

JANE CLEIDE GOVEIA

**ESTUDO COLORIMÉTRICO DA TRANSLUCIDEZ DE MATERIAIS
RESTAURADORES ODONTOLÓGICOS**

São Paulo

2004

Jane Cleide Goveia

**Estudo colorimétrico da translucidez de materiais
restauradores odontológicos**

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, para obter o título de Mestre, pelo Programa de Pós Graduação em Odontologia.

Área de Concentração: Dentística

Orientador: Prof. Dr. Glauco Fioranelli Vieira

São Paulo

2004

Catálogo-na-Publicação
Serviço de Documentação Odontológica
Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

Goveia, Jane Cleide

Estudo colorimétrico da translucidez de materiais restauradores odontológicos /
Jane Cleide Goveia; orientador Glauco Fioranelli Vieira. -- São Paulo, 2004.
110p. : fig., tab., graf., 30 cm.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Odontologia. Área
de Concentração: Dentística) -- Faculdade de Odontologia da Universidade de
São Paulo.

1. Colorimetria 2. Restauração com material estético 3. Materiais dentários

CDD 617.675
BLACK D22
D15

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR
QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA,
DESDE QUE CITADA A FONTE E COMUNICADO AO AUTOR A REFERÊNCIA DA CITAÇÃO.

São Paulo, ____/____/____

Assinatura:

E-mail: jcgoveia@ipt.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

Goveia JC. Estudo colorimétrico da translucidez de materiais restauradores odontológicos [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2004.

São Paulo, ____/____/____.

Banca Examinadora

1) Prof. Dr. _____

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

2) Prof(a). Dr(a). _____

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

3) Prof(a). Dr(a). _____

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

*Ao meu pai Osvaldo (in memorium), que
apesar da nossa curta convivência, me
ajudou a entender que o prazer de viver
tem muitos significados.*

*À minha mãe Geny, minha eterna
companheira e amiga, sem o seu apoio
não teria chegado tão longe.*

Muito obrigada Mãe.

*Ao Frederico Augusto, meu companheiro
de lutas e aventuras, com amor e
admiração, pela sua paciência e apoio.*

Ao Guilherme Augusto, pelo seu bom humor e solidariedade, foi a minha maior motivação para finalização deste trabalho.

Te amo muito, desde o primeiro momento.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

*Ao Dr. Glauco Fioranelli Vieira, que me
revelou um sentido prazeroso e humano
na produção acadêmica.
Obrigada por tanta paciência.*

AGRADECIMENTOS

Aos professores da disciplina de Dentística da Faculdade de Odontologia da USP, por terem ajudado a transformar o trabalho em uma ação coletiva.

À Prof^a. Dr^a. Margareth Oda, sempre tão solidária, me incentivou e apoio com muito carinho, desde o primeiro momento.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Bragança Pereira pela ajuda na análise e interpretação estatística.

Às bibliotecárias Aguida Feliziani e Glauci Elaine Damásio Fidelis que foram extremamente prestativas na verificação bibliográfica da minha dissertação, e ao atendente da biblioteca Fernando Ricardo de Brito pela atenção e simpatia. A atenção de vocês na reta final foi fundamental. Obrigada.

Ao David Martins Lascale do Departamento de Dentística que sempre me indicou o caminho certo e mais curto, para o término deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Óptica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, pelo apoio irrestrito e voluntário, mesmos nos “dias chuvosos”. Valeu pessoal!

Ao Eng. José Pucci, pelo compartilhamento das angústias próprias dessas épocas.

Aos amigos Cecília, Simone, Helena e Marcelo, que me agüentaram com carinho e me deram apoio na fase final, época muito difícil.

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende.”

Leonardo da Vinci

*“É melhor tentar e falhar,
que preocupar-se e ver a vida passar;
é melhor tentar, ainda que em vão,
que sentar-se fazendo nada até o final.*

*Eu prefiro na chuva caminhar,
que em dias tristes em casa me esconder.*

*Prefiro ser feliz, embora louco,
que em conformidade viver ...”*

Martin Luther King

Goveia JC. Estudo colorimétrico da translucidez de materiais restauradores odontológicos [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2004.

RESUMO

Quando um dente anterior é restaurado toda uma técnica de proteção ao tecido remanescente e a recuperação funcional do elemento dental podem ser comprometidas se a escolha da cor do material restaurador empregado não for adequada. A familiaridade com as teorias da cor e da interação da luz com a matéria pode ajudar na tarefa de escolha da tonalidade do material restaurador. O desafio na busca de um material restaurador ideal na sua função estética sempre foi obter a translucidez própria do esmalte dental. Contudo, essa translucidez faz com que o material restaurador sofra influência da cor de fundo, que pode ser da cor do material de proteção, ou mais normalmente da cor da dentina. No que tange as atividades de restauração estética odontológico, através deste trabalho foi possível concluir que: 1) A colorimetria pode ser um importante meio na seleção e na comunicação de tonalidades de materiais restauradores; 2) Os resultados obtidos confirmam que a cor de fundo exerce grande influência sobre a cor do resultado final da restauração; e 3) Os guias de tonalidade devem ser reformulados de tal forma que levem em consideração a espessura do material restaurador e a cor de fundo.

Palavras-chave: Colorimetria; translucidez; opacidade; materiais restauradores odontológicos; guia de tonalidade; restauração com material estético; materiais dentários

Goveia JC. Colorimetric Study of the translucency of restorative odontologic materials [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2004.

ABSTRACT

When an anterior tooth is restored, the whole remaining tissue protection technique and functional recuperation of the dental element can be compromised if the choice of the color of the restorative material is not adequate. The familiarity with the color and light interaction with matter theories may help with the task of choosing the restorative material shade. The challenge in searching for an ideal restorative material in its esthetic function was always obtaining the proper translucency of dental enamel. However, this translucency makes the restorative material suffer an influence of the background color, which can be the protection material color or, more commonly, the dentine color. Concerning the odontologic esthetic restorative activities, it was possible to conclude from this work that: 1) Colorimetry can be an important way for the selection and communication of the restorative material shades; 2) The results show that the background color has a large influence on the final color of the restoration; and 3) The shade guides must be reformulated so that it take into consideration the thickness of the restorative material and background color.

Key-works: Colorimetry; translucency; opacity; odontologic restorative materials; shade guide; restoration with esthetic materials; dental materials

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Diferença de cor no espaço de cor CIE L*a*b*	52
Figura 2.2 – Diferenças das coordenadas a* e b*	53
Figura 2.3 – Diferença de croma e diferença de matiz	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 – Curvas de distribuição de potência espectral dos iluminantes CIE	26
Gráfico 2.2 – Curvas de refletância de materiais opacos e coloridos	28
Gráfico 2.3 – Curvas de refletância das tonalidades da matiz A de resina composta	29
Gráfico 2.4 – Curvas da resposta espectral do olho humano normal	34
Gráfico 2.5 – Funções dos observadores padrão da CIE	38
Gráfico 5.1 – Luminosidade da matiz A da escala Vita (tonalidades para esmalte)	80
Gráfico 5.2 – Influência da cor de fundo na luminosidade (tonalidades para esmalte)	81
Gráfico 5.3 – Influência da cor de fundo na luminosidade (tonalidades para dentina)	81
Gráfico 5.4 – Influência da cor de fundo na coordenada a^* (tonalidades para esmalte)	82
Gráfico 5.5 – Influência da cor de fundo na coordenada a^* (tonalidades para dentina)	82
Gráfico 5.6 – Influência da cor de fundo na coordenada b^* (tonalidades para esmalte)	83
Gráfico 5.7 – Influência da cor de fundo na coordenada b^* (tonalidades para dentina)	83
Gráfico 5.8 – Diferença de luminosidade (tonalidades para esmalte)	85
Gráfico 5.9 – Diferença de luminosidade (tonalidades para dentina)	85
Gráfico 5.10 – Diferença da coordenada a^* (tonalidades para esmalte)	86
Gráfico 5.11 – Diferença da coordenada a^* (tonalidades para dentina)	86
Gráfico 5.12 – Diferença da coordenada b^* (tonalidades para esmalte)	87
Gráfico 5.13 – Diferença da coordenada b^* (tonalidades para dentina)	87

Gráfico 5.14 – Cromo da matiz B da escala Vita (tonalidades para esmalte)	88
Gráfico 5.15 – Influência da cor de fundo no croma (tonalidades para esmalte)	89
Gráfico 5.16 – Influência da cor de fundo no croma (tonalidades para dentina)	89
Gráfico 5.17 – Termos para descrição de diferenças de croma e de luminosidade	90
Gráfico 5.18 – Diferença de croma (ΔC^*_{ab}) x Diferença de luminosidade (ΔL^*)	90
Gráfico 5.19 – Diferença de cor total (tonalidades para esmalte)	91
Gráfico 5.20 – Diferença de cor total (tonalidades para dentina)	91
Gráfico 5.21 – Opacidade (tonalidades para esmalte)	93
Gráfico 5.22 – Opacidade (tonalidades para dentina)	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Amostras de resina composta, tonalidades utilizadas	75
Tabela 5.1 – Valores das coordenadas CIE L*a*b* obtidos para as tonalidades para esmalte	79
Tabela 5.2 – Valores das coordenadas CIE L*a*b* obtidos para as tonalidades para dentina	80
Tabela 5.3 – Valores das diferenças de cada parâmetro (tonalidades para esmalte)	84
Tabela 5.4 – Valores das diferenças de cada parâmetro (tonalidades para dentina)	84
Tabela 5.5 – Valores de diferença de luminosidade e de opacidade	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADA	<i>American Dental Association</i>
ANLAB	Espaço de cor de Adams-Nickerson
CIE	Comissão Internacional de Iluminação (<i>Commission Internationale l'Éclairage</i>)
CIE A	Iluminante padrão primário, com temperatura de cor de 2856 K
CIE B	Iluminante com temperatura de cor de 4874 K (obsoleto)
CIE C	Iluminante com temperatura de cor de 6774 K (obsoleto)
CIE D ₆₅	Iluminante padrão primário, com temperatura de cor de 6504 K
CIELAB	Sigla do espaço de cor CIE L*a*b* de 1976
CIE L*a*b*	Espaço de cor CIE de 1976
D ₅₀	Iluminante padrão secundário, com temperatura de cor de 5000 K
D ₅₅	Iluminante padrão secundário, com temperatura de cor de 5500 K
D ₇₅	Iluminante padrão secundário, com temperatura de cor de 7500 K

LISTA DE SÍMBOLOS

K	Graus Kelvin
nm	Nanometro (10^{-9} metros)
λ	Letra grega lambda, por convenção é indicação de comprimento de onda
$x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda)$	Funções do observador padrão de 1931, com campo de visão de 2°
$x_{10}(\lambda), y_{10}(\lambda), z_{10}(\lambda)$	Funções do observador padrão suplementar de 1964, com campo de visão de 10°
BaSO ₄	Sulfeto de bário
$T(\lambda)$	Função da transmitância espectral
$R(\lambda)$	Função de refletância espectral
$S(\lambda)$	Função do iluminante padrão
X, Y, Z	Valores de tristímulos do sistema de cor de 1931
u, v	Coordenada de cromaticidade do sistema de cor de 1960
u', v'	Coordenada de cromaticidade do sistema de cor de 1976
L*	Luminosidade do CIE L*a*b*
a*	Coordenada a* do CIE L*a*b*
b*	Coordenada b* do CIE L*a*b*
X _n , Y _n , Z _n	Valores de tristímulos para um estímulo da cor branca
Δ	Letra grega delta, por convenção é indicação de diferença
ΔE^*_{ab}	Diferença de cor total do CIE L*a*b*
h_{ab}	Ângulo de matiz do CIE L*a*b*
C^*_{ab}	Croma do CIE L*a*b*

H^*_{ab}	Matiz do CIE $L^*a^*b^*$
Y_P	Valor de tristímulo Y da amostra com fundo preto
Y_B	Valor de tristímulo Y da amostra com fundo branco
RC	Razão de contraste
L^*_P	Luminosidade da amostra com fundo preto
L^*_B	Luminosidade da amostra com fundo branco

SUMÁRIO

	p.
1 INTRODUÇÃO	18
2 REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1 Teoria da cor	21
2.1.1 Iluminante	22
2.1.2 Características do objeto	26
2.1.3 Observador	32
2.1.4 Sistemas de espaço de cor	43
2.1.4.1 Sistema de cor CIE de 1931	46
2.1.4.2 Espaço de cor uniforme CIE L*a*b* de 1976	49
2.1.5 Opacidade	56
2.2 Revisão da literatura odontológica	60
3 PROPOSIÇÃO	74
4 MATERIAL E MÉTODOS	75
5 RESULTADOS	79
6 DISCUSSÃO	95
7 CONCLUSÕES	99
REFERÊNCIAS	100
GLOSSÁRIO	105

1 INTRODUÇÃO

Quando um dente anterior é restaurado toda uma técnica de proteção ao tecido remanescente e a recuperação funcional do elemento dental podem ser comprometidas se a escolha da cor do material restaurador empregado não for adequada.

A familiaridade com as teorias da cor e da interação da luz com a matéria pode ajudar na tarefa de escolha da tonalidade do material restaurador, pois ao entender que cor não é uma propriedade da luz e sim o efeito das ondas de luz refletida de materiais opacos ou transmitida de materiais transparentes ou translúcidos, ampliando a possibilidade de se obter resultados mais satisfatórios. A cor de um determinado objeto é determinada sob diversas circunstâncias, tais como, as características da fonte de luz sob a qual é observado; a forma como as ondas de luz que incidem sobre o objeto são absorvidas, transmitidas ou refletidas; os efeitos do ambiente na mente do observador, considerando também as suas condições físicas visuais; pois, a cor é só uma das inúmeras qualidades que o olho humano é capaz de perceber.

Para que uma cor exista é necessário um conjunto de três parâmetros:

- ↳ Observador
- ↳ Fonte de luz (Iluminante)
- ↳ Objeto.

Alterando qualquer um desses três parâmetros a cor muda e eliminando qualquer um a cor simplesmente não existe.

A busca de um material restaurador ideal na sua função estética, sempre caminhou no sentido de se obter a translucidez própria do esmalte dental. Contudo, essa translucidez faz com que o material restaurador sofra influência da cor de fundo, que pode ser do material de proteção, ou mais normalmente da dentina, esta última pode se apresentar desde o branco opaco até uma cor mais escura tendendo ao preto.

Uma reconstrução de cerâmica, por exemplo, requer um padrão de cor predeterminado para se conseguir o resultado da cor da unidade de guia de tonalidade escolhida. Nas restaurações com resinas compostas esse padrão não é possível.

O objetivo deste estudo foi verificar a influência que a cor de fundo possa ter em uma restauração de resina composta, tendo como referência às cores das unidades de guia de tonalidade, utilizando o sistema de espaço de cor CIE L*a*b* de 1976 e comparando os resultados com os critérios clínicos de perceptibilidade e aceitabilidade, foi calculada também a opacidade.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Com o objetivo de facilitar o entendimento, este capítulo foi subdividido em dois itens básicos: Teoria da cor e Literatura odontológica

A Comissão Internacional de Iluminação (ou do seu nome em francês *Commission Internationale l'Éclairage* – CIE) é uma organização dedicada à cooperação internacional e troca de informação entre seus países membros de todas matérias relativas a arte e ciência de iluminação. Neste trabalho a CIE será citada inúmeras vezes, cabe uma explicação mais detalhada sobre esta organização. Os objetivos da CIE com relação aos campos de luz e iluminação são (CIE, 1986):

- Promover um fórum internacional para discussão de todas as matérias relativas à ciência, tecnologia e arte para o intercâmbio de informação nestes campos entre os países.
- Desenvolver padrões e procedimentos básicos de metrologia.
- Promover orientação na aplicação dos princípios e procedimentos no desenvolvimento de padrões internacionais e nacionais.
- Preparar e publicar padrões, relatórios e outras publicações relacionadas com todas as matérias relativas à ciência, tecnologia e arte.
- Manter contato e interação técnica com outras organizações internacionais relacionadas com matérias relativas à ciência, tecnologia, padronização e arte.

2.1 Teoria da cor

Até o século XVII, a luz era definida como sendo a radiação que pode ser percebida pelos olhos humanos. Os babilônios já sabiam muito sobre a propagação da luz, mas foi a Escola de Platão que primeiro teorizou esse conhecimento, criando a base da Óptica Geométrica. Modificações substanciais no estudo da luz ocorreram somente dois mil anos depois, com os trabalhos de Descartes e principalmente de Newton, cuja teoria é baseada na emissão corpuscular, quando então surgiu a Óptica Física. Newton dividiu a luz nas cores do espectro visível com um prisma, neste experimento, a fonte de luz (iluminante), o prisma (objeto) e o olho (detector) foram todos representados.

Posteriormente, os princípios da teoria de Huygens, Young e Fresnel, mostraram ser falha a teoria de Newton, fato acentuado quando Maxwell e Hertz demonstraram que a luz é uma radiação eletromagnética.

No entanto, os trabalhos do físico alemão Max Planck mostraram evidências de que a luz é emitida e absorvida em porções de energia perfeitamente definidas, denominadas de fótons.

Novos aspectos do fenômeno luz foram formulados, conciliando as teorias de Newton e Planck com as teorias de Maxwell e Hertz. Surgiu uma nova visão de que a luz pode assumir tanto um comportamento ondulatório como um comportamento corpuscular.

A colorimetria é a ciência e a tecnologia usada para quantificar e descrever, por meio de modelos matemáticos, as percepções humanas de cor, e requer que o fluxo radiante esteja de acordo com a sensibilidade do olho humano.

A medição fundamental de alguma forma de fluxo radiante geralmente envolve considerações geométricas assim como espectrais, e colorimetria não é exceção; tais considerações são extremamente importantes para colorimetria de muitos tipos de materiais, particularmente naqueles no qual a cor pode mudar com o ângulo de iluminação ou visão (SCHANDA, 1998).

Historicamente, a CIE, em 1931, recomendou que os dados de cor fossem expressos em termos de um sistema colorimétrico padrão, do ponto de vista puramente físico, a produção de cor requer três parâmetros: uma fonte de luz, um objeto que é iluminado e o observador para perceber a cor ¹ (1931, apud BILLMEYER; SALTZMAN, 1981).

Estão detalhados a seguir os iluminantes (fontes de luz), as características do objeto e o observador (detetor), na seqüência há uma apresentação dos principais sistemas de espaço de cor recomendados pela CIE, finalizando com detalhamento da medição de opacidade (translucidez).

2.1.1 iluminante

A luz de uma fonte pode ser descrita em termos de potência relativa emitida, que em função do comprimento de onda, obtém se a curva de distribuição de potência espectral da fonte de luz. Um grupo muito importante de fontes de luz é conhecido como corpo negro ou cavidade planckiana ou radiador ideal, possui distribuição de potência espectral correspondente a cada cor, dependendo somente da temperatura absoluta (medida em Kelvin [K]) e não da composição química.

¹ Commission Internationale de l'Eclairage – CIE. Proceedings of the eighth session, Cambridge, England, 1931, Bureau Central de la CIE, Paris, 1931.

A experiência da luz refletida de uma superfície branca irradiada por um radiador ideal, mostra que a temperatura pode estar entre 2700 K e 20000 K. Este amplo intervalo de sensação de luz branca dá especial significado a plotagem da cromaticidade dos radiadores ideais, sendo conveniente descrever esta cromaticidade por sua temperatura.

Uma fonte de radiação com distribuição não-planckiana, mas com a cromaticidade igual a de um radiador ideal produzirá o mesmo efeito visual de cor. Portanto, é conveniente caracterizar estas fontes de radiação pela temperatura absoluta do radiador ideal com a mesma cromaticidade, esta temperatura é chamada de temperatura de cor. Algumas vezes a cromaticidade de uma fonte de radiação não é exatamente igual a cromaticidade de um radiador ideal, mas muito próxima, neste caso pode-se usar o termo temperatura de cor correlata (BILLMEYER; SALTZMAN, 1981; SCHANDA, 1998).

Por definição, uma fonte é uma luz fisicamente realizável, é aquela cuja distribuição de potência espectral pode ser experimentalmente determinada. Para desempenhar observações visuais, fontes realizáveis são necessárias, estas são chamadas fontes padrão. Portanto, uma fonte é uma luz física real que pode ser usada em experimentos de seleção de cor. Também por definição, um iluminante é uma luz definida pela distribuição de potência espectral, que pode ou não ser fisicamente realizável como uma fonte, cujos valores são tabelados e podem ser usados para calcular os valores de tristímulos e coordenadas de cromaticidade. Se for disponível na forma física, torna-se uma fonte padrão (BILLMEYER; SALTZMAN, 1981).

A CIE padronizou em 1931 as distribuições de energia espectral relativa de três iluminantes CIE, são eles: A, B e C.

O iluminante CIE A é uma lâmpada de filamento incandescente de gás confinado de tungstênio, tendo a mesma distribuição de potência espectral relativa de um radiador ideal operando com temperatura de cor de 2856 K (BILLMEYER; SALTZMAN, 1981).

Os iluminantes CIE B e CIE C são derivados do iluminante CIE A, passando sua luz através de filtros líquidos. O iluminante CIE B tem temperatura de cor de 4874 K e distribuição espectral relativa próxima da luz do sol direta. O iluminante CIE C tem temperatura de cor correlata de 6774 K, representando a luz do dia médio. No entanto, os iluminantes B e C são, atualmente, considerados obsoletos (BILLMEYER; SALTZMAN, 1981; JOHNSTON, 1971; WYSZECKI, 1978).

A mais importante fonte natural de energia radiante é, sem dúvida, o sol. Muitas medições espectralradiométricas da luz do sol foram realizadas e registradas na literatura. A CIE emitiu em 1972 duas recomendações considerando a luz do dia: a primeira recomendação especifica uma distribuição espectral de irradiância solar fora da atmosfera e uma distribuição espectral da radiação global na superfície terrestre; a segunda recomendação especifica as distribuições de potência radiante espectral de fases típicas da luz do dia na superfície terrestre para temperaturas de cor correlatas de 4000 K a 25000 K (WYSZECKI; STILES, 1982).

Baseado em procedimento de cálculo, a distribuição da potência espectral relativa de qualquer iluminante luz do dia entre 4000 K e 25000 K pode ser calculado. Por razões práticas, foi recomendado restringir para poucos iluminantes luz do dia.

São considerados iluminantes padrões primários apenas o iluminante CIE A e o iluminante CIE D₆₅, este último é uma representação de uma fase da luz do dia com temperatura de cor correlata de aproximadamente 6504 K (SCHANDA, 1998).

Na época da definição dos iluminantes CIE A e CIE D₆₅ estavam em vigor versões antigas da Escala de Temperatura Prática Internacional, correções foram realizadas e a temperatura de cor do iluminante CIE A que era 2848 K em 1931, passou a ser considerada como 2856 K. Mudanças similares foram necessárias para o iluminante CIE D₆₅ e a temperatura de cor correlata de 6500 K em 1948, passou para 6504 K, devido a esta correção de fatores (SCHANDA, 1998; WYSZECKI, 1978).

São considerados padrões colorimétricos secundários os iluminantes D₅₀, D₅₅ e D₇₅, tendo temperaturas de cor correlatas de aproximadamente 5000 K, 5500 K e 7500 K (SCHANDA, 1998).

Para a prática colorimétrica é necessário uma fonte com distribuição de potência espectral correspondente àquela dos iluminantes padrão. O Iluminante CIE A é realizado por uma lâmpada de filamento de tungstênio operando a uma temperatura de cor correlata de 2856 K. Não há, no entanto, recomendação para uma fonte artificial para realizar o Iluminante D₆₅ ou outros iluminantes D, no caso de fontes luz do dia são denominados de simuladores luz do dia (SCHANDA, 1998).

Outros tipos de fontes, como lâmpadas fluorescentes, tiveram suas distribuições espectrais padronizadas, mas não foram adotadas pela CIE.

O gráfico 2.1 apresenta as curvas de distribuição de potência espectral dos iluminantes padrão CIE A, CIE B, CIE C e CIE D₆₅.

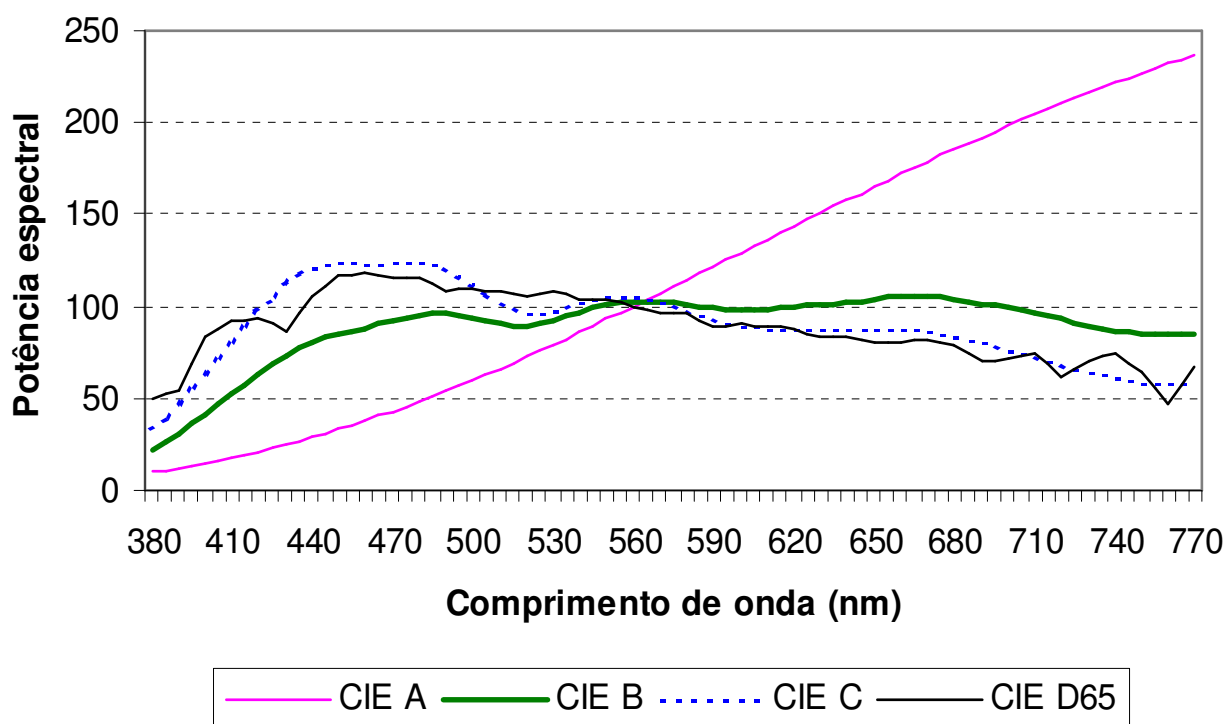


Gráfico 2.1 – Curvas de distribuição de potência espectral dos iluminantes CIE

2.1.2 características do objeto

Quando a radiação interage com a matéria vários processos podem ocorrer, incluindo reflexão, transmissão, absorção, espalhamento, fluorescência, fosforescência e reações químicas. As cores refletidas ou transmitidas dos objetos dependem da quantidade espectral da luz incidente e do próprio caráter espectral dos objetos.

O espalhamento é causado pela luz que incide em pequenas partículas com índice de refração diferente daquele do material circunvizinho, quando parte da luz é absorvida e reemitida no mesmo comprimento de onda e parte atravessa o material em outra direção. Quando há bastante espalhamento, a luz é difusamente refletida do material, se somente parte da luz que passa pelo material é espalhada e parte é transmitida, o material é translúcido; se o espalhamento é tão intenso que não passa pelo material, este é opaco. A cor do material depende da quantidade e tipo de espalhamento e absorção presentes: se não há absorção, mas há a mesma quantidade de espalhamento para cada comprimento de onda, o material é branco; caso contrário é preto (absorção total) e se há a combinação de absorção e espalhamento, o material é colorido (BILLMEYER; SALTZMAN, 1981).

Do ponto de vista de cor, o efeito de um objeto na luz pode ser descrito pela curva de transmitância espectral ou de refletância espectral (para materiais transparente ou opaco, respectivamente), que mostram a fração da luz refletida ou transmitida para cada comprimento de onda pelo material (BILLMEYER; SALTZMAN, 1981; FOSTER, 1971; JOHNSTON, 1971).

Algumas curvas de refletância espectral de materiais opacos e coloridos são apresentadas no gráfico 2.2.

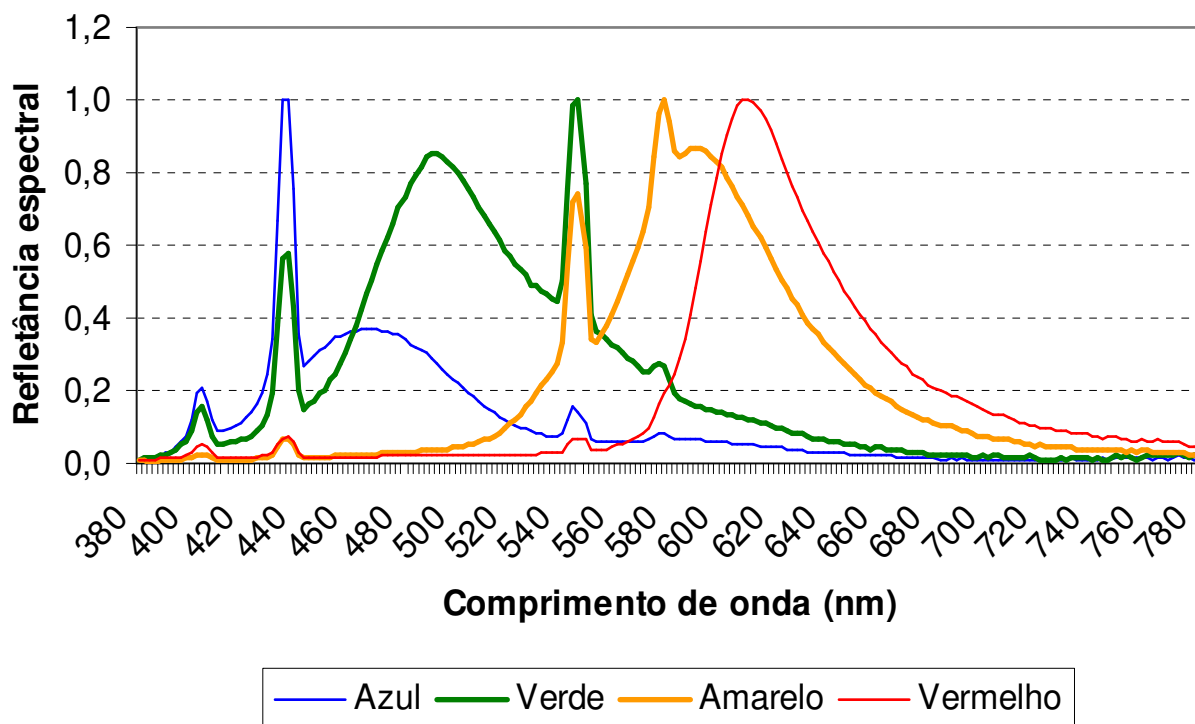


Gráfico 2.2 – Curvas de refletância de materiais opacos e coloridos

O gráfico 2.3 apresenta as curvas de refletância espectral de algumas tonalidades de resina composta.

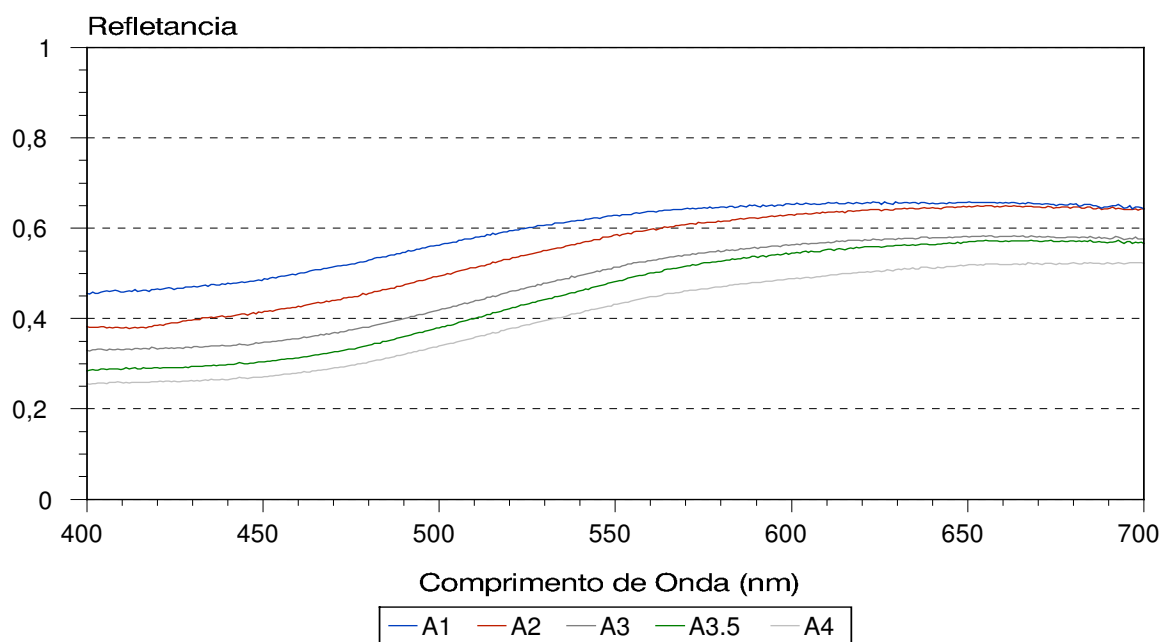


Gráfico 2.3 – Curvas de refletância das tonalidades da matriz A de resina composta

As condições da superfície da amostra é um dos fatores que pode influenciar o resultado final das medições de cor, em especial, nas instrumentais, por este motivo, muitos pesquisadores preferem fazer medições de controle de cor na tentativa de eliminar algumas fontes de erro (FOSTER, 1971).

A determinação de cor utilizando instrumentos é mais precisa quando a superfície analisada é plana e homogênea, podendo no entanto, apresentar diferenças sutis de cor que podem não ser notadas visualmente. Em pesquisa odontológica, o principal objeto de estudo são os dentes e infelizmente, dentes não apresentam superfície plana e cor homogênea.

Barrett et al. (2002) confeccionaram discos planos que foram selecionados com maior precisão (12,5%) que as unidades de tonalidade, 100% da população selecionou acertadamente os corpos de prova em forma de disco e somente 42% da população acertou a tonalidade dos corpos de prova em forma de unidade de tonalidade. Um dos fatores que pode ter influenciado na seleção inadequada das unidades de tonalidade é o brilho da superfície, pois as mesmas apresentavam irregularidades na superfície diferente do acabamento brilhante e homogêneo dos discos. É complicado especificar a área que o observador deve tomar como referência na seleção de tonalidade. Alguns autores usaram uma máscara para delimitar a área do dente a ser observada.

A forma da superfície, o contorno, a translucidez e a cor contribuem para um resultado esteticamente agradável das restaurações odontológicas (RUSSELL; GULFRAZ; MOSS, 2000).

Os dentes policromáticos apresentam variações de matiz, croma e luminosidade. Apesar de dentes monocromáticos serem encontrados, geralmente, nuances policromáticas são mais atraentes ao olhar estético. Na avaliação das características policromáticas o fator idade pode ser levado em consideração, pois pode acarretar em aumento do croma e da translucidez e diminuição da luminosidade. A sutileza da variação de cor, geralmente, não é percebida para uma distância de conversação. É a dentina que concede toda cor ao dente. O esmalte é como uma estrutura de fibras ópticas que conduz a luz através de capilares levando a cor da dentina subjacente (FAHL; DENEHY, 1995).

Além da cor, propriamente dita, os dentes naturais apresentam outras características como translucidez, textura e brilho da superfície. Quando a reprodução de algum destes fatores falha o resultado final da restauração é altamente afetado, dando uma aparência não natural a restauração, mesmo quando a cor é muito semelhante ao dente de referência (DERBABIAN et al., 2001).

A estabilidade de cor é crucial para o sucesso de qualquer material restaurador, a incompatibilidade de cor é uma das maiores causas para substituição de restaurações (DOUGLAS, 2000).

2.1.3 observador

A visão tem sido considerada a modalidade sensorial mais valorizada, sendo provavelmente o sentido mais importante dos primatas e por esta razão foi o sentido mais intensamente estudado (DAWKINS, 1996).

No entanto, a visão é mais uma das várias respostas dos organismos à luz visível que envolve um intervalo muito restrito do espectro eletromagnético. O espectro visível ocupa uma porção considerável da banda de comprimento de onda responsável por alguns processos fotobiológicos importantes, tais como, fotossíntese de bactérias (de 400 a 900 nm), fotossíntese de plantas verdes (de 400 a 700 nm), fotoperiodismo de insetos (de 350 a 520 nm) e, claro, a visão humana (de 380 a 780 nm).

A formação do órgão e a acuidade visual dos diferentes seres vivos são resultados da lei da seleção natural e da adaptação ao meio ambiente. O olho humano é um órgão relativamente bem adaptado ao seu meio, ou seja, à atmosfera iluminada pela luz solar (DAWKINS, 1996).

A estrutura do olho humano é formada basicamente pelos seguintes componentes: córnea, lente, humor aquoso, corpo vítreo, estrutura fina da retina, fóvea, fotoreceptores, nervo óptico, membrana vascular e pigmentada, globo ocular, papila (disco óptico), músculo ciliar, íris e conjuntiva ocular (WYSZECKI; STILES, 1982).

Thomas Young fez duas importantes declarações, a primeira é que a retina humana tem três canais de entrada diferentemente sensíveis (os cones), caracterizando a tricromacia da visão de cor humana e a segunda, com trabalhos associados aos físicos Helmholtz e Maxwell, incluem uma percepção profunda de como o sistema visual atua.

A parte central da retina, a fóvea retiniana com medida angular de aproximadamente $1,5^\circ$, é formada por cerca de 7 milhões de células, os cones, elementos sensíveis à cor e ativos na presença de luz intensa. A visão colorida devido aos cones, é chamada de **fotópica**. Para determinar o mecanismo primário de visão de cor fisiológica, isto é, o espectro de absorção de fotopigmento de cone não é simples. Medições fisiológicas mostraram que os cones da retina humana contêm três fotopigmentos diferentes (azul, vermelho e verde) que são distribuídos mais ou menos aleatoriamente no mosaico retinal de receptor, com concentrações diferentes (grifo nosso).

Envolvendo a fóvea, existem aproximadamente 100 milhões de outras células, os bastonetes, elementos insensíveis à cor, mas, sensíveis às imagens em preto e branco e ativos diante de uma luz fraca. Esses elementos são responsáveis pela visão conhecida como **escotópica**. Como os cones estão concentrados no centro da retina e os bastonetes na parte externa (periferia da retina), sob baixa iluminação, o olho só consegue detectar formas não muito nítidas e destituídas de cores (grifo nosso).

Cor é um aspecto integral da experiência visual e um dos muitos processos complexos que ocorrem no cérebro. A realização da cor resulta de três processos: estimulação, sensação e percepção. Estes três processos não são sinônimos, mas distinguem funções que ocorrem durante a detecção da cor. A explicação da cor envolve vários campos da ciência (isto é, física, química, fisiologia e psicologia) e inclui a ciência da psicofísica, pela qual energia radiante (luz) remete a uma experiência psicológica (cor) (AHMAD, 1999).

O gráfico 2.4 mostra as curvas de resposta espectral do olho humano normal para a visão fotópica e a visão escotópica.

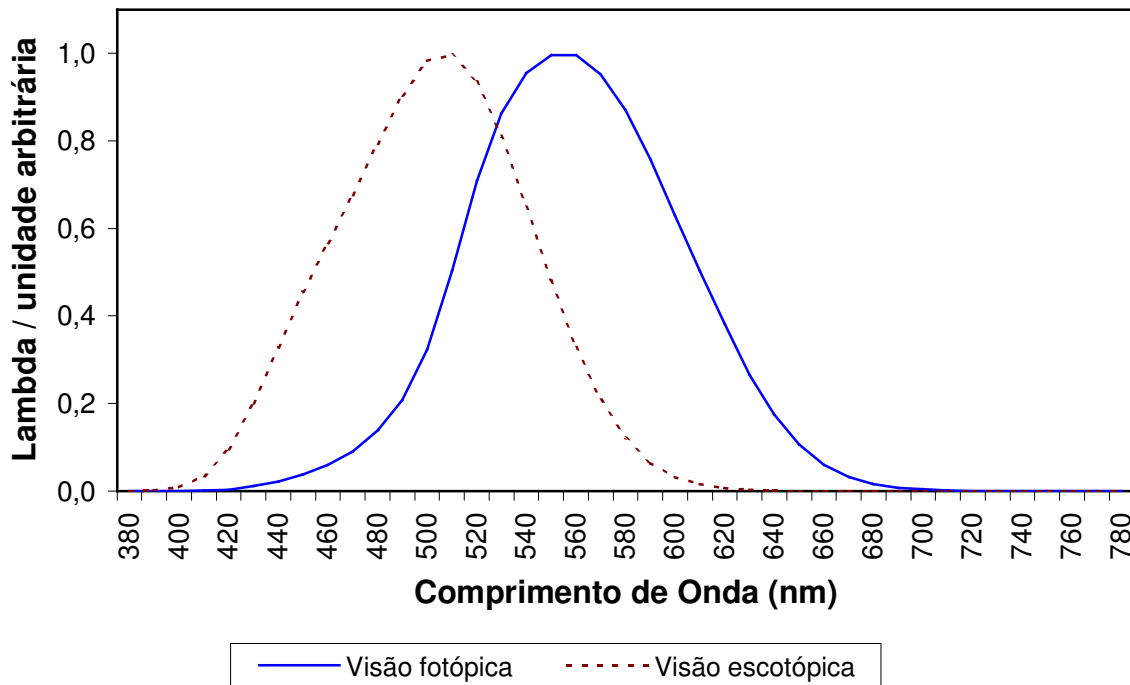


Gráfico 2.4 – Curvas da resposta espectral do olho humano normal

A percepção da cor é uma resposta psico-física ao estímulo luminoso e altera de observador para observador, isto é, a percepção da cor é resultante das respostas fisiológicas e psicológicas ao estímulo de energia radiante, e qualquer alteração destas respostas, como fadiga, envelhecimento, emoções, condições de iluminação, metamerismo, exposição prévia, a posição objeto/iluminação ou outros fatores não controlados, comprometem o resultado. Apesar destas limitações o olho humano é um detetor fantástico e insuperável, capaz de identificar diferenças de cor muito pequenas entre dois objetos, a percepção de cor e a aceitação da diferença de cor detectada podem variar consideravelmente de observador para observador e no mesmo observador com o passar do tempo; no entanto, a resposta é subjetiva e desafia as habilidades fisiológicas e psicológicas antes da científica (DANCY et al., 2003; DOUGLAS; BREWER, 1998; JOHNSTON; KAO, 1989; OKUBO et al., 1998; RUSSELL; GULFRAZ; MOSS, 2000; YAP et al., 1999).

Uma percepção individual do mundo é significativamente relatada para a translação do cérebro da experiência visual, enquanto que as definições fundamentais de cor – quantitativa e qualitativa – são sucintas (AHMAD, 1999).

A despeito do fato de que cor é uma percepção e suas variações individuais, algumas regras fundamentais podem ser elaboradas, se um sistema de medição de cor é capaz de especificar cores pode ser trabalhado, então, cores com as mesmas especificações numéricas parecerão ao observador cores similares.

O olho humano é capaz de detectar diferenças muito pequenas de cor, mas comunicar sua magnitude e natureza é complexa, limitada e subjetiva (OKUBO et al., 1998).

Na fisiologia do olho humano, o mecanismo de percepção de cor não leva mais que 5 segundos para perceber a semelhança de tonalidade. Para selecionar uma tonalidade em um curto período é essencial uma boa discriminação visual entre as unidades de tonalidade. O olho humano não consegue perceber isoladamente a luminosidade ou saturação ou matiz. Considerando este fato, é difícil entender ou justificar o procedimento de seleção de tonalidade através de “dimensão por dimensão”, este método pode confundir o observador, podendo até resultar em um efeito oposto ao esperado, pois é muito mais importante a interação das três dimensões para que o observador tenha uma impressão de cor geral do objeto observado (PARAVINA; POWERS; FAY, 2001).

A habilidade de distinguir cores não é uniforme entre observadores, portanto, estes devem ser treinados utilizando um método padronizado para discriminação de cor que deve ser repetido inúmeras vezes (RUSSELL; GULFRAZ; MOSS, 2000).

Depois das recomendações da CIE quanto aos iluminantes, a segunda maior recomendação em 1931 foi a do observador padrão que é representativo da média da população com visão de cor normal.

Em 1931 as funções do observador padrão $x(\lambda)$, $y(\lambda)$ e $z(\lambda)$ foram definidas para o intervalo de comprimento de onda de 380 nm a 780 nm, com passos de 5 nm.

Em 1971, a CIE uma nova tabela foi recomendada, que é essencialmente a mesma tabela de 1931, mas contém valores interpolados e foi estendida para o intervalo de comprimento de onda de 360 nm a 830 nm, com passo de 1 nm, os valores foram também ligeiramente alisados para eliminar pequenas irregularidades (WYSZECKI; STILES, 1982).

A estrutura do olho humano é um pouco diferente na região central da retina, a fóvea, com relação às regiões vizinhas. Os experimentos do observador padrão de 1931 foram desenvolvidos usando somente a fóvea, que cobre cerca de 2° do ângulo de visão. Em 1964 a CIE recomendou o uso de um observador padrão diferente para suplementar o observador de 1931, considerando uma área de 10° na retina do olho do observador. No entanto, a diferença entre os dois observadores não é grande. Esse conjunto alternativo de funções de observador padrão foi denotado por $x_{10}(\lambda)$, $y_{10}(\lambda)$ e $z_{10}(\lambda)$ como um suplemento do observador padrão de 1931 (WYSZECKI; STILES, 1982).

Existe uma importante diferença entre visão de cor normal e discriminação de cor visual. A discriminação de cor independe da existência ou não de algum defeito de visão de cor, um indivíduo incapaz de perceber algumas cores pode ser capaz de distinguir diferenças (BARRETT et al., 2002).

As distribuições espectrais das três funções do observador CIE padronizadas em 1931 para o campo de visão de 2° e para as funções suplementares, recomendadas pela CIE em 1964, para o campo de visão de 10° estão apresentadas no gráfico 2.5.

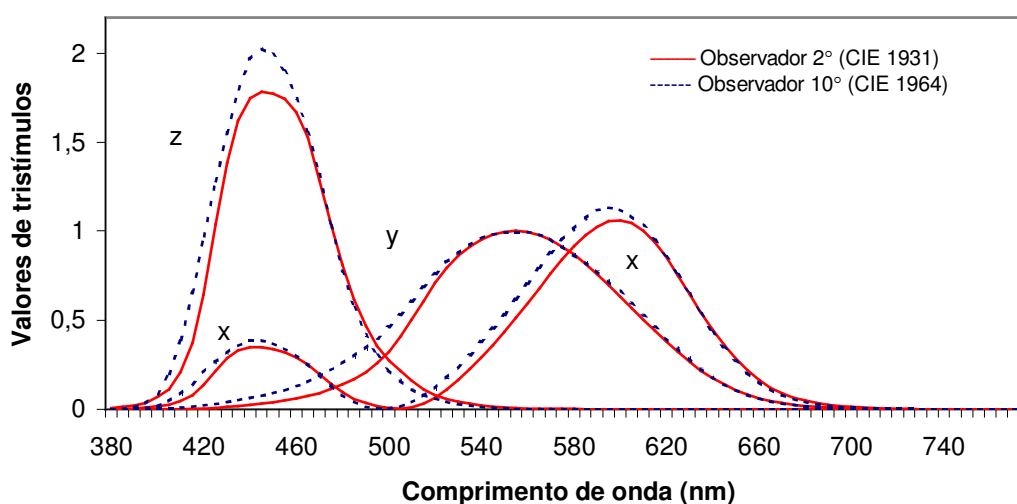


Gráfico 2.5 – Funções dos observadores padrão da CIE

Historicamente, Newton foi o primeiro a relatar experimentos com um prisma de vidro, luz do sol e outras fontes radiantes. Estes experimentos iniciais deram origem a espectroscopia e espectrofotometria, estimulando o interesse em se construir instrumentos para explorar a significância do espectro visível e também das regiões do ultravioleta e do infravermelho.

Por muitos anos, a espectrofotometria foi desenvolvida para atuar no campo da comparação monocromática. Os espectrofotômetros contemporâneos são sistemas integrados para examinar ou analisar fontes luminosas e materiais como uma função de informação espectral (DRISCOLL, 1965).

Estudos demonstraram que uma fonte ideal de energia radiante para uso em espectrofotômetros deve ter intensidade uniforme em toda região de sua aplicação. Em geral, a fonte de filamento de tungstênio tem fornecido uma resposta apropriada na região do visível, mas é inadequada na região do ultravioleta. No entanto, a curva de refletância representa a porcentagem da luz refletida, a distribuição da potência espectral da luz que ilumina a amostra na medição não é importante, mas deve conter todos os comprimentos de onda do espectro visível e em quantidade suficiente para gerar um sinal precisamente detectável (DRISCOLL, 1965).

A energia radiante da fonte de radiação interagindo com a amostra de material ou com a instrumentação ou ainda com o ambiente associado pode produzir condições indesejadas de espalhamento, fluorescência ou fosforescência, além de ruídos elétricos ou mecânicos. A eliminação destas condições é o maior desafio associado com os projetos de espectrofotômetros.

O desempenho de um espectrofotômetro é uma função de numerosos parâmetros instrumentais. A repetibilidade e a precisão do comprimento de onda, a repetibilidade fotométrica, a largura da fenda, linearidade e resolução espectral, o intervalo dinâmico linear e a flutuação são particularmente significantes (DRISCOLL, 1965).

O coração de um espectrofotômetro é o seu monocromador, que seleciona a fonte de radiação em bandas discretas de comprimento de onda.

O método de seleção pode ser obtido pela absorção seletiva ou pelas propriedades de transmissão de filtros ou pelo emprego de propriedades dispersivas de prismas e grades de difração, cada método tem suas vantagens e desvantagens. Os sistemas ópticos podem ser por feixe simples ou feixe duplo ou feixe por fenda (OWEN, 1996).

A vantagem de se usar dados de transmitância ou refletância espectral para se obter a cor de um objeto é que estes dados espectrais podem ser calculados para diferentes iluminantes e observadores padrões e computados para vários sistemas de espaço de cor.

A designação “colorímetro” é usada para várias classes de instrumentos que diferem amplamente em projeto e uso. Dados de um espectrofotômetro fornecem informações colorimétricas mais completas de um corpo de prova; estes instrumentos podem ser classificados como um colorímetro, mas usualmente não são considerados como tal. A palavra colorímetro é freqüentemente aplicada a uma classe de instrumentos descritos mais precisamente como medidores de diferença de cor, pois medem as diferenças de cor com mais precisão do que medem cores (HAMMOND, 1965).

A maioria dos colorímetros requer apenas um medidor preciso e a incerteza é pouco significativa, os instrumentos mais usados no controle de produção têm o objetivo de apenas aceitar ou rejeitar a cor de um produto.

A utilização de instrumentos para medição de cor tem a vantagem de eliminar o aspecto subjetivo da avaliação visual de cor. A quantificação de cor dos dentes extraídos e de materiais restauradores tem sido realizada com bastante precisão por instrumentos fotométricos e colorimétricos (DOUGLAS; BREWER, 1998; YAP et al., 1999).

Alguns colorímetros demonstraram repetibilidade mas não exatidão, este fato pode muito provavelmente ser devido a combinação de alguns fatores como variabilidade inerente do material ensaiado, inabilidade do instrumento em medir objetos translúcidos, dificuldade do operador em controlar estes e outros fatores (OKUBO et al., 1998).

O olho humano é capaz de detectar heterogeneidades e variações em pequenas superfícies, já os instrumentos como colorímetros e espectrofotômetros são projetados para medir cor por estímulo integrado de uma superfície plana, este fato pode acarretar uma fonte de erro caso a superfície a ser analisada apresente irregularidades de cor, de superfície ou for composta por múltiplas cores, todas serão integradas na área de abertura e serão apresentados os parâmetros de uma única cor, resultando em engano na identificação de cor, outra fonte de erro pode ser causada por problemas mecânicos. Dada a complexidade da cor do dente, as variações de tonalidade e de translucidez de cada dente é difícil restringir uma pequena área e selecionar uma tonalidade compatível para restaurações (BARRETT et al., 2002).

Avaliações colorimétricas através de medições fotométricas estão sujeitas a várias fontes de erro, que podem ser sistemáticos e aleatórios.

Os erros sistemáticos tendem a afetar a incerteza do instrumento e são resultantes de fatores como exatidão das técnicas de calibração, comprimento de onda, largura de banda, linearidade do detetor, desempenho do filtro, fluorescência e variações nas geometrias do corpo de prova.

Os erros aleatórios tendem a afetar a repetibilidade do instrumento e, em geral, não são facilmente detectados, estão associados ao ruído de fundo, flutuação da rede elétrica, polarização e preparação da amostra. É grande a variabilidade da incerteza dos colorímetros, portanto, é grande a diferença esperada dos valores obtidos entre colorímetros, mesmo estando sob condições controladas (SEGHI; JOHNSTON; O'BRIEN, 1989).

A calibração dos instrumentos ópticos é um importante fator que deve ser observado para garantir a estabilidade e confiança dos dados obtidos, é recomendável que uma calibração oficial seja realizada periodicamente e que checagens sistemáticas, antes do uso, sejam realizadas utilizando matérias de referência, preferencialmente calibrados. Tanto os espectrofotômetros como os colorímetros podem ser calibrados através de materiais e padrões de referência, que podem ser recomendados e fornecidos pelo próprio fabricante do instrumento.

O difusor refletindo perfeitamente é recomendado como o padrão de refletância para medição de cor de superfície e é definido como difusor isotrópico ideal com uma refletância igual à unidade.

O padrão secundário de fator de refletância de referência é o disco plano de sulfeto de bário (BaSO_4), que oferece boas características de refletância difusa (SCHANDA, 1998).

Recentemente os padrões de fator de refletância secundários BaSO_4 foram superados pelos padrões de branco, disponíveis comercialmente sob a marca Spectralon, são robustos e podem ser usados por um período considerável antes de manutenção, existem também amostras coloridas de Spectralon (SCHANDA, 1998).

Outros padrões de cor secundários são os azulejos de cerâmica branca e colorida, são muito robustos e podem ser limpos com relativa facilidade, mas são usualmente brilhantes, podem ser usados somente para checar a estabilidade da calibração, no entanto, variação de temperatura pode ser uma fonte de erro, pois muitos dos azulejos de cerâmica são termocrômicos (SCHANDA, 1998).

Para os espectrofotômetros existem ainda vários padrões de referência que podem calibrar tanto a escala de comprimentos de onda (ex.: filtros de didímio ou de hólmio, que apresentam picos de absorvância em comprimentos de onda característicos), como a escala de transmitância (ex.: filtros de densidade neutra) ou a escala de refletância (ex.: placas com depósito de óxido de sulfeto de bário e azulejos cerâmicos). Importantes características que os padrões de referência para calibração instrumental devem ter são a estabilidade, a durabilidade e a facilidade de reprodução (OWEN, 1996).

2.1.4 sistemas de espaço de cor

A comunicação da cor é muito subjetiva e é uma preocupação antiga, na tentativa de minimizar os problemas decorrentes desta comunicação foram criados inúmeros sistemas de cor (BILLMEYER; SALTZMAN, 1981).

Com o objetivo de ilustração são citados, a seguir, alguns sistemas baseados em amostras físicas.

- Organização aleatória

São várias coleções de amostras criadas para ilustrar a cor de um dado produto:

- Cartões de tonalidade (*seasonal fashion*)
- Cartões de cor (telefonía)
- Catálogos de fabricantes

É impossível deduzir as cores de amostras intermediárias àquelas apresentadas, fato que pode se tornar um importante defeito.

- Organização baseada em corante

- Fabricantes de tinta (parede ou automobilística)

É uma ampla variedade de amostras coloridas pela mistura sistemática de corantes entre si ou com branco ou preto ou cinza.

- Sistema Pantone

É um sistema baseado em mistura sistemática de corantes, muito usado em tintas para impressão de artes gráficas. Permite interpolação entre as amostras.

- Organização baseada em leis de mistura de cor

- Padrões de cor de Ridgway (1912)
- Sistema de Ostwald (1931)
- *Color Harmony Manual* (1944)

- Organização baseada em passos de percepção visual iguais

o Sistema Munsell (1929)

É uma coleção de amostras pintadas criada para representar intervalos iguais de percepção visual entre amostras adjacentes, são apresentadas todas as possíveis cores em termos de três coordenadas:

- *Munsell Hue* – qualidade de cor descrita por palavras (azul, verde, vermelho, etc.).
- *Munsell Value* – qualidade pela qual uma cor pode ser classificada por sua luminosidade, em uma escala do branco ao preto (claro ao escuro).
- *Munsell Cromo* – qualidade que descreve o grau de saturação de uma cor (fraco ao forte).

A Notação de Munsell denota a posição de cada amostra e consiste de três símbolos representando Hue, Value e Cromo (nesta ordem).

Uma das vantagens do Sistema Munsell é que sua notação não é limitada pelas amostras existentes, além de que, as amostras do Livro de Cor de Munsell são preparadas com tolerâncias muito próximas.

o Sistema de Escalas de Cor Uniforme da OSA

É um catálogo de cores exibindo espaço visual uniforme organizado pelo Comitê de Escalas de Cor Uniforme da *Optical Society of America* (OSA) e conta com 558 cores.

o Sistema de Cor Natural

É um sistema ordenado de cor desenvolvido na Suécia e adotado como um padrão sueco.

- Croma Cosmos 500

O Instituto de Pesquisas de Cor do Japão organizou uma coleção de 5000 amostras baseadas no Sistema Munsell.

Em 1931 a CIE introduziu o elemento de padronização de iluminação e observador e a metodologia para derivar números que fornecessem uma medida de uma cor vista sob uma fonte padrão de iluminação por um observador padrão. A seguir estão apresentados os sistemas de cor recomendados pela CIE, os chamados sistemas ordenados de cor ou espaços de cor.

2.1.4.1 sistema de cor CIE de 1931

O sistema de cor CIE de 1931 considera a luz transmitida ou refletida de um objeto, com uma determinada curva de transmitância $T(\lambda)$ ou de refletância $R(\lambda)$, produzida pela potência espectral de um determinado iluminante $S(\lambda)$ e que atinge o olho de um observador padrão $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$.

Os valores são denominados de tristímulos X, Y, Z podendo ser calculados tanto para o observador padrão CIE de 1931 (Observador 2°) como para o observador padrão suplementar CIE de 1964 (Observador 10°), para um determinado iluminante padrão (exemplos: A ou D₆₅) e são calculados pelas seguintes equações:

$$\left. \begin{aligned} X &= \sum S(\lambda) R(\lambda) x(\lambda) \\ Y &= \sum S(\lambda) R(\lambda) y(\lambda) \\ Z &= \sum S(\lambda) R(\lambda) z(\lambda) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

O valor de tristímulo Y tem um significado especial, pois relata a luminosidade da amostra.

É possível mostrar os valores de tristímulos graficamente, projetando o espaço de cor em um plano, chamado diagrama de cromaticidade, para tanto devem ser calculadas as coordenadas de cromaticidade x, y, como segue:

$$\left. \begin{aligned} x &= X / (X+Y+Z) \\ y &= Y / (X+Y+Z) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

As escalas de cor CIE originais baseadas nos valores de tristímulos X, Y, Z e coordenadas de cromaticidade x, y não são visualmente uniformes. Conseqüentemente, diferenças de cor são raramente calculadas diretamente de diferenças em x, y e Y.

Cada escala de cor subsequente foi baseada nos valores que promovem algum grau de uniformidade para que diferenças de cor fossem mais comparáveis. Para evitar confusão, diferenças de cor só podem ser comparadas quando são obtidas para um mesmo sistema de cor. Não há um fator simples que possa ser usado para converter exatamente as diferenças de cor de um sistema de cor em algum outro.

A não uniformidade visual do diagrama CIE apresenta distorções difíceis de serem interpretadas, por esta razão, matemáticos organizaram e entenderam as implicações dos termos e consideraram separadamente dois tipos de transformações: a linear e a não-linear.

Após várias tentativas, somente em 1960, chegou-se ao diagrama de cromaticidade u, v (transformação linear), que pode ser facilmente organizado, mas o ponto branco ficou muito afastado do centro. As equações para a transformação são relativamente simples, como segue:

$$\left. \begin{aligned} u &= 4X / (X + 15Y + 3Z) = 4x / (-2x + 12y + 3) \\ v &= 6Y / (X + 15Y + 3Z) = 6y / (-2x + 12y + 3) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

As pesquisas continuaram e o diagrama u, v de 1960 foi superado pelo diagrama de escala de cromaticidade uniforme u', v' de 1976. Com as seguintes equações para transformação:

$$\left. \begin{aligned} u' &= u = 4X / (X + 15Y + 3Z) = 4x / (-2x + 12y + 3) \\ v' &= 1,5v = 9Y / (X + 15Y + 3Z) = 9y / (-2x + 12y + 3) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ou pela transformação inversa:

$$\left. \begin{aligned} x &= 27u' / (18u' - 48v' + 36) \\ y &= 12v' / (18u' - 48v' + 36) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

2.1.4.2 espaço de cor uniforme CIE L*a*b* de 1976

A transformação não linear mais importante do espaço CIE foi desenvolvida por E.Q. Adams em 1942, seus estudos sobre a teoria de visão de cor tornaram-se a base da recomendação da CIE em 1976. Outras transformações não lineares só apresentam interesse histórico. O espaço cromático de Adams foi usado amplamente, por causa de sua equação de diferença de cor. Nickerson publicou em 1950 tabelas das Notações de Munsell que facilitaram muito o uso do espaço de Adams conhecido como Espaço de Adams-Nickerson ou ANLAB (BILLMEYER; SALTZMAN, 1981).

Em 1973 MacAdam sugeriu à CIE que o Espaço ANLAB pudesse ser modificado para facilitar os cálculos, as modificações realizadas foram recomendadas oficialmente em 1976 e foi denominado como Espaço de Cor CIE L*a*b* de 1976, com a abreviação oficial de CIELAB ¹ (1978, apud BILLMEYER; SALTZMAN, 1981).

¹ Commission Internationale de l'Eclairage – CIE. Recommendations on uniform color spaces, color-difference equations, psychometric color terms, Supplement n. 2 to CIE Publications n. 15, (E-1.3.1) 1971, (TC-1.3) 1978, Bureau Central de la CIE, Paris, 1978.

A transformação dos valores de tristímulos X, Y, Z em valores de L*a*b* é relativamente simples, como mostram as seguintes equações:

$$\left. \begin{aligned} L^* &= 116 (Y / Y_n)^{1/3} - 16 \\ a^* &= 500 [(X / X_n)^{1/3} - (Y / Y_n)^{1/3}] \\ b^* &= 200 [(Y / Y_n)^{1/3} - (Z / Z_n)^{1/3}] \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$X / X_n; Y / Y_n; Z / Z_n > 0,01 \quad (7)$$

Os valores de tristímulos X_n , Y_n , Z_n definem a cor do estímulo da cor de um objeto normalmente branco, que é usualmente dado pela potência radiante espectral de um dos iluminantes padrão CIE refletido no olho do observador por um difusor de reflexão perfeita. Sob estas condições X_n , Y_n , Z_n são os valores de tristímulos do iluminante padrão, com Y_n igual à 100 (WYSZECKI; STILES, 1982).

Um dos principais aspectos deste sistema de cor é a sua organização em um espaço de cor tridimensional aproximadamente uniforme, no qual os elementos são igualmente espaçados com base na percepção de cor visual.

Embora nenhum sistema numérico seja visualmente perfeito, este sistema de espaço de cor fornece informações sobre a localização da cor do objeto no espaço de cor e a magnitude da diferença de cor entre dois objetos. Mudanças iguais em qualquer uma das três coordenadas representam mudanças visualmente similares.

Devido à teoria de cores oponentes, uma das coordenadas (a^*) pode ser a parte vermelha ou verde da cor e a outra coordenada (b^*) amarela ou azul. Esta teoria estabelece que a sensação de cor origina-se pela adição ou subtração dos tristímulos que são enviados ao cérebro.

A luminosidade L^* pode ter valores entre 0 e 100 (do preto ao branco) e as coordenadas de cromaticidade a^* e b^* podem ter valores entre -80 e $+80$ (BERGER-SCHUNN, 1994).

A diferença de cor que resulta do espaço de cor CIE $L^*a^*b^*$ está descrita como segue (as coordenadas de espaços de cor e as diferenças de cor resultantes são marcadas com um asterisco):

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (8)$$

A magnitude de ΔE^*_{ab} informa o tamanho da diferença total (figura 2.1), mas não fornece indicação do caráter da diferença de cor, isto é, não indica a quantidade relativa e direção das diferenças de luminosidade, croma e matiz. Estas informações só podem ser obtidas se cada uma das componentes que formam a ΔE^*_{ab} forem analisadas separadamente (BERGER-SCHUNN, 1994).

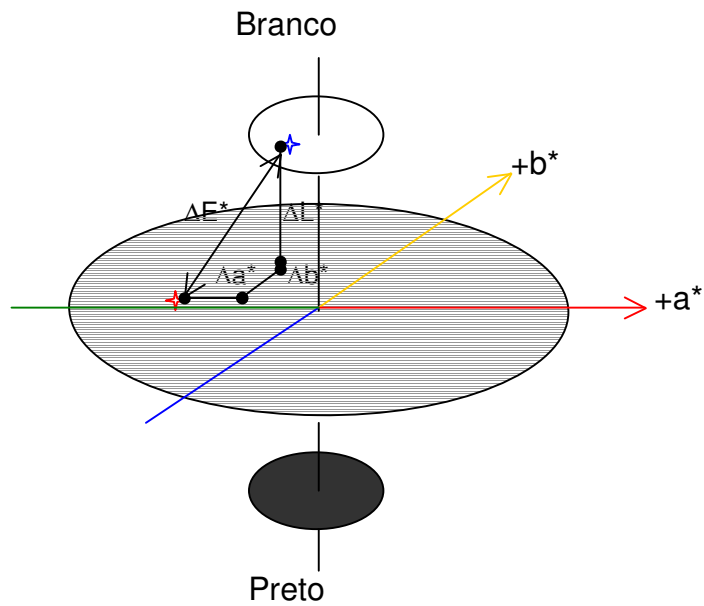


Figura 2.1 – Diferença de cor no Espaço de Cor CIE L*a*b*

A direção da diferença de cor é descrita pelas magnitudes e sinais algébricos das componentes ΔL^* , Δa^* e Δb^* :

$$\left. \begin{aligned} \Delta L^* &= L^*_1 - L^*_0 \\ \Delta a^* &= a^*_1 - a^*_0 \\ \Delta b^* &= b^*_1 - b^*_0 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

onde L^*_0 , a^*_0 e b^*_0 referem-se à medição inicial ou controle e L^*_1 , a^*_1 e b^*_1 referem-se à medição final.

Os sinais algébricos das componentes ΔL^* , Δa^* e Δb^* têm os seguintes significados aproximados:

ΔL^* positivo	→ mais claro
ΔL^* negativo	→ mais escuro
Δa^* positivo	→ mais vermelho (menos verde)
Δa^* negativo	→ mais verde (menos vermelho)
Δb^* positivo	→ mais amarelo (menos azul)
Δb^* negativo	→ mais azul (menos amarelo)

A figura 2.2 mostra a representação das diferenças de cromaticidade, para as coordenadas a^* e b^* .

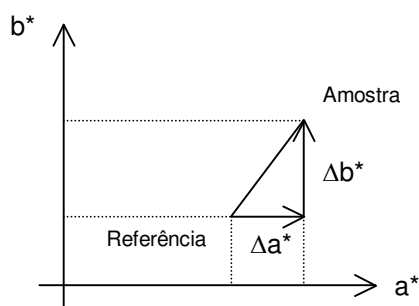


Figura 2.2 – Diferenças das coordenadas a^* e b^*

Para julgar a direção da diferença de cor entre duas amostras em uma mesma situação ou entre uma mesma amostra em duas situações diferentes é usual calcular seus ângulos de matiz h_{ab} CIE de 1976 e cromas C^*_{ab} CIE de 1976 como segue:

$$h_{ab} = \tan^{-1}(b^* / a^*) \quad (10)$$

$$C^*_{ab} = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (11)$$

Diferenças do ângulo de matiz Δh_{ab} entre a medição inicial e a final podem ser correlacionadas com diferenças em seu matiz percebido visualmente, exceto para cores muito escura. Diferenças do cromas ΔC^*_{ab} (figura 2.3) podem ser similarmente correlacionadas com diferenças de cromas percebidas visualmente.

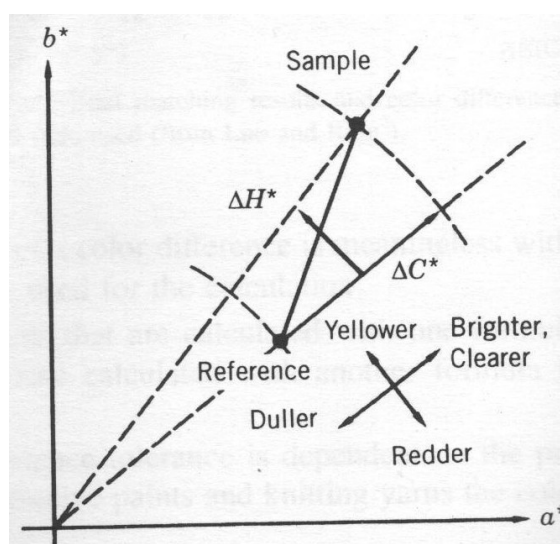


Figura 2.3 – Diferença de cromas e diferença de matiz (BERGER-SCHUNN, 1994)

Para julgar as contribuições relativas de diferenças de luminosidade, croma e matiz para a diferença de cor total entre duas amostras é usual calcular a diferença de matiz ΔH^*_{ab} CIE de 1976:

$$\Delta H^*_{ab} = [(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*_{ab})^2]^{1/2} \quad (12)$$

onde ΔE^*_{ab} é calculada como a equação (8) e C^*_{ab} é calculado como equação (11), então obtém se:

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta C^*_{ab})^2 + (\Delta H^*_{ab})^2]^{1/2} \quad (13)$$

contem termos mostrando as contribuições relativas de diferença de luminosidade ΔL^* , diferença de croma ΔC^*_{ab} e diferença de matiz ΔH^*_{ab} para a diferença de cor total ΔE^*_{ab} .

2.1.5 opacidade

A opacidade é resultado do espalhamento da luz refletida muitas vezes ao atravessar o material e sua magnitude depende da diferença de índice de refração dos componentes do material e do número e tamanho das partículas dispersas. Normalmente, a opacidade do material é medida para se obter a propriedade inversa, a translucidez.

Para medição de cor de amostras translúcidas é fundamental o controle da cor de fundo para produção de resultados uniformes e consistentes. A cor de fundo pode influenciar a aparência da amostra tornando-a mais escura ou mais clara, portanto, o material do fundo deve ser neutro e de fácil duplicação (ANUSAVICE; ZHANG; MOORHEAD, 1994; GROH; O'BRIEN; BOENKE, 1992; O'BRIEN; GROH; BOENKE, 1990).

A restauração de um dente anterior deve ser cosmeticamente satisfatória, isto é, visualmente discreta, mas este resultado só é obtido quando o material restaurador apresentar translucidez e cor compatíveis com o esmalte do dente. A sensação de profundidade é um atributo da translucidez que dá ao material restaurador uma aparência tênue quando contrastado ao dente. (CRISP; ABEL; WILSON, 1979).

A cor dos dentes vitais é resultante da combinação da luz refletida e espalhada na superfície do esmalte e na dentina. Sendo a dentina a primeira fonte de cor que é modificada pela translucidez e pela espessura do esmalte (JOHNSTON; KAO, 1989; SEGHI; JOHNSTON; O'BRIEN, 1986).

Medidas de cor de materiais translúcidos são menos exatas que as de materiais opacos, a dificuldade em controlar todas as variáveis envolvidas faz a comparação de estudos diferentes com avaliações visuais ou instrumentais extremamente difícil, pois os resultados dos dois tipos de avaliação apresentam inconsistências (OKUBO et al., 1998).

A opacidade de materiais translúcidos depende da qualidade da superfície. Superfície ásperas ou rugosas aumentam as reflexões aleatórias (INOKOSHI et al., 1996).

A luminosidade também pode ser influenciada pela cor de fundo devido a espessura do corpo de prova (LEE; NATHANSON; GIORDANO, 2001).

Devido a translucidez, quanto menor a espessura do corpo de prova do material restaurador maior a influência da cor de fundo no resultado final (SEGHI; JOHNSTON; O'BRIEN, 1986).

Mascarar a aparência de materiais subjacentes, como cimento e dentina, depende do poder de cobertura do material utilizado, que pode ser calculado a partir da razão de contraste (ANUSAVICE; ZHANG; MOORHEAD, 1994).

Fundos preto e branco são necessários para o cálculo de opacidade. O fundo preto corresponde, na situação clínica, à cavidade oral das restaurações classe III ou IV (BUCHALLA et al., 2002).

A razão de contraste (RC) pode ser calculada a partir do valor de tristímulo Y (refletância) de um corpo de prova da amostra em formato de lamina com 1 mm de espessura e é a razão de uma baixa refletância de fundo, correspondente à lamina com fundo preto (Y_P), por uma alta refletância de fundo, correspondente à lamina com fundo branco (Y_B) (ANUSAVICE; ZHANG; MOORHEAD, 1994; BUCHALLA et al., 2002).

$$RC = Y_P / Y_B \quad (14)$$

Os valores de Y podem ser convertidos a partir dos valores de luminosidade (L^*) (equação (6)) para a superfície com os dois fundos, onde Y_n é o valor de tristímulo para um estímulo de cor com fundo branco, sendo considerado igual a 100, obtendo assim os valores de Y_P e de Y_B para a amostra com fundo preto e com fundo branco, respectivamente.

Utilizando diretamente os valores de luminosidade (L^*), a equação (14) fica:

$$RC = [(L^*_P + 16) / (L^*_B + 16)] \quad (15)$$

onde L^*_P são os valores de luminosidade com fundo preto e L^*_B são os valores de luminosidade com fundo branco.

Crisp, Abel e Wilson (1979) apresentaram melhoramentos do método tradicional de avaliação da opacidade de materiais restauradores, no entanto, o método de medição de opacidade apresentou a desvantagem de ter duas correções, uma com relação ao valor de opacidade do fundo branco com refletância de 70% e outra no cálculo da opacidade de material com espessura diferente da espessura padrão de 1 mm.

2.2 Revisão da literatura odontológica

A primeira etapa da revisão da literatura odontológica foi baseada principalmente em artigos que tratavam de assuntos ligados à seleção de tonalidade de materiais restauradores odontológicos e posteriormente em artigos que discutiam os limites de perceptibilidade e de aceitabilidade.

Recentemente a ênfase social tem cobrado aspectos mais estéticos e semelhança de tonalidade dos procedimentos de dentística restauradora estética, portanto, o conhecimento objetivo de visão de cor é essencial para obtenção de resultados estéticos e que apresentem muita semelhança aos dentes naturais (BARRETT et al., 2002).

Verificou-se que vários autores estudaram a seleção e o controle da tonalidade durante os procedimentos de restaurações estéticas, todos com o objetivo básico de reproduzir a cor de estruturas dentais perdidas e concluíram que há muito tempo este tópico tem sido fonte de preocupação para os profissionais em dentística restauradora (BANGTSON; GOODKIND, 1982; DEBARBIAN et al., 2001; FRUITS; DUNCANSON; MIRANDA, 1997; O'BRIEN et al., 1991; PARAVINA; POWERS; FAY, 2001; SEGHI; HEWLETT; KIM, 1989; SEGHI; JOHNSTON; O'BRIEN, 1986).

A preocupação em selecionar a cor precisa de um dente é um problema muito antigo enfrentado pelos dentistas. Preocupação que teve como precursor Clark em 1931, desde então, muitos autores continuam contribuindo para a solução destes problemas, aprimorando o entendimento da subjetividade da percepção e da interpretação da cor de dentes naturais (DEBARBIAN et al., 2001).

Bangtson e Goodkind (1982) constataram que é complexo selecionar a cor exata dos dentes naturais do paciente, devido às diferenças individuais de percepção da cor e de habilidade de compará-la.

Barrett et al. (2002) acreditaram que o reconhecimento de cor e a habilidade de seleção de tonalidade podem ser aprendidos e que estas habilidades podem ser melhoradas com a prática. Os autores propõem que exercícios práticos repetitivos para acuidade de cor dentro do programa de educação dental possam beneficiar o dentista e o paciente na avaliação de cor em dentística restauradora estética, tornando-os mais críticos e instruídos.

Devido ao aumento da demanda por dentística estética, os materiais restauradores odontológicos têm sido minuciosamente pesquisados, fato que contribuiu para o rápido desenvolvimento de novos materiais modificação ou até substituição de materiais já existentes no mercado (MUTLU-SAGESEN et al., 2001; YAP, 1998).

Muitos fatores podem influenciar o resultado final comprometendo a semelhança esteticamente aceitável, um deles é a estabilidade de cor dos materiais restauradores estéticos que é crítica, pois quando este fator falha, a restauração executada, pode necessitar de uma substituição antecipada (FRUITS; DUNCANSON; MIRANDA, 1997; MUTLU-SAGESEN et al., 2001; O'BRIEN et al., 1991; SEGHI; HEWLETT; KIM, 1989).

Problemas de metodologia são inerentes à evolução da mudança de cor *in vitro*, por que não é fácil reproduzir as condições exatas do ambiente oral em laboratório (MUTLU-SAGESEN et al., 2001).

O auge em dentística estética é quando se obtém uma restauração que não se apresenta diferente do dente natural, com relação ao tamanho, formato, posição e cor, em outras palavras, que não seja possível notar que é uma restauração (PARAVINA; POWERS; FAY, 2001).

A reprodução da estrutura dental por ser um processo complexo foi pesquisada por vários autores nos últimos anos, que analisaram as possíveis fontes de erro na seleção da tonalidade das restaurações estéticas e assim como no dente natural a cor de uma restauração depende das características da luz incidente em sua superfície, da capacidade de espalhamento e absorção, da translucidez (que é diretamente influenciada pela espessura e pela cor do material de fundo), da cor, da textura e brilho da superfície e do formato do contorno. Algumas destas fontes de erro são imprevistas e variadas e independem do empenho do profissional no processo de seleção visual da cor do material restaurador e podem resultar em uma variabilidade significativa no processo de reprodução, comprometendo a satisfação do paciente e do próprio dentista. Estas fontes de erro podem apresentar graus variados de importância, mas, precisam ser cuidadosamente controladas igualmente, os autores concluíram que entendendo melhor estas fontes de erro é possível aumentar a probabilidade de se obter uma semelhança aceitável (AHMAD, 1999; BARRETT et al., 2002; DERBABIAN et al., 2001; FRUITS; DUNCANSON; MIRANDA, 1997; JOHNSTON; KAO, 1989; LUND; PIOTROWSKI, 1992; O'BRIEN et al., 1991; SEGHI; HEWLETT; KIM, 1989; SEGHI; JOHNSTON; O'BRIEN, 1986, 1989; WOZNIAK et al., 1993).

O procedimento de seleção de tonalidade é inerentemente complexo e envolve conhecimento da ciência da cor, determinação da tonalidade e quando necessário, comunicação destas informações. Contorno ótimo, forma do vão, esquema oclusal são algumas das informações críticas para o sucesso clínico; inclui ainda, as características de cor e de superfície desejada para a restauração definitiva. As características da translucidez, tais como intensidade e forma, textura e brilho da superfície são fatores que devem ser considerados, além da própria cor, para que o resultado final seja consistente e satisfatório (DERBABIAN et al., 2001).

A seleção de cor é altamente afetada pelas condições visuais do observador, outros fatores que podem influenciar a escolha correta da cor é a fonte de luz (artificial ou natural), a cor das paredes, a roupa e maquiagem do paciente e o ângulo de visão do dente. Das fontes de luz, as lâmpadas fluorescentes tendem a acentuar o intervalo azul do espectro de cor e as lâmpadas incandescentes acentuam o intervalo amarelo-vermelho, considerando este fato, a ocorrência de metamerismo pode ser evitado selecionando tonalidades sob condições diferentes de iluminação tais como luz natural e fonte de luz fluorescente (YAP et al., 1999).

Mesmo com todas as limitações dos materiais restauradores um artista dental pode criar restaurações semelhantes aos dentes adjacentes naturais (DERBABIAN et al., 2001).

A identificação e a comunicação da cor em aplicações odontológicas estéticas foi facilitada, há muitos anos, pelo uso de guias de tonalidade dental.

Alguns autores identificaram algumas limitações no uso de guias de tonalidade que resultaram em alterações na cor final, estas alterações estão associadas às variações de tonalidade entre lotes do mesmo fabricante e desigualdade entre o material restaurador e a unidade do guia de mesma tonalidade, apresentando problemas variados e imprevisíveis. Os guias de tonalidade dental têm sido alvo de inúmeros estudos, no entanto, nem sempre os procedimentos experimentais são descritos com precisão (DOUGLAS; BREWER, 1998; DOUGLAS; PRZYBYLSKA, 1999; GROH; O'BRIEN; BOENKE, 1992; O'BRIEN et al., 1991; O'BRIEN; GROH; BOENKE, 1989; PARAVINA; POWERS; FAY, 2001; SEGHI; JOHNSTON; O'BRIEN, 1989; YAP et al., 1999).

Apesar de ser o método clínico predominante de comunicação da cor de um dente alvo, os guias de tonalidade apresentam limitações. Essa comunicação pode ser prejudicada pela avaliação subjetiva do observador na escolha da tonalidade da restauração (DOUGLAS; BREWER, 1998).

Yap (1998) concluiu que a exatidão das medições de cor pode ser prejudicada quando se compara tonalidades de unidades com superfícies planas com aquela com superfícies não planas.

Com relação ao espectro de cores que o olho humano pode perceber, o intervalo de cor de dente é uma parte excepcionalmente estreita, e o intervalo de cor dos guias de tonalidade é ainda mais estreito e simplificado, esta simplificação pode garantir, com frequência, uma falha estética.

Os guias de tonalidade disponíveis não representam todo o intervalo de tonalidades dos dentes naturais e as tonalidades disponíveis não são sistematicamente distribuídas, adicionalmente são apresentadas algumas inconsistências quando se compara algumas marcas tornando a restauração estética ainda mais complexa e difícil de ser alcançada (DERBABIAN et al., 2001; LEE; NATHANSON; GIORDANO, 2001; OKUBO et al., 1998; PARAVINA; POWERS; FAY, 2001).

Barrett et al. (2002) realizaram um estudo sob condições quase ideais, no qual utilizaram um ambiente com vizinhanças inalteradas e um iluminante simples mas consistente, mesmo assim, encontraram inconsistências relevantes na seleção de tonalidade, de fato, 52% dos observadores consideraram o A1 semelhante ao C2, no entanto, na escala Vita estas duas tonalidades estão separadas por outras 5 tonalidades. Algo parecido aconteceu entre os pares A2 com A1 e B3 com B2, que foram considerados semelhantes por 22% dos observadores, apesar de apresentarem luminosidade e saturação diferentes.

Usualmente, a seleção de tonalidades de restaurações é feita por comparação visual utilizando um guia de tonalidade. Na indústria, no entanto, são utilizados equipamentos como espectrofotômetros e colorímetros que medem a luz refletida do objeto e a transformam em parâmetros de cor (YAP et al., 1999).

Os sistemas de cor recomendados pela CIE têm sido amplamente utilizados em pesquisas odontológicas, em especial o sistema de cor CIE L*a*b* de 1976, onde distâncias iguais correspondem a aproximadamente percepções iguais de diferenças de cor e suas graduações, fato que facilita sua utilização e interpretação, melhorando o processo quantitativo (OKUBO et al., 1998; YAP, 1998).

Os resultados do estudo de Wozniak et al. (1993) tendem a confirmar a hipótese de que o sistema de cor CIE L*a*b* produz intervalos iguais de incrementos quantitativamente iguais para mudanças na concentração de pigmento.

O programa da *American Dental Association (ADA)* requer que os guias de tonalidade dentais sejam identificados de acordo com algum sistema ordenado de cor visual, podendo ser o sistema Munsell ou outro sistema similar. A ADA estabelece como limite de tolerância para os guias de tonalidade uma diferença de cor (ΔE^*_{ab}) do CIE L*a*b* de 1976 de duas unidades (O'BRIEN; GROH; BOENKE, 1990; GROH; O'BRIEN; BOENKE, 1992).

O valor de diferença de cor (ΔE^*_{ab}) representa a diferença de cor total entre duas medições no espaço de cor CIE L*a*b* e tem sido amplamente usada para estimar as mudanças de cor em muitos estudos sobre restaurações dentais (LEE; NATHANSON; GIORDANO, 2001).

A habilidade de um material restaurador de se assemelhar a cor da respectiva unidade de guia de tonalidade é a reprodutividade da cor, que pode ser afetada por vários fatores, entre eles: tipo de material restaurador, marca, fabricante e espessura (DOUGLAS; PRZYBYLSKA, 1999; O'BRIEN et al., 1991).

Bangtson e Goodkind (1982) previram que a possibilidade de utilizar um instrumento para seleção de tonalidade e, então, eliminar o fator subjetivo da percepção humana poderia ser muito prático para a odontologia.

Seghi, Hewlett e Kim (1989) concluíram que o desenvolvimento de técnicas e tecnologias para avaliação colorimétrica teriam grande potencial de aplicação em dentística restauradora.

Técnicas de análises fotométricas de superfícies de materiais, combinadas a sistemas de modelamento matemático, podem oferecer possibilidades de melhoria da habilidade de avaliação, projeto e seleção dos materiais restauradores estéticos. O desenvolvimento de instrumentos colorimétricos ajudaram a indústria na avaliação, especificação e administração da cor de seus produtos, com significativo grau de confiança em situações tipicamente visuais (SEGHI; JOHNSTON; O'BRIEN, 1986, 1989).

Avaliação objetiva da cor de materiais restauradores tem sido obtida através de técnicas colorimétricas instrumentais (DOUGLAS; PRZYBYLSKA, 1999).

Yap et al. (1999) sugeriram que a disponibilidade de colorímetros ou espectrofotômetros poderia amenizar alguns problemas clínicos tais como a subjetividade do olho humano, a influência da fonte de luz e a inadequação dos guias de tonalidade comerciais disponíveis. No entanto, a resposta instrumental teria que representar a mesma resposta do olho humano na seleção de cor.

Apesar dos avanços da tecnologia de colorimetria e do trabalho intenso nesta área, em odontologia ainda não foi desenvolvido um equipamento adaptado para o uso em clínica dental. Os espectrofotômetros e colorímetros utilizados para tentar superar alguns dos problemas do método visual, apresentam resultados mais exatos e repetíveis. No entanto, o método instrumental não é a prova de erros, alguns fatores que podem contribuir para alteração dos resultados instrumentais são: a propriedade óptica de translucidez dos dentes e dos materiais restauradores, a característica da superfície (plana ou curva) e a não uniformidade da cor dos dentes naturais (OKUBO et al., 1998).

Embora colorímetros tenham demonstrado utilidade em pesquisa odontológica e consistência na semelhança de objetos opacos e para alguns objetos translúcidos, o seu desempenho cai muito para objetos mais complexos, como policromáticos e translúcidos.

O uso de instrumentação de cor em pesquisa tem ajudado quantificar objetivamente a cor; no entanto, seu uso como uma ferramenta clínica é questionável (OKUBO et al., 1998).

Johnston e Kao (1989) verificaram que tanto na observação humana (visual) como na determinação através de instrumentos colorimétricos, a descrição da cor de materiais restauradores pode apresentar vários problemas. Verificaram que existe uma correlação estatisticamente significativa entre as diferenças de cor obtidas instrumentalmente e aquelas avaliadas visualmente, para especificação de parâmetros de cor de materiais restauradores. Os autores concluíram que é necessário um delineamento claro entre o critério de avaliação visual e a diferença de cor por instrumentos colorimétricos.

Translucidez é uma das características dos dentes humanos e é independente da cor, portanto, os instrumentos utilizados para medir cor (colorímetros e espectrofotômetros) não são adequados para a determinação da translucidez. Com o desenvolvimento de instrumentos que medem cor de dentes e restaurações em consultório e laboratórios dentais poderia se concluir que, teoricamente, o problema de cor em odontologia estivesse resolvido; no entanto, infelizmente, os instrumentos que foram desenvolvidos até hoje podem ser usados com bastante precisão em pesquisas e aplicações científicas, mas a limitação da área de medição prejudica a medição clínica de dentes que nunca são uniformes em cor.

Portanto, só resta ao clínico utilizar em consultório guias de tonalidade fabricados comercialmente para seleção de tonalidades de restaurações.

Com a necessidade crescente de atender as exigências estéticas alguns fabricantes de equipamentos opto-eletrônicos tentam ocupar esta brecha desenvolvendo medidores portáteis de cor que apresentem resultados compatíveis com a percepção visual e se tornem comercialmente disponíveis para uso em consultório (DERBABIAN et al., 2001).

A utilização de instrumentos com ponta de fibra óptica para leitura de cor de dente direto no paciente requer rigorosa padronização dos parâmetros e geometria de medição; além do controle da iluminação durante o procedimento estes fatores, que podem afetar criticamente os resultados, devido a translucidez do dente ao redor da ponta de medição (RUSSELL; GULFRAZ; MOSS, 2000).

Mutlu-Sagesen et al. (2001) concluíram que os instrumentos colorimétricos são capazes de avaliar cor com precisão, embora as medições apresentem variações que dependem do instrumento usado e do tipo de superfície do material medido.

Seghi, Hewlett e Kim (1989) verificaram que se a diferença de cor entre duas amostras for maior que uma unidade, então existe uma grande probabilidade do observador médio julgar corretamente a magnitude relativa da diferença. Para diferenças de cor menores que uma unidade a probabilidade do observador julgar incorretamente a cor aumenta.

Sob condições controladas, uma diferença de cor de aproximadamente uma unidade no sistema de cor CIE L*a*b* é considerado o ponto delineador de detecção do olho humano para 50% dos observadores. Para diferenças de cor inferiores a uma unidade as falhas de julgamento dos observadores foram maiores (DOUGLAS; PRZYBYLSKA, 1999; FRUITS; DUNCANSON; MIRANDA, 1997; JOHNSTON; KAO, 1989; SEGHI; HEWLETT; KIM, 1989; YAP; SIM; LOGANATHAN, 1999).

O'Brien et al. (1991) analisaram a perceptibilidade e aceitabilidade visual de diferenças de cor e concluíram que estes são parâmetros complexos de difícil determinação, no entanto, estudos verificaram que é grande a probabilidade de se perceber uma diferença de cor entre tecidos tingidos ou cartolinas pintadas para ΔE^*_{ab} de aproximadamente uma unidade, por outro lado, é necessário considerar a aplicação da diferença de cor para ser julgada aceitável.

Douglas e Przybylska (1999) estudaram as correlações entre avaliação instrumental e visual de cor e diferenças entre observadores. Verificaram que alguns setores industriais definiram diferenças de cor aceitáveis para seus processos, pois dependem da descrição de cor de seus produtos. Limites de aceitabilidade no intervalo de 2 a 4 unidades de ΔE^*_{ab} foram registrados para coroas metal cerâmica e resina laminada examinadas intraoralmente.

Seghi, Johnston e O'Brien (1989) indicaram que o uso rotineiro de colorímetros não garante um alto grau de exatidão, mas atesta sua utilidade potencial na avaliação de diferenças de cor entre materiais restauradores opacos e translúcidos. Os autores concluíram que ainda é necessário estabelecer relações mais exatas entre as análises visuais e instrumentais na área de espaço de cor ocupado pelos dentes naturais.

Seghi, Hewlett e Kim (1989) verificaram que o valor prático do julgamento de grandes diferenças de cor é muito pequeno, mas serve para calibrar os observadores não muito treinados. Há, no entanto, um interesse significativo pelas pequenas diferenças de cor julgadas pelos observadores, mas que apresentam opiniões variadas. Para este estudo os autores produziram amostras com pequenas diferenças de cor entre si, para avaliar as características de desempenho dos medidores de cor essas pequenas diferenças de cor tornam-se críticas, agravadas pelas limitações da fórmula de diferenças de cor para expressar a resposta visual de um observador. No entanto, o estudo mostrou que a avaliação instrumental foi suficientemente sensível ao apresentar as diferenças de cor entre as amostras apresentadas em uma ordem praticamente idêntica a ordem apresentada pela média do grupo de observadores.

A dentística restauradora requer que a especificação de cor, a seleção e a padronização de materiais sejam mais científicas. É necessário avaliar e estabelecer tolerâncias de cor e limites aceitáveis de diferença de cor (SEGHI; HEWLETT; KIM, 1989).

É necessário estabelecer limites de aceitação clínica controlados, com o objetivo de validar os procedimentos de tratamento, infelizmente, os procedimentos para controlar estes limites são caros e consomem tempo. Tornando assim, essencial o desenvolvimento de técnicas de restauração que estimem com certo grau de confiança os limites de aceitabilidade dos ensaios *in vitro* antes dos estudos clínicos, lembrando que muitos esforços foram feitos para simular, tão próximo quanto possível, parâmetros clínicos com procedimentos de ensaios *in vitro*, exemplos disso são os simuladores de mastigação (HEYDECKE; ZHANG; RAZZOOG, 2001).

O objetivo de Douglas e Brewer (1998) foi estabelecer um limite visual de aceitabilidade, expresso em unidades de diferença de cor ΔE^* , e determinar os limites existentes entre perceptibilidade e aceitabilidade de pequenas diferenças de cor. Os observadores consideraram aceitáveis a variação do vermelho (a^*) em 50% das vezes para ΔE^* igual ou maior que 1,1, para a variação do amarelo (b^*) o limite de tolerância de aceitabilidade foi de 50% para ΔE^* igual a 2,1. Por tanto, os observadores foram mais críticos na variação do vermelho. O desenvolvimento de instrumentos para medição de cor ajuda a resolver parcialmente problemas de seleção de cor, no entanto, é necessário estabelecer parâmetros que apresentam alguma significância visual. Não é suficiente determinar que a diferença de cor entre um dente natural e a restauração é de 5 unidades de ΔE^*_{ab} , é necessário entender se 5 unidades é clinicamente significativa.

A avaliação dos valores da coordenada a^* são julgadas mais criticamente pelo observadores dentais do que as variações dos valores de b^* . A prática em odontologia levaram os observadores a tolerar uma quantidade mínima de vermelho nos dentes (DOUGLAS; BREWER, 1998; DOUGLAS; PRZYBYLSKA, 1999).

Estudos verificaram que os clínicos conseguem identificar e ordenar diferenças de cor superiores a duas unidades de ΔE^*_{ab} com 100% de precisão e diferenças de cor menores que uma unidade apresentaram enganos freqüentes na ordenação. Com base neste fato, ΔE^*_{ab} menor que uma unidade é excelente e ΔE^*_{ab} até duas unidades a semelhança é clinicamente aceitável. Comparando amostras de resina composta, os valores de ΔE^*_{ab} menores que aproximadamente 3,3 unidades foram aceitáveis e comparando amostras de resina composta com dentes no meio oral os valores menores que 3,7 unidades de ΔE^*_{ab} foram aceitáveis, no entanto, não há um limite claro entre critérios de avaliação visual e diferença de cor. Portanto, um

valor de uma unidade de ΔE^*_{ab} aceitável sob condições visuais ideais, mas sob condições intraoral o limite para aceitabilidade será no intervalo de ΔE^*_{ab} do CIE L*a*b* de 3,3 a 3,7 unidades. Vários autores usaram estes limites de aceitabilidade em seus trabalhos (FRUITS; DUNCANSON; MIRANDA, 1997; INOKOSHI et al., 1996; JOHNSTON; KAO, 1989; LEE; NATHANSON; GIORDANO, 2001; LUND; PIOTROWSKI, 1992; O'BRIEN; GROH; BOENKE, 1990; O'BRIEN et al., 1991; YAP; SIM; LOGANATHAN, 1999).

3 PROPOSIÇÃO

O propósito deste trabalho é analisar a influência da cor de fundo (branco e preto) através da resposta colorimétrica e da correlação entre luminosidade e translucidez (opacidade) obtidas para corpos de prova, com espessura padronizada, de resinas compostas nas tonalidades disponíveis para esmalte e para dentina. Dependendo dos resultados obtidos será apresentada uma sugestão para reformulação da apresentação dos guias de tonalidades.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram analisadas vinte e três tonalidades de resina composta da marca Kerr, modelo Herculite, sendo dezesseis tonalidades para esmalte e sete tonalidades para dentina, conforme apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Amostras de resina composta, tonalidades utilizadas

Resina Composta	
Tonalidades para Esmalte	A1 – A2 – A3 – A3,5 – A4 B1 – B2 – B3 – B4 C1 – C2 – C3 – C4 D2 – D3 – D4
Tonalidades para Dentina	A2 – A3 – A3,5 B1 – B2 C2 D2

Tentando minimizar alguns erros de medição decorrentes da geometria da amostra, a preparação dos corpos de prova seguiu as sugestões dos fabricantes, de forma a apresentarem superfícies planas, espessura uniforme e área de medição com tamanho suficiente para cobrir toda área de incidência do feixe de luz do espectrofotômetro utilizado.

Foram confeccionados quatro corpos de prova de cada tonalidade, cada um medindo 15 mm de diâmetro e 1 mm de espessura, em uma matriz de *teflon*. As resinas foram colocadas na matriz em uma única camada e comprimidas entre duas lâminas de vidro, deixando extravasar os excessos.

A espessura foi garantida com o auxílio de delimitadores de espaço, colocados entre as extremidades das duas lâminas de vidro.

A fotopolimerização foi executada com um aparelho modelo Optilight II da Gnatus, em quatro pontos da superfície por 40 segundos em cada ponto através da lâmina de vidro. Após a polimerização os corpos de prova foram destacados da matriz a espessura final dos corpos de prova foi confirmada com um paquímetro calibrado e, em seguida, mantidos em água destilada em estufa à 37°C. As superfícies dos corpos de prova não sofreram qualquer tipo de acabamento.

No momento da medição, para determinação da cor, cada corpo de prova foi retirado da água destilada e sua superfície seca com lenço de papel. Sabendo que, tanto a cor como a opacidade podem mudar facilmente com pequenas alterações da superfície, cuidados especiais foram tomados para não contaminar a superfície dos corpos de prova, como digitais ou poeira, durante a preparação e realização das medições.

A medição dos materiais translúcidos apresenta alguns problemas fotométricos o que requer cuidados especiais na seleção de espectrofotômetro, tais como, tamanho do feixe e área de visão, foi utilizado um espectrofotômetro de duplo feixe com esfera integradora acoplada, marca ACS, modelo Spectro-Sensor II, que atende estas especificações. A calibração foi checada antes de cada sessão de medições, utilizando uma superfície padrão de sulfeto de bário e azulejos de cerâmicas, conforme recomendação do fabricante.

Estudos mostram que o uso de dispositivos de reposicionamento da amostra podem ajudar eliminação de erros decorrentes de posicionamento, além de garantir a repetibilidade das medições, no entanto, é inevitável a ocorrência de variâncias que podem ter algum impacto nas leituras.

As características da superfície da amostra afetam o estímulo da luz refletida e portanto afetam sua cor em todas as dimensões (LEE; NATHANSON; GIORDANO, 2001; OKUBO et al., 1998).

Foi desenvolvido um dispositivo de posicionamento do corpo de prova, para garantir a repetibilidade das medições, este cuidado atenua significativamente os erros decorrentes de posicionamento.

A definição e padronização dos parâmetros de medição de cor são essenciais para que os resultados obtidos possam ser comparados entre si e com outros estudos. Não é possível comparar resultados de sistemas de espaço de cor diferentes, assim como, resultados obtidos para iluminantes e observadores diferentes. É, portanto, extremamente importante que sejam definidos e repetidos em todas as etapas da análise: o sistema de espaço de cor, o iluminante, o observador, o intervalo de comprimento de onda, a grandeza espectrofotométrica obtida do objeto sob análise (transmitância ou refletância) e as características espectrais e fotométricas do medidor de cor (espectrofotômetro ou colorímetro). A falha de qualquer um destes parâmetros pode comprometer significativamente os resultados. A revisão da literatura odontológica mostrou que ainda não há uma padronização na escolha do iluminante padrão e do observador padrão. Em alguns artigos os autores nem mencionaram os parâmetros de medição utilizados.

O iluminante padrão CIE D₆₅ foi o mais empregado (DOUGLAS, 2000; DOUGLAS; BREWER, 1998; DOUGLAS; PRZYBYLSKA, 1999; HEYDECKE; ZHANG; RAZZOOG, 2001; JOHNSTON; KAO, 1989; LUND; PIOTROWSKI, 1992; RUSSELL; GULFRAZ; MOSS, 2000; SEGHI; HEWLETT; KIM, 1989; SEGHI; JOHNSTON; O'BRIEN, 1986, 1989; YAP, 1998; YAP; SIM; LOGANATHAN, 1999; YAP et al., 1999), o iluminante padrão CIE C foi segundo colocado (INOKOSHI et al.,

1996; LEE; NATHANSON; GIORDANO, 2001; O'BRIEN; GROH; BOENKE, 1989; O'BRIEN et al., 1991) e o iluminante CIE A foi utilizado em um artigo (FAY; SERVOS; POWERS, 1999).

O observador padrão CIE de 1931 (2°) foi o mais utilizado (DOUGLAS; BREWER, 1998; DOUGLAS; PRZYBYLSKA, 1999; DOUGLAS, 2000; O'BRIEN; GROH; BOENKE, 1989; O'BRIEN et al., 1991; SEGHI; HEWLETT; KIM, 1989; SEGHI; JOHNSTON; O'BRIEN, 1986, 1989) e o observador padrão suplementar de 10° foi utilizado em único um artigo (RUSSELL; GULFRAZ; MOSS, 2000).

Seguindo a maioria dos autores, neste trabalho foram empregados o iluminante CIE D₆₅ e o observador padrão de 1931 (2°).

As curvas espectrais de refletância dos corpos de prova foram obtidas parametrizando o espectrofotômetro, no intervalo de comprimento de onda de 380 nm a 780 nm, com passo de 1 nm, para cada um dos corpos de prova com fundo branco e com fundo preto. As curvas de refletância espectral foram convertidas matematicamente para os parâmetros de cor do Espaço de Cor CIE L*a*b* de 1976.

Na produção de materiais restauradores estéticos e restaurações dentais é muito importante o controle da translucidez. Mascaram a aparência de materiais subjacentes, depende do poder de cobertura do material utilizado, que pode ser calculado a partir da razão de contraste, equação (14) (ANUSAVICE; ZHANG; MOORHEAD, 1994).

Os valores de Y_P e Y_B foram calculados a partir dos valores de luminosidade (L^*), utilizando a equação (6), onde Y_n é o valor de tristímulo para um estímulo de cor com fundo branco, sendo considerado igual a 100.

5 RESULTADOS

A partir das curvas de refletância espectral foram calculadas as coordenadas do espaço de cor CIE L*a*b*, considerando o iluminante padrão D₆₅ e o observador padrão de 1931 (2°). As tabelas 5.1 e 5.2 mostram os valores (média de quatro corpos de prova) das coordenadas L*, a* e b* e desvio padrão obtidos para cada uma das amostras de resina composta com fundo branco e com fundo preto, respectivamente para tonalidades para esmalte e para dentina.

Tabela 5.1 – Valores das coordenadas CIE L*a*b* obtidos para as tonalidades para esmalte

Tonalidade	Fundo branco			Fundo preto		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
A1	65,71 ± 0,31	-0,98 ± 0,03	3,48 ± 0,22	58,28 ± 0,47	-1,43 ± 0,03	-3,63 ± 0,19
A2	64,29 ± 0,54	1,08 ± 0,09	6,11 ± 0,41	57,94 ± 0,26	-0,53 ± 0,05	-1,26 ± 0,24
A3	63,71 ± 0,28	0,93 ± 0,07	6,37 ± 0,15	57,59 ± 0,16	-0,69 ± 0,12	-0,96 ± 0,20
A3.5	59,98 ± 0,45	3,01 ± 0,09	7,43 ± 0,43	55,41 ± 0,34	0,61 ± 0,06	1,14 ± 0,20
A4	57,33 ± 0,50	2,65 ± 0,11	5,67 ± 0,50	53,63 ± 0,35	0,53 ± 0,07	0,54 ± 0,25
B1	67,77 ± 0,07	-1,80 ± 0,16	3,45 ± 0,07	61,24 ± 0,19	-2,01 ± 0,03	-3,37 ± 0,16
B2	66,73 ± 0,09	-1,24 ± 0,07	5,28 ± 0,09	60,84 ± 0,11	-1,92 ± 0,07	-1,71 ± 0,17
B3	61,43 ± 0,46	1,00 ± 0,01	6,26 ± 0,68	56,69 ± 0,14	-0,77 ± 0,15	-0,32 ± 0,19
B4	62,72 ± 0,31	0,99 ± 0,14	7,68 ± 0,36	56,48 ± 0,34	-0,78 ± 0,06	0,06 ± 0,24
C1	64,50 ± 0,21	-0,38 ± 0,14	3,11 ± 0,25	58,09 ± 0,18	-1,30 ± 0,04	-3,90 ± 0,22
C2	59,76 ± 0,27	1,39 ± 0,13	4,60 ± 0,14	55,20 ± 0,10	-0,23 ± 0,13	-1,41 ± 0,26
C3	58,77 ± 0,11	1,41 ± 0,04	3,64 ± 0,14	54,82 ± 0,22	-0,28 ± 0,06	-1,71 ± 0,14
C4	54,72 ± 0,37	2,45 ± 0,06	3,08 ± 0,51	52,27 ± 0,14	0,62 ± 0,02	-0,55 ± 0,09
D2	64,46 ± 0,28	0,32 ± 0,07	2,34 ± 0,14	58,68 ± 0,50	-0,78 ± 0,03	-4,01 ± 0,30
D3	60,95 ± 0,31	1,09 ± 0,18	3,92 ± 0,17	55,62 ± 0,11	-0,39 ± 0,05	-2,77 ± 0,26
D4	61,41 ± 0,52	0,69 ± 0,10	5,90 ± 0,47	56,34 ± 0,22	-0,97 ± 0,10	-0,93 ± 0,25

Tabela 5.2 – Valores das coordenadas CIE L*a*b* obtidos para as tonalidades para dentina

Tonalidade	Fundo branco			Fundo preto		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
A2	70,00 ± 0,19	2,20 ± 0,06	5,36 ± 0,18	66,01 ± 0,37	0,06 ± 0,06	-014 ± 0,27
A3	67,55 ± 0,25	1,96 ± 0,08	6,07 ± 0,19	63,87 ± 0,15	-0,06 ± 0,07	0,70 ± 0,24
A3.5	64,12 ± 0,42	3,12 ± 0,08	5,04 ± 0,33	61,00 ± 0,08	0,78 ± 0,11	0,51 ± 0,28
B1	71,60 ± 0,11	-0,37 ± 0,05	2,77 ± 0,11	68,51 ± 0,14	-1,44 ± 0,03	-1,54 ± 0,19
B2	70,58 ± 0,48	-0,12 ± 0,10	5,99 ± 0,26	67,02 ± 0,55	-1,67 ± 0,38	0,06 ± 1,69
C2	63,76 ± 0,31	1,80 ± 0,08	3,24 ± 0,36	61,31 ± 0,27	0,21 ± 0,05	-0,17 ± 0,16
D2	68,79 ± 0,83	0,79 ± 0,07	1,75 ± 0,85	66,37 ± 0,23	-0,55 ± 0,17	-1,76 ± 0,34

A luminosidade é a capacidade do objeto refletir mais ou menos luz, essa propriedade se traduz como mais claro ou mais escuro, independentemente do fundo utilizado, as tonalidades especificadas pelo fabricante como mais saturadas (ordem crescente de numeração), apresentam-se com menor luminosidade (mais escuras). O gráfico 5.1 mostra a luminosidade da matiz A (tonalidade para esmalte), comparando a média de cada amostra de mesma tonalidade com fundo branco e com fundo preto.

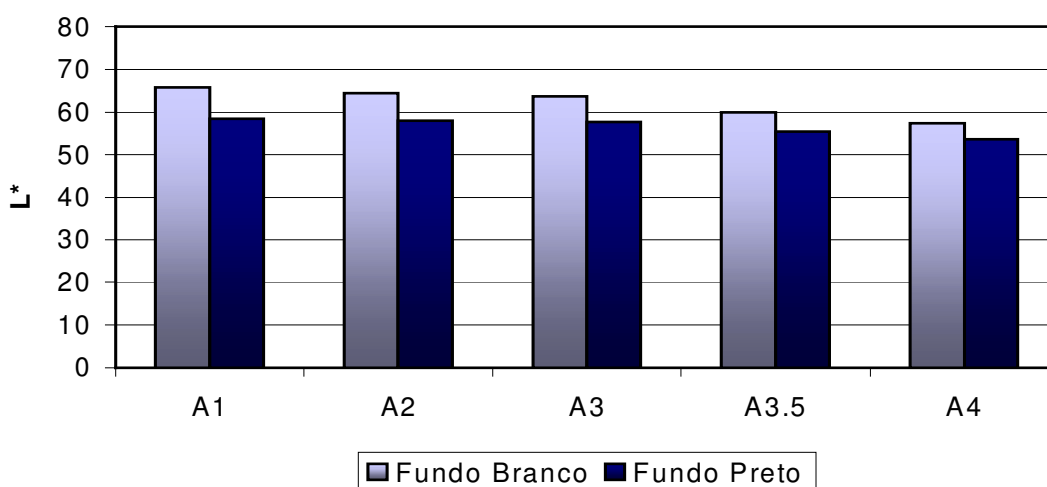


Gráfico 5.1 – Luminosidade da matiz A da escala Vita (tonalidades para esmalte)

A influência da cor de fundo na luminosidade pode ser verificada nos gráficos 5.2 (tonalidades para esmalte) e 5.3 (tonalidades para dentina). A luminosidade obtida para a média do corpo de prova de mesma tonalidade com fundo branco foi maior que a luminosidade obtida para a média dos mesmos corpos de prova com fundo preto em todos os casos.

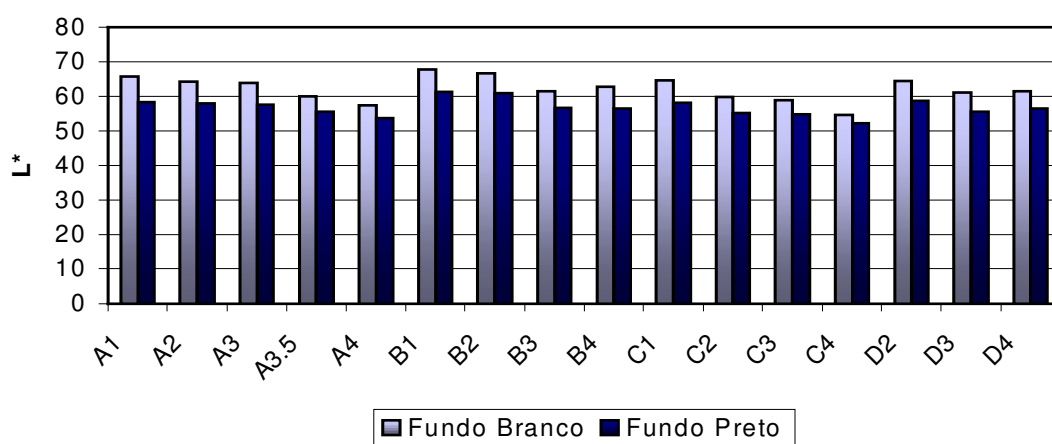


Gráfico 5.2 – Influência da cor de fundo na luminosidade (tonalidades para esmalte)

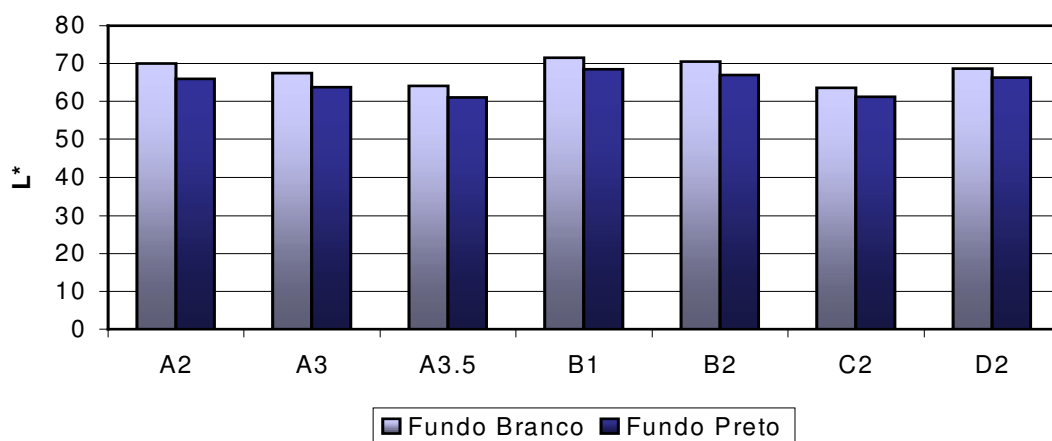


Gráfico 5.3 – Influência da cor de fundo na luminosidade (tonalidades para dentina)

Os gráficos 5.4 e 5.5 mostram o comportamento da coordenada a^* (eixo vermelho/verde) com relação à alteração da cor de fundo, para as tonalidades para esmalte e para dentina, respectivamente.

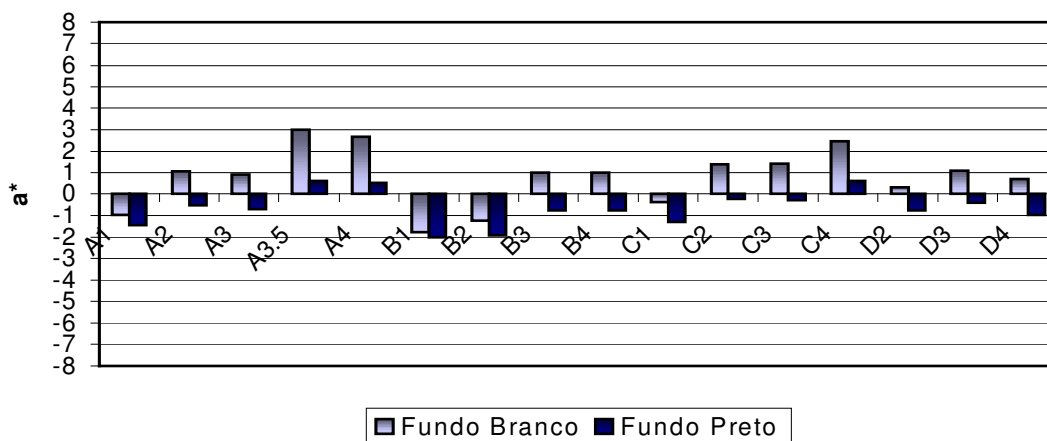


Gráfico 5.4 – Influência da cor de fundo na coordenada a^* (tonalidades para esmalte)

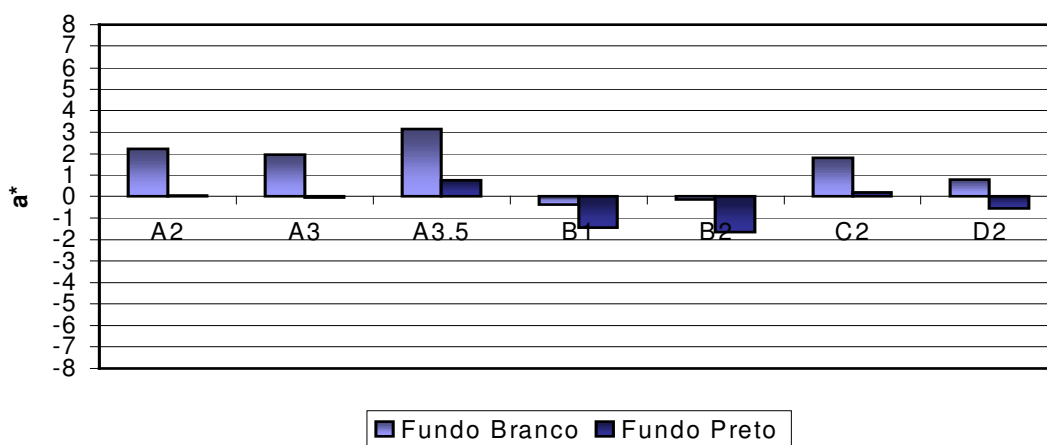


Gráfico 5.5 – Influência da cor de fundo na coordenada a^* (tonalidades para dentina)

Analisando a influência da cor de fundo sobre a coordenada a^* verifica-se que a cor de fundo altera consideravelmente a resposta desta coordenada, tanto as amostras com tonalidades para esmalte como para dentina, o fundo preto deixou todas as amostras menos vermelhas.

Os gráficos 5.6 (tonalidades para esmalte) e 5.7 (tonalidades para dentina) mostram o comportamento da coordenada b^* (eixo amarelo/azul) com relação à mudança da cor de fundo.

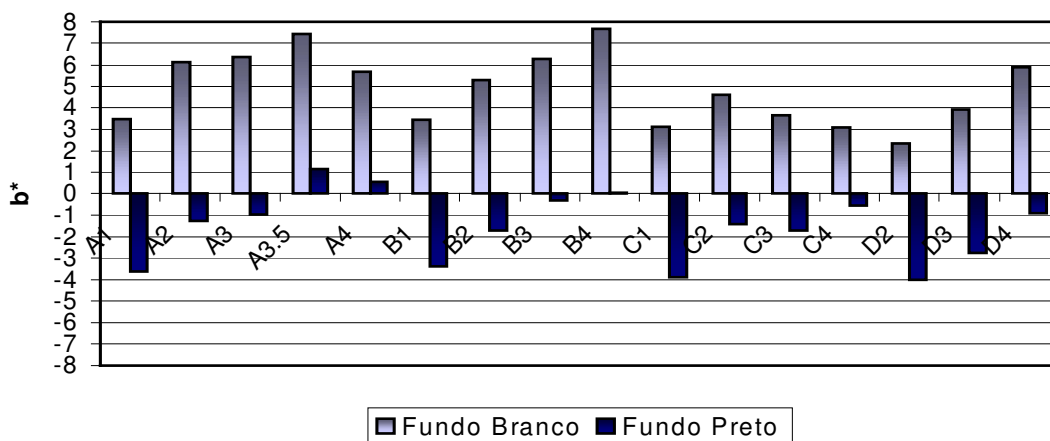


Gráfico 5.6 – Influência da cor de fundo na coordenada b^* (tonalidades para esmalte)

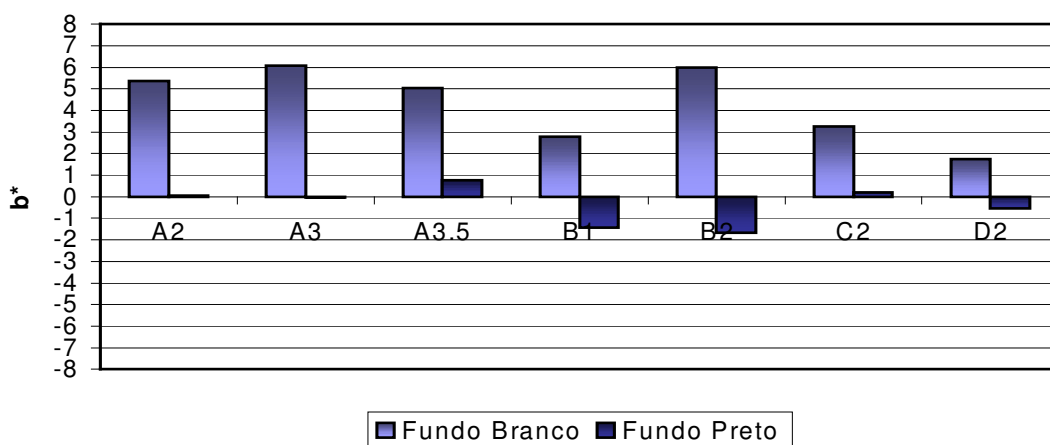


Gráfico 5.7 – Influência da cor de fundo na coordenada b^* (tonalidades para dentina)

Para as amostras com tonalidades para esmalte e para dentina a coordenada b^* é altamente influenciada pela cor de fundo, o fundo preto deixou todas as amostras muito menos amarelas.

Considerando as coordenadas CIE L*a*b* obtidas para o fundo branco e para o fundo preto, para cada uma das amostras, é possível calcular as diferenças de cada um dos parâmetros de cor, as tabelas 5.3 (tonalidades para esmalte) e 5.4 (tonalidades para dentina) apresentam estas diferenças.

Tabela 5.3 – Valores das diferenças de cada parâmetro (tonalidades para esmalte)

Tonalidade	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*_{ab}	ΔE^*_{ab}
A1	7,43 ± 0,29	0,45 ± 0,04	7,11 ± 0,11	-0,28 ± 0,37	10,29 ± 0,27
A2	6,36 ± 0,28	1,62 ± 0,08	7,37 ± 0,21	4,83 ± 0,63	9,86 ± 0,32
A3	6,12 ± 0,30	1,62 ± 0,14	7,32 ± 0,25	5,25 ± 0,25	9,68 ± 0,34
A3.5	4,57 ± 0,44	2,39 ± 0,04	6,29 ± 0,39	6,72 ± 0,36	8,13 ± 0,53
A4	3,70 ± 0,36	2,12 ± 0,12	5,13 ± 0,32	5,49 ± 0,36	6,67 ± 0,47
B1	6,53 ± 0,24	0,21 ± 0,14	6,82 ± 0,19	-0,03 ± 0,12	9,44 ± 0,28
B2	5,89 ± 0,07	0,68 ± 0,11	7,00 ± 0,20	2,86 ± 0,20	9,17 ± 0,19
B3	4,74 ± 0,48	1,77 ± 0,13	6,58 ± 0,75	5,49 ± 0,58	8,30 ± 0,85
B4	6,25 ± 0,61	1,77 ± 0,08	7,62 ± 0,51	6,94 ± 0,30	10,02 ± 0,74
C1	6,41 ± 0,28	0,92 ± 0,15	7,01 ± 0,18	-0,97 ± 0,41	9,54 ± 0,28
C2	4,57 ± 0,21	1,62 ± 0,13	6,01 ± 0,17	3,37 ± 0,42	7,72 ± 0,22
C3	3,95 ± 0,25	1,68 ± 0,09	5,36 ± 0,03	2,17 ± 0,28	6,86 ± 0,18
C4	2,45 ± 0,28	1,83 ± 0,06	3,62 ± 0,43	3,11 ± 0,48	4,74 ± 0,48
D2	5,78 ± 0,71	1,09 ± 0,05	6,34 ± 0,33	-1,72 ± 0,34	8,66 ± 0,71
D3	5,33 ± 0,30	1,48 ± 0,14	6,69 ± 0,35	1,27 ± 0,28	8,68 ± 0,43
D4	5,07 ± 0,66	1,66 ± 0,12	6,83 ± 0,67	4,60 ± 0,34	8,67 ± 0,92

Tabela 5.4 – Valores das diferenças de cada parâmetro (tonalidades para dentina)

Tonalidade	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*_{ab}	ΔE^*_{ab}
A2	3,99 ± 0,49	2,14 ± 0,10	5,50 ± 0,33	5,59 ± 0,27	7,13 ± 0,56
A3	3,68 ± 0,36	2,02 ± 0,02	5,37 ± 0,39	5,67 ± 0,36	6,82 ± 0,50
A3.5	3,13 ± 0,49	2,33 ± 0,06	4,53 ± 0,25	4,98 ± 0,23	5,98 ± 0,47
B1	3,09 ± 0,22	1,06 ± 0,03	4,31 ± 0,30	0,69 ± 0,09	5,41 ± 0,35
B2	3,57 ± 0,49	1,56 ± 0,39	5,93 ± 1,87	3,85 ± 0,65	7,10 ± 1,89
C2	2,46 ± 0,26	1,59 ± 0,12	3,41 ± 0,39	3,41 ± 0,37	4,50 ± 0,39
D2	2,42 ± 0,94	1,34 ± 0,14	3,51 ± 1,16	0,11 ± 0,49	4,48 ± 1,45

Lembrando que, sob condições ideais, as diferenças de cor total (ΔE^*_{ab}) menores que uma unidade são consideradas imperceptíveis e que as diferenças de cor entre 1 e 2 unidades, em geral são consideradas aceitáveis. Para situação clínica, as diferenças entre 3,3 e 3,7 unidades são consideradas aceitáveis.

A luminosidade das amostras foi altamente influenciada pela cor de fundo, como mostram os gráficos 5.8 e 5.9 para as amostras com tonalidades para esmalte e tonalidades para dentina, respectivamente.

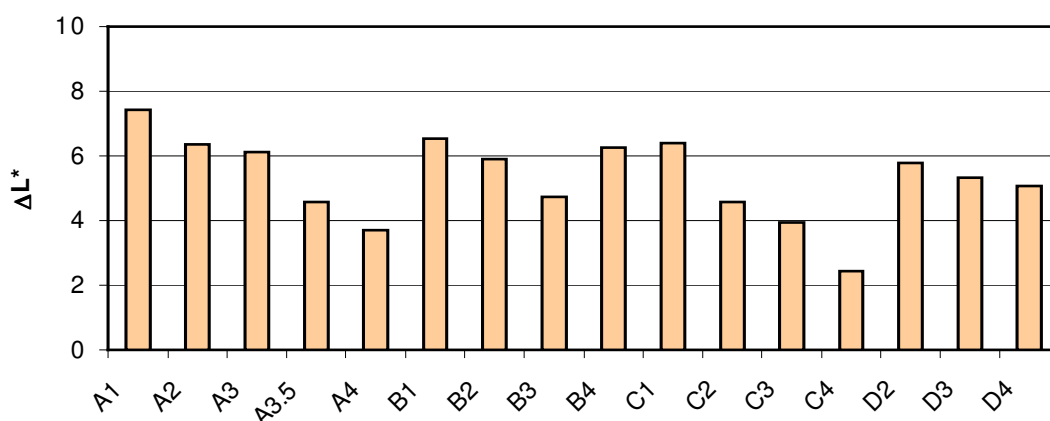


Gráfico 5.8 – Diferenças de luminosidade (tonalidades para esmalte)

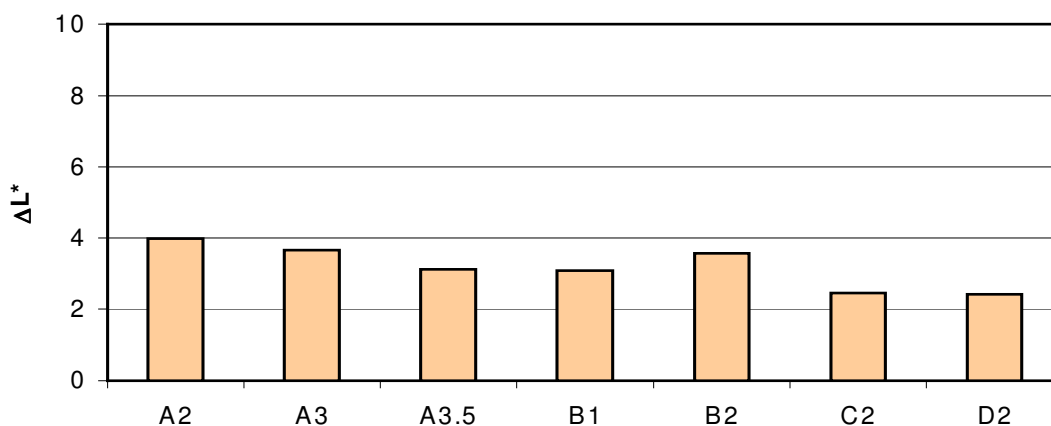


Gráfico 5.9 – Diferenças de luminosidade (tonalidades para dentina)

As amostras com tonalidades para esmalte mais claras de cada matiz (A1, B1, C1 e D2) são as mais influenciadas pela cor de fundo, apresentando as maiores diferenças de luminosidade e a menor diferença de luminosidade foi a C4. Para as amostra com tonalidades para dentina as diferenças de luminosidade variaram entre 2,4 e 4,0 unidades.

Os gráficos 5.10 e 5.11 apresentam as diferenças da coordenada a^* para as amostras de resina com fundo branco e fundo preto, para tonalidades para esmalte e tonalidades para dentina, respectivamente.

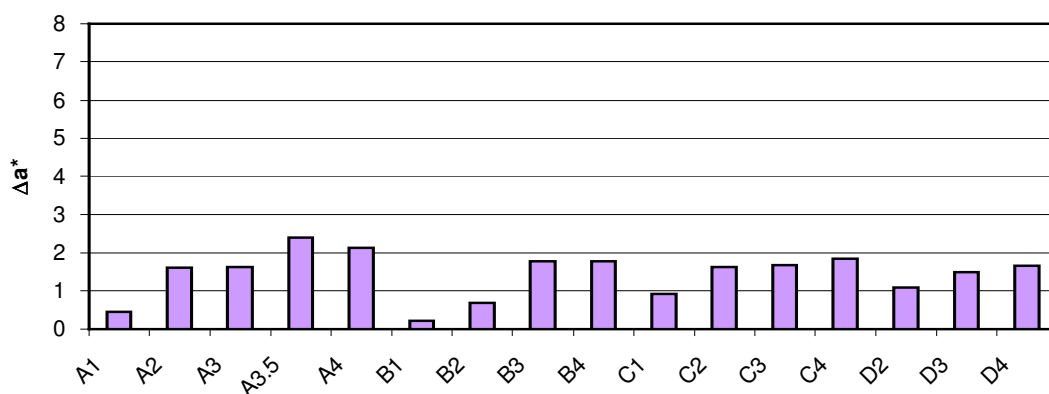


Gráfico 5.10 – Diferenças da coordenada a^* (tonalidades para esmalte)

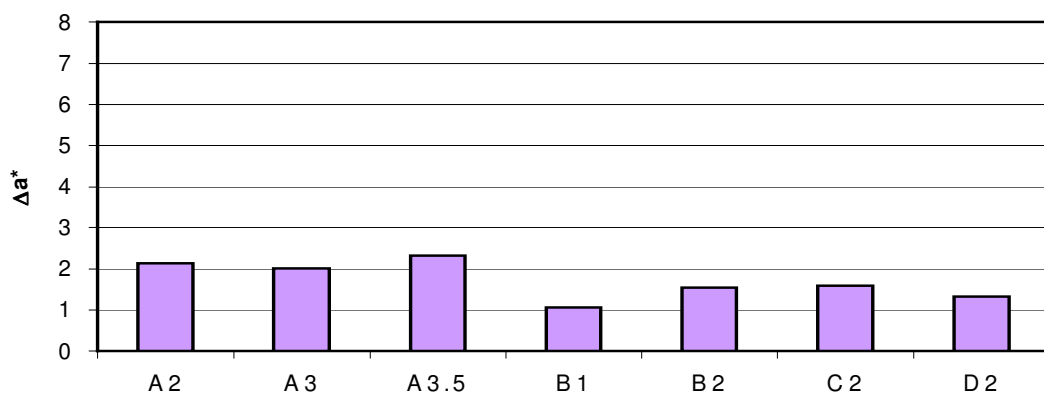


Gráfico 5.11 – Diferenças da coordenada a^* (tonalidades para dentina)

Ao contrário do comportamento da luminosidade, as amostras com tonalidades para esmalte mais claras de cada matiz (A1, B1, C1 e D2) apresentaram as menores diferenças da coordenada a^* , a maior Δa^* foi da tonalidade A3,5 com valor de 2,4 unidades. Para as tonalidades para dentina as diferenças da coordenada a^* variaram entre 1,1 e 2,3 unidades.

Os gráficos 5.12 e 5.13 apresentam as diferenças da coordenada b^* para as amostras de resina com fundo branco e fundo preto, para tonalidades para esmalte e tonalidades para dentina, respectivamente.

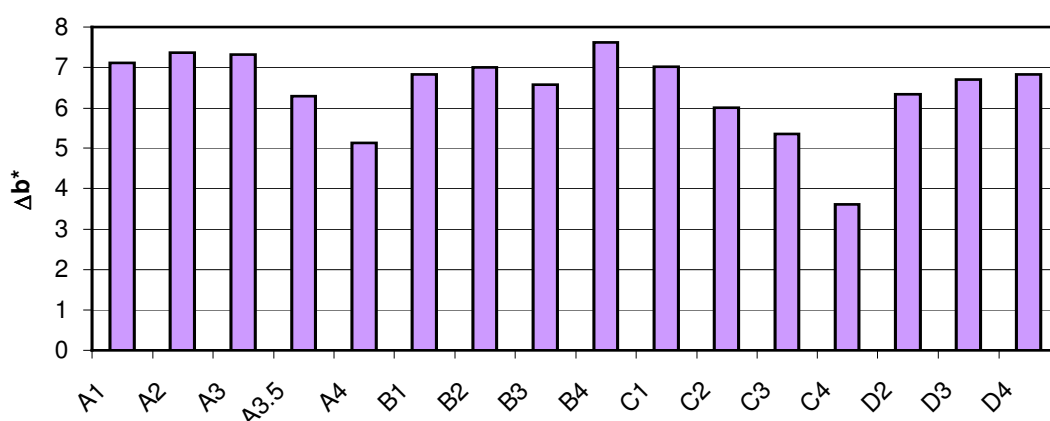


Gráfico 5.12 – Diferenças da coordenada b^* (tonalidades para esmalte)

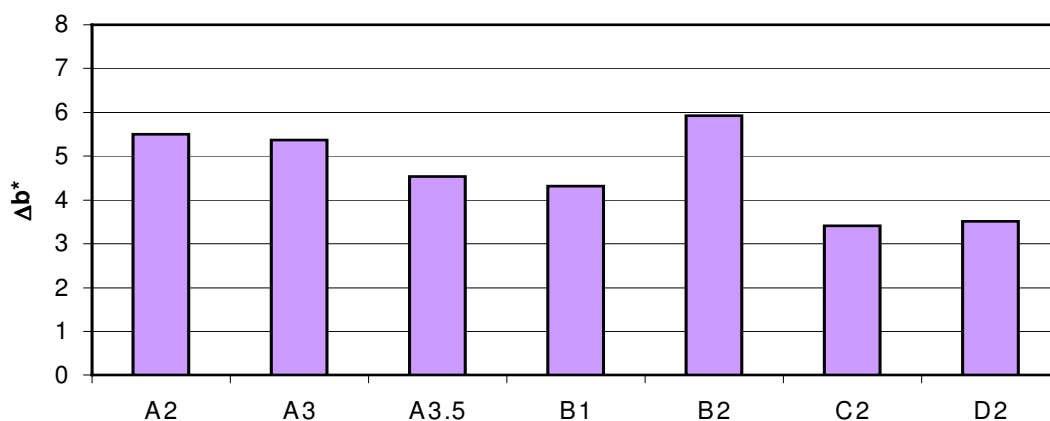


Gráfico 5.13 – Diferenças da coordenada b^* (tonalidades para dentina)

Para a coordenada b^* (eixo amarelo) o fundo branco tornou todas as amostras muito mais amarelas, no contrário, o fundo preto tornou todas as amostras muito menos amarelas. É grande a influência da cor do fundo para a coordenada b^* . As tonalidades para esmalte e para dentina apresentaram valores de diferenças da coordenada b^* superiores a 3,4 unidades.

No gráfico 5.14 pode-se observar que o croma calculado para a matiz B (tonalidades para esmalte) com fundo branco aumenta conforme aumenta a sua numeração.

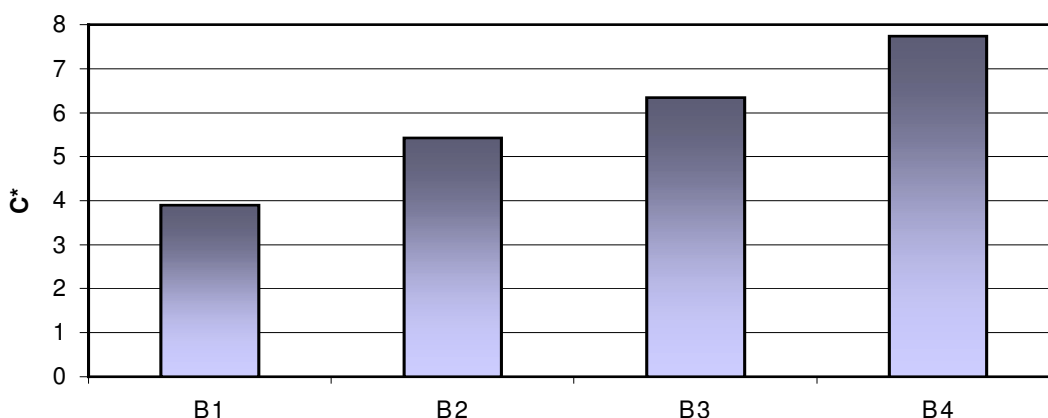


Gráfico 5.14 – Croma da matiz B da escala Vita (tonalidades para esmalte)

Analisando os dados obtidos experimentalmente pode-se confirmar a lógica da escala Vita na qual cada letra corresponde a um determinado matiz e a numeração corresponde ao croma (saturação), quanto maior o valor mais saturada é a tonalidade.

Quanto maior a saturação especificada pelo fabricante, maior a influência da cor de fundo na diferença de croma, como mostram os gráficos 5.15 e 5.16, para as amostras com tonalidade para esmalte e para dentina, respectivamente.

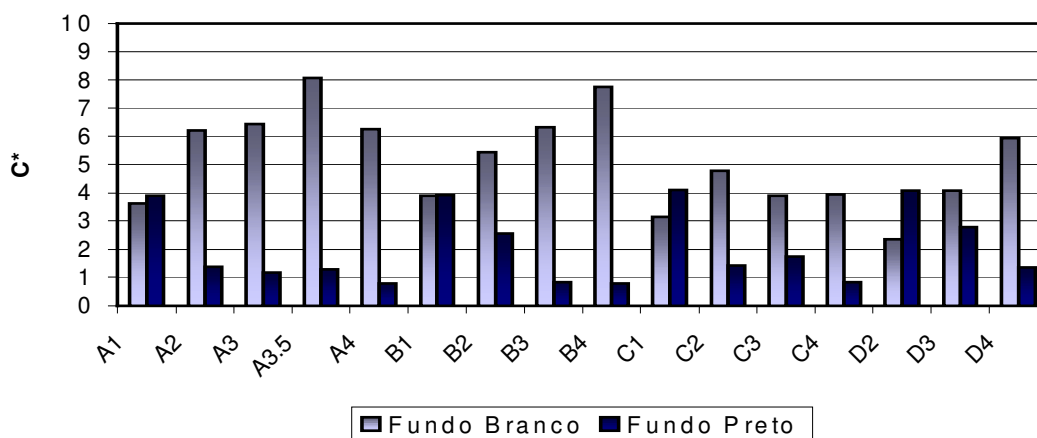


Gráfico 5.15 – Influência da cor de fundo no croma (tonalidades para esmalte)

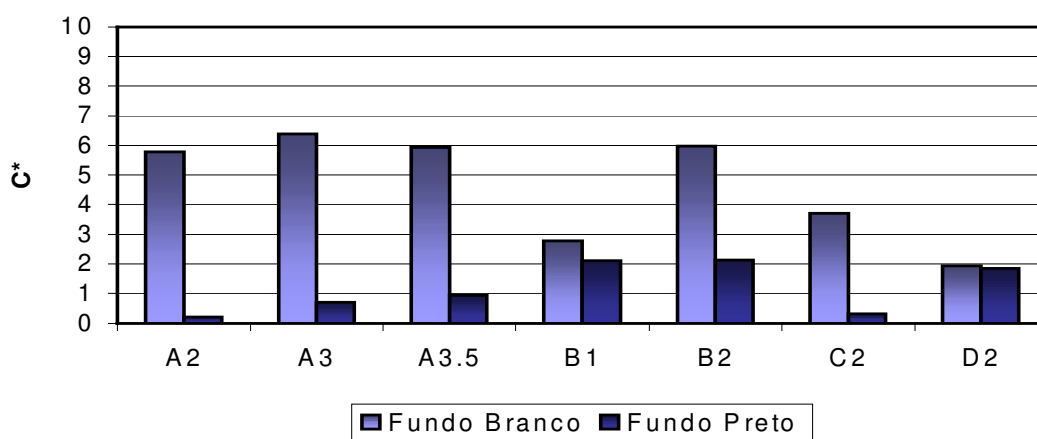


Gráfico 5.16 – Influência da cor de fundo no croma (tonalidades para dentina)

Em geral, a cor de fundo influenciou significativamente o croma das amostras, com exceção das tonalidades A1, B1 (para esmalte), B1 e D2 (para dentina) que apresentaram menores que uma unidade.

O gráfico 5.17 mostra alguns termos usados para descrever diferenças de luminosidade e croma; os termos indicam a direção da diferença de cor, mas a menos de um modificador adicional (pouco, muito, etc.) seja usado, os termos não indicam o grau da diferença de cor.

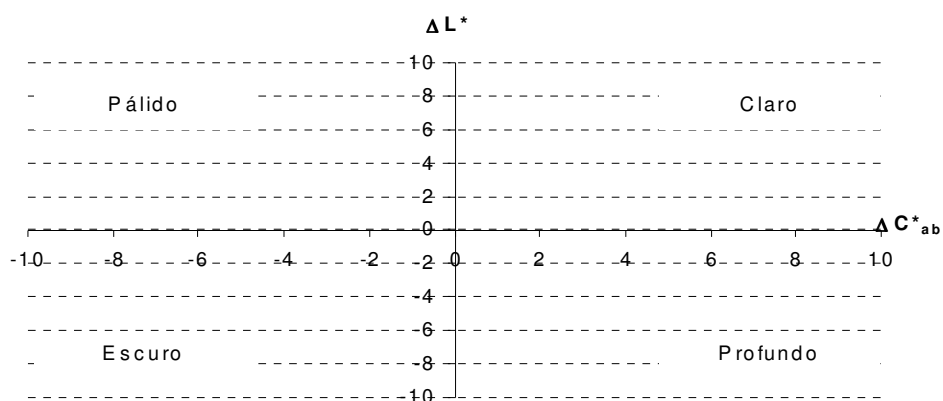
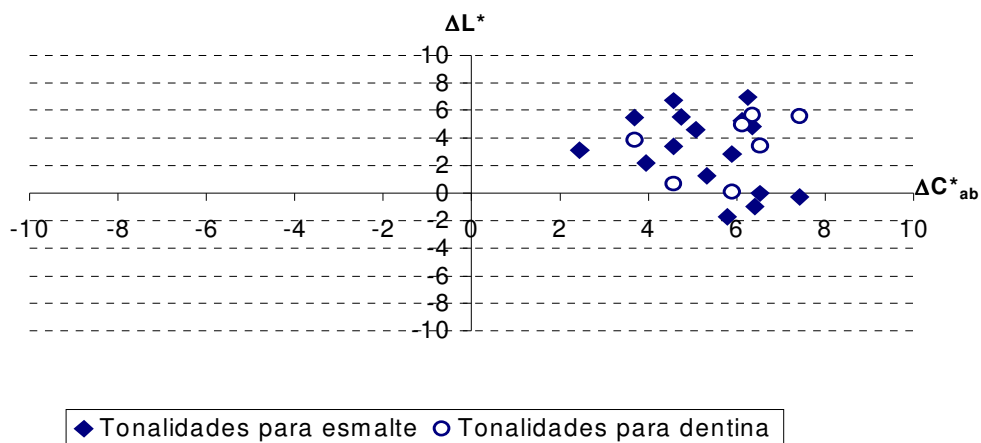


Gráfico 5.17 – Termos para descrição de diferenças de croma e de luminosidade

O gráfico 5.18 apresenta as diferenças de luminosidade em função das diferenças de croma, para as amostras com tonalidades para esmalte e para dentina.



◆ Tonalidades para esmalte ○ Tonalidades para dentina

Gráfico 5.18 – Diferença de croma (ΔC^*_{ab}) x Diferença de luminosidade (ΔL^*)

No espaço de cor CIE L*a*b* a diferença de cor pode ser expressa como um valor numérico simples, ΔE^*_{ab} , que indica o tamanho da diferença de cor mas não de que modo que as cores são diferentes. Os gráficos 5.19 (tonalidades para esmalte) e 5.20 (tonalidades para dentina) apresentam as diferenças de cor total das amostras. A linha tracejada dos gráficos indica o limite de aceitabilidade clínica de 3,7 unidades de diferença de cor total.

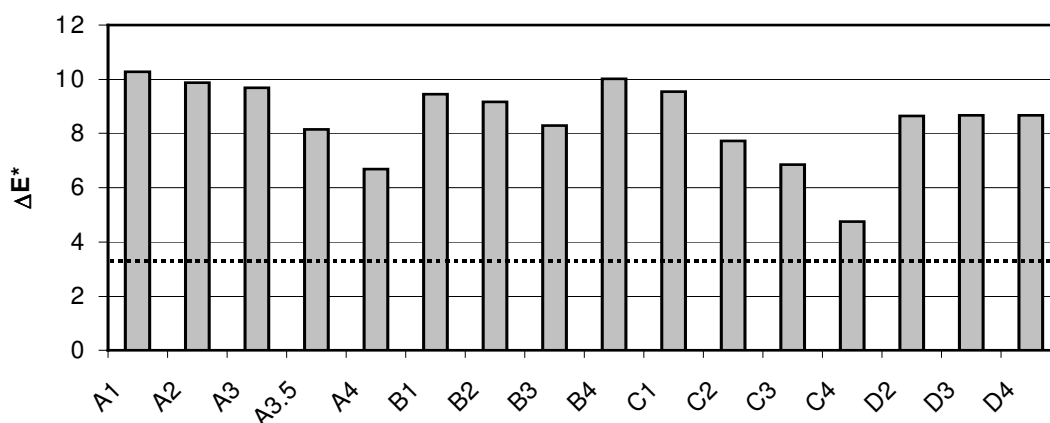


Gráfico 5.19 – Diferenças de cor total (tonalidades para esmalte)

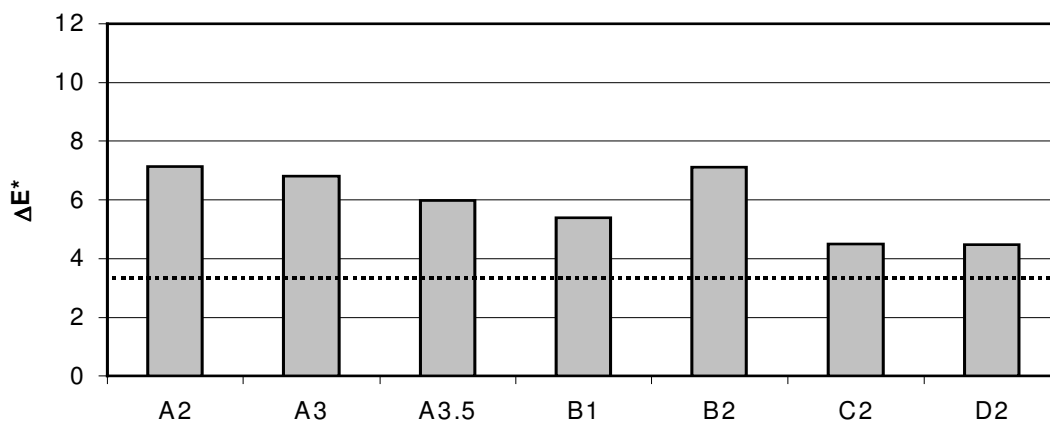


Gráfico 5.20 – Diferenças de cor total (tonalidades para dentina)

As diferenças de cor total (ΔE^*_{ab}) é composta pela diferença de luminosidade e pelas diferenças das coordenadas a^* e b^* , conforme equação (8).

Analisando cada um destes parâmetros individualmente, algumas amostras apresentaram valores dentro dos limites de aceitabilidade clínica, no entanto, analisando a diferença de cor total nenhuma das amostras seria aceitável.

Todas as amostras apresentaram valores superiores ao limite de aceitabilidade clínica de 3,7 unidades de diferença de cor total, portanto, a diferença de cor total é significativamente influenciada pela cor de fundo.

Outro parâmetro que pode ser analisado é a opacidade, que é calculada a partir da luminosidade através da razão de contraste da amostra com fundo branco e com fundo preto. A tabela 5.5 apresenta os valores de diferença de luminosidade e de opacidade.

Tabela 5.5 – Valores de diferença de luminosidade e de opacidade

Esmalte	ΔL^*	Opacidade	Dentina	ΔL^*	Opacidade
A1	7,43	0,75	--	--	--
A2	6,36	0,78	A2	3,99	0,87
A3	6,12	0,79	A3	3,68	0,87
A3.5	4,57	0,83	A3.5	3,13	0,89
A4	3,70	0,86	--	--	--
B1	6,53	0,78	B1	3,09	0,90
B2	5,89	0,80	B2	3,57	0,88
B3	4,74	0,83	--	--	--
B4	6,25	0,78	--	--	--
C1	6,41	0,78	--	--	--
C2	4,57	0,83	C2	2,46	0,91
C3	3,95	0,85	--	--	--
C4	2,45	0,90	--	--	--
D2	5,78	0,80	D2	2,42	0,92
D3	5,33	0,81	--	--	--
D4	5,07	0,82	--	--	--

A razão de contraste dos materiais translúcidos pode ter valores entre 0 e 1. Quanto maior a razão de contraste, maior a opacidade do material.

Os gráficos 5.21 (tonalidades para esmalte) e 5.22 (tonalidades para dentina) apresentam os valores obtidos de opacidade.

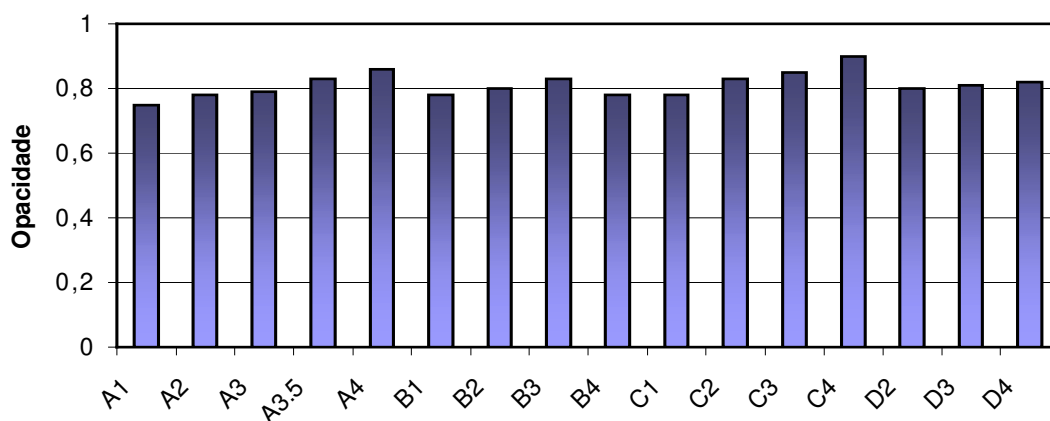


Gráfico 5.21 – Opacidade (tonalidades para esmalte)

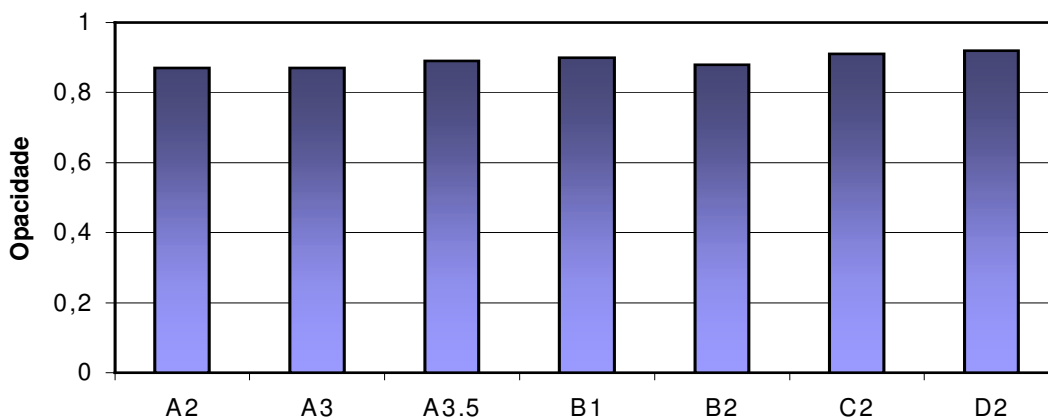


Gráfico 5.22 – Opacidade (tonalidades para dentina)

As amostras com tonalidade para dentina são mais opacas que as amostras com tonalidade para esmalte, portanto, as tonalidades para esmalte são mais translúcidas. Comparando os valores de opacidade com os valores de diferenças de luminosidade, verifica-se que quanto maior a diferença de cor, menor a opacidade, em outras palavras, maior a translucidez, portanto, existe uma correlação direta entre opacidade e luminosidade.

6 DISCUSSÃO

A estética em odontologia requer do dentista habilidades artísticas, atitude, intuição e competência técnica, que mesclam ilusão com realidade, portanto, a habilidade para reproduzir uma condição particular depende do alto grau de habilidade do dentista para observar a condição de aparência natural. A diferença entre sucesso e fracasso de restaurações estéticas depende de fatores que afetam a percepção, tais fatores, quando bem compreendidos, podem ajudar na criação de restaurações esteticamente aceitáveis (MAYEKAR, 2001).

Muito embora tenha ocorrido, nos últimos anos, o desenvolvimento contínuo de materiais restauradores dentais e instrumentos de medição de cor a seleção de tonalidade intraoral não mudou significativamente desde os estudos dentais iniciados por Clark, pois a seleção de tonalidade intraoral ainda depende das habilidades visuais do clínico de discriminar cor e perceber diferenças para caracterizar restaurações e alterar tonalidades (BARRETT et al., 2002).

Exatamente como um artista deve conhecer todas as ferramentas do seu ofício, um dentista deve saber usar cada uma destas ferramentas para obter um resultado final satisfatório de restauração odontológica estética. A ciência de cor é um assunto complexo, mas que pode ser aprendido (MAYEKAR, 2001).

A seleção de tonalidade da maioria dos novos materiais utiliza o guia de tonalidade Vita, tornando este guia o padrão utilizado em clínica odontológica. O intervalo de tonalidade está dividido em quatro grupos de matiz, sendo o A marrom, B amarelo, C cinza e D vermelho (YAP, 1998).

Algumas variáveis não controladas podem ser introduzidas quando avaliações de cor de objetos são realizadas por observadores humanos. Com o desenvolvimento tecnológico de colorimetria, pode se realizar avaliações de cor mais precisas e próximas da classificação visual, ampliando o campo de aplicação, como controle de qualidade de produto, identificação, avaliação e seleção de materiais, e o sistema colorimétrico CIE $L^*a^*b^*$ tem ajudado nestes processos.

Para um olho não treinado a cor de um dente é branca ou amarela, no entanto, examinando mais detalhadamente o dente apresenta tonalidades dentro do intervalo amarelo com nuances de vermelho, sendo a região cervical a que usualmente mostra uma tonalidade mais amarela e maior croma que o corpo do dente, devido à camada fina de esmalte nesta região (MAYEKAR, 2001).

Para cada grupo de matiz estão incluídas unidades de tonalidade com croma e luminosidade crescentes, denominados em ordem numérica, como por exemplo: A1, A2, A3, A3,5 e A4.

Com fundo branco, a tonalidade A1, selecionada como a mais clara apresenta os valores de luminosidade (L^*) mais altos, com média de 65,7, a tonalidade C4 selecionada como a mais escura apresenta os valores de luminosidade (L^*) mais baixos, com média de 54,7, e a tonalidade D3 apresentou valores de luminosidade (L^*) intermediários, com média de 61,1.

Muito da cor vista de um dente é resultado da dentina subjacente, devido à translucidez do esmalte, tentativas de mudanças ou reprodução da cor pode iniciar abaixo da superfície. Imitando algumas das condições, tais como, falha de esmalte, efeitos da idade, dentes gastos e manchas de superfície, podem ajudar a melhorar o resultado final (MAYEKAR, 2001).

A opacidade de um material depende da refletividade do fundo branco e da espessura da lamina, portanto, não pode ser considerada como uma característica absoluta do material. A correção da espessura da amostra pode ser removida se a preparação destas amostras for padronizada.

Os resultados encontrados mostraram que a cor de fundo exerce uma grande influência na tonalidade final da restauração, alterando principalmente a luminosidade e a coordenada b^* (eixo amarelo). No entanto, a investigação de Douglas e Brewer (1998) demonstrou que os observadores foram mais críticos na variação do vermelho (coordenada a^*).

Mesmo pequenas alterações da coordenada a^* , nuances de vermelho, podem representar uma insatisfação no resultado final da restauração. Para a luminosidade (L^*) a alteração da cor de fundo apresenta diferenças que variam de 2,4 a 7,4 unidades nas amostras com tonalidades para esmalte e variam de 2,4 a 4,0 unidades nas amostras com tonalidades para dentina. Para a coordenada b^* a alteração da cor de fundo apresenta diferenças que variam de 3,6 a 7,6 unidades nas amostras com tonalidades para esmalte e variam de 3,4 a 5,9 unidades.

Estas variações são muito altas para os extremos de cor de fundo, branco e preto, portanto, é muito importante que a cor de fundo seja controlada, de preferência padronizada, para que a tonalidade escolhida para restauração apresente o resultado esperado.

O uso de guias de tonalidade em odontologia tem facilitado a seleção clínica da tonalidade mais adequada para uma restauração estética. No entanto, quando se trata de materiais restauradores translúcidos, a espessura da restauração pode comprometer o resultado final da restauração, devido à influência da cor de fundo.

Sendo a cor do dente o resultado da interação entre a cor da dentina e a cor, a espessura e a translucidez do esmalte, então, todas estas componentes devem ser controladas.

Com base nos resultados obtidos, a proposta deste trabalho é a reformulação da apresentação dos guias de tonalidade de materiais translúcidos. A sugestão é que para cada tonalidade de material restaurador sejam preparadas lâminas com espessuras padronizadas, que atendam as necessidades de procedimentos clínicos de restauração estética, de tal forma que cada lâmina possa ser colocada sob superfícies com cores diferentes que simulem a cor de fundo, como variações de cores de dentina.

Durante o procedimento clínico, o dentista deve estimar a espessura do material restaurador, colocar as lâminas de tonalidade na espessura aproximada sobre superfícies com cores variadas, que sejam características da cor de fundo, tais como cor do material de proteção ou cor da própria dentina. Com a lâmina de tonalidade sobre a superfície de cor correspondente a cor de fundo, o dentista pode selecionar a tonalidade mais adequada para a restauração, reduzindo consideravelmente a margem de erro de sua seleção e, conseqüentemente, aumentando a probabilidade de se obter resultados estéticos satisfatórios.

Esta sugestão de reformulação dos guias de tonalidade requer investigações futuras quanto às espessuras das lâminas de tonalidade e medição das diversas cores do material de proteção e da dentina.

7 CONCLUSÕES

Dentística pode ser mais uma forma de arte do que de ciência, pois as habilidades individuais do clínico influenciam a previsibilidade e reprodutibilidade da restauração final, portanto, o olho humano será sempre o árbitro final do sucesso na reprodução da cor. Por esta razão, a comunicação da cor deve ser melhorada, combinando as técnicas tradicionais à ciência de colorimetria.

A principal conclusão deste trabalho é que a tonalidade do material restaurador, selecionado a partir de um guia de tonalidade, dependendo da espessura, sofre grandes influências da cor de fundo. Portanto, o modo de apresentação dos guias de tonalidade deve ser reformulado, de tal forma que leve em consideração a espessura necessária para restauração e a cor de fundo.

Com um guia de tonalidade reformulado o dentista pode diminuir consideravelmente a margem de erro na seleção de tonalidade de restaurações odontológicas estéticas, pois ao considerar a espessura média da cavidade a ser restaurada e a cor de fundo, o resultado final da cor da restauração torna-se mais exato e previsível.

REFERÊNCIAS ¹

Ahmad I. Three-dimensional shade analysis: perspectives of color – Part I. *Pract Periodont Aesthet Dent* 1999;11(7):789-96.

Anusavice KJ, Zhang N-Z, Moorhead JE. Influence of P₂O₅, AgNO₃, and FeCl₃ on color and translucency of lithia-based glass-ceramics. *Dent Mater* 1994;10(4):230-5.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT TB-23. Iluminação: terminologia. São Paulo; 1991.

Bangtson LK, Goodkind RJ. The conversion of Chromascan designations to CIE tristimulus values. *J Prosthet Dent* 1982;48(5):610-7.

Barrett AA, Grimaudo NJ, Anusavice KJ, Yang MCK. Influence of tab and disk design on shade matching of dental porcelain. *J Prosthet Dent* 2002;88(6):591-7.

Berger-Schunn A. Practical color measurement. New York: John Wiley & Sons; 1994. cap. 1-4, p. 1-91.

Billmeyer FW Jr, Saltzman M. Principles of color technology. 2^a ed. New York: John Wiley & Sons; 1981. cap. 1-3, p. 1-110.

Buchalla W, Attin T, Hilgers R-D, Hellwig E. The effect of water storage and light exposure on the color and translucency of a hybrid and a microfilled composite. *J Prosthet Dent* 2002;87(3):264-70.

Commission Internationale de l'Eclairage – CIE. CIE 15.2. Colorimetry. 2^a ed. Austria: Central Bureau of the CIE; 1986. p. 1-74.

Commission Internationale de l'Eclairage – CIE. CIE 50(845). International Lighting Vocabulary. Austria: Central Bureau of the CIE; 1987.

Crisp S, Abel G, Wilson AD. The quantitative measurement of the opacity of aesthetic dental filling materials. *J Dent Res* 1979;58(6):1585-96.

¹ De acordo com o Estilo Vancouver. Abreviatura de periódicos segundo as bases Medline.

Dancy WMK, Yaman P, Dennison JB, O'Brien WL, Razzoog ME. Color measurements as quality criteria for clinical shade matching of porcelain crowns. *J Esthet Restor Dent* 2003;15(2):114-22.

Dawkins R. A escala do monte improvável. São Paulo: Schwarcz; 1996. cap. 5, p. 157-218.

Derbabian K, Marzola R, Donovan TE, Arcidiacono A. The science of communicating the art of esthetic dentistry – Part III: Precise shade communication. *J Esthet Restor Dent* 2001;13(3):154-62.

Driscoll WG. Spectrophotometers. In: Kingslake R. Applied optics and optical Engineering. New York: Academic Press; 1965. cap. 4, p. 85-104.

Douglas RD. Color stability of new-generation indirect resins for prosthodontic application. *J Prosthet Dent* 2000;83(2):166-70.

Douglas RD, Brewer JD. Acceptability of shade differences in metal ceramic crowns. *J Prosthet Dent* 1998;79(3):254-60.

Douglas RD, Przybylska M. Predicting porcelain thickness required for dental shade matches. *J Prosthet Dent* 1999;82(2):143-9.

Fahl N Jr, Denehy GE, Jackson RD. Protocol for predictable restoration of anterior teeth with composite resins. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 1995;7(8):13-21.

Fay R-M, Servos T, Powers JM. Color of restorative materials after staining and bleaching. *Oper Dent* 1999;24(5):292-6.

Foster RS. Color as an aspect of appearance. In: Johnston RM, Saltzman M. Industrial color technology. Washington: American Chemical Society; 1971. cap. 3, p. 17-22.

Fruits TJ, Duncanson MG Jr, Miranda FJ. In vitro weathering of selected direct esthetic restorative materials. *Quintessence Int* 1997;28(6):409-14.

Groh CL, O'Brien WJ, Boenke KM. Differences in color between fired porcelain and shade guides. *Int J Prosthodont* 1992;5(6):510-4.

Hammond III HK. Colorimeters. In: Kingslake R. Applied optics and optical Engineering. New York: Academic Press; 1965. v. 4, cap. 5, p. 105-31.

Heydecke G, Zhang F, Razzoog ME. In vitro color stability of double-layer veneers after accelerated aging. J Prosthet Dent 2001;85(6):551-7.

Inokoshi S, Burrow MF, Kataumi M, Yamada T, Takatsu T. Opacity and color changes of tooth-colored restorative materials. Oper Dent 1996;21(2):73-80.

Johnston RM. What is color? An introduction to colorimetry. In: Johnston RM, Saltzman M. Industrial color technology. Washington: American Chemical Society; 1971. cap. 2, p. 4-16.

Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. J Dent Res 1989;68(5):819-22.

Lee SY, Nathanson D, Giordano R. Colour stability of a new light-cured ceramic stain system subjected to glazing temperature. J Oral Rehab 2001;28:457-62.

Lund PS, Piotrowski TJ. Color changes of porcelain surface colorants resulting from firing. Int J Prosthodont 1992;5(1):22-7.

Mayekar SM. Shades of a color: illusion or reality? Dent Clin North Am 2001;45(1):155-72.

Mutlu-Sagesen L, Ergün G, Özkan Y, Bek B. Color stability of different denture teeth materials: an in vitro study. J Oral Sci 2001;43(3):193-205.

O'Brien WJ, Groh CL, Boenke KM. A new, small-color-difference equation for dental shades. J Dent Res 1990;69(11):1762-4.

O'Brien WJ, Groh CL, Boenke KM. A one-dimensional color order system for dental shade guides. Dent Mater 1989;5(6):371-4.

O'Brien WJ, Kay K-S, Boenke KM, Groh CL. Sources of color variation on firing porcelain. Dent Mater 1991;7(3):170-3.

Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrument shade matching. *J Prosthet Dent* 1998;80(6):642-8.

Owen T. *Fundamentals of UV-visible spectroscopy*. Germany: Hewlett-Packard; 1996. cap. 1-3, p. 10-86.

Paravina RD, Powers JM, Fay R-M. Dental color standards: shade tab arrangement. *J Esthet Restor Dent* 2001;13(4):254-63.

Russell MD, Gulfranz M, Moss BW. In vitro measurement of colour changes in natural teeth. *J Oral Rehabil* 2000;27(9):786-92.

Schanda JD. Colorimetry. In: DeCusatis C. *Handbook of applied photometry*. New York: Optical Society of America Springer-Verlag; 1998. cap. 10, p. 327-412.

Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain. *J Dent Res* 1989;68(12):1760-4.

Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Performance assessment of colorimetric devices on dental porcelains. *J Dent Res* 1989;68(12):1755-9.

Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. *J Prosthet Dent* 1986;56(1):35-40.

Wozniak WT, Siew ED, Lim J, McGill SL, Sabri Z, Moser JB. Color mixing in dental porcelain. *Dent Mater* 1993;9(4):229-33.

Wyszecki G. Colorimetry. In: *Handbook of optics*. New York: McGraw-Hill Book Company; 1978. cap. 2, p. 1-40.

Wyszecki G, Stiles WS. *Color science*. 2a. ed. New York: John Wiley & Sons; 1982. 248 p.

Yap AUJ. Color attributes and accuracy of Vita-based manufacturers' shade guides. *Oper Dent* 1998;23(5):266-71.

Yap AUJ, Sim CPC, Loganathan V. Polymerization color changes of esthetic restoratives. *Oper Dent* 1999;24(5):306-11.

Yap AUP, Sim CPC, Loh WL, Teo JH. Human-eye versus computerized color matching. *Oper Dent* 1999;24(6):358-63.

GLOSSÁRIO ¹

A seguir estão apresentados alguns dos principais termos técnicos utilizados em colorimetria. Ao lado do termo técnico, em português, está entre parênteses e em itálico, o termo técnico correspondente em inglês da Publicação CIE 50(845):1987 – *International Lighting Vocabulary* (CIE, 1987; ABNT TB-23, 1991).

Absorção (*absorption*) – Conversão de energia radiante em outra forma de energia, por interação com a matéria.

Acomodação (*accommodation*) – Ajuste da convergência do cristalino do olho, para que a imagem de um objeto, a uma dada distância, se focalize sobre a retina.

Acuidade visual – resolução visual (*visual acuity – visual resolution*) – Em sentido qualitativo, é a capacidade de ver distintamente finos detalhes que têm uma separação angular muito pequena. Em sentido quantitativo, é uma qualquer dentre as várias medidas de distribuição espacial, tal como o inverso do valor da separação angular de dois elementos vizinhos, para o qual o observador pode apenas perceber que esses elementos estão separados.

Adaptação (*adaptation*) – Processo pelo qual o estado do sistema visual é modificado pela exposição a estímulos, prévios e presentes, com luminâncias, distribuições espectrais e extensões angulares variáveis.

Adaptação cromática (*chromatic adaptation*) – Adaptação a estímulos na qual o efeito predominante é devido às diferenças de distribuições espectrais relativas.

¹ De acordo com a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – TB-23:1991 – Iluminação – Terminologia (NBR 5461:1980), foram consideradas as alterações propostas pela Comissão de Estudo de Terminologia (CE-01:01) do Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03).

Bastonetes (*rods*) – Fotorreceptores da retina que contêm um pigmento sensível à luz e capazes de iniciar o processo de visão escotópica.

Claridade (*lightness*) – É a luminosidade de uma superfície apreciada em relação à luminosidade de uma superfície que é iluminada de maneira semelhante e que parece branca ou altamente transmissiva.

Claro (*light*) – Adjetivo utilizado para descrever altos níveis de claridade.

Comprimento de onda dominante (λ_d) (*dominant wavelength*) – Comprimento de onda de um estímulo de cor monocromático que, quando misturado aditivamente e em proporções adequadas com o estímulo acromático especificado, permite reconstituir o estímulo de cor considerado.

Cones (*cones*) – Fotorreceptores da retina que contêm pigmentos sensíveis à luz e capazes de iniciar o processo de visão fotópica.

Coordenadas de cromaticidade (*chromaticity coordinates*) – Razão de cada um dos três valores de tristímulos, para a sua soma.

Cor (*color*) – Atributo da percepção visual formado por uma combinação qualquer de um elemento cromático e de um elemento acromático. Esse atributo pode ser descrito pelos nomes das cores cromáticas (amarelo, laranja, marrom, vermelho, rosa, verde, azul, púrpura, etc.), ou pelos nomes de cores acromáticas (branco, cinza, preto), e pode ser qualificado por adjetivos tais como: luminoso, fosco, claro, escuro, etc., ou por combinações de tais nomes e adjetivos.

Croma (*chroma*) – Cromaticidade de uma superfície apreciada em relação à luminosidade de uma superfície que é iluminada nas mesmas condições, e que parece branca ou altamente transmissiva.

Cromaticidade (*chromaticity*) – Propriedade de um estímulo de cor definida por suas coordenadas de cromaticidade, ou pelo seu comprimento de onda dominante, junto com a sua pureza.

Diferença de cor CIE L*a*b* 1976 (ΔE^*_{ab}) (*CIE 1976 L*a*b* color difference*) – Diferença entre dois estímulos de cor, definida pela distância euclidiana entre os pontos que os representam no espaço L*a*b*.

Difusão (*diffusion; scattering*) – Modificação da distribuição espacial de um feixe de radiação, quando desviado em múltiplas direções por uma superfície ou por um meio, sem modificação da frequência dos componentes monocromáticos dessa radiação.

Escuro (*dark*) – Adjetivo utilizado para descrever baixos níveis de claridade.

Espaço de cor (*color space*) – Representação geométrica das cores no espaço, em geral a três dimensões.

Espaço de cor CIE L*a*b* 1976 (*CIE 1976 L*a*b* color space*) – Espaço de cor tridimensional aproximadamente uniforme, que se obtém representando em coordenadas retangulares as grandezas L*, a*, b*.

Espaço de cor uniforme (*uniform color space*) – Espaço de cor no qual as distâncias iguais são destinadas a representar as diferenças de limiar ou de superlimiar de igual amplitude entre as cores percebidas.

Estímulo de cor (*color stimulus*) – Radiação visível que penetra nos olhos e produz uma sensação de cor, tanto cromática como acromática.

Fontes padrão CIE (*CIE standard sources*) – Fontes artificiais especificadas pela CIE cujas radiações se aproximam dos iluminantes padrão A, B, C, D₆₅.

Fosco (*dim*) – Adjetivo utilizado para descrever baixos níveis de luminosidade.

Iluminante (*illuminant*) – Radiação que tem uma distribuição de potência espectral relativa definida, na faixa dos comprimentos de onda capazes de influenciar a percepção da cor dos objetos.

Iluminante luz do dia (*daylight illuminant*) – Iluminante que tem a mesma, ou aproximadamente a mesma, distribuição de potência espectral relativa de certa fase da luz do dia.

Iluminantes padrão CIE (*CIE standard illuminants*) – Iluminantes A, B, C, D₆₅ e outros iluminantes D, definidos pela CIE em termos de suas distribuições de potência espectrais relativas. Esses iluminantes se destinam a representar:

- a) o iluminante A, a radiação de um corpo negro, a uma temperatura de cor de cerca de 2856K;
- b) o iluminante B, a radiação solar direta (obsoleto);
- c) o iluminante C, a luz do dia média (obsoleto);
- d) o iluminante D₆₅, a luz do dia, incluindo a radiação ultravioleta.

Luminosidade (*brightness; luminosity*) – Atributo da sensação visual segundo o qual uma superfície parece emitir mais ou menos luz.

Luz (*light*) – Atributo indispensável e comum a todas as percepções e sensações que são peculiares ao sistema visual.

Matiz (*hue*) – Atributo de uma sensação visual segundo o qual uma superfície parece semelhante a uma das cores percebidas, vermelho, amarelo, verde e azul, ou a uma combinação dessas cores.

Meio opaco (*opaque medium*) – Meio que não transmite radiação na faixa espectral de interesse.

Meio translúcido (*translucent medium*) – Meio que transmite a radiação visível quase inteiramente por transmissão difusa, de modo que os objetos não podem ser vistos distintamente através desse meio.

Meio transparente (*transparent medium*) – Meio no qual a transmissão é predominantemente regular, e que em geral tem uma alta transmitância regular na faixa espectral de interesse.

Pureza (*purity*) – Medida da proporção das quantidades de um estímulo monocromático e de um estímulo acromático especificado que, quando misturado aditivamente, permitem reconstituir o estímulo de cor considerado.

Reflexão (*reflexion*) – Retorno de uma radiação que incide numa superfície ou num meio, sem modificação da frequência dos componentes monocromáticos dessa radiação.

Retina (*retina*) – Membrana situada no interior do fundo do olho, sensível aos estímulos luminosos, formada por fotorreceptores (cones e bastonetes) e células nervosas que transmitem ao nervo óptico os sinais que resultam da excitação dos fotorreceptores.

Saturação (*saturation*) – Cromaticidade de uma superfície apreciada em relação à sua luminosidade. Para um dado conjunto de condições de observação e para níveis de luminância dentro dos limites da faixa de visão fotópica, um estímulo de cor de uma dada cromaticidade tem aproximadamente saturação constante em todos os níveis de luminância, exceto quando a luminosidade é muito alta.

Semelhança de cor (*color matching*) – Ação para fazer com que um estímulo de cor pareça da mesma cor que um estímulo de cor dado.

Temperatura de cor (*color temperature*) – Temperatura do corpo negro que emite uma radiação que tem a mesma cromaticidade que a do estímulo dado. Unidade: K.

Transmissão (*transmission*) – Passagem de uma radiação através de um meio, sem modificação da frequência dos componentes monocromáticos dessa radiação.

Visão escotópica (*scotopic vision*) – Visão do olho normal quando adaptado a níveis de luminância inferiores a poucos centésimos de candela por metro quadrado. Os bastonetes são os principais fotorreceptores ativos na visão escotópica.

Visão fotópica (*photopic vision*) – Visão do olho normal quando adaptado a níveis de luminância no mínimo iguais a várias candelas por metro quadrado. Os cones são os principais fotorreceptores ativos na visão fotópica.

Visão mesópica (*mesopic vision*) – Visão intermediária entre a visão fotópica e a visão escotópica. Na visão mesópica, tanto os cones como os bastonetes são ativos.