

**Universidade Estadual Paulista**

**“Júlio de Mesquita Filho”**

**Faculdade de Odontologia de Araraquara**

**FABIANA TAKATSUI**

**SISTEMA CIE LAB: ANÁLISE COMPUTACIONAL DE  
FOTOGRAFIAS**

**SOLIS DOMI SALVS**

**Araraquara**

**2011**



Fabiana Takatsuí

**SISTEMA CIE LAB: ANÁLISE COMPUTACIONAL DE FOTOGRAFIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas – Área de Dentística Restauradora, da Faculdade de Odontologia de Araraquara, da Universidade Estadual Paulista para obtenção do título de Mestre em Ciências Odontológicas.

**Orientadora:** Profa. Dra. Leonor de Castro Monteiro Loffredo

Araraquara

2011

Takatsui, Fabiana

Sistema CIE LAB: análise computacional de fotografias / Fabiana Takatsui. – Araraquara: [s.n.], 2011.

100 f. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Odontologia

Orientadora: Profa. Dra. Leonor de Castro Monteiro Loffredo

1. Fotografia dentária 2. Processamento de imagem assistida por computador 3. Cor I. Título

## DADOS CURRICULARES

Fabiana Takatsui

NASCIMENTO 03.06.1981 – Araraquara / SP, Brasil.

FILIAÇÃO Mario Takechi Takatsui

Teresa Shinzato Takatsui

2000/2004 **Curso de Graduação em Odontologia**

Universidade do Sagrado Coração – USC

2005 **Atualização em Dentística Restauradora**

Fundação Araraquarense de Ensino e Pesquisa em  
Odontologia (FAEPO)

2005 **Aperfeiçoamento em Periodontia**

Instituto de Ensino Odontológico (IEO)

2005/2006 **Curso de Especialização em Periodontia**

Fundação Araraquarense de Ensino e Pesquisa em  
Odontologia (FAEPO)

2007 **Aperfeiçoamento em Implante Cirúrgico**

Instituto de Ensino Odontológico (IEO)

2008/2009 **Curso de Especialização em Implantodontia**

FUNEC – Santa Fé do Sul



*Dedicat6ria*

## *Dedico este trabalho...*

A Deus,

pelo dom da vida, pelas bênçãos concedidas e o sonho conquistado.

Aos meus pais,

De vocês recebi a vida, mas não se contentaram em me presentear apenas com ela, revestiram a minha existência de amor, carinho e dedicação. Abriram a porta do meu futuro, iluminando o meu caminho com a luz mais brilhante que puderam encontrar: o estudo. Obrigado por tudo que fizeram por mim sem que eu ao menos soubesse. Minha eterna gratidão a vocês que me acompanharam com carinho todos os meus dias para que um dia eu pudesse chegar até aqui.



# *Agradecimentos Especiais*

## *Agradecimentos Especiais...*

À minha orientadora **Profa. Dra. Leonor de Castro Monteiro Loffredo**,

Por ser uma pessoa tão especial! Sua presença expressa auto-estima, suas palavras são puro compromisso. Seus gestos são precisos. Não tem vergonha de suas limitações, mas, principalmente, não tem vergonha de ser competente no que faz! Quando não sabe, pergunta. Quando não pode, não promete. Quando promete, cumpre. Quando sabe, assume. Quando assume, faz.

Ao querido **Prof. Max**, que com toda sua simpatia e carinho me ajudou em todos os momentos durante a realização deste trabalho!

.....À vocês, **Profa. Leonor e Prof. Max**, a minha eterna gratidão por tudo que fizeram por mim!





***Agradecimientos***

## *Agradecimentos...*

À Universidade Estadual Paulista e à Faculdade de Odontologia de Araraquara, representadas pelo Digníssimo Reitor Herman Jacobus Cornelis Voorwald e pelo Digníssimo Diretor José Cláudio Martins Segalla.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas, representado pela Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Josimeri Hebling e pelo Prof. Dr. Edson Alves de Campos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro concedido durante todo o curso.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas pelos conhecimentos e experiência compartilhados.

Aos funcionários da Dentística, D. Cida, Marinho, Wanderley, Creuza, Conceição e Nely por todo carinho e atenção. Todos vocês foram importantes no dia-a-dia de curso!

Aos funcionários da biblioteca Adriano, Maria Inês, Silvia, Eliane, Ceres, Cristina, Marley, Maria Aparecida e Odete, pela receptividade, orientação e disponibilidade.

Aos professores Dr. Marcelo Ferrarezi de Andrade, Dr. Edson Alves de Campos, Dr. Osmir Batista de Oliveira, Dr. José Roberto Saad, Dr. Roberto Vianna, Dra. Kikuko Otsuki pelos ensinamentos, acolhimento e confiança.

Às minhas colegas de turma de mestrado Janáina, Carol e Carlos durante toda essa jornada. E aos demais amigos e colegas de Pós-Graduação pelos momentos compartilhados.

Aos meus queridos amigos que muito me ajudaram durante este período nas horas que mais precisei, João Fernando Kina, Tais Cruz, Fernando Flores, Marília Regalado, Fernanda Jassé, Aline Borsari e Rogério Cuniyochi. Muito obrigada pelos ensinamentos, disponibilidade e atenção.

À Mara, que foi sempre incansável diante das dúvidas, problemas e solicitações; e aos demais funcionários da seção de pós-graduação, Rosângela, Flávia e Alexandre. Obrigada pela paciência!

...e a todos que de alguma forma colaboraram para a formação deste trabalho.



# *Sumário*

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>15</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>18</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>24</b>
<b>3 PROPOSIÇÃO</b>	<b>54</b>
<b>4 ARTIGOS</b>	<b>56</b>
<b>4.1 ARTIGO 1- CIE L*a*b* system: computer analysis of photographic images.</b>	<b>57</b>
<b>4.2 ARTIGO 2- CIE L* a* b*: comparison of digital images obtained photographically by manual and automatic mode.</b>	<b>73</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>87</b>
<b>6 REFERÊNCIAS</b>	<b>90</b>
<b>PRODUÇÃO CIENTÍFICA DURANTE O CURSO</b>	<b>100</b>



***Resumo***

Takatsui F. Sistema CIE Lab: Análise computacional de fotografias. [Dissertação de Mestrado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2011.

## RESUMO

Por anos, os métodos de escolha de cor em odontologia têm sido realizados de forma subjetiva, baseados em experiências clínicas particulares, sem nenhum embasamento científico. Com o aumento dos procedimentos estéticos restauradores, existe a preocupação na escolha da cor, cuja determinação envolve as técnicas visual e instrumental. A técnica visual é realizada com o auxílio de escalas de referências, e a técnica instrumental é realizada com o auxílio de espectrofotômetros, colorímetros e *software* de análise de imagens. Com o avanço tecnológico em equipamentos e com o auxílio de *software* que auxiliam na precisão da cor da imagem digital, este trabalho utilizou o *software* Adobe Photoshop 7.0, com o objetivo de avaliar a utilidade, na prática clínica, da máquina fotográfica digital para seleção de cor segundo a escala Vita LuminVaccum. Inicialmente, foi utilizada uma máquina amadora e dois examinadores fizeram a aferição, sendo realizado um estudo de correlação intra-classe para avaliação de concordância interexaminador. Concluiu-se que a análise computacional de imagens digitais pode ser usada para analisar guias de cores pelo sistema CIE

LAB, assim como é confiável, sendo a diferença de cor entre os dois observadores clinicamente aceitável. Adicionalmente, por meio de uma máquina fotográfica profissional, foram comparados os modos manual e automático, para saber se a diferença de cor ( $\Delta E$ ) promovida por eles teve relevância clínica. Concluiu-se que, para as guias B1, B3 e C4 poderão ser usados quaisquer modos de câmera digital (manual ou automático), diferente do observado para a guia A3.5.

**PALAVRAS CHAVES:** fotografia dentária; processamento de imagem assistida por computador; cor.





***Abstract***

Takatsui F. CIE Lab System: Computational analysis of photographs. [Dissertação de Mestrado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2011.

## **Abstract**

For years, the methods of choice of color in dentistry, have been made subjectively, based on individual clinical experience, without any scientific basis. With the increase in esthetic restorations, the most sought in recent decades, for better color choice are the visual and instrumental techniques. The visual technique is performed with the aid of references, and the scales of instrumental technique are performed with the aid of spectrophotometers, colorimeters and image analysis software. Due to technological advances in equipment and due to the development of softwares that improve precision in color of the captured digital image, the present study aimed to use the Adobe Photoshop 7.0 software, in order to evaluate the usefulness of the digital camera in clinical practice, when selecting color according to the Vita LuminVaccum scale. Interobserver agreement was verified when two examiners evaluated the coordinates  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ , by using an unprofessional camera. Intraclass correlation coefficient was applied to verify interobserver agreement. It can be concluded that the computer analysis of photographic images can be used to analyze the color guides by means of

the CIE L\*a\*b\* system, as it was reliable and also because the color difference between the two observers was clinically acceptable. In relation of the use of a professional digital camera to verify the difference in color promoted by the manual and by the automatic mode, it can be concluded that for the guides B1, B3, and C4 any modes could be used, differently of the observed for the guide A3.5.

**KEY WORDS:** photography dental, image processing; color



# *Introdução*

# 1 Introdução

A procura por procedimentos estéticos tem sido crescente nos últimos anos. Porém, constitui-se em desafio para o profissional, mesmo que experiente, pois a escolha adequada da cor da restauração implica diretamente no sucesso do tratamento restaurador<sup>76</sup>.

A determinação de cores na Odontologia pode ser analisada sob dois prismas, o visual e o instrumental. O método de seleção de cores visual é realizado em uma comparação entre os dentes do paciente e um padrão de cores pré-determinado. A determinação instrumental é realizada através de colorímetros, espectrofotômetros e softwares de análise de imagens<sup>51</sup>.

A Comissão Internacional de L'Eclairage (CIE) – organização internacional cujo trabalho baseia-se no uso de luz e cor – desenvolveu métodos para expressar numericamente as cores, sendo que o de mensuração cromática  $L^*a^*b^*$ , descrito em 1976, considera três eixos espaciais perpendiculares entre si, cujos pontos fornecem diferenças numéricas mais uniformes em relação às diferenças visuais<sup>13</sup>. Existe um dispositivo de mensuração de cor (espectrofotômetro) que é constituído por uma unidade de base, um instrumento de mão e um cabo de fibra óptica conectado entre eles<sup>11</sup>.

O sistema de cores CIE  $L^*a^*b^*$  é constituído pelos seguintes parâmetros que definem a cor:  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ . São três coordenadas, onde  $L^*$  é referente à luminosidade do objeto a ser avaliado, podendo variar do preto ao branco,  $a^*$  é a medida do croma no eixo vermelho-verde e  $b^*$  é a medida do croma no eixo amarelo-azul.<sup>13</sup> Assim, as informações poderão estar disponíveis como  $L^*a^*b^*$ , valor, croma e matiz<sup>79</sup>.

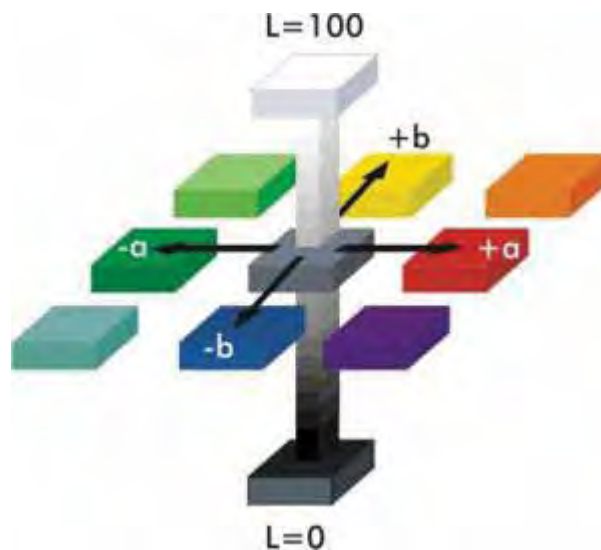


FIGURA 1- Espaço de cor CIE  $L^*a^*b^*$ .

A Figura 1 permite verificar que o valor de  $L^*$  será igual a zero para denotar o preto, enquanto o branco total tem um valor de  $L^*$  igual a 100. Os outros componentes cromáticos representam a variação de matiz e croma. O eixo  $a^*$  é medido do avermelhado ( $a^*$  positivo) ao esverdeado ( $a^*$  negativo). O eixo  $b^*$  é medido de amarelado ( $b^*$  positivo) ao azulado ( $b^*$  negativo). As coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  se aproximarão do zero

para as cores neutras (branco, cinza) e aumentam em magnitude para cores mais saturadas.

A determinação da cor poderá ser realizada de uma vez só (o dente como um todo), ou pelos terços cervical, médio e incisal.

Sproull<sup>68</sup> (2001) usou a escala Vita Lumin Vacuum e considerou como ideal uma escala que determina o limite certo do espaço da cor dos dentes naturais com pequenos intervalos entre matiz, valor e croma, que simplifique a escolha da cor pelo usuário<sup>70</sup>.

Curd et al<sup>16</sup> (2006) e Park et al<sup>54</sup> (2006) consideram, respectivamente, que as escalas Vita Lumim Vaccum e Vitapan 3D-Master, da Vita Zahnfabrik (Bad Sacking, Germany), se enquadram perfeitamente no sistema de cores de Munsell (Figura 1) e, conseqüentemente, nas características primárias das cores dos dentes.

Miyashita<sup>46</sup> (2004) descrevem a escala Vita Lumin Vacuum da seguinte maneira:

- O matiz é representado pelas letras A (amarelo-amarronzado), B (amarelo), C (cinza) e D (rosa-acinzentado),

- O valor é representado pelos números de 1 a 4 e

- O croma e o valor nesta escala são inversamente relacionados. Assim, enquanto o croma aumenta, o valor diminui.

O processo de seleção de cor é subjetivo, onde os pesquisadores poderão chegar aos mesmos resultados ou não, sugerindo que sejam avaliados quanto ao nível de concordância intra- e interexaminador na aferição da cor. Porém, existem programas para análise de imagens, entre eles, o Adobe Photoshop, que avalia cada um de seus componentes numericamente, podendo se chegar à diferença de cor total. Há de se considerar, que, ao adotar este sistema, o ponto de coordenadas a ser determinado para verificação dos valores dos eixos que compõem o sistema CIE L\*a\*b\* é visualmente determinado, o que pode sugerir certo grau de subjetividade neste processo.

Johnston, Kao<sup>35</sup> propuseram um limiar da percepção visual de acordo com o sistema CIELAB, onde a diferença da cor total ( $\Delta E^*$ ) seria visualmente imperceptível quando não atingisse o valor de 3,7, sendo assim, clinicamente aceitável, sendo este critério utilizado por outros autores<sup>7</sup>.

Dado o crescente interesse que o tema desperta, vários estudos procuraram abordá-lo sob diferentes prismas<sup>5,10,14,31,30,32,40,52,61,62,63,64,76</sup>, referentes à estética, às expectativas dos pacientes, às diferentes técnicas de avaliação de cor e material didático para a simulação de tratamento.

Considerando que o método fotográfico é rápido e de custo acessível, procurou-se analisar a diferença de cor segundo o sistema



CIELAB, quando dois examinadores analisam as mesmas imagens, com auxílio do *software* Adobe Photoshop.



# *Revisão de Literatura*

## 2 Revisão da Literatura

### 2.1 Sistema Fotorreceptor:

#### 2.1.1 O Globo Ocular

Segundo Junqueira, Carneiro<sup>37</sup> (2008), os olhos são órgãos fotossensíveis complexos que atingem alto grau de evolução, permitindo uma análise minuciosa quanto à forma dos objetos, sua cor e a intensidade da luz refletida. Localizam-se dentro de uma caixa óssea protetora, chamada de órbita, e apresentam basicamente uma câmara escura, uma camada de células receptoras sensoriais, um sistema de lentes para focalizar a imagem e um sistema de células para iniciar o processamento dos estímulos e enviá-los ao córtex cerebral que faz com que o globo ocular seja bastante similar a uma câmara escura de uma câmera fotográfica, como visto na Figura 2.

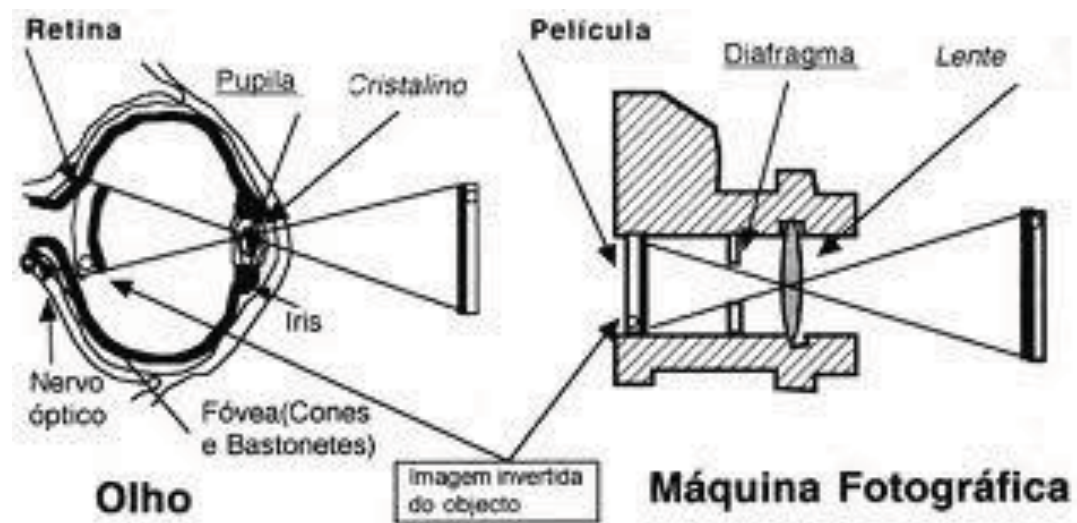


FIGURA 2- Globo ocular similar a uma câmara escura de uma câmera fotográfica.

### 2.1.2A Retina

Segundo Souza<sup>67</sup> (2001), progressivamente a estrutura histológica da retina individualiza-se com a formação de três camadas de células com os corpos celulares (camada nuclear interna, nuclear externa e das células ganglionares) e camadas intermediárias que constituem a sinapses (plexiforme interna e plexiforme externa).

Nishida<sup>48</sup>, em 2007, afirmou que os estímulos sensoriais realizados pela visão são realizados pelas unidades receptoras que assumem a forma de cone ou de bastonetes. Os bastonetes, cerca de cento e vinte milhões no ser humano, são células finas, alongadas os

quais são os principais receptores para baixos níveis de luz. Os cones, cerca de seis milhões em uma retina humana são elementos de percepção de luz em intensidade normal e possibilitam grande acuidade visual. Os bastonetes são mais sensíveis à luz, porém, só possibilitam uma visão menos precisa.

Junqueira, Carneiro<sup>37</sup> (2008), afirmam que a parte da retina situada na região posterior do globo ocular apresenta, de fora para dentro, as seguintes camadas: a camada de células fotossensitivas, os cones e bastonete, a camada dos neurônios bipolares, que unem funcionalmente as células dos cones e dos bastonetes às células ganglionares; a camada das células ganglionares; que estabelece contato na sua extremidade externa com os neurônios bipolares e continua na porção interna com as fibras nervosas que convergem, formando o nervo óptico.

## 2.2.Fundamentos da Óptica:

### 2.2.1.Luz:

Miyashita<sup>46</sup> (2004), observou que existem no universo várias formas de radiação, ou energia eletromagnética. Na sua grande maioria, estas formas são invisíveis ao olho humano, como o raio-x e as ondas de televisão e de rádio, que diferem entre si, basicamente, em comprimento e amplitude de onda. Porém, dentro de uma faixa do

espectro eletromagnético entre 360 nm e 760 nm, uma radiação pode ser visível pelo olho humano, sendo esta radiação chamada de luz.

Ghersel et al. <sup>25</sup> (2007) afirmaram que a luz é o principal determinante para o aparecimento da cor, onde os raios luminosos atravessam camadas da retina e atingem os cones e bastonetes para se iniciar o processo visual.

Anusavice<sup>2</sup> (2007), afirmou que dentro da faixa do espectro eletromagnético, pode-se observar as variações de cor na luz, de acordo com o seu comprimento de onda, partindo de cores azuladas, em seus comprimentos mais curtos de 400 nm, até as cores avermelhadas, com comprimentos mais longos de 700 nm, como visto na Figura 3.

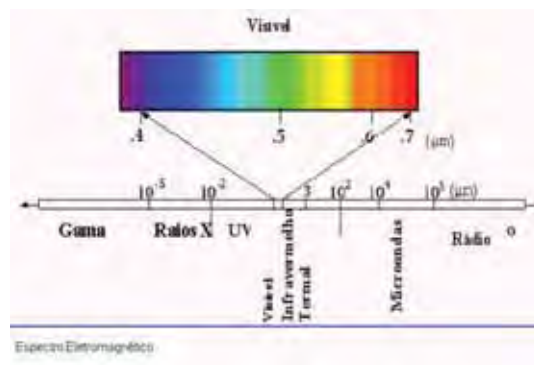


FIGURA 3 - Espectro eletromagnético.

### 2.2.2 Cor:

Em 2005, Melo, Kano<sup>45</sup> afirmaram que a cor não é um atributo estático, inerente aos objetos, mas sim a resposta do cérebro a um estímulo luminoso captado por nossos olhos.

Sua existência está condicionada à existência da luz e do olho. A cor não existe materialmente, ou seja, não se pode dizer que certo elemento é vermelho, assim como se pode dizer que ele é pesado, ou composto de plástico, segundo Ghersel et al.<sup>25</sup> (2007).

Em 2008, Carmona<sup>9</sup> definiu a cor como a sensação que a ação da luz provoca sobre o órgão da visão, ou seja, a cor não existe materialmente, mas é decorrente do efeito da luz sobre o olho e o objeto.

#### 2.2.2.1. Dimensões da Cor:

Em 2001, segundo Goldstein<sup>26</sup>, vários sistemas de organização de cores estão disponíveis, mas devido a padrões que envolvem um reconhecimento que seja levado a sério, no mundo inteiro, flexibilidade e simplicidade, o sistema criado pelo físico Albert Henry Munsell, em 1915, foi considerado o melhor sistema definido para ser usado na Odontologia.

No sistema de Munsell, a cor pode ser representada por três dimensões, referentes a matiz, valor e saturação. Estas três dimensões são usadas para descrever a cor, assim como comprimento, largura e altura são utilizados para descrever forma, segundo Silva et al<sup>65</sup>, em 2002. Segundo Carmona<sup>9</sup> (2006), cada dimensão (matiz, valor e saturação) contribui com informações relevantes para a determinação de uma cor.

Matiz é a característica que permite ao observador distinguir uma determinada cor, dentro de diferentes famílias de cores. O valor determina a luminosidade de uma cor, ou seja, a quantidade de cinza que esta contém. O croma determina os graus de saturação de uma cor, segundo Park et al<sup>54</sup> (2006). A Figura 4 mostra como funciona o sistema de Munsell.

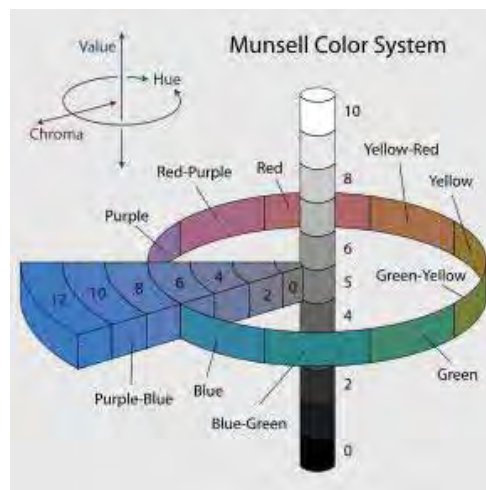


FIGURA 4 – Sistema de cor de Munsell.



#### 2.2.2.2 Fontes de Iluminação e Cor:

A iluminação do ambiente varia e é nítida a diferença da iluminação feita pela luz natural do dia comparada à iluminação incandescente ou fluorescente. A própria iluminação fluorescente pode ter várias cores. Segundo Goldstein<sup>26</sup> (2001), quando um comprimento de onda de luz está ausente na fonte de iluminação, ele não pode ser refletido pelo objeto que está sendo visto.

Em 2004, Azer et al.<sup>4</sup> afirmaram que as fontes de luz, na prática odontológica, devem ser confortáveis e difusas para os olhos, o que permitirá uma percepção de cores apuradas. Esta cor deve ser igual à cor usada no laboratório de prótese.

Em 2005, Melo, Kano<sup>45</sup> afirmaram que a correta percepção e visualização de cores só é possível na presença de uma iluminação controlada e equilibrada. Um mesmo objeto observado em diferentes condições de iluminação parecerá diferente em cada fonte de luz.

#### 2.2.2.3 Metamerismo:

Como afirmaram Kroeff et al.<sup>41</sup>(2003) na odontologia, a seleção da cor do dente sofre grande influência da luz do ambiente. Por meio de um fenômeno conhecido por metamerismo, dentes de cores

diferentes podem parecer iguais, quando iluminados por uma determinada fonte de luz, ou ter cores diferentes sob outras fontes de luz.

O metamerismo é uma consequência do fato de que toda informação disponível para a percepção da cor vem de três tipos de fotorreceptores com sensibilidade espectral larga. O que implica que, a cor correspondente a qualquer estímulo que resulte na mesma combinação de respostas desses fotorreceptores será idêntica. Isso faz com que um estímulo cujo espectro corresponda a uma combinação de três cores básicas possa ser equivalente, em termos de cor, com um estímulo com espectro muito diferente que resulte no mesmo tipo de resposta à nível dos fotorreceptores. O metamerismo faz com que não seja necessário reproduzir o espectro de um estímulo, bastando produzir um estímulo que seja um equivalente visual do original. Se a luz que chega ao olho produz a mesma resposta dos três receptores então aparecerá com a mesma cor mesmo que os objetos tenham refletâncias diferentes. E objetos com refletâncias bastantes diferentes podem ter uma cor idêntica com um determinado tipo de iluminação; são perceptivamente equivalentes sob um determinado tipo de iluminação. São pares metaméricos<sup>23</sup>.

#### 2.2.2.4 Reflexão

Como afirmaram em 2005, Melo, Kano<sup>45</sup>, a observação das cores só é possível através da presença de luz, pois é através da sua reflexão nos objetos seguida da percepção por células específicas na retina humana, cones e bastonetes, que os sinais são emitidos ao cérebro e interpretados sensitivamente.

Ferreira<sup>23</sup> (2002) afirmou que um corpo iluminado pela luz branca apresenta-se branco porque refletem difusamente as luzes de todas as cores. Um corpo de cor preta absorve praticamente todas as cores, evidentemente, não refletindo cor alguma. Deve ficar claro que só podemos ver um objeto, se o mesmo refletir ou emitir alguma luz que possa chegar aos nossos olhos. A cor de um corpo é determinada por um tipo de luz que ele reflete difusamente, como mostra a Figura 5.

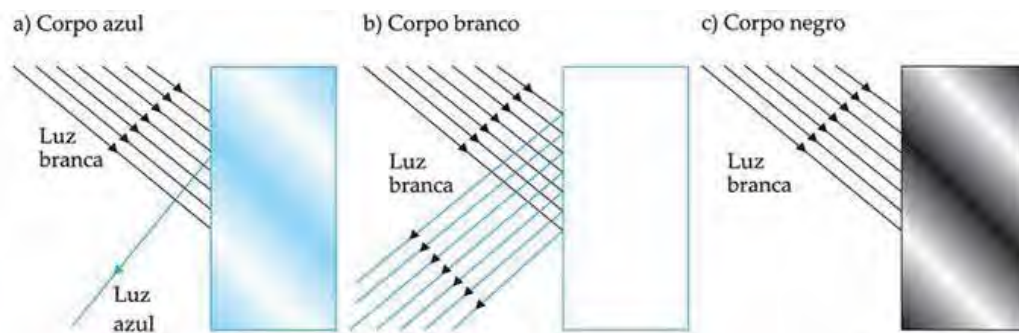


FIGURA 5 – Reflexão da luz.

### 2.3 Cor e Dente

A variação básica da gama de cores dos dentes envolve do amarelo ao amarelo-avermelhado, segundo Sproul<sup>69</sup> e Vieira<sup>75</sup> e, como ocorre em todos os objetos, a cor dos dentes é determinada pela luz refletida difusamente por ele.

A coroa dental, porção visível do dente, é composta por dois tecidos mineralizados, esmalte e dentina, que não apresentam espessura uniforme em toda sua extensão e são, respectivamente, estruturas translúcidas e opacas, afirmam Figun, Garino<sup>24</sup> (1997). Estas características influenciam a cor dental, pois em diferentes partes de um mesmo dente o volume de luz refletido, absorvido e/ou transmitido pelos tecidos é diferente segundo os autores Hasegawa et al<sup>30</sup>(2000) e Ten Bosch, Coops<sup>71</sup>(1995). Ou seja, quando a luz incide sobre o dente, parte dela é refletida pela superfície do esmalte e parte o atravessa e incide sobre a dentina. Nela, a luz ou é absorvida ou é refletida novamente para o esmalte, atravessando-o e sensibilizando o observador (Phillips<sup>56</sup>, 1993; Van Der Burgt et al.<sup>74</sup>, 1985).

Algumas condições podem alterar a percepção da cor, como: a desidratação, em consequência da substituição da água pelo ar ao redor dos prismas (Russel, et al.<sup>59</sup>, 2000), a textura e a curvatura superficiais diferentes entre incisivos, caninos, pré-molares e molares

refletem a luz de forma diferente e diferenças nas propriedades ópticas de esmaltes e dentina nas faixas espectrais do ultravioleta (UV), visível (VIS) e infravermelho (IV).

Em 1995, Ten Bosch, Coops<sup>71</sup> avaliaram 102 dentes extraídos (73 incisivos centrais, 27 incisivos laterais e 2 caninos) e determinaram os valores de L\*, a\* e b\* sob 2 iluminantes (D<sub>65</sub> e A) (Tabela 1). Observaram diferença de cor entre os dentes de 0,93 unidades de  $\Delta E^*$  sob os 2 iluminantes e concluíram que os iluminantes não influenciaram na cor dos dentes. Afirmaram que a cor do dente é determinada principalmente pela dentina e que no esmalte ocorre o espalhamento dos comprimentos de onda azul do espectro visível.

Tabela 1 - Valores L\*, a\* e b\* de dentes naturais segundo diversos pesquisadores.

Autor	n de dentes	L*	a*	b*
Ten Bosch e Coops (1995) <sup>71</sup>	102	69,9	1,2	17,9
Douglas (1998) <sup>18</sup>	7	54,8	0,5	5,9
Russell et al. (2000a) <sup>59</sup>	7	48,3	-1,4	2,7
Russell et al. (2000b) <sup>59</sup>	7	41,3	0,9	4,9
Hasegawa et al.(2000) <sup>30</sup>	87	73,0	3,5	16,5
Analoui et al.(2004) <sup>1</sup>	150	87,8	1,5	25,2

No estudo de Vieira<sup>75</sup>, em 1996, a cor de incisivos e caninos de 242 pacientes, agrupados de acordo com a faixa etária (12 a 18, 19 a 25, 26 a 35, 36 a 50 e 51 a 65 anos) foi selecionada por 2

observadores, sob iluminação natural com auxílio da escala de cor Vita Luminum Vaccum. Os dados permitiram concluir que a cor amarela era mais freqüente (36,36% dos dentes), que a dificuldade de seleção ocorreu nas cores cromáticas, quanto maior a idade, mais saturados são os dentes e que a transparência incisal prevalece nos dentes incisivos e que, apesar de existir um padrão de matiz para os dentes de um mesmo indivíduo, o canino possui maior saturação.

A proposta de Hasekawa et al.<sup>30</sup> (2000) foi mensurar a cor de incisivos centrais, laterais e caninos superiores de 87 pacientes de ambos os sexos, com idades entre 13 e 84 anos. Os valores de L\*, a\* e b\* de cada dente foram obtidos. Os autores compararam a cor dos dentes e verificaram se havia alguma relação entre cor dos dentes e idade e sexo dos participantes. Observaram que, quanto mais velho, os dentes apresentavam maiores valores de b\* e menores valores de L\* e maiores valores de a\*, não havendo diferença no padrão de cor dos dentes em relação a sexo.

Russel et al.<sup>59</sup> (2000) quantificaram alteração de cor após a desidratação dos dentes e determinaram em quanto tempo a cor seria restabelecida. Para tal, os autores simularam 2 situações clínicas: o uso de isolamento absoluto e a moldagem. Com o auxílio de um espectrofotômetro mensuraram a cor dos incisivos centrais de 7 pacientes, antes e após o uso do isolamento absoluto, e de 7 pacientes

antes e após a moldagem. Observaram que houve alteração significativa nos valores de L\*, a\* e b\* após o isolamento absoluto e nos valores de L\* após a moldagem.

Analoui et al.<sup>1</sup> (2004) mensuraram os valores de L\*, a\* e b\* (Tabela 2) de 3 escalas de cor (Vita Lumi V, Boform Color Order Shade Guide e Vitapan 3D-Master Shade System) e de 150 dentes extraídos (35 incisivos centrais, 56 incisivos laterais, 32 caninos, 27 primeiros pré-molares, livres de lesões cariosas e restaurações nas faces vestibulares e que não apresentavam áreas de hipocalcificação, desgaste de esmalte ou manchamento. Concluíram que os dentes extraídos possuem características espectrais diferentes de dentes não extraídos e as diferenças de cor entre ambos estaria relacionada à presença de conteúdo pulpar, hidratação, idade do elemento dental, razão da exodontia e dieta alimentar. Observaram também que as escalas de cor Vita Lumin, Trubyte e Vitapan 3D-Master abrangeram, respectivamente 37,45%, 30,96% e 56,05% dos 150 dentes.

Dozic et al.<sup>22</sup> (2005) encontraram resultado semelhante ao estudo de Vieira<sup>75</sup> (1996) e concluíram que existe relação entre a cor de incisivos e caninos de um mesmo indivíduo e que esta relação seria mais marcante no terço cervical que nos terços médio e incisal. Os autores puderam verificar esta relação avaliando 2 imagens digitalizadas de 100 pacientes (51 homens e 49 mulheres). De cada paciente, foram tiradas

duas fotos: uma foto focalizava os incisivos e a outra, o canino. As imagens foram transferidas para um computador e os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  dos terços cervical, médio e incisal foram obtidos. Observaram que entre incisivos centrais e caninos houve diferença significativa entre os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  em todos os terços. Entre incisivos laterais e caninos não houve diferença entre os valores  $L^*$  e  $a^*$  no terço cervical. Entre incisivos centrais e incisivos laterais não houve diferença entre os valores de  $b^*$  no terço cervical, de  $L^*$  e  $b^*$  no terço médio e de  $L^*$  no terço incisal.

Vieira et al.<sup>75</sup> (2006) incluíram na revisão dos detalhes anatômicos dos dentes permanentes alguns aspectos relacionados à cor dental. Explicaram que a cor dos dentes seria resultante da interação entre cor e translucidez de esmalte dental, espessura e textura superficial do esmalte dental e cor da dentina. Afirmaram, ainda, que os dentes de um mesmo indivíduo possuem um mesmo padrão de matiz e que, a partir do incisivo central para o canino, o matiz apresenta um aumento de saturação, mas ressaltam que nos pré-molares ocorre uma pequena diminuição da saturação. Acrescentaram que, em um mesmo dente, há aumento de luminosidade e saturação de cervical para incisal.



### 2.3.1 Seleção de cores dos dentes na odontologia:

De acordo com Okubo<sup>51</sup>, em 1998, a determinação de cores, na odontologia, pode ser dividida em duas categorias: visual e instrumental. A determinação de cores visual, realizada em uma comparação entre os dentes do paciente e um padrão de cores pré-determinado, é o método mais utilizado na odontologia. A determinação instrumental é realizada através de calorímetros e espectrofotômetros digitais.

Segundo Douglas, Przybylska<sup>19</sup> (1999), o uso de escalas de cores comerciais é o método predominante que permite associar a cor do dente com o padrão de porcelana.

Marcucci<sup>44</sup> (2001) considerou que é uma técnica simplificada, garantindo um melhor controle para o dentista realizar a escolha de cor e transmitir essas informações para o técnico.

Sproull<sup>69</sup> (2001) afirmou que os principais requisitos para qualquer escala de cor devem estar enquadrados no alinhamento lógico do espaço da cor e na distribuição adequada do espaço da cor.

Jahangiri et al.<sup>34</sup> (2002) consideraram, que para pacientes com tonalidades diferentes de pele e com fatores extrínsecos e

intrínsecos que afetam o substrato dental, o uso de uma escala de cor que esteja adequada com o sistema de cor elaborado por Munsell, determina com melhor precisão a cor do dente.

Wee et al.<sup>77</sup> (2002) afirmam que a escala de cor, desenvolvida pela Vita Zahnfabrik (Bad Sacking, Germany), é sistematicamente alinhada em um espaço de cor, o que faz com que a escolha de cor ocorra de maneira simples e mais apurada.

Park et al.<sup>54</sup> (2006) consideram que o uso do guia de cores da Vita Zahnfabrik (Bad Sacking, Germany), a escala Vitapan 3D-Master, permite ao usuário um melhor entendimento das características primárias da cor dos dentes que envolvem o croma, o valor e o matiz.

### 2.3.2 As escalas de cores (determinação visual):

Sproull<sup>69</sup> (2001) considerou como ideal uma escala que determina o limite certo do espaço da cor dos dentes naturais com pequenos intervalos entre matiz, valor e croma, que simplifique a escolha da cor pelo usuário.

Curd et al.<sup>16</sup> (2006) e Park et al.<sup>54</sup>(2006) consideram, respectivamente, que as escalas Vita Lumim Vaccum e Vitapan 3D-Master, da Vita Zahnfabrik (Bad Sacking, Germany), se enquadram

perfeitamente no sistema de cores de Munsell e,consequentemente, nas características primárias das cores dos dentes.

#### 2.4.Escala Vita Lumim Vaccum:

Em 2002, Paul et al.<sup>55</sup> testaram a hipótese de que a avaliação de cor dos dentes realizada com espectrofotômetro é comparável à visão humana. Para tal, três examinadores foram solicitados a selecionar a cor que mais correspondia ao terço médio do incisivo central de 30 voluntários, utilizando como referência a escala de cores Vita Classical. O mesmo dente foi analisado com espectrofotômetro de refletância. No grupo de avaliação comparativa visual só houve concordância dos três examinadores em 26,6% dos dentes avaliados. A concordância para o grupo de avaliação instrumental foi de 83,3%. Em função dos resultados obtidos, os autores puderam concluir que a avaliação com espectrofotômetro de refletância apresenta maior precisão e reprodutibilidade que a avaliação comparativa visual.

Ainda em 2002, Hammad<sup>29</sup> realizou estudo para determinar a reprodutibilidade e a confiabilidade de duas escalas de cor. Inicialmente, teceu considerações sobre as limitações das escalas de cor, principalmente, porque, invariavelmente elas não representam o espaço de cores dos dentes naturais, além da alta variabilidade e subjetividade da seleção visual comparativa. Do estudo realizado, participaram 10

protesistas e 10 clínicos gerais, com média de experiência clínica de 14 anos. Os examinadores foram solicitados a determinar a cor do canino superior direito de 20 voluntários segundo um protocolo padronizado, utilizando amostras de tonalidades das escalas Vita Lumin Vacuum e a Vitapan 3D Master. Concluíram que a reprodutibilidade dos protesistas foi significativamente maior do que a dos clínicos, quando utilizaram a escala Vita Lumin Vacuum. A reprodutibilidade dos clínicos foi significativamente aumentada com a utilização da escala Vitapan 3D Master.

Em 2004, Analoui et al.<sup>1</sup> avaliaram uma escala de cores otimizada, a partir do levantamento das cores de 150 dentes humanos extraídos e da avaliação das cores das escalas comerciais Vita Lumin Vacuum, Trubyte Bioform e Vitapan 3D Master, determinadas com auxílio de um espectrofotômetro, os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  foram computados e comparados. A distribuição da cor dos dentes foi determinada e plotada em gráfico de três coordenadas. Os valores de cor de cada uma das escalas de cor normalmente utilizadas também foram determinados e plotados no gráfico de distribuição inicial. Os resultados indicaram uma porcentagem de sobreposição dos valores da ordem de 37,45 % para a escala Vita Lumin Vacuum, 30,96% para a Trubyte Bioform e 56,05% para a Vitapan 3D Master. Concluíram que nenhuma das escalas comerciais testadas abrangeu adequadamente a gama de cores dos dentes

humanos. Destacaram que a visão humana pode perceber diferenças de  $\Delta E=1$  em condições controladas e 3,7 em condições clínicas. O método de determinação de tonalidades por aproximação hierárquica pode estabelecer as tonalidades que correspondem à diferença de  $\Delta E$  estabelecida e permitiu o desenvolvimento de escalas de referência para populações específicas.

Ainda em 2004, Cal et al.<sup>8</sup> realizaram investigação para estudar a aplicação da avaliação digital como método de verificação da confiabilidade das escalas de cor. Primeiramente, os autores determinaram a confiabilidade da avaliação digital através de imagens geradas pelo programa Adobe Photoshop 4.0. A seguir, uma escala de cores Chromascope – Ivoclar Vivadent, foi fotografada sobre fundo preto com auxílio de câmera digital Olympus Camedia C2500 (Melville USA), sob condições padronizadas de distância e iluminação. As imagens foram salvas no formato .tiff. Foram feitas 3 fotografias em condições ambientes e 3 em estúdio fotográfico. Estas imagens foram analisadas no *software* Adobe Photoshop 4.0. Uma área de seleção circular fixa de 74 pixels de diâmetro foi utilizada para determinar os valores de L (luminosidade), R, G e B do terço médio de cada uma das referências de cor da escala Chromascope. Os resultados obtidos permitiram aos autores concluir que a avaliação digital é um método confiável de verificação de cor, principalmente quando as imagens obtidas forem padronizadas. As

variações observadas sob luz ambiente e em condições de estúdio indicam que as tonalidades da escala sofrem efeito do metamerismo. Além disso, este estudo mostrou que as diferentes escalas de um mesmo fabricante não apresentam tonalidades idênticas, reforçando a idéia da necessidade de uma revisão dos tons e formas de apresentação das referências de cor.

Para Miyashita et al.<sup>46</sup> (2004), a escala envolve o matiz, representado pelas letras A(amarelo-amarronzado), B(amarelo), C (cinza) e D (rosa-acinzentado), o valor (1 a 4) e o croma, inversamente relacionado ao valor. Assim, enquanto o croma aumenta, o valor diminui.

Guan et al.<sup>28</sup>, em 2005, realizaram estudo comparativo para avaliar o clareamento dental por imagens digitais em comparação com um espectrofotômetro. As imagens digitais foram capturadas com auxílio de uma câmera Kodak Nikon DCS410, utilizando abertura f/11 e velocidade 1/10". Foi criado um dispositivo iluminador com lâmpadas Philips, 'TL'D 18W/965 e Philips, TL 20W/05. Os valores de RGB foram transformados para o espaço de cores CIELAB e os valores obtidos foram utilizados para a determinação dos parâmetros de avaliação:  $\Delta E$ ,  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  e  $\Delta b^*$ . A correlação dos resultados da análise digital realizada com o auxílio do *software* Adobe Photoshop e do espectrofotômetro Minolta CM- 2600d foi analisada em função de cores padrão branca e amarela, dentes humanos

e tonalidades da escala Vita Classical. Concluíram que a avaliação digital é capaz de determinar o clareamento dental com precisão e sensibilidade.

Com o objetivo de avaliar a capacidade de profissionais recém-formados quanto à avaliação de cor, Klemettiet al.<sup>39</sup>, em 2006, realizaram estudo comparativo utilizando as escalas Vita Lumin Vaccum, Vita 3D-Master e Procera. Participaram deste estudo dezenove profissionais recém-formados. O resultado da classificação visual foi comparado com o do Shade Eye EX – Shofu – Japan. A classificação visual mostrou baixa reprodutibilidade, que variou de 33 a 43% independente da escala utilizada. A correspondência com os resultados apontados pelo colorímetro foi de apenas 8 a 34% dos casos, verificando-se que existe uma grande variabilidade na percepção da cor interexaminadores. Concluíram que o ensino sobre cores deve ser sistematizado e o colorímetro pode ser usado como ferramenta educacional.

Karamouzos et al.<sup>38</sup>, em 2006, realizaram estudo com o objetivo de avaliar a precisão de um espectrofotômetro de refletância durante avaliação longitudinal in vivo. Participaram do estudo 22 estudantes de odontologia. Foram realizadas leituras de cor de 5 áreas circulares (cervical, mediana, incisal, distal e mesial) da face vestibular dos dentes 11, 12, 13, 14, 41 e 43 utilizando o SpectroShade®. Concluíram que o espectrofotômetro tem boa reprodutibilidade e precisão

para uso clínico. Salientaram, no entanto, que se deve ter cuidado na utilização deste equipamento na rotina clínica, principalmente, em dentes posteriores e inferiores, uma vez que a anatomia destes dentes pode determinar possíveis erros de mensuração.

Com o objetivo de estabelecer parâmetros para o desenvolvimento de uma escala de cores que correspondesse melhor à gama e à distribuição de cores dos dentes naturais, Paravina et al.<sup>53</sup>, em 1998, desenvolveram modelo computacional com a distribuição ideal de tonalidades. Foram feitas comparações com as escalas existentes, tomando-se como referência  $\Delta E_{ab} < 2$ , de acordo com valores do espaço de cores CIE2000, obtidos com auxílio do espectrofotômetro Vita Easyshade – Vident, USA. Observaram que a tonalidade A da escala Vita Classical é a que mais corresponde às tonalidades do dente humano (43,9%), seguida do grupamento C (24,1%), B (20,4%) e D (11,7%). Salientaram que, apesar de apresentar limitações conhecidas e deficiências, a escala Vitapan Classical (Vita Zahnfabrik, Germany), continua a ser utilizada como referência de cor porque vários produtos, inclusive dispositivos para avaliação instrumental de cor como o EasyShade continuam a utilizar sua classificação como forma de facilitar a compreensão e comunicação com os profissionais. Concluíram que o modelo computacional deve ser utilizado como referência para a complementação das tonalidades de cores disponíveis nas escalas, a fim



de se obter melhor correspondência e confiabilidade na avaliação visual, uma vez que as escalas disponíveis mostraram-se limitadas para representar adequadamente a dentição natural.

Para Curd et al.<sup>16</sup> (2006), a escala de cores Vita Lumim Vaccum, seguindo a terminologia do sistema de Munsell, é organizada por valor, croma e matiz.

A Comissão Internacional de L'Eclairage (CIE) – organização internacional cujo trabalho baseia-se no uso de luz e cor – desenvolveu dois métodos para expressar numericamente as cores. O primeiro, descrito em 1931, baseia-se nos valores de três coordenadas XYZ. O segundo método de mensuração cromática é o  $L^*a^*b^*$ , descrito em 1976, que consiste também em três eixos espaciais perpendiculares entre si, cujos pontos fornecem diferenças numéricas mais uniformes em relações as diferenças visuais. Entre os dispositivos de mensuração de cor, Gherseletal.<sup>25</sup>(2007) citaram o constituído por uma unidade de base, um instrumento de mão e um cabo de fibra óptica conectado entre eles.

Os dados dos dentes podem ser obtidos ou de uma vez só (o dente como um todo), ou a cor pelos terços cervical, médio e incisal. As informações dos dentes também podem estar disponíveis como  $L^*a^*b^*$ , valor, croma e matiz; segundo Yuan et al.<sup>79</sup> (2007).

Considerando as falhas e limitações do uso das escalas de cor para a avaliação da efetividade dos tratamentos clareadores, Paravina et al.<sup>53</sup>, em 1998, realizam estudo a fim de determinar a seqüência de ordenação das tonalidades de 3 escalas de cor comerciais (Vita Bleachedguide 3DMaster, Vitapan Classical e Trubyte Bioform) da mais clara para a mais escura. Participaram deste estudo 15 voluntários, que observaram e ordenaram as tonalidades sob condições padronizadas. Os resultados foram comparados com a indicação dos fabricantes. A reprodutibilidade interobservadores foi determinada pelo teste de Mann-Whitney. A ordenação da nova escala para clareamento foi semelhante à indicada pelo fabricante. A correspondência para a escala Vitapan Classic foi de 7 das 16 cores e para a Trubyte de 9 das 24 tonalidades. A reprodutibilidade inter observadores foi alta para a Vita Bleachedguide 3DMaster e baixa para as outras duas escalas. Concluíram que a nova escala é mais adequada para se avaliar o clareamento dental.

Em 2009, Oliveira Jr. et al.<sup>52</sup> realizaram estudo para avaliar a seqüência de ordenação da escala Vita Classical de mais claro para mais escuro. Para tal, compararam a seqüência indicada pelo fabricante com a ordenação realizada por 10 voluntários e a determinada pela avaliação digital com o algoritmo OER do ScanWhite. Observou-se que a ordenação digital realizada a partir do algoritmo OER distribuiu mais adequadamente as tonalidades da escala utilizada.

## 2.5 Sistema de cor CIE L\*a\*b\*

A CIE, entidade que padronizou os iluminantes, desenvolveu um método de expressar a cor numericamente e em 1976 estabeleceu um sistema tridimensional de cor, o CIE L\*a\*b\*. Este sistema baseia-se nos valores de triestímulo X, Y, Z. Tais valores são convertidos em valores de L\*a\*b\* (equações 1, 2, 3), sendo o espaço de cor definido pelas coordenadas L\*a\*b\* (Figura 6)

$$L^* = 116 \cdot \left( \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} \right) - 16 \text{ (equação 1)}$$

$$a^* = 500 \cdot \left[ \left( \sqrt[3]{\frac{X}{X_n}} \right) - \left( \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} \right) \right] \text{ (equação 2)}$$

$$b^* = 200 \cdot \left[ \left( \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} \right) - \left( \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_n}} \right) \right] \text{ (equação 3)}$$

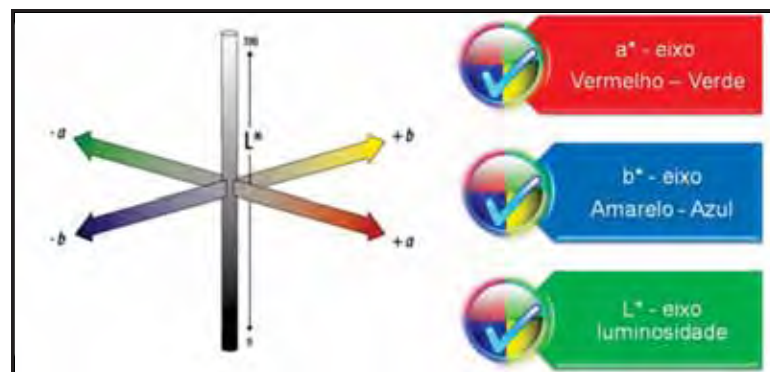


FIGURA 6 – Sistema de CIE L\*a\*b\*

A coordenada L\* (luminosidade) refere-se ao nível entre escuro e claro, indo do preto (L\*=0) a branco (L\*=100); a coordenada a\*

varia de -90 a +70 e refere-se à escala de verde a vermelho, com valores negativos para as cores esverdeada e positivo para as cores avermelhadas; e a coordenada  $b^*$  varia de -80 a +100 refere-se à escala de azul a amarelo, com valores negativos para as cores azuladas e positivo para as cores amareladas, segundo ABNT<sup>3</sup>, 2004; Dozic et al.<sup>22</sup>, 2003.

Comparando-se dois objetos obtém-se valores de  $\Delta E^*$  ( equação 4 ) que quantificam a diferença total de cor, porém não a qualificam, segundo ABNT<sup>3</sup>, 2004; Chu<sup>12</sup>, 2002; Ragain<sup>58</sup>, 2001; Johnston<sup>35</sup>, 2001. Ou seja, não é possível apenas através do valor de  $\Delta E^*$ , afirmar em qual eixo-luminosidade, vermelho/verde, amarelo/azul – e em que direção a variação de cor ocorreu.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_f^* - L_i^*)^2 + (a_f^* - a_i^*)^2 + (b_f^* - b_i^*)^2} \text{ (equação 4)}$$

Onde,  $L_i^*, a_i^*$  e  $b_i^*$  representam a cor inicial ou a cor de controle e  $L_f^*, a_f^*$  e  $b_f^*$  representam a cor final.

Para conhecer a influência de cada coordenada na diferença de cor é preciso avaliar cada coordenada separadamente ( a equação 5,6,7,8,9 e 10), de acordo com ABNT<sup>3</sup>, 2004.

$L_f^* - L_i^* > \text{zero}$ : mais claro (equação 5)

$L_f^* - L_i^* < \text{zero}$ : mais escuro (equação 6)

$a_f^* - a_i^* > \text{zero}$ : mais avermelhado (equação 7)

$a_f^* - a_i^* < \text{zero}$ : mais esverdeado (equação 8)

$b_f^* - b_i^* > \text{zero}$ : mais amarelado (equação 9)

$b_f^* - b_i^* < \text{zero}$ : mais azulado (equação 10)

Na literatura odontológica, o sistema CIE  $L^*a^*b^*$  tem sido amplamente utilizado nos estudos que envolvem cor, segundo os autores Analoui et al.<sup>1</sup> (2004), Davis et al.<sup>17</sup> (2003), Douglas<sup>18</sup> (1998), Dozic et al.<sup>22</sup> (2003), Ferreira<sup>23</sup>(2002), Hasegawa et al.<sup>30</sup> (2000), Johnston, Kao<sup>35</sup>(1989), Paul et al.<sup>55</sup>(2002), Russel et al.<sup>59</sup> (2000), Ruyter et al.<sup>60</sup> (1987), Sim et al.<sup>66</sup> (2001), Ten Bosch, Coops<sup>71</sup> (1995), Yap et al.<sup>78</sup> (1999), Tung et al.<sup>72</sup> (2002) e Van Der Burgt et al.<sup>74</sup> (1985).

## 2.6 Relevância Clínica

Um dos objetivos de qualquer tratamento restaurador estético é a reprodução da cor dos dentes. Clinicamente a reprodução da cor envolve duas fases: seleção e duplicação da cor. Segundo, Preston<sup>57</sup> (1985) e Tung et al.<sup>72</sup> (2002), a avaliação e a reprodução da cor dos dentes seriam um dos aspectos mais desafiadores da Odontologia

estética. Apesar das dificuldades que a seleção de cor envolve, Goodkind, Loupe<sup>27</sup>, em 1992, constataram que 6,6 foi a média de horas dedicada ao estudo da cor que maior ênfase ao tópico foi dada pelos cursos de prótese fixa.

Segundo Preston<sup>57</sup>, em 1985, “a busca para reproduzir morfológica, óptica e biologicamente a dentição natural através de artefatos artificiais foi, muitas vezes, frustrante para o cirurgião dentista, enigmático para o técnico de laboratório e decepcionante para o paciente”. Bergen<sup>6</sup> (1985) ressaltou que a cor não seria importante para o sucesso fisiológico da restauração, mas seria o fator preponderante para a aceitação do paciente; ainda, estes autores afirmavam que diversos fatores contribuiriam para o sucesso estético das restaurações, porém, alguns seriam tangíveis enquanto outros existiriam somente na mente dos pacientes, pois as necessidades estéticas poderiam ser reais ou imaginárias, realistas ou exageradas.

Narvai<sup>47</sup> (1996) cita a definição de saúde dada pela WHO (World Health Organization) como sendo o “estado de completo bem estar físico, mental e social e não apenas a ausência de saúde”. Porém, a saúde bucal seria um fator determinante na qualidade de vida, pois o complexo crânio facial nos permite falar sorrir, beijar, tocar, cheirar, saborear, mastigar, engolir e que as diversas doenças que acometem este complexo podem restringir as atividades escolares, laboriosas e

domésticas diminuindo significativamente a qualidade de vida do indivíduo.

Davis et al.<sup>17</sup> (1998) argumentaram que a motivação por tratamentos que modifiquem a aparência dental envolveria razões sociais e psicológicas, sendo que a motivação primária seria a necessidade de uma aparência dento-facial aceitável dentro de um contexto sociocultural.

Lieber et al.<sup>43</sup> (2004) consideraram a saúde estética importante para o bem estar do indivíduo e que a precária aparência dental pode ser um fator negativo para a sua auto-estima. Para os autores, “a aparência dos dentes se tornou tão importante quanto a dentição confortável, saudável e funcional”<sup>43</sup>. Porém, ressaltaram que “a estética está nos olhos de quem os possui”, pois o que seria estético ao clínico pode não ser considerado estético pelo paciente.



*Proposição*



### 3 Proposição

O objetivo geral foi avaliar a utilidade, na prática clínica, da máquina fotográfica digital para seleção de cor segundo a escala Vita Lumin Vacum.

Foram objetivos específicos:

Artigo 1- CIEL\*a\*b\* system: computer analysis of photographic images.

Artigo submetido para publicação no periódico Journal of Esthetic and Restorative Dentistry.

Artigo2- CIEL\*a\*b\* system: comparison of digital images obtained photographically by manual and automatic mode.

Artigo submetido para publicação no periódico Brazilian Oral Research



***Artigos***

CIEL \*a\*b\* system: computer analysis of photographic images

CIEL \*a\*b\* system and digital photographic

Fabiana Takatsui, DDS, MS student<sup>§</sup>

Marcelo Ferrarezi de Andrade, DDS, MS, PhD, Associate Professor<sup>§</sup>

Maximiliano Piero Neisser, DDS, MS, PhD<sup>ε</sup>

Leonor de Castro Monteiro Loffredo, MS, PhD, Associate Professor <sup>§</sup>

<sup>§</sup> Department of Restorative Dentistry, Araraquara Dental School, São Paulo State University - UNESP- Araraquara- SP - Brazil

<sup>ε</sup> Department of Clinical Research in Periodontology at the University of Taubaté - Taubaté - SP - Brazil

Corresponding author: Ms. Fabiana Takatsui, Department of Restorative Dentistry, Araraquara Dental School, São Paulo State University - UNESP.  
Rua Humaitá 1680 – 14801-903 Araraquara - São Paulo – Phone 55(16) 3301-6393 – Fax 55 (16) 3301-6395 – e-mail: [fabianatakatsui@hotmail.com](mailto:fabianatakatsui@hotmail.com)

## ABSTRACT

*Problem:* Shade matching is a hard task as the colour perception can produce variation among clinicians.

*Purpose:* To study the CIEL\*a\*b\* system by two examiners using computer analysis of digital images.

*Materials and Methods:* Vita Lumin shade guide was used and four shades were selected A3.5, B1, B3, and C4. A Canon A590 digital camera was used to record the digital images and they were processed using Adobe Photoshop software. A total of 20 samples, were processed and colour values were obtained for each one using Adobe Photoshop, measuring them according to CIELAB color scale. An intraclass correlation coefficient ( $\rho$ ) was evaluated and the colour difference ( $\Delta E$ ) was calculated between data obtained by the two observers.

*Results:* No significant differences were observed in data between the two observers according to the intraclass correlation coefficient (L\*:  $\rho=0.99$ ; a\*:  $\rho=0.90$ ; b\*:  $\rho=0.99$ ). Also, the colour difference was clinically acceptable, considering the measurements by the observers in relation to each one of the shade guides A3.5 ( $\Delta E=0.56$ ), B1 ( $\Delta E=0.45$ ), B3 ( $\Delta E=0.45$ ), and C4 ( $\Delta E=1.23$ ).

*Conclusion:* It can be concluded that the computer analysis of photographic images can be used to analyze the colour guides using the CIE LAB scale as it was reliable and the colour difference between the two observers was clinically acceptable.

## CLINICAL SIGNIFICANCE

Digital imaging and software programs to analyze photographic images are very useful, as digital data from a tooth/guide can be recorded and used to produce an image that can be transmitted via the Internet. Indeed, it has to be considered that digital camera is useful in dental practice, as it is cheaper than the use of spectrophotometers and colorimeters.

## INTRODUCTION

Shade matching is a hard task as the colour perception can produce variation among clinicians<sup>1</sup> and between the communication of the clinician and the technician, which does not see the patient and has to work with the respective prescription. Instrumental colour analyses offer an advantage over visual examinations due to the possibility of quantifying the readings, leading to an objective process.<sup>2</sup>

The CIELAB system was developed to offer uniform colour, where the  $L^*$  value measures lightness,  $a^*$  and  $b^*$  values use the metric chroma, represented by the radial distance of the color coordinates ( $a^*$  and  $b$ ) for the  $L^*$  axis. Figure 1 shows a representation of the CIELAB system.<sup>3</sup>

On the other hand, if there are two situations, the difference colour between them can be calculated, and, according to its magnitude, it can be classified as clinically acceptable or not.<sup>4</sup>

Recently, photography is used and when associated to computing process, can lead to a cheaper process than the use of other methods as colorimeters or spectrophotometers.<sup>5</sup>

However, some problems have to be considered such as how precisely the measurements are and which kind of data can be used in color matching. In terms of precision it is desirable to know when a measurement is repeatable so that “the results are identical or closely similar each time they are measured”.<sup>6</sup> Two sets of measurements agree when the difference between the observations (or observers) on the same subject is small enough to use them interchangeably. Wenzel and Verdonschot<sup>7</sup> emphasize that environmental factors, devices and background information should have to be constant for each set of consecutive measurements, eliminating external sources of variation. In other words, it is important to know the degree of stability when a measurement is repeated under identical conditions, either called reproducibility, repeatability or reliability.

Regarding the type of data, when a response variable is classified as quantitative, the variability of the subject and measurement method has to be considered, which may lead to measurement errors. Measurement error can be minimized to reach reliability. This report studied the interobserver agreement in the analysis of colour in the CIE L\*a\*b\*, by using a software that analyzed photographic images. Also, the colour difference for the measurements obtained by the two observers was determined to verify its clinical acceptance.

## MATERIALS AND METHODS

Using Vita Lumin Vacuum scale (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany), with 16 shade guides, there were selected four of them: B1, B3, C4, and A3.5.

A digital camera (Figure 2) was used to photograph the guides. The camera was fixed on a static table, perpendicular to the shade guide, so the snapshots were stable and taken from the same distance (object and camera distance of 32.5 cm). The camera was in the automatic mode, with lens opening (1/5.5), exposed time (1/60''), and sensitivity (ASA/ISO 100). Flash was turned on with red eye reduction function.

The same operator did five photos for each guide consecutively. It was used the zooming function, decreasing the focus distance for 2.3 cm with a better performance of the image quality. The guide was on a gray surface, according to the recommendation of Jun<sup>8</sup>.

Thereafter, the images were save as JPEG images, and they were analysed using the software Adobe Photoshop 7.0. During the analysis procedure, it was determined the middle third part of the guide as the point (0.25; 0.23), using one metric scale, and the same coordinate points were used for all readings. The L\*, a\*, and b\* axis were obtained using the Labcolor mode by two observers, independently, previously calibrated in a pilot test.

The same proceedings were done for all photographs, resulting in a total of 20 observations (five photos for each one of the four guides).

To verify the agreement between the two observers (interobserver agreement), they made the readings independently. As the results were done in a quantitative scale, the intraclass correlation coefficient ( $\rho$ ) was estimated to compare each pair of data obtained in the same subject, and such coefficient was classified as follows:  $\rho$  value below 0.30 the reproducibility is “very poor or null”; between 0.31 and 0.50 the reproducibility is “fair”; between 0.51 and 0.70 the reproducibility is “moderate”; between 0.71 and 0.90 is “good”; and above 0.91 “excellent”.<sup>9</sup>

For each one of the shade guides, it was determined the difference in colour ( $\Delta E$ ) according to the observer’s measurements, and it was classified as clinically acceptable (CA) if  $\Delta E \leq 3.6$  or as clinically unacceptable (CI) if  $\Delta E > 3.6$ .<sup>4</sup>

## RESULTS

The independent repeated measurements are presented in Table 1.

The intra-class correlation coefficient was calculated for each one of the coordinates, as for  $L^*$  ( $\rho=0.99$ ),  $a^*$  ( $\rho=0.90$ ), and  $b^*$  ( $\rho=0.99$ ), showing good repeatability for  $a^*$ , and excellent repeatability for  $L^*$  and  $b^*$ .

Figure 3 shows the relationship between the measurements of  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  obtained by the two observers, independently.

In Figure 1, it can be visualized the high level of interobserver agreement. In fact, it was obtained  $\rho = 0.99$ ,  $\rho = 0.90$ , and  $\rho = 0.99$ , respectively to  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$ . Thus, the difference between observations on the same subject



was small enough and it could be used the readings obtained by the first or by the second observer interchangeably.

The difference color ( $\Delta E$ ) for the guides is shown in Table 2.

It can be seen that the difference colour is small enough to be characterized as clinically acceptable, and so was expected taking in mind the intraclass correlation coefficient.

## DISCUSSION

In restorative dentistry, digital imaging is very useful, as digital data from a tooth/guide can be recorded and used to produce an image that can be transmitted via the Internet. Indeed, digital methods have been used and a previous study showed the advantage of the software programs to analyze photographic images.<sup>2</sup>

According to an *in vivo* study, the examination of the tooth has to be done in a defined area considering the optical characteristics of enamel and dentin.<sup>11</sup> In this *in vitro* study, the non-uniform colour of the guide can lead to colour changes so that it was decided to read the same area of all guides, selecting the middle third area.

Using the CIELAB scale, according to the selected shades (A3.5, B1, B3, and C4), the intraclass correlation coefficient compared each pair of axis values produced in the same replicate examined by two observers, when digital camera was associated to computer software to measure colours. It was obtained an excellent repeatability for L\* and b\*, and good repeatability for b\*, showing

that this method of analyzing the CIELAB scale using digital camera to record digital images and process them at Adobe Photoshop is a reliable method. This high level of interobserver agreement in relation to the measurements can be explained by the nature of the diagnostic task: the software Adobe Photoshop measured each one of the replicates in the Labcolour mode, taking the same coordinate point (0.25; 0.23), representing the middle third point of the guide, and it was easier to be visualized on the screen by anyone of the observers. It is also possible that the measurement process may have been affected by the observer's calibration, as a pilot test was done before obtaining the results.

Although in colour matching researches, it is recommended to select carefully the method of measurement, the repeatability of the method used is also an important issue to be considered, thus guaranteeing reliability of such studies.

On the other hand, digital camera is useful in dental practice, as it is cheaper than the use of spectrophotometers<sup>5</sup> and colorimeters, avoiding their use.

Indeed, the colour difference was too small and clinically acceptable for anyone of the guides A3.5, B1, B3, and C4.

## CONCLUSION

It can be concluded that the computer analysis of photographic images can be used to analyze the colour guides (A3.5, B1, B3, and C4) using the

CIE LAB scale as it was reliable and the colour difference between the two observers was clinically acceptable.

#### DISCLOSURE AND ACKNOWLEDGMENTS

The authors do not have any financial interest in the companies whose materials are included in this study.

#### REFERENCES

- 1 Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrumental shade matching. *J Prosthet Dent* 1998; 80: 642.
- 2 Cal E, Sonugelen M, Guneri P, Kesercioglu A, K T. Application of a digital technique in evaluating the reliability of shade guides. *J Oral Rehab* 2004; 31:483-91.
- 3 CIE publication No. 15.2. CIE Colorimetry. 2<sup>nd</sup> Ed. Paris: Central Bureau of the CIE, 1986.
- 4 Johnston WM and Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J. Dent. Res*; 1989; 68 (5): 819-22.
- 5 Jarad FD, Russell MD, Moss BW. The user of digital imaging for colour matching and communication in restorative dentistry. *British Dental J* 2005; 199:43-9.
- 6 Last JM. *Dictionary of epidemiology*. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Oxford University Press; 1988.
- 7 Wenzel A, Verdonschot EH. Some considerations in the evaluation of

- diagnostic tests in dentistry. *Dentomaxillofac Radiol* 1994; 23:179-82.
- 8 Jun S. Communication is Vital to Produce Natural Looking Metal Ceramic Crowns. *J of Dental Technology*; 1997; 15-2.
- 9 Fermanian J. Mesure de l'accord entre deux juges: cas quantitative. *Rev Epidemiol Sante Publique* 1984; 32: 408-13.
- 10 Ardu S, Feilzer AJ, Braut V, Benbachir N, Rizcalla N, Mayoral JR, Krejci I. Pilot in vivo image spectro-photometric evaluation of optical properties of pure enamel and enamel-dentin complex. *Dental Materials* 2010; 26:205-10.

## TABLES

Table 1- Measurements of the L\*, a\*, and b\* axis (CIELAB scale) by two observers (A and B).

Color	Photo	L*A	L*B	a*A	a*B	b*A	b*B
A3.5	1	65	67	2	2	23	21
	2	67	67	2	1	24	25
	3	61	62	2	2	22	21
	4	67	67	0	0	25	25
	5	68	67	2	1	22	24
B1	1	71	72	-1	-1	8	8
	2	72	71	-4	-3	8	8
	3	68	68	-1	-3	8	9
	4	75	75	-1	-1	7	7
	5	71	71	-3	-3	8	9
B3	1	59	59	-1	-1	16	16
	2	61	61	-1	-1	16	16
	3	57	57	1	2	17	16
	4	60	60	0	1	16	16
	5	57	57	-1	-1	16	18
C4	1	55	56	-1	-1	12	13
	2	56	57	2	1	12	14
	3	58	58	-1	0	12	13
	4	54	53	-1	-1	13	15
	5	53	53	1	1	15	15

Table 2 - Difference color ( $\Delta E$ ) according to shade guide and its classification

(CA: clinically acceptable; CI: clinically unacceptable).

COLOR	$\Delta E^*$	Classification
A3,5	0.56	CA
B1	0.45	CA
B3	0.45	CA
C4	1.23	CA

CAPTION FIGURES

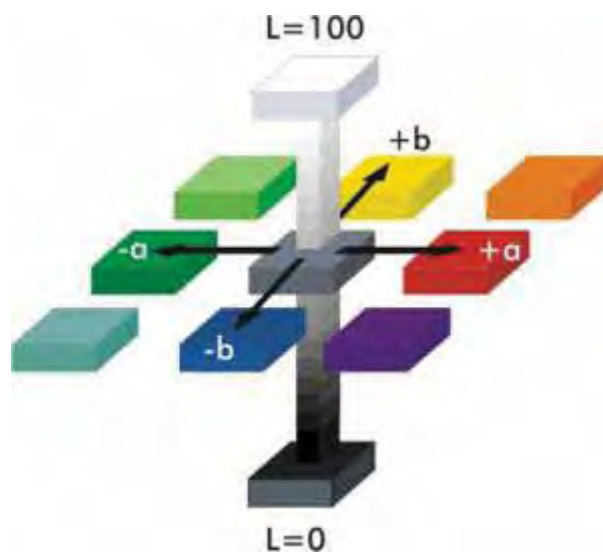
Figure 1-  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  measurements obtained by the two observers (A and B)

Figure 2 - Canon A590 Digital Camera unprofessional

Figure 3 – Scatter diagram showing the relationship between observers A and B to evaluate  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ .

CIE Lab system: computer analysis of photographic images

Figura 1

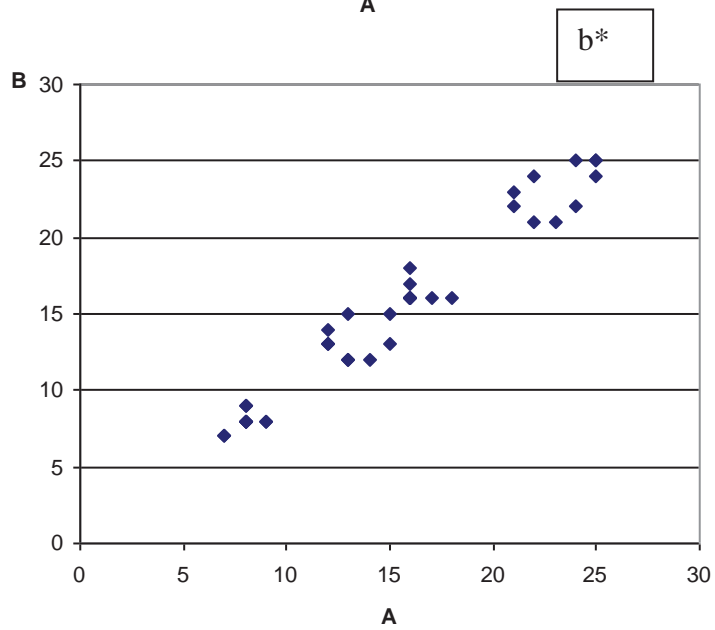
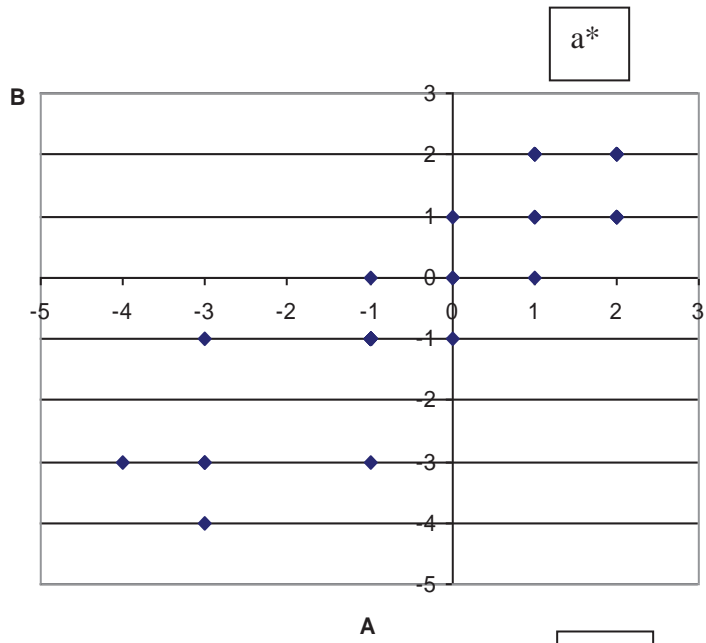
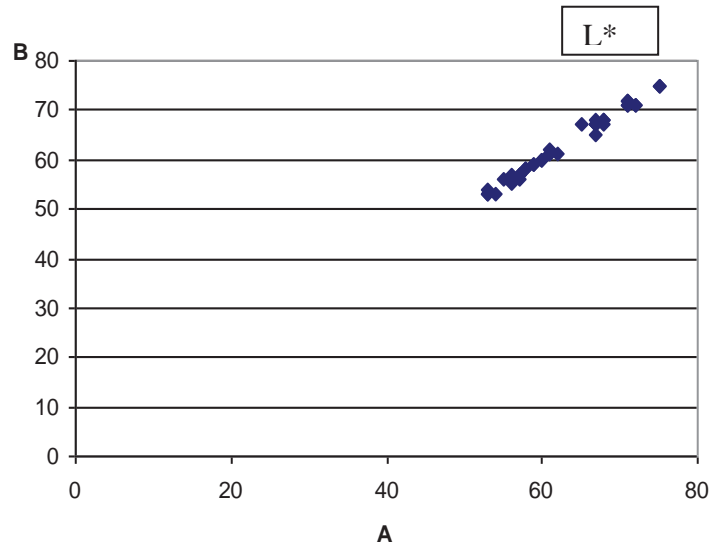




CIE Lab system: computer analysis of photographic images

Figura 2





## DENTISTRY

CIEL\*a\*b\*: comparison of digital images obtained photographically by manual and automatic modes

Fabiana Takatsui<sup>1</sup>

Marcelo Ferrarezi de Andrade<sup>2</sup>

Maximiliano Piero Neisser<sup>3</sup>

Luiz Antônio Borelli Barros<sup>1</sup>

Leonor de Castro Monteiro Loffredo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Social Dentistry, Araraquara Dental School – UNESP/ Universidade Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Araraquara- São Paulo – Brazil

<sup>2</sup> Department of Restorative Dentistry, Araraquara Dental School- UNESP/ Universidade Paulista “Júlio de Mesquita Filho”- Araraquara- São Paulo – Brazil

<sup>3</sup> Department of Clinical Research in Periodontology- UNITAU/ Universidade de Taubaté - Taubaté – São Paulo – Brazil

## ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the color alteration performed by using the CIE L\*a\*b\* system in digital imaging of shade guides, obtained photographically, according to the automatic and manual modes, and the observers' agreement in quantifying the coordinates. Four Vita Lumin Vaccum shade guides were used A3.5, B1, B3 and C4. An EOS Canon digital camera was used to record the digital images of the shade tabs and images were processed using Adobe Photoshop software. A total of 80 observations (five replicates of each shade according to two observers in two modes, automatic and manual) were obtained, leading to color values of L\*, a\* and b\*. It was calculated the color difference ( $\Delta E$ ) between the modes, and its classification as clinically acceptable or unacceptable. The results showed that there was agreement between the two observers in obtaining the L\*, a\* e b\* values related to all guides. On the other hand, the guides B1, B3, and C4 had  $\Delta E$  classified as clinically acceptable, corresponding, respectively to  $\Delta E=0.44$ ,  $\Delta E=2.04$  and  $\Delta E=2.69$ , and the guide A3.5 had  $\Delta E$  classified as clinically unacceptable ( $\Delta E =4.17$ ), as it presented higher values for luminosity in the automatic mode ( $L^*= 54.0$ ) than in the manual mode ( $L^*=50.6$ ). It was concluded that for the guides B1, B3 and C4 it can be used any of the modes in digital camera (manual or automatic), differently of the observed for the guide A3.5.

Keywords: color; dental photograph; image analysis and computer assisted; restorative dentistry

## INTRODUCTION

The aesthetic dentistry has been constantly concerned with the quality of the restoration that integrates properly to the tooth structure, and color is an important aspect to be observed. Color perception is a subjective process, where three factors interact to determine them: light

(light source), object (tooth) and observer (the dentist). According to Yap et al.<sup>1</sup> (1999), the lighting of the dental clinic and the dental laboratory could influence the color selection, where different lighting sources would present different wavelengths, so the fluorescent light to activate the blue portion of the spectrum and the incandescent light the yellow-red.

The determination of the color may be visual or instrumental, although the former is the most used by professionals. In research done by Rodrigues et al.<sup>2</sup> 60 dentists were interviewed, and although they all employ the method in visual color selection, with preference for the Vita as a standard, 75% reported having difficulty in this measurement. The subjective nature of visual assessment was reported by the authors Mayekar<sup>3</sup> (2001), Hammad<sup>4</sup> (2003) and Dagg et al.<sup>5</sup> (2004). Thus, it was recommended by Yap et al.<sup>1</sup> (1999) and Mutlu et al.<sup>6</sup> (2001) the use of digital instruments, including the photometric and colorimetric in the form of portable instruments of color, available in the market, which could eliminate the subjectivity of visual assessment.

In relation to the visual determination of color, different scales were developed by Vita Zahnfabrik (Bad Sackingen, Germany), allowing the understanding of the primary characteristics of the color of teeth by means of chroma, value and hue, taking, for example, the scales Vita Lumim Vacuum, 3D-Master and Vitapan.

The color measurement was proposed by the Commission International de L'Eclairage<sup>7</sup>, who developed methods for expressing color numerically and proposed in 1976, the CIE L\*a\*b\* system, consisting of three coordinates, where L\* refers to the luminosity the object to be evaluated, ranging from black to white, a\* is a measure of chroma in the red-green axis and b\* is a measure of chroma in the yellow-blue axis.

Regarding the methodology for selecting the color, Analui et al.<sup>8</sup> (2004) studied digital photos, spectrophotometers and colorimeters, highlighting the importance of reducing errors in that choice in dental practice. Among the instruments to be employed, Carmona<sup>9</sup> (2006)

suggested the use of digital camera and Yuan et al.<sup>10</sup> (2007) recommended the use of digital Easyshade spectrophotometer.

On the environment appropriate for this selection, Jun<sup>11</sup> (1997) suggests the gray-neutral because it results in all primary and secondary colors. As for lighting, Goldstein<sup>12</sup> (2001) suggest the use of fluorescent lamps with special temperature and between 4500°K and 5500°K, representing the light of the day.

When employing the photographic system for color analysis, a matter to be considered is taken on the camera in manual and automatic modes, which may influence the coordinates that make up the color.

Although the process of color selection is subjective, you need a pattern to follow, using a method that can be easily used and to avoid errors in communication between professionals involved in rehabilitation, and prosthetic dentistry. It is possible to use a camera, transferring photos to an image processing software, which evaluates each of the three coordinates numerically, allowing the calculation of difference total color ( $\Delta E$ ) from the values obtained. Johnston, Kao<sup>13</sup> proposed a threshold of visual perception in accordance with the CIE L \* a \* b \*, where the  $\Delta E$  value would be visually imperceptible when it reached a total color Difference of 3.7, so clinically acceptable.

Considering the most used color selection scale by dental professionals (Vita Lumin Vacuum), the facility in using a camera and the availability of a software for processing the captured image, we sought to compare the automatic and manual modes, checking the difference of color promoted by them under the CIE L\*a\*b\* system. Thus, the main objective of this study was to investigate two modes of taking the photographs (automatic and manual), applying the CIE L\*a\*b\* system.

## MATERIAL AND METHODS

It was chosen the color scale Vita Lumin Vacuum (Zahnfabrik Vita, Bad Sackingen, Germany) with 16 shades, and selected four tabs (A3.5, B1, B3 and C4), where dark colors were represented by C4 and A3.5 and clear colors were represented by B1 and B3.

For taking the photographs it was used a Canon EOS Rebel XSi SRL (Canon, Nagasaki, Japan), fixed on a static table. The adjustment of the camera was standardized, in manual mode, aperture diaphragm (1/16), exposure time (1/80") and sensitivity (ASA/ISO 100). Then the photographs were taken in auto mode, considering the opening of the diaphragm (1/4), exposure time (1/60") and sensitivity (ASA/ISO 100), having been used as a source of light, a flash dedicated circular (Flash Canon MR-14EX TTL Macro Ring Lite, Canon, Nagasaki, Japan).

The same operator did five photos for each guide, at an approximate distance of 32.5 cm from the lens and object, and the guide was placed on a gray surface, as recommended by Jun<sup>9</sup> (1997). Figure 1 shows the table, the camera and the guide on the surface.

Subsequently, the images were saved as JPEG images, using the software Adobe Photoshop 7.0 (Adobe Photoshop 7.0: 2003 by Adobe Operacional System, California, USA), and they were analyzed by two examiners, according to the coordinates  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$ . Thus, it was determined a point on the tooth guide, identified by the coordinates (0.72, 0.78) according to the rule in the metric system available in the program and chosen to represent the middle third of the tooth. In this program, when selecting the Labcolor module, automatically it was obtained each one of the coordinate values  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  by two examiners.

Adopting the same procedure mentioned above for each of the five images for different tabs (4), examiners (2) and methods (2), 80 values were obtained in order to analyze the similarity of results produced by the manual and automatic mode.

Thus, adopting the CIE L\* a\* b\* system, the measurements obtained by manual (man) and automatic (aut) have been directly compared. For this purpose, it was carried out the calculations:

$$\Delta L^* = |L^*_{\text{man}} - L^*_{\text{aut}}|$$

$$\Delta a^* = |a^*_{\text{man}} - a^*_{\text{aut}}|$$

$$\Delta b^* = |b^*_{\text{man}} - b^*_{\text{aut}}|$$

The total color difference ( $\Delta E$ )<sup>1</sup> was done as follows:

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

For each tab, it was obtained the  $\Delta E$  value and it was classified as clinically acceptable or as clinically unacceptable, according to the standard classification of Johnston, Kao<sup>13</sup>, that if  $\Delta E$  reaches 3.7 is considered as clinically acceptable. In the case of the guide is classified as clinically unacceptable, the average for each of the coordinates of the CIE L\*a\*b\* system was calculated by point (m) and by 95% confidence interval (95%CI).

## RESULTS

Table 1 shows the results for the values of the coordinates of CIE L\* a\* b\* according to guide, in measurements of two examiners of digitized images obtained by a photographic process in automatic mode.



Table 1. Mean values of L\*, a\* and b\* according to guide and examiner (A and B) - automatic mode.

Automatic mode									
GUIDE	L*			a*			b*		
	A	B	$\Delta L^*$	A	B	$\Delta a^*$	A	B	$\Delta b^*$
A3.5	54.0	54.8	0.8	5.8	5.4	0.4	28.8	28.8	0.0
B1	61.4	61.4	0.0	-0.8	-1.6	0.8	13.8	14.8	1.0
B3	55.2	55.6	0.4	4.0	4.2	0.2	27.2	26.6	0.6
C4	44.4	44.0	0.4	5.8	6.2	0.4	25.6	25.8	0.2

It was obtained the  $\Delta E$  values of 0.89, 1.28, 0.75 and 0.60, respectively to A3.5, B1, B3 and C4, indicating that they present clinical acceptable difference, leading to believe that the examiners presented similar behavior in obtaining the coordinates values, independently, according to the automatic mode.

Table 2 shows the results for the values of the coordinates of CIE L\* a\* b\* according to guide, in measurements of two examiners of digitized images obtained by a photographic process in the manual mode.

Table 2. Mean values of L\*, a\* and b\* according to guide and examiner (A and B) – manual mode.

Manual Mode									
GUIDE	L*			a*			b*		
	A	B	$\Delta L^*$	A	B	$\Delta a^*$	A	B	$\Delta b^*$
A3.5	50.6	50.4	0.2	6.8	6.8	0.0	26.6	26.6	0.0
B1	61.4	61.4	0.0	-1.0	-0.6	0.4	13.4	13.2	0.2
B3	53.2	52.6	0.6	4.4	3.8	0.6	27.2	26.2	1.0
C4	43.2	43.6	0.4	6.8	6.6	0.2	23.4	24.8	1.4

It was obtained the  $\Delta E$  values of 0.20, 0.45, 1.31 and 1.47, respectively to A3.5, B1, B3 and C4, indicating that there is a clinically acceptable difference between the examiners, leading to believe that they had similar behavior to obtain, independently, the coordinates values, using the manual mode.

As for the total color difference ( $\Delta E$ ) between both automatic and manual modes, it was obtained:

Table 3. Total color difference ( $\Delta E$ ) according to guide and photograph mode (automatic and manual).

GUIDE	$\Delta E$
A3.5	4.17
B1	0.44
B3	2.04
C4	2.69

As shown in Table 3, only the guide A3.5 presented differences in color unacceptable by the standards of Johnston, Kao<sup>13</sup>, but the guides B1, B3 and C4 showed acceptable color difference, being indifferent the use of manual and automatic modes on digital photography. Analyzing the average values of coordinates to the guide A3.5, it was found:

Table 4. Mean (m), standard deviation (SD) and the 95% confidence interval (95%CI) for the coordinates of the CIE L\* a\* b\* system in the automatic (aut) and manual (man) mode – A3.5.

Coordinate	Mode	m	SD	95%CI
L*	aut	54.0	0.71	53.11– 54.89
	man	50.6	0.89	49.49 – 51.71
a*	aut	5.8	0.84	4.77– 6.82
	man	6.8	1.09	5.44– 8.16
b*	aut	28.8	1.30	27.19– 30.38
	man	26.6	1.14	27.38– 28.02

Table 4 shows that the average for L\* in relation to the automatic and manual modes were statistically different ( $p < 0.05$ ), while the average for a\* and b\* were similar. Thus, L\* showed the highest average in the automatic mode, which may have led to unacceptable color difference between the automatic and manual modes.

## DISCUSSION

This research compared the two modes of taking photographs (automatic and manual), checking the color difference promoted by them. For this, it was studied the Vita Lumin Vacuum scale, that had been introduced in 1956, and it is the most widely used even today by professional dental practice.

It was used the Canon EOS Rebel XSi SRL, that captured digital images automatically and manually by a single operator. According to Schroop<sup>14</sup> (2009), the color selection for digital photos is more reliable than the conventional visual method.

Pilot test was conducted with standard conditions to the adjustment of the camera, aperture diaphragm (1/16), exposure time (1/80") and sensitivity (ASA/ISO 100), resolution of the machine (12Mpixels) distance of the object (32.5 cm). As light source it was used a

dedicated circular flash (Flash Canon MR-14EX TTL Macro Ring Lite - USA), in automatic mode.

At this stage, two investigators made the measurements, as they were previously calibrated to measure the coordinates of the CIE L\* a\* b\* system.

The ambient lighting was standardized throughout the development of the study, being used fluorescent lamp that simulates daylight, as it was recommended by the authors Jun<sup>9</sup> (1997), Goldstein et al.<sup>12</sup> (2001), Myashita et al.<sup>15</sup> 2004 , Azere et al.<sup>16</sup> (2006) and Sproull<sup>17</sup> (2006).

To obtain the coordinates of the CIE L\* a\* b\* system, it was used the Adobe Photoshop 7.0 software, and it is useful in studies of this nature as a photo editing program, offering the measures of the coordinates for this research.

Initially, it was found that the data obtained by the two examiners, independently, were similar. For both modes, the automatic and manual one, the difference between them was clinically acceptable, showing that the results were reliable. This fact can be explained by previous calibration between them in obtaining the values, leading to believe even that the use of Adobe Photoshop 7.0 software has contributed to this occurrence. The authors believe that this program is of value in other studies, it offers facility in obtaining the coordinate values, after setting a certain point, which represents the middle third of the tooth guide. Thus, different examiners showed agreement as they were previously calibrated to make the measurement independently, giving reliability to the research.

In relationship to the color difference ( $\Delta E$ ), there are controversies in the literature regarding the maximum acceptable limit as 3.3<sup>18</sup> and 3.7<sup>13</sup>. The  $\Delta E$  promoted by the automatic and manual modes for the B1, B3 and C4 guides showed acceptable color difference (Table 3), being indifferent

to use the manual or automatic modes in the photo taken for color selection. The A3.5 guide was clinically unacceptable by the standards cited, which prompted a more detailed analysis of the coordinates for a better understanding of this finding. Thus, related to the A3.5 guide, it was found that the average brightness was higher in automatic mode than in the manual mode, corresponding to 54.0 (53.11–54.89) and 50.6 (49.49–51.71). This could explain the difference in color ( $\Delta E=4.17$ ), verified between the automatic and manual modes, that was higher of the maximum acceptable limit (3.7).

This *in vitro* study was aimed to evaluate four guides according to the CIEL\*a\*b\* system by means of digital images captured photographically in manual and automatic modes, and processed by a specific software. The idea was to work with photographic cameras that are available to professionals, offering the advantage of color selection, and highlighting certain characteristics that, indeed, in marketing terms, are important to be showed. However, this study does not intend to exhaust the matter and it would be of interest that additional investigations could be done on this subject.

On the other hand, professionals in their routine work, adopt a different procedure, making a visual comparison between the chosen scale and tooth restorations and composite resin. To do so, they should consider the *in vitro* studies, which, together with laboratory information on working conditions and the behavior of the guides, could reach the clinical success of the procedure for color selection.

## CONCLUSIONS

For the Vita Lumin Vacuum it was observed the aspect of the agreement between examiners by measuring the coordinates of the guides A3.5, B1, B3 and C4. Considering the total color difference between the manual and automatic modes, the B1, B3, and C4 guides

presented clinically acceptable difference and it can be used the camera in any of the modes, which is not recommended to the guide A3.5, with clinically unacceptable difference between the modes.

## REFERENCES

- 1 Yap AU, Sim CP, Loh WL, Teo JH. Human-eye versus computerized color matching. *Oper Dent*. 1999; 24: 358-63.
- 2 Rodrigues TP, Loffredo LCM, Rastelli ANDS, Bagnato VS. Método visual de seleção de cor dental por cirurgiões dentistas no estado de São Paulo. *Stoma*. 2007; 84: 20-3.
- 3 Mayekar SM. Shades of a color. Illusion or reality? *Dent Clin North Am*. 2001; 45: 155-72, vii.
- 4 Hammad, I.A. Intrarater repeatability of shade selections with two shade guides. *J Prosthet Dent*. 2003; 89: 50-3.
- 5 Dagg, H., O'Connell, B., Claffey, N., Byrne, D. and Gorman, C. The influence of some different factors on the accuracy of shade selection. *J Oral Rehabil*. 2004; 31: 900-4.
- 6 Mutlu-Sagesen, L., Ergun, G., Ozkan, Y. and Bek, B. Color stability of different denture teeth materials: an in vitro study. *J Oral Sci*. 2001; 43: 193-205.
- 7 Comission Internationale de L'Eclairage. Central Bureau of the CIE. 2nd. 1986.
- 8 Analoui, M., Papkosta, E., Cochran, M. and Matis, B. Designing visually optimal shade guides. *J Prosthet Dent*. 2004; 92: 371-6.
- 9 Carmona D. Brincando com a luz. A. Médicas. São Paulo: 2006.
- 10 Yuan JC, Brewer JD, Monaco EA Jr, Davis EL. Defining a natural tooth color space based on a 3-dimensional shade system. *J Prosthet Dent*. 2007; 98: 110-9.
- 11 Jun S. Communication is vital to produce natural looking metal

- ceramic crowns. J Dent Technol. 1997; 14: 15-20.
- 12 Goldstein RE. A estética em odontologia 2ª edição. São Paulo: Livraria Santos Editora: 2000.
  - 13 Johnston WM and Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. J Dent Res. 1989; 68: 819-22.
  - 14 Schropp L. Shade matching assisted by digital photography and computer software. J Prosthodont. 2009; 18: 235-41.
  - 15 Myashita E, Fonseca AS. Odontologia estética. O estado da arte. 1ª edição. São Paulo: Artes Médicas: 2004.
  - 16 Azer SS, Ayash GM, Johnston WM, Khalil MF, Rosenstiel SF. Effect of esthetic core shades on the final color of IPS Empress all-ceramic crowns. J Prosthet Dent. 2006; 96: 397-401.
  - 17 Sproull RC. Color matching in dentistry. Part II. Practical applications of the organization of color. J Prosthet Dent. 1973; 29: 416-24.
  - 18 Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Color and opacity variation in three different resin-based composite products after water aging. Dent Mater 2004; 20: 530-34.

## LEGENDS FOR FIGURES

Figure 1 - Camera Flash with its circular, fixed in static table that kept the perpendicularity and the objective distance/object.



Figure 1





# *Considerações Finais*

## 5 Considerações Finais

O interesse em pesquisas que envolvam o uso de escala de cores em Odontologia tem crescido nas últimas décadas, apontando para um número crescente de trabalhos publicados.<sup>11</sup>

O sistema visual é um método bastante empregado, embora alguns fatores possibilitem variação, a saber: percepção de cor por parte do clínico bem como sua experiência profissional, condições de iluminação ambiente e a escala usada.<sup>15,49</sup>

No presente estudo, a análise de alteração de cor foi realizada segundo o sistema CIE L\*a\*b\*, usando a escala Vita Lumin Vaccum. Foram utilizados dois tipos de câmeras digitais, a câmera amadora Canon A590 e a profissional Canon EOS Rebel XSi SRL. As imagens capturadas foram salvas em JPEG, por meio do *software* Adobe Photoshop 7.0, para a obtenção das coordenadas L\*, a\* e b\* em cada situação de análise.

Ao se trabalhar com o sistema CIE L\*a\*b\*, as diferenças de cor são expressas numericamente, controlando a subjetividade da percepção visual. Para as comparações, adotou-se como critério de classificação em “cl clinicamente aceitável” o valor de  $\Delta E < 3,7$ , segundo recomendação de Johnston, Kao<sup>35</sup>, embora existam controvérsias quanto ao limite acima citado.

Outros autores<sup>7</sup> sugerem que  $\Delta E < 3,3$  para que seja considerada clinicamente imperceptível.

A vantagem de usar a metodologia acima é que as câmeras fotográficas são acessíveis ao cirurgião- dentista, sendo cada vez mais utilizadas para a documentação, auxiliando no planejamento dos casos e facilitando a comunicação do profissional com o laboratório.

Outro aspecto importante a ser destacado é a necessidade de avaliar a reprodutibilidade da medida obtida, uma vez que o caráter subjetivo de obtenção dos valores poderá levar à variabilidade significativa nos achados. No presente estudo, após calibração dos examinadores em prova-piloto, pôde-se verificar a concordância entre eles na obtenção dos dados, refletindo a qualidade da informação na pesquisa empreendida.



# *Referências*

## 6 Referências

1. Analoui M, Papkosta E, Cochran M, Matis B. Designing visually optimal shade guides. J Prosthet Dent 2004; 92: 371-6.
2. Anusavice P. Materiais dentários. 11 ed. São Paulo: Elsevier; 2007.
3. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 15077: Determinação da cor e da diferença de cor por medida instrumental. Rio de Janeiro, 2004.
4. Azer SS, Ayash GM, Johnston WM, Khall MF, Rosenstiel, SF. Effect of esthetic core shades on the final color of IPS Empress all-ceramic crowns. J Prosthet Dent 2006; 96:397-401.
5. Bayindir F, Kuo S, Johnston WM, Wee AG. Coverage error of three conceptually different shade guide systems to vital unrestored dentition. J Prosthet Dent 2007; 98:175-85.
6. Bergen SF. Color in esthetics. N Y State Dent J 1985; 51: 470-1.
7. Briso AF et al. Color Alteration in Teeth Subjected to Different Bleaching Techniques. Laser Physics 2010
8. Cal E, Sonugelen M, Guneri P, Kesergioçlo A, Kose T. Application of a digital technique in evaluating the reliability of shade guides. J Oral Rehabil 2004; 31: 483-91.
9. Carmona D. Brincando com a luz. São Paulo: Artes Médicas; 2006.

10. Carvalho EMOF, Marques JL, Robbaza CRC, Carvalho BCF. Contribuição ao estudo das alterações cromáticas – apresentação de uma metodologia de escurecimento dental. *RPG Rev Pós Grad* 2002; 9 : 161-7.
11. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical a research aspects. *J Dent*. 2010;38 Suppl 2:e2-16. Epub 2010 Aug 1. Review
12. Chu SJ. Precision shade technology: contemporary strategies in shade selection. *Prac Proced Aesthtet Dent* 2002; 14: 79-83.
13. Commission Internationale de L'Éclairage. Colorimetry. 2nd ed. Wien: Central Bureau of the CIE; 1986. (Publ. CIE; 15.2)
14. Conceição EM. Restaurações estéticas. Porto Alegre: Artmed; 2005.
15. Culpepper W. A comparative study of shade-matching procedures. *J Prosthet Dent* 1970; 24: 166-73.
16. Curd FM, Jasinivivius TR, Graves AG, Cox V, Sadan A. Comparison of the shade matching ability of dental students using two light sources. *J Prosthet Dent* 2006; 96: 391-6.
17. Davis LG, Ashowrth PD, Soriggs LS. Psychological effects of aesthetic dental treatment. *J Dent* 1998; 26: 547-54.
18. Douglas RD, Brewer JD. Acceptability of shade differences in metal ceramic crowns. *J Prosthet Dent* 1998; 79: 254-60.
19. Douglas RD, Przbylska M. Predicting porcelain thickness required for dental shade matches. *J Prosthet Dent* 1999; 82: 143-9.

20. Douglas RD, Steinhuer TJ, Wee AG. Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *J Prosthet Dent* 2007; 97: 200-8.
21. Dozic A, Kleverlaana CJ, Aartmanb IHA, Feilzer AJ. Relation in color among maxillary incisors and canines. *Dent Mater* 2005; 21: 187-91.
22. Dozic A, Kleverlaana CJ, Aartmanb IHA, Feilzer AJ. The influence of porcelain layer thickness on the final shade of ceramic restorations. *J Prosthet Dent* 2003; 90: 563-70.
23. Ferreira ATM. Metamerismo: análise de influência do iluminante no comportamento da cor de dentes naturais e materiais estéticos [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2002.
24. Fígun ME, Garino RR. Sistema dental. In: *Anatomia odontológica funcional e aplicada*. 3a ed. São Paulo: Ed.Médica Panamericana; 1997. Cap.7, p. 260-1.
25. Ghersel ELA, Rodrigues CRMD, Ghersel H. Entendendo as cores – parte I. *R Dental Press Estét* 2007; 4:41-6.
26. Goldstein RE. *A estética na odontologia*; 2 ed.; 2001.
27. Goodkind RJ, Loupe MJ. Teaching of color in predoctoral and postdoctoral dental education in 1988. *J Prosthet Dent* 1992; 67: 713-7.
28. Guan YH, Lath DL, Lilley Th, Willmot DR, Marlow I, Brook AH. The measurement of tooth whiteness by image analysis and spectrophotometry: a comparison. *J Oral Rehab* 2005; 32: 7-15.

29. Hammad IA. Intrarater repeability of shade selections with two shade guides. *J Prosthet Dent* 2003; 89: 50-3.
30. Hasegawa A, Motonomi A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color of natural tooth crown in Japanese people. *Color Res Appl* 2000; 25: 43-8.
31. Haselton DR, Diaz AAM.; Dawson DV. Color stability of provisional crown and fixed partial denture resins. *J Prosthet Dent* 2005; 93: 70-5.
32. Hufenacht C. Fundamentos de estética. Chicago: Quintessense; 1998.
33. Ishikawa NS, Ishibashi K, Tsuruta O, Webwer H. Reproducibility of tooth color gradation using a computer color-matching technique applied to ceramic restorations. *J Prosthet Dent* 2005; 93: 129-37.
34. Jahangiri L, Reinhardt SB, Mehra RV, Mathenson PB. Relationship between tooth shade value and skin color: an observational study. *J Prosthet Dent* 2002;87:149-52.
35. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and colorimetry. *J Dent Res* 1989; 68: 819-22.
36. Jun S. Communication is vital to produce natural looking metal ceramic crowns. *J Dental Technol* 1997;15-20.
37. Junqueira LCU, Carneiro J. *Histologia básica – texto e Atlas*. 11 ed.; 2008.
38. Karamouzous A, Papadopoulus MA, KoloKitha SG, Athanasiou AE. Precision of in vivo spectrophotometric colour evaluation of natural teeth. *J Oral Rehabil* 2007; 34: 613-21.



39. Klemetti E, Matela AM, Haag P, Kononen M. Shade selection performed by novice dental professionals and colorimeter. *J Oral Rehabil* 2006; 33: 31-5.
40. Koourtis SG, Tripodakis, Doukodakis AA. Spectrophotometric evaluation of the optical influence of different metal alloys and porcelains in the metal-ceramic complex. *J Prosthet Dent*. 2004; 92: 477-85.
41. Kroeff S, Pereira DRF, Miotto J MHMB. Seleção da cor de dente hígido por estudantes do quinto ao nono período do curso de odontologia. *Rev Odontol* 2003; 5: 47-57.
42. Lee Y, Cha AJ. Layered color of all-ceramic core and veneer ceramics. *J Prosthodont* 2007; 97: 279-86.
43. Liebler M, Devigus A, Randall RC, Burke FJT, Pallesen U, Cerutti A et al. Ethics of esthetic dentistry. *Quintessence* 2004; 35: 456-65.
44. Marcucci B. Using tooth and color guides together. *J Prosthet Dent*. 2001; 86: 322-3.
45. Melo TM, Kano P. Avaliação e reprodução cromática em dentística restauradora: parte 1 – o mundo das cores. *J Braz Dent* 2005; 1: 95-104.
46. Myashita E. Odontologia estética- o estado da arte. São Paulo: Artes médicas; 2004.
47. Narvai PC. Diagnóstico de saúde bucal. São Paulo:HSP-FSP-USP;1996.
48. Nishida SM; Sistema nervoso sensorial; [Apostila do Curso de Fisiologia-UNESP]. Botucatu: universidade Estadual Paulista; 2009.

49. O'Brien WJ, Boenke KM, Groh CL. Coverage errors of two shade guides. *Int J Prosthodont* 1991; 4:45-50.
50. Oh W, Pogoncheff J, O'Brien WJ. Digital Computer Matching of Tooth Color. *Materials* 2010; 3: 3694-3699; doi 10.3390/ma 3063694.
51. Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrumental shade matching. *J Prosthet Dent* 1998; 80: 642-8.
52. Oliveira Júnior OB, Cioffi MS, Cesnik RM, Florez FLE, Bagnato VS, Santos DRC, et al. Comparative assessment of the organization of the colors of the Vita Classical color pallet by digital images and visual analysis for dental bleaching. *Proc SPIE*. 2009; 7162: 71620G- doi:10.1117/12.809814.
53. Paravina R, Stankovic D, Aleksov L, Mladenovic D, Ristic K. Problems in standard shade matching and reproduction procedure in dentistry: a review of the state of the art. *Facta Universitatis* 1998; 4: 12-6.
54. Park JH; Lee YK; Lim BS. A; Influence of illuminants on the color distribution of shade guides; *J Prosthet Dent* 2006;96:402-11.
55. Paul SJ, Peter A, Rodoni L, Pietrobon N. Conventional visual VS spectrophotometric shade analysis of human teeth. *J Dent Res* 2002;81:578-82.
56. Phillips RW. *Materiais dentários de Skinner*. 9ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1993.
57. Preston JD. Current status of shade selection and color matching. *Quintessence Int* 1985; 16: 47-58.

58. Ragain Jr JC, Johnston WM. Minimum color differences for discriminating mismatch between composite and tooth color. *J Esthet Dent* 2001; 13: 41-8.
59. Russel MD, Gulfraz M, Moss BW. In vivo measurement of colour changes in natural teeth. *J Oral Rehabil* 2000; 27: 786-92.
60. Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater* 1987; 3: 246-51.
61. Sackstein M; A digital video photographic for esthetic evaluation of anterior mandibular teeth. *J Prosthet Dent* 2007; 97:246-7.
62. Sadowsky S J. An overview of treatment considerations for esthetic restorations. A review of the literature; *J Prosthet Dent*.2006; 96: 433-42.
63. Sarac D, Sarac Y, Sinasi Y, Emir BS. The effects of porcelain polishing systems on the color and surface texture of feldspathic porcelain. *J Prothet Dent* 2006; 96: 122-8.
64. Sellen PN, Jagger DC, Harrison A. The selection of anterior teeth appropriate for the age and sex of the individual. How variable are dental staff in their choice; *J Oral Rehabil* 2002; 29: 853-7.
65. Silva PE da, Rocha RO,Wanderley MT, Mathias RS, Bussadori SK,; Escala de cor para dentes decíduo. *Rev Ibero-am Odontopediatria Odontol Bebê* 2002; 7(36):177-84.
66. Sim CPC, Yap AUJ, Téó J. Color perception among different dental personnel. *Oper Dent* 2001; 26: 435-9.

67. Souza A.R. Fototransdução: modelo de transmissão do sinal através de membranas celulares; *Acta Oftamológica* 2001; 11: 19-30.
68. Sproul RS. Color matching in dentistry. Part I. The three-dimensional nature of color. *J Prosthet Dent* 2001; 86: 453-7.
69. Sproul RS. Color matching in dentistry. Part II. Practical applications of the organization of color. *J Prosthet Dent* 2001; 86: 458-64.
70. Steagall Jr W. Contribuição para o estudo da propagação da luz através do esmalte e dentina humanos [ Dissertação de mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2005.
71. Ten BJJ, Coops JC. Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. *J Dent Res.* 1995; 74: 374-80.
72. Tung FF, Goldstein GR, Jamg S, Hittelman E. The repeatability of an intraoral dental colorimeter. *J Prosthet Dent* 2002; 88: 585-90.
73. Uludag, BU, Aslihan S, Volkan; Eser, K, Ercoban E. The effect of ceramic thickness and number of firings on the color of ceramic systems. An in vitro study. *J Prosthet Dent.*2007;97:25-31.
74. Van Der Burgt TP, Ten Bosch JJ, Borsboom PCF, Plasschaert AJM. A new method for matching tooth color with color standards. *J Dent Res* 1985; 64: 837-41.
75. Vieira GF. Avaliação da cor dos dentes em função de uma escala comercial [ Tese de Livre Docência ]. São Paulo. Faculdade de Odontologia da USP; 1996.

76. Wee AG, Lindsey D T, Shoroyer KM, Johnson WM. Use of porcelain color discrimination test to evaluate color difference formulas. *J Prosthet Dent* 2007; 98: 101-9.
77. Wee AG, Monaghan P, Johnson WM. Variation in color between intended matched shade and fabricated shade of dental porcelain *J Prosthet Dent* 2002; 87: 657-66.
78. Yap AUJ, Sim CPC, Loh WL, Teo JH. Human-eye versus computerized color matching. *Oper Dent* 1999; 24: 358-63.
79. Yuan JC, Brewer JD, Monaco EA Jr, Davis EL. Defining a natural tooth color space based on a 3-dimensional shade system. *J Prosthet Dent* 2007; 110-9.