

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – BACHARELADO

SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE CORES UTILIZANDO
ESPECTROFOTÔMETRO

CRISTIANO BERTOLINI

BLUMENAU
2010

2010/1-06

CRISTIANO BERTOLINI

**SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE CORES UTILIZANDO
ESPECTROFOTÔMETRO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Universidade Regional de Blumenau para a
obtenção dos créditos na disciplina Trabalho
de Conclusão de Curso II do curso de Ciência
da Computação — Bacharelado.

Prof. Antônio Carlos Tavares, Mestre - Orientador

**BLUMENAU
2010**

2010/1-06

SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE CORES UTILIZANDO ESPECTROFOTÔMETRO

Por

CRISTIANO BERTOLINI

Trabalho aprovado para obtenção dos créditos na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, pela banca examinadora formada por:

Presidente: _____
Prof. Antônio Carlos Tavares, Mestre – Orientador, FURB

Membro: _____
Prof. Miguel Alexandre Wisintainer, Mestre – FURB

Membro: _____
Prof. Dalton Solano dos Reis, Mestre – FURB

Blumenau, 1 de julho de 2010

Dedico este trabalho aos meus pais e a todos que de alguma forma me incentivaram e apoiaram durante a sua realização.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente.

À minha família, que soube respeitar meu tempo dedicado a este trabalho.

Aos meus amigos, por sempre me apoiarem nos momentos difíceis.

A empresa Tinturaria Florisa Ltda. por disponibilizar o espaço, tempo, recursos e ferramentas necessárias para este trabalho.

Ao químico Clovis Riffel por me emprestar o seu livro sobre colorimetria.

A Alberto Graham Bell por disponibilizar material e indicar referências para o entendimento do assunto.

Aos amigos Aléssio Catafesta Neto e André Luis Cervi pelas dicas de implementação.

A Danny Pascale e Bruce Justin Lindbloom pelo apoio e por esclarecer minhas dúvidas.

A todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica.

Aos professores, Dalton Solano dos Reis, José Roque Voltolini da Silva, Paulo César Rodacki Gomes e Everaldo Artur Grahl, que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador, Antônio Carlos Tavares, por ter acreditado na conclusão deste trabalho.

Estudar não é um ato de consumir idéias, mas de criá-las e recriá-las.

Paulo Freire

RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema para medição de cores. O sistema funciona em conjunto com um espectrofotômetro, que mede a reflectância de uma superfície ou amostra de cor em função do comprimento de onda. O sistema se comunica com o espectrofotômetro através de comunicação serial e permite que a cor medida seja visualizada no formato *Red*, *Green* e *Blue* (RGB) na tela do computador. O sistema também torna possível a representação numérica da cor em outros modelos de cores conhecidos. Permite a conversão entre modelos de cores, a busca por cores semelhantes e a exportação dos valores numéricos das cores já medidas.

Palavras-chave: Comunicação serial. Colorimetria. Medição de cor. Espectrofotometria. Modelo de cor.

ABSTRACT

This work describes the development of a system for color's measure. The system works together with a spectrophotometer that measures the reflectance of a surface or color sample in function of the wavelength. The system communicates with the spectrophotometer, through serial communication and it allows the measured color to be visualized in the format Red, Green and Blue (RGB format) in the screen of the computer. The system also turns possible the numeric representation of the color in other models of known colors, allows the conversion among models of colors, the search for similar colors and the export of the numeric values of the colors already measured.

Key-words: Serial communication. Colorimetry. Color measurement. Spectrophotometry. Color model.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Espectro de luz visível.....	18
Figura 2 – Modelo de cor CIE XYZ.....	21
Figura 3 – Cabine de luz simulando iluminante A.....	23
Figura 4 – Cabine de luz simulando iluminante D65.....	23
Figura 5 – Observadores padrão CIE 1931 (2°) e CIE 1964 (10°).....	24
Figura 6 – Representação de um espaço de cor.....	25
Figura 7 – Modelo RGB.....	26
Figura 8 - Relação entre as cores dos modelos RGB e CMYK.....	29
Figura 9 – Modelo de cor HSV.....	30
Figura 10 – Modelo de cor HSL.....	32
Figura 11 – Modelo de cor CIE LAB.....	33
Figura 12 – Modelo de cor CIE LCH.....	35
Figura 13 - Metamerismo.....	37
Figura 14 – Espectrofotômetro Minolta CM-2500d.....	39
Figura 15 - <i>Specular Component Excluded</i> (SCE).....	41
Figura 16 - <i>Specular Component Included</i> (SCI).....	41
Figura 17 - Geometria de medição 45:0 e 0:45.....	42
Figura 18 – Protótipo de Fernandes.....	43
Figura 19 – Interface gráfica para medição de cor.....	44
Figura 20 – Interface para cálculo de cor.....	45
Figura 21 – Diagrama de casos de uso do sistema.....	47
Figura 22 - Diagrama de classes para cálculo de cor.....	49
Figura 23 – Diagrama de classes para modelos de cores.....	51
Figura 24 - Diagrama de sequência, apresentando o processo de medição de uma cor.....	53
Figura 25 – Tela de configurações de comunicação.....	61
Figura 26 – Tela de calibração.....	62
Figura 27 – Tela de informações do aparelho.....	65
Figura 28 – Tela configurações de cálculo de cor.....	66
Figura 29 – Tela de medição de cor.....	67
Figura 30 – Tela para busca de cor.....	69
Figura 31 – Tela de exportação dos modelos de cores.....	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Disposição das cores no espectro de luz	19
Quadro 2 – Fórmula para cálculo de cor	21
Quadro 3 – Matrizes de transformação CIE XYZ para os vários modelos RGB	27
Quadro 4 – Fórmula para cálculo do modelo RGB.....	27
Quadro 5 – Fórmula para aplicar a <i>gamma</i> no modelo sRGB.....	28
Quadro 6 – Fórmula de conversão RGB para CMY	29
Quadro 7 – Fórmula de cálculo de CMYK	30
Quadro 8 – Algoritmo para conversão de RGB para HSV	31
Quadro 9 – Algoritmo para conversão de RGB para HSL.....	32
Quadro 10 – Fórmula para cálculo CIE LAB	34
Quadro 11 - Fórmula para cálculo CIE LCH.....	35
Quadro 12 – Fórmula para cálculo de diferença de cor no modelo CIE LAB.....	36
Quadro 13 - Características Minolta CM-2500d	39
Quadro 14 – Características dos trabalhos correlatos.....	45
Quadro 15 – Códigos de mensagens do protocolo.....	55
Quadro 16 – Comando CAL	56
Quadro 17 – Comando CDR	56
Quadro 18 – Comando CPS	57
Quadro 19 – Comando IDR	57
Quadro 20 – Comando MÊS	58
Quadro 21 – Comando STR.....	59
Quadro 22 – Comando UZC	60
Quadro 23 – Configuração serial Minolta.....	60
Quadro 24 – Construtor da classe com_IDR.....	63
Quadro 25 - Construtor da classe com_STR.....	64
Quadro 26 - Método calculaXYZ implementação fórmula para cálculo de cores.....	68
Quadro 27 – Método Delta_Labch implementação da fórmula Delta E (CIE 1976).....	70
Quadro 28 – Comparativo dos resultados Observador 10° para CIE XYZ, LAB e LCH.....	72
Quadro 29 - Comparativo dos resultados Observador 2° para CIE XYZ, LAB e LCH.....	72
Quadro 30 - Comparativo dos resultados Observador 10° para RGB, CMYK, HSL e HSV.....	74
Quadro 31 - Comparativo dos resultados Observador 2° para RGB, CMYK, HSL e HSV.....	74

Quadro 32 - Características da aplicação e trabalhos correlatos.....	75
Quadro 33 – Layout de exportação de cores	81
Quadro 34 – Método XYZparaRGB.....	82
Quadro 35 - Método XYZparaLab	83
Quadro 36 – Método LabparaLch.....	84
Quadro 37 – Método RGBparaCMYK	84
Quadro 38 – Método RGBparaHSL.....	85
Quadro 39 – Método RGBparaHSV.....	86
Quadro 40 – Método RGBparaHexa	86
Quadro 41 - Lista de comandos do protocolo de comunicação.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição espectral do iluminante D65	87
Tabela 2 - Distribuição espectral do iluminante A.....	89
Tabela 3 – Valores observador padrão CIE 1931 (2°).....	91
Tabela 4 - Valores observador padrão CIE 1964 (10°)	93

LISTA DE SIGLAS

API - *Application Programming Interface*

CIE – *Commission International de l'éclairage*

CMYK – *Cyan, Magenta, Yellow e Black*

HSL – *Hue, Saturation e Lightness*

HSV – *Hue, Saturation e Value*

ISO - *International Organization for Standardization*

LCH – *Lightness Chroma Hue*

RF – Requisito Funcional

RGB – *Red, Green e Blue*

RNF – Requisito Não-Funcional

SCE – *Specular Component Excluded*

SCI – *Specular Component Included*

SQL - *Structured Query Language*

UML – *Unified Modeling Language*

LISTA DE SÍMBOLOS

λ - comprimento de onda

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO	16
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 ESPECTRO DE LUZ.....	18
2.2 A COR.....	20
2.2.1 Calculando a cor.....	20
2.2.1.1 Iluminante	22
2.2.1.2 Observador padrão.....	24
2.2.2 Modelos e espaços de cor.....	24
2.2.2.1 Modelo de Cor RGB	26
2.2.2.2 Modelo de Cor CMYK	28
2.2.2.3 Modelo de Cor HSV	30
2.2.2.4 Modelo de Cor HSL.....	31
2.2.2.5 Modelo de cor CIE LAB.....	33
2.2.2.6 Modelo de cor CIE LCH.....	34
2.2.3 Calculando diferenças de cor	35
2.2.4 Metamerismo.....	36
2.3 COMUNICAÇÃO SERIAL RS-232.....	37
2.4 HARDWARE (ESPECTROFOTÔMETRO).....	38
2.4.1 Geometria de medição.....	40
2.4.1.1 Geometria d:8° e 8°:d	40
2.4.1.2 Geometria 45°:0° e 0°:45°	41
2.5 TRABALHOS CORRELATOS.....	42
2.5.1 Protótipo de visualização para modelos de cor para medição de objetos em espectrofotômetros por reflectância	42
2.5.2 OnColor QC Lite.....	43
2.5.3 OpenRGB.....	44
2.5.4 Comparação entre os trabalhos correlatos.....	45
3 DESENVOLVIMENTO	46
3.1 REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO.....	46

3.2 ESPECIFICAÇÃO	46
3.2.1 Diagrama de casos de uso	47
3.2.2 Diagrama de classes	48
3.2.2.1 Cálculo de cor	48
3.2.2.2 Modelos de cor	50
3.2.3 Diagrama de seqüência	52
3.3 IMPLEMENTAÇÃO	54
3.3.1 Técnicas e ferramentas utilizadas.....	54
3.3.2 Operacionalidade da implementação	55
3.3.2.1 Protocolo de comunicação	55
3.3.2.2 Configuração serial	60
3.3.2.3 Calibração do aparelho	61
3.3.2.4 Informações do aparelho.....	62
3.3.2.5 Configurações de cálculo de cor.....	65
3.3.2.6 Medição de cor	66
3.3.2.7 Busca de cor.....	68
3.3.2.8 Exportação valores calculados.....	70
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
4 CONCLUSÕES.....	76
4.1 EXTENSÕES	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
APÊNDICE A – Layout do arquivo de exportação.....	81
APÊNDICE B – Transformações entre os modelos	82
ANEXO A – Iluminantes	87
ANEXO B – Observadores padrão	91
ANEXO C – Comandos do protocolo de comunicação.....	95

1 INTRODUÇÃO

As organizações estão utilizando recursos de publicidade e propaganda para atingirem seus mercados, entre os recursos de propaganda, os anúncios comerciais estão sendo cada vez mais visualizados. As imagens de produtos ou de empresas despertam através da cor, desejos e promessas de satisfação para os consumidores. Quando uma imagem é muito simples, se torna mais fácil memorizá-la e reconhece-la, e quando é associado a algum produto, ele pode ser encontrado mais facilmente quando procurado (TORNQUIST, 2008, p. 249).

Segundo Lucas et al. (1996, p. 76), a cor e percepção de cor são extremamente importantes na vida humana. Por exemplo, o sucesso ou o fracasso de um novo produto, é principalmente influenciado pela impressão visual que as pessoas têm do produto. Por este motivo, a especificação e reprodução da cor exata se fazem necessárias.

Régula (2004, p. 28) coloca que muitos profissionais, que atuam na área de controle de qualidade, avaliam a cor visualmente. Com o aumento das exigências dos consumidores, a utilização de instrumentos para medição de cor nas indústrias tornou-se indispensável. Isso se deve ao fato de que possam existir deficiências no campo visual do avaliador e estas podem ser supridas pela medição instrumental da cor.

Fernandes (2002, p. 1) coloca que a colorimetria é a ciência da medição da cor. Através da colorimetria, a cor pode ser expressa de uma forma numérica, utilizando-se o espectrofotômetro para medição por reflectância de uma amostra. Esta forma numérica de se obter a cor é possível, desde que se trabalhe com valores padronizados quanto as fontes luminosas, geometrias de observação e sensibilidade média do olho humano.

Segundo Minolta (2007, p. 16, tradução nossa), um modelo de cor pode ser definido como um “método para expressar a cor de um objeto ou de uma fonte de luz usando algum tipo de notação, como números”. Uma organização internacional preocupada com a luz e cor, *Commission International de l'Éclairage* (CIE), desenvolveu métodos para expressar a cor numericamente. Os dois métodos mais conhecidos são o modelo de cor Y_{xy} , criado em 1931, baseado nos valores triestímulos xyz definidos pela CIE, e o modelo de cor $L^*a^*b^*$, criado em 1976 para fornecer relação uniforme entre as diferenças da cor e as diferenças visuais.

A comissão internacional em iluminação que é também conhecida como CIE, é dedicada a cooperação mundial e a troca de informação em todos os assuntos relativo à ciência e arte da luz e iluminação, cor e visão, e tecnologia de imagem. Com fundamentos técnicos, científicos e culturais muito fortes, a CIE é uma organização sem fins lucrativos

independente, que está presente em vários países onde os membros participantes são voluntários. Desde seu começo em 1913, o CIE tornou-se uma organização profissional e foi aceita como sendo a melhor autoridade no assunto e hoje é reconhecida pela *International Organization for Standardization* (ISO) como um corpo de padronização internacional (INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION, 2010).

Desta forma, com base no contexto acima, tem-se como meta implementar um sistema que se comunique diretamente com o espectrofotômetro, por comunicação serial, através da implementação de um protocolo de comunicação, que é fornecida pela empresa fabricante do mesmo. Uma vez concluída a comunicação serial com o aparelho, é possível obter os dados de reflectância de uma amostra de cor que é medida, e então calcular os valores numéricos da cor, para por fim representá-la na tela do computador.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema que se comunique diretamente com um espectrofotômetro para obter os dados de reflectância de uma amostra de cor e através destes, aplicando os conceitos de colorimetria, calcular os valores triestímulos da cor para representá-la na tela do computador.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) implementar o protocolo de comunicação serial com o espectrofotômetro;
- b) utilizar conceitos/definições de colorimetria para apresentação da cor na tela, através dos valores calculados;
- c) desenvolver uma base de dados de cores com os valores medidos;
- d) agilizar a busca de amostras de cores através dos valores medidos;
- e) facilitar a busca de diferença entre as cores medidas;
- f) disponibilizar uma interface para visualização da cor no modelo RGB na tela do computador;
- g) tornar disponível a visualização numérica das cores nos modelos CIE LAB, CIE XYZ, HSV e CMYK .

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em quatro capítulos. O capítulo 2 apresenta as tecnologias envolvidas e os aspectos teóricos estudados para o desenvolvimento deste trabalho. São relatados temas como comunicação serial, conceitos e informações a respeito da cor e características do aparelho espectrofotômetro que será utilizado neste projeto. Também são apresentados alguns trabalhos correlatos.

No capítulo 3 é abordado o desenvolvimento do presente trabalho, detalhando a especificação e implementação.

O capítulo 4 apresenta-se as conclusões deste trabalho, bem como as sugestões para possíveis extensões.

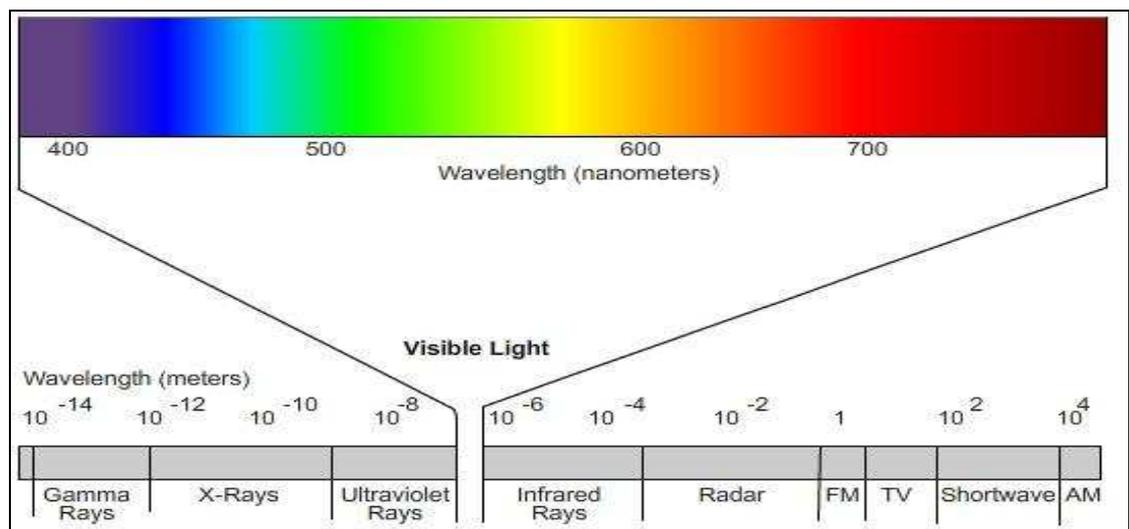
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na seção 2.1 são apresentados alguns conceitos sobre luz. Na seção 2.2 comentam-se aspectos a respeito da cor. Na seção 2.3 encontram-se algumas informações sobre comunicação serial *Recommended Standard 232* (RS-232). Na seção 2.4 encontram-se alguns conceitos a respeito do hardware que será utilizado neste projeto. Na seção 2.5 são apresentados trabalhos correlatos ao tema em questão.

2.1 ESPECTRO DE LUZ

Antes de saber o que é a cor, é necessário saber o que é a luz, pois as cores não podem ser vistas no escuro. O parte do espectro que chamamos de luz, são as ondas eletromagnéticas que são visíveis pelos seres humanos (LUCAS et al., 1996, p. 5).

Conforme Tornquist (2008, p. 31), as ondas que se conhece como luz, e que são visíveis pelo homem, ocupam uma pequena parte do espectro, onde iniciam-se desde os 380-400 nm¹ até os 700-780 nm (Figura 1).



Fonte: X7og (2010).

Figura 1 – Espectro de luz visível

Azevedo, Conci e Leta (2008, p. 24), associam as cores com aos seguintes comprimentos de onda do espectro de luz visível apresentada no Quadro 1.

¹ Nanômetro é uma unidade de medida que corresponde a milionésima parte do metro (10^{-9} metros) (TORQUINST, 2008, p. 31).

Cor	Comprimento de onda (nm)
Violeta	400-436
Azul	436-495
Verde	495-566
Amarelo	566-589
Laranja	589-627
Vermelho	627-700

Fonte: Azevedo, Conci e Leta (2008, p. 24).

Quadro 1 – Disposição das cores no espectro de luz

O mundo na verdade é incolor, ele é formado por matéria incolor. A cor somente existe como impressão sensorial do observador. Um objeto qualquer possui um poder individual de absorção, que lhe permite captar e absorver determinadas faixas do espectro de luz. A luz que não é absorvida é refletida. Estes mesmos raios de luz refletida não possuem cor, eles possuem apenas as informações de composição espectral. A cor somente existe quando os raios de luz refletidos de um objeto chegam ao sistema visual de um observador e este produz a sensação de cor (KÜPPERS, 1995, p. 21).

Segundo Leão (2005, p. 33-34), cada olho humano possui uma grande quantidade de células nervosas², cerca de seis milhões de cones e 120 milhões de bastonetes. Os bastonetes não distinguem cores, eles apenas são sensíveis à luz e são úteis quando existe baixa luminosidade. Os cones são sensíveis às cores e cada cone tem sensibilidade para detectar uma determinada faixa do espectro. Para os seres humanos existem três diferentes tipos de cones, conhecidos como cones vermelho, verde e azul.

Cada tipo de cone possui pigmentos com uma estrutura química diferente e por este motivo tem capacidade de absorver diferentes frequências de luz e são sensíveis a uma determinada faixa do espectro de luz. Com a combinação dos três tipos de cones sensíveis as diferentes longitudes de ondas do espectro, são formuladas todas as cores que podem ser percebidas (TORQUINST, 2008, p. 79-80).

Sachs (2007, p. 4) coloca que grande parte das informações que o ser humano recebe é através da visão. Visualizando as ondas de luz nos diferentes comprimentos de onda, os cones da retina produzem a sensação de cor.

² São células especializadas em transformar sinais visuais em impulsos elétricos para o cérebro (TORQUINST, 2008, p. 69).

2.2 A COR

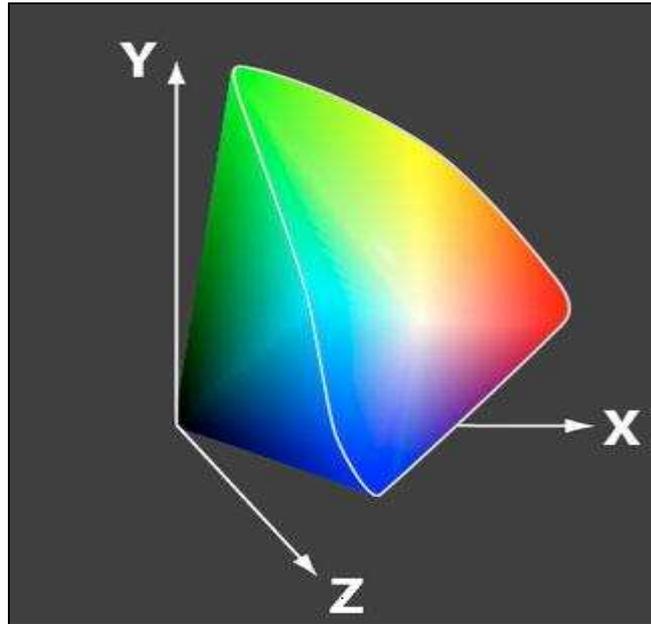
Segundo Guimarães (2004, p. 54), a cor é definida por três características: a matiz ou tonalidade, o brilho ou luminosidade e a saturação ou croma. A matiz é a cor definida pelo comprimento de onda. O brilho é a luminosidade da cor, referente à proximidade do branco ou preto. A croma é definida como sendo o grau de pureza da cor.

2.2.1 Calculando a cor

O sistema CIE é um sistema quantitativo para medir, especificar e denotar as cores classificando-as de acordo com suas propriedades perceptivas (TORQUINST, 2008, p. 66).

Tornquist (2008, p. 17), coloca que o sistema CIE proporciona uma base objetiva para a medição de cor e especifica a cor por meio de misturas aditivas dos três estímulos das três cores de referência (vermelho, verde e azul). Por suas características de capacidade analítica e objetividade é muito usado para o método de análise espectral da luz refletida, reemitida ou absorvida de um objeto, que é feita com a utilização de um espectrofotômetro.

Leite (2006, p. 18) define que o modelo de cor CIE XYZ (Figura 2) é baseado nas três cores X (vermelho), Y (verde) e Z (azul). Onde os três valores especificam as quantidades de cores para se descrever uma cor do espectro de luz visível. Foi criado devido a não existir um conjunto de valores finitos para expressar as possíveis cores visíveis. O modelo CIE XYZ é o modelo gerado a partir das funções de matização de cores, e a com a utilização de fórmulas matemáticas é possível se obter outros modelos conhecidos.



Fonte: Graxx (2010).

Figura 2 – Modelo de cor CIE XYZ

Para o sistema CIE, existem três condições que definem a existência da cor, o iluminante, o objeto e o observador. No sistema CIE as funções triestímulos são representadas baseadas nas cores primárias X (vermelho), Y (verde) e Z (azul). Para chegar ao cálculo dos valores triestímulos, a medição da reflectância $R(\lambda)$ do objeto medido se faz necessária, uma vez que a percepção de cor envolve o objeto, o iluminante e o observador (ALONSO, 2008, p. 25-26).

Conforme Régula (2004, p. 35), os valores cromáticos normais ou valores triestímulos da cor podem ser calculados pela fórmula apresentada no Quadro 2.

$$\begin{aligned}
 X &= K \sum_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) R(\lambda) d\lambda \\
 Y &= K \sum_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) R(\lambda) d\lambda \\
 Z &= K \sum_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) R(\lambda) d\lambda \\
 K &= \frac{100}{\sum_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d(\lambda)}
 \end{aligned}$$

Fonte: Régula (2004, p. 35).

Quadro 2 – Fórmula para cálculo de cor

No quadro 2, $S(\lambda)$ é a distribuição espectral de energia do iluminante. Os valores $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ e $\bar{z}(\lambda)$ são as funções de matização de cores para o observador padrão do sistema CIE 1931 (2°) ou CIE 1964 (10°). Já $R(\lambda)$ é o valor de refletância espectral da amostra de cor e $d\lambda$ é o intervalo de onda.

2.2.1.1 Iluminante

Os iluminantes são a fonte de luz que está sendo utilizada na medição do objeto. A CIE definiu os valores espectrais de cada comprimento de onda para os vários tipos de iluminantes como a luz do dia, luz incandescente e outros (SHEVELL, 2003, p. 178).

A CIE em conjunto com a ISO, definiram dois iluminantes padrões usados na colorimetria, que são o iluminante A e o iluminante D65 (INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION, 2010).

O iluminante A tem a intenção de representar a lâmpada doméstica de tungstênio, cuja temperatura é de cerca de 2856 K. Este iluminante deve ser usado em todas as aplicações de colorimetria que envolvem a utilização de lâmpadas incandescentes, a não ser que haja razões específicas para a utilização de outros iluminantes (INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION, 2010).

O iluminante D65 destina-se a representar a luz do dia e tem uma temperatura de cor correlacionada de cerca de 6500 K. Este iluminante deve ser usado em todos os cálculos colorimétricos que requerem a representação da luz do dia.

No Anexo A seguem as tabelas com os valores de distribuição espectral para os iluminantes D65 e A.

Conforme Azevedo, Conci e Leta (2008, p. 34), a temperatura de uma cor é utilizada para descrever a cor de uma fonte de luz. Uma lâmpada incandescente (A), com temperatura a cerca de 2700 K, possui uma cor amarelada (Figura 3), já a luz do dia (D65) ou lâmpadas fluorescentes com temperatura a cerca de 4500 K a 6500 K, são mais azuladas ou brancas (Figura 4).



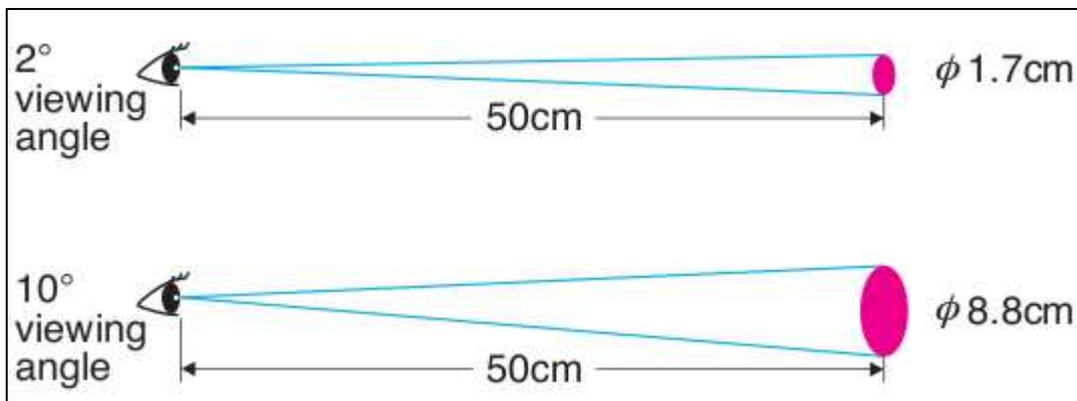
Figura 3 – Cabine de luz simulando iluminante A



Figura 4 – Cabine de luz simulando iluminante D65

2.2.1.2 Observador padrão

Os observadores padrão CIE 1931 (2°) e CIE 1964 (10°) (Figura 5) foram definidos pela CIE nas respectivas datas e possuem seus valores espectrais para cada comprimento de onda. Como a sensibilidade da cor nos olhos muda de acordo com o ângulo de visão, o observador definido em 1931 utiliza um campo de visão de 2° para visualização do objeto, sendo que este é recomendado para ângulos de visualização de objetos de 1° até 4° . O observador definido em 1964 usa um campo de visão de 10° para visualização e deve ser utilizado para visualização de ângulos com mais de 4° (SHEVELL, 2003, p. 110).



Fonte: Minolta (2007, p. 54).

Figura 5 – Observadores padrão CIE 1931 (2°) e CIE 1964 (10°)

No anexo B seguem as tabelas com os valores dos observadores padrão CIE 1931 2° e CIE 1964 10° .

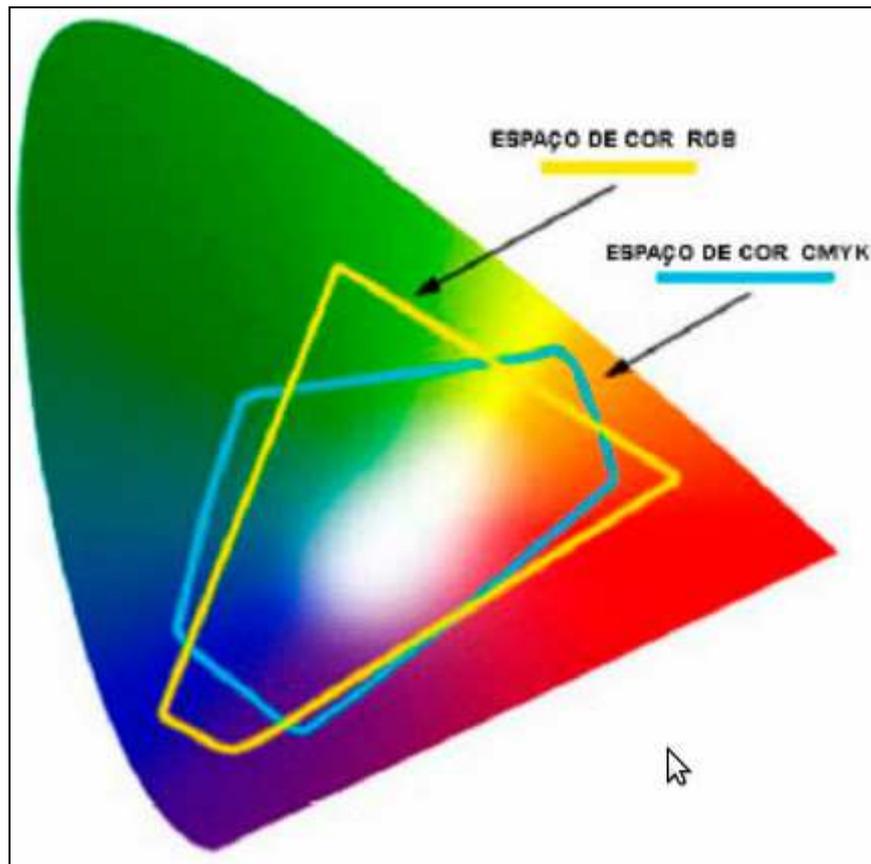
2.2.2 Modelos e espaços de cor

Conforme Guimarães (2004, p. 57), um sistema de ordenamento de cor tem por objetivo “incluir todas as cores, ao menos em forma teórica, em um modelo topológico, prevendo uma posição específica para cada uma delas e propondo alguma lógica que determine a organização total”.

Na história do estudo das cores, muitas pessoas no passado criaram métodos e fórmulas muito complexas para quantificar a cor e representá-las de forma numérica, com o intuito de fazer com que a comunicação de cores ficasse mais fácil e precisa. Esses métodos criavam escalas para as três características da cor, a matiz, o brilho e a croma, tornando-se possível a ordenação da cor numericamente. Podem ser citados como exemplos, utilizados

mais recentemente o sistema de ordenação de cores Munsell, e o espaço de cor Yxy desenvolvido pela CIE (MINOLTA, 2007, p. 16).

Segundo Leite (2006, p. 15) um espaço de cor “é uma representação geométrica, tri-dimensional, onde as cores podem ser visualizadas utilizando determinado modelo de cor”. Cada modelo de cor pode gerar cores dentro do seu próprio espaço e assim alguns modelos podem representar mais cores do que outros. Na Figura 6 é apresentado um espaço de cor e as diferenças entre os espaços dos modelos RGB e CMYK.



Fonte: Leite (2006, p. 16).

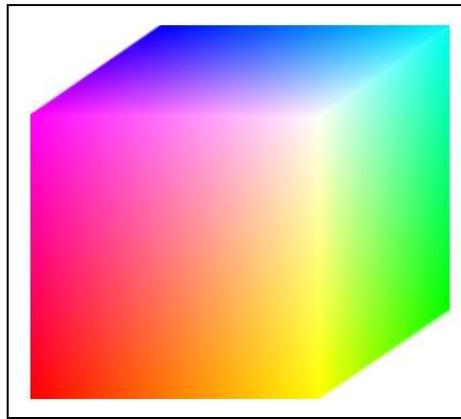
Figura 6 – Representação de um espaço de cor

Leão (2005, p. 41) coloca que os modelos de cor classificam as cores baseados nos atributos de tonalidade, saturação e brilho. Para diversos dispositivos, como *scanners*, impressoras e monitores, existe um modelo de cor específico a ser utilizado.

Conforme Pascale (2003, p. 6) modelos de cores são como representações matemáticas de fenômenos físicos, que podem ser expressos de muitas maneiras diferentes e cada um possui as suas vantagens e desvantagens. Alguns foram formulados para ajudarem os seres humanos a selecionar cores, como o sistema Munsell e outros para tornarem mais fáceis o seu processamento em máquinas, como os vários modelos RGB. O objetivo é minimizar a complexidade de formulação e do número de variáveis utilizadas para representar a cor.

2.2.2.1 Modelo de Cor RGB

Azevedo e Conci (2003, p. 194) define que modelo de cor RGB é formado pelas cores vermelho (R), verde (G) e azul (B), e é baseado em coordenadas cartesianas e pode ser representado por um cubo (Figura 7). Representando a escala de cinza, a diagonal principal do cubo, possui quantidades iguais de cores primárias que vão do preto ao branco. Dentro dos limites deste cubo, cada ponto colorido é representado por (R, G, B), onde os valores variam de zero a um valor máximo.



Fonte: Schoten (2010).

Figura 7 – Modelo RGB

Conforme (Pascale, 2003, p. 20) o modelo de cor RGB, evoluiu com o tempo para uma série de outros modelos RGB, que são um pouco diferentes entre si. Alguns evoluíram por razões tecnológicas (*NTSC* para *SMPTE-C*) e outros para cumprir requisitos profissionais (*ColorMatch RGB*, *Adobe RGB*). No Quadro 3, são listados vários tipos de modelos RGB existentes e suas matrizes de transformação, com os iluminantes utilizados na medição, que são necessárias para se obter os valores RGB a partir dos valores numéricos CIE XYZ. A fórmula para o cálculo é apresentada no Quadro 4.

Tipo de RGB	Iluminante	Matriz XYZ para RGB
<i>Adobe RGB (1998)</i>	D65	2.0413690 -0.5649464 -0.3446944 -0.9692660 1.8760108 0.0415560 0.0134474 -0.1183897 1.0154096
<i>AppleRGB</i>	D65	2.9515373 -1.2894116 -0.4738445 -1.0851093 1.9908566 0.0372026 0.0854934 -0.2694964 1.0912975
<i>CIE RGB</i>	E	2.3706743 -0.9000405 -0.4706338 -0.5138850 1.4253036 0.0885814 0.0052982 -0.0146949 1.0093968
<i>ColorMatch RGB</i>	D50	2.6422874 -1.2234270 -0.3930143 -1.1119763 2.0590183 0.0159614 0.0821699 -0.2807254 1.4559877
<i>HDTV (ITU-R BT.709-5)</i>	D65	3.2405000 -1.5371000 -0.4985000 -0.9693000 1.8760000 0.0416000 0.0556000 -0.2040000 1.0572000
<i>NTSC RGB (1953)</i>	C	1.9099961 -0.5324542 -0.2882091 -0.9846663 1.9991710 -0.0283082 0.0583056 -0.1183781 0.8975535
<i>PAL/SECAM RGB</i>	D65	3.0628971 -1.3931791 -0.4757517 -0.9692660 1.8760108 0.0415560 0.0678775 -0.2288548 1.0693490
<i>SGI RGB</i>	D65	2.9516000 -1.2894000 -0.4738000 -1.0851000 1.9909000 0.0372000 0.0855000 -0.2695000 1.0913000
<i>SMPTE-C RGB</i>	D65	3.5053960 -1.7394894 -0.5439640 -1.0690722 1.9778245 0.0351722 0.0563200 -0.1970226 1.0502026
<i>sRGB</i>	D65	3.2404542 -1.5371385 -0.4985314 -0.9692660 1.8760108 0.0415560 0.0556434 -0.2040259 1.0572252
<i>Wide Gamut RGB</i>	D50	1.4628067 -0.1840623 -0.2743606 -0.5217933 1.4472381 0.0677227 0.0349342 -0.0968930 1.2884099

Fonte: Pascale (2003, p. 21).

Quadro 3 – Matrizes de transformação CIE XYZ para os vários modelos RGB

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Matriz} \\ 3 \times 3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Fonte: Pascale (2003, p. 27).

Quadro 4 – Fórmula para cálculo do modelo RGB

Definido pelo documento *IEC 61966-2-1*, o padrão *sRGB* é muito utilizado para padrões de TV por sua utilização com o mundo dos computadores pessoais, mantendo uma compatibilidade com uma grande quantidade de mídias gravadas (PASCALE, 2003, p.22).

Conforme Daronco (2007, p. 22) para obter o modelo *sRGB*, além da utilização da matriz 3x3 de conversão é necessário utilizar uma fórmula (Quadro 5) para aplicar a *gamma* do dispositivo utilizado. No caso do *sRGB*, geralmente um monitor ou televisão.

$$r = \begin{cases} R * 12.92 & \text{se } R \leq 0.0031308 \\ (1.055 * R^{2.4}) - 0.055 & \text{se } R > 0.0031308 \end{cases}$$

$$g = \begin{cases} G * 12.92 & \text{se } G \leq 0.0031308 \\ (1.055 * G^{2.4}) - 0.055 & \text{se } G > 0.0031308 \end{cases}$$

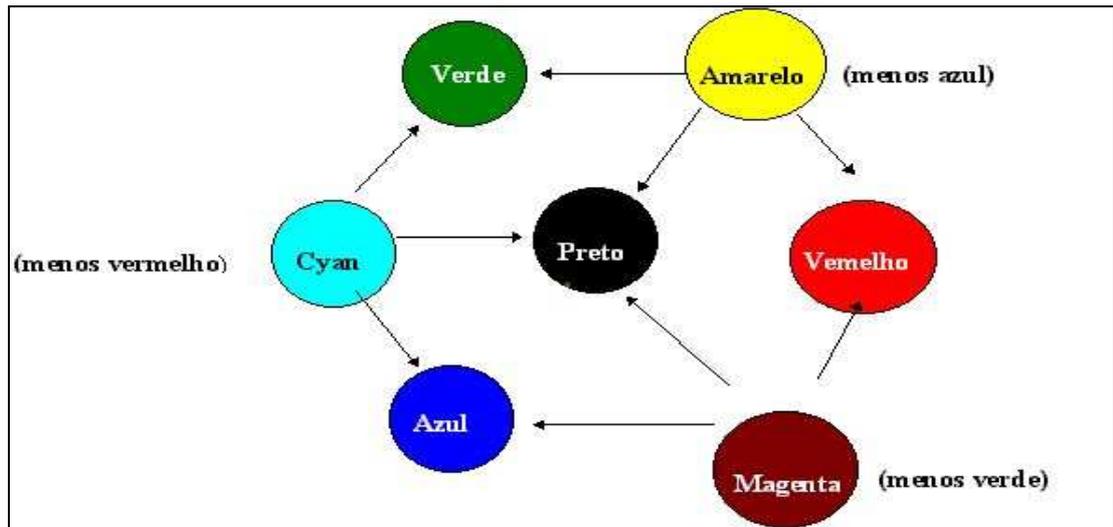
$$b = \begin{cases} B * 12.92 & \text{se } B \leq 0.0031308 \\ (1.055 * B^{2.4}) - 0.055 & \text{se } B > 0.0031308 \end{cases}$$

Fonte: adaptada de Pascale (2003, p. 29).

Quadro 5 – Fórmula para aplicar a *gamma* no modelo sRGB

2.2.2.2 Modelo de Cor CMYK

Este modelo é um complemento do *Red*, *Green* e *Blue* (RGB), muito utilizado por dispositivos que não emitem luz, como impressoras. Emprega as cores ciano, magenta, amarelo e preto. Não existe uma transposição exata de cores de um modelo para outro, apesar deles serem complementares, pois existem cores no modelo RGB que não podem ser expressas pelo modelo CMYK. A Figura 8 apresenta uma relação entre as cores existentes no modelo RGB e as cores do modelo complementar CMYK (AZEVEDO; CONCI, 2003, p. 195).



Fonte: Fernandes (2002, p. 39).

Figura 8 - Relação entre as cores dos modelos RGB e CMYK

Conforme Daronco (2007, p. 23), o modelo CMY é obtido a partir do modelo RGB, com a seguinte fórmula apresentada no Quadro 6.

$$\begin{aligned} C &= 1.0 - R \\ M &= 1.0 - G \\ Y &= 1.0 - B \end{aligned}$$

Fonte: Daronco (2007, p. 23).

Quadro 6 – Fórmula de conversão RGB para CMY

No quadro Quadro 6, os valores R , G e B são os valores *red*, *green* e *blue* do modelo de cor RGB.

Daronco (2007, p. 23) define que o componente K , que é chamado de *key*, e corresponde a cor preta é normalmente o menor valor da tupla CMY. Este valor, depois de identificado é então subtraído de todos os outros componentes CMY, gerando os valores do modelo (Quadro 7).

$$K = \min(C, M, Y)$$

$$C = C - K$$

$$M = M - K$$

$$Y = Y - K$$

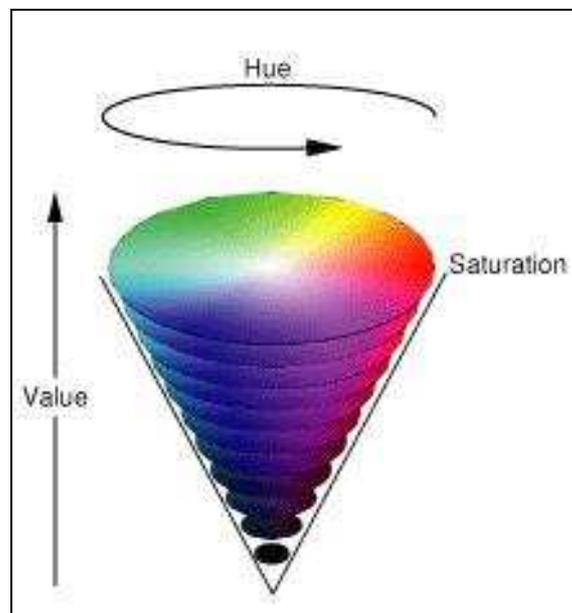
Fonte: Foley et al. (1997, p. 589).

Quadro 7 – Fórmula de cálculo de CMYK

2.2.2.3 Modelo de Cor HSV

Azevedo e Conci (2003, p. 197 - 198) colocam que o modelo de cor *Hue*, *Saturation*, *Value* (HSV) foi criado em 1978 por Alvey Ray Smith. É um modelo criado com base na mistura de cores descritas por artistas. Ele pode ser representado com um cone (Figura 9), onde *Value* representa a escala de tons de cinza, *Hue* é o ângulo ao redor do eixo vertical e representa a matiz, e *Saturation* é medida ao longo do eixo horizontal.

Conforme Fernandes (2002, p. 39) o modelo de cor HSV utiliza “descrições de cor que são mais intuitivas do que combinações de um conjunto de cores primárias e, por isso, é mais adequado para ser usado na especificação de cores em nível de interface com o usuário”.



Fonte: Apple (2010).

Figura 9 – Modelo de cor HSV

O modelo HSV pode ser obtido a partir do modelo RGB com o algoritmo apresentada no Quadro 8.

```

var_R = ( R / 255 )
var_G = ( G / 255 )
var_B = ( B / 255 )

var_Min = min( var_R, var_G, var_B )
var_Max = max( var_R, var_G, var_B )
del_Max = var_Max - var_Min
V = var_Max
if ( del_Max == 0 ){
    H = 0
    S = 0
}else{
    S = del_Max / var_Max
    del_R = (((var_Max-var_R)/6)+(del_Max/2))/del_Max
    del_G = (((var_Max-var_G)/6)+(del_Max/2))/del_Max
    del_B = (((var_Max-var_B)/6)+(del_Max/2))/del_Max
    if ( var_R == var_Max ) {
        H = del_B - del_G
    }else if ( var_G == var_Max ) {
        H = ( 1 / 3 ) + del_R - del_B
    }else if ( var_B == var_Max ) {
        H = ( 2 / 3 ) + del_G - del_R
    }
    if ( H < 0 )
        H += 1
    if ( H > 1 )
        H -= 1
}

```

Fonte: adaptada de EasyRGB (2010).

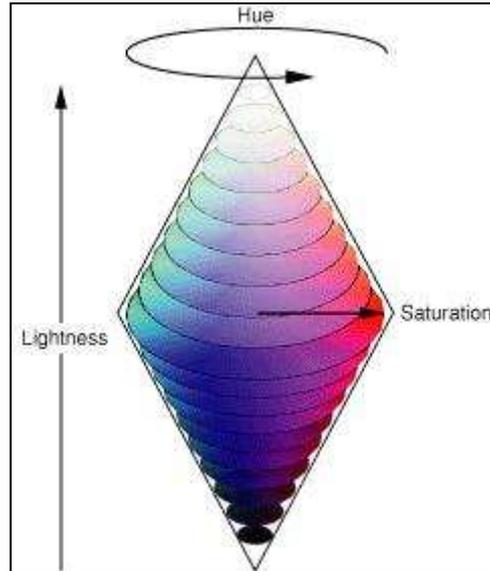
Quadro 8 – Algoritmo para conversão de RGB para HSV

No Quadro 8, os valores *R*, *G* e *B* são os valores *red*, *green* e *blue* do modelo de cor RGB.

2.2.2.4 Modelo de Cor HSL

O modelo *Hue Lightness and Saturation* (HLS), é um modelo desenvolvido por Gerald Murch, na mesma época da criação do modelo HSV. Este modelo é alternativo para o modelo HSV e pode ser representado por um cone duplo (Figura 10) (AZEVEDO; CONCI, 2003, p. 198);

Fernandes (2002, p. 41) coloca que os modelos HLS e HSV “permitem que se pense em termos de cores mais "claras" e mais "escuras". As cores são especificadas através de um ângulo, e os diversos *shades*, *tints*, e *tones* de cada cor são obtidos através do ajuste do brilho ou luminosidade e da saturação”.



Fonte: Apple (2010).

Figura 10 – Modelo de cor HSL

O modelo HSL pode ser obtido a partir do modelo RGB com o algoritmo apresentada no Quadro 9.

```

var_R = (R/255)
var_G = (G/255)
var_B = (B/255)
var_Min = min( var_R, var_G, var_B )
var_Max = max( var_R, var_G, var_B )
del_Max = var_Max - var_Min
L = ( var_Max + var_Min ) / 2
if ( del_Max == 0 ){
    H = 0
    S = 0
}else{
    if ( L < 0.5 ){
        S = del_Max / ( var_Max + var_Min )
    }else{
        S = del_Max / ( 2 - var_Max - var_Min )
        del_R = (((var_Max-var_R)/6)+(del_Max/2))/del_Max
        del_G = (((var_Max-var_G)/6)+(del_Max/2))/del_Max
        del_B = (((var_Max-var_B)/6)+(del_Max/2))/del_Max
        if ( var_R == var_Max ){
            H = del_B - del_G
        }else if ( var_G == var_Max ){
            H = ( 1 / 3 ) + del_R - del_B
        }else if ( var_B == var_Max ){
            H = ( 2 / 3 ) + del_G - del_R
        }
        if ( H < 0 )
            H += 1
        if ( H > 1 )
            H -= 1
    }
}

```

Fonte: adaptada de EasyRGB (2010).

Quadro 9 – Algoritmo para conversão de RGB para HSL

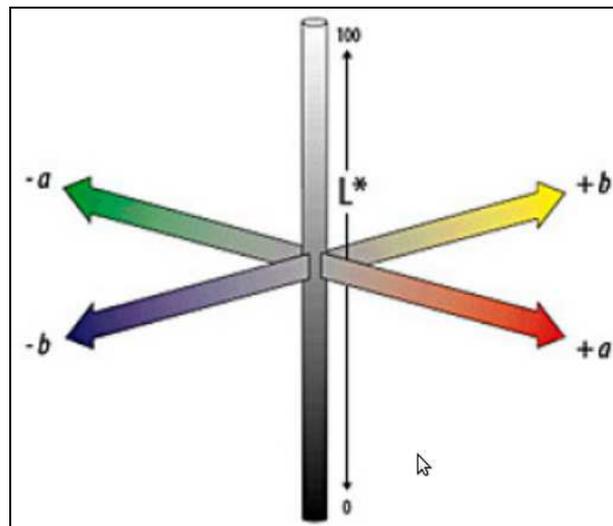
No Quadro 9, os valores *R*, *G* e *B* são os valores *red*, *green* e *blue* do modelo de cor

RGB.

2.2.2.5 Modelo de cor CIE LAB

Conforme Leão (2005, p. 44 - 45) o modelo de cor CIE LAB foi criado pela CIE para aumentar a uniformidade das cores percebidas pelo sistema visual humano. O L^* representa o valor de luminosidade da cor, enquanto que a^* pode variar do verde para o vermelho e b^* do amarelo para o azul.

Minolta (2007, p. 18) coloca que o modelo de cor CIE LAB (Figura 11) é um modelo de cor muito utilizado para medição de cores de um objeto e está presente em todos os campos de aplicação.



Fonte: Leite (2006, p. 22).

Figura 11 – Modelo de cor CIE LAB

Schanda (2007, p. 61) define que as coordenadas do sistema CIE LAB são obtidas pela seguinte fórmula apresentada no Quadro 10.

$$L^* = 116f(Y/Y_n) - 16$$

$$a^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)]$$

$$b^* = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]$$

Onde $f(X/X_n) = (X/X_n)^{1/3}$ se $(X/X_n) > (24/116)^3$
 $f(X/X_n) = (841/108)(X/X_n) + 16/116$ se $(X/X_n) \leq (24/116)^3$

e $f(Y/Y_n) = (Y/Y_n)^{1/3}$ se $(Y/Y_n) > (24/116)^3$
 $f(Y/Y_n) = (841/108)(Y/Y_n) + 16/116$ se $(Y/Y_n) \leq (24/116)^3$

e $f(Z/Z_n) = (Z/Z_n)^{1/3}$ se $(Z/Z_n) > (24/116)^3$
 $f(Z/Z_n) = (841/108)(Z/Z_n) + 16/116$ se $(Z/Z_n) \leq (24/116)^3$

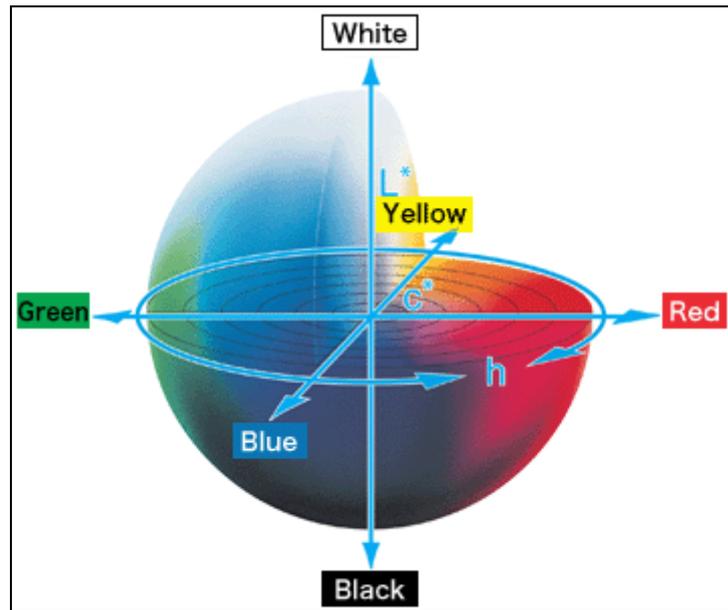
Fonte: Schanda (2007, p. 61).

Quadro 10 – Fórmula para cálculo CIE LAB

No Quadro 10 os valores X , Y e Z são os valores do modelo CIE XYZ e os valores X_n , Y_n e Z_n são os valores de branco ideal padrão para um observador padrão 2° ou 10° do iluminante utilizado na medição.

2.2.2.6 Modelo de cor CIE LCH

Conforme Minolta (2007, p. 20) o modelo de cor CIE LCH (Figura 12) é muito semelhante ao modelo de cor CIE LAB, porém ao invés de utilizar coordenadas retangulares, ele utiliza coordenadas cilíndricas. L indica a luminosidade exatamente como no modelo CIE LCH o valor C indica o croma e H o ângulo de tonalidade.



Fonte: Minolta (2009).

Figura 12 – Modelo de cor CIE LCH

Schanda (2007, p. 399) define que as coordenadas do sistema CIE LCH são obtidas através do modelo CIE LAB com seguinte fórmula apresentada no Quadro 11.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$h = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

Fonte: Schanda (2007, p. 399).

Quadro 11 - Fórmula para cálculo CIE LCH

No Quadro 11 os valores a^* e b^* são os valores do modelo CIE LAB e o valor de L^* é o mesmo nos dois modelos.

2.2.3 Calculando diferenças de cor

Desde os tempos antigos as pessoas utilizavam os olhos para determinar a diferença entre as cores de algum material ou objeto. Com o desenvolvimento de técnicas de medição óptica e os vários padrões definidos pelas CIE, os olhos foram substituídos por aparelhos e funções matemáticas para calcularem as cores e suas diferenças (SCHANDA, 2007, p. 79).

Conforme Schanda (2007, p. 87) um dos métodos mais utilizados para cálculo de diferenças de cor é Delta E (CIE 1976), que usa os valores numéricos do modelo CIE LAB, conforme a fórmula apresentada no Quadro 12.

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_0$$

$$\Delta a^* = a^*_1 - a^*_0$$

$$\Delta b^* = b^*_1 - b^*_0$$

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

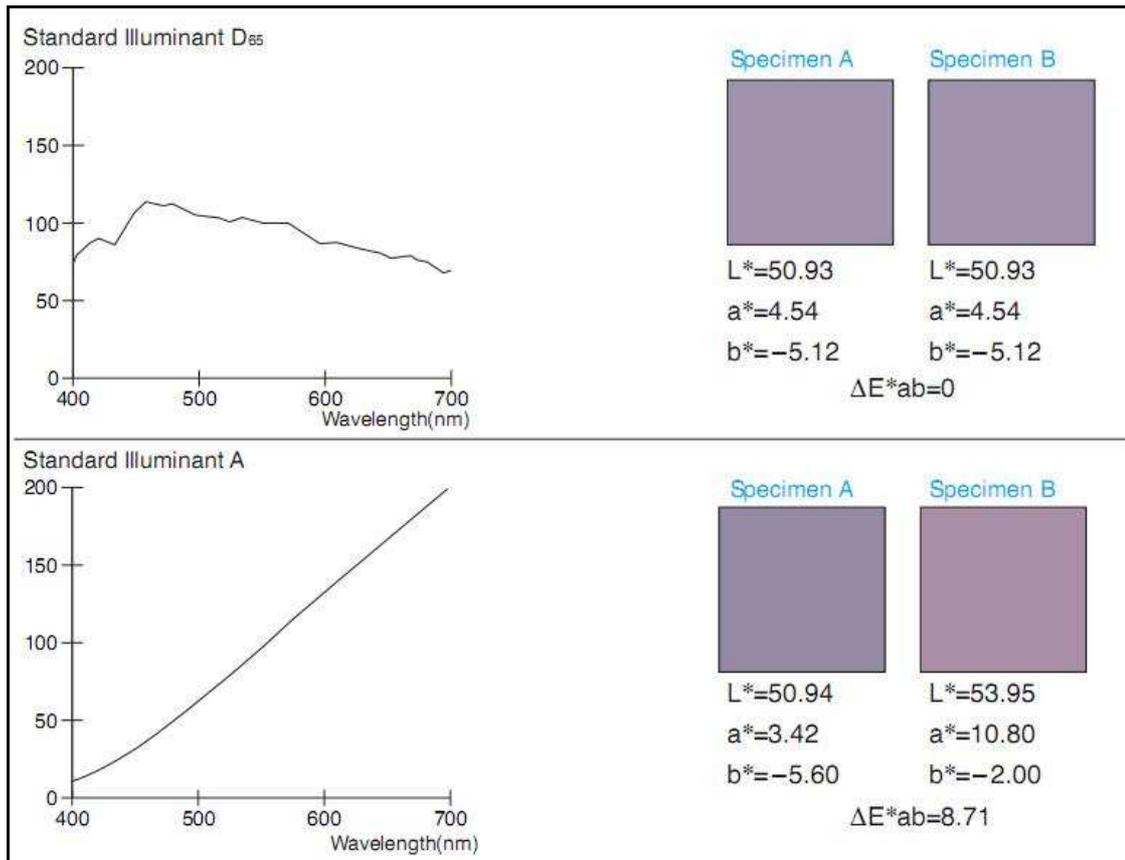
Fonte: Schanda (2007, p. 87).

Quadro 12 – Fórmula para cálculo de diferença de cor no modelo CIE LAB

No Quadro 12 os valores L^*_x , a^*_x e b^*_x são os valores numéricos do modelo CIE LAB de duas cores medidas.

2.2.4 Metamerismo

É um fenômeno que ocorre quando duas amostras de cores, que aparentam ser iguais quando observadas por um determinado iluminante, se tornam diferentes com a utilização de outro iluminante (LEITE, 2006, p 22). Na Figura 13 é mostrada uma cor que apresenta o fenômeno do metamerismo com a utilização do iluminante A e iluminante D65.



Fonte: Minolta (2007, p. 39).

Figura 13 - Metamerismo

2.3 COMUNICAÇÃO SERIAL RS-232

Conforme Axelson (2000, p. 118), o RS-232, criado no início dos anos 60, é designado como padrão de troca serial de dados entre dois dispositivos com distância limite entre 15 a 30 metros. Muitas interfaces de periféricos não conseguem operar com esta distância, como a interface USB com 5 metros e a interface paralela de impressora que pode ter uma distância de 3 a 5 metros.

Existem dois padrões para as interfaces RS-232, um conhecido como *Data Terminal Equipment* (DTE), que é o equipamento onde processa os sinais recebidos da interface e o *Data Circuit-terminating Equipment* (DCE), equipamento que faz a conexão da interface com uma linha telefônica. Usualmente, portas RS-232 em computadores estão configuradas como DTE e dispositivos como um *modem* que possuem interface RS-232 estão como DCE (AXELSON, 2000, p. 120).

Grande parte dos computadores possuem uma ou mais portas seriais. Sabe-se que elas gradativamente vem sendo substituídas pelas interfaces como USB. Como as portas RS-232 são muito comuns, existem uma variedade de conectores que convertem facilmente RS-232 em algum outro tipo de conexão (AXELSON, 2000, p. 118).

2.4 HARDWARE (ESPECTROFOTÔMETRO)

A espectrofotometria é uma ciência que estuda a análise quantitativa das radiações com relação à sua composição espectral, ela baseia-se na relação entre a intensidade de luz sobre uma superfície e sobre a curva espectral resultante da mesma luz refletida de volta ao detector do aparelho de medição utilizado (LEÃO, 2005, p. 49).

Leite (2006, p. 24) coloca que “uma cor só pode ser medida por instrumentos especializados. Estes instrumentos possuem sensores responsáveis por medir a luz refletida ou a transmitida [...]. Dentre alguns instrumentos especializados temos o colorímetro e o espectrofotômetro”.

Os sensores que são usados nestes aparelhos são simplesmente contadores de fótons com filtros de valores espectrais conhecidos, e a diferença entre eles é a quantidade de filtros que utilizam e a sensibilidade de seus sensores (LEÃO, 2005, p. 46).

Conforme Régula (2004, p. 28), o espectrofotômetro é o aparelho capaz de medir as cores. Ele é definido como “[...] equipamento que mede a transmitância e refletância de uma superfície ou amostra em função do comprimento de onda.”

A luz policromática e difusa, inicialmente, ilumina a amostra. Essa luz refletida passa pelo prisma, grade ou outro dispositivo apropriado, e sofre uma difração, e os componentes monocromáticos chegam nos detectores espectrais, cada um no lugar correspondente ao seu comprimento de onda (λ). Cada um dos detectores manda um sinal correspondente à energia relativa recebida naquele comprimento de onda (λ) e finalmente o fator de refletância, em porcentagem, fica registrado. (RÉGULA, 2004, p. 28).

O espectrofotômetro é o aparelho mais eficaz na medição de cores do que o colorímetro e outros aparelhos como o densitômetro. O espectrofotômetro é capaz de obter informações mais completas das cores, como os valores de intensidade de refletância dentro de determinada faixa do espectro (LEÃO, 2005, p. 50).

O espectrofotômetro CM-2500d (Figura 14) é um aparelho portátil com uma interface

amigável e intuitiva com o usuário, que contém uma combinação de características inovadoras que garantem a sua eficiência máxima em serviço. Pode ser operado com apenas umas das mãos devido à sua ergonomia e *design* intuitivo e, portanto, facilita a sua utilização sem precedentes (MINOLTA, 2010).



Fonte: Minolta (2010).

Figura 14 – Espectrofotômetro Minolta CM-2500d

Para se estabelecer a comunicação serial com o espectrofotômetro Minolta CM-2500d é necessário seguir as especificações de comunicação de um documento, o *CM-2600d/2500d Communication Specifications*, que é fornecido pela empresa fabricante do aparelho, a Konica Minolta. Este documento contém informações sobre as configurações de comunicação serial com os modelos de espectrofotômetro CM-2500d e CM-2600d. Nele é apresentada uma lista com 32 comandos que são suportados juntamente com informações sobre o método de comunicação que deverá ser utilizado para se estabelecer uma conexão com o espectrofotômetro (NASCIMENTO, 2009).

No Quadro 13 estão as principais características do espectrofotômetro Minolta CM-2500d (Minolta 2010).

Geometria de Medição	d/8 com <i>Specular Component Excluded</i> (SCE) e <i>Specular Component Included</i> (SCI)
Comprimento de onda	360nm até 740nm
Intervalo de onda	10nm
Fonte de Luz	duas lâmpadas de Xenon
Tamanho da área de iluminação	<i>Medium Area View</i> (MAV) 8mm
Interface	RS-232C padrão
Acessórios	Cabo RS-232C, piso de calibração branca, máscara para área de iluminação 8mm (MAV) e fonte de alimentação

Quadro 13 - Características Minolta CM-2500d

2.4.1 Geometria de medição

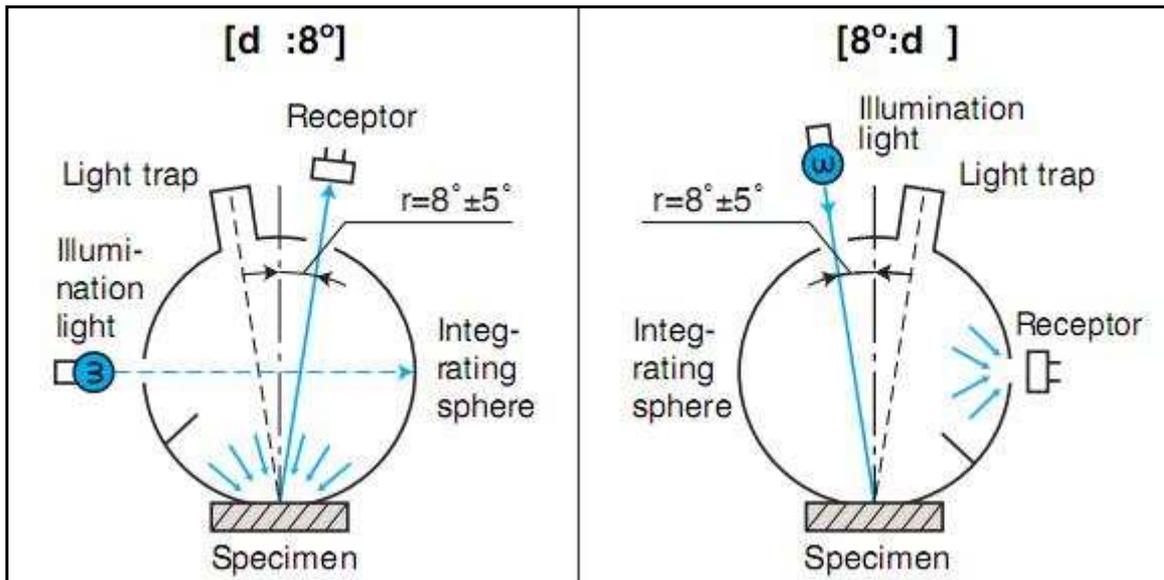
Régula (2004, p. 29) coloca que a geometria de medição é “a condição de iluminação/observação que descreve o ângulo ou a maneira na qual o instrumento de medição da cor ilumina a amostra e observa (recebe) a luz refletida resultante da iluminação”. A indústria de medição de cores utiliza alguns tipos de medição que são a geometria d:8° e 8°:d (SCI/SCE) e a geometria 45°/0° e 0°/45°.

2.4.1.1 Geometria d:8° e 8°:d

Minolta (2007, p. 42) define que esta geometria de medição d:8° e 8°:d utiliza um sistema de iluminação difusa com uma esfera de integração. Esta esfera é internamente revestida com algum material branco, geralmente sulfato de bário, para que a luz permaneça uniformemente difusa em todas as direções para iluminar a amostra. Um instrumento com geometria d:8° ilumina a amostra difusamente e detecta a luz na direção normal (8° +-5°). Um instrumento com geometria 8:d ilumina a amostra em 8° para um ângulo normal (8° +-5°) detecta a luz em todas as direções.

A luz especular é a luz que é refletida no mesmo ângulo que foi emitida, mas em direção oposta. Para se medir a cor de uma amostra, da mesma forma como ela é vista pelas pessoas, deve-se excluir a luz especular e utilizar apenas a luz difusa. A cor de um objeto pode ser diferente pelas diferenças de nível de luz especular (MINOLTA, 2007, p. 40).

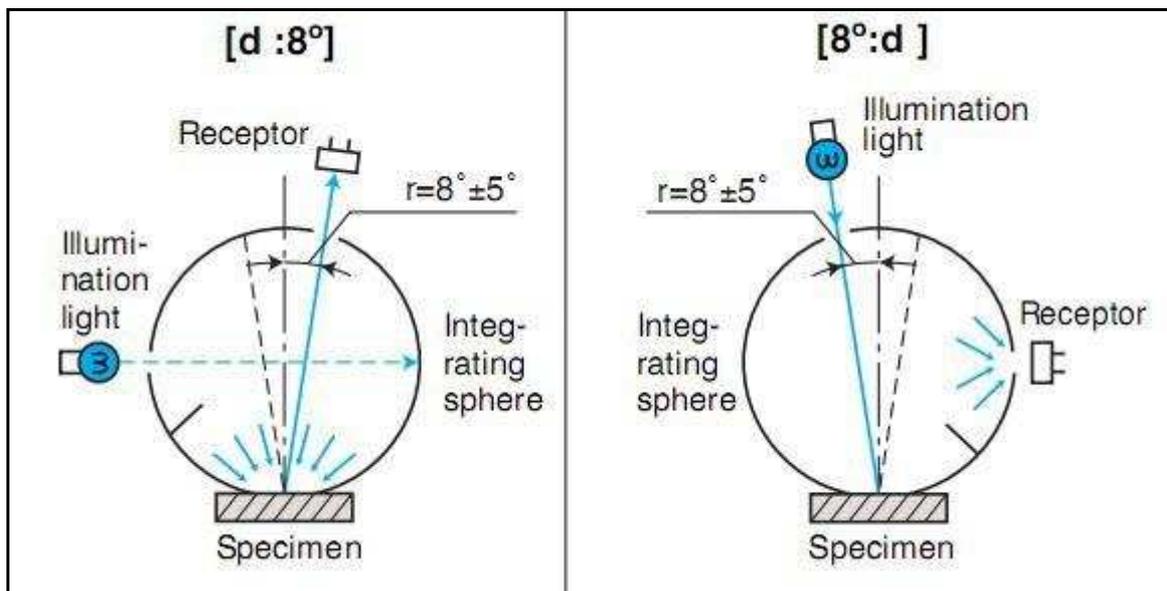
O método *Specular Component Excluded* (SCE) a luz especular não é incluída durante medição de cor, onde é utilizada uma armadilha de luz para que a luz especular não seja medida (Figura 15). Este método é indicado para comparação de cores em salas de inspeção ou em linhas de produção (MINOLTA, 2007, p. 41).



Fonte: Minolta (2007, p. 42).

Figura 15 - *Specular Component Excluded (SCE)*

O método *Specular Component Included (SCI)*, a luz especular é incluída, com a ausência da armadilha de luz na esfera de integração (Figura 16). Este método é indicado para áreas de desenvolvimento de cores (MINOLTA, 2007, p. 41).



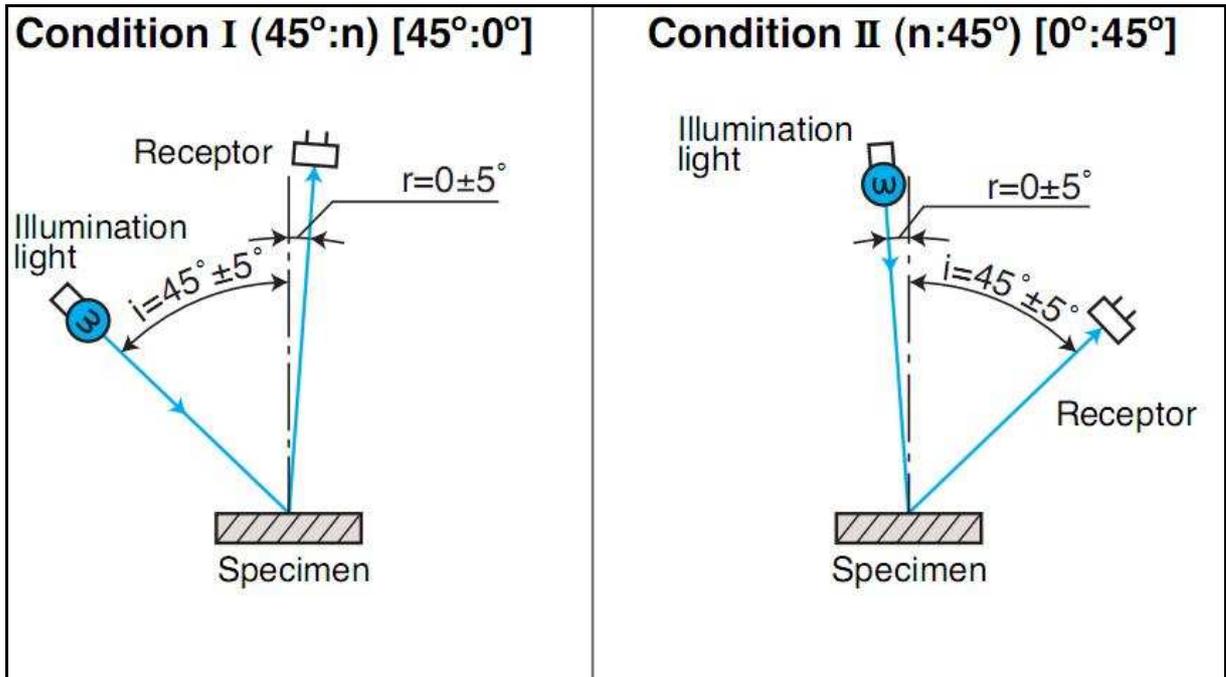
Fonte: Minolta (2007, p. 42).

Figura 16 - *Specular Component Included (SCI)*

2.4.1.2 Geometria 45°:0° e 0°:45°

Esta geometria de medição utiliza um método de iluminação com apenas um ângulo de direção (Figura 17). Com a geometria 45°:0° a amostra é iluminada com um 45° +-5° da direção normal, e o sensor recebe na direção normal (0 +-5°). Na geometria 0°:45° amostra é

iluminada pela direção normal ($0 \pm 5^\circ$) e recebida pelo sensor no ângulo de $45^\circ \pm 5^\circ$.



Fonte: Minolta (2007, p.42).

Figura 17 - Geometria de medição 45:0 e 0:45

2.5 TRABALHOS CORRELATOS

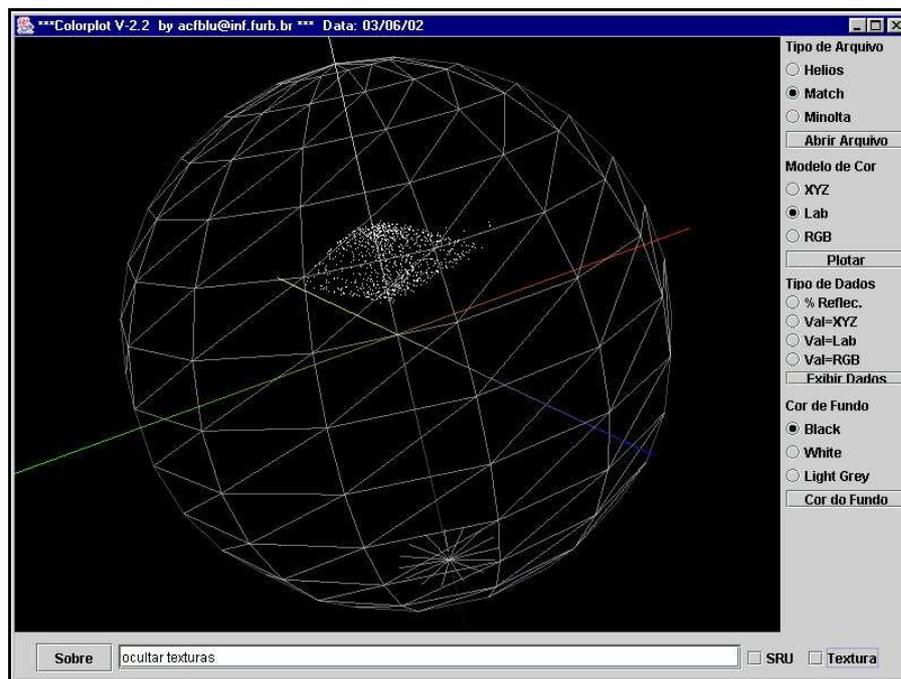
Os trabalhos correlatos ao tema proposto apresentados são o “Protótipo de Visualização para Modelos de Cor Para Medição de Objetos em Espectrofotômetros por Reflectância” (FERNANDES, 2002), “OnColor QC Lite” (CYBERCHROME, 2010) e o OpenRGB (LOGICOL,2010b).

2.5.1 Protótipo de visualização para modelos de cor para medição de objetos em espectrofotômetros por reflectância

Fernandes (2002) define um protótipo (Figura 18) que implementa um algoritmo para a leitura de arquivos com as medições de reflectância do objeto, em diferentes extensões, exportados por espectrofotômetros. Este algoritmo é capaz de ler arquivos texto de três marcas de espectrofotômetros mais conhecidos: Hélios, Minolta e Match. Com as

informações lidas através de arquivos, é representado em um sistema tridimensional, a visualização dos modelos de cor e os valores numéricos dos mesmos. Os modelos de cores suportados e visualizados pelo protótipo são: RGB, XYZ e CIE LAB.

Fernandes (2002), em relação às extensões de trabalho, colocou a necessidade de se disponibilizar as cores nos modelos HSV e CMYK, pois são muito utilizados. Já como resultado final, o protótipo obteve resultados numéricos semelhantes a de softwares comerciais de colorimetria existentes no mercado (por exemplo: SpectraMatch, Helios, MatchWizard PRO e outros).



Fonte: Fernandes (2002, p. 61).

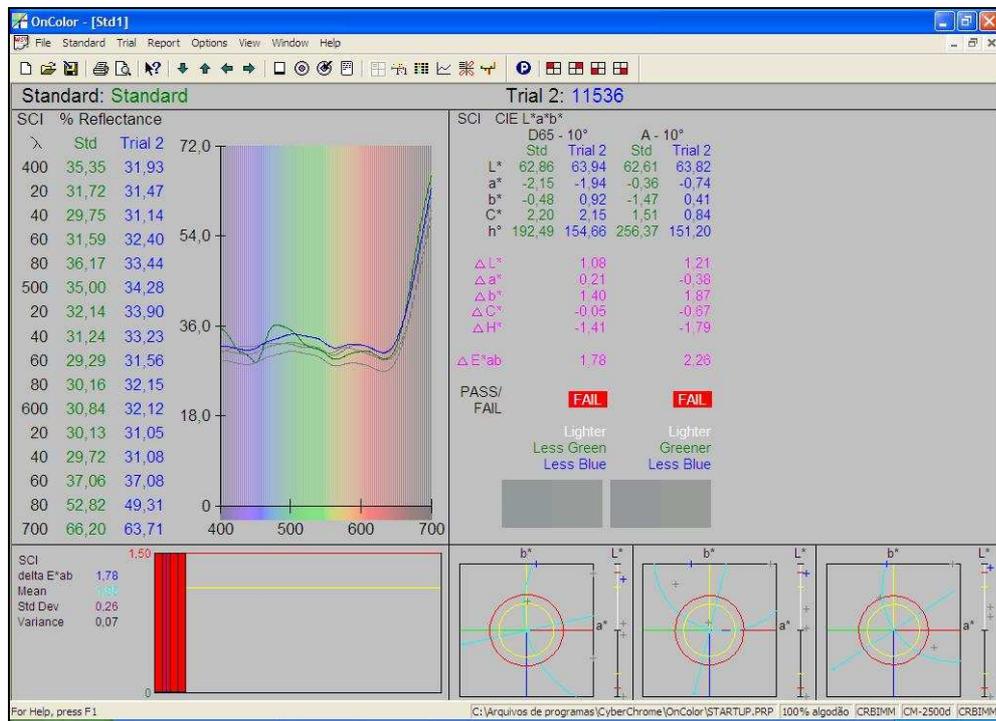
Figura 18 – Protótipo de Fernandes

2.5.2 OnColor QC Lite

OnColor QC Lite (Figura 19) é um sistema comercial para controle de qualidade de cor, criado pela CyberChrome (CYBERCRHOME, 2010). Possui interfaces com a maioria dos instrumentos de medição de cor no mercado e tem as seguintes características:

- a) possui relatório de diferença de cor para reprovação ou aprovação;
- b) visualiza a cor na tela para ajudar a visualizar as alterações de cor relativas;
- c) armazena arquivos de dados com informações sobre as cores medidas;

- d) relatório de amostra de curvas espectrais de uma cor, detectando metameria³, e analisando as diferenças de luz.



Fonte: Cyberchrome (2009).

Figura 19 – Interface gráfica para medição de cor

2.5.3 OpenRGB

OpenRGB (Figura 20) é um aplicativo baseado em Windows projetado para facilitar o manuseio das informações de cor de uma forma profissional e confiável. OpenRGB é um software *freeware*. O usuário final pode facilmente adicionar novas cores aos arquivos de coleção para o software. O formato dos arquivos é aberto e muito fácil de implementar (LOGICOL, 2010b).

O software permite converter os dados de cores para modelos diferentes de cores e padrões. É uma ferramenta poderosa para manipular informações de cor e obter valores de cor para as tarefas diárias profissionais. Cada vez que novos dados são inseridos, a cor resultante é exibida imediatamente e automaticamente disponibilizados para todas as diferentes funções do OpenRGB (LOGICOL, 2010b).

³ Fenômeno onde duas cores são iguais sobre uma fonte de luz, porém se tornam diferentes com outra fonte de luz (MINOLTA, 2007, p. 38).



Fonte: Logicol (2010a).

Figura 20 – Interface para cálculo de cor

2.5.4 Comparação entre os trabalhos correlatos

O Quadro 14 apresenta as principais características dos trabalhos correlatos relacionados. Visto que são softwares que utilizam do mesmo campo de estudo, mas que possuem funcionalidades diferentes, quando se passa a compará-los em algumas características importantes.

Característica	Fernandes	Cybercrhome	Logicol
Comunicação serial com o aparelho		X	
Gráfico de Reflectância		X	
Cálculos de diferenças de cor		X	
Detecta metamerismo		X	
Visualiza cor em RGB na tela		X	X
Mostra valores numéricos da cor	X	X	X
Apresenta um sólido do modelo de cor	X		
Permite trabalhar com diferentes iluminantes		X	X
Permite trabalhar com diferentes observadores padrão		X	X
Permite trabalhar com diferentes modelos de cor	X	X	X

Quadro 14 – Características dos trabalhos correlatos

3 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo detalha as etapas do desenvolvimento do sistema com integração com o espectrofotômetro. São apresentados os requisitos, a especificação e a implementação do mesmo, mencionando as técnicas e ferramentas utilizadas. Por fim, são indicados os resultados obtidos com este trabalho.

3.1 REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO

Os requisitos do sistema encontram-se classificados em Requisitos Funcionais (RF) e Requisitos Não Funcionais (RNF), os quais são:

- a) o sistema deverá possuir comunicação serial com o espectrofotômetro Konica Minolta CM-2500d (RNF);
- b) o sistema deverá ser implementado em Java, utilizando o ambiente de desenvolvimento NetBeans (RNF);
- c) o sistema deverá possuir uma base de dados padrão *Structured Query Language* (SQL) para armazenar os valores lidos (RNF);
- d) o sistema deverá permitir a visualização da cor relativa e valores numéricos de diversos modelos de cores na tela do computador (RF);
- e) o sistema deverá permitir a busca de cores lidas na base de dados de cores (RF);
- f) o sistema deverá permitir a conversão entre vários modelos de cores conhecidos (RF);
- g) o sistema deverá permitir a exportação dos valores das cores medidas (RF).

3.2 ESPECIFICAÇÃO

Na sequência é apresentada a especificação da aplicação, que foi modelada na ferramenta Enterprise Architect. O sistema foi desenvolvido seguindo a análise orientada a

objetos, utilizando a notação *Unified Modeling Language* para a criação dos diagramas de casos de uso, classe e de sequência.

3.2.1 Diagrama de casos de uso

O diagrama apresentado na Figura 21 apresenta as principais ações que usuário terá acesso com o sistema.

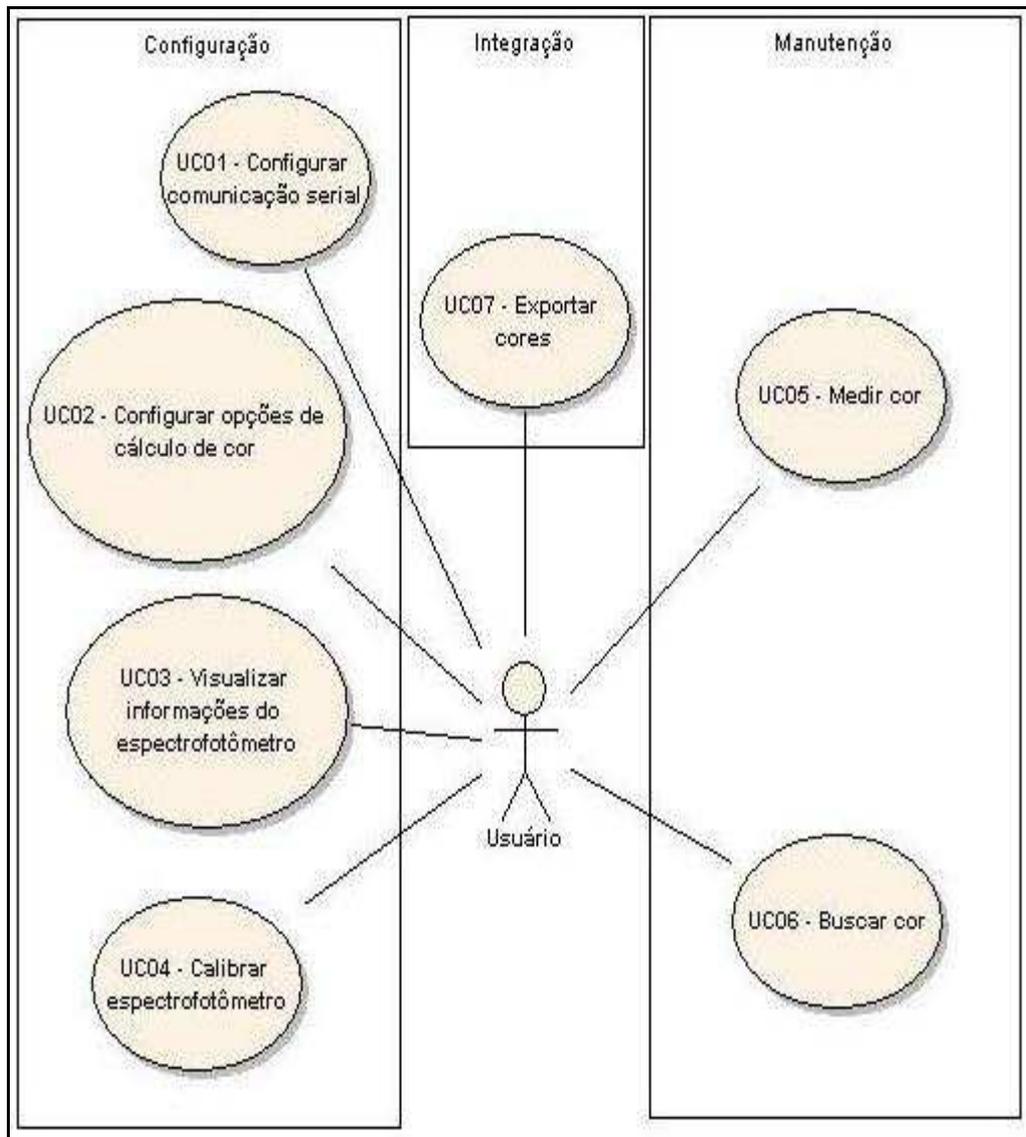


Figura 21 – Diagrama de casos de uso do sistema

A seguir são apresentados breves comentários sobre cada caso de uso:

- UC01 – configurar comunicação serial: permite o cadastro e manutenção da configuração serial para estabelecer a comunicação com o espectrofotômetro;

- b) UC02 – configurar opções de cálculo de cor: permite escolher o observador, o iluminante, a tolerância máxima, para medição de uma amostra de cor com o espectrofotômetro;
- c) UC03 – visualizar informações do espectrofotômetro: permite a visualização de informações de características e calibração do aparelho;
- d) UC04 – calibrar espectrofotômetro: permite executar a calibração do espectrofotômetro;
- e) UC05 – medir cor: permite medir a cor de uma amostra, cadastrar e fazer manutenção de informações da cor, além de visualizar os seus dados de reflectância, os valores numéricos da cor convertidos em vários modelos e a visualização da cor fisicamente na tela;
- f) UC06 – buscar cor: permite buscar no sistema a cor mais próxima a cor medida com o espectrofotômetro, além de permitir a visualização dos valores numéricos da diferença entre as cores e detectar metamerismo;
- g) UC07 – exportar cores: permite a exportação em arquivo texto, dos valores numéricos medidos em vários modelos de cores.

3.2.2 Diagrama de classes

O diagrama de classes fornece uma visão de como as classes estão estruturadas e relacionadas. De forma a facilitar a estruturação e a relação entre elas, é apresentado o diagrama de classes para cálculo de cor e o diagrama para os modelos de cores.

3.2.2.1 Cálculo de cor

O diagrama de classes para cálculo de cor (Figura 22) apresenta todas as classes necessárias para que a cor seja medida e calculada nos vários modelos disponíveis, bem como para a criação do gráfico de reflectância da amostra de cor medida.

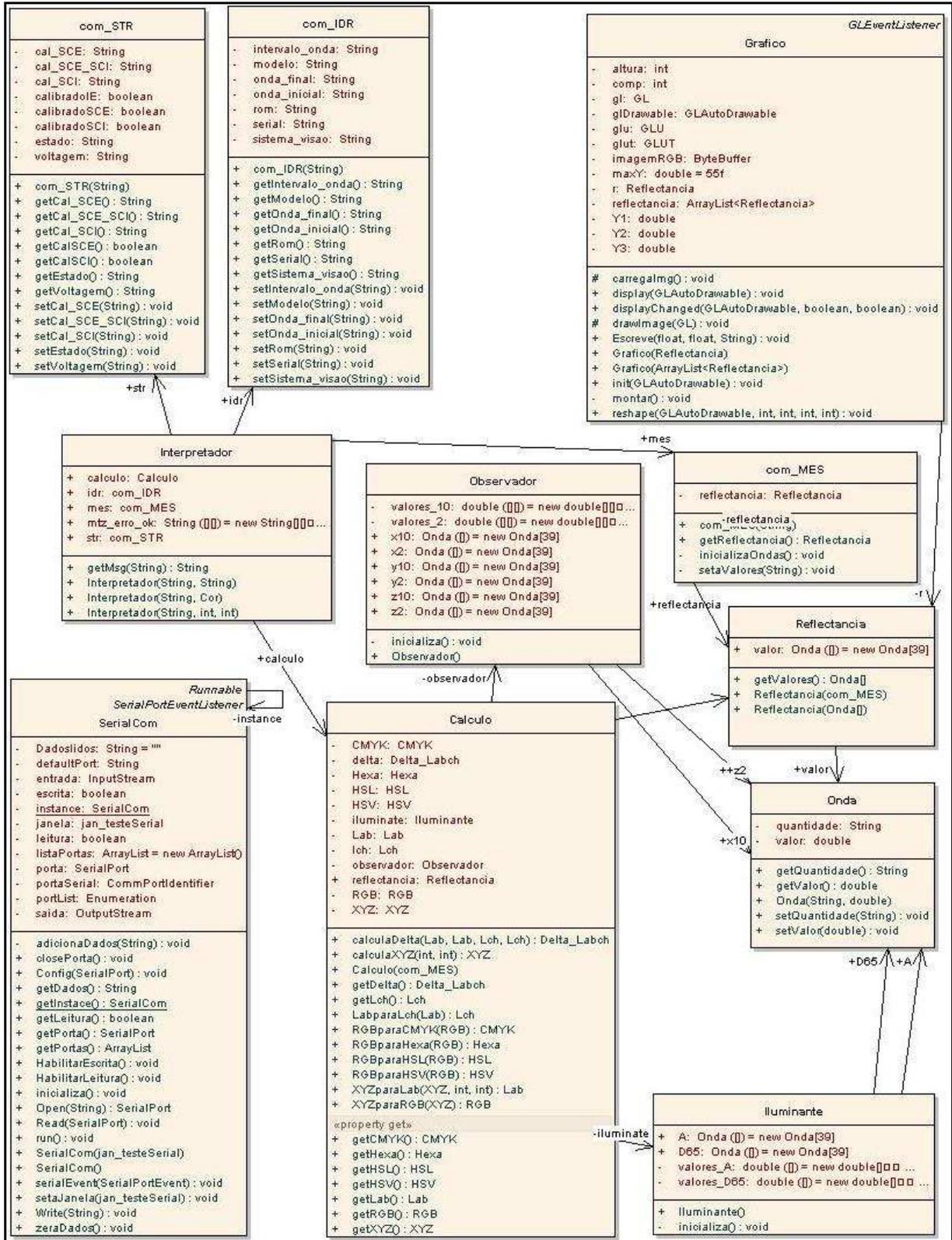


Figura 22 - Diagrama de classes para cálculo de cor

A classe SerialCom é responsável pela comunicação serial com o espectrofotômetro, tanto para leitura como para envio de dados para o aparelho.

Onda é uma classe que auxilia na manipulação dos dados de reflectância, iluminantes e observadores utilizados pelo sistema. Possui os atributos quantidade que representa o

comprimento de onda e `valor` que é o determinado valor do objeto para o comprimento de onda.

A classe `Observador` possui os valores para observadores padrão 2° e 10° para cada comprimento de onda, que foram determinados pela CIE. A classe `Iluminante`, possui os valores dos dois iluminantes utilizados no sistema, A e D65, também já determinados pelo mesmo órgão. A classe `Reflectância` serve para armazenar os valores de reflectância que são recebidos do espectrofotômetro. As três classes são necessárias para executar o cálculo de cor feito para classe `Calculo`.

A classe `Calculo` tem a função de calcular os valores numéricos da cor em todos os modelos do sistema, bem como a diferença de cor. Possui como atributos o `observador`, o `iluminante` e a `reflectancia` que são necessários para o cálculo de cor, bem como todos os modelos de cores suportados pelo sistema. Nela estão implementadas todas as fórmulas para cálculo e transformações entre modelos de cores.

`Interpretador` é a classe responsável por interpretar as respostas lidas dos comandos do protocolo implementado. Possui como atributo um `array` de mensagens que são as mensagens de eventuais erros e sucessos dos comandos executados. Está preparada para interpretar os três comandos principais utilizados no sistema que respondem com informações assim que enviados ao aparelho, são os comandos `STR`, `IDR` e `MES`, que possuem suas respectivas classes.

A classe `com_STR` tem o objetivo de implementar o comando `STR` do aparelho, que é enviada para o sistema informações de `status` e calibração do espectrofotômetro. `com_IDR` é a classe que implementa o comando `IDR`, que envia características do aparelho para o sistema, como modelo e versão do espectrofotômetro, intervalo e comprimento de onda reconhecidos. Já `com_MES` é a classe que interpreta o comando `MES`, que executa a medição de cor no aparelho, que envia para o sistema os dados de reflectância da amostra de cor lida.

`Grafico` é a classe responsável por desenhar o gráfico de reflectância na tela. A classe possui como atributo uma lista de `reflectancia` e para cada valor de reflectância da cor a classe desenha uma linha, formando o gráfico.

3.2.2.2 Modelos de cor

O diagrama de classes para os modelos de cor (Figura 23) apresenta todas as classes

que armazenam a cor e seus modelos calculados pelo sistema.

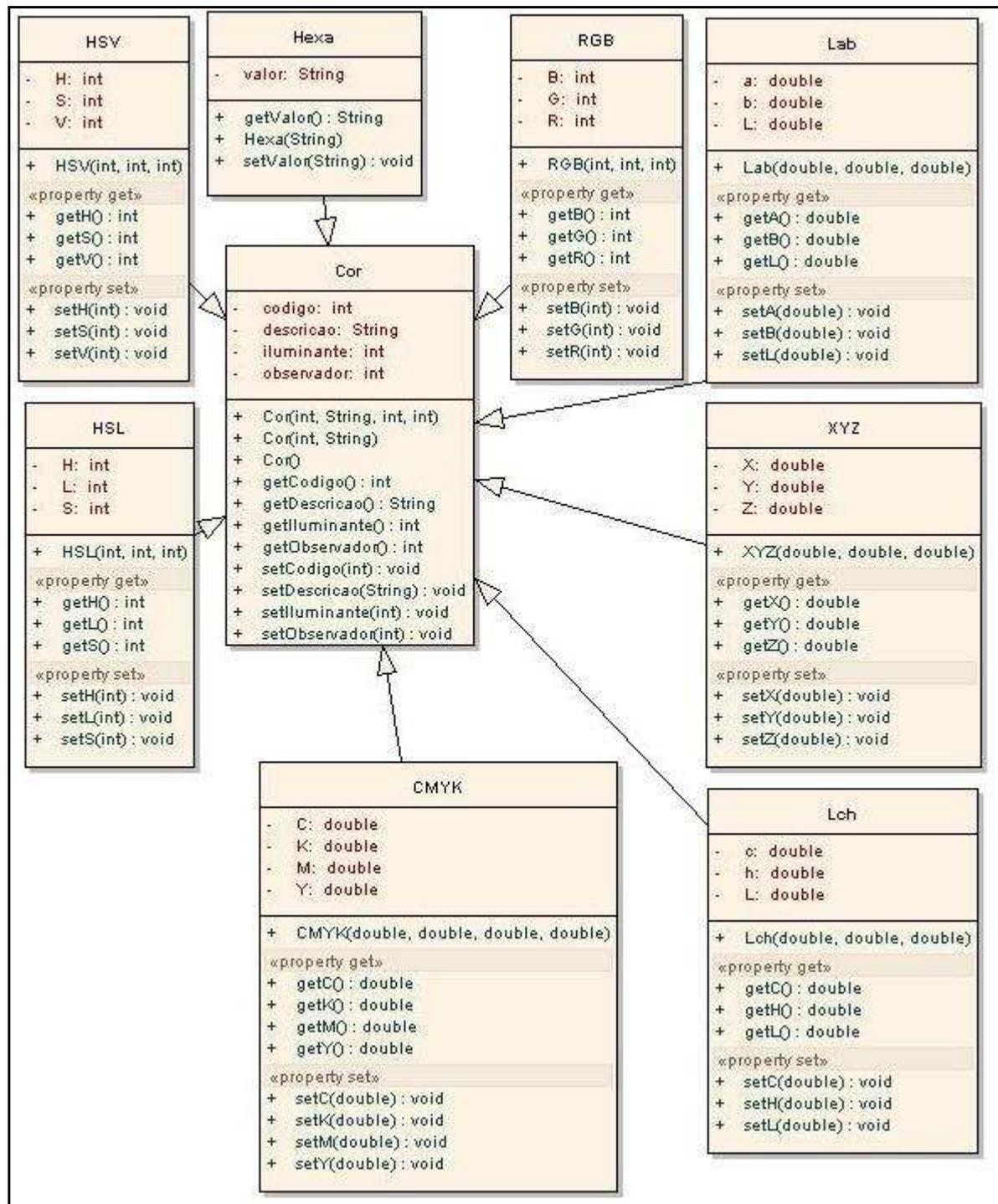


Figura 23 – Diagrama de classes para modelos de cores

Cada modelo de cor que é suportado pelo sistema, foi modelado utilizando todos os atributos existentes na estrutura do modelo de cor. Os modelos de cores especializam a classe básica *Cor*, que possui os atributos *codigo*, *descricao*, que identificam a cor no sistema e os atributos *iluminante* e *observador* necessários para que uma cor possa vir a existir com diferentes iluminantes e diferentes observadores.

3.2.3 Diagrama de seqüência

O diagrama da Figura 24 apresenta o processo de medição de uma cor que equivale ao caso de uso UC05 – medir cor.

O usuário inicia a medição enviando o comando `MES` para o espectrofotômetro, onde então a amostra de cor é medida e uma resposta contendo os valores da medição é enviada para o sistema. Os métodos de envio `Write()` e leitura `Read()` de dados com o aparelho, são gerenciados pela classe `SerialCom`.

A partir deste ponto, a classe `Interpretador` inicia a interpretação da resposta enviada pelo aparelho. O interpretador, por sua vez, identifica o comando enviado, e instancia a classe `com_MES`, onde a resposta é tratada e depois armazenada através da classe `Reflectancia`, para sua utilização posteriormente.

Após a interpretação do comando e tratamento da resposta, a classe `Calculo` é instanciada para iniciar os cálculos de cor. Neste momento são instanciadas as classes `Iluminante`, `Observador` e `Reflectancia`, esta última com a reflectância já tratada pela classe `com_MES`.

Com a obtenção de todos os dados necessários para cálculo de cor (observador, iluminante e reflectância) é possível então calcular a cor. A classe `Calculo`, então executa os métodos: `calculaXYZ()` retorna o modelo de cor CIE XYZ, `XYZparaRGB()` retorna o modelo RGB, `XYZparaLab()` retorna o modelo CIE LAB, `LabparaLch()` retorna o modelo CIE LCH, `RGBparaCMYK()` retorna o modelo CMYK, `RGBparaHSL()` retorna o modelo HSL, `RGBparaHSV()` retorna o modelo HSV e `RGBparaHexa()` transforma o RGB em hexadecimal. Estes métodos enviam então para a interface a cor calculada nos respectivos modelos.

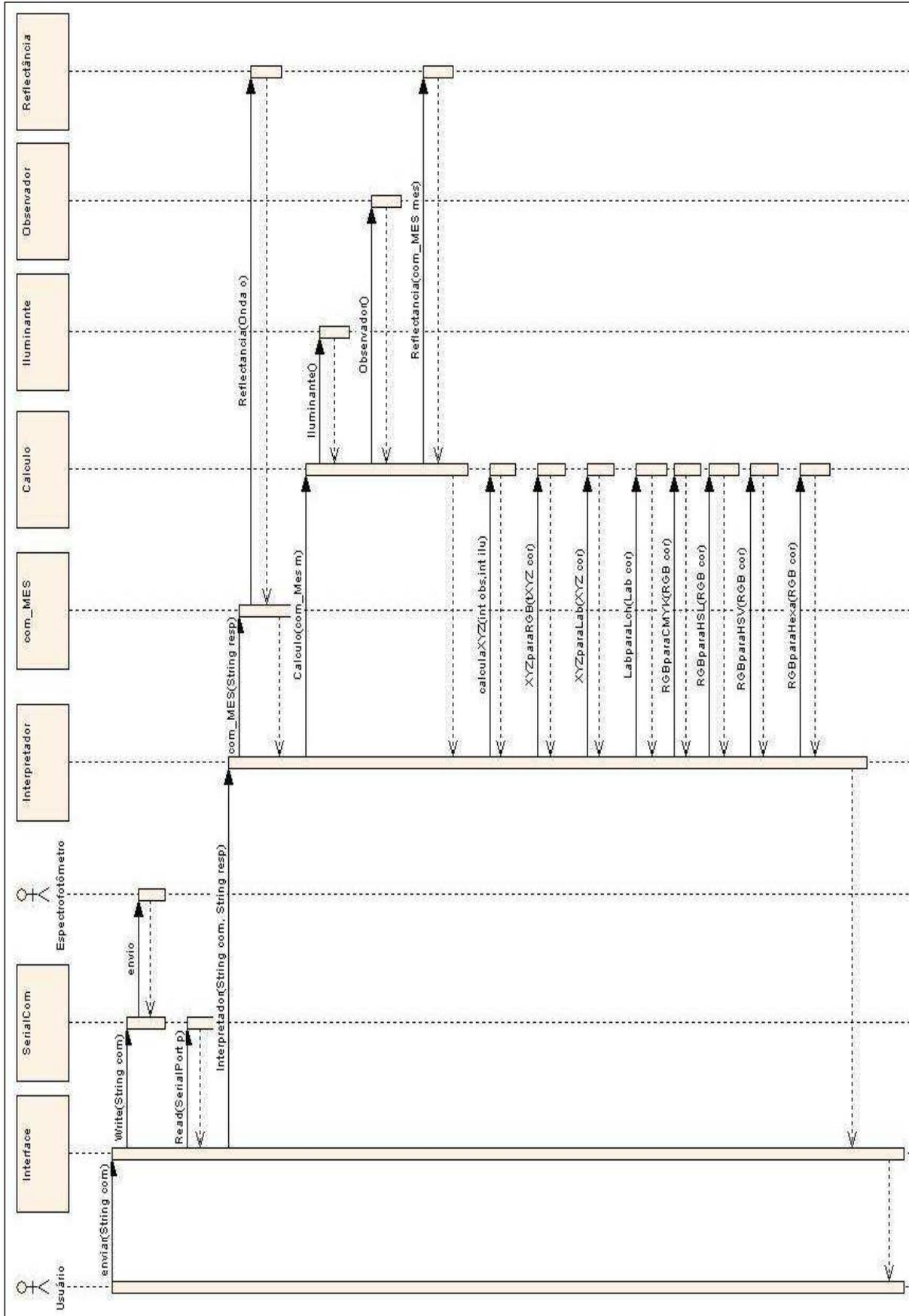


Figura 24 - Diagrama de sequência, apresentando o processo de medição de uma cor

3.3 IMPLEMENTAÇÃO

Nesta seção são apresentadas informações sobre as técnicas e ferramentas utilizadas para a implementação da aplicação, bem como o processo de implementação, com trechos do código fonte para um melhor entendimento.

3.3.1 Técnicas e ferramentas utilizadas

O sistema foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Java sobre a IDE de desenvolvimento NetBeans (versão 6.5). Também, para serem obtidos melhores resultados, foram utilizadas duas bibliotecas externas e uma API para conexão com o banco de dados relacional utilizado.

As técnicas e tecnologias utilizadas para o desenvolvimento da proposta foram as seguintes:

- a) *RXTX*: biblioteca nativa que fornece comunicação serial e paralela com a linguagem Java, está sob licença GNU LGPL. Foi utilizada para auxiliar a criação da comunicação serial com o espectrofotômetro, acelerando o processo de implementação do protocolo de comunicação;
- b) *Java OpenGL* (JoGL): biblioteca que permite a utilização de *OpenGL* na linguagem de programação Java. Foi utilizada na implementação do gráfico de reflectância, para criação do espaço 2D e para carregar a imagem de fundo do gráfico (espectro de luz visível);
- c) *Java Database Connectivity* (JDBC): é uma API voltada para a linguagem de programação Java, que fornece métodos para consultar e atualizar dados em um banco de dados relacional, no caso deste projeto, *MySQL*;
- d) *Data Access Object* (DAO): é um padrão para persistência de dados que permite separar regras de negócio das regras de acesso a banco de dados. Foi utilizado no sistema para auxiliar na sua implementação com banco de dados.

3.3.2 Operacionalidade da implementação

Para utilizar o sistema, inicialmente é necessário o seu uso em conjunto de um espectrofotômetro, o Minolta CM-2500d (mais informações seção 2.4). O aparelho é de extrema importância, pois através dele a medição de amostras de cores é feita.

3.3.2.1 Protocolo de comunicação

A implementação do protocolo ocorreu seguindo as especificações de comunicação do documento *CM-2600d/2500d Communication Specifications* fornecido pela empresa fabricante do aparelho, a Konica Minolta.

Dos 32 comandos contidos no documento, apenas os comandos necessários para executar a medição de cor e suportados pelo espectrofotômetro CM-2500d foram utilizados.

Para os eventuais erros e sucessos dos comandos executados, um código é retornado, e está relacionado com as mensagens apresentadas no Quadro 15.

Código	Descrição
OK00	Processo terminou normalmente
OK02	A iluminação da lâmpada <i>xenon</i> está fraca
OK03	A voltagem do aparelho está baixa
OK04	A iluminação da lâmpada <i>xenon</i> está fraca e a voltagem do aparelho está baixa
OK05	Iluminante ou observador da medição não coincide com o iluminante ou observador que foi especificado
OK09	Resultado da medição é mais alto que a tolerância máxima do aparelho
ER00	String recebida está incorreta
ER02	Voltagem está baixa demais para ativar o capacitor
ER05	A lâmpada <i>xenon</i> falhou
ER07	Calibração zero e calibração branca não foram realizadas
ER08	Erro de comunicação
ER10	Não existem dados para serem retornados
ER11	Calibração está sendo feita com valores incorretos
ER13	Erro na conversão A/D
ER15	Nenhuma tarefa escolhida
ER20	Falha ao escrever dados na memória
ER24	Calibração branca não foi realizada
ER25	Tamanho de abertura incorreto
ER27	Aparelho não está operando corretamente

Fonte: adaptada de Nascimento (2009).

Quadro 15 – Códigos de mensagens do protocolo

Cada comando enviado a partir do computador para o aparelho deve terminar com um

delimitador. O aparelho inclui delimitadores também para enviar dados de volta para o computador. Os códigos de CR + LF são os delimitadores para este protocolo.

Do Quadro 16 ao Quadro 22 são apresentados detalhadamente todos os comandos utilizados por este projeto. Uma lista resumida, com todos os comandos do protocolo encontra-se disponível no anexo C.

Nome do comando	CAL (<i>White Calibration</i>)
Operação	Executa calibração branca
Operação de fluxo	[Computador] [Espectrofotômetro] "CAL" + delimitador =====> <===== "codigo_mensagem" + delimitador
Formato	não possui
Valores dos parâmetros	não possui
Códigos de mensagem	OK00, OK02, OK03, OK04, ER02, ER05, ER07, ER11, ER13, ER25, ER27

Fonte: adaptada de Nascimento (2009).

Quadro 16 – Comando CAL

Nome do comando	CDR (<i>White Calibration Data Request</i>)
Operação	Retorna os dados de calibração branca
Operação de fluxo	[Computador] [Espectrofotômetro] "CDR, <i>aperture_setting</i> , <i>gross</i> " + delimitador =====> <===== "codigo_mensagem, ID, <i>white_calibration_data</i> " + delimitador
Formato	<ul style="list-style-type: none"> • <i>aperture_setting</i>: "*" • <i>gross</i>: "*" • <i>ID</i>: "*****" (7 dígitos) • <i>white_calibration_data</i> (SCI/SCE): "**.*.***, ... , *.*.***" (39 valores)
Valores dos parâmetros	<ul style="list-style-type: none"> • <i>aperture_setting</i> "0": MAV • <i>gross</i> "0": SCI "1": SCE • <i>ID</i> 7 dígitos do número serial da amostra branca Minolta • <i>white_calibration_data</i> ".**.*.***"
Códigos de mensagem	OK00, OK03

Fonte: adaptada de Nascimento (2009).

Quadro 17 – Comando CDR

Nome do comando	CPS (<i>Condition Parameters Set</i>)
Operação	Seta as condições de medição para o aparelho
Operação de fluxo [Computador] [Espectrofotômetro]	"CPS, <i>measurement_conditions</i> " + delimitador =====> <===== "codigo_mensagem" + delimitador
Formato	<ul style="list-style-type: none"> <i>measurement_conditions</i>: "*,*" (<i>aperture_setting</i>, <i>measurement_types</i>)
Valores dos parâmetros	<ul style="list-style-type: none"> <i>aperture_setting</i> "0": MAV <i>measurement_types</i> "0": SCI "1": SCE
Códigos de mensagem	OK00, OK03, ER10, ER25

Fonte: adaptada de Nascimento (2009).

Quadro 18 – Comando CPS

Nome do comando	IDR (<i>Identification Read</i>)
Operação	Retorna informações sobre o aparelho
Operação de fluxo [Computador] [Espectrofotômetro]	"IDR" + delimitador =====> <===== "codigo_mensagem, <i>ID_information</i> " + delimitador
Formato	<ul style="list-style-type: none"> <i>ID_information</i>: "***, ***, *****, *, ***, ***, ***" (<i>product_type</i>, <i>ROM_version</i>, <i>body_number</i>, <i>gross</i>, <i>wavelength_information</i>)
Valores dos parâmetros	<ul style="list-style-type: none"> <i>product_type</i> Se for CM-2500d: "13" <i>ROM_version</i> "***" Número indentificador de três dígitos. <i>Body_number</i> Número indentificador de sete dígitos. <i>gross</i> "0": d/8 <i>wavelength_information</i> (menor onda), (maior onda), (intervalo de onda)
Códigos de mensagem	OK00, OK03

Fonte: adaptada de Nascimento (2009).

Quadro 19 – Comando IDR

Nome do comando	MES (<i>Measurement</i>)
Operação	Executa a medição de reflectância e retorna os valores
Operação de fluxo [Computador] [Espectrofotômetro]	"MES" + delimitador =====> <===== " codigo_mensagem, <i>measurement_info</i> " + delimitador
Formato	<ul style="list-style-type: none"> <i>measurement_info</i> (Reflectância): " *.*.*, *.*.*, *.*.* (39 valores)
Valores dos parâmetros	<ul style="list-style-type: none"> <i>measurement value</i> (Reflectância) " *.*.*"
Códigos de mensagem	OK00, OK03, OK09, ER02, ER05, ER07, ER13, ER24, ER25, ER27

Fonte: adaptada de Nascimento (2009).

Quadro 20 – Comando MÊS

Nome do comando	STR (<u>S</u> tatus <u>R</u> equ <u>e</u> st)
Operação	Retorna informações sobre o estado do aparelho
Operação de fluxo [Computador] [Espectrofotômetro]	"STR" + delimitador =====> <===== "codigo_mensagem, status" + delimitador
Formato	<ul style="list-style-type: none"> <i>Status: "*" , *, *, *, *, *, *, *, *, *, *, *</i> (<i>firing_ready_status, voltage_status, calibration_set_status, data_capacity, data_count, target_data_count</i>)
Valores dos parâmetros	<ul style="list-style-type: none"> <i>firing_ready_status</i> "0": Ready to fire "1": Not ready to fire <i>voltage_status</i> "0": Normal "1": Low <i>calibration_status</i> "*****" (for, respectively: M/SCI, M/I+E, S/SCI, S/I+E, fluorescent M/SCI, fluorescent M/I+E fluorescent S/SCI, fluorescent S/I+E) "0": No zero-calibration data, not white-calibrated "1": Zero-calibration data present, but not white-calibrated "2": White calibration (with Minolta tile) completed since most recent power ON. "3": White calibration (with user tile) completed since most recent power ON. <i>data_capacity</i> "700" (fixed) <i>data_count</i> "0" to "700" <i>target_count</i> "1" to "700"
Códigos de mensagem	OK00, OK03

Fonte: adaptada de Nascimento (2009).

Quadro 21 – Comando STR

Nome do comando	U <u>Z</u> C (<u>U</u> ser <u>Z</u> ero <u>C</u> alibration)
Operação	Executa a calibração zero
Operação de fluxo [Computador] [Espectrofotômetro]	"UZY" + delimitador =====> <===== "codigo_mensagem" + delimitador
Formato	não possui
Valores dos parâmetros	não possui
Códigos de mensagem	OK00, OK03, ER02, ER05, ER11, ER13, ER25, ER27

Fonte: adaptada de Nascimento (2009).

Quadro 22 – Comando UZC

3.3.2.2 Configuração serial

Para iniciar a comunicação com o aparelho, é necessário especificar os parâmetros de conexão serial e a porta utilizada. A tela de configurações de comunicação (Figura 25) permite ao usuário escolher as opções desejadas dentro dos padrões para RS232. No campo portas, são listadas todas as portas seriais disponíveis no computador do usuário.

Para ativar a comunicação serial com o aparelho, a Minolta recomenda a configuração apresentada no Quadro 23.

Velocidade	9600 bps
Bits de dados	8
Paridade	Nenhuma
Bit de parada	1
Controle de fluxo	RTS/CTS

Fonte: adaptada de Nascimento (2009).

Quadro 23 – Configuração serial Minolta



Figura 25 – Tela de configurações de comunicação

3.3.2.3 Calibração do aparelho

Antes de começar a utilizar o espectrofotômetro é necessário fazer a calibração. Este processo é necessário para que se possa estabelecer uma condição estável e conhecida para executar a medição de amostras de cor. Para o aparelho utilizado, existe duas calibrações, a *white* (branco – medição de uma amostra de cor branca disponibilizada pela Minolta) e a *zero* (preto – medição de nenhuma cor).

O comando utilizado para executar a calibração *white* é o CAL, já para a calibração *zero* é utilizado o comando UZC. Antes de fazer a calibração *zero* é necessário escolher o tipo de medição que será usado, este é informado ao aparelho com o comando CPS. Para a calibração *white* é necessário antes, ler os dados de calibração branca do aparelho com o comando CDR.

O aparelho exige, para o seu funcionamento, pelo menos uma calibração a cada vez que é ligado, por este motivo, ao executar a aplicação, a primeira tela apresentada, quando é necessário, é a tela de calibração do espectrofotômetro (Figura 26). Nesta tela existe a opção de escolher o tipo de medição utilizado SCI ou SCE (mais informações no seção 2.4.1). Abaixo se encontram os botões para se executar a calibração *zero*, primeiramente e logo depois a calibração branco.

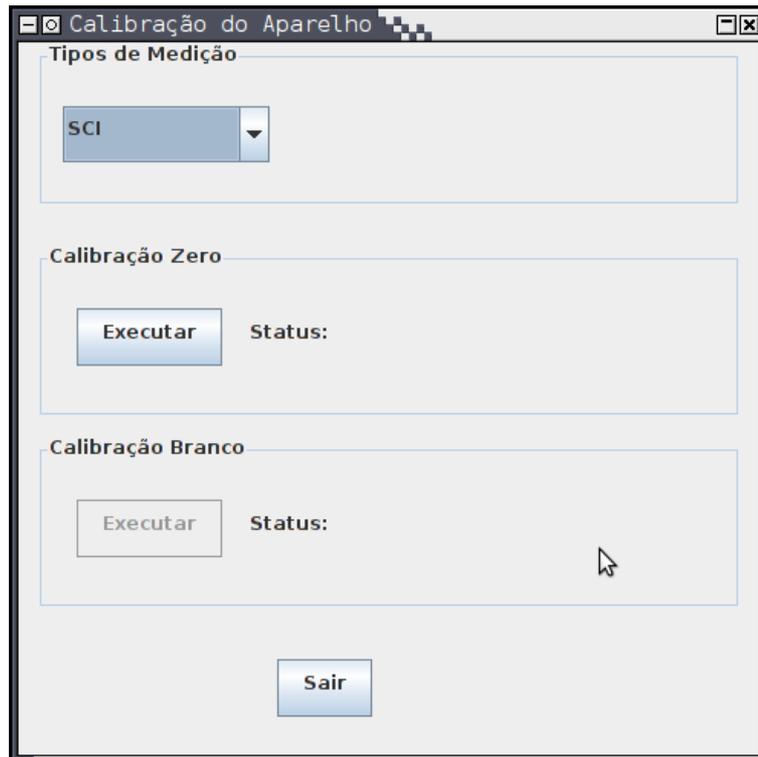


Figura 26 – Tela de calibração

3.3.2.4 Informações do aparelho

Para obter informações sobre o aparelho utilizado, existe o comando `IDR`, implementado pela classe `com_IDR` que traz uma série de identificações do espectrofotômetro, entre elas pode-se citar: o modelo do aparelho, a versão da *rom* utilizada, o número de série, a geometria de medição, o valor de onda inicial e final, e também intervalo de onda suportado pelo mesmo. O Quadro 24 apresenta o tratamento da resposta do comando `IDR`, feito pela classe `com_IDR`.

```

public com_IDR (String resp){
    //Modelo
    if (resp.substring(5,7).equals("13")){
        this.setModelo("CM-2500d");
    }else if(resp.substring(5, 7).equals("03")) {
        this.setModelo("CM-2600d");
    }else{
        this.setModelo("Desconhecido");
    }
    //Versão da ROM
    this.setRom(resp.substring(8,11));
    //Numero Serial do aparelho
    this.setSerial(resp.substring(12,19));
    //Geometria de medicao
    if (resp.substring(20,21).equals("0")){
        this.setSistema_visao("d/8");
    }else{
        this.setSistema_visao("Desconhecido");
    }
    //Variaveis da onda
    this.setOnda_inicial(resp.substring(22,25));
    this.setOnda_final(resp.substring(26,29));
    this.setIntervalo_onda(resp.substring(30,32));
}

```

Quadro 24 – Construtor da classe com_IDR

O comando STR, implementado pela classe com_STR, é um comando que retorna o informações sobre o aparelho, e traz dados como o estado do espectrofotômetro, a tensão elétrica utilizada e informações importantes sobre o estado da calibração SCI e SCE do espectrofotômetro. O Quadro 25 apresenta o tratamento da resposta do comando STR, feito pela classe com_STR.

```

public com_STR(String resp){
    //Estado do aparelho
    if (resp.substring(5,6).equals("0")){
        this.setEstado("Pronto");
    }else if(resp.substring(5, 6).equals("1")) {
        this.setEstado("Não está pronto");
    }
    //Voltagem
    if (resp.substring(7,8).equals("0")){
        this.setVoltagem("Normal");
    }else if(resp.substring(8, 9).equals("1")) {
        this.setVoltagem("Baixa");
    }
    //Calibração SCI
    if (resp.substring(9,10).equals("0")){
        this.setCal_SCI("Sem dados de calibração zero e
        calibração branca");
        this.calibradoSCI = false;
    }else if(resp.substring(9, 10).equals("1")) {
        this.calibradoSCI = false;
        this.setCal_SCI("Dados de calibração zero presentes, mas
        sem dados de calibração branca");
    }else if(resp.substring(9, 10).equals("2")) {
        this.calibradoSCI = true;
        this.setCal_SCI("Dados de calibração branca completos
        (Amostra Minolta)");
    }else if(resp.substring(9, 10).equals("3")) {
        this.calibradoSCI = true;
        this.setCal_SCI("Dados de calibração branca completos
        (Amostra Usuário)");
    }
    //Calibração SCE
    if (resp.substring(10,11).equals("0")){
        this.calibradoSCE = false;
        this.setCal_SCE("Sem dados de calibração zero e calibração
        branca");
    }else if(resp.substring(10,11).equals("1")) {
        this.calibradoSCE = false;
        this.setCal_SCE("Dados de calibração zero presentes, mas
        sem dados de calibração branca");
    }else if(resp.substring(10,11).equals("2")) {
        this.calibradoSCE = true;
        this.setCal_SCE("Dados de calibração branca completos
        (Amostra Minolta)");
    }else if(resp.substring(10,11).equals("3")) {
        this.calibradoSCE = true;
        this.setCal_SCE("Dados de calibração branca completos
        (Amostra Usuário)");
    }
}
}

```

Quadro 25 - Construtor da classe com_STR

A tela apresentada na Figura 27 traz todas as informações citadas acima e pode ser executada a qualquer momento no sistema.

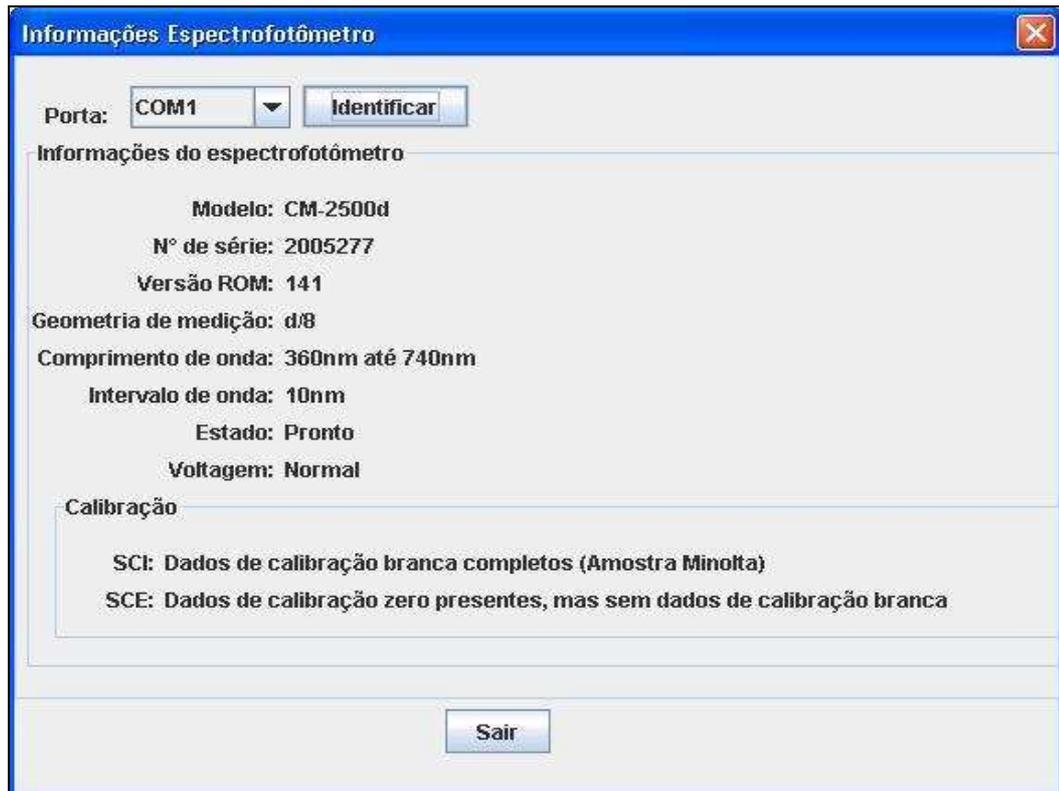


Figura 27 – Tela de informações do aparelho

3.3.2.5 Configurações de cálculo de cor

Uma característica importante do sistema é a possibilidade de escolher entre os observadores e os iluminantes disponíveis, quais serão utilizados no cálculo de cor. Já para a busca de cores, o sistema permite também definir um valor de tolerância máximo (diferença de cor) que será utilizado na execução de uma busca de cor.

A tela apresentada na Figura 28, torna possível ao usuário escolher as configurações desejadas antes de efetuar uma medição ou busca de cor no sistema.

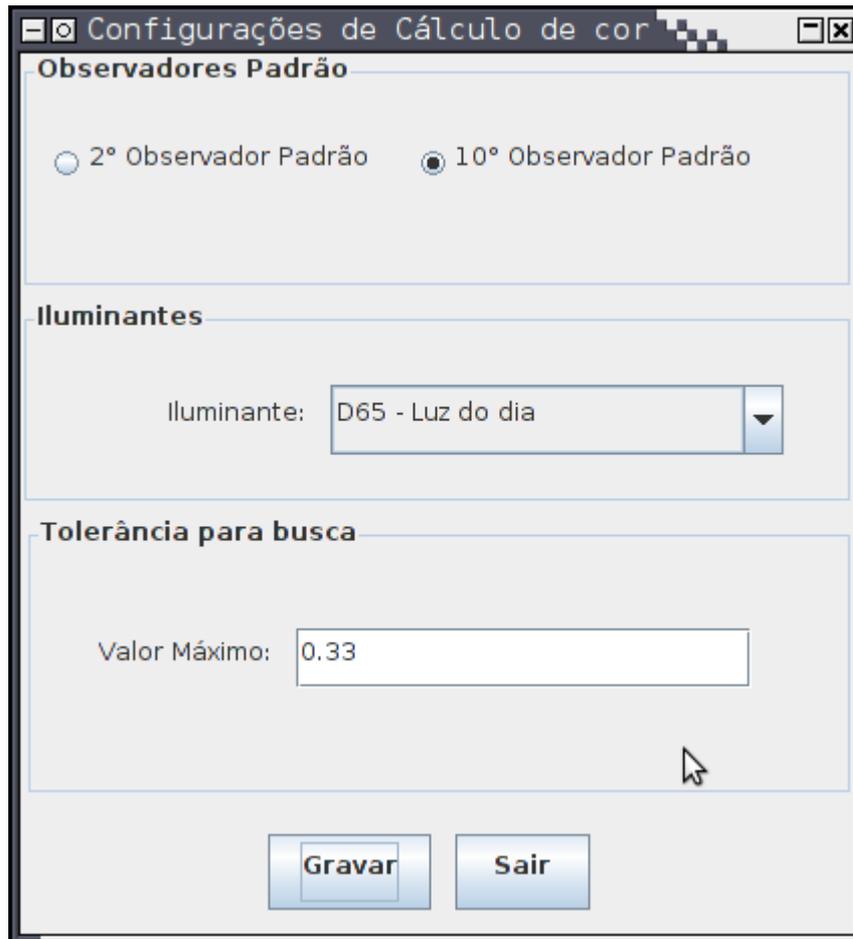


Figura 28 – Tela configurações de cálculo de cor

3.3.2.6 Medição de cor

O processo de medição de cor é responsável por capturar os valores de reflectância do espectrofotômetro e determinar os valores numéricos da cor nos vários modelos disponíveis no sistema.

A medição de cor inicia-se com a leitura dos dados de reflectância do espectrofotômetro. A partir deste ponto é calculada a cor no modelo CIE XYZ, usando a fórmula para cálculo da cor (mais informações no capítulo 2.2.1), e logo após, os demais modelos de cores são calculados a partir do modelo inicial.

Na interface gráfica, ao término dos cálculos de cor, é criado o gráfico de reflectância, os valores de reflectância para cada comprimento de onda, são colocados em uma tabela e por fim é colocado um componente gráfico com a cor calculada no modelo RGB para visualização.

A tela de medição de cor (Figura 29) permite ao usuário, além da visualização da cor e de seus valores numéricos calculados, a gravação dos dados medidos. É possível criar um

código com uma descrição para a cor medida e salvar os seus valores numéricos em todos os modelos, juntamente com os valores de reflectância. Existe um campo de consulta, que permite que seja consultada uma cor já medida e salva pelo sistema.

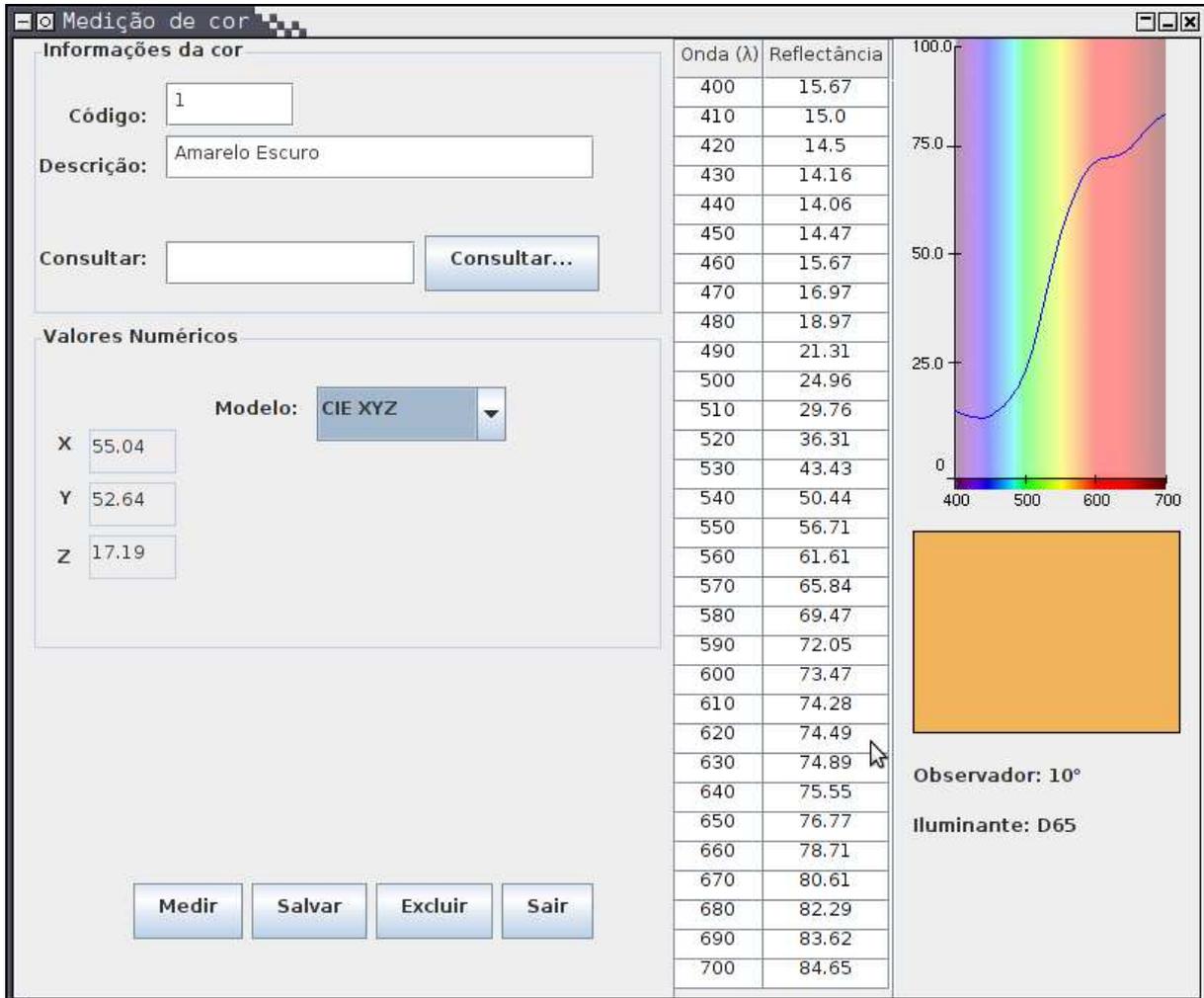


Figura 29 – Tela de medição de cor

O Quadro 26 mostra a o método `calculaXYZ`, que através da implementação da função para cálculo de cor, a partir dos dados de reflectância, iluminante e observador, calcula os valores numéricos da cor no o modelo CIE XYZ.

```

public XYZ calculaXYZ(int obs,int ilu){
    XYZ cor;
    double X = 0;
    double Y = 0;
    double Z = 0;
    double somaX = 0;
    double somaY = 0;
    double somaZ = 0;
    double K = 0;

    for (int i =0;i<this.reflectancia.getValores().length;i++) {
        if (obs == 1 && ilu == 0 ){
            somaX +=(iluminare.D65[i].getValor()*
                observador.x10[i].getValor() *
                (reflectancia.valor[i].getValor()/100));
            somaY += (iluminare.D65[i].getValor() *
                observador.y10[i].getValor() *
                (reflectancia.valor[i].getValor()/100));
            somaZ += (iluminare.D65[i].getValor() *
                observador.z10[i].getValor() *
                (reflectancia.valor[i].getValor()/100));
            K += (iluminare.D65[i].getValor() *
                observador.y10[i].getValor());
        }
    }
    K = Math.round(K*2.0)/2.0;
    K = 100/K;
    X = K*somaX;
    Y = K*somaY;
    Z = K*somaZ;
    cor = new XYZ(X,Y,Z);
    this.XYZ = cor;
    return this.XYZ;
}

```

Quadro 26 - Método calculaXYZ implementação fórmula para cálculo de cores

O detalhamento do código dos métodos que realizam transformações de valores para outros modelos usados no sistema encontram-se no apêndice B.

3.3.2.7 Busca de cor

Este processo é uma funcionalidade muito importante no sistema, onde através da medição de uma amostra de cor, o sistema faz uma busca na base de dados com as cores já lidas para encontrar a cor mais semelhante.

Na Figura 30 apresenta a tela de busca de cor que mostra informações como valores e gráfico de reflectância, valores das cores mediadas nos modelos CIE LAB e CIE LCH. A diferença de cor é apresentada em Delta E (CIE 1976), os valores em azul são da cor medida no momento da busca (cor procurada) e os valores em verde são da cor padrão

escolhida e já cadastrada no sistema (cor encontrada).

Para o usuário o sistema agrega uma facilidade importante, um componente gráfico na tela é pintado com o modelo RGB, para a cor medida e para a cor encontrada, com o objetivo que se possa ter uma percepção do grau de diferença que se encontrará ao visualizar as amostras de cores fisicamente.

A tela ainda apresenta a cor medida sobre dois iluminantes, que tem por objetivo detectar a metamerismo.

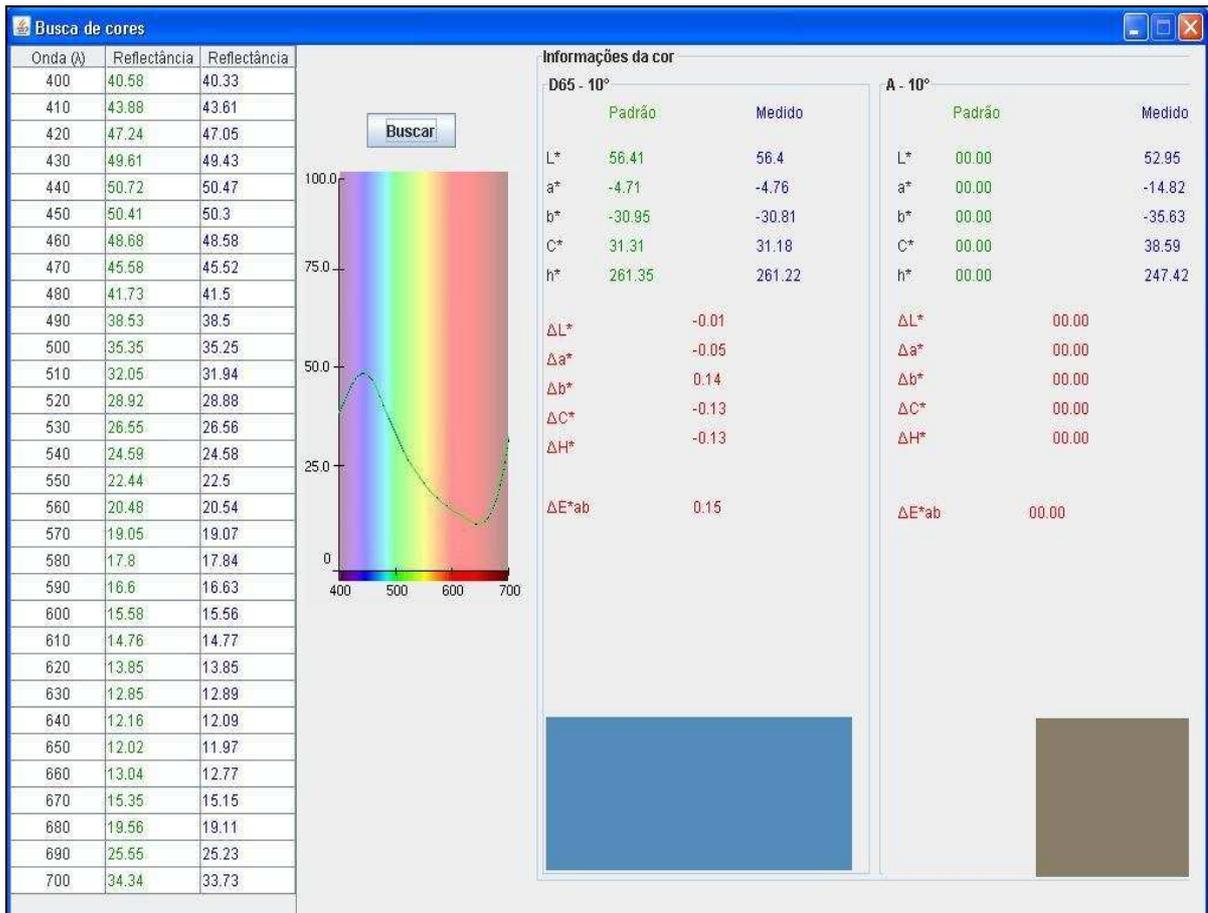


Figura 30 – Tela para busca de cor

Os cálculos de diferença de cor são executados através da fórmula para cálculo de diferenças de cores Delta E (CIE 1976) (apresentada no capítulo 2.2.3). O Quadro 27 apresenta o método ΔE^*_{ab} , implementado a função para cálculo de diferença de cor, onde a diferença entre duas cores no modelo CIE LAB é calculada.

```

public Delta_Labch calculaDelta(Lab corLab1, Lab corLab2,
                                Lch corLch1, Lch corLhc2){
    double l = corLab1.getL() - corLab2.getL();
    double a = corLab1.getA() - corLab2.getA();
    double b = corLab1.getB() - corLab2.getB();
    double c = corLch1.getC() - corLhc2.getC();
    double h = corLch1.getH() - corLhc2.getH();
    double ab = Math.sqrt((l*l)+(a*a)+(b*b));
    Delta_Labch dif = new Delta_Labch(l,a,b,c,h,ab);
    this.delta = dif;
    return dif;
}

```

Quadro 27 – Método Delta_Labch implementação da fórmula Delta E (CIE 1976)

3.3.2.8 Exportação valores calculados

Uma parte funcional do sistema está na possibilidade de exportar as cores com seus modelos calculados para arquivos externos. Neste caso, os valores são exportados para arquivos texto. Inicialmente para realizar a exportação, deve-se escolher o nome, local de geração do arquivo e escolher modelo desejado.

A Figura 31 apresenta a tela pra exportação, o *layout* de exportação encontra-se no apêndice A.



Figura 31 – Tela de exportação dos modelos de cores

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente trabalho apresentou resultados satisfatórios, pois torna possível a utilização do sistema diretamente com o espectrofotômetro, sem a necessidade de utilizar arquivos de importação de dados. Com os dados obtidos do aparelho, é possível então executar o cálculo

de cor, possibilitando a sua conversão em vários modelos suportados, portanto alcançando o objetivo inicial.

Com relação à representação da cor na tela do computador, não é intenção deste projeto fazer a representação exata da cor na tela, visto que o monitor é um emissor de luz e uma cor de uma amostra é um refletor de luz. Este procedimento é muito difícil de fazer. Primeiro pelas tecnologias existentes nos monitores que são muito diferentes, cada fabricante calibra o monitor com um padrão diferente. Segundo, pois não se pode calibrar um monitor com as cores que são percebidas pelos os olhos de um ser humano. Muitas tecnologias tentam fazer isso, porém são muito caras, elas calibram o monitor para que uma representação mais decente da cor seja mostrada na tela, mas este não é o objetivo deste sistema.

No sistema obtiveram-se resultados numéricos para os modelos de cor usados semelhantes aos trabalhos correlatos. Infelizmente, não foi possível fazer os testes com o projeto de Fernandes, pois o protótipo necessita de arquivos texto importados com os valores de reflectância de outros sistemas que não se teve acesso. Foram feitos testes com cinco amostras de cores diferentes, para comparação dos resultados.

Para o sistema comercial Cybercrhome, foram comparados os modelos CIE XYZ, CIE LAB e CIE LCH, medidos em SCI, com diferentes observadores e iluminantes usados por este projeto e que também estão disponíveis no sistema Cybercrhome. O Quadro 28 e o Quadro 29 apresentam os resultados obtidos com os testes. Para cada amostra de cor, a linha 1 representa os resultados deste trabalho e a linha 2 os resultados obtidos com o sistema Cybercrhome.

Amostra		SCI Observador 10°					
		Iluminante D65			Iluminante A		
		CIE XYZ	CIE LAB	CIE LCH	CIE XYZ	CIE LAB	CIE LCH
1821	1	46.16,35.28,38.35	65.97,40.04,-0.61	65.97,40.04,359.13	62.03,41.59,12.11	70.59,38.44,9.15	70.59,39.51,13.39
	2	46.18,35.32,38.43	66.00,39.99,-0.66	66.00,39.99,359.05	62.39,41.80,12.22	70.73,38.61,8.97	70.73,39.64,13.08
0502	1	34.96,24.83,24.81	56.91, 44.28, 2.95	56.91, 44.38,3.91	50.14,30.91,7.94	62.43,45.41,13.48	62.43,47.37,16.53
	2	35.02,24.78,24.82	56.86,44.72,2.85	56.86,44.81,3.64	50.43,30.99,7.95	62.50,45.87,13.55	62.50,47.83,16.45
7918	1	11.03,6.7,3.17	31.28,40.31,19.69	31.28,44.85,26.04	18.23,9.96,1.06	37.77,41.93,30.48	37.77,51.54,36.01
	2	11.12,6.83,3.25	31.41,40.38,19.38	31.41,44.79,25.64	17.93,9.77,1.06	37.43,41.89,29.92	37.43,51.47,35.54
9386	1	35.08,22.83,5.81	54.9,53.36,46.57	54.9,70.82,41.11	82.91,65.88,2.25	84.94,18.4,94.06	84.94,95.84,78.93
	2	35.78,23.31,6.18	55.39,53.60,45.86	55.39,70.54,40.55	82.39,65.80,2.22	84.84,18.12,93.31	84.91,95.47,78.63
10006	1	33.75,30.62,8.59	62.19,17.35,48.61	62.19,51.61,70.36	47.85,36.23,2.97	66.7,21.1,54.86	66.70,58.78,68.96
	2	34.14,30.88,8.60	62.40,17.77,48.96	62.40,52.09,70.05	48.03,36.25,3.00	66.71,21.52,54.61	66.71,58.69,68.49

Quadro 28 – Comparativo dos resultados Observador 10° para CIE XYZ, LAB e LCH

Amostra		SCI Observador 2°					
		Iluminante D65			Iluminante A		
		CIE XYZ	CIE LAB	CIE LCH	CIE XYZ	CIE LAB	CIE LCH
1821	1	48.18,35.71,38.78	66.3,43.94,0.12	66.3,43.94,0.16	63.58,41.89,12.10	70.80,42.57,10.05	70.80,43.74,13.26
	2	47.89,35.58,38.45	66.20,43.58,0.36	66.20,43.58,0.47	63.58,42.01,12.12	70.88,42.21,10.13	70.88,43.40,13.50
0502	1	37.00,25.11,25.33	57.18,49.64,3.17	57.18,49.74,3.65	52.42,31.47,8.12	62.90,50.63,13.82	62.90,52.48,15.27
	2	36.87,24.98,24.92	57.06,49.75,3.63	57.06,49.88,4.17	52.11,31.14,7.91	62.63,51.02,14.42	62.63,53.02,15.79
7918	1	12.38,7.26,3.34	32.39,44.87,20.83	32.39,49.47,24.90	19.57,10.23,1.11	38.25,47.50,30.58	38.25,56.49,32.77
	2	11.97,7.07,3.29	31.97,43.86,20.40	31.97,48.38,24.94	18.84,9.83,1.07	37.71,46.30,30.44	37.71,55.41,33.32
9386	1	42.61,29.32,5.39	61.06,50.50,59.43	61.06,77.99,49.64	55.69,32.33,1.82	63.61,55.52,63.03	63.61,84.00,48.62
	2	42.85,29.62,5.17	61.70,50.41,59.52	61.70,77.96,49.68	55.98,32.27,1.96	63.38,55.28,63.44	63.38,83.39,48.48
10006	1	34.30,31.72,8.64	63.11,14.98,50.45	63.11,53.63,73.46	47.22,35.96,2.94	66.49,21.79,55.12	66.49,59.27,68.43
	2	35.00,32.47,9.00	63.73,14.75,50.34	63.73,52.45,73.67	47.00,35.04,2.19	66.31,21.16,55.10	66.31,59.10,68.64

Quadro 29 - Comparativo dos resultados Observador 2° para CIE XYZ, LAB e LCH

Analisando os dois quadros de comparação, observa-se que este projeto chegou a resultados muito próximos ao do sistema comercial Cybercrhome. Diferenças muito pequenas entre as medições das amostras são encontradas, levando-se em conta que os dois sistemas trabalham com diferentes regras para precisão de dados e de que o espectrofotômetro, mesmo sendo um aparelho muito preciso não consegue obter os mesmos dados de medições feitas na

mesma amostra de cor.

Contudo, como o sistema Cybercrhome não trabalha com os modelos de cor RGB, CMYK e HSL e HSV, utilizados também por este projeto, estes foram comparados com os resultados obtidos pelo sistema OpenRGB, que trabalha com os modelos anteriormente citados. Para a realização dos testes, como o sistema OpenRGB não possui comunicação com espectrofotômetro, foram inseridos os valores no modelo CIE XYZ e depois calculados nos modelos utilizados na comparação. Para cada amostra de cor, a linha 1 representa os resultados deste trabalho e a linha 2 os resultados obtidos com o sistema OpenRGB. O Quadro 30 e Quadro 31 apresentam os resultados dos testes, utilizando diferentes observadores e iluminantes usados por este projeto.

Amostra		Observador 10°							
		Iluminante D65				Iluminante A			
		RGB	CMYK	HSL	HSV	RGB	CMYK	HSL	HSV
1821	1	226,131,161	0,0.37,0.25,0.11	341,62,70	341,42,88	255,118,78	0,0.54,0.69,0	13,100,65	13,69,100
	2	226.24,131.92,161.55	0,0.41,0.28,0.11	341,62,70	341,42,89	255,118.91,78.76	0,0.58,0.72,0	12,100,72	12,73,100
0502	1	207, 103, 132	0,0.41,0.29,0.19	343,52,60	343,50,81	255,87,62	0,0.66,0.76,0	7,100,62	7,75,100
	2	207.58, 103.37, 132.05	0,0.50,0.36,0.18	343,52,61	353,50,81	255,87.83,62.14	0,0.67,0,0.76,0	8,100,65	8,77,100
7918	1	133,40,44	0,0.36,0.35,0.48	357,53,33	357,69,52	175,26,3	0,0.58,0.67,0.31	8,96,34	8,98,68
	2	133.78,40.23,44.62	0,0.69,0.66,0.47	357,54,34	357,70,52	175.67,26.50,3.63	0,0.84,0.98,0.31	8,96,35	8,98,69
9386	1	225,84,52	0,0.55,0.68,0.12	11,74,54	11,76,88	225,175,0	0,0.31,1,0	41,100,50	41,100,100
	2	225.52,84.97,52.93	0,0.62,0.76,0.11	11,75,54	11,77,88	255,175.86,0	0,0.44,1,0	44,100,21	44,100,100
10006	1	200,137,61	0,0.25,0.55,0.22	32,55,51	32,69,78	252,128,0	0,0.49,0.99,0.01	30,100,49	30,100,98
	2	200.40,137.19,61.31	0,0.31,0.69,0.21	33,56,51	33,69,79	252.62,128.37,0	0,0.49,1,0.01	36,100,39	36,100,99

Quadro 30 - Comparativo dos resultados Observador 10° para RGB , CMYK, HSL e HSV

Amostra		Observador 2°							
		Iluminante D65				Iluminante A			
		RGB	CMYK	HSL	HSV	RGB	CMYK	HSL	HSV
1821	1	233,128,162	0,0.41,0.28,0.09	340,70,70	340,45,91	255,116,78	0,0.55,0.69,0	12,100,65	12,69,100
	2	233.53,128.89,162.52	0,0.44,0.30,0.08	341,71,71	341,45,92	255,116.04,78.64	0,0.60,0.72,0	11,100,73	11,73,100
0502	1	216,98,133	0,0.46,0.33,0.15	342,60,31	342,54,84	255,82,63	0,0.68,0.75,0	5,100,62	5,75,100
	2	216.01,98.34,133.67	0,0.54,0.38,0.15	342,60,32	342,54,85	255,82.57,63.72	0,0.69,0.76,0	5,100,66	5,77,100
7918	1	142,35,46	0,0.42,0.38,0.44	353,60,34	353,75,55	182,9,5	0,0.68,0.69,0.29	1,94,36	1,97,71
	2	144.88,32.35,46.21	0,0.77,0.68,0.43	353,63,35	353,78,57	182.63,9.03,5.81	0,0.95,0.96,0.28	1,94,37	1,97,72
9386	1	243,104,39	0,0.55,0.80,0.05	19,89,55	19,83,95	255,73,0	0,0.71,1,0	17,100,50	17,100,100
	2	243.83,104.33,39.65	0,0.57,0.83,0.04	19,90,56	19,84,96	255,73.54,0	0,0.74,1,0	22,100,46	22,100,100
10006	1	200,140,60	0,0.24,0.55,0.22	34,56,50	34,70,78	250,128,0	0,0.48,0.98,0.02	30,100,49	30,100,98
	2	200.50,140.98,60.36	0,0.29,0.69,0.21	35,56,51	35,70,79	250.78,128.65,0	0,0.48,1,0.01	36,100,39	36,100,98

Quadro 31 - Comparativo dos resultados Observador 2° para RGB , CMYK , HSL e HSV

Analisando os quadros, observa-se que este projeto chegou a resultados muito próximos ao do sistema OpenRGB. Para o modelo RGB, este trabalho utiliza valores inteiros, enquanto que o OpenRGB não, porém ainda assim mantendo diferenças muito pequenas. Para os outros modelos, diferenças mínimas foram encontradas, que podem ser causadas por perda de precisão dos tipos de dados utilizados.

No Quadro 32 é apresentado o comparativo das características do sistema com os trabalhos correlatos. Pode-se observar que todas as aplicações permitem a visualização numérica da cor em mais de um modelo, porém apenas este projeto e o sistema comercial CyberChrome utilizam comunicação serial com o aparelho, que facilita a obtenção dos valores numéricos da medição de amostras de cor.

Característica	Este projeto	Fernandes	Cybercrhome	Logicol
Comunicação serial com o aparelho	<i>X</i>		<i>X</i>	
Gráfico de Reflectância	<i>X</i>		<i>X</i>	
Cálculos de diferenças de cor	<i>X</i>		<i>X</i>	
Detecta metamerismo	<i>X</i>		<i>X</i>	
Visualiza cor em RGB na tela	<i>X</i>		<i>X</i>	<i>X</i>
Mostra valores numéricos da cor	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>
Apresenta um sólido do modelo de cor		<i>X</i>		
Permite trabalhar com diferentes iluminantes	<i>X</i>		<i>X</i>	<i>X</i>
Permite trabalhar com diferentes observadores padrão	<i>X</i>		<i>X</i>	<i>X</i>
Permite trabalhar com diferentes modelos de cor	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>

Quadro 32 - Características da aplicação e trabalhos correlatos

4 CONCLUSÕES

Este trabalho propôs o desenvolvimento de um sistema para ser utilizado em conjunto com um espectrofotômetro, para obter os dados de reflectância de uma amostra de cor e através destes, aplicando os conceitos de colorimetria, calcular os valores numéricos da cor para representá-la na tela do computador.

Os seguintes itens podem ser destacados como resultados alcançados na elaboração deste trabalho: o sistema implementado apresentou o resultado desejado, com a comunicação com o espectrofotômetro e valores numéricos calculados muito próximos de sistemas comerciais; a possibilidade de visualização dos valores numéricos das amostras de cor, nos diferentes modelos implementados; a conversão entre os modelos de cores utilizados pelo sistema; a busca e visualização das diferenças entre cores medidas; a visualização da cor medida na tela do computador; a possibilidade de exportação dos valores medidos.

O sistema foi desenvolvido com linguagem de programação Java e banco de dados MySQL. Com a utilização de técnicas e bibliotecas como *Data Access Object* (DAO), *Java OpenGL* (JoGL), *RXTX* e *Java Database Connectivity* (JDBC), todas as necessidades que surgiram durante o desenvolvimento foram atendidas.

Este trabalho virá a ser utilizado pela tinturaria Florisa para controle de qualidade de cor com o cadastro de todas as cores produzidas. Esta situação se faz necessária para que se possa ter todas as cores virtualmente no sistema, obtendo-se a cor exata medida pelo aparelho, sem a necessidade de serem cadastradas manualmente pelo operador, que escolhe visualmente a cor. Outro processo importante e que demanda maior tempo para o operador, é a busca por cor semelhante. Com a utilização da busca de cor do sistema, é facilitado o processo de se encontrar uma cor mais próxima quando necessário, evitando-se que seja feito um trabalho de comparação visual com as cores já produzidas, diminuindo muito o tempo para a realização desta tarefa.

Uma outra funcionalidade deste sistema que virá a ser útil é exportação dos valores numéricos das cores medidas para outros sistemas de controle de produção, que traz uma série de vantagens, como a visualização da cor para programação das máquinas de tingimento, facilitando-se a programação por degrade de cor, evitando-se que as máquinas sejam lavadas entre os tingimentos, gerando economia de tempo e recursos.

Como limitação o sistema possui apenas os valores de dois iluminantes para cálculo de cor. Existe uma variedade de iluminantes que são importantes para detectar metamerismo e

ter uma percepção da cor em ambientes diferentes. Também, existe uma grande quantidade de modelos e espaços de cor, que são utilizados em várias outras áreas e que não são contemplados por este sistema.

4.1 EXTENSÕES

Como sugestão para continuação deste trabalho e melhoria do sistema, pode-se citar:

- a) trabalhar com mais modelos de cores;
- b) trabalhar com mais iluminantes para cálculo de cor;
- c) tornar possível a comunicação com mais modelos de espectrofotômetros utilizados no mercado;
- d) adicionar relatórios, permitindo diferentes modos para filtrar as amostras de cores medidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, Helena S. M. P. **Estudo do efeito do tratamento por laser de CO² nas propriedades superficiais de fibras sintéticas**. 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado em Química Textil), Universidade do Minho, Braga.

APPLE. **About color spaces**. [S.l.], 2010. Disponível em: <http://developer.apple.com/mac/library/documentation/cocoa/conceptual/DrawColor/Concepts/Art/csul03_2.1.gif> Acesso em: 11 abr. 2010.

AXELSON, Jan. **Serial port complete: programming and circuits for RS-232 and RS-485 links and networks**. Madison: Lakeview, 2000.

AZEVEDO, Eduardo ; CONCI, Aura. **Computação gráfica: teoria e prática**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

AZEVEDO, Eduardo; CONCI, Aura; LETA, Fabiana R. **Computação gráfica: teoria e prática**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

CYBERCRHOME. **CyberChrome, Color QC & Color Matching Software**. [S.l.], 2010. Disponível em: <<http://www.cyberchromeusa.com/>>. Acesso em: 27 maio 2010.

_____. **OnColor QC Lite: tela de medição de cor**. [S.l.], 2009. Documento eletrônico disponibilizado com o software OnColor QC Lite.

DARONCO, Leonardo C. **Interface 3D para representação da distribuição de cores de imagens digitais em diferentes espaços de cores**. 2007. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

EASYRGB. **The inimitable RGB and color search engine**. [S.l.], 2010. Disponível em: <<http://www.easyrgb.com/>>. Acesso em: 11 abr. 2010.

FERNANDES, Antônio C. **Protótipo de visualização para modelos de cor para medição de objetos em espectrofotômetros por reflectância**. 2002. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

FOLEY, James D. et al. **Computer graphics: principles and practice in C**. 2. Sd. Boston: Addison-Wesley, 1997.

GUIMARÃES, Luciano. **A cor como informação: a construção biofísica, lingüística e cultural da simbologia das cores**. 3. ed. São Paulo: Annablume, 2004.

GRAXX. **Couleur en liberté**. [S.l.], 2010. Disponível em: <<http://pages.infinet.net/graxx/CIE2.html>>. Acesso em: 11 abr. 2010.

INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION. **Advancing knowledge and providing standardisation to improve the lighted environment**. Vienna, 2010. Disponível em: <<http://www.cie.co.at>>. Acesso em: 3 abr. 2010.

KÜPPERS, Harald. **Fundamentos de la teoria de los colores**. México: Gustavo Gili, 1995.

LEÃO, Alexandre C. **Gerenciamento de cores para imagens digitais**. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado em Artes Visuais) - Curso de Mestrado em Artes Visuais, Escola de Belas Artes, Belo Horizonte.

LEITE, Frederico N. **Calibração de dispositivos de cores utilizando uma câmera digital**. 2006. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília.

LOGICOL. **OpenRGB**: tela para cálculo de cor. [S.l.], 2010a. Documento eletrônico disponibilizado com o software OpenRGB.

_____. **The color data company**. [S.l.], 2010b. Disponível em: <<http://www.logicol.com/>>. Acesso em: 27 maio 2010.

LUCAS, J. et al. **Colour measurement: fundamentals**. Azurém: Eurotex, 1996.

MINOLTA. **Precise color communication: color control from perception to Instrumentation**. Japan: Minolta Co. Ltd., 2007. 59 p.

_____. **The essentials of imaging**. [S.l.], 2010. Disponível em: <<http://www.konicaminolta.com/>>. Acesso em: 28 maio 2010.

NASCIMENTO, Grelton. **CM-2600d/2500d communication specifications**. São Paulo, 2009. Trabalho não publicado. Protocolo de comunicação [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <konicaminolta@ajato.com.br> em 25 set. 2009.

PASCALE, Danny. **A review of RGB color space: ...from xyY to R'G'B'**. Canada: The BabelColor Company, 2003. 35 p.

RÉGULA, Luiz M. **Padrões virtuais e tolerâncias colorimétricas no controle instrumental das cores**. 2004. 135 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia) - Curso de Pós-graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SACHS, Paula G. D. **Uso de software em análise de interesse agrônômico: determinação de dimensões e cores**. 2007. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

SCHANDA, János. **Colorimetry**: understand the CIE system. Hoboken: Wiley, 2007.

SHEVELL, Steven K. **The science of color**. 2. Sd. Chicago: Elsevier, 2003.

SCHOTEN, Theo. **Course RT2**: image processing. [S.l.], 2010. Disponível em:
<<http://www.cs.ru.nl/~ths/rt2/col/h2/colorcube.jpg>>. Acesso em: 11 abr. 2010.

TORNQUIST, Jorrit. **Color y luz**: teoria y práctica. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.

X7OG. **Night vision, brighteners, infrared, and black lights**. [S.l.], 2010. Disponível em:
<<http://www.x7og.net/general-paintball-related-discussion/19011-night-vision-brighteners-infrared-black-lights.html>>. Acesso em: 11 abr. 2010.

APÊNDICE A – Layout do arquivo de exportação

O Quadro 33 apresenta o layout de exportação com seus valores numéricos para cada modelo de cor suportado pelo sistema. Os campos devem ser separados por “;”, com relação aos tipos de dados, “N” para campos numéricos e “A” para campos alfanuméricos.

Campo	Tipo	Tamanho	Somente utilizado com
Código da cor	N	10	Para todos os modelos
Descrição da cor	A	30	
Valor de R	N	3	Modelo RGB
Valor de G	N	3	
Valor de B	N	3	
Valor de X	N	3,2	Modelo CIE XYZ
Valor de Y	N	3,2	
Valor de Z	N	3,2	
Valor de L	N	3,2	Modelo CIE LAB
Valor de A	N	3,2	
Valor de B	N	3,2	
Valor de L	N	3,2	Modelo CIE LCH
Valor de C	N	3,2	
Valor de H	N	3,2	
Valor de C	N	3,2	Modelo CMYK
Valor de M	N	1,2	
Valor de Y	N	1,2	
Valor de K	N	1,2	
Valor de H	N	3	Modelo HSV
Valor de S	N	3	
Valor de V	N	3	
Valor de H	N	3	Modelo HSL
Valor de S	N	3	
Valor de L	N	3	
Valor de Hexa	A	7	Modelo Hexadecimal

Quadro 33 – Layout de exportação de cores

APÊNDICE B – Transformações entre os modelos

Do Quadro 34 ao Quadro 40 é apresentado o detalhamento da implementação dos métodos que realizam transformações entre modelos de cores.

```

public RGB XYZparaRGB(XYZ xyz){
    RGB cor;
    double aux_X = xyz.getX()/100.0d;
    double aux_Y = xyz.getY()/100.0d;
    double aux_Z = xyz.getZ()/100.0d;

    double aux_R = aux_X* 3.2406f+aux_Y*-1.5372f+aux_Z*-0.4986f;
    double aux_G = aux_X*-0.9689f+aux_Y* 1.8758f+aux_Z* 0.0415f;
    double aux_B = aux_X* 0.0557f+aux_Y*-0.2040f+aux_Z* 1.0570f;

    if ( aux_R > 0.0031308f ){
        aux_R = 1.055f * ( Math.pow (aux_R, 1 / 2.4f)) - 0.055f;
    }else{
        aux_R = 12.92f * aux_R;
    }
    if ( aux_G > 0.0031308f ) {
        aux_G = 1.055f*(Math.pow(aux_G,1/2.4f))-0.055f;
    }else{
        aux_G = 12.92f*aux_G;
    }
    if (aux_B > 0.0031308f){
        aux_B = 1.055f*(Math.pow(aux_B,1/2.4f))- 0.055f;
    }else{
        aux_B = 12.92f*aux_B;
    }

    aux_R =aux_R * 255;
    aux_G =aux_G * 255;
    aux_B =aux_B * 255;

    if (aux_R < 0)
        aux_R = 0;
    if (aux_G < 0)
        aux_G = 0;
    if (aux_B < 0)
        aux_B = 0;

    cor = new RGB((int)aux_R,(int)aux_G,(int)aux_B);
    this.RGB = cor;
    return getRGB();
}

```

Fonte: adaptada de EasyRGB (2010).

Quadro 34 –Método XYZparaRGB

```

public Lab XYZparaLab(XYZ xyz,int ilu,int obs){
    Lab cor = null;
    double X = 0;
    double Y = 0;
    double Z = 0;

    if (ilu == 0){
        //D65
        if (obs == 0){
            X = xyz.getX()/95.047;
            Y = xyz.getY()/100.000;
            Z = xyz.getZ()/108.883;
        }else if (obs == 1){
            X = xyz.getX()/94.811;
            Y = xyz.getY()/100.000;
            Z = xyz.getZ()/107.304;
        }
    }
    if (ilu == 1){
        //A
        if (obs == 0){
            X = xyz.getX()/109.850;
            Y = xyz.getY()/100.000;
            Z = xyz.getZ()/35.585;
        }else if (obs == 1){
            X = xyz.getX()/111.144;
            Y = xyz.getY()/100.000;
            Z = xyz.getZ()/35.200;
        }
    }
    if ( X > 0.008856 ){
        X = Math.pow (X,1.0/3.0);
    }else{
        X = (7.787*X) + (16.0/116.0);
    }

    if ( Y > 0.008856 ){
        Y = Math.pow (Y,1.0/3.0);
    }else{
        Y = (7.787*Y)+(16.0/116.0);
    }

    if (Z > 0.008856){
        Z = Math.pow (Z,1.0/3.0);
    }else{
        Z = (7.787*Z)+(16/116);
    }

    double l = ( 116.0 * Y ) - 16.0;
    double a = 500.0 * ( X - Y );
    double b = 200.0 * ( Y - Z );

    cor = new Lab(l, a, b);
    this.Lab = cor;
    return getLab();
}

```

Fonte: adaptada de EasyRGB (2010).

Quadro 35 - Método XYZparaLab

```

public Lch LabparaLch(Lab lab){
    Lch cor = null;
    double H = Math.atan2(lab.getB(),lab.getA());

    if ( H > 0 ){
        H = (H/Math.PI)*180;
    }else{
        H = 360-(Math.abs(H)/Math.PI)*180;
    }
    double C = Math.sqrt(Math.pow(lab.getA(),2)+Math.pow(lab.getB(),2));
    cor = new Lch (lab.getL(),C,H);
    this.lch = cor;
    return cor;
}

```

Fonte: adaptada de EasyRGB (2010).

Quadro 36 – Método LabparaLch

```

public CMYK RGBparaCMYK(RGB rgb){
    CMYK cor = null;

    double C = 1.0 - (rgb.getR()/255.0);
    double M = 1.0 - (rgb.getG()/255.0);
    double Y = 1.0 - (rgb.getB()/255.0);

    double K = 1.0;
    if ( C < K )
        K = C;
    if ( M < K )
        K = M;
    if ( Y < K )
        K = Y;
    if ( K == 1.0 ) {
        C = 0.0;
        M = 0.0;
        Y = 0.0;
    }else {
        C = ( C-K );
        M = ( M-K );
        Y = ( Y-K );
    }
    double vK = K;
    cor = new CMYK (C,M,Y,vK);
    this.CMYK = cor;
    return cor;
}

```

Fonte: adaptada de EasyRGB (2010).

Quadro 37 – Método RGBparaCMYK

```

public HSL RGBparaHSL( RGB rgb){
    HSL cor = null;
    double R = ( rgb.getR() / 255d);
    double G = ( rgb.getG() / 255d);
    double B = ( rgb.getB() / 255d);

    double min = Math.min( R, G);
    min = Math.min( min,B);
    double max = Math.max( R, G);
    max = Math.max( max,B);

    double diferenca = max - min;
    double L = ( max + min ) / 2;
    double H = 0;
    double S = 0;

    if ( max == 0 ){
        H = 0;
        S = 0;
    }else{
        if ( L < 0.5 ){
            S = diferenca/(max+min);
        }else{
            S = diferenca / ( 2 - max - min );
        }
        double dif_R = ((( max-R)/6) + (diferenca/2))/diferenca;
        double dif_G = ((( max-G)/6) + (diferenca/2))/diferenca;
        double dif_B = ((( max-B)/6) + (diferenca/2))/diferenca;

        if ( R == max ){
            H = dif_B - dif_G;
        }else if ( G == max ){
            H = ( 1 / 3 ) + dif_R - dif_B;
        }else if ( B == max ){
            H = ( 2 / 3 ) + dif_G - dif_R;
        }
        if ( H < 0 ) {
            H += 1;
        }
        if ( H > 1 ) {
            H -= 1;
        }
    }
    H = H*360;
    S = S*100;
    L = L*100;
    cor = new HSL((int)H,(int)S,(int)L);
    this.HSL = cor;
    return cor;
}

```

Fonte: adaptada de EasyRGB (2010).

Quadro 38 – Método RGBparaHSL

```

public HSV RGBparaHSV( RGB rgb){
    HSV cor = null;
    double R = ( rgb.getR() / 255d );
    double G = ( rgb.getG() / 255d);
    double B = ( rgb.getB() / 255d);

    double min = Math.min( R, G);
    min = Math.min( min,B);
    double max = Math.max( R, G);
    max = Math.max( max,B);

    double diferenca = max - min;

    double V = max;
    double H = 0;
    double S = 0;

    if ( max == 0 ) {
        H = 0;
        S = 0;
    } else{
        S = diferenca / max;
        double dif_R = ((( max - R) / 6) + (diferenca / 2)) / diferenca;
        double dif_G = ((( max - G) / 6) + (diferenca / 2)) / diferenca;
        double dif_B = ((( max - B) / 6) + (diferenca / 2)) / diferenca;

        if ( R == max ){
            H = dif_B - dif_G;
        }else if ( G == max ){
            H = ( 1 / 3 ) + dif_R - dif_B;
        }else if ( B == max ){
            H = ( 2 / 3 ) + dif_G - dif_R;
        }
        if ( H < 0 ) { //antes
            H += 1; //antes
        }
        if ( H > 1 ) {
            H -= 1;
        }
    }
    H = H*360;
    S = S*100;
    V = V*100;

    cor = new HSV((int)H,(int)S,(int)V);
    this.HSV = cor;
    return cor;
}

```

Fonte: adaptada de EasyRGB (2010).

Quadro 39 – Método RGBparaHSV

```

public Hexa RGBparaHexa( RGB rgb){
    Hexa cor = null;
    String hexadecimal = Integer.toHexString(rgb.getR());
    hexadecimal += Integer.toHexString(rgb.getG());
    hexadecimal += Integer.toHexString(rgb.getB());

    cor = new Hexa(hexadecimal);
    this.Hexa = cor;
    return cor;
}

```

Quadro 40 – Método RGBparaHexa

ANEXO A – Iluminantes

Na Tabela 1 e Tabela 2 são apresentados valores de distribuição espectral para os iluminantes D65 e A, repetitivamente, disponibilizados pela CIE (INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION, 2010).

Tabela 1 – Distribuição espectral do iluminante D65

Onda(mm)	Valor
400	82,754900
405	87,120400
410	91,486000
415	92,458900
420	93,431800
425	90,057000
430	86,682300
435	95,773600
440	104,865000
445	110,936000
450	117,008000
455	117,410000
460	117,812000
465	116,336000
470	114,861000
475	115,392000
480	115,923000
485	112,367000
490	108,811000
495	109,082000
500	109,354000
505	108,578000
510	107,802000
515	106,296000
520	104,790000
525	106,239000
530	107,689000
535	106,047000
540	104,405000
545	104,225000
550	104,046000
555	102,023000
560	100,000000
565	98,167100
570	96,334200
575	96,061100
580	95,788000
585	92,236800

590	88,685600
595	89,345900
600	90,006200
605	89,802600
610	89,599100
615	88,648900
620	87,698700
625	85,493600
630	83,288600
635	83,493900
640	83,699200
645	81,863000
650	80,026800
655	80,120700
660	80,214600
665	81,246200
670	82,277800
675	80,281000
680	78,284200
685	74,002700
690	69,721300
695	70,665200
700	71,609100

Fonte: International commission on illumination (2010).

Tabela 2 - Distribuição espectral do iluminante A

Onda(nm)	Valor
400	14,708000
405	16,148000
410	17,675300
415	19,290700
420	20,995000
425	22,788300
430	24,670900
435	26,642500
440	28,702700
445	30,850800
450	33,085900
455	35,406800
460	37,812100
465	40,300200
470	42,869300
475	45,517400
480	48,242300
485	51,041800
490	53,913200
495	56,853900
500	59,861100
505	62,932000
510	66,063500
515	69,252500
520	72,495900
525	75,790300
530	79,132600
535	82,519300
540	85,947000
545	89,412400
550	92,912000
555	96,442300
560	100,000000
565	103,582000
570	107,184000
575	110,803000
580	114,436000
585	118,080000
590	121,731000
595	125,386000
600	129,043000
605	132,697000
610	136,346000
615	139,988000
620	143,618000
625	147,235000
630	150,836000

635	154,418000
640	157,979000
645	161,516000
650	165,028000
655	168,510000
660	171,963000
665	175,383000
670	178,769000
675	182,118000
680	185,429000
685	188,701000
690	191,931000
695	195,118000
700	198,261000

Fonte: International commission on illumination (2010).

ANEXO B – Observadores padrão

Na Tabela 3 e na Tabela 4 são apresentados valores dos observadores padrão CIE 1931 (2°) e CIE 1964 (10°), disponibilizados pela CIE (INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION, 2010).

Tabela 3 – Valores observador padrão CIE 1931 (2°)

Onda(nm)	X	Y	Z
400	0,014310	0,000396	0,067850
405	0,023190	0,000640	0,110200
410	0,043510	0,001210	0,207400
415	0,077630	0,002180	0,371300
420	0,134380	0,004000	0,645600
425	0,214770	0,007300	1,039050
430	0,283900	0,011600	1,385600
435	0,328500	0,016840	1,622960
440	0,348280	0,023000	1,747060
445	0,348060	0,029800	1,782600
450	0,336200	0,038000	1,772110
455	0,318700	0,048000	1,744100
460	0,290800	0,060000	1,669200
465	0,251100	0,073900	1,528100
470	0,195360	0,090980	1,287640
475	0,142100	0,112600	1,041900
480	0,095640	0,139020	0,812950
485	0,057950	0,169300	0,616200
490	0,032010	0,208020	0,465180
495	0,014700	0,258600	0,353300
500	0,004900	0,323000	0,272000
505	0,002400	0,407300	0,212300
510	0,009300	0,503000	0,158200
515	0,029100	0,608200	0,111700
520	0,063270	0,710000	0,078250
525	0,109600	0,793200	0,057250
530	0,165500	0,862000	0,042160
535	0,225750	0,914850	0,029840
540	0,290400	0,954000	0,020300
545	0,359700	0,980300	0,013400
550	0,433450	0,994950	0,008750
555	0,512050	1,000000	0,005750
560	0,594500	0,995000	0,003900
565	0,678400	0,978600	0,002750
570	0,762100	0,952000	0,002100
575	0,842500	0,915400	0,001800
580	0,916300	0,870000	0,001650
585	0,978600	0,816300	0,001400

590	1,026300	0,757000	0,001100
595	1,056700	0,694900	0,001000
600	1,062200	0,631000	0,000800
605	1,045600	0,566800	0,000600
610	1,002600	0,503000	0,000340
615	0,938400	0,441200	0,000240
620	0,854450	0,381000	0,000190
625	0,751400	0,321000	0,000100
630	0,642400	0,265000	0,000050
635	0,541900	0,217000	0,000030
640	0,447900	0,175000	0,000020
645	0,360800	0,138200	0,000010
650	0,283500	0,107000	0,000000
655	0,218700	0,081600	0,000000
660	0,164900	0,061000	0,000000
665	0,121200	0,044580	0,000000
670	0,087400	0,032000	0,000000
675	0,063600	0,023200	0,000000
680	0,046770	0,017000	0,000000
685	0,032900	0,011920	0,000000
690	0,022700	0,008210	0,000000
695	0,015840	0,005723	0,000000
700	0,011359	0,004102	0,000000

Fonte: International commission on illumination (2010).

Tabela 4 - Valores observador padrão CIE 1964 (10°)

Onda(nm)	X	Y	Z
400	0,019110	0,002004	0,086011
405	0,043400	0,004509	0,197120
410	0,084736	0,008756	0,389366
415	0,140638	0,014456	0,656760
420	0,204492	0,021391	0,972542
425	0,264737	0,029497	1,282500
430	0,314679	0,038676	1,553480
435	0,357719	0,049602	1,798500
440	0,383734	0,062077	1,967280
445	0,386726	0,074704	2,027300
450	0,370702	0,089456	1,994800
455	0,342957	0,106256	1,900700
460	0,302273	0,128201	1,745370
465	0,254085	0,152761	1,554900
470	0,195618	0,185190	1,317560
475	0,132349	0,219940	1,030200
480	0,080507	0,253589	0,772125
485	0,041072	0,297665	0,570060
490	0,016172	0,339133	0,415254
495	0,005132	0,395379	0,302356
500	0,003816	0,460777	0,218502
505	0,015444	0,531360	0,159249
510	0,037465	0,606741	0,112044
515	0,071358	0,685660	0,082248
520	0,117749	0,761757	0,060709
525	0,172953	0,823330	0,043050
530	0,236491	0,875211	0,030451
535	0,304213	0,923810	0,020584
540	0,376772	0,961988	0,013676
545	0,451584	0,982200	0,007918
550	0,529826	0,991761	0,003988
555	0,616053	0,999110	0,001091
560	0,705224	0,997340	0,000000
565	0,793832	0,982380	0,000000
570	0,878655	0,955552	0,000000
575	0,951162	0,915175	0,000000
580	1,014160	0,868934	0,000000
585	1,074300	0,825623	0,000000
590	1,118520	0,777405	0,000000
595	1,134300	0,720353	0,000000
600	1,123990	0,658341	0,000000
605	1,089100	0,593878	0,000000
610	1,030480	0,527963	0,000000
615	0,950740	0,461834	0,000000
620	0,856297	0,398057	0,000000
625	0,754930	0,339554	0,000000
630	0,647467	0,283493	0,000000

635	0,535110	0,228254	0,000000
640	0,431567	0,179828	0,000000
645	0,343690	0,140211	0,000000
650	0,268329	0,107633	0,000000
655	0,204300	0,081187	0,000000
660	0,152568	0,060281	0,000000
665	0,112210	0,044096	0,000000
670	0,081261	0,031800	0,000000
675	0,057930	0,022602	0,000000
680	0,040851	0,015905	0,000000
685	0,028623	0,011130	0,000000
690	0,019941	0,007749	0,000000
695	0,013842	0,005375	0,000000
700	0,009577	0,003718	0,000000

Fonte: International commission on illumination (2010).

ANEXO C – Comandos do protocolo de comunicação

No Quadro 41 são apresentados todos os comandos que estão no documento *CM-2600d/2500d Communication Specifications* disponibilizados pela empresa fabricante do aparelho (NASCIMENTO, 2009).

<i>Operation</i>	<i>Command String</i>
<i>Execute white calibration.</i>	CAL
<i>Return white calibration data.</i>	CDR
<i>Start or end white-calibration write mode.</i>	WMS
<i>Send white-calibration data to the unit.</i>	CDS
<i>Return the measurement conditions the unit is set to use when taking measurements under control of the PC.</i>	CPR
<i>Send the measurement conditions the unit will use when taking measurements under control of the PC.</i>	CPS
<i>Display a character string on the unit's LCD.</i>	DSP
<i>Return the unit's environment settings.</i>	ECR
<i>Send the unit's environment.</i>	ECS
<i>Return the unit's ID information.</i>	IDR
<i>Return the message for each job.</i>	JMR
<i>Send a message for each job.</i>	JMS
<i>Delete all measurement data from the specified environment.</i>	MAD
<i>Return measurement data from the specified environment.</i>	SDR
<i>Execute reflectance measurements and return the results</i>	MES
<i>Execute color measurements and return the results.</i>	CES
<i>Return the unit's status.</i>	STR
<i>Disable use of the Measure button while the unit is in Remote mode.</i>	SWD
<i>Enable use of the Measure button while the unit is in Remote mode.</i>	SWE
<i>Delete all target data.</i>	TAD
<i>Return the unit's target data.</i>	TDR
<i>Send target data.</i>	TDS
<i>Execute user zero calibration.</i>	UZC
<i>Return user calibration data</i>	UCR
<i>Send user calibration data.</i>	UCS
<i>Return the user calibration conditions.</i>	USR
<i>Send the user calibration conditions.</i>	USS
<i>Execute user calibration (using the user's white tile).</i>	USC
<i>Return the fluorescent coefficients.</i>	UKR
<i>Send the fluorescent coefficients.</i>	UKS
<i>Return the G/G coefficients.</i>	GGR
<i>Send the G/G coefficients.</i>	GGS

Fonte: Nascimento (2009).

Quadro 41 - Lista de comandos do protocolo de comunicação