²⁻⁴. Assim, a utilização de métodos instrumentais como espectrofotômetros ou espectrorradiômetros é preconizada para estudos de análise de cor. Enquanto um espectrorradiômetro mede a irradiância espectral absoluta, um espectrofotômetro avalia a refletância espectral e transmitância de um objeto colorido ⁵. Esses dispositivos fornecem coordenados de cores geralmente baseadas em sistemas estabelecidos pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE - Commission Internationale de L'Eclairage), permitindo a quantificação da diferença de cores entre dois objetos de forma numérica.

Os olhos humanos possuem três tipos de células de cone para percepção de cores de acordo com a sensibilidade da luz de comprimento de onda visual: L-cones, que são sensíveis a comprimentos de onda longos; M-cones, que são sensíveis a comprimentos de onda médios; e S-cones, que são sensíveis a pequenos comprimentos de onda ⁶. Assim, vários sistemas de cores são baseados na cor tristímulo (por exemplo, RGB vermelho-verde-azul). O espaço de cores CIELAB, que se baseia no eixo de luminosidade (coordenada L*) e nas coordenadas cromáticas a* (do vermelho ao verde) e b* (do amarelo ao azul), é o sistema mais utilizado na odontologia ^{7,8}. Nesse sistema, uma diferença de cor pode ser determinada pela fórmula CIE76, onde a fórmula de diferença de cor CIELAB (ΔE^*_{ab}) é calculada pela soma do módulo de diferenças para todas as coordenadas de cor ⁸. No entanto, como o espaço de cor CIELAB não é perceptivelmente uniforme, a fórmula de diferença de cor CIEDE2000 (ΔE_{00}) tem sido defendida para resolver esse problema ^{9,10}. Além da precisão do uso de espectrofotômetros, a maioria desses dispositivos oferece grandes áreas de leitura para medir a cor da superfície. No entanto, alguns estudos exigem distinguir a cor de diferentes pequenas áreas no mesmo espécime. Por exemplo, a maioria dos espectrofotômetros não permite a diferenciação da mensuração do esmalte, dentina e artefatos como manchas e placas de fluorose que podem estar na região mensurada.

Atualmente, métodos digitais baseados em sistemas de imagem e software permite determinar a cor de um objeto com mais precisão. Câmeras DSLR combinadas com um cartão

cinza de balanço de branco padronizado, que não é um método validado, têm sido utilizadas para medir a cor dos dentes na odontologia ^{11,12}. No entanto, a precisão da leitura de cores usando esse método depende do ajuste das configurações da câmera, calibração adequada do balanço de branco e iluminação ambiente ^{12,13}. Um estudo anterior avaliou o clareamento dentário na presença de braquetes ortodônticos metálicos utilizando imagens obtidas por um dispositivo de carga acoplada (CCD) e lupa estereoscópica para mensurar possível heterogeneidade de cor nos tecidos dentários clareados ¹⁴. Foi comparada a cor sob e ao redor do suporte empregando o sistema de cores RGB, que não permite o cálculo de uma diferença de cor geral. A conversão desses dados RGB em coordenadas de cores CIELAB poderia resolver esse problema. Ainda assim, essa conversão não é simples, e alguns parâmetros como iluminante (Iluminante padrão CIE D65) e ângulo do observador (CIE 2°) devem ser considerados ¹⁵. Uma solução pode ser calibrar ou ajustar os parâmetros de cor utilizando dados conhecidos obtidos com um espectrofotômetro ¹⁶. Além disso, softwares de acesso aberto e regressões lineares podem facilitar o uso desse método proposto nas avaliações de cores em odontologia.

Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar a confiabilidade de um método de medição de cores associando a aquisição de imagens com um CCD e uma lupa estereoscópica, um software de processamento de imagem de acesso aberto, e dados ajustados com os de um espectrofotômetro. As hipóteses foram que os dados ajustados resultam em coordenadas de cor CIELAB e parâmetros baseados nessas coordenadas, como aqueles medidos com um espectrofotômetro.

2 OBJETIVO GERAL

Este estudo teve como objetivo avaliar a confiabilidade de um método de mensuração de cor associando a aquisição de imagens com um CCD e uma lupa estereoscópica, um software de processamento de imagem de acesso aberto, e dados ajustados com os de um espectrofotômetro.

2.1 Objetivos Específicos

1. Calcular a diferença de cor (ΔE_{00}), Índice de brancura (WID) e parâmetro de translucidez (PT00) entre discos de compósitos resinosos com diferentes cromas utilizando um espectrofotômetro portátil e imagens adquiridas por uma lupa estereoscópica;
2. Definir uma curva de calibração que ajuste os valores de ΔE_{00} , PT, Wid obtidos entre os dois métodos de mensuração de cor;
3. Verificar a influência do fundo (preto e branco) nas coordenadas de cores e na diferença de cor para ambos os métodos de mensuração de cor.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Preparação da amostra

Foram construídos espécimes da resina composta nanoparticulada Filtek Z350 XT (3M ESPE, St. Paul, MN, EUA) em forma de discos de dimensões de 20 mm de diâmetro e 1,6 mm de espessura. Para isso, foi inserida a resina em um único incremento em uma matriz de silicone personalizada entre duas tiras de poliéster, e o compósito foi fotoativado com o fotoativador Optilight Max (1.130 mW/cm² ; Gnatus, Barretos, SP, Brasil) com quatro sessões de fotoativação de 40 segundos cada, totalizando 160 segundos. A posição da ponta do fotopolimerizador ($\varnothing$ interno $\approx$ 7,4 mm) foi modificada entre cada sessão para cobrir toda a superfície da amostra. Foram produzidos três corpos de prova em cada uma das cores DA1, DA2, DA3 e DA4, totalizando 12 corpos de prova. Todos os espécimes foram cuidadosamente verificados para evitar superfícies com porosidades, arranhões ou quaisquer defeitos que pudessem afetar as medições de cor. Não foi realizado nenhum outro procedimento de polimento, pois as tiras de poliéster resultaram em superfícies planas e lisas. As amostras foram armazenadas em condições secas por pelo menos 24 horas antes das medições de cor.¹⁷

3.2 Medidas de cores de referência

A cor dos espécimes foi medida (triplicata) por um espectrofotômetro esférico (SP60, X-Rite, Grand Rapids, MI, EUA) no modo de refletância e os valores médios foram usados. A configuração de iluminação/medição foi CIE d/0°, utilizando o iluminante padrão CIE D65 e o observador Padrão Suplementar 1931 2° para calcular as coordenadas de cor CIELAB. Os espécimes foram colocados contra o fundo branco ($L^* = 92,6$; $a^* = 1,0$ e $b^* = -0,5$) e preto ($L^* = 32,6$; $a^* = 1,1$ e $b^* = 3,5$) (ColorChecker grayscale, X-Rite, Grand Rapids, MI, EUA). Nenhum agente de acoplamento foi colocado entre o espécime e os fundos^{18,19}.

3.3 Mensuração de cores de imagens de espécimes

As imagens dos espécimes também foram adquiridas com uma câmera CCD (charge-coupled device) (AxioCam ERc 5s, Zeiss, Thornwood, NY, EUA) acoplada a uma lupa estereoscópica (Zeiss Stemi 2000-C, Nova York, EUA). Os espécimes foram expostos a uma

iluminação de uma lâmpada de tungstênio-halogênio. A câmera foi operada no modo “contínuo”, garantindo um tempo de exposição e controle de ganho automáticos. A resolução instantânea foi definida em 2,560 x 1,920 pixels (taxa de aspecto 4:3). As imagens foram capturadas com os espécimes colocados sobre os mesmos fundos descritos anteriormente e foram gravadas no formato.jpg. A cor das imagens dos espécimes foi medida por um software de processamento de imagem de código aberto ImageJ (NIH, Bethesda, MD, EUA). Uma região arredondada de interesse (ROI) de 8 mm de diâmetro foi definida no centro das espécimes. A cor dessa área foi medida pelo plugin “Medição RGB”. Os valores RGB definidos primários foram convertidos em coordenadas CIELAB usando uma planilha MS Excel baseada no software EasyRGB (Logicol Srl, Trieste, Itália). Os dados RGB devem ser convertidos para o espaço de cores CIE 1931 XYZ antes de obter os valores CIELAB. Portanto, valores de referência XYZ são usados para o cálculo com base nas condições observadas e iluminantes determinadas no estudo. A conversão foi realizada tendo X=95.047, Y=100.000 e Z=108.883 como valores de referência, considerando um observador padrão suplementar de 1931 2° e o iluminante padrão CIE D65.^{20,21}

3.4 Ajuste de coordenadas

Regressões lineares foram utilizadas para prever os valores (de cada coordenada) medidos com espectrofotômetro com base naqueles obtidos de imagens. As regressões foram divididas por cor do compósito para avaliar se esse fator afetou ou não a precisão dos modelos de regressão para ajustar os dados. Como as coordenadas de cores são significativamente afetadas pela cor do compósito, espera-se que o agrupamento de dados resulte em um coeficiente de concordância superestimado devido a efeitos de agrupamento, uma vez que ambos os métodos classificaram a cromaticidade e a luminosidade das tonalidades em uma mesma ordem. Para cada coordenada de cor CIELAB, os dados brutos obtidos das imagens foram inseridos nas equações de regressão com um valor “x” e o valor “y” resultante foi definido como o valor ajustado. Os dados ajustados foram usados para calcular o índice de brancura para odontologia (WID), diferença de cor (ΔE_{00}) e parâmetro de translucidez (PT 00), e esses resultados estimados foram comparados com os calculados usando dados não ajustados e os obtidos com o espectrofotômetro.

3.5 Índice de brancura

O WI_D de cada espécime foi calculado aplicando a seguinte equação ²⁰:

$$WID = 0.551 \times L * -2.324 \times a * -1.1 \times b * \text{Equação 1}$$

O WI_D foi calculado apenas para os dados obtidos sobre o fundo preto, considerando que a equação foi desenvolvida com essa cor de fundo.

3.6 Diferença de cor entre cor dos compósitos

Os valores globais de diferença de cor entre as cores dos compósitos foram calculados colocando as amostras sobre um fundo preto e um fundo branco, aplicando a fórmula de diferença de cor CIEDE2000, de acordo com a seguinte equação ⁹:

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \frac{\Delta C'}{K_C S_C} \frac{\Delta H'}{K_H S_H}} \text{Equação 2}$$

Sendo $\Delta L'$, $\Delta C'$ e $\Delta H'$ as mudanças na luminosidade, croma e matiz, respectivamente. S_L , S_C e S_H são as funções ponderadas para cada componente. K_L , K_C e K_H são os fatores ponderados para Luminosidade, Croma e Matiz, respectivamente ($K_L = K_C = K_H = 1$). R_T é o termo interativo entre diferenças de croma e matiz. Os valores de diferença de cor foram calculados entre cores para o mesmo fundo.

3.7 Parâmetro de translucidez

Os parâmetros de translucidez baseados na fórmula de diferença de cor CIEDE2000 (PT_{00}) foram calculados com base nas cores da mesma amostra medidas sobre os fundos branco e preto.²³ A Equação 3 foi utilizada para esse fim.

$$\Delta TP_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \frac{\Delta C'}{K_C S_C} \frac{\Delta H'}{K_H S_H}} \text{Equação 3}$$

Os componentes da equação foram os mesmos descritos anteriormente para a equação 2.

3.8 Análise estatística

Os dados de coordenadas de cor (para dados não ajustados), WI_D , ΔE_{00} e PT_{00} foram testados quanto à distribuição normal (teste de Shapiro-Wilk) e esfericidade (testes W de Mauchly, Greenhouse-Geisser e Huynh-Feldt). Para ΔE_{00} e coordenadas de cor, os dados

calculados para cada fundo foram analisados individualmente pela ANOVA de medidas repetidas. A mesma análise foi realizada para os dados de WI_D e PT_{00} . As variáveis independentes para todas as análises foram “cor composta” e “método de mensuração”, que foi definido como fator de medidas de repetição. As comparações pareadas foram realizadas com o teste de Tukey. Um nível de confiança de 95% foi pré-estabelecido para todas as análises, que foram realizadas na plataforma estatística aberta Jamovi 1.6.15 (www.jamovi.org).

4 RESULTADOS

Coordenadas de cores CIELAB

As coordenadas de cor medidas com o espectrofotômetro ou as calculadas a partir de valores RGB obtidos por um método que associa a aquisição de imagens por um CCD, uma lupa estereoscópica e um software de processamento de imagem de acesso aberto são apresentadas na Tabela 1. Independentemente da cor de fundo, as imagens tendem a ser mais escura (menor L^*) e mais vermelha (maior a^*) do que a cor verdadeira medida com o espectrofotômetro. Para a coordenada b^* , diferenças entre os métodos foram observados apenas no fundo preto quando o espectrofotômetro resultou em valores maiores (exceto para a cor A4). No entanto, apesar das diferenças nos valores, uma classificação semelhante entre as cores foi observada para ambos os métodos. Equações de regressões lineares divididas de acordo com as cores neutras do fundo foram utilizadas para ajustar as coordenadas de cor CIELAB obtidas pelo método apresentado no presente estudo a partir dos dados obtidos por um espectrofotômetro (Tabela 2).

Tabela 1. Médias e desvios padrão das coordenadas de cor CIELAB medidas com o espectrofotômetro ou calculadas pelo método que associa a aquisição de imagens por um CCD, uma lupa estereoscópica e um software de processamento de imagem de acesso aberto, para diferentes fundos e cor de compósitos.

Coordenada de cor	Fundo	Método	Cor do compósito			
			DA1	DA2	DA3	DA4
L^*	Branco	Espectrofotômetro	81.3	77.9	73.9	67.6
			(0.4) ^{Aa}	(0.2) ^{Ab}	(0.5) ^{Ac}	(0.2) ^{Ad}
		CCD + Lupa	71.2	68.9	65.0	59.4
			(0.5) ^{Ba}	(0.5) ^{Bb}	(0.5) ^{Bc}	(0.6) ^{Bd}
	Preto	Espectrofotômetro	78.4	75.0	71.5	65.3
			(0.1) ^{Aa}	(0.3) ^{Ab}	(0.3) ^{Ac}	(0.1) ^{Ad}
		CCD + Lupa	67.4	64.7	61.8	55.8
			(0.5) ^{Ba}	(0.8) ^{Bb}	(0.2) ^{Bc}	(0.3) ^{Bd}
a^*	Branco	Espectrofotômetro	0.4 (0.0)	2.3 (0.1)	3.6 (0.1)	4.2 (0.1)
			Bd	Bc	Bb	Ba
		CCD + Lupa	2.3 (0.2)	5.1 (0.1)	6.7 (0.5)	7.6 (0.1)
			Ad	Ac	Ab	Aa

b*	Preto	Espectrofotômetro	-1.6 (0.1) Bd	-0.4 (0.1) ^{Bc}	0.7 (0.1) Bb	1.3 (0.1) Ba
		CCD + Lupa	-1.2 (0.2) Ad	1.1 (0.4) Ac	2.6 (0.1) Ab	4.1 (0.1) Aa
	Branco	Espectrofotômetro	17.1 (0.5) ^{Ac}	20.6 (0.2) ^{Ab}	22.5 (0.5) ^{Aa}	23.8 (0.1) ^{Aa}
		CCD + Lupa	16.1 (0.4) ^{Ac}	20.3 (0.8) ^{Ab}	21.3 (0.5) ^{Ab}	23.9 (0.3) ^{Aa}
	Preto	Espectrofotômetro	12.8 (0.3) ^{Ad}	16.1 (0.4) ^{Ac}	18.5 (0.3) ^{Ab}	20.1 (0.2) ^{Aa}
		CCD + Lupa	9.3 (0.4) Bd	13.7 (0.9) ^{Bc}	16.8 (0.5) ^{Bb}	20.1 (0.2) ^{Aa}

Para cada coordenada de cor vs. fundo, letras distintas (métodos de comparação em maiúsculas, comparação de tons compostos em minúsculas) indicam diferença estatística no teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 2. Coeficientes (acompanhados do erro padrão) que definem as equações de regressão utilizadas para ajustar os dados das coordenadas de cor CIELAB obtidas pelo método que combina aquisição de imagens por um CCD, uma lupa estereoscópica e um software de processamento de imagem de acesso aberto..

Coordenadas de cor	Fundo	Equação de regressão linear
L*	Branco	$y = 0.98 (3.05) + 1.12 (0.05) \cdot x$
	Preto	$y = 3.54 (2.58) + 1.11 (0.04) \cdot x$
a*	Branco	$y = -1.27 (0.15) + 1.71 (0.03) \cdot x$
	Preto	$y = -0.98 (0.06) + 0.57 (0.02) \cdot x$
b*	Branco	$y = 3.35 (1.26) + 0.87 (0.06) \cdot x$
	Preto	$y = 6.57 (0.33) + 0.69 (0.02) \cdot x$

Na equação, a coordenada medida com o espectrofotômetro (variável dependente - y) é prevista a partir de dados calculados a partir de imagens obtidas com CCD + lupa (covariável - x). CCD: dispositivo de carga acoplada.

Coordenadas de cores CIELAB ajustadas

As Figuras 1, 2 e 3 apresentam os resultados das regressões lineares para as coordenadas de cor obtidas pelos dois métodos avaliados, divididas por cor do compósito. L*

apresentou altos coeficientes de determinação (de 0,806 para DA2 a 0,985 para DA1). Fortes correlações foram observadas para as coordenadas a^* (de 0,988 a 0,997) e b^* (de 0,976 a 0,996).

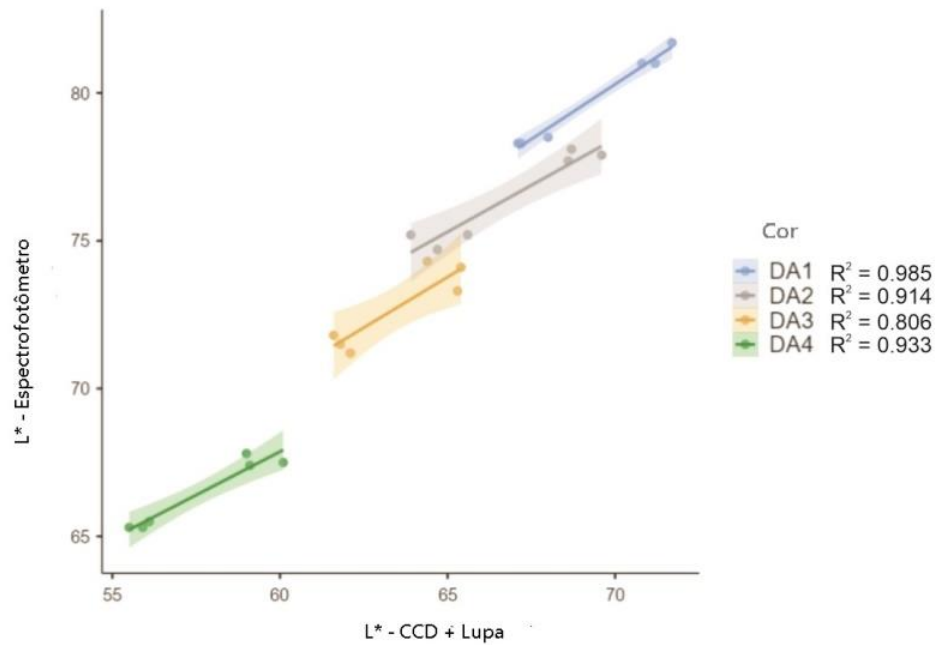


Figura 1. Gráficos de dispersão com linhas de regressão (erro padrão) calculadas com dados da coordenada de cor L^* (luminosidade) e divididas pela cor do compósito.

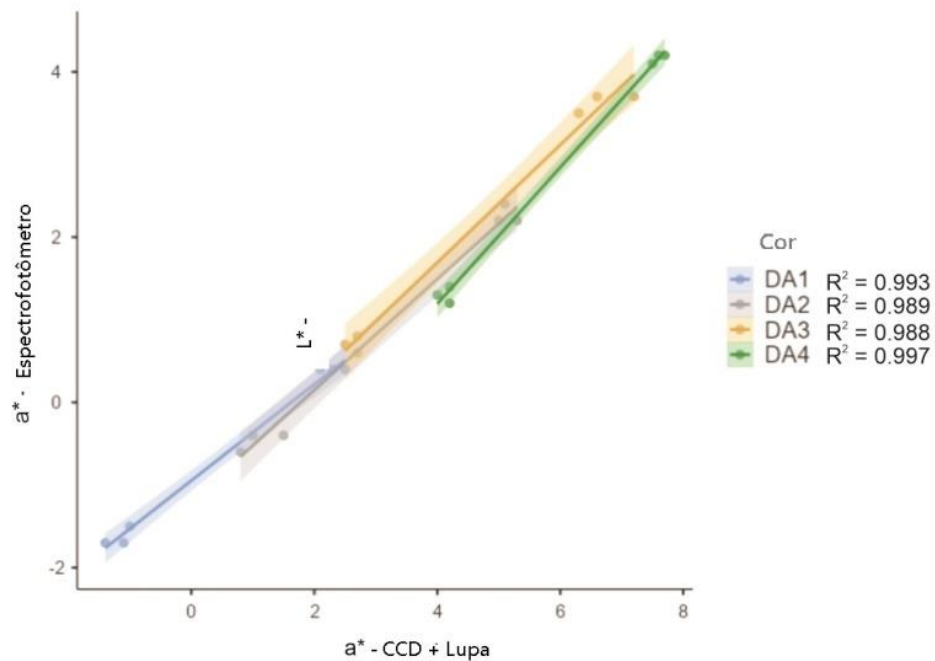


Figura 2. Gráficos de dispersão com linhas de regressão (erro padrão) calculados com dados da coordenada de cor a^* (eixo vermelho para verde) e divididos pela cor do compósito.

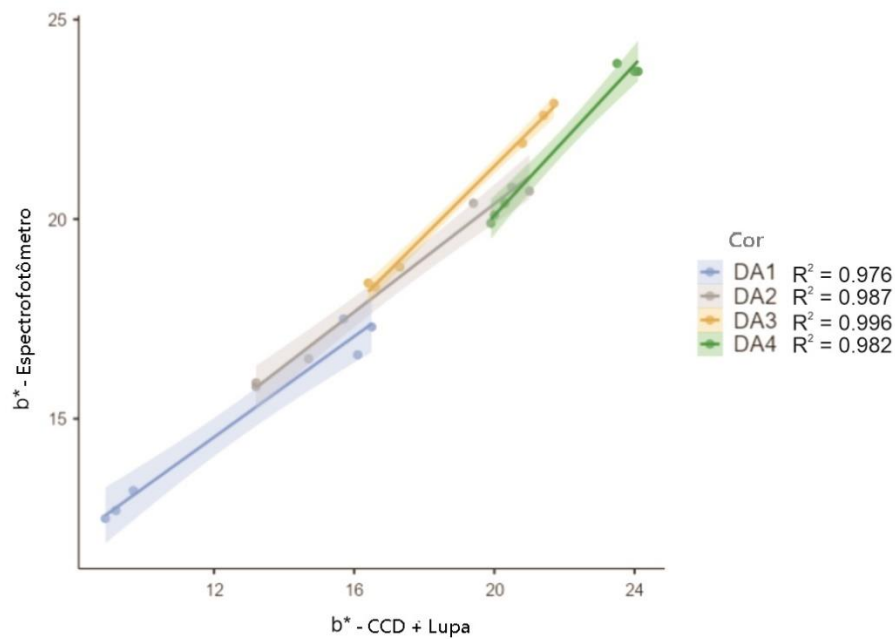


Figura 3. Gráficos de dispersão com linhas de regressão (erro padrão) calculados com dados da coordenada de cor b^* (eixo amarelo para azul) e divididos pela cor do compósito.

Índice de brancura

Os resultados indicam que tanto a variável ‘método de medição’ ($p < 0,001$) quanto a ‘cor’ ($P < 0,001$) afetaram os valores de WID. Além disso, houve uma interação significativa entre esses fatores ($p < 0,001$), conforme demonstrado na Figura 2. Os menores valores foram observados para os dados não ajustados obtidos pela metodologia proposta no presente estudo, independente da cor do compósito. Comportamento semelhante dos valores de WID foi observado entre dados não ajustados de CCD + Lupa e espectrofotômetro, exceto para A3, que apresentou valores menores para espectrofotômetro. Para todos os dispositivos, a cor DA1 apresentou os maiores valores de WID, seguida da DA2, enquanto os menores valores foram observados para DA4 (Figura 4).

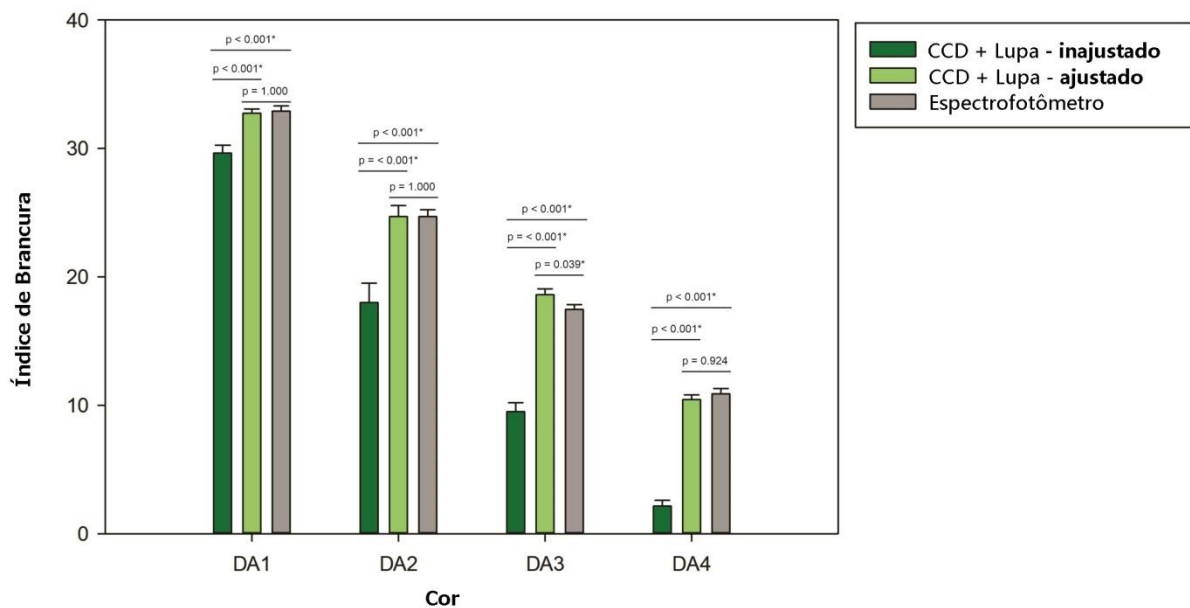


Figura 4. Médias e desvios padrão do índice de brancura para odontologia (WID) medidos com o espectrofotômetro ou calculados com imagens de CCD + Lupa e ajustados ou não com as regressões lineares. CCD: dispositivo de carga acoplada. * Indica diferença estatística.

Diferenças de cor entre os compósitos

Quando o fundo branco foi utilizado (Figura 5), apenas a variável independente 'comparação' ($p < 0,001$) afetou os valores de ΔE_{00} . Tanto a variável independente 'método de medição' ($p = 0,322$) quanto a interação ($p = 0,072$) não foram significativas. Independentemente do método, os resultados mostraram que $A1 \text{ vs. } A4 > A2 \text{ vs. } A4 > A1 \text{ vs. } A3 > A3 \text{ vs. } A4 > A1 \text{ vs. } A2 = A2 \text{ vs. } A3$. Em contrapartida, quando o fundo preto foi utilizado (Figura 6), tanto as variáveis independentes ($p < 0,001$) quanto a interação entre elas ($p < 0,001$) foram significativas. Somente para a comparação $A1 \text{ vs. } A3$, foi observada uma diferença significativa entre os dados ajustados do CCD + Lupa e espectrofotômetro (valores maiores). Em geral, os dados não ajustados de CCD + Lupa apresentaram os maiores valores de ΔE_{00} . No entanto, esses valores mais altos não foram estatisticamente significativos para as comparações $A2 \text{ vs. } A3$ e $A3 \text{ vs. } A4$ (somente para dados ajustados). Todos os métodos resultaram na mesma classificação de valores de ΔE_{00} , sendo $A1 \text{ vs. } A4 > A2 \text{ vs. } A4 > A1 \text{ vs. } A3 > A3 \text{ vs. } A4 > A1 \text{ vs. } A2$ e $A2 \text{ vs. } A3$. Entretanto, uma diferença estatística entre as duas últimas comparações ($A1 \text{ vs. } A2 > A2 \text{ vs. } A3$) foi observada apenas para os dados não ajustados do CCD + Lupa.

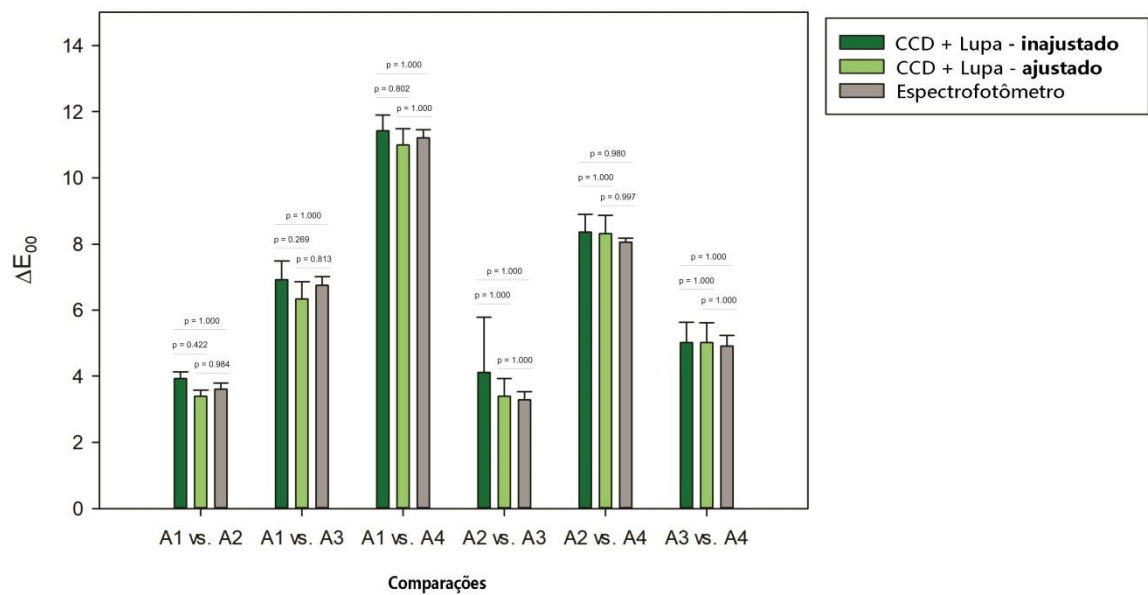


Figura 5. Para o fundo branco, médias e desvios padrão da diferença global de cor (ΔE_{00}) entre as tonalidades de cor medidas com o espectrofotômetro ou calculadas com imagens de CCD + Lupa e ajustadas ou não com as regressões lineares. CCD: dispositivo de carga acoplada. * Indica diferença estatística.

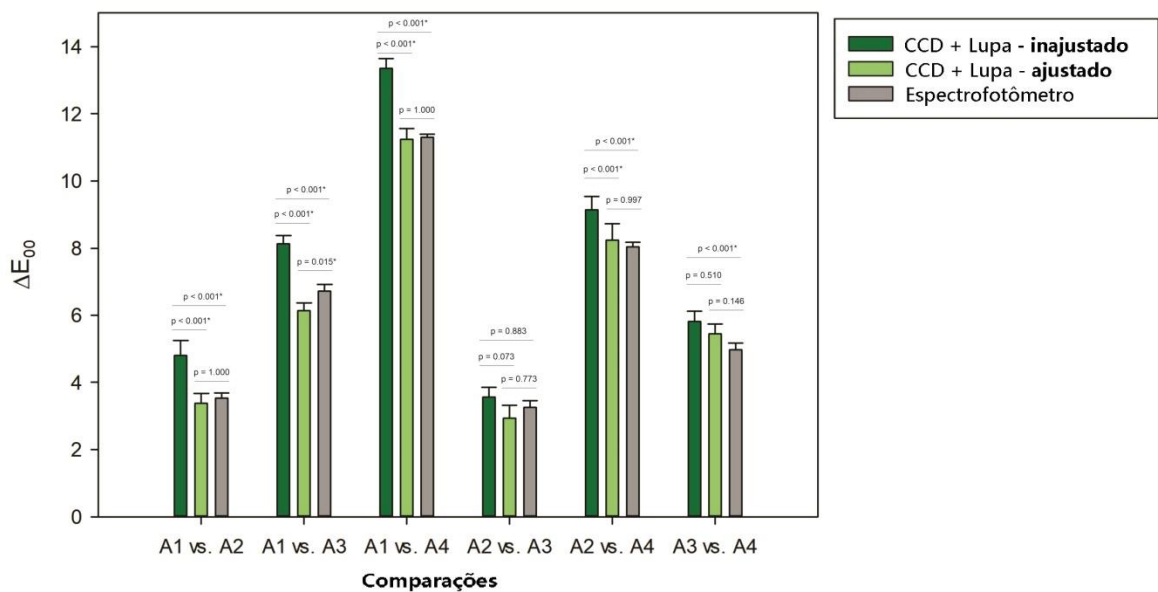


Figura 6. Para o fundo preto, médias e desvios padrão da diferença geral de cor (ΔE_{00}) entre as tonalidades de cor medidas com o espectrofotômetro ou calculadas com imagens de CCD + Lupa e ajustadas ou não com as regressões lineares. (A) Fundo branco; e (B) fundo preto. CCD: dispositivo de carga acoplada. * Indica diferença estatística.

Parâmetro de translucidez (PT00)

RM ANOVA mostrou que apenas o ' método de medição ' ($p < 0,001$) afetou os

valores de PT00. O p-valor calculado para a variável independente 'cor' ($p = 0,071$) não foi significativo, mas foi para a interação ($p < 0,001$). (Figura 7). Para todas as cores, o uso de dados não ajustados para calcular o PT00 forneceu os maiores valores, sem diferença entre os outros métodos. Diferenças entre cores foram observadas apenas para dados não ajustados de CCD + Lupa (A1 > A4).

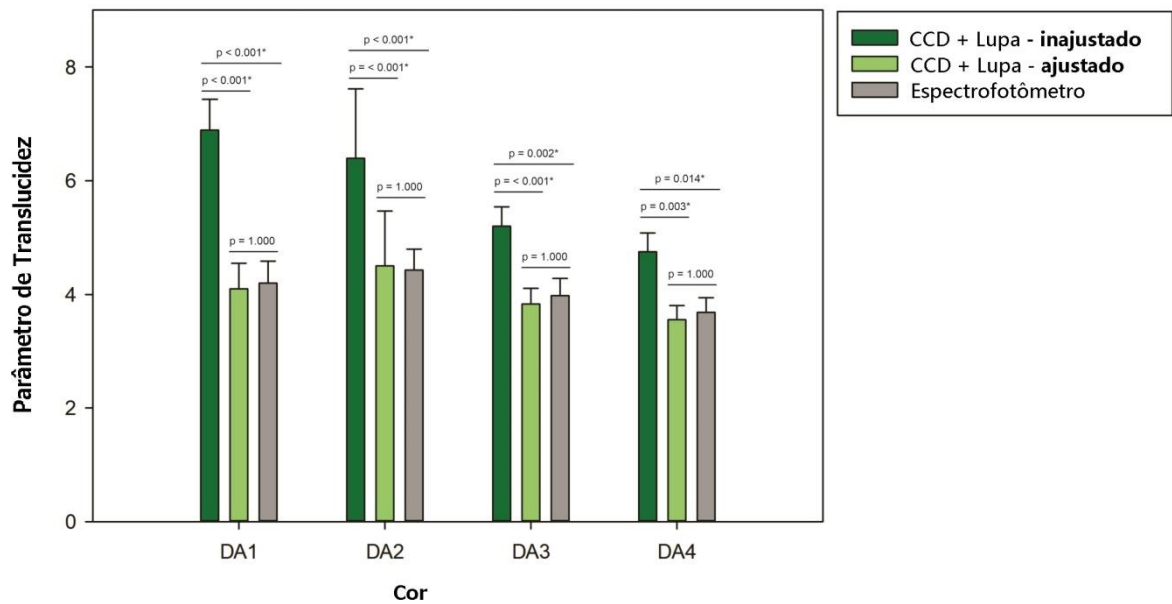


Figura 7. Médias e desvios padrão do parâmetro de translucidez (PT00) medidos com o espectrofotômetro ou calculados com imagens de CCD + Lupa e ajustados ou não com as regressões lineares. CCD: dispositivo de carga acoplada; NSD: diferença não significativa. * Indica diferença estatística

5 DISCUSSÃO

A determinação da cor de um objeto é influenciada por três fatores principais: o iluminante, o observador e o objeto em si.⁵ Neste estudo, o objetivo foi determinar a cor de compósitos dentários por meio de imagens capturadas por uma câmera CCD acoplada a uma lupa estereoscópica. Ao contrário do espectrofotômetro, não foi possível configurar um iluminante padrão CIE D65 e um ângulo de observação CIE de 2° durante a aquisição da imagem.^{20,21} A iluminação dos espécimes na lupa estereoscópica foi fornecida por uma lâmpada de tungstênio-halogênio. Em relação ao ângulo do observador, o CIE padroniza as leituras de cores em 2° ou 10°. ²⁰ O ângulo utilizado é importante para determinar o diâmetro da área analisada. Um ângulo de observação de 2° a uma distância de 50 cm do objeto resulta na visualização de uma área de 1,7 cm de diâmetro, enquanto um ângulo de observação de 10° resultaria em uma área de 8,8 cm de diâmetro. No entanto, o ângulo do observador também é desconhecido ao se utilizar lupa estereoscópica para obter imagens. Portanto, como era de se esperar que os dois métodos analisados no presente estudo resultaram em coordenadas de cores significativamente diferentes para os mesmos espécimes.

As imagens obtidas com o CCD + Lupa foram mais escuras (valores de L^* menores) do que a cor real dos espécimes em relação à luminosidade. Essa redução nos valores de L^* foi mais pronunciada quando os espécimes foram fotografados sobre um fundo preto. Sobre o fundo branco, as regressões lineares mostraram que os valores de L^* medidos com o espectrofotômetro eram aproximadamente 1 unidade (intercepção = 0,98) maior do que aqueles calculados a partir de imagens da lupa. Essa diferença aumentou para mais de 3,5 unidades em média quando um fundo preto foi usado. É confiável supor que a lâmpada de tungstênio-halogênio (usada como iluminante na lupa estereoscópica) provavelmente resulta em menos luz visível atingindo as amostras do que quando o espectrofotômetro foi empregado. Diferentemente do iluminante D65, o espectro das lâmpadas de tungstênio-halógeno está localizado principalmente no infravermelho com potência relativamente reduzida na região do espectro de luz visível.⁵ Apesar das diferenças nos valores de L^* , é importante notar que para ambos os aparelhos, os valores variaram em taxas semelhantes, independentemente da cor de fundo. (slopes $\approx 1,0$). Outra observação importante pode ser feita quando as regressões lineares foram divididas pela cor do compósito. Diferentemente de outras cores (R^2 variou de 0,914 a 0,985), observou-se um menor coeficiente de determinação ($\approx 0,80$) para a cor DA3, indicando um ajuste menos preciso da coordenada L^* para esta cor do que para as demais.

Com relação às coordenadas cromáticas, as imagens obtidas com o CCD + Lupa apresentaram o vermelho aumentado (valores de a^* maiores) e o amarelo reduzido (valores de b^* menores) em relação à cor real dos espécimes. Essas diferenças foram mais evidentes quando

o fundo da imagem aumentou o vermelho (branco) e diminuiu o amarelo (preto). O iluminante de tungstênio-halogênio é classificado pela CIE como iluminante A, e seu espectro visível aumenta continuamente do azul ao vermelho.^{5,23} A potência espectral relativa do espectro vermelho (620-750 nm) para o iluminante A aumentou de 143 para 227, superior à observada para um iluminante D65, o que pode explicar o aumento na tonalidade vermelha nas imagens capturadas com o CCD + Lupa. Por outro lado, o iluminante D65 possui uma menor (96 a 88) potência espectral relativa no espectro amarelo (570-590 nm) do que um iluminante A (107 a 121).⁵ Surpreendentemente, embora um iluminante A seja esperado para produzir uma cor mais amarelada do que um iluminante D65, o oposto foi observado neste estudo. Uma possível explicação é que a longa distância dos espécimes em relação à lâmpada de tungstênio-halogênio pode ter resultado em uma menor irradiância no espectro amarelo, já que a diferença na potência espectral relativa entre os dois iluminantes é menor no espectro amarelo do que no espectro vermelho. Apesar disso, os modelos de regressão linear para as coordenadas cromáticas apresentaram coeficientes de determinação quase perfeitos (R^2 variando de 0,952 a 0,997), indicando que o comportamento das coordenadas a^* e b^* em relação à cor do composto e ao fundo são semelhantes para ambos os métodos usados para determinar a cor das amostras.

O ajuste das coordenadas de cor com os modelos de regressão linear resultou em medidas de cor semelhantes de espécimes para ambos os métodos, conforme observado quando o WID foi calculado. Observou-se uma única diferença (cor DA3) entre os métodos. Sob um fundo preto (utilizado apenas para o cálculo do WID), os dados ajustados obtidos das imagens resultaram em uma cor mais clara do que aquelas medidas com o espectrofotômetro. É interessante notar que a cor DA3 apresentou o menor coeficiente de determinação para a coordenada L^* , o que pode ser explicado por um ajuste menos preciso para a luminosidade. É importante destacar, entretanto, que a diferença observada entre os dois métodos na determinação do WID médio para a cor DA3 foi de apenas 1,1, o que fica abaixo do limite de aceitabilidade de 50:50% para o índice de alvura (2,62 unidades Δ WID) determinado anteriormente. Além disso, essa diferença encontra-se dentro dos valores dos limiares de brancura para "nenhuma diferença" (0,70 unidades Δ WID) e "pequena diferença" (1,57 unidades Δ WID). Esses resultados indicam que o método utilizado neste estudo para ajustar os dados de cor das imagens CCD + Lupa usando regressões lineares estimou com precisão a cor real dos espécimes.

Uma aplicação interessante para as imagens capturadas com a lupa do estereoscópio seria calcular as diferenças de cor em áreas específicas dos espécimes. Estudos anteriores demonstraram que a diferença de cor percebida por um observador pode ser significativamente afetada pela cor de fundo.²⁵ Portanto, os valores de ΔE_{00} foram calculados utilizando dados medidos em fundos pretos e brancos e os resultados entre os métodos diferiram em função do fundo. Não houve diferença entre os métodos (incluindo dados não ajustados) observada para a

diferença de cor pareada entre as cores do compósito quando o fundo branco foi utilizado. Em geral, os dados não ajustados produziram os maiores valores de ΔE_{00} . Por outro lado, os valores de ΔE_{00} calculados com os dados ajustados do CCD + Lupa diferiram dos obtidos com o espectrofotômetro apenas quando as cores DA1 e DA3 foram comparadas em relação ao fundo preto. A cor DA3 medida sobre o fundo preto foi a única que teve seus valores de WID afetados pelo método usado para medir a cor dos espécimes. No entanto, a determinação menos precisa da cor DA3 obtida por imagens da lupa só afetou o cálculo da diferença de cor para a comparação que teve a maior diferença (média ΔE_{00} de 6,72 unidades e 6,13 unidades para espectrofotômetro e CCD ajustado + Lupa, respectivamente). Além disso, é importante destacar que a diferença entre os métodos (0,59 unidades) é menor que o valor de ΔE_{00} para o limiar de perceptibilidade de 50:50%.²⁶

Finalmente, ao contrário dos dados não ajustados que apresentaram valores mais altos de PT, o uso de dados ajustados de imagens capturadas com a lupa do estereoscópio para determinar a cor dos espécimes resultou em valores semelhantes de PT00 aos calculados com o espectrofotômetro. Além disso, como era esperado, não foi observada diferença nos valores de PT00 entre as cores dos compósitos, já que todas apresentam a mesma translucidez da dentina dentária.

Nesse contexto, as medições de cor realizadas com imagens capturadas com a lupa de estereoscópio são recomendadas para avaliar diferenças de cor em áreas menores (por exemplo, pontos de hipoplasia do esmalte) que são mais curtos do que as áreas de medição de um espectrofotômetro e sua estrutura circundante. Conforme demonstrado no presente estudo, o método que associa imagens de uma lupa e um software de processamento de imagem de código aberto parece ser viável. No entanto, é necessário ajustar as coordenadas de cor registradas para corrigir discrepâncias com as medidas obtidas pelo espectrofotômetro. Portanto, as hipóteses deste estudo foram confirmadas.

Os resultados deste estudo indicaram que a utilização de espécimes com cores homogêneas, como cerâmicas ou compósitos, possibilita um ajuste adequado dos dados, produzindo resultados confiáveis. Apesar das diferenças de cores, as correlações significativas observadas entre as coordenadas de cores calculadas nas imagens e as do espectrofotômetro permitiram que as equações de regressão linear fossem utilizadas para ajustar esses dados de maneira precisa e estimar as diferenças de cor de forma mais acurada. No entanto, é importante ressaltar que as equações de regressão linear descritas neste estudo não devem ser aplicadas em condições diferentes (por exemplo, no iluminante) que podem afetar as coordenadas de cor, e essas coordenadas devem ser ajustadas para cada condição experimental. Assim, estudos posteriores podem mostrar se o mesmo ajuste pode ser aplicado com sucesso em outros materiais e cores dentais.

6 CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que o uso de imagens adquiridas com lupa estereoscópica para medir digitalmente a cor dos espécimes é um método de medição de cor confiável. No entanto, as coordenadas de cores precisam ser ajustadas usando dados obtidos com um espectrofotômetro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Villarroel M, Fahl N, De Sousa AM, De Oliveira OB Jr. **Direct esthetic restorations based on translucency and opacity of composite resins.** J Esthet Restor Dent. 2011;23(2):73-87. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2010.00392.x>
2. Pecho OE, Pérez MM, Ghinea R, Della Bona A. **Lightness, chroma and hue differences on visual shade matching.** Dent Mater. 2016;32(11):1362-73. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.08.218>
3. Liberato WF, Barreto IC, Costa PP, de Almeida CC, Pimentel W, Tiossi R. **A comparison between visual, intraoral scanner, and spectrophotometer shade matching: A clinical study.** J Prosthet Dent. 2019;121(2):271-5. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.05.004>
4. Medeiros JA, Pecho OE, Pérez MM, Carrillo-Pérez F, Herrera LJ, Della Bona A. **Influence of background color on color perception in dentistry.** J Dent. 2021;108:103640. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103640>
5. Hunt RWG, Pointer MR. **Measuring colour.** UK: John Wiley & Sons Ltd; 2011.
6. Schmidt BP, Boehm AE, Tuten WS, Roorda A. **Spatial summation of individual cones in human color vision.** PLoS One. 2019;14(7):e0211397. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211397>
7. ISO/CIE 11664-3:2019. **Colorimetry — Part 3: CIE tristimulus values.** 2019.
8. ISO/CIE 11664-4:2019. **Colorimetry — Part 4: CIE 1976 L*a*b* colour space.** 2019.
9. Luo MR, Cui BR. **The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000.** Col Res Appl. 2001; 26(5):340-50. <https://doi.org/10.1002/col.1049>
10. ISO/CIE 11664-6:2014. **Colorimetry - Part 6: CIEDE2000 colour-difference formula.** 2014.
11. Tam WK, Lee HJ. **Dental shade matching using a digital camera.** J Dent. 2012;40(Suppl 2):e3-e10. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2012.06.004>
12. Rondón LF, Ramírez R, Pecho OE. **Comparison of visual shade matching and photographic shade analysis.** J Esthet Restor Dent. 2022;34(2):374-82. <https://doi.org/10.1111/jerd.12883>
13. Tabatabaian F, Beyabanaki E, Alirezaei P, Epakchi S. **Visual and digital tooth shade selection methods, related effective factors and conditions, and their accuracy and precision: A literature review.** J Esthet Restor Dent. 2021; 33(8):1084-104. <https://doi.org/10.1111/jerd.12816>
14. de Melo Oliveira I, Santana TR, Correia ACC, Fontes LS, Griza S, Faria-E-Silva AL. **Color heterogeneity and individual color changes in dentin and enamel bleached in the presence of a metallic orthodontic bracket.** J Esthet Restor Dent. 2021; 33(2):262-8. <https://doi.org/10.1111/jerd.12660>
15. Melgosa M, Ruiz-López J, Li C, García PA, Della Bona A, Pérez MM. **Color inconstancy of natural teeth measured under white light-emitting diode illuminants.** Dent

Mater. 2020; 36(12):1680-90. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.10.001>

16. Carney MN, Johnston WM. **A novel regression model from RGB image data to spectroradiometric correlates optimized for tooth colored shades.** J Dent. 2016; 51:45-8. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2016.05.011>
17. Alberton Da Silva V, Alberton Da Silva S, Pecho OE, Bacchi A. **Influence of composite type and light irradiance on color stability after immersion in different beverages.** J Esthet Restor Dent. 2018;30(5):390-6. <https://doi.org/10.1111/jerd.12383>
18. Araujo FS, Barros MCR, Santana MLC, de Jesus Oliveira LS, Silva PFD, Lima GDS, et al. **Effects of adhesive used as modeling liquid on the stability of the color and opacity of composites.** J Esthet Restor Dent. 2018;30:427-33. <https://doi.org/10.1111/jerd.12378>
19. Soares KD, Bragança RM, Leal PC, Schneider LF, Faria-e-Silva AL. **Is it possible to determine the optical properties of resin composites with clinical spectrophotometers?** Color Res Appl. 2022;47(3):706-16. <https://doi.org/10.1002/col.22757>
20. ISO/CIE 11664-1:2019. **Colorimetry — Part 1: CIE standard colorimetric observers.** 2019.
21. ISO 11664-2:2007. **Colorimetry — Part 2: CIE standard illuminants.** 2007.
22. Pérez Mdel M, Ghinea R, Rivas MJ, Yebra A, Ionescu AM, Paravina RD, et al. **Development of a customized whiteness index for dentistry based on CIELAB color space.** Dent Mater. 2016; 32(3):461-7. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.12.008>
23. Kürklü D, Azer SS, Yilmaz B, Johnston WM. **Porcelain thickness and cement shade effects on the colour and translucency of porcelain veneering materials.** J Dent. 2013;41:1043-50. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2013.08.017>
24. Pérez MM, Herrera LJ, Carrillo F, Pecho OE, Dudea D, Gasparik C, et al. **Whiteness difference thresholds in dentistry.** Dent Mater. 2019;35(2):292-7. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.11.022>
25. Pérez MM, Della Bona A, Carrillo-Pérez F, Dudea D, Pecho OE, Herrera LJ. **Does background color influence visual thresholds?** J Dent. 2020;102:103475. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103475>
26. Paravina RD, Ghinea R, Herrera LJ, Bona AD, Igiel C, Linninger M, et al. **Color difference thresholds in dentistry.** J Esthet Restor Dent. 2015;27(Suppl 1):S1-S9. <https://doi.org/10.1111/jerd.12149>
27. AMADO, Jorge. **Capitães da Areia.** 92ª edição. Rio de Janeiro: Editora Record,1988.