

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO
(Bacharelado)

**PROTÓTIPO DE VISUALIZADOR PARA MODELOS DE COR
PARA MEDIÇÕES DE OBJETOS EM
ESPECTROFOTÔMETROS POR REFLECTÂNCIA.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO À UNIVERSIDADE
REGIONAL DE BLUMENAU PARA A OBTENÇÃO DOS CRÉDITOS NA
DISCIPLINA COM NOME EQUIVALENTE NO CURSO DE CIÊNCIAS DA
COMPUTAÇÃO — BACHARELADO

ANTONIO CARLOS FERNANDES

BLUMENAU, JUNHO/2002

2002/2-11

PROTÓTIPO DE VISUALIZADOR PARA MODELOS DE COR PARA MEDIÇÕES DE OBJETOS EM ESPECTROFOTÔMETROS POR REFLECTÂNCIA

ANTONIO CARLOS FERNANDES

ESTE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, FOI JULGADO ADEQUADO
PARA OBTENÇÃO DOS CRÉDITOS NA DISCIPLINA DE TRABALHO DE
CONCLUSÃO DE CURSO OBRIGATÓRIA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE:

BACHAREL EM CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO

Prof. Dalton Solano dos Reis — Orientador na FURB

Prof. José Roque Voltolini da Silva — Coordenador do TCC

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dalton Solano dos Reis

Prof. Paulo Cesar Rodacki Gomes

Prof. Antonio Carlos Tavares

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Angelina Bernadete Fernandes que sempre me deu força e luz para todas as minhas conquistas na vida.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	III
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE EQUAÇÕES	VIII
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	IX
RESUMO	X
ABSTRACT	XII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	3
2 CONCEITOS BÁSICOS DE CORES	4
2.1 PRINCÍPIO DO PROCESSO DA PERCEPÇÃO VISUAL	4
2.2 FONTES LUMINOSAS	5
2.3 OBJETO OBSERVADO	7
2.4 OBSERVADOR (OLHO HUMANO)	10
3 ATLAS DE CORES	14
3.1 SISTEMA OSTWALD	14
3.2 SISTEMA MUNSELL	16
3.3 SISTEMA DIN	19
4 VALORES COLORIMÉTRICOS NORMAIS	22
4.1 VALORES CROMÁTICOS NORMAIS	22
4.2 COORDENADAS DE CROMATICIDADE NO DIAGRAMA CIE	24
4.3 SISTEMAS COLORIMÉTRICOS UNIFORMES	27

4.4 DIFERENÇA DE COR	32
4.5 TRANSFORMAÇÕES ENTRE SISTEMAS COLORIMÉTRICOS	34
4.5.1 MODELO XYZ	35
4.5.2 MODELO RGB	36
4.5.3 MODELO CMYK	38
4.5.4 MODELO HSV	39
4.5.5 MODELO HLS	40
4.5.6 TRANSFORMAÇÃO ENTRE MODELOS	42
4.6 COLORIMETRIA INDUSTRIAL	43
4.6.1 Cie L*a*b * Diferença DE Cor	43
4.6.2 Cie L*C*h * Diferença DE Cor	44
5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	46
5.1 REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO	46
5.2 ESPECIFICAÇÃO	47
5.3 IMPLEMENTAÇÃO	55
5.3.1 TÉCNICAS E FERRAMENTAS UTILIZADAS	55
5.4 OPERACIONALIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO	59
6 RESULTADOS FINAIS	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXO 1	68
ANEXO 2	70
ANEXO 3	75
ANEXO 4	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Princípio da percepção da cor	4
Figura 2 - Decomposição da luz branca	5
Figura 3 - Distribuição espectral de algumas fontes luminosas	6
Figura 4 - Amarelo	8
Figura 5 - Vermelho	9
Figura 6 - Azul.....	9
Figura 7 - Curvas de valor espectral normal.....	12
Figura 8 – Definição de campo visual de 2° e 10° no software CIEchromaticity diagrams de Glynn (1998).	13
Figura 9 - Corte do sólido de cores de Ostwald	15
Figura 10 - Vista esquemática do sólido de cores de Ostwald	15
Figura 11 - Sólido de cor de Munsell	17
Figura 12 - Corte do sólido de cores de Munsell, no plano horizontal	18
Figura 13 -Diagrama cromático CIE com representação do sistema DIN	20
Figura 14 - Exemplo de cálculo de valores tristímulo.....	23
Figura 15 - Diagrama de cromaticidade	25
Figura 16 - Corpo de cores segundo Roesch para a luz do dia.....	27
Figura 17 - Espaço de cores uniforme CIELab 76.	30
Figura 18 - Tela do software SpectraMatch com valores absolutos.....	31
Figura 19 - Definição das diferenças de cor no sistema CIELab.	33
Figura 20 - Tela do software SpectraMatch com diferenças de cor entre amostras.....	34
Figura 21 - Sólido de cor CIE XYZ.	36
Figura 22 - Cubo do sistema RGB.	37

Figura 23 - Relação entre as primárias dos modelos RGB e CMYK.....	39
Figura 24 - Cone hexagonal do HSV	40
Figura 25 - Cone duplo do HLS	41
Figura 26 - Transformação de RGB para XYZ.....	42
Figura 27 - Transformação de XYZ para RGB.....	42
Figura 28 - Transformação de RGB para CMYK.	42
Figura 29 - Transformação de CMYK para RGB.	43
Figura 30 - Símbologia utilizada no Grafo de Cena.....	47
Figura 31 - Grafo de cena do protótipo -1	48
Figura 32 - Grafo de cena do protótipo - 2.....	49
Figura 333 – Grafo de cena do protótipo – 3.....	49
Figura 34 - Grafo de cena do protótipo - 4.....	50
Figura 35 - Diagrama de classes.....	51
Figura 36 - Diagrama de sequência do método criaLab.....	52
Figura 37 - Diagrama de sequência do método criaXYZ.....	53
Figura 38 - Diagrama de sequência do método criaRGB.....	54
Figura 39 - Código para o método criaXYZ.....	55
Figura 40 - Código para o método criaLab.....	57
Figura 41 - Código para o método criaRGB.....	58
Figura 42 - Operacionalidade do protótipo – ler dados	59
Figura 43 - Operacionalidade do protótipo -modelo de cor XYZ.....	60
Figura 44 - Demonstração do modelo L*a*b*.....	61
Figura 45 - Demonstração do modelo RGB.....	61
Figura 46 - Demonstração de exibição dos dados numéricos.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de valores cromáticos para os iluminantes: D65, A e TL84.....	23
Tabela 2 - Tabela de coordenadas cromáticos para os iluminantes: D65, A e TL84.	26

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Equação da cor pelo sistema Ostwald.	14
Equação 2 – Equação da relação da luminosidade e valor da cor no sistema Munsell.	19
Equação 3 - Equação para luminância segundo DIN.	20
Equação 4 - Equação para valor cromático X.	22
Equação 5 - Equação para valor cromático Y.	22
Equação 6 - Equação para valor cromático Z.	22
Equação 7 - Equação para cálculo das coordenadas de cromaticidade.	25
Equação 8 - Equação para L* CIELab 76.	28
Equação 9 - Equação para a* CIELab 76.	28
Equação 10 - Equação para b* CIELab 76.	29
Equação 11 - Equação para C* CIELab 76.	29
Equação 12- Equação para h CIELab76.	29
Equação 13 - Equação para L Hunter.	29
Equação 14 - Equação para a Hunter.	29
Equação 15 - Equação para b Hunter.	29
Equação 16 - Equação da cor no modelo RGB.	38
Equação 17 - Equação para DE* em CIELab.	44
Equação 18 - Equação para DE* em CIELCh.	45

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

UML	<i>Unified Modeling Language</i>
SRU	Sistema de Referência do Universo
CIE	<i>Commission International de l'éclairage</i>
RGB	<i>Red, Green e Blue</i>
HSV	<i>Hue, Saturation e Value</i>
HLS	<i>Hue, Lightness e Saturation</i>
CMYK	<i>Cyan, Magenta, Yellow e Black</i>

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo da colorimetria que é a ciência da medição da cor. Uma forma objetiva na colorimetria é possível, desde que se trabalhe com valores normalizados quanto às fontes luminosas, geometrias de observação e sensibilidade média do olho humano.

Como solução a necessidade prática das indústrias terem um sistema de medição de cor, apareceram diversos sistemas, cuja base constituía-se em ser um atlas de cores. Também, este trabalho objetiva a determinação da diferença entre as cores, avaliando especificamente os termos que compõem cada sistema de cor.

Para a implementação do protótipo com a perspectiva 3D foi utilizada a linguagem Java mais a API Java3D.

ABSTRACT

This work presents a studies the colorimetric that is the science of the mensuration of the color. An objective form in the colorimetria is possible, since he/she works him with values normalized with relationship to the luminous sources, observation geometries and medium sensibility of the human eye.

As solution the practical need of the industries have a system of color mensuration, several systems, whose base was constituted in being an atlas of colors appeared. Also, this work objectifies the determination of the difference among the colors, specifically evaluating the terms that it composes each color system.

For the implementation of the prototype with the perspective 3D the language will be used Java more API Java3D.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Meyer (1998) sob o termo cor entende-se uma impressão sensorial, captada pelo olho e conduzida ao cérebro através de impulsos nervosos. Todos os sentidos (visão, audição, olfato, tato e paladar), são subjetivos e apresentam variações relativamente grandes entre os seres humanos, dependendo inclusive de diversos fatores, como por exemplo: o estado de espírito, o cansaço, a idade da pessoa e o estado de saúde dos respectivos órgãos sensoriais.

A Colorimetria é a ciência da medição da cor. Através da colorimetria, a impressão sensorial cor deixa de ser subjetiva para ser objetiva, podendo ser expressa quantitativamente, de uma forma numérica, através de medição por reflectância em espectrofotômetro de um determinado objeto. Uma forma objetiva na colorimetria é possível, desde que se trabalhe com valores normalizados quanto às fontes luminosas, geometrias de observação e sensibilidade média do olho humano.

Cabe mencionar por Lozano (1978) que como solução a necessidade prática das indústrias terem um sistema de medição de cor, apareceram diversos sistemas, cuja base constituía-se em ser um atlas de cores. Lozano (1978) cita que na realidade os primeiros atlas de cores tinham a finalidade de servir a naturalistas; tem-se como exemplo obras como “Repertório de Cores” editado em 1905 pela Sociedade Francesa de Crisantenistas; e “*Color Standard and Color Nomenclature*” de B. Ridgway que trabalhava com plumagem de aves e “*Wilson Horticultural Color Chart*” preparado por R.F. Wilson que estudava flores. Posteriormente Ostwald publica seu atlas de cores “*Colour Harmony Manual*”, cujas primeiras edições datam de 1917 e 1920. Em 1905 Munsell publica “*Book of Color*”, que foi o primeiro esforço para se realizar uma Colorimetria empírica, baseada em certas premissas, cujos resultados são projetados até hoje.

Um espaço de cor (Jack,1994) é um método formal de se representar as sensações visuais das cores, através do qual, as cores podem ser precisamente especificadas por palavras ou por números. A introdução de uma representação matemática no processo de especificação de cor gera muitos benefícios já que permite a especificação de um espaço de cor através de um sistema de coordenadas cartesianas, geralmente conhecido como modelo de cor.

Sob esta ótica, este trabalho visa a implementação de um protótipo para a visualização de amostras (cores) em alguns modelos de representação de cores, como:

- a) RGB¹ - sistema utilizado em eletrônica, computação e monitores;
- b) CieLab² - sistema utilizado em indústrias têxtil, cerâmica, tintas e outras;
- c) CieLCh³ - sistema utilizado em indústrias têxtil, cerâmica, tintas e outras;
- d) HSV⁴ - sistema utilizado na área gráfica e computação;
- e) CMYK⁵ - sistema utilizado na área gráfica e impressoras.

Também, este trabalho objetiva a determinação da diferença entre as cores, avaliando especificamente os termos que compõem cada sistema de cor.

O protótipo utiliza a orientação a objetos com UML (*Unified Modeling Language*) para especificação e para a implementação a linguagem de programação Java.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é a especificação e implementação de um protótipo para a visualização de amostras de cores, assim como a determinação da diferença entre as mesmas.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) implementação de algoritmo para a leitura de arquivos com as medições de reflectância do objeto em diferentes extensões exportados por espectrofotômetros;
- b) implementação de algoritmos para representação em 3D de uma esfera e os pontos (amostras);
- c) implementação de algoritmos para a realização de transformações geométricas como: proporção, translação e rotação no espaço 3D;
- d) Permitir a interação do usuário com os dados das amostras de cor nos vários modelos de cor, na forma gráfica ou textual.

¹ RGB-Modelo de Cor baseado em *Red, Green, Blue*.

² CieLab-Modelo de Cor baseado em *Lightnes*, eixo a e eixo b.

³ CieLCh-Modelo de Cor baseado em *Lightnes*, *Croma* e *Hue*.

⁴ HSV-Modelo de cor baseado em *Hue*, *Saturation* e *Value*

⁵ CMYK-Modelo de Cor baseado em *Cian*, *Magenta*, *Amarelo* e *Preto*.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está organizado de forma a serem observados os seguintes pontos:

O capítulo dois, concentra-se na abordagem dos conceitos básicos de cores, o princípio da percepção visual, os tipos de fontes luminosas, o objeto a ser observado, o estudo sobre o observador padrão CIE.

O capítulo três, apresenta os sistemas de organização primitivos das cores (atlas de cores), os sistemas: Otwald, Munsell e DIN.

O capítulo quatro, descreve os valores colorimétricos normais com: valores trisímulo XYZ, valores do diagrama de cromaticidade e sistemas de cores uniformes, assim como as diferenças de cor (DE) e as transformações entre os diversos modelos de cor

O capítulo cinco apresenta os requisitos, a especificação, implementação e o funcionamento do protótipo do ambiente em 3D, demonstrando as técnicas dos “efeitos” aplicados no ambiente pelo Java3D.

Como finalização, o capítulo seis é utilizado para a apresentação das conclusões gerais, originadas durante o estudo e confecção do trabalho e apresentação de algumas possíveis extensões para futuros trabalhos correlatos..

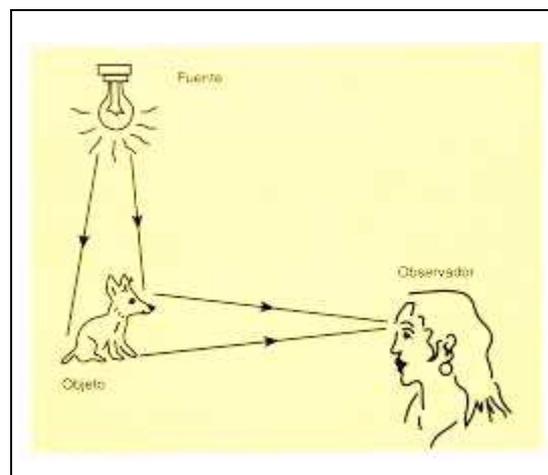
2 CONCEITOS BÁSICOS DE CORES

Para uma melhor compreensão de colorimetria, neste capítulo inicial, serão descritos os conceitos básicos no estudo das cores, são eles: percepção visual, fontes luminosas, objeto observado e o observador. O texto deste capítulo é baseado na obra de Meyer (1998).

2.1 PRINCÍPIO DO PROCESSO DA PERCEPÇÃO VISUAL

A figura 1 esquematiza o princípio da percepção visual da cor. Os três componentes que participam no processo da percepção visual são: a fonte iluminante, o objeto observado e o olho humano, o qual conduz as informações captadas ao cérebro. Conseqüentemente, uma informação cromática, por nós percebida e denominada, por exemplo, como amarelo, vermelho, verde, marrom, branco, preto, etc., é dependente, não apenas do objeto observado, mas sim, do tipo de iluminação e das propriedades de nossos olhos. Se for mudado apenas um desses três componentes, haverá uma alteração da impressão cromática.

Figura 1 - Princípio da percepção da cor



Fonte: Elisa (1998).

Para termos condições de medir uma impressão de cor, ou seja, para expressá-la em valores numéricos, devem ser captados, numericamente, todos os três componentes que participam no processo visual. Através dos espectrofotômetros das instalações de medição colorimétrica modernas, são medidas apenas as propriedades físicas do objeto, por exemplo, de um tecido tingido. As informações referentes às diversas fontes luminosas e a sensibilidade ocular humana, frente a diferentes tipos de luz, encontram-se armazenadas nos diversos

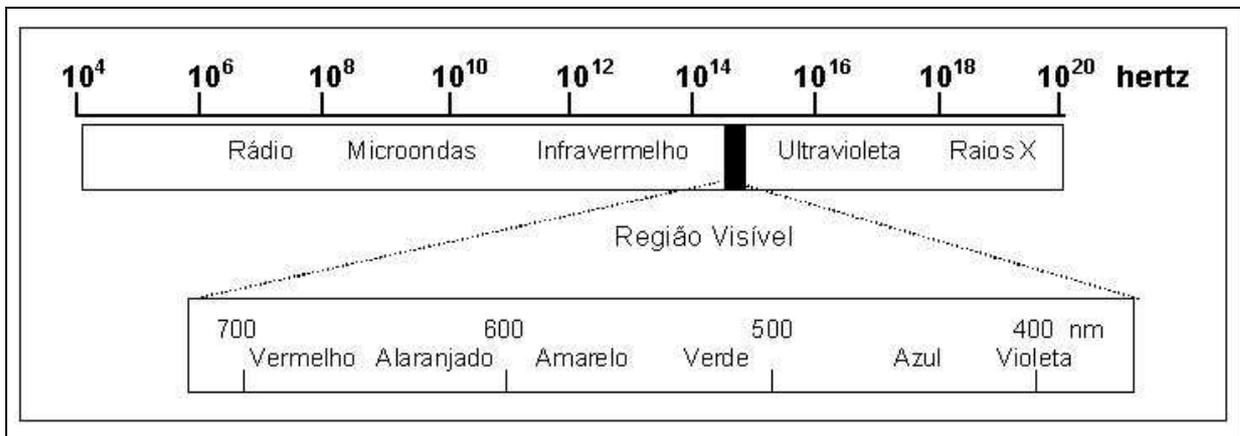
programas de computador para colorimetria, tais como: SpectraMatch, Colortools, Helios e outros.

2.2 FONTES LUMINOSAS

Sob o termo luz entende-se, na física, a parte da radiação eletromagnética que pode ser detectada pelo olho humano. Trata-se da faixa de comprimento de onda de 400 nm a 700 nm, denominada também como faixa espectral visível (nm = nanômetro, 1 nm= 10^{-9} m = 1 milimicron = 0,000001 milímetro). O comprimento de onda é expresso pela letra grega λ (lambda). A extremidade da radiação visível de ondas curtas é seguida pela radiação ultravioleta (UV) e os raios X. Ao lado das ondas longas, seguem , a radiação infravermelha e as ondas de rádio.

As fontes luminosas, encontradas primordialmente no dia-a-dia, são o sol, lâmpadas incandescentes e tubos fluorescentes. Trata-se de uma mistura de luz de diversos comprimentos de onda, a qual pode ser chamada como luz mais ou menos branca. Já em 1720, Newton demonstrou que essas luzes policromáticas podem ser decompostas em luzes isoladas de diferentes comprimentos de onda, vide figura 2.

Figura 2 - Decomposição da luz branca



Fonte: Oliveira(1999).

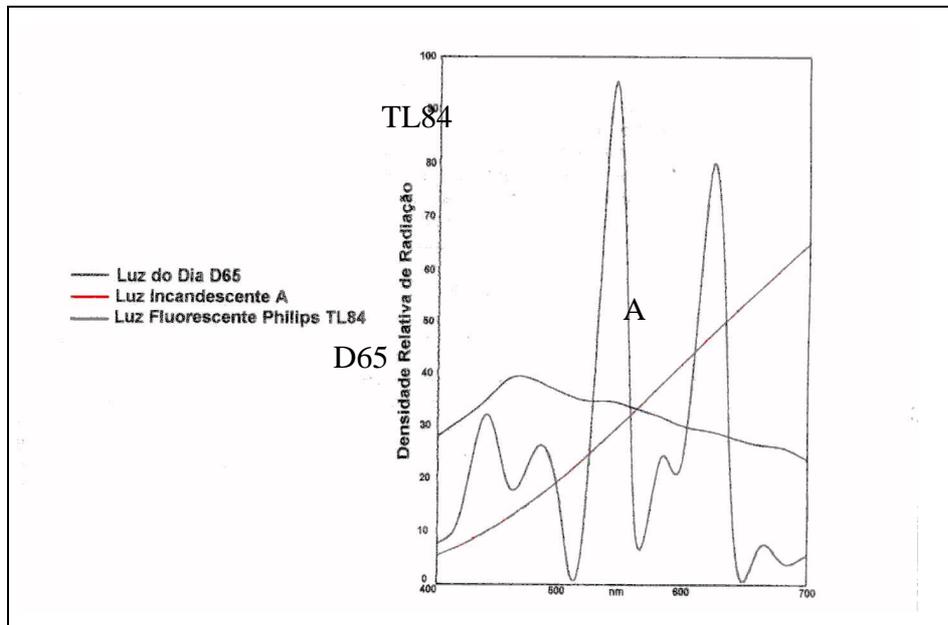
A fim de possibilitar a caracterização numérica de uma fonte luminosa, deve-se quantificar a luz irradiada em cada comprimento de onda. Fala-se da densidade de radiação espectral ou distribuição energética espectral das fontes luminosas. Para os cálculos

colorimétricos foram determinadas, em nível internacional, diversas distribuições energéticas médias de fontes luminosas, freqüentemente encontradas.

As recomendações correspondentes são emitidas pela Comissão Internacional de Iluminação CIE (*Commission International de l'éclairage*), com sede em Paris.

A figura 3 apresenta a distribuição energética espectral de fontes luminosas, freqüentemente usadas em programas colorimétricos. A curva ininterrupta representa a luz do dia normalizada D65, recomendada pela CIE como luz do dia médio. A letra D significa luz do Dia (*Daylight*) e o número 65 indica a temperatura de cor de 6500 K (Kelvin). A curva tracejada representa a distribuição energética espectral da luz normalizada A, conforme CIE, correspondente a uma lâmpada incandescente com uma temperatura de cor de 2856 K. A curva com traços e pontos representa uma luz fluorescente. Trata-se, no caso, da distribuição energética espectral do tubo fluorescente Philips TL84 com uma temperatura de cor de 4000 K. Na realidade, trata-se de uma luz fluorescente, conhecida como “luz branca”, levemente amarelada. Uma boa coincidência de cor, sob a luz Philips TL84, é exigida no segmento têxtil por Marks & Spencer (MS), sendo que, ainda hoje muitas lojas e magazines da MS usam esse tipo de luz fluorescente.

Figura 3 - Distribuição espectral de algumas fontes luminosas



Fonte: Meyer (1998).

2.3 OBJETO OBSERVADO

Quando a luz incide sobre um objeto, por exemplo, material têxtil ou papel tingido, pode-se observar os dois seguintes processos. Uma pequena parcela (inferior a 2%, no caso do material têxtil ou papel), devido a densidade óptica (índice de refração) divergente material/ar, é refletida, já na superfície. Essa parcela é denominada remissão superficial ou remissão residual. A maior parte da luz penetra na camada exterior do material, sendo refletida difusamente pelas diversas fibras, ou seja, refletida para todas as direções, isto é, esta parte da luz é projetada para fora do material. Caso as fibras não tenham, coloração, a luz refletida apresenta, praticamente, a mesma cor da luz incidente. Na iluminação com uma fonte luminosa branca (por exemplo a luz do dia), a maioria dos substratos não coloridos apresenta uma cor mais ou menos branca.

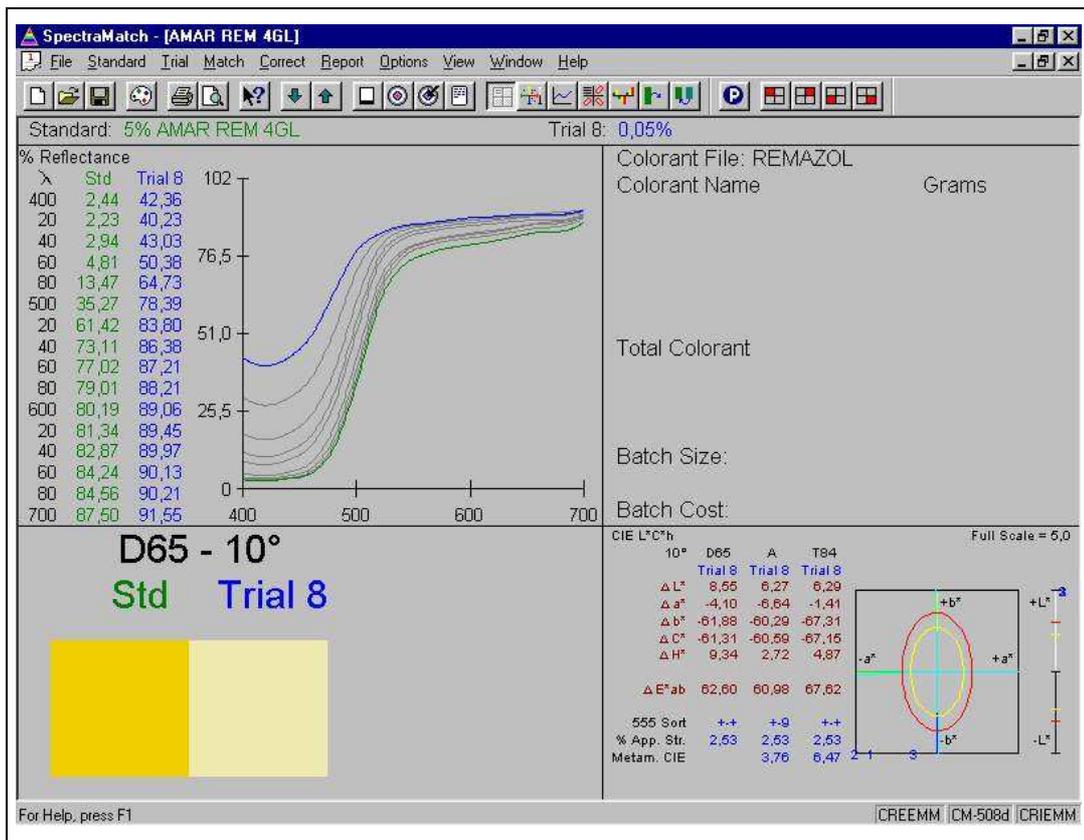
Em caso de fibras tingidas, uma parte da luz incidente é absorvida pelas moléculas de corante, isto é, "engolida" e transformada em calor. Como cada corante (ou pigmento) absorve apenas uma faixa de onda distinta, a composição da luz refletida (que sai do substrato) é dependente do tipo e da qualidade do corante incorporado. Na aplicação de baixas quantidades de corante, há pouca absorção de luz e, conseqüentemente, muita luz é refletida, neste caso fala-se de um tingimento claro. Na presença de uma quantidade maior de corante (ou pigmento), há maior absorção de luz e, conseqüentemente, uma remissão inferior. Neste caso, o objeto é observado como mais escuro.

Através do espectrofotômetro de uma instalação colorimétrica, pode-se medir a quantidade de luz refletida pelo objeto, em relação à quantidade de luz incidente, para todos os comprimentos de onda que sejam de interesse. Para fins colorimétricos, é suficiente realizar 16 medições, na faixa espectral visível de 400 a 700 nm, numa distância de 20 em 20 nm. Os valores de medição obtidos são chamados de remissão espectral. Esses valores podem ser expressos como porcentagem entre 0 e 100% ou como valor relativo entre 0 e 1.

Estabelecido-se um gráfico, com o grau de remissão medido contra diversos comprimentos de onda, obtém-se uma curva característica para o respectivo tingimento, chamada curva de remissão. Supondo-se que uma amostra reflita a totalidade da luz incidente, a respectiva curva de remissão seria uma reta horizontal a 100%, e a respectiva amostra apresentaria o branco ideal. Por outro lado, um preto ideal resultaria numa reta horizontal a 0% de remissão, absorvendo a totalidade da luz em todos os comprimentos de onda. As

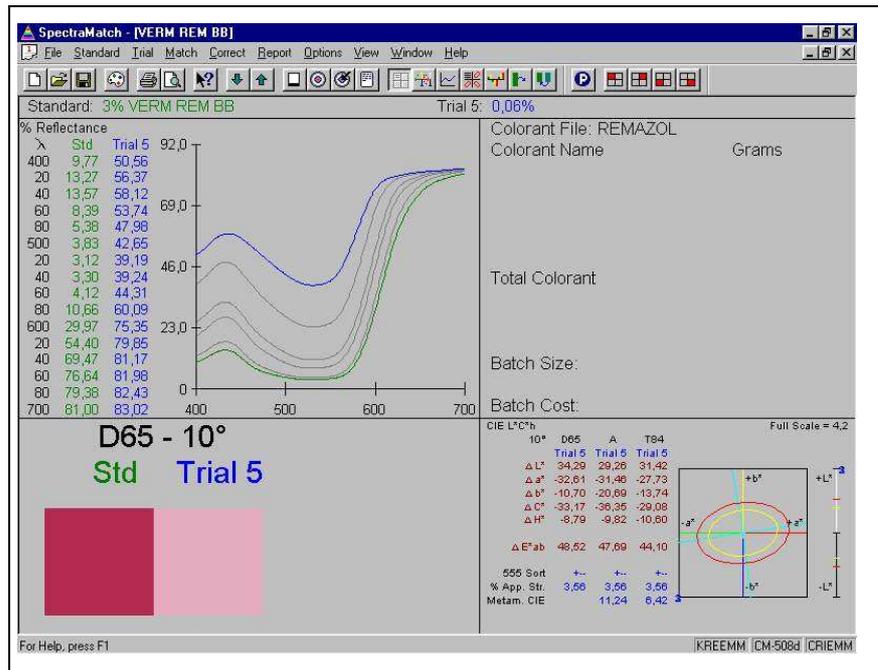
figuras 4,5 e 6 apresentam as curvas de remissão, referentes a três corantes diferentes, em níveis de concentração de aplicação crescente, conjuntamente com a curva de remissão do substrato não tingido. Pode-se notar que os quatro corantes refletem a luz incidente, de forma diferente e que os valores de remissão são decrescentes com o aumento da quantidade aplicada de corante, sendo que com quantidades maiores, há maior absorção de luz. Uma curva de remissão indica a porcentagem refletida de luz incidente sobre um objeto.

Figura 4 - Amarelo



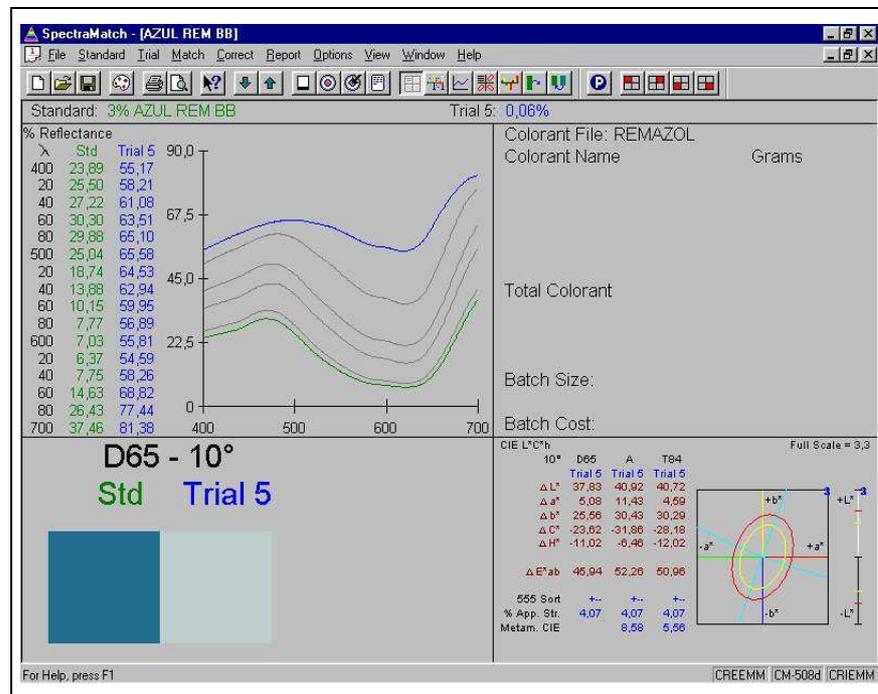
Fonte: Minolta Corporation (2002).

Figura 5 - Vermelho



Fonte: Minolta Corporation (2002).

Figura 6 - Azul



Fonte: Minolta Corporation (2002).

Conseqüentemente, a curva de remissão representa um cartão de identidade exato e claro das propriedades ópticas deste objeto. Para saber a quantidade de luz refletida em cada

comprimento de onda, ainda, necessita-se conhecer a quantidade de luz que incide em cada comprimento de onda sobre o objeto. Conforme mencionado anteriormente, deve-se conhecer, portanto, a distribuição energética da fonte luminosa. Como o grau de remissão espectral indica apenas a relação entre a luz refletida e a luz incidente, o mesmo é independente da fonte luminosa usada no aparelho de medição. Esta afirmação é válida, enquanto não houver fluorescência. No caso de amostras fluorescentes, (por exemplo, corpo-de-prova tratados com branqueadores ópticos), o grau de remissão é fortemente dependente da distribuição energética e da intensidade da fonte luminosa no fotômetro. Portanto, amostras com branqueamento óptico devem ser medidas, imprescindivelmente, com uma fonte luminosa, semelhante à luz do dia.

2.4 OBSERVADOR (OLHO HUMANO)

O terceiro componente que participa no processo de percepção visual, é o olho humano. Multiplicando-se a distribuição energética da fonte luminosa com o grau de remissão espectral do objeto observado, pode-se calcular quanta luz de cada comprimento de onda é refletida e, conseqüentemente, captada pelos olhos. De acordo com os conhecimentos sobre a reação do olho humano, quanto à luz em diferentes comprimentos de onda, poder-se-á definir a cor observada.

A luz atravessando a córnea, penetra no olho humano, passando pela íris e pelo cristalino, forma uma imagem do objeto observado sobre a retina. A retina contém inúmeras células ópticas que são denominadas bastonetes e cones. A transformação da radiação incidente em impulsos nervosos, ocorre através da decomposição de pigmentos sensíveis nas células ópticas.

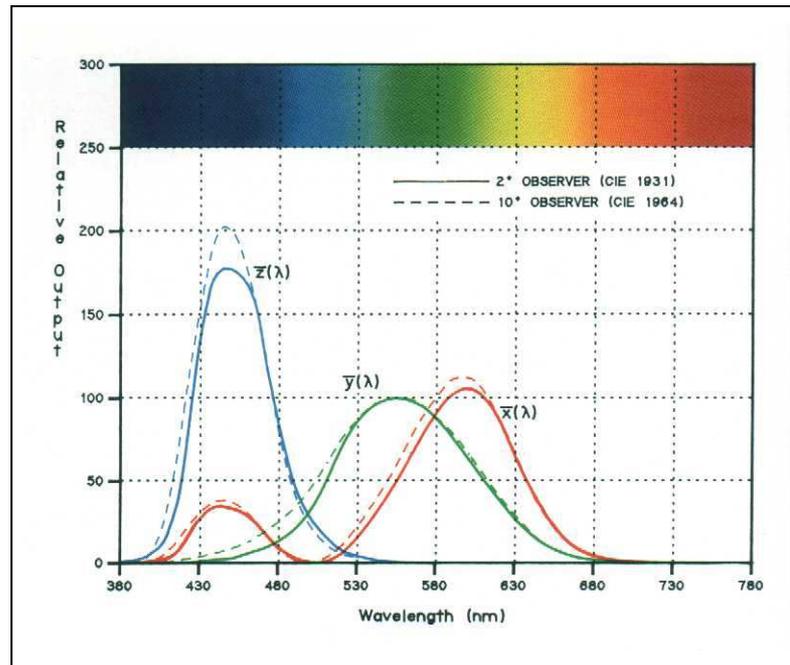
O número de bastonetes está estimado em cerca de 120 milhões, sendo que estes são significativamente mais sensíveis que os cones, cujo número está estimado em cerca de 7 milhões. Como os bastonetes apresentam, praticamente, a mesma sensibilidade para todo o espectro, a visão cromática através destas células é impossível, sendo que estas são responsáveis apenas pela visão escotópica (visão no escuro).

Os cones por sua vez são menos sensíveis do que os bastonetes, porém como existem três tipos que respondem de forma diferente ao espectro visível, é possível obter-se a visão colorida. Cada um dos três tipos de cones respondem de forma própria aos diversos comprimentos de onda. O primeiro tipo responde aos comprimentos de ondas longos portanto, são responsáveis pela visão da cor vermelha. O segundo tipo responde aos comprimentos de onda médios, ou seja, o verde amarelado. O terceiro e último tipo de cone é sensível aos comprimentos de onda mais curtos, sendo desta forma responsável pela visão da cor azul.

A fim de possibilitar o cálculo colorimétrico, a sensibilidade espectral dos três tipos de cones deve ser expressa numericamente. Já na década de vinte, foram realizadas investigações com um grande número de pessoas, através de aparelhos misturadores de cores espectrais desenvolvidos por W.D Wright e A. Koenig. As investigações de Guild e Wright, resultaram, como consequência, nas normas CIE de 1931, referentes ao observador normal (observador colorimétrico normal). Como fontes valores primários foram usadas três cores espectrais, ou seja, uma cor espectral vermelha com o comprimento de onda de 700 nm, uma verde de 546,1 nm e uma azul de 435,8 nm. As pessoas em teste tinham que imitar todas as cores espectrais, passo a passo, variando as intensidades dessas três fontes primárias. Baseada nas intensidades necessárias para as diversas cores espectrais, a sensibilidade espectral do olho pode ser derivada. O resultado destes ensaios levou às três curvas de sensibilidade espectral, através das quais, o comportamento do olho humano, frente a luz de diversos comprimentos de onda, pode ser descrito.

A figura 7 apresenta as três sensibilidades espectrais, através das curvas tracejadas. As mesmas definem o chamado observador normal 2° ou observador normal CIE 1931. Entende-se por observador 2° o campo de visão formado, a 30 cm de distância, por um ângulo de 2°. As três curvas são chamadas de curvas de valor espectral normal. A curva com sensibilidade na faixa vermelha é identificada por x, a curva com sensibilidade na faixa verde com y e a curva com sensibilidade na faixa azul com z.

Figura 7 - Curvas de valor espectral normal

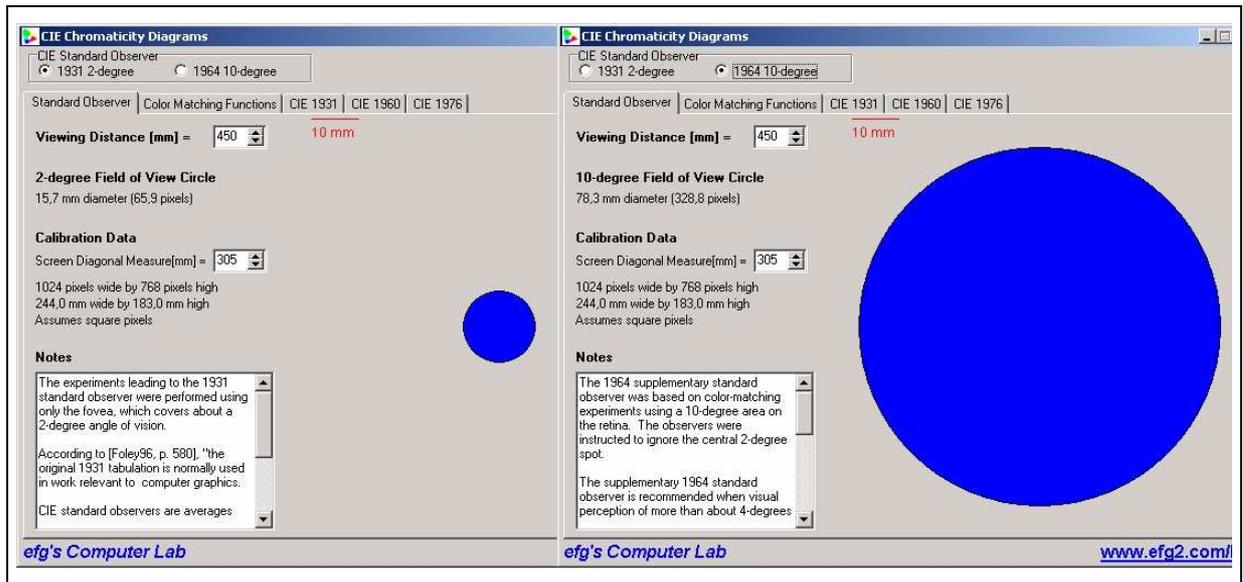


Fonte: X-Rite Incorporated (2002).

Com base em investigações mais recentes de W.S.Stiles, realizadas para um campo visual maior (10°), a CIE normalizou em 1964 o observador normal 10°, sendo que a maioria dos programas colorimétricos utilizam este tipo de observador. As diferenças entre as duas definições de observador normal podem ser observadas da figura 8. O campo visual maior (10°) corresponde melhor às condições práticas, amostragem ou avaliação visual de tingimentos ou superfícies coloridas.

A figura 8 apresenta o tamanho de superfícies observadas sob o campo visual de 2° e 10°, respectivamente. Para uma distância de 30 cm, entre o olho e a amostra, a área circular observada apresenta um diâmetro de 1 cm e 5 cm respectivamente.

Figura 8 – Definição de campo visual de 2° e 10° no software CIEchromaticity diagrams de Glynn (1998).



Fonte: Glynn (1998).

A partir do entendimento dos conceitos básicos de cores, no capítulo 3 será abordado a organização das cores “Atlas de Cores”, que visam facilitar a manipulação e catalogação das mesmas.

3 ATLAS DE CORES

Neste capítulo, descreve-se as primeiras tentativas de organização das cores de uma forma lógica, visando uma utilização científica e industrial. Os três principais esforços neste sentido foram os estudos que resultaram nos sistemas: Ostwald, Munsell e DIN. As explicações deste capítulo quanto a Atlas de cores foram baseadas na obra de Lozano (1978).

3.1 SISTEMA OSTWALD

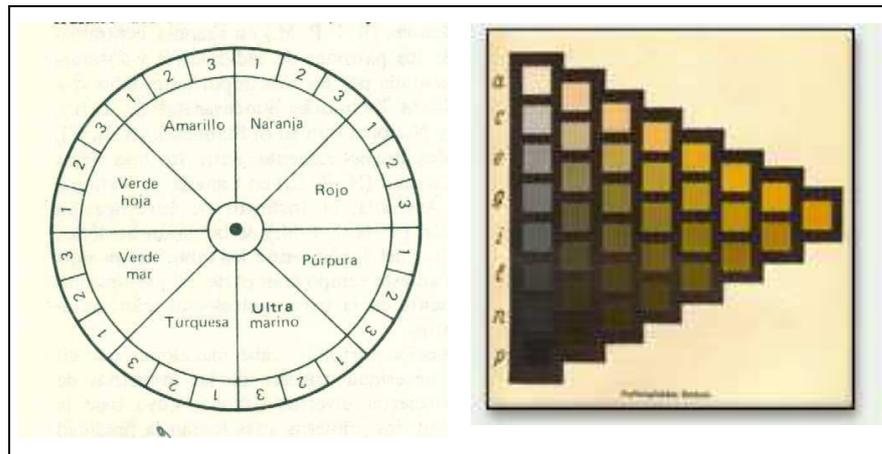
Wilhelm Ostwald nasceu em 1852 e durante oitenta anos de sua vida dedicou muitos de seus esforços ao objetivo de alcançar uma especificação para cores. Seu sistema se baseia em cores principais e suas combinações. Na figura 9, pode-se ver o corte de um plano meridiano do sólido de cores, cuja forma é a de um triângulo equilátero onde o eixo vertical representa uma escala de cinzas, que vai do preto ao branco, no eixo do plano horizontal temos a representação da pureza da cor. O círculo de tonalidades possui 8 cores diferentes: vermelho, púrpura, ultramarinho, turquesa, verde mar, verde avermelhado, amarelo e laranja. Cada uma delas está subdividida em três setores, porque todo o círculo tem 24 divisões, cada uma dessas divisões pode ser descrita como uma cor N , supondo que a mistura de uma cor N com uma cor $N + 2$, em proporções iguais dará como resultado uma cor de valor $N + 1$.

Para cada cor de valor N existem, também outros fatores que demonstram a lei de composições do triângulo da figura 9. A soma das quantidades de branco, de preto e da cor N é sempre igual a 1. Se simboliza cada fator com as letras z , k e w , e matematicamente se expressa através da equação 1.

Equação 1 - Equação da cor pelo sistema Ostwald.

$$z + k + w = 1$$

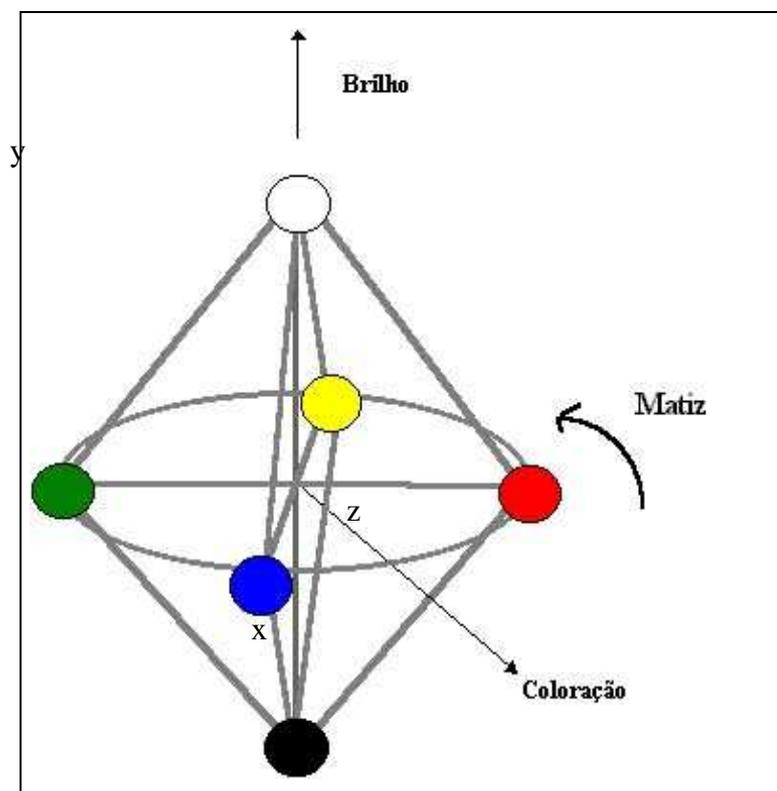
Figura 9 - Corte do sólido de cores de Ostwald



Fonte: Lozano (1978).

A figura 10 mostra uma vista do sólido de cores de Ostwald, com o eixo x representando a coloração, e eixo y representando o brilho e o eixo z representado a matiz para cada cor..

Figura 10 - Vista esquemática do sólido de cores de Ostwald



Fonte: Bacellar (1999).

A caracterização de uma cor no sistema Ostwald é realizada mediante a especificação de N , k, w e z . A medição de N é efetuada através da comparação visual com as 24 cores do atlas. Para se medir os fatores k , w e z pode-se utilizar filtros de banda estreita e medindo o fator de reflectância em uma das partes do espectro visível.

Hoje em dia seu sistema é usado principalmente como um atlas de identificação de cores para o qual é muito útil, particularmente para quem se interessa pelo aspecto estético da cor, sua elaboração permite utilizar certas normas para a harmonia das cores, que apresentam resultados mais aceitáveis para o homem comum.

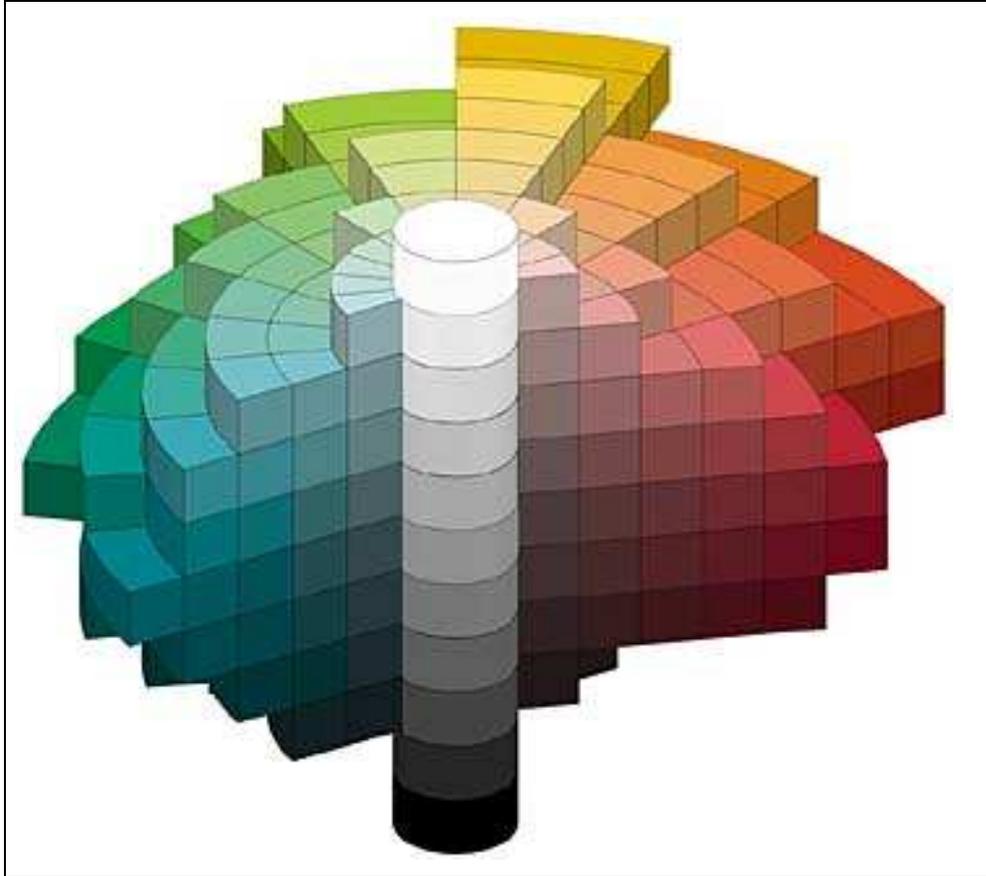
3.2 SISTEMA MUNSELL

Segundo Lozano (1978), Albert H. Munsell foi um professor de pintura cuja atenção, um tanto infrequente entre artistas, de expressar cientificamente os parâmetros dos elementos que utilizava para seu trabalho e sobretudo para ensinar aos alunos, lhe fez desenvolver um sistema que hoje, depois de uma profunda evolução, se utiliza principalmente nos Estados Unidos. A primeira publicação de Munsell que se conhece (1905) revela sua visão e afã de estabelecer uma base científica para a especificação das cores. Em uma conferência disse: “A música é provida de um sistema que define cada som em termos de tom, intensidade e duração; de tal modo a cor pode ser especificada mediante um sistema apropriado, baseado em *hue*, *value* e *croma* de nossas sensações, em lugar de procurar descrever nas infinitas e variantes cores dos objetos naturais”. Munsell propôs um sistema que estabeleceu as três dimensões da cor e mediria cada uma delas mediante uma escala apropriada. Desde então muito se tem feito para melhorar este sistema e adaptar melhor as necessidades de precisão e exatidão exigidas pelo desenvolvimento atual da indústria. O espírito científico de Munsell se reflete no fotômetro de cores que idealizou e patenteou em 1901.

Observa-se a dimensão espacial do sólido de cores, que é muito similar ao proposto por Ostwald, que por sua parte, durante sua visita a Munsell em 1905, reconheceu a importância do trabalho desenvolvido por este, segundo seu manifesto em série de conferências realizadas no Instituto Tecnológico de Massachussetts. O sólido, figura 11, tem eixo principal que é o lugar onde se representam as cores que vão desde o branco ao preto (extremo superior e inferior, respectivamente), sua simetria polar no plano horizontal indica,

mediante o módulo do raio a saturação (croma) da cor, cujo ton é dado pelo ângulo deste raio com o eixo das coordenadas.

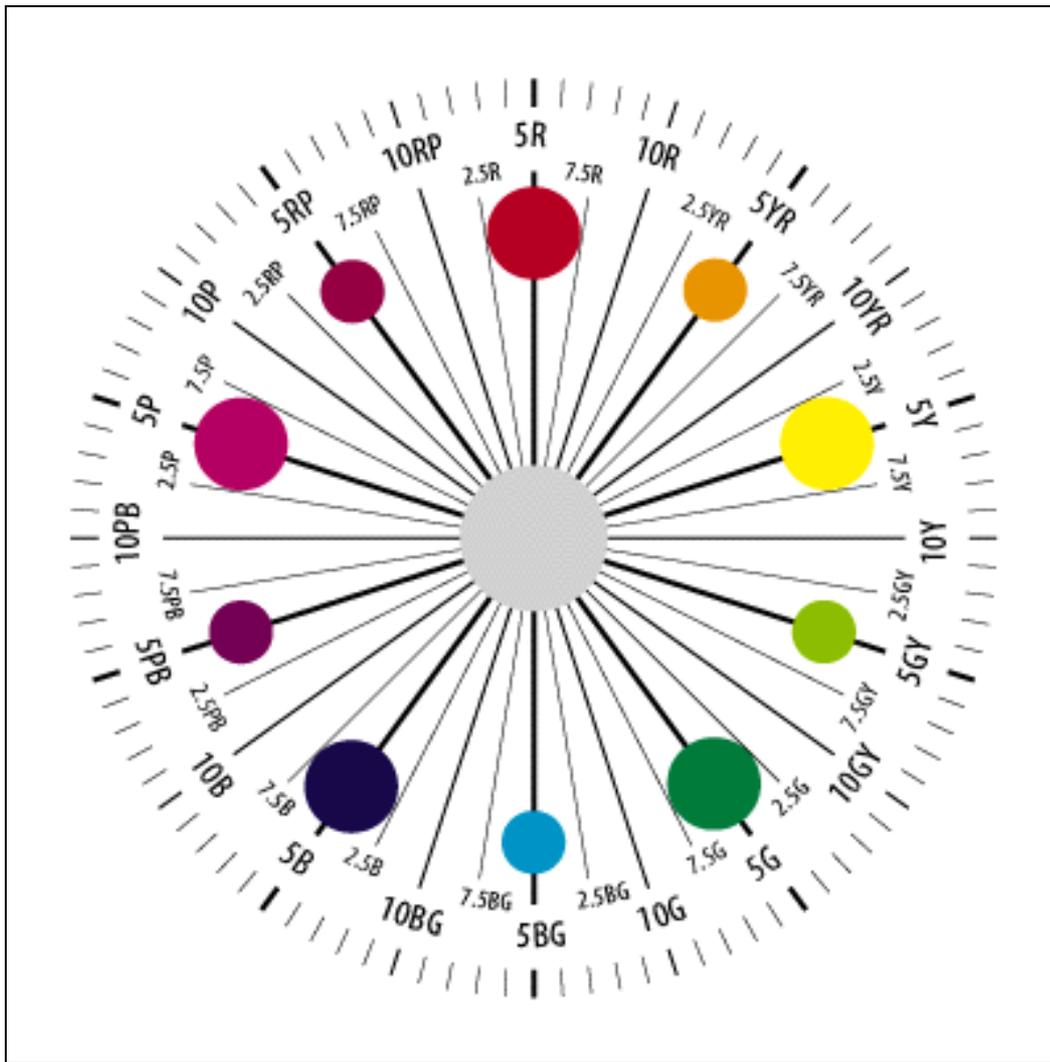
Figura 11 - Sólido de cor de Munsell



Fonte: Adobe Systems Incorporated (2001).

Munsell dividiu o círculo cromático em 100 partes, de 0 a 99. Começa em RP-R (vermelho púrpura-vermelho), passando por 5, R (vermelho); 25, Y (amarelo); 45, G (verde); 65, B (azul) e 85, P (púrpura) e seus intermediários YR em 15 (amarelo-vermelho); 35, GY (verde-amarelo); 55, BG (azul-verde); 75, PB (púrpura-azul) e 95, RP (vermelho-púrpura), como pode se ver na figura 12.

Figura 12 - Corte do sólido de cores de Munsell, no plano horizontal



Fonte: Adobe Systems Incorporated (2001).

A lei que estabelece os distintos passos para cada uma das cores foi fixada psicologicamente. Este realizou o trabalho empiricamente no começo e depois levou a cabo uma “renotação” para ajustar esses valores a uma escala psicofísica mais correta. Em seu sistema, Munsell estabeleceu uma relação entre a luminosidade (qualidade da cor que será definida mais adiante) e o valor de cada cor, que se pode descrever conforme a equação 2.

Equação 2 – Equação da relação da luminosidade e valor da cor no sistema Munsell.

$$V^2 = 100 L_r \quad \text{donde} \quad L_r = L_x / L_{MgO}$$

L_r é a luminância da cor em questão;

L_x é o valor medido para a cor, relativo a luminância de MgO,

L_{MgO} é a luminância do óxido de magnésio.

Os trabalhos realizados pela Companhia Munsell e os diferentes elementos produzidos por ela tem permitido a utilização de um atlas de cores confiável e reproduzível. O constante melhoramento da qualidade das amostras o tornam um valioso auxiliar para a avaliação visual subjetiva das cores. É importante ressaltar um aspecto negativo de todo sistema baseado em atlas de cores, que seu envelhecimento, em particular a umidade e a luz deterioram em maior ou menor velocidade a cor das amostras, sendo necessário ter um cuidado especial para que se mantenham nas condições originais.

3.3 SISTEMA DIN

Conforme a obra de Lozano (1978), foi baseado em um trabalho que se iniciou durante a segunda guerra mundial, na B.M.C.M. (*Bundesanstalt für mechanische und chemische metarialprüfung*) de Berlin, Alemanha, do professor M. Richter, da Associação de Normas Alemãs, através do Comitê de Colorimetria, que estabeleceu a norma DIN 6164, onde especifica um espaço cromático similar ao de Munsell, porém com diferenças ao avaliar a luminosidade.

O círculo de cores é similar ao descrito para o sistema Ostwald e para Munsell; adota formalmente as subdivisões do primeiro, fazendo um círculo cromático que possui 24 unidades; ao longo do perímetro varia a qualidade denominada de “ton” da cor; esta é a diferença em relação aos tons de Munsell e Ostwald, não são cores empíricas obtidas por um meio de reprodução, isto é, mediante uma mistura subtrativa de cores, por exemplo: pinturas, tintas e outros; mas sim mantém o princípio da cor espectral, de tal modo que as linhas de tons iguais, são linhas retas no espaço cromático, no lugar das suaves curvas que representam a mesma qualidade no sistema Munsell.

A simetria do sólido de cor DIN se parece com os sistemas anteriores, porém seu ponto de referência não é central e não se pode, seccioná-lo horizontalmente. O sólido possui um eixo de simetria igual ao de Munsell e Ostwald, que representa uma escala de cinzas; esse eixo cujo pólo inferior representa o preto e o superior o branco cria ao redor de si, com centro no pólo inferior, um sólido de revolução (cone) cujo raio varia em seu comprimento, designando o atributo chamado de “grau de preto”. Esta qualidade da cor, também denominada luminância relativa se expressa matematicamente mediante a equação 3.

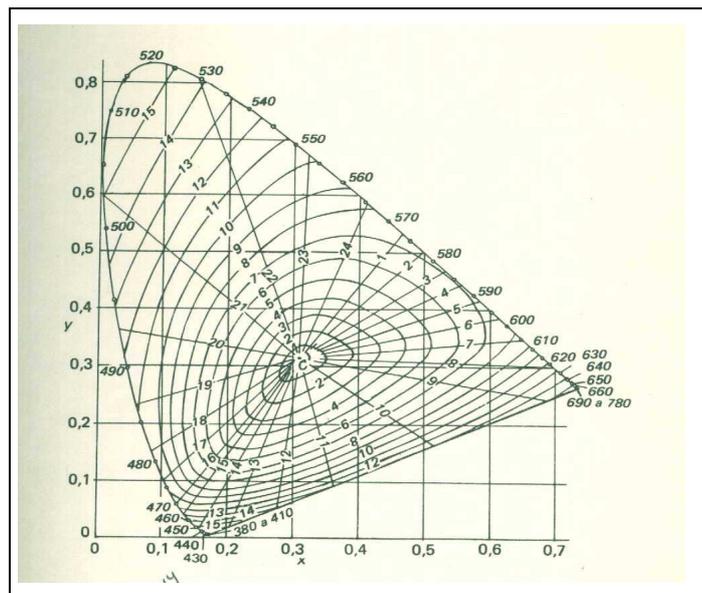
Equação 3 - Equação para luminância segundo DIN.

$$D = 10 - 6,1723 \times \log (40,7 h + 1)$$

Donde: $H = A/A_0 = Y/Y_0$

Os valores de A_0 que são iguais aos conhecidos como Y_0 são dados em diagramas, principalmente pelos publicados por Rosch e mas adiante atualizados por MacAdam. As linhas com centro no pólo de simetria são arcos de parábolas, que representam a qualidade denominada “saturação”. O espaçamento da saturação tão pouco é constante. A figura 13 mostra um corte no plano que permite compreender com mais clareza a descrição destes dados.

Figura 13 -Diagrama cromático CIE com representação do sistema DIN



Fonte:Lozano (1978).

O espaçamento foi realizado subjetivamente por 317 observadores em um período de vários anos. A primeira etapa da investigação, estabeleceu os parâmetros correspondentes ao tom. Em seguida, fixado este atributo, se avaliou a métrica da saturação. Como resultado de ambas pode-se estabelecer a qualidade denominada “grau de preto”. Estas três qualidades se simbolizam pelas letras T, S e D; com as mesmas pode-se especificar qualquer cor.

Finalmente, tanto o sistema Munsell como o sistema DIN tem ajudado em termos de cores as especificações CIE; e este último possui também uma evolução das nomenclaturas de Munsell e de Ostwald.

A partir do entendimento de alguns modos de organização das cores, no capítulo 4 apresenta-se o estudo das cores de modo numérico, através do estudo dos valores colorimétricos.

4 VALORES COLORIMÉTRICOS NORMAIS

Neste capítulo serão descritos os parâmetros para uma especificação científica da cor, através dos valores cromáticos, sistemas de cor e sua aplicação industrial.

4.1 VALORES CROMÁTICOS NORMAIS

Para o cálculo dos valores cromáticos normais, segundo McDonald (1987), através da somatória dos valores achados para os diversos comprimentos de onda sobre toda a faixa do visível, podem ser calculados três valores colorimétricos que correspondem às incitações provocadas pelos três tipos de cones no olho humano. Esses três valores colorimétricos primários, são chamados valores cromáticos normais X, Y, e Z ou valores tristímulo, os quais são calculados pela fórmula apresentada nas equações 4, 5 e 6.

Equação 4 - Equação para valor cromático X.

$$X = \sum E_{\lambda} x_{\lambda} R_{\lambda}$$

Equação 5 - Equação para valor cromático Y.

$$Y = \sum E_{\lambda} y_{\lambda} R_{\lambda}$$

Equação 6 - Equação para valor cromático Z.

$$Z = \sum E_{\lambda} z_{\lambda} R_{\lambda}$$

Segue abaixo na figura 14, um exemplo do cálculo dos valores tristímulo para uma amostra com uma reflectância R_{λ} , com valores de E_{λ} , (distribuição de energia) para o iluminante C, e x_{λ} , y_{λ} e z_{λ} para o observador padrão CIE1931. No anexo 1, segue a tabela dos valores de $E_{\lambda} * x_{\lambda}$, $E_{\lambda} * y_{\lambda}$ e $E_{\lambda} * z_{\lambda}$ para os iluminantes: A, C, D65 e TL84; segundo o observador padrão CIE 1964.

Figura 14 - Exemplo de cálculo de valores tristímulo.

λ (nm)	R_λ	$E_\lambda \bar{x}_\lambda$	$E_\lambda \bar{y}_\lambda$	$E_\lambda \bar{z}_\lambda$	$E_\lambda \bar{x}_\lambda R_\lambda$	$E_\lambda \bar{y}_\lambda R_\lambda$	$E_\lambda \bar{z}_\lambda R_\lambda$
400	25.6	0.0442	-0.0012	0.1879	1	0	5
420	32.5	2.9265	0.0849	14.0644	95	3	457
440	41.0	7.6800	0.5130	38.6434	315	21	1584
460	48.6	6.6329	1.3828	38.0869	322	67	1851
480	57.0	2.3443	3.2094	19.4645	134	183	1109
500	69.1	0.0687	6.8838	5.7254	5	476	396
520	67.1	1.1929	12.8818	1.4503	80	864	97
540	60.0	5.5873	18.2681	0.3653	335	1096	22
560	48.5	11.7509	19.6063	0.0734	570	951	4
580	38.4	16.8016	15.9890	0.0269	645	614	1
600	29.9	17.8956	10.6843	0.0123	535	319	0
620	25.9	14.0309	6.2644	0.0025	363	162	0
640	25.5	7.4368	2.8966	-0.0002	190	74	0
660	22.9	2.7277	1.0035	0.0000	62	23	0
680	19.7	0.7492	0.2710	0.0000	15	5	0
700	30.8	0.1754	0.0623	0.0000	5	2	0
Total		98.0449	100.0000	118.1030	3672	4860	5526

$X = 3672/100.00 = 36.72$
 $Y = 4860/100.00 = 48.60$
 $Z = 5526/100.00 = 55.26$

Fonte: McDonald (1987).

As unidades foram normalizadas de tal maneira que para a área do branco ideal (um corpo teórico que reflete 100% de toda a luz incidente), sob iluminação com um espectro energeticamente equilibrado, (uma fonte luminosa teórica que emite a mesma quantidade de luz em todo o espectro visível), resultem os valores cromáticos normais $X = 100$, $Y = 100$ e $Z = 100$. Para todas as outras fontes luminosas prevalece $Y = 100$ para a área com branco ideal. A tabela 1 possui os valores de X , Y e Z para os iluminantes: D65, A e TL84; à 10° .

Tabela 1 - Tabela de valores cromáticos para os iluminantes: D65, A e TL84.

Iluminantes	X	Y	Z
Luz do dia (luz normal D65/ 10°)	94,81	100,0	107,33
Luz incandescente (luz normal A/ 10°)	111,15	100,0	35,20
Luz fluorescente (Philips TL84/ 10°)	99,68	100,00	66,396

Contrariamente a curva de remissão, os valores tristímulo contém a fonte luminosa e a sensibilidade ocular, isto é, as curvas dos valores espectrais normais. Devido a isto, a rigor,

sempre dever-se-ia mencionar, para quais condições os valores colorimétricos foram calculados, por exemplo, iluminante normal D65 e observador normal 10° (D65/10) ou iluminante normal A e observador normal 2° (A/2). Se o *output* do software utilizado nestes cálculos colorimétricos não fornecer esses dados, presume-se automaticamente que se trate, atualmente de D65/10.

Para um determinado corpo de prova, cuja curva de remissão foi medida, pode-se calcular os valores tristímulo X, Y e Z para diversos tipos de iluminantes. A maioria das instalações colorimétricas contém os respectivos programas para a luz do dia (D65/10) e luz do tubo fluorescente (na maioria dos casos: Philips TL84/10).

Os valores tristímulo caracterizam claramente uma determinada impressão de cor para condições pré-estabelecidas (fonte luminosa, curvas dos valores espectrais normais). Cada impressão cromática, ou de forma mais simples, cada cor, pode ser descrita pelas três coordenadas X, Y e Z. Se considerarmos os eixos X, Y e Z como um sistema de coordenadas retangulares, atribui-se a cada cor um ponto dentro desse sistema tridimensional.

Todas as cores possíveis formam, portanto, um espaço de cores. Apesar do fato do cálculo dos valores tristímulo, representar o primeiro passo para cada cálculo colorimétrico, o espaço de cores X, Y e Z apenas ocupa um papel secundário, devido as diferenças de cor, as quais o olho humano interpreta como iguais, serem atribuídas diferenças de coordenadas, de acordo com o local cromático. Por este motivo, os valores X, Y e Z são convertidos em outros valores cromáticos que se adaptam melhor à sensibilidade do olho humano.

4.2 COORDENADAS DE CROMATICIDADE NO DIAGRAMA CIE

Para Meyer (1998), mesmo sendo possível descrever uma cor para uma determinada fonte luminosa, deve-se aprender a interpretar esses valores coerentemente, a fim de estabelecer uma correlação entre as grandezas visuais/sensoriais, ou seja, tonalidade da cor (ou simplesmente chamada “tonalidade”), pureza e claridade. Afim de obter uma apresentação mais lógica e descomplicada, devem ser realizadas conversões matemáticas mais ou menos complicadas. A apresentação mais antiga, e usada até hoje, é o diagrama de cromaticidade CIE, freqüentemente chamado também de triângulo CIE, são calculadas duas coordenadas,

uma representando a medida para a parcela de percepção cromática amarelo/azul e outra para a parcela vermelho/verde conforme a equação 7.

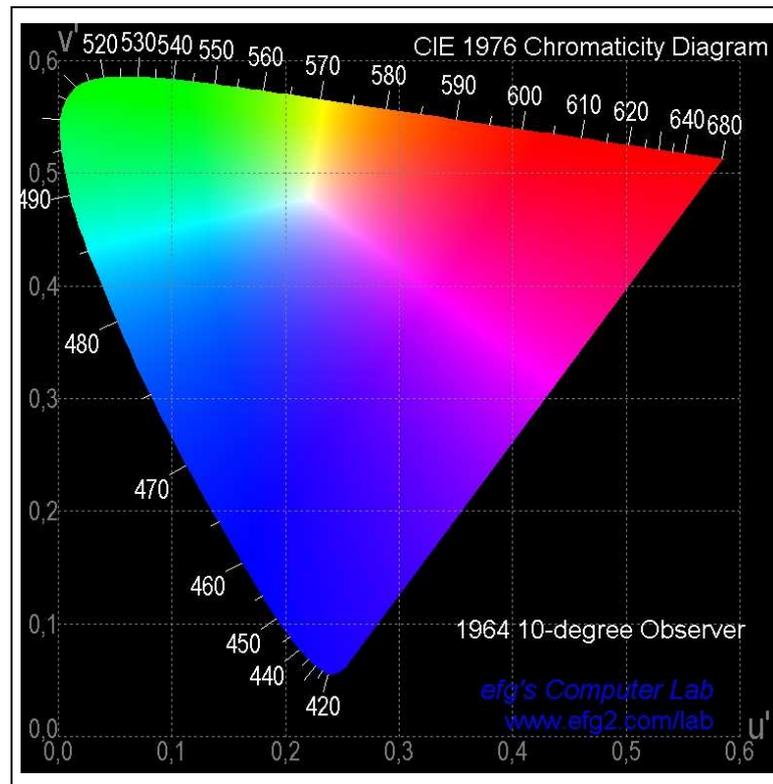
Equação 7 - Equação para cálculo das coordenadas de cromaticidade.

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad (\text{Coordenada amarelo/azul})$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (\text{Coordenada vermelho/verde})$$

A figura 15 apresenta o diagrama CIE para o iluminante normal D65/10°. As coordenadas x, y, também são chamadas de coordenadas de cromaticidade. As respectivas parcelas para outras fontes luminosas podem ser calculadas com base nos valores da tabela 2.

Figura 15 - Diagrama de cromaticidade



Fonte: Glynn (1998).

Tabela 2 - Tabela de coordenadas cromáticas para os iluminantes: D65, A e TL84.

Iluminantes	x	y
Luz do dia (luz normal D65/10°)	0,3138	0,3310
Luz incandescente (luz normal A/10°)	0,4512	0,4059
Luz fluorescente (Philips TL84/10°)	0,3738	0,3750

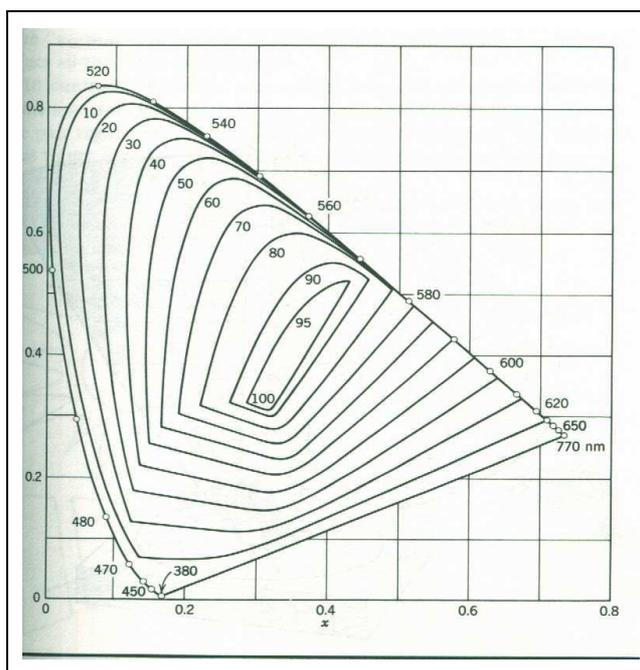
Pelo diagrama CIE pode-se extrair apenas o tipo de cor. Sob tipo de cor entenda-se as parcelas de tonalidade e pureza de uma impressão cromática, podendo ser chamadas nuance. A fim de poder caracterizar totalmente uma cor, ainda deve-se mencionar a sua claridade, como terceira coordenada, pelo valor cromático normal Y.

Com a transferência das coordenadas x, y e Y para um sistema de coordenadas cartesianas, obtém-se um corpo de cores tridimensional parecido com uma montanha, limitado pela linha das cores espectrais e erguido sobre o eixo de claridade, com a extremidade inferior, claridade $Y = 0$, correspondendo ao preto.

A superfície desta “montanha” é formada pelas cores máximas possíveis. Esse corpo de cores é chamado corpo de cores segundo Roesch.

A figura 16 apresenta a vista desse corpo de cores, cujas linhas de nível representam os diversos níveis de claridade. O pico é formado pelo ponto neutro com a claridade $Y = 100$, correspondendo ao branco.

Figura 16 - Corpo de cores segundo Roesch para a luz do dia.



Fonte: Meyer (1998).

Apesar do diagrama CIE permitir um agrupamento sistemático das cores, hoje em dia, esse tipo de apresentação praticamente não é mais usado, devido ao fato que a grandeza das diferenças de cores, calculadas em locais diferentes, não corresponde à grandeza das diferenças, interpretada efetivamente pelo olho humano.

MacAdams realizou investigações detalhadas em 25 pontos cromáticos e publicou, em 1942, as áreas limiáres de sensibilidade que, de acordo com sua determinação apresentam formas elípticas. Devido às grandes divergências de sensibilidade, no sistema de coordenadas (x, y) , o mesmo hoje em dia, ainda é utilizado apenas por pessoas que se preocupam exclusivamente com um segmento limitado de todas as cores possíveis, por exemplo, fabricantes de papéis ou materiais têxteis brancos.

4.3 SISTEMAS COLORIMÉTRICOS UNIFORMES

Segundo Meyer (1998), através de equações de transformações complicadas, diversos pesquisadores tentaram calcular as coordenadas, a fim de transformá-las num espaço de cores com distâncias uniformes. Esse objetivo pode ser alcançado apenas através de um grande número de amostragens visuais, cobrindo todas as faixas de tonalidade, pureza e claridade.

A prática demonstrou que apenas poucas organizações ou grupos estão dispostos a elaborar esse tipo de material experimental, devido ao trabalho gigantesco. Por outro lado, existe uma população relativamente grande de coloristas que colocam em correlação os valores de medição de coleções de cores já existentes, às avaliações visuais, sendo que esse tipo de trabalho pode ser realizado com um esforço relativamente pequeno.

Devido a isso, no decorrer do tempo foram apresentadas diversas sugestões para equações de transformação, sendo em parte usadas durante um tempo prolongado. Nomes conhecidos são por exemplo, Judd Glasser, Richter, Hunter e Adams-Nickerson-Stultz. Em princípio, todas as sugestões baseiam-se em trabalhos de Munsell e MacAdams.

Em 1976, a CIE concordou, em se adotar um sistema que fornecesse praticamente os mesmos resultados do sistema de Adams-Nickerson-Stultz (AN 40), cujas coordenadas, no entanto, pudessem ser calculadas com fórmulas mais simples. As três coordenadas foram denominadas com as letras L, a, b como já era de praxe em outros sistemas, usando-se a abreviação CIELab ou CIE 76. A fim de identificar as coordenadas do sistema CIELab, para destacá-las dos outros sistemas que usam as mesmas letras, resolveu-se caracterizá-las com um asterístico. Com isso, a denominação correta das coordenadas do sistema CIELab é L*, a* e b*. Mesmo o sistema CIELab não é totalmente uniforme, quanto as distâncias de cores. No entanto, é usado mundialmente na maioria das indústrias que lidam com cores, na falta de uma solução melhor. Em certos segmentos da indústria de papel, trabalha-se ainda, freqüentemente, com o sistema Hunter, devido a motivos históricos. Por essa razão, o presente trabalho apresenta, ao lado do cálculo das coordenadas CIELab, também o das coordenadas Hunter. As coordenadas são calculadas como segue nas equações 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 extraídas da obra de Billmeyer (1981).

Equação 8 - Equação para L* CIELab 76.

$$L^* = 116 * Y^{1/3} - 16$$

Equação 9 - Equação para a* CIELab 76.

$$a^* = 500 * (X^{1/3} - Y^{1/3})$$

Equação 10 - Equação para b* CIELab 76.

$$b^* = 200 * (Y'^{1/3} - Z'^{1/3})$$

Equação 11 - Equação para C* CIELab 76.

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

Equação 12- Equação para h CIELab76.

$$h = \arctan (b^*/a^*)$$

Equação 13 - Equação para L Hunter.

$$L = 100 * Y'^{1/2}$$

Equação 14 - Equação para a Hunter.

$$a = 175 * [(X' - Y') / Y'^{1/2}]$$

Equação 15 - Equação para b Hunter.

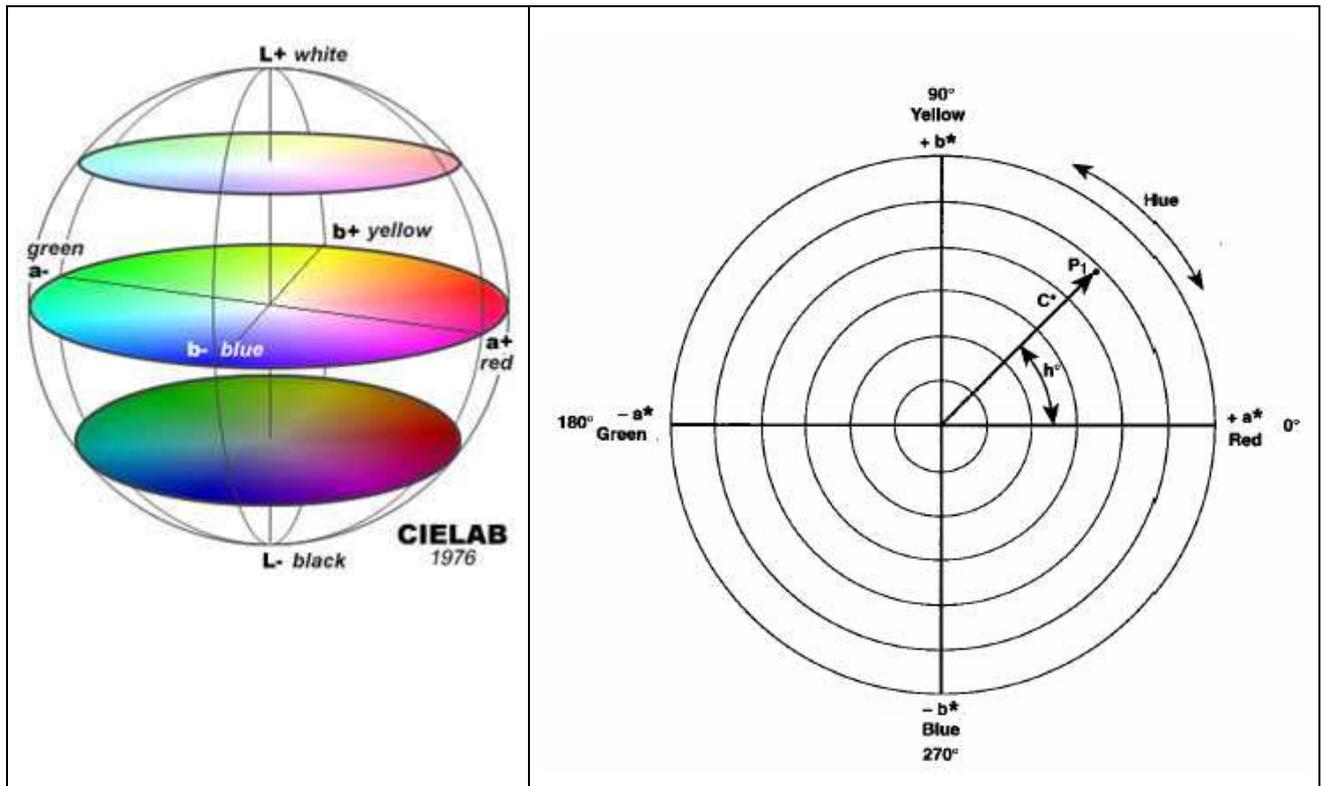
$$b = 70 * [(Y' - Z') / Y'^{1/2}]$$

Onde temos que $X' = X/X_w$, $Y' = Y/Y_w$, $Z' = Z/Z_w$; X, Y e Z são os valores tristímulo dos tingimentos medidos. X_w , Y_w e Z_w são os valores tristímulo da área com branco ideal sob iluminação com a fonte luminosa correspondente a por exemplo luz do dia D65.

Já L^* é o eixo de claridade, sobre o qual encontram-se todas as tonalidades de cinzas neutras, entre preto e branco. O eixo L^* é denominado eixo acromático, eixo cinza ou eixo preto-branco. A claridade de uma cor também representa uma grandeza colorística que é de fácil compreensão. Para um preto ideal a claridade é $L^* = 0$ e para um branco ideal, a claridade $L^* = 100$. Um pouco menos compreensível são os eixos a^* vermelho/verde e b^* amarelo/azul. Devido a isso, demonstrou-se ser útil converter, por cálculo, essas coordenadas para grandezas colorísticas que representam a tonalidade e a pureza da cor.

A figura 17 demonstra que é possível interpretar a nuance pelo ângulo de tonalidade h, expresso em grau, e a pureza, pela distância radial C^* , partindo do eixo de claridade.

Figura 17 - Espaço de cores uniforme CIELab 76.



Fonte: Hardprint Media (2002) e X-Rite Incorporated (2002).

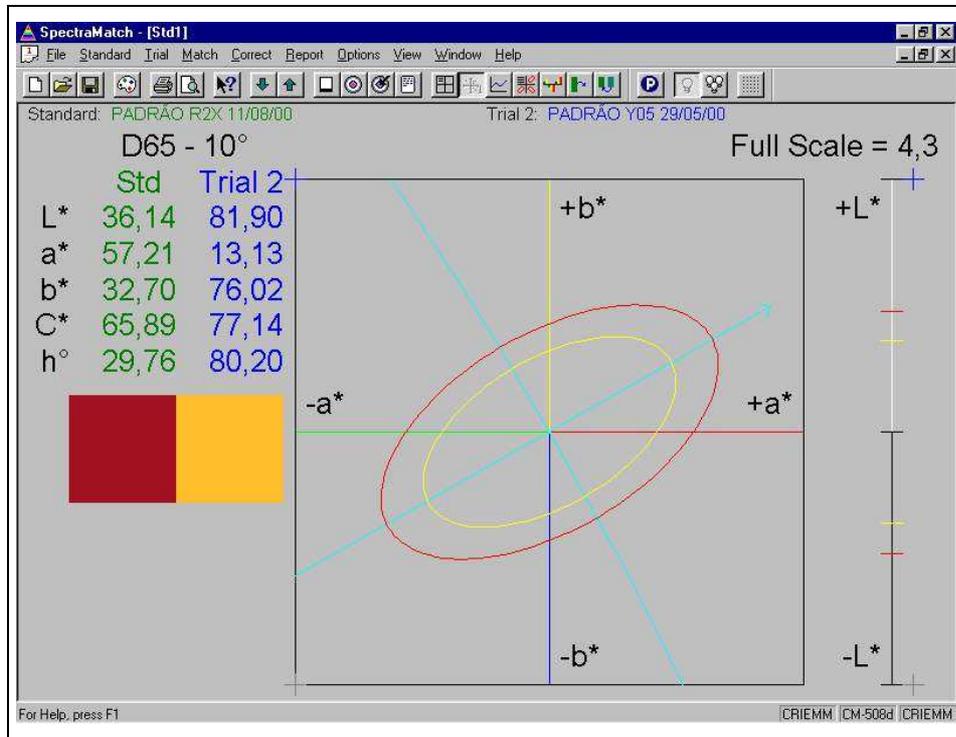
Do ponto de vista matemático, trata-se das coordenadas polares C^* , h , determinadas a partir das coordenadas cartesianas a^* , b^* . A abreviação C^* provém do termo inglês *chroma* e h de *hue*.

Obviamente, coordenadas polares análogas podem ser calculadas também no sistema Hunter. Um ângulo de tonalidade $h \pm 0^\circ$ indica uma cor vermelha, $h = 90^\circ$ uma cor amarela, $h = 180^\circ$ uma cor verde e $h = 270^\circ$ uma cor azul. A pureza $C^* = 0$ define um cinza neutro que, de acordo com a claridade, pode mover-se entre branco e preto. Com o aumento da pureza, a distância radial C^* aumenta e alcança, por exemplo, no caso de um amarelo brilhante em intensidade de cor média, valores na grandeza de $C^* = 100$.

A figura 18 apresenta um *output* de computador com as coordenadas cromáticas de diversos tingimentos, distribuídos sobre todo o espaço de cores. A indicação D65/10 significa que os valores apresentados são válidos para luz do dia normal D65 e observador normal 10° . Ao lado da denominação das amostras e concentração do corante para o tingimento, o *output*

apresenta os valores tristímulo X, Y, Z; as coordenadas de cromaticidade x, y e os valores CIELab, CIELCh.

Figura 18 - Tela do software SpectraMatch com valores absolutos.



Fonte: Minolta Corporaton (2002).

As coordenadas colorimétricas podem ser utilizadas por exemplo, para a classificação e normalização de artigos coloridos. Ainda, as mesmas possibilitam uma comunicação mais exata, em vez de usar termos como amarelo limão, vermelho framboesa, azul celeste e outras denominações.

Por outro lado, deve-se lembrar que as coordenadas colorimétricas, medidas em diversos equipamentos colorimétricos, podem divergir um pouco, de acordo com a cor e a estrutura superficial das amostras. Mesmo em amostras têxteis não fluorescentes, podem surgir diferenças de até 3 unidades CIELab. Felizmente, na maioria dos problemas colorimétricos, necessita-se apenas dos valores de medição relativos, como por exemplo, comparação entre padrão e imitação.

Se, em casos excepcionais, for necessário basear-se em valores absolutos, recomenda-se que todos os parceiros envolvidos usem o mesmo tipo de aparelho, devendo-se controlar,

neste caso, a coincidência dos resultados, o que poderia ser resolvido satisfatoriamente, por uma adaptação calculatória.

4.4 DIFERENÇA DE COR

De acordo com Meyer (1998), a demonstração de como se pode calcular valores colorimétricos uniformes para diversas fontes de luz, baseados na curva de remissão de um determinado corpo-de-prova colorido, podendo, conseqüentemente, atribuir-se um ponto à cada cor, dentro do espaço cromático. No entanto, na maioria dos problemas da prática, não interessam primariamente as coordenadas colorimétricas de uma determinada amostra, mas sim a diferença de cor ou distância de cor entre duas amostras.

Obviamente, pode-se calcular acuradamente, a diferença de cor entre duas amostras coloridas, através das coordenadas cromáticas. Como primeira grandeza calcula-se a distância no espaço, entre os dois pontos de cor. Essa distância é denominada diferença de cor total. De acordo com a CIE, usa-se para isso a abreviação DE^* . Ainda, a diferença de cor total pode ser subdividida:

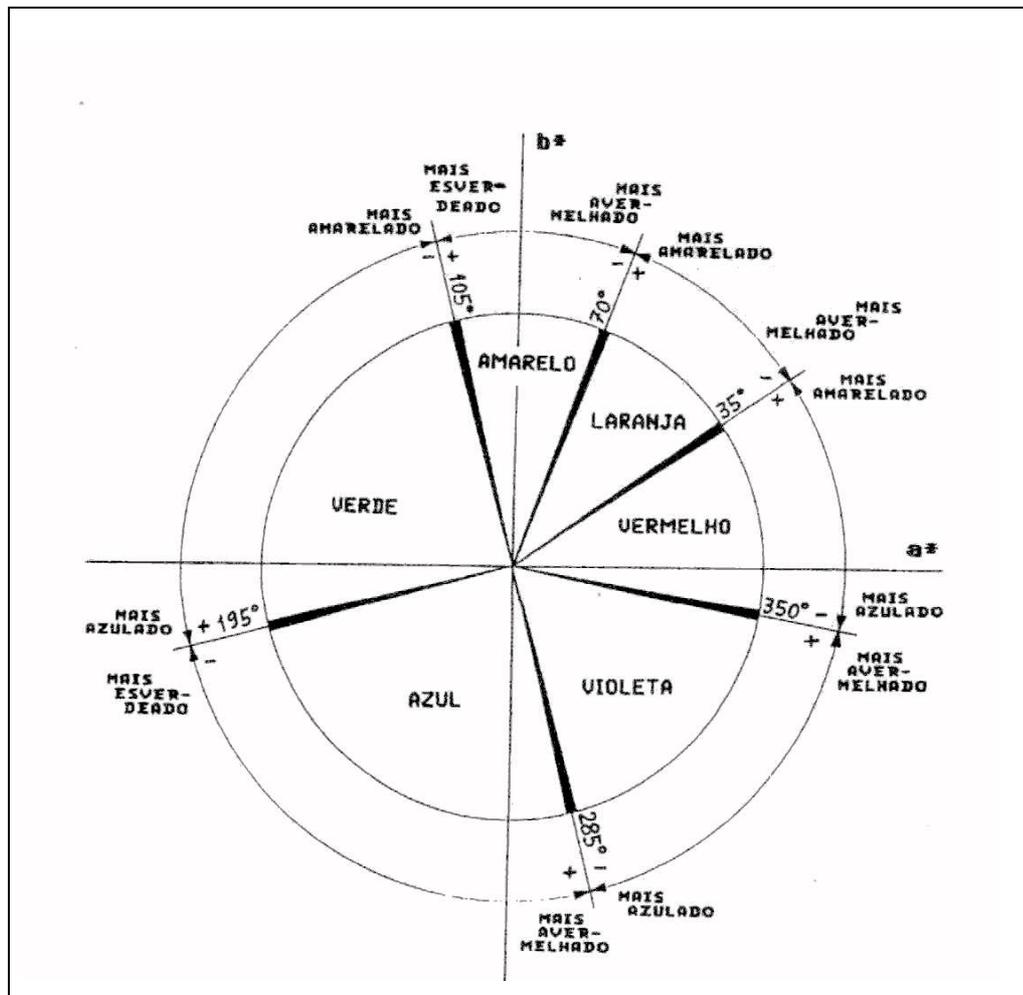
- Numa parcela de tonalidade DH^* ;
- Numa parcela de pureza DC^* ;
- Numa parcela de claridade DL^* .

O cálculo dessas diferenças, cujo esquema é dado abaixo, geralmente, é executado pelo software de medição das amostras.

- Coordenadas do tingimento padrão: $a^*_p, b^*_p, L^*_p, C^*_p, h^{\circ}_p$;
- Coordenadas do tingimento de ensaio: $a^*_E, b^*_E, L^*_E, C^*_E, h^{\circ}_E$;
- Grandezas auxiliares: $Da^* = a^*_E - a^*_p$ $Db^* = b^*_E - b^*_p$ $Dh^{\circ} = h^{\circ}_E - h^{\circ}_p$;
- Diferença total: $DE^* = (Da^{*2} + Db^{*2} + DL^{*2})^{1/2}$;
- Parcela de tonalidade: $DH^* = (DE^{*2} - DL^{*2} - DC^{*2})^{1/2}$;
- Parcela pureza: $DC^* = C^*_E - C^*_p$;
- Parcela de Claridade: $DL^* = L^*_E - L^*_p$.

Definição do sinal das diferenças é dada pelo DH*: mais amarelado, mais avermelhado, mais azulado, mais esverdeado. Baseado na avaliação visual, o círculo de cores foi subdividido em 6 segmentos. A figura 19 apresenta esses segmentos e as respectivas denominações das diferenças de tonalidade.

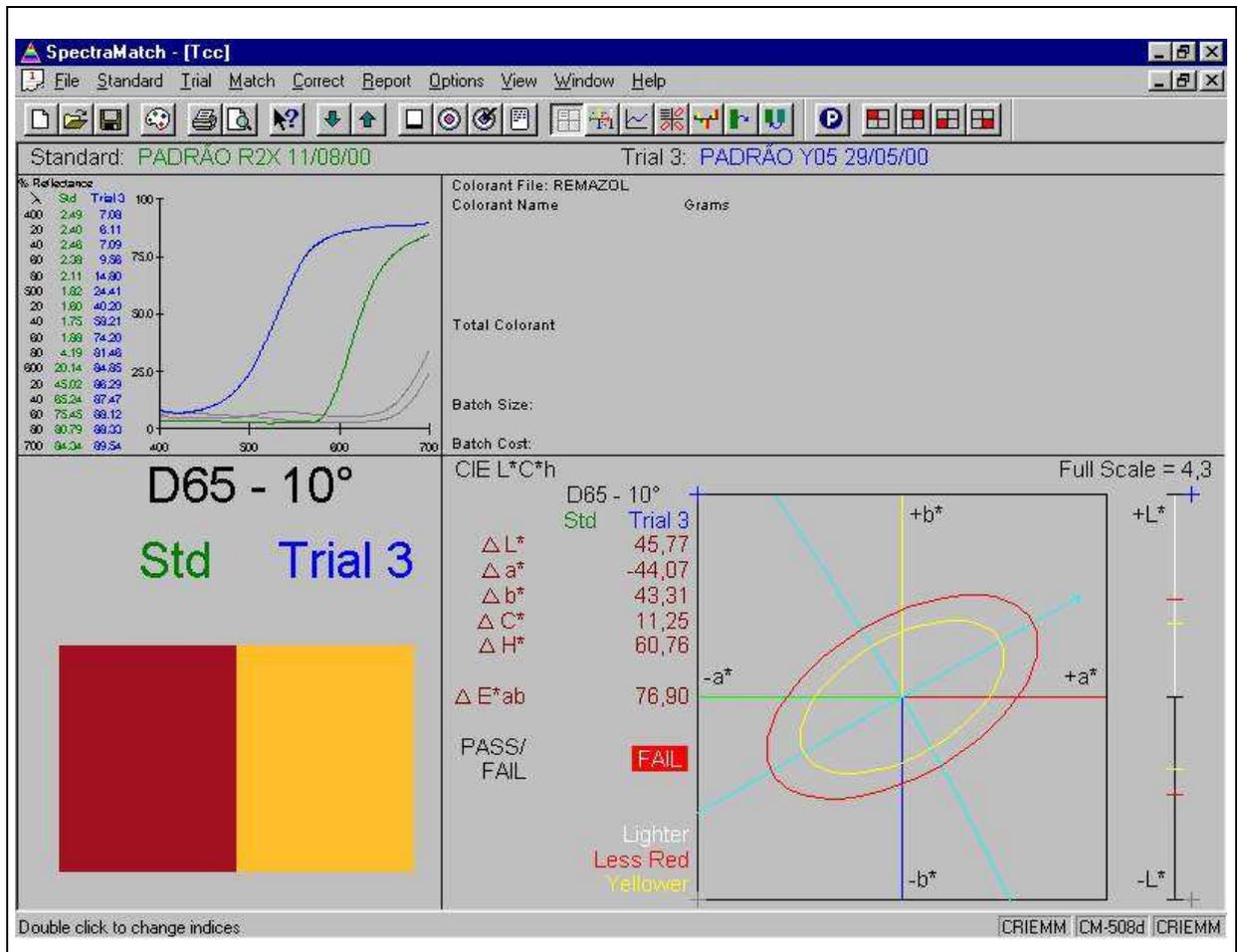
Figura 19 - Definição das diferenças de cor no sistema CIELab.



Fonte: Meyer (1998).

A figura 20 apresenta alguns exemplos de um programa de diferenças de cor.

Figura 20 - Tela do software SpectraMatch com diferenças de cor entre amostras.



Fonte: Minolta Corporaton (2002).

4.5 TRANSFORMAÇÕES ENTRE SISTEMAS COLORIMÉTRICOS

Um sistema de cores é um método que explica as propriedades ou o comportamento das cores num contexto particular. Não existe um sistema que explique todos os aspectos relacionados à cor. Por isso, são utilizados sistemas diferentes para ajudar a descrever as diferentes características da cor que são percebidas pelo ser humano. Existem vários sistemas de cores, sendo que serão apresentados apenas alguns dos principais: o XYZ, o RGB, o HSV e o HLS.

Conforme descrição de Weinman (1998), criar arte-final colorida em monitores de computador é muito diferente de outras mídias de transferência de cores, porque neste caso o resultado do trabalho é apreciado nos monitores ao invés de papel impresso. As cores nos monitores são compostas por luz projetada e pixels em vez de pigmentos de tinta. Com isso deve-se estudar o melhor modelo de cor na representação do que se deseja. Abaixo uma pequena lista de diferenças do monitor como mídia de publicação no que diz respeito a cores:

- Os usuários visualizam o trabalho em monitores com uma grande variedade de definições de profundidade de bits,
- Alguns monitores de computador têm uma calibração de cores,
- Sistemas operacionais diferentes afetam o modo como as cores são exibidas.

4.5.1 MODELO XYZ

Segundo Harrington (1987), as cores primárias são as 2 ou 3 cores que um sistema utiliza para produzir outras cores. As cores podem ser produzidas a partir de uma combinação das primárias, ou então, da composição de 2 combinações. O universo de cores que podem ser reproduzidas por um sistema é chamado de espaço de cores (*color space* ou *color gamut*).

Alternativamente, um espaço de cores (*color space*) pode ser definido como uma representação visual de um modelo de cores, como o cubo definido pelas componentes do modelo RGB, ou o cone definido pelo modelo HSV. Não existe um conjunto finito de cores primárias que produza todas as cores visíveis, mas sabe-se que uma grande parte delas pode ser produzida a partir de 3 primárias.

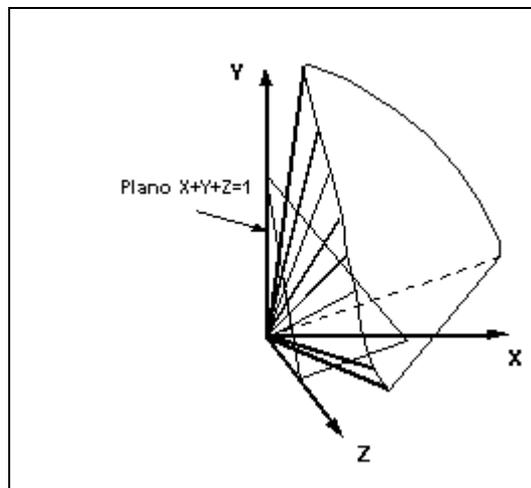
De forma a não utilizar valores negativos, o CIE, em 1931, definiu padrões primários - X, Y e Z, para substituir as cores RGB, para representar o espectro de cor, como por exemplo apresentado para a cor $C(\lambda)$. Estes padrões não correspondem a estímulos reais de cor, ou seja, não são cores visíveis. Um outro detalhe importante, é que o padrão Y foi escolhido, de forma a ser semelhante à curva de sensibilidade do olho humano (luminância).

As cores do sistema XYZ não são realizáveis fisicamente. Sendo assim, pode-se obter as grandezas colorimétricas desse sistema a partir do sistema CIE-RGB, a partir das seguintes hipóteses:

- as componentes de cor devem ser positivas,
- deve-se obter o maior número possível de cores espectrais com algumas coordenadas de cromaticidade nula e,
- duas primárias devem ter luminância ZERO.

A forma do sólido de cor CIE XYZ (contem todas as cores visíveis) pode ser vista na figura 22. Basicamente, é de forma cônica, com o vértice na origem. É apresentado também o plano de cromaticidade ou o plano de Maxwell ($X + Y + Z = 1$), que tem importância para se obter uma representação paramétrica do espaço de cromaticidade. Pode-se destacar também o triângulo formado pela interseção deste plano com os eixos do espaço de cor XYZ que é chamado triângulo de Maxwell. Analisando-se a figura 21, pode-se concluir que as cores visíveis se encontram no primeiro octante do espaço de cor.

Figura 21 - Sólido de cor CIE XYZ.



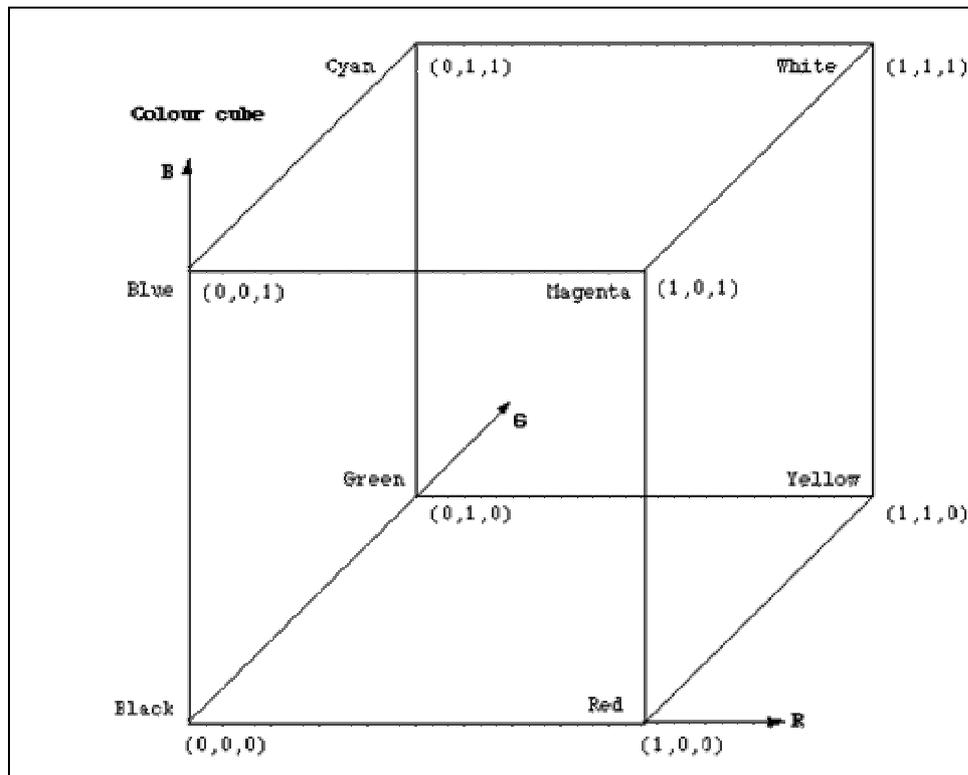
Fonte: Instituto de Física UFRJ (2002).

4.5.2 MODELO RGB

O modelo RGB de cores primárias, conforme a obra de Harrington (1987), também é aditivo e está baseado na teoria dos 3 estímulos (*Tristimulus Color Theory*) proposta por Young-Helmholtz. Segundo essa teoria, o olho humano percebe a cor através da estimulação

dos 3 pigmentos visuais presentes nos cones da retina, que possuem picos de sensibilidade aproximada nos seguintes comprimentos de onda: 630 nm (Vermelho-*Red*), 530 nm (Verde-*Green*) e 450 nm (Azul-*Blue*). Esse sistema pode ser representado graficamente através do cubo unitário definido sobre os eixos R, G e B, como ilustrado na figura 22.

Figura 22 - Cubo do sistema RGB.



Fonte: Paul (1995).

A origem representa a cor preta, o vértice de coordenadas (1,1,1) representa a cor branca, os vértices que estão sobre os eixos representam as cores primárias e os demais vértices representam o complemento de cada cor primária. Cada ponto no interior do cubo corresponde a uma cor que pode ser representada pela tripla (R,G,B), com os valores R, G e B variando de 0 a 1.

Os tons de cinza são representados ao longo da diagonal principal do cubo, que vai da origem (ponto correspondente a cor preta) até o vértice que corresponde à cor branca. Cada tom ao longo dessa diagonal é formado por contribuições iguais de cada primária. Logo, um tom de cinza médio entre o branco e o preto é representado por (0.5,0.5,0.5). As cores C_λ desse sistema podem ser expressas na forma da equação 16.

Equação 16 - Equação da cor no modelo RGB.

$$\mathbf{C}\lambda = \mathbf{rR} + \mathbf{gG} + \mathbf{bB}$$

Segundo Weinman (1998), a resposta do olho aos estímulos espectrais não é linear e, por isso, algumas cores não podem ser reproduzidas pela sobreposição das 3 primárias. Isso significa que algumas cores existentes na natureza não podem ser mostradas nesse sistema. Por isso, um fenômeno natural colorido como, por exemplo, de formação de rochas, não pode ser reproduzido com precisão. No anexo 2 temos uma listagem com os valores RGB para as principais cores utilizadas na área computacional seguindo o texto de Paul (1995).

4.5.3 MODELO CMYK

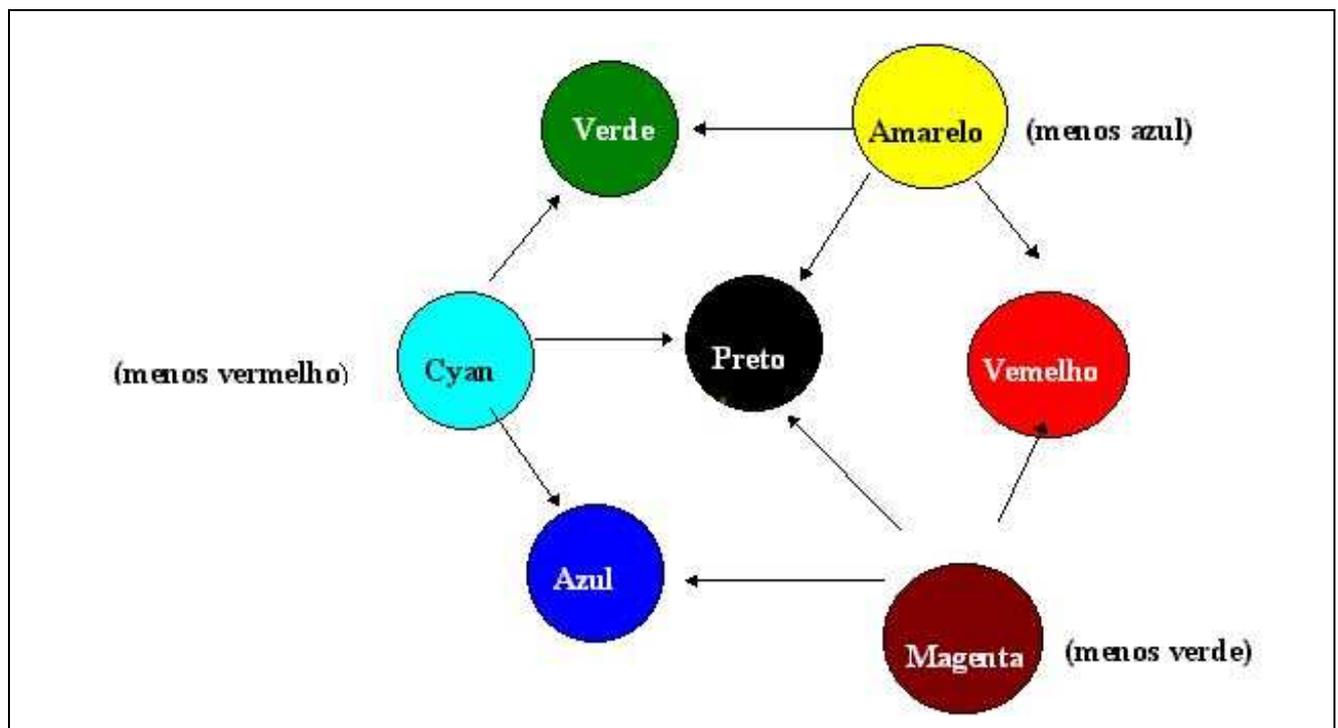
Segundo Harrington (1987), é o modelo adotado em vários dispositivos de *hardcopy*, como uma plotadora por que produz figuras coloridas através do depósito de pigmentos coloridos no papel. Uma página impressa é diferente de um monitor que, por ser uma fonte de luz, pode criar cores. Uma impressão não emite luz; ela absorve e reflete a luz e portanto, deve usar um modelo que use tintas que possam absorver comprimentos de ondas de luz específicos e reflitam outros.

O modelo CMYK, por basear-se na subtração de luz, é a base do processo de impressão em quatro cores. É usado principalmente para imagens de tons contínuos (como as fotografias digitalizadas) em uma impressão. As cores primárias utilizadas no modelo CMYK são: cyan, magenta, amarelo e preto. São cores primárias subtrativas, pois seu efeito é subtrair, isto é, absorver alguma cor da luz branca.

- Cyan: absorve a componente vermelha da luz branca refletida; a luz branca é a soma das cores azul, verde e vermelho; assim, em termos de cores subtrativas, cyan é a soma de verde e azul.
- Magenta: retira a componente verde da luz branca, sendo assim, a soma de vermelho e azul.
- Amarelo: subtrai a componente azul da luz branca refletida; é a soma do verde e vermelho.
- Preto: subtrai todos os componentes.

Uma superfície, revestida de cian e amarelo, absorve os componentes vermelho e azul de uma luz branca nela incidente e reflete portanto apenas o verde. O mesmo ocorre combinando-se as demais cores. Uma superfície coberta pelas três primárias absorve todas as cores, sendo desse modo negra, na prática há a necessidade de adicionar o componente preto se desejamos obter esta cor pois na fabricação dos produtos corantes não há a possibilidade de se obter uma cor pura (100%). A figura 23 mostra a relação das cores do sistema RGB com o CMYK.

Figura 23 - Relação entre as primárias dos modelos RGB e CMYK.



Fonte: Bacellar (1999).

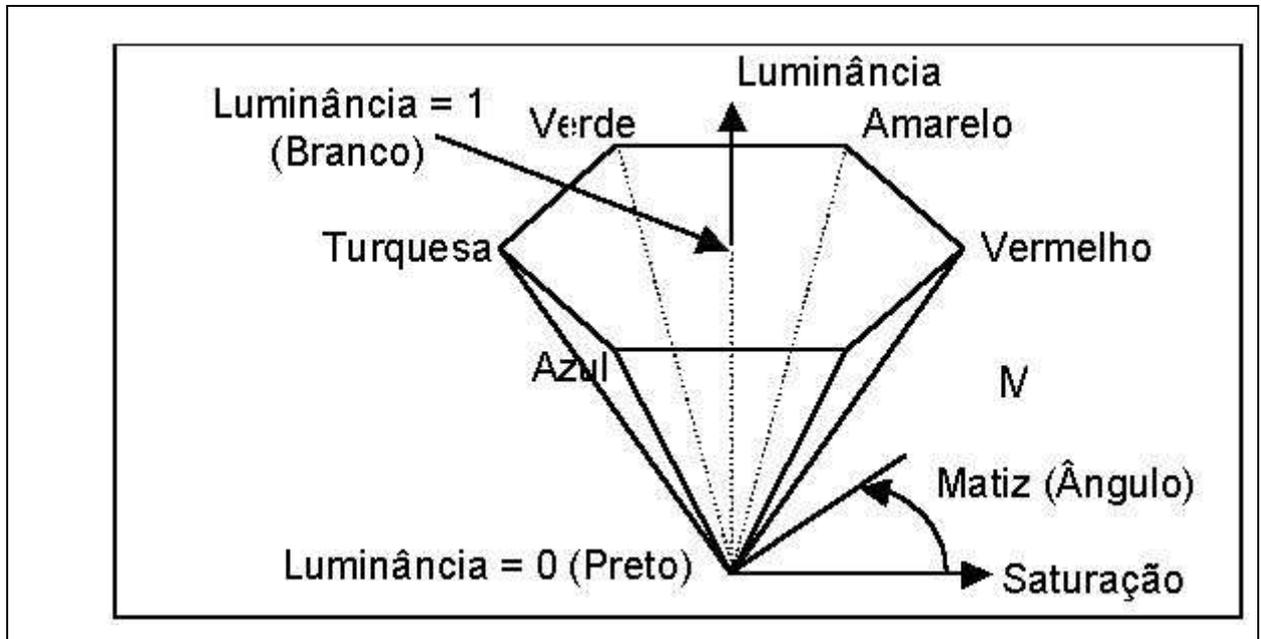
4.5.4 MODELO HSV

Segundo Harrington (1987), o sistema 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.

A cor é especificada através de uma cor espectral e das quantidades de branco e preto que serão adicionadas para a obtenção de *shades*, *tints* e *tones* diferentes. A representação

gráfica tridimensional do sistema HSV é um cone de 6 lados derivado do cubo RGB, mostrado na figura 24.

Figura 24 - Cone hexagonal do HSV .



Fonte: Oliveira (1999).

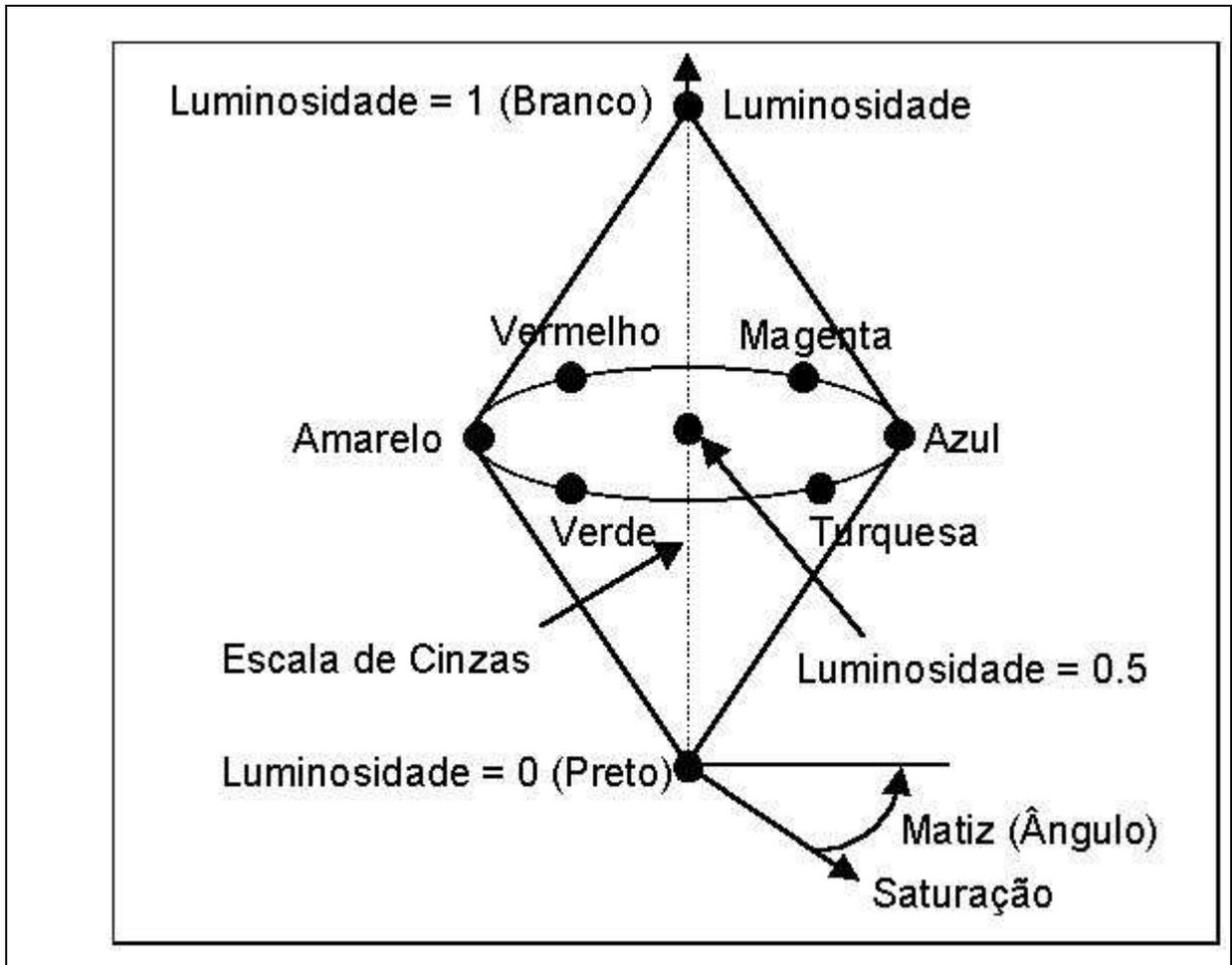
Os parâmetros de cor utilizados nesse sistema são o matiz (*hue*), a saturação (*saturation*) e a luminância (*value*). Os vários matizes estão representados na parte superior do cone, a saturação é medida ao longo do eixo horizontal e a luminância é medida ao longo do eixo vertical, que passa pelo centro do cone. O matiz, que corresponde às arestas ao redor do eixo vertical, varia de 0° (vermelho) a 360° , e o ângulo entre os vértices é de 60° . A saturação varia de 0 a 1 e é representada como sendo a razão entre a pureza de um determinado matiz e a sua pureza máxima ($S = 1$). Um determinado matiz possui $\frac{1}{4}$ de pureza em $S = 0.25$. Quando $S = 0$ tem-se a escala de cinzas. A luminância varia de 0 (no pico do cone), que representa a cor preta, a 1 (na base), onde as intensidades das cores são máximas.

4.5.5 MODELO HLS

Segundo Harrington (1987), o sistema HLS também é baseado em parâmetros mais intuitivos para a descrição de cores. A representação gráfica tridimensional desse sistema é um cone duplo, como mostra a figura 25. Os 3 parâmetros de cor utilizados são o matiz (*hue*), a luminosidade (*lightness*) e a saturação (*saturation*). O ângulo em relação ao eixo vertical

varia de 0° (matiz azul) a 360° em intervalos de 60° e especifica um matiz. O eixo vertical corresponde à luminosidade e varia de 0 (preto) a 1 (branco) e é onde se encontra a escala de cinzas.

Figura 25 - Cone duplo do HLS .



Fonte: Oliveira (1999).

A saturação varia de 0 a 1, e os matizes puros são encontrados no plano onde a luminosidade é igual a 0.5 e a saturação é igual a 1. Quanto menor o valor da saturação menor é a pureza do matiz; e quando a saturação é igual a 0, tem-se a escala de cinzas.

Os sistemas 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. As cores mais claras são obtidas através do aumento do brilho ou da luminosidade e as cores

mais escuras pela diminuição dos mesmos. As cores intermediárias são obtidas através da diminuição da saturação.

4.5.6 TRANSFORMAÇÃO ENTRE MODELOS

Conforme a obra de Harrington (1987), segue nas figuras 26, 27, 28 e 29 os métodos de transformações entre alguns dos modelos apresentados.

Figura 26 - Transformação de RGB para XYZ.

$$[R \ G \ B] = [X \ Y \ Z] \begin{vmatrix} 2.750 & -1.118 & 0.138 \\ -1.149 & 2.026 & -0.333 \\ -0.426 & 0.033 & 1.104 \end{vmatrix}$$

Fonte: Harrington (1987).

Figura 27 - Transformação de XYZ para RGB.

$$[X \ Y \ Z] = [R \ G \ B] \begin{vmatrix} 0.476 & 0.262 & 0.020 \\ 0.299 & 0.656 & 0.161 \\ 0.175 & 0.082 & 0.909 \end{vmatrix}$$

Fonte: Harrington (1987).

Figura 28 - Transformação de RGB para CMYK.

Black = valor mínimo(1-red, 1-green, 1-blue)

Cyan = (1-red-black) / (1-black)

Magenta = (1-green-black) / (1-black)

Yellow = (1-blue-black) / (1-black)

Obs: assume-se que os valores para C, M, Y, K, R, G e B estão entre 0 e 1.

Fonte: Bourgin (1994).

Figura 29 - Transformação de CMYK para RGB.

Red = 1-valor mínimo(1, Cyan*(1-black)+black)

Green= 1-valor mínimo(1, Magenta*(1-black)+black)

Blue= 1-valor mínimo(1, Yellow*(1-black)+black)

Obs:assume-se que os valores para C, M, Y, K, R, G e B estão entre 0 e 1.

Fonte: Bourgin (1994).

4.6 COLORIMETRIA INDUSTRIAL

Conforme a obra de Brockes (1987), na área de aplicação industrial da colorimetria discute-se os valores para tolerâncias de diferenças de cor e suas aplicações nos diversos setores industriais. Entre medição de cor instrumental e a sensação da cor pelos nossos olhos podem ocorrer discrepâncias em uma avaliação objetiva de amostras em repetidos resultados. Para que se tenha os melhores resultados, deve-se considerar os investimentos e cuidados a se realizar. Um fator muito significativo na qualidade das medições, é o cuidado com os padrões e as amostras a serem medidas. Deve-se também estudar a melhor fórmula para se estabelecer as tolerâncias a serem utilizadas.

São empregados vários métodos para avaliar a cor ao determinar a aceitabilidade comercial dos produtos. A maioria de avaliações da cor são feitas visualmente, comparando uma amostra da produção a um padrão pré-aprovado. O espectrofotômetro é usado de forma suplementar ao processo visual da avaliação, enquanto fornece uma maneira consistente para quantificar as diferenças da cor, e facilitando assim a determinação de tolerâncias da cor do produto. Os sistemas de tolerância da cor são usados na gerência de atividades do controle de qualidade da produção. Os sistemas de tolerância discutidos serão: CIE L*a*b* e CIE L*C*h*.

4.6.1 CIE L*A*B * DIFERENÇA DE COR

Segundo Datacolor International (2002), o sistema CIE L*a*b* * descreve as cores baseadas na teoria oponente da visão de cor. A teoria oponente é que as cores não podem ser percebidas como vermelho e verde ao mesmo tempo, ou amarelo e azul ao mesmo tempo.

Entretanto, as cores podem ser percebidas como combinações de: vermelho e amarelo, vermelho e azul, verde e amarelo, e verde e azul.

No espaço de cor CIE $L^*a^*b^*$, as coordenadas da cor deste sistema retangular é dada por:

- L^* - a coordenada de luminosidade;
- a^* - a coordenada de vermelho/verde, com $+a^*$ indicando o vermelho, e $-a^*$ indicando o verde;
- b^* - a coordenada de amarelo/azul, com $+b^*$ indicando o amarelo, e $-b^*$ indicando o azul.

A diferença da cor de CIELAB, entre duas cores no espaço de cor do CIE 1976, está a uma distância entre as posições da cor. Esta distância é expressa tipicamente como DE^* conforme a figura 17.

Equação 17 - Equação para DE^* em CIELab.

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

Onde:

- ΔL^* sendo a diferença de luminosidade;
- Δa^* sendo a diferença de vermelho/verde;
- Δb^* sendo a diferença de amarelo/azul.

4.6.2 CIE $L^*C^*H^*$ DIFERENÇA DE COR

Segundo Datacolor International (2002), as cores também podem ser descritas como situadas no espaço de cor do CIE 1976 usando o método de especificar as coordenadas de: L^* , C^* , e no h^* . A mesma cor está ainda na mesma posição no espaço de cor, mas o $CIE L^*a^*b^*$ e o $CIE L^*C^*h^*$ são duas maneiras diferentes de descrever sua posição.

O espaço de cor $CIE L^*C^*h^*$ é tridimensional, com as cores usando coordenadas cilíndricas como segue:

- L^* - a coordenada de luminosidade (a mesma que em $L^*a^*b^*$);

- C^* - a coordenada do *chroma*, a distância perpendicular da linha central da luminosidade;
- h^* - o ângulo do *hue*, expressado nos graus, com os 0^0 que são uma posição no + a * linha central, continuando a 90^0 para + b * linha central, 180^0 para - a *, 270^0 para - b *, e a $360^0 = 0^0$.

Muitos usuários do sistema CIE preferem o método $L^*C^*h^*$ para especificar uma cor, desde que o conceito do *hue* e do *chroma* concorde bem com a avaliação visual. Para aqueles que preferem expressar diferenças da cor no CIE $L^*C^*h^*$, os seguintes termos são utilizados:

- $D.C.^*$ sendo a diferença do *chroma*;
- $D h^*$ sendo a diferença do ângulo do *hue*;
- $D H^*$ sendo a diferença métrica do *hue*.

A diferença métrica do *hue* ($D H^*$) é a diferença da cor, nas unidades da distância, devido à diferença do ângulo do *hue* ($D h^*$). $D H^*$ é usado na computação total da diferença da cor, onde todos os termos estão a uma distância, e não ângulos, como segue na equação 18.

Equação 18 - Equação para ΔE^* em CIELCh.

$$\Delta E^* = \left[\Delta L^{*2} + \Delta C^{*2} + \Delta H^{*2} \right]^{1/2}$$

Após a compreensão dos cálculos colorimétricos, o capítulo 5 aborda o desenvolvimento do protótipo com a discussão dos requisitos, a especificação, implementação e operacionalidade do protótipo.

5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Neste capítulo são descritos os principais requisitos que foram trabalhados na especificação e implementação, assim como as técnicas utilizadas e funcionalidades do protótipo.

5.1 REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO

Dos requisitos principais que foram trabalhados na implementação do protótipo de visualizador para modelos de cor para medições de objetos em espectrofotômetros por reflectância temos: o estudo dos diversos modelos para representação de cores.

Na linguagem de programação Java foram estudados as estruturas e métodos disponíveis para a criação das telas, interface, do programa tais como: *layout*, botões, marcadores e outros objetos de controle. Também foram observados as funcionalidades no tratamento de arquivos, sistemas numéricos, implementação segundo o paradigma da orientação a objeto além da portabilidade, e utilizou-se as obras de Araújo (2000) e Sowiral (2000).

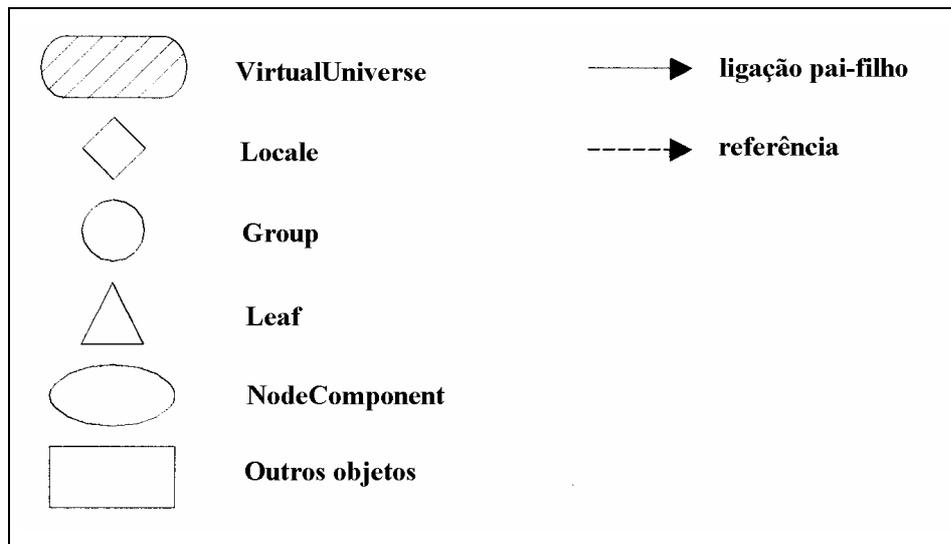
No estudo de Java3D que é uma API (*Application Programmer's Interface*), ou seja, uma hierarquia de classes Java que servem como interface para um sistema de renderização de gráficos tridimensionais. O programador trabalha com construções de alto nível para criar e manipular objetos geométricos 3D. Estes objetos geométricos estão contidos em um universo virtual, que é então renderizado. A API foi projetada com flexibilidade para criar universos virtuais precisos de uma ampla variedade de tamanhos. O programador controla formas, comportamentos, animações e interações, bem como texturas, luzes, entrada de dispositivos e transparências.

5.2 ESPECIFICAÇÃO

Para a especificação do programa foram utilizadas duas técnicas: grafo de cena e UML.

O grafo de cena é uma estrutura composta por arcos e nós, em forma de árvore, utilizada para especificar e documentar programas gráficos. Este possui um conjunto de símbolos que representam instâncias para objetos de classes específicas, conforme figura 30.

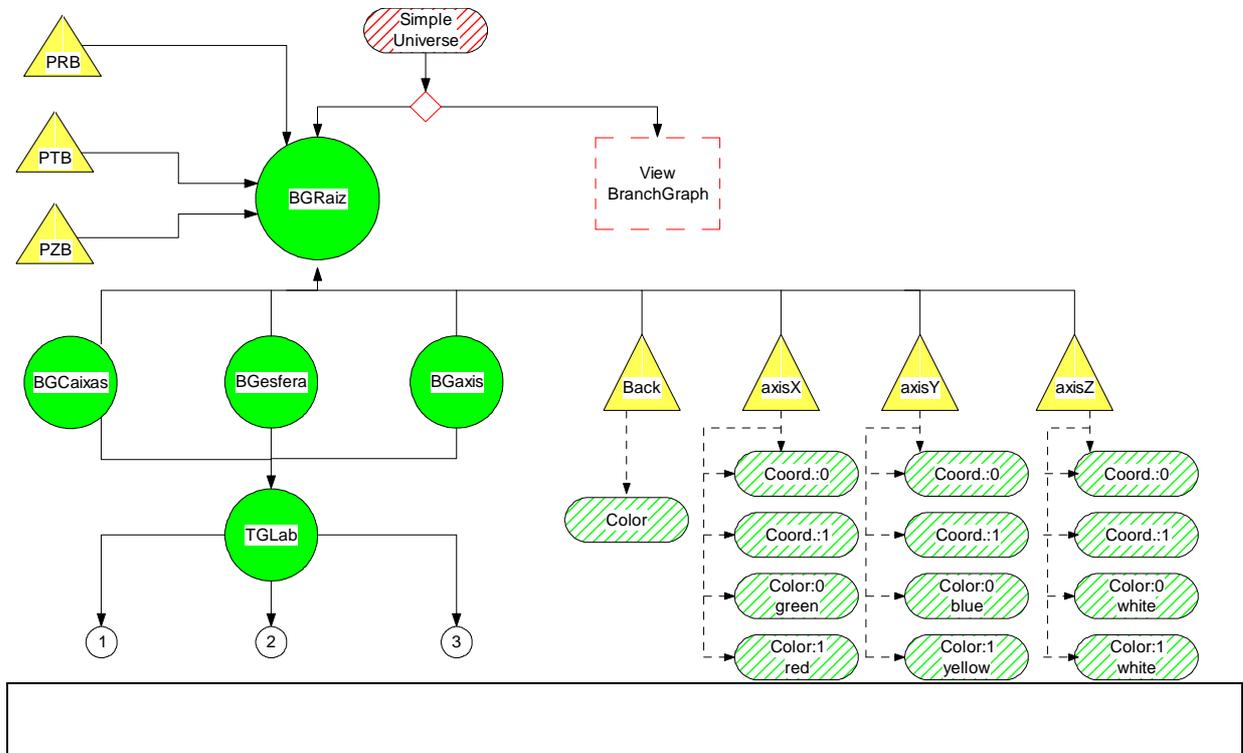
Figura 30 - Símbologia utilizada no Grafo de Cena.



Fonte: Sun Microsystems, 1995.

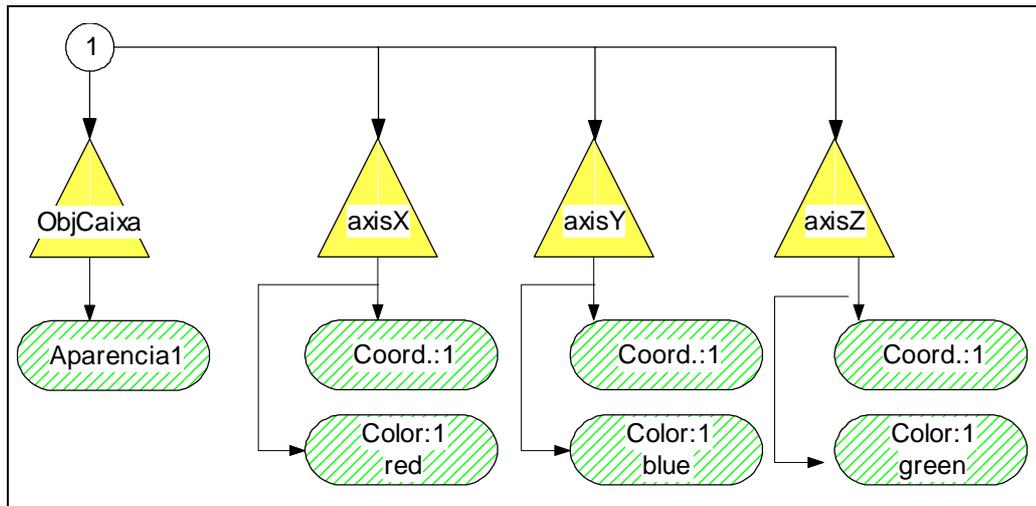
A figura 31 representa o grafo de cena do protótipo-1, que instancia um espaço 3D denominado `simple universe`, a partir deste constrói-se uma estrutura do tipo árvore, onde é instanciado um `BranchGroup` denominado `BGRaiz` como nó principal, este possui a característica de se poder trabalhar a visualização 3D (PRB, PTB e PZB), como nós filhos da raiz temos: `BGCaixas`, `Bgesfera`, `Bgaxis`, `Back`, `AxisX`, `AxisY` e `AxisZ`. As estruturas de `BGCaixas`, `Bgesfera` e `Bgaxis` são demonstradas nas figuras 32, 33 e 34. A estrutura de `Back`, representa o objeto do tipo `background` que possibilita a troca da cor de fundo; `AxisX`, `AxisY` e `AxisZ`, são objetos do tipo `linhas` que com suas características de coordenadas e cor representa o SRU.

Figura 31 - Grafo de cena do protótipo -1



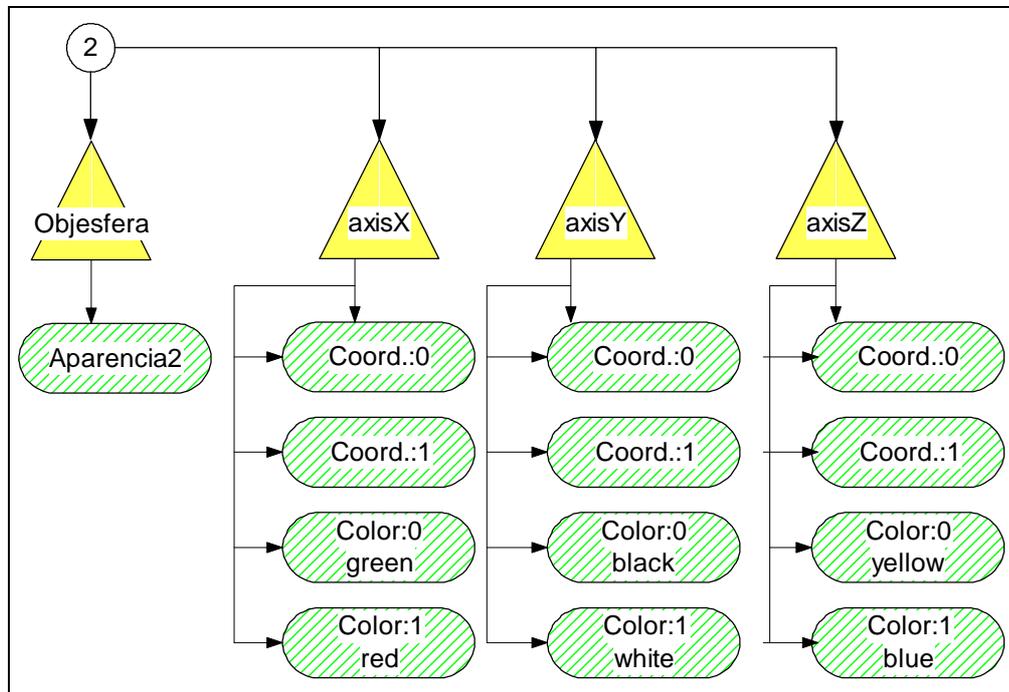
A figura 32 que mostra a estrutura de `BGCaixas` (conector 1), representa o modelo de cor RGB instanciando um objeto do tipo caixa e 3 linhas representando R, G e B, sendo que cada objeto possui características de aparência, coordenadas e cor.

Figura 32 - Grafo de cena do protótipo - 2



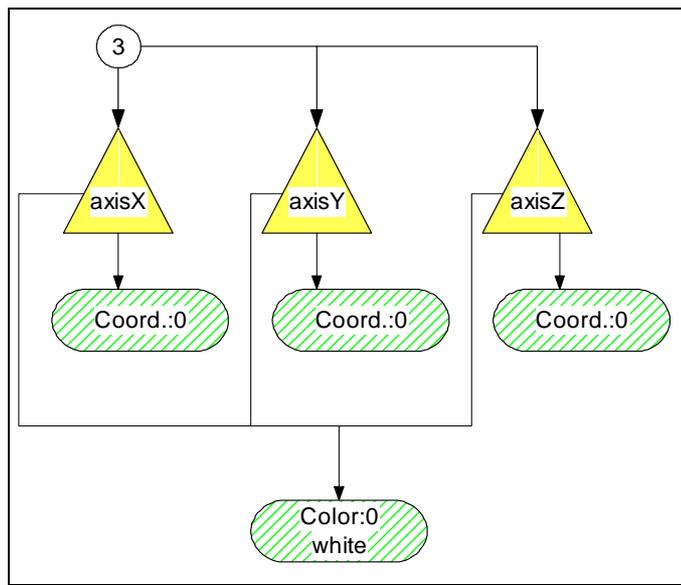
A figura 33 mostra a estrutura de Bgesfera, (conector 2) que representa o modelo de cor $L^*a^*b^*$ instanciando um objeto do tipo esfera e 3 linhas representando L^* , a^* e b^* , sendo que cada objeto possui características de aparência, coordenadas e cor.

Figura 333 – Grafo de cena do protótipo – 3



A figura 34 mostra a estrutura de `Bgaxis`, (conector 3) que representa o modelo de cor XYZ instanciando 3 linhas representando X, Y e Z, sendo que cada objeto possui características de aparência, coordenadas e cor;

Figura 34 - Grafo de cena do protótipo - 4



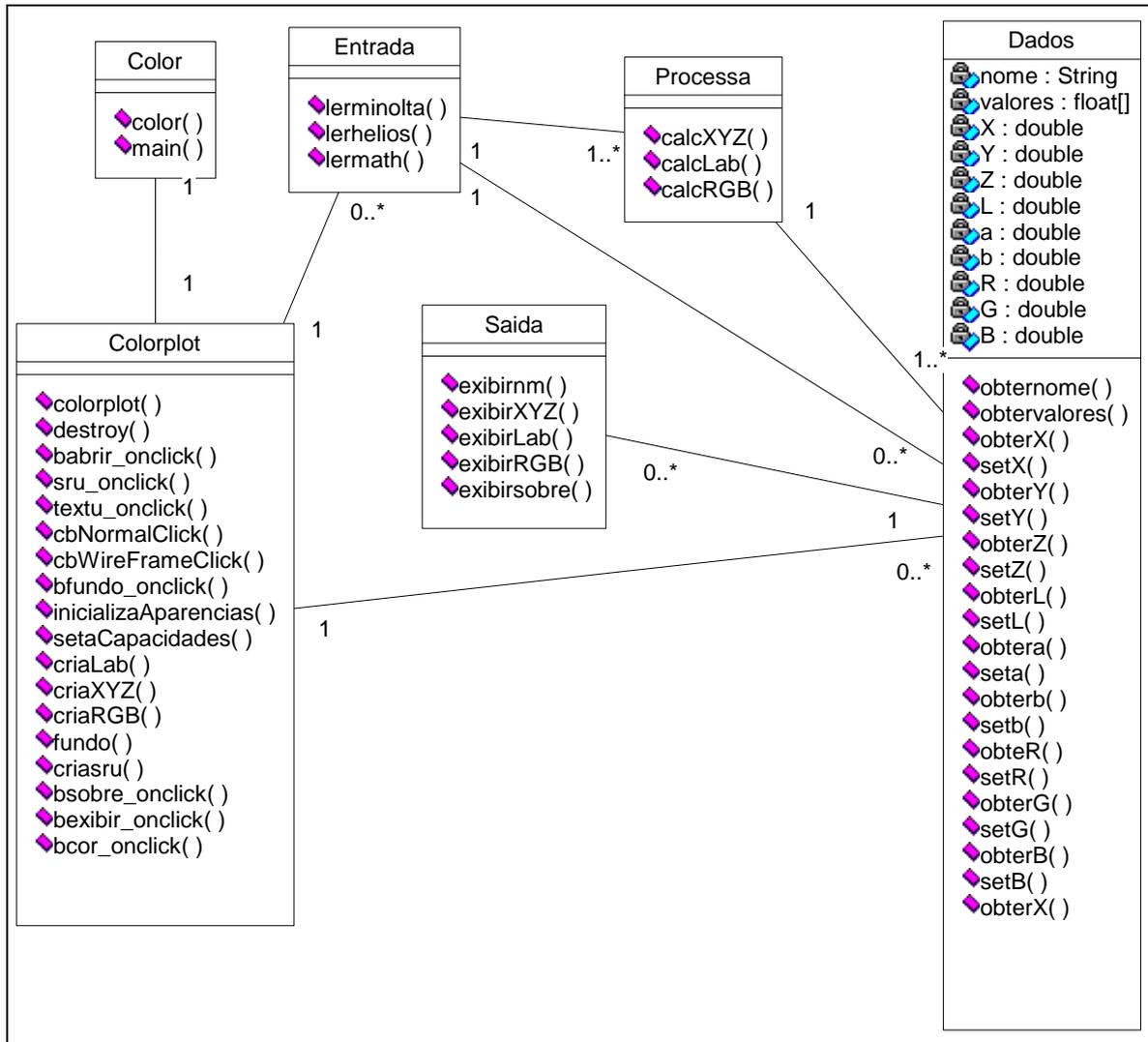
Da *Unified Modeling Language* baseado nas obras de Furlan (1998), Pages-Jones (2001), Booch (1999) e Winblad (1993), há o diagrama de classes e o diagrama de sequência para os principais métodos do protótipo (métodos que implementam a representação dos modelos de cores). A figura 35 representa o diagrama de classes do protótipo. A classe `Color` possui o método `main` de inicialização do programa, esta chama o método construtor `colorplot` da respectiva classe, onde temos a interface do programa dividida em três áreas: uma área central (área 3D), uma área lateral direita (controles e seleções) e uma área inferior (sobre e informações de processamento).

Os dados (valores de reflectância, números do tipo *float*), são lidos de arquivos externos (exportados por softwares de colorimetria como: `SpectraMatch` e outros) pelos métodos `lerminolta`, `lerhelios` ou `lermatch` da classe `Entrada`, o formato do arquivo pode ser observado no anexo 3, assim como um exemplo de um aparelho espectrofotômetro. Em seguida estes dados são repassados aos métodos `calXYZ`, `calcLab`

e `calcRGB` da classe `Processa`, os dados processados são armazenados na classe `Dados` que possui métodos para a posterior exibição (métodos `exibirXYZ`, `exibirnm` e outros).

No anexo 4 temos o detalhamento do código do método `criaRGB` que faz a transformação de dados do modelo XYZ para o modelo RGB.

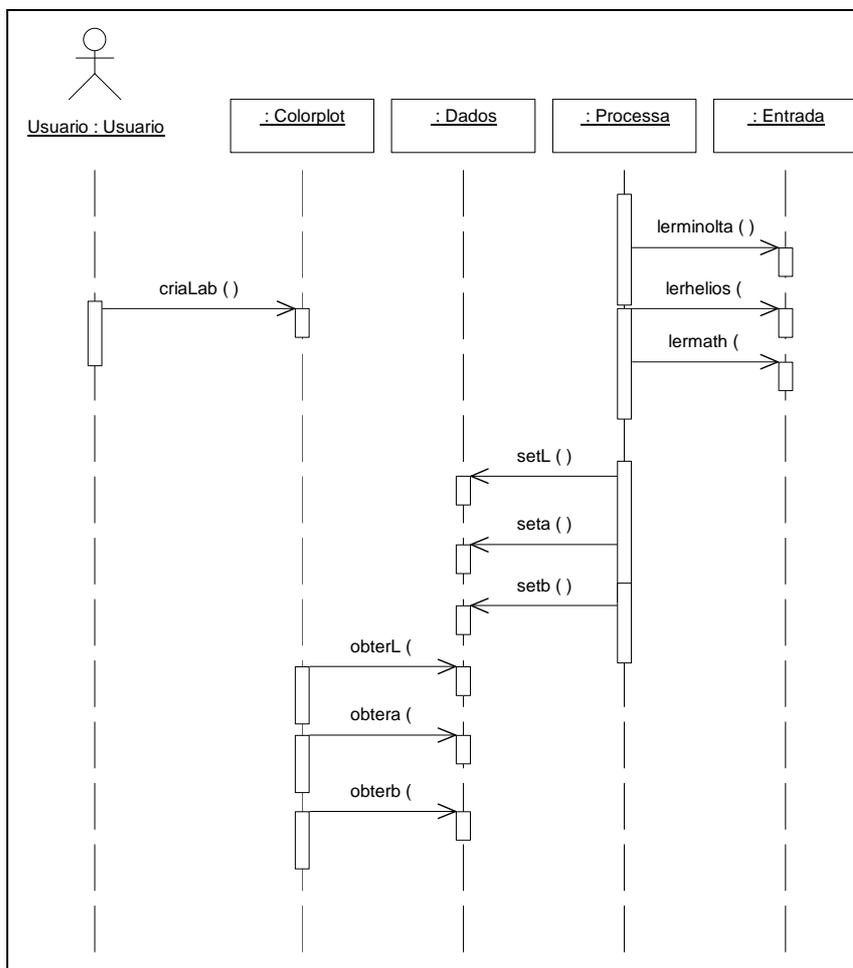
Figura 35 - Diagrama de classes.



A figura 36 representa o diagrama de sequência do método `criLab`, detalhando os dados necessários para a exibição do modelo de cor $L^*a^*b^*$. O usuário dispara o método `criLab` da classe `Colorplot`, este utiliza os métodos `obterL`, `obtera` e `obterb` da classe `Dados` para criar o ponto representativo da amostra neste modelo.

Os valores de L , a e b foram calculados pelos métodos `setL`, `seta` e `setb` respectivamente da classe `Processa`, sendo que para isso fez a leitura dos valores de reflectância pelos métodos `lerminolta`, `lerhelios` ou `lermath` da classe `Entrada`.

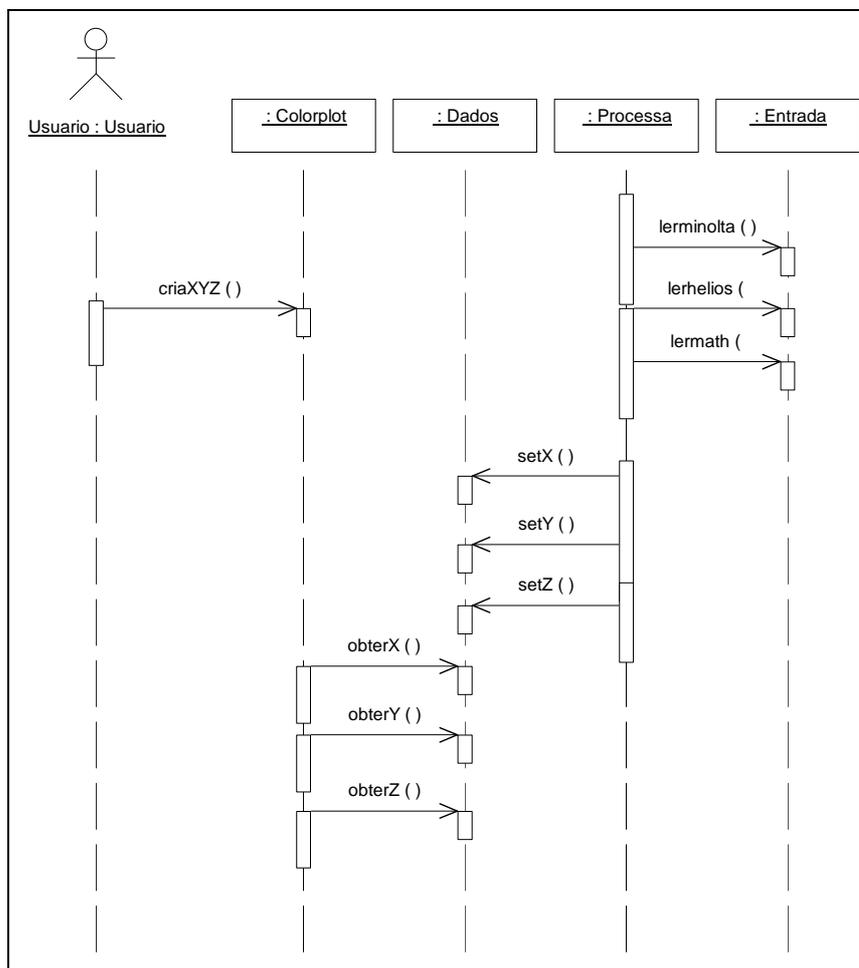
Figura 36 - Diagrama de sequência do método `criLab`.



A figura 37 representa o diagrama de sequência do método `criXYZ`, detalhando os dados necessários para a exibição do modelo de cor XYZ. O usuário dispara o método `criXYZ` da classe `Colorplot`, este utiliza os métodos `obterX`, `obterY` e `obterZ` da classe `Dados` para criar o ponto representativo da amostra neste modelo.

Os valores de X, Y e Z foram calculados pelos métodos `setX`, `setY` e `setZ` respectivamente da classe `Processa`, sendo que para isso fez a leitura dos valores de reflectância pelos métodos `lerminolta`, `lerhelios` ou `lermath` da classe `Entrada`.

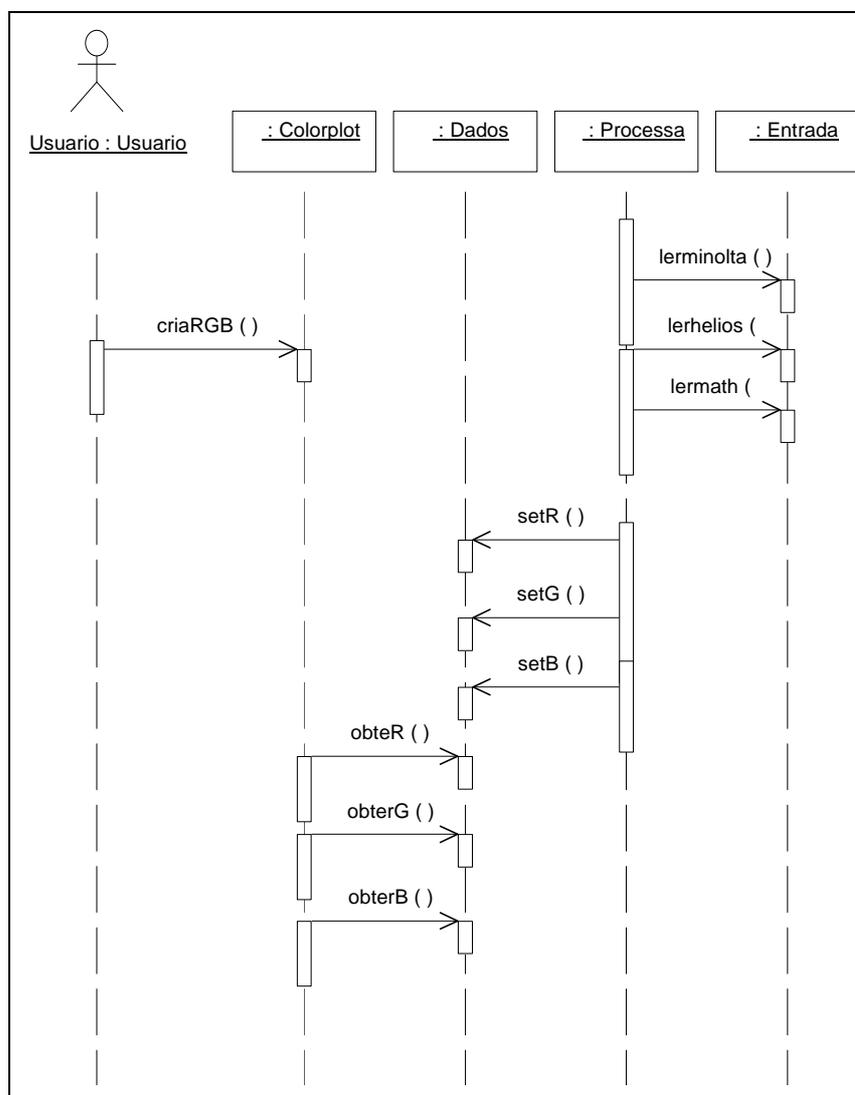
Figura 37 - Diagrama de sequência do método `criXYZ`.



A figura 38 representa o diagrama de sequência do método `criaRGB`, detalhando os dados necessários para a exibição do modelo de cor RGB. O usuário dispara o método `criaRGB` da classe `Colorplot`, este utiliza os métodos `obterR`, `obterG` e `obterB` da classe `Dados` para criar o ponto representativo da amostra neste modelo.

Os valores de R, G e B foram calculados pelos métodos `setR`, `setG` e `setB` respectivamente da classe `Processa`, sendo que para isso fez a leitura dos valores de reflectância pelos métodos `lerminolta`, `lerhelios` ou `lermath` da classe `Entrada`.

Figura 38 - Diagrama de sequência do método `criaRGB`.



5.3 IMPLEMENTAÇÃO

Neste item é apresentada a implementação dos métodos mais importantes para a funcionalidade do protótipo (métodos que fazem a representação 3D para os modelos de cores). Para a implementação a linguagem de programação utilizada foi *Java – JVM -1.4.0* com o adicional da API Java3D da *Sun Microsystems* no ambiente *Jcreator PRO version 2.00* da *Xinox Software*. Técnicas utilizadas em computação gráfica como deslocamento, zoom e translação já estão internamente implementadas em métodos da API Java3D, observa-se que seguem os modelos como de Foley (1990).

5.3.1 TÉCNICAS E FERRAMENTAS UTILIZADAS

As técnicas de implementação a serem descritas serão dos métodos *criaXYZ*, *criaLab* e *criaRGB*, pois representam a área em estudo (visualização 3D). O método *criaXYZ*, conforme a figura 39 utiliza-se dos dados¹ armazenados em um *array* do tipo *Dados*, que foram processados pelo método *lerhelios*, *lermath* ou *lerminolta* da classe *Entrada*. Cria-se eixos que representam os valores de estímulo X, Y, Z e calcula-se a posição dos pontos (amostras) em relação a estes eixos, ver seção teórica 4.1 valores colorimétricos normais.

Figura 39 - Código para o método *criaXYZ*.

```
void criaXYZ(Dados dados[]) { //o método recebe o conjunto de valores de reflectância
    bgRaiz.detach(); //desconecta-se o nodo raiz do universo
    LineArray axisXLines = new LineArray(2, LineArray.COORDINATES |
LineArray.COLOR_3 ); //cria uma linha para o eixo x
    axisXLines.setCoordinate(1, new Point3f( 1.5f, 0.0f, 0.0f)); //seta coordenada
    axisXLines.setColor(0,whitec); //define cor
    LineArray axisYLines = new LineArray(2,
    LineArray.COORDINATES | LineArray.COLOR_3 );
    axisYLines.setCoordinate(1, new Point3f( 0.0f, 1.5f, 0.0f));
    axisYLines.setColor(0, whitec);
    LineArray axisZLines = new LineArray(10,
    LineArray.COORDINATES | LineArray.COLOR_3 );
    axisZLines.setCoordinate(1, new Point3f( 0.7f,-0.7f,1.0f));
    axisZLines.setColor(1, whitec);
    qtdeXYZ++;      double x , y, z;
```

¹ dados - Valores de reflectância medidos dos objetos em nanômetros.

(CONTINUAÇÃO)

```

x = 0.0;y = 0.0; z = 0.0;
    int aux = dados.length;
    for (int i=0;i < aux;i++){//até a qde final de amostras
        x = dados[i].obterX();//obtem os valores de X, Y e Z
        y = dados[i].obterY();
        z = dados[i].obterZ();
        qdepont++;//contador de pontos
        PointArray p = new PointArray(i+1, PointArray.COORDINATES);
        float px,py,pz;//cria novo ponto que representa cada amostra
        px= ((float) x/300.0f); py = ((float) y/300.0f); pz = ((float) z/300.0f);
        p.setCoordinate(0, new Point3f(px, py, pz));//seta coordenada do ponto
        tglab.addChild(new Shape3D(p));//adiciona o ponto a área gráfica
    }
    tglab.addChild(new Shape3D(axisXLines));//adiciona a linha a área gráfica
    tglab.addChild(new Shape3D(axisZLines));
    tglab.addChild(new Shape3D(axisYLines));
    //seta habilidade para transformação da área gráfica
    tglab.setCapability(TransformGroup.ALLOW_TRANSFORM_WRITE);
    tglab.setCapability(TransformGroup.ALLOW_TRANSFORM_READ);
    tglab.setCapability(TransformGroup.ENABLE_PICK_REPORTING);
    bgRaiz.insertChild(tglab, qtdeXYZZ);//conecta área gráfica ap nodo raiz
    universo.addBranchGraph(bgRaiz);//conecta nodo raiz ao universo
}

```

O método `criaLab`, conforme a figura 40 utiliza-se dos dados armazenados em um *array* do tipo `Dados`, que foram processados pelo método `lerhelios`, `lermath` ou `lerminolta` da classe `Entrada`. Cria-se uma esfera que representa os eixos L^* , a^* e b^* ; também é criado eixos para coordenadas em x , y e z que reforçam a representação deste modelo de cor através das cores atribuídas a estes eixos, posteriormente calcula-se a posição dos pontos (amostras) em relação a estes eixos, ver seção teórica 4.3 sistemas colorimétricos uniformes.

Figura 40 - Código para o método criaLab.

```

void criaLab(Dados dados[]) {
    Sphere objEsfera = new Sphere(0.7f, ap2);//cria uma esfera
    bgRaiz.detach();//desconecta o nodo raiz do universo
    //cria linhas de eixos que representam o modelo Lab
    LineArray axisXLines = new LineArray(2,
LineArray.COORDINATES | LineArray.COLOR_3 );
    axisXLines.setCoordinate(0, new Point3f(-1.0f, 0.0f, 0.0f));
    axisXLines.setCoordinate(1, new Point3f( 1.0f, 0.0f, 0.0f));
    axisXLines.setColor(0,greenc);//define cor
    axisXLines.setColor(1, redc);
    LineArray axisYLines = new LineArray(2,
    LineArray.COORDINATES | LineArray.COLOR_3 );
    axisYLines.setCoordinate(0, new Point3f( 0.0f,-1.0f, 0.0f));
    axisYLines.setCoordinate(1, new Point3f( 0.0f, 1.0f, 0.0f));
    axisYLines.setColor(0, blackc);
    axisYLines.setColor(1, whitec);
    Point3f z1 = new Point3f( 0.0f, 0.0f,-1.0f);
    Point3f z2 = new Point3f( 0.0f, 0.0f, 1.0f);
    LineArray axisZLines = new LineArray(10,
    LineArray.COORDINATES | LineArray.COLOR_3);
    axisZLines.setCoordinate(0, z1);
    axisZLines.setCoordinate(1, z2);
    axisZLines.setColor(0, yellowc);
    axisZLines.setColor(1, bluec);
    double ele , a, b;
    ele = 0.0;a = 0.0; b = 0.0;
    int aux = dados.length;
    for (int i=0;i < aux;i++){//obtem os valores de L,a e b para o conjunto
de amostras
        ele = dados[i].obterL();
        a = dados[i].obtera();
        b = dados[i].obterb();
        qdepont++;
        PointArray p = new PointArray(i+1,
PointArray.COORDINATES);//cria o ponto que representa a amostra
        float pa,pb,pele;
        pa= ((float) a/300.0f); pb = ((float) b/300.0f); pele = ((float) ele/300.0f);
        p.setCoordinate(0, new Point3f(pa,pele,pb));
        tglab.addChild(new Shape3D(p));
    }
    qtdeEsferas++;
    tglab.addChild(objEsfera);//adiciona a esfera a área gráfica
    tglab.addChild(new Shape3D(axisXLines));//eixo a*
    tglab.addChild(new Shape3D(axisZLines));//eixo b*
}

```

(CONTINUAÇÃO)

```

tglab.addChild(new Shape3D(axisYLines));//eixo L*
    tglab.setCapability(TransformGroup.ALLOW_TRANSFORM_WRITE);
    tglab.setCapability(TransformGroup.ALLOW_TRANSFORM_READ);
    tglab.setCapability(TransformGroup.ENABLE_PICK_REPORTING);
    bgesfera.insertChild(tglab, qtdeEsferas);
    universo.addBranchGraph(bgRaiz);//reconecta o nodo raiz ao universo
}

```

O método `criaRGB`, conforme a figura 41 utiliza-se dos dados armazenados em um *array* do tipo `Dados`, que foram processados pelo método `lerhelios`, `lermath` ou `lerminolta` da classe `Entrada`. Cria-se um cubo que representa o modelo R, G e B; também cria-se eixos para coordenadas em x, y e z que reforçam a representação deste modelo de cor através das cores atribuídas a estes eixos, posteriormente calcula-se a posição dos pontos (amostras) em relação a estes eixos, ver seção teórica 4.1.6 transformações entre modelos.

Figura 41 - Código para o método `criaRGB`.

```

void criaRGB(Dados dados[]) {
    com.sun.j3d.utils.geometry.Box objCaixa = new
com.sun.j3d.utils.geometry.Box(0.5f, 0.5f, 0.5f, ap1);//cria cubo do modelo RGB
    bgRaiz.detach();//desconecta nodo raiz
    LineArray axisXLines = new LineArray(2, LineArray.COORDINATES |
LineArray.COLOR_3 ); //cria linha para eixo R-red
    axisXLines.setCoordinate(1, new Point3f( 1.0f, 0.0f, 0.0f));
    axisXLines.setColor(0,redc);
    LineArray axisYLines = new LineArray(2, //cria linha para eixo B-blue
    LineArray.COORDINATES | LineArray.COLOR_3 );
    axisYLines.setCoordinate(1, new Point3f( 0.0f, 1.0f, 0.0f));
    axisYLines.setColor(0, bluec);
    LineArray axisZLines = new LineArray(10, //cria linha para eixo G-green
    LineArray.COORDINATES | LineArray.COLOR_3);
    axisZLines.setCoordinate(0, new Point3f( 0.6f,0.7f,1.1f));
    axisZLines.setColor(0, greenc);
    double r , g, b;
    r = 0.0;g = 0.0; b = 0.0;
    int aux = dados.length;
    for (int i=0;i < aux;i++){//obtem os valores de R, G e B
        r = dados[i].obterR();
        g = dados[i].obterG();
        b = dados[i].obterB();
        qdepont++;
    }
}

```

(CONTINUAÇÃO)

```

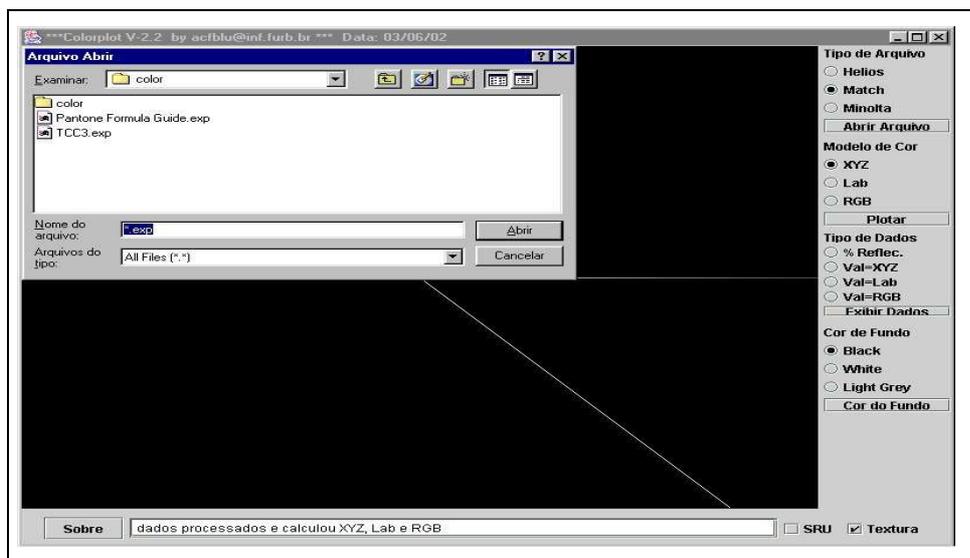
PointArray p = new PointArray(i+1, PointArray.COORDINATES);
    float pr,pg,pb;//cria os pontos de representação para R, G e B
    pr= ((float) r/255.0f); pg = ((float) g/255.0f); pb = ((float) b/255.0f);
    p.setCoordinate(0, new Point3f(pr, pb, pg));
    tglab.addChild(new Shape3D(p));//adicio os pontos a área gráfica
}
qtdeCaixas++;
tglab.addChild(objCaixa);//adiciona cubo a área gráfica
tglab.addChild(new Shape3D(axisXLines));//adiciona linhas a área gráfica
tglab.addChild(new Shape3D(axisZLines));
tglab.addChild(new Shape3D(axisYLines));
tglab.setCapability(TransformGroup.ALLOW_TRANSFORM_WRITE);
tglab.setCapability(TransformGroup.ALLOW_TRANSFORM_READ);
tglab.setCapability(TransformGroup.ENABLE_PICK_REPORTING);
bgCaixas.insertChild(tglab, qtdeCaixas);
universo.addBranchGraph(bgRaiz);//adiciona nodo raiz ao universo}

```

5.4 OPERACIONALIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO

A interface do protótipo está dividida em três áreas: uma área gráfica central, uma área na lateral direita para controles com uma área inferior com uma botão sobre o software e uma área para informação sobre o processamento. Para a operacionalização do protótipo deve-se inicialmente escolher o tipo de arquivo de onde os dados serão lidos, através da opção Abrir Arquivo conforme a figura 42.

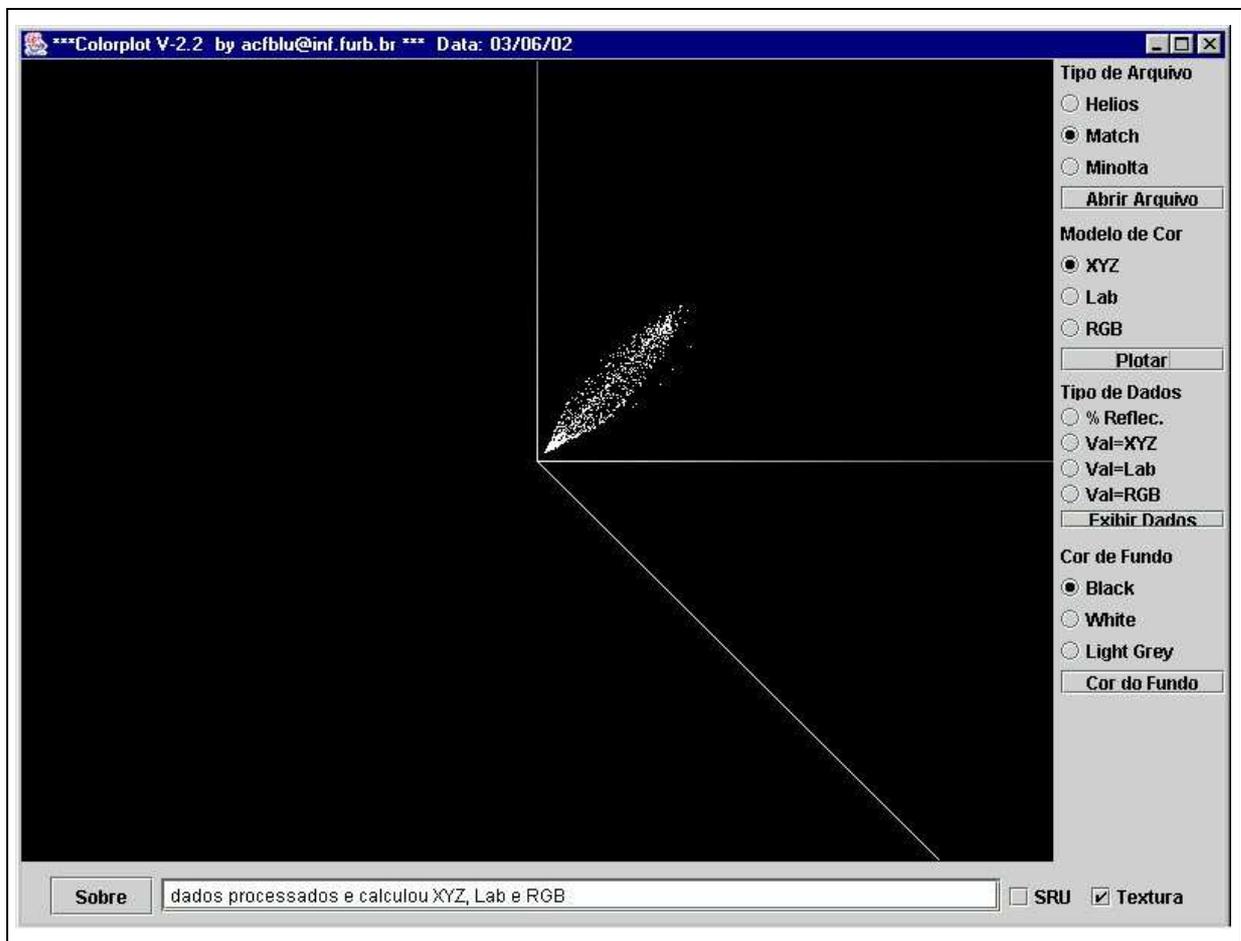
Figura 42 - Operacionalidade do protótipo – ler dados



Posteriormente deve-se escolher um dos modelos de cores na seção Modelo de Cor XYZ, Lab ou RGB a ser plotado (figura 43), seta A, os dados originais (valores de reflectância) das amostras ou os dados numéricos calculados (XYZ, $L^*a^*b^*$ e RGB) podem ser analisados escolhendo-se uma das opções no seta B, seção Exibir Dados.

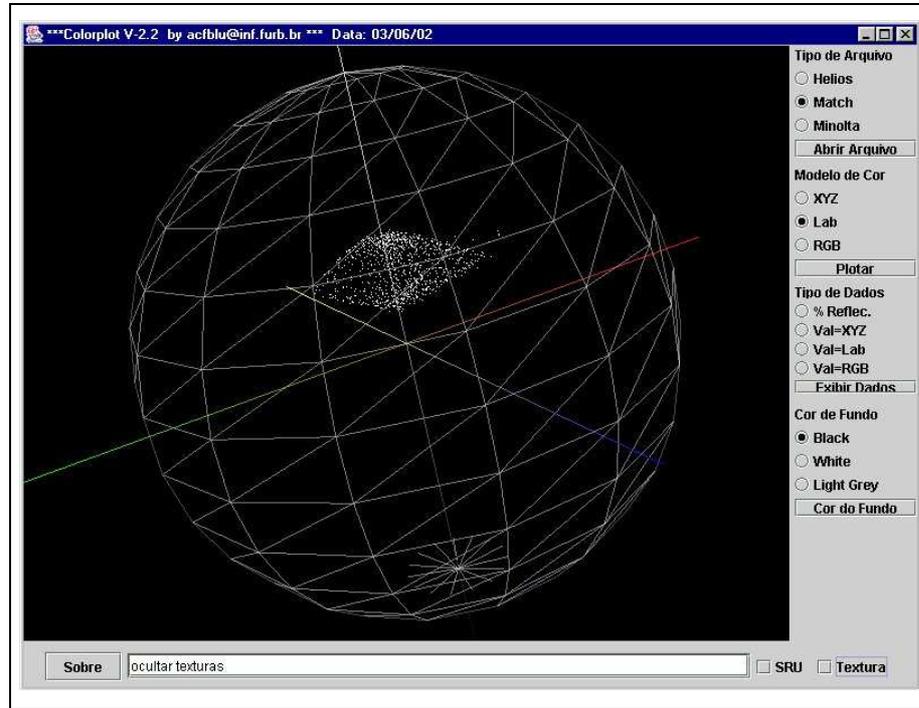
Para uma melhor observação da área gráfica, há a possibilidade de se alterar a cor do fundo escolhendo-se uma das opções no seta C, seção Cor de Fundo para uma melhor percepção dos objetos 3D pode-se ativar a textura no seta D e no seta E ativa-se a exibição do SRU-Sistema de Referência do Universo(mão-esquerda).

Figura 43 - Operacionalidade do protótipo -modelo de cor XYZ.



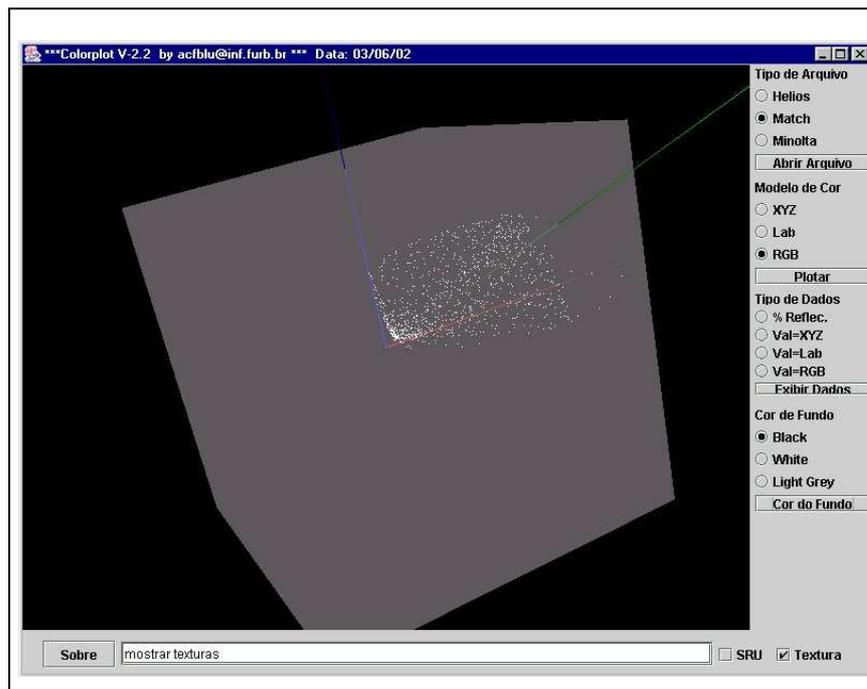
Na figura 44 temos a demonstração do modelo de cor $L^*a^*b^*$.

Figura 44 - Demonstração do modelo $L^*a^*b^*$.



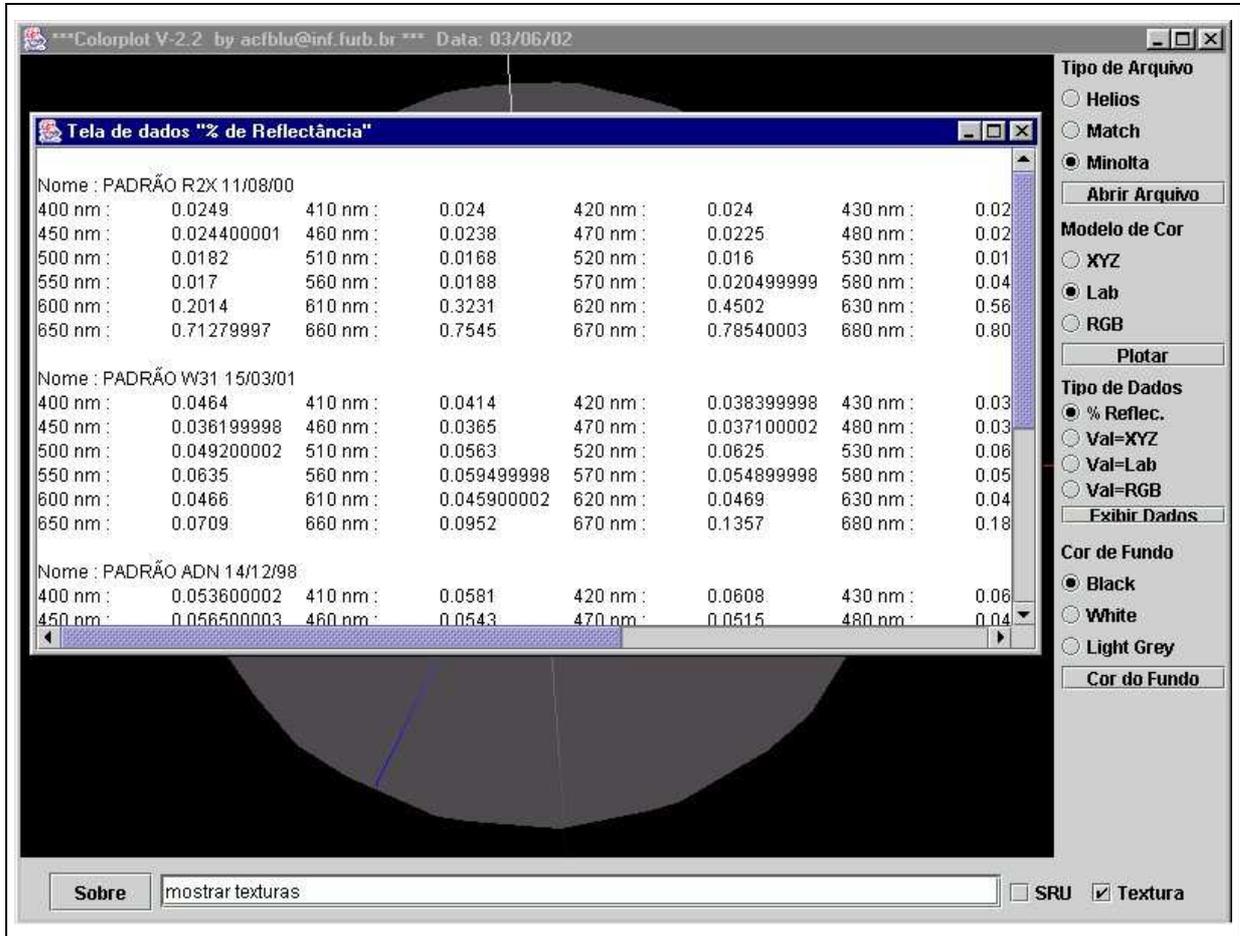
Na figura 45 temos um exemplo do modelo RGB, da aplicação de textura e alteração da cor de fundo.

Figura 45 - Demonstração do modelo RGB.



Os dados em valor numérico podem ser conferidos nas telas de exibição de dados: %Reflac, XYZ, Lab e RGB, seção Tipo de Dados na figura 46.

Figura 46 - Demonstração de exibição dos dados numéricos.



Com a apresentação das telas e funcionalidades do protótipo, no capítulo 6 é descrito os resultados finais, conclusões e extensões deste trabalho.

6 RESULTADOS FINAIS

A seguir serão apresentados as conclusões e extensões. Com o protótipo finalizado, pode-se dizer que os objetivos do trabalho foram alcançados. A princípio, havia um pouco de receio quanto a utilização do Java3D, pois a idéia inicial era da utilização do pacote gráfico Open GL. Então após discussão com o orientador optou-se pela utilização da API Java 3D pela não necessidade de acesso direto aos comandos do pacote gráfico do Open GL.

Os seguintes itens podem ser destacados como resultados alcançados na elaboração desse trabalho: que o protótipo resultante apresentou o resultado desejado, num ambiente tridimensional; no protótipo obteve-se resultados numéricos semelhantes há de softwares comerciais de colorimetria existentes no mercado (por exemplo: SpectraMatch, Helios, MatchWizard PRO e outros); a possibilidade de visualização dos dados (amostras), nos diferentes modelos de cores implementados.

Durante a elaboração deste trabalho, foram identificados vários pontos cruciais para a construção de um ambiente 3D com a API Java3D, tais como: entendimento da hierarquia dos objetos no ambiente 3D, estudo dos métodos, (parâmetros para construtores, alteração de características como cor, aparência, coordenadas) disponíveis para cada objeto.

Um dos pontos mais positivos da API Java3D é a sua documentação. Foi baseado nesta documentação (redigida por Sun Microsystems) que foi possível um entendimento do ambiente 3D, de seu funcionamento e todos os detalhes para compilação dos objetos. Existe também uma ótima documentação de diversas classes e seus respectivos métodos e tutoriais que demonstram passo-a-passo os código de algumas aplicações.

A utilização da linguagem Java também ajudou no desenvolvimento do protótipo, visto a crescente utilização da mesma e a grande quantidade de material, tutoriais e páginas com muitas listas de discussões sobre Java.

Tendo-se conhecimento dos principais aspectos referentes à API Java3D, foi possível a construção do protótipo, alcançando os objetivos desse trabalho.

Algumas das possíveis extensões que podem ser feitas a partir deste trabalho estão descritas abaixo:

- a) A implementação de outras características do ambiente 3D, como iluminação, animação e outras;
- b) Demonstração dos dados (amostras) em outros modelos de cores, tais como: HSV e HLS, LCh, CMYK e outros;
- c) Implementação da possibilidade de salvar uma imagem (do tipo raster), e seus atributos correspondentes a cada dado;
- d) A possibilidade de leitura de arquivos de dados de outros softwares de colorimetria, como o Colortools da Datacolor, ampliando a aplicabilidade do protótipo;
- e) Implementação da interação na parte gráfica como por exemplo a apresentação do nome da amostra quando o mouse passar sobre um determinado ponto ou a apresentação da diferença de cor entre dois pontos .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADOBE SYSTEMS INCORPORATED. *The Munsell colors system - color models - technical guides*. [S.l.], março de 2001. Disponível em: <<http://www.adobe.com/support/techguides/color/colormodels/munsell.html>>. Acesso em: 08 abril 2002.

ARAÚJO, Diego Lucas de; REIS, Félix Gonçalves dos. **Desenvolvendo com Java2**. Rio de Janeiro: Book Express, 2000.

BACELLAR, Simone. **Espaço de cores**. Rio de Janeiro, junho de 1999. Disponível em: <<http://www.inf.puc-rio.br/~bacellar/cores/espaco.htm>>. Acesso em: 08 abril 2002.

BILLMEYER Jr, Fred W.; SALTZMAN, Max. *Principles of color technology*. New York: Wiley-Interscience Publication, 1981.

BOOCH, Grady; RUMBAUGH, James; JACOBSON, Ivar. **UML-guia do usuário**. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

BOURGIN, David. *Color space FAQ*. Grenoble, setembro 1994. Disponível em: <<http://www.neuro.sfc.keio.ac.jp/~aly/polygon/info/color-space-faq.html>>. Acesso em: 08 abril 2002.

BROCKES, Andreas; STROCKA, Dietrich; BERGER-SCHUN, Anni. *Color measurement in the textile industry*. [S.L.]: Bayer, 1987.

DATACOLOR INTERNATIONAL. *Commercial color acceptability: color differences & tolerances*. Lawrenceville, [2002?]. Disponível em: <<http://www.datacolor.com/datafacts07.htm>>. Acesso em: 08 abril 2002.

ELISA, Luis; NIEVES, Teresa. *INTRODUCCIÓN: medición del color*. [S.l.], março 1998. Disponível em: <<http://moon.inf.uji.es/~color/intro.htm>>. Acesso em: 08 abril 2002.

FOLEY, James D. *Computer graphics: principles and practice*. Boston: Addison-Wesley, 1990.

FURLAN, José Davi. **Modelagem de objetos através da UML –The Unified Modeling Language**. São Paulo: Makron Books, 1998.

GLYNN, Earl F. **CIEchromaticity diagrams**. Overland Park, [1998]. Disponível em: <<http://www.efg2.com/lab.html>>. Acesso em: 08 abril 2002.

HANDPRINT MEDIA. **Color models & color wheels**. [S.l], janeiro 2002. Disponível em: <<http://www.handprint.com/HP/WCL/color6.html>>. Acesso em: 08 abril 2002.

HARRINGTON, Steven. **Computer graphics: a programming approach**. Singapore: McGraw-Hill, 1987.

OLIVEIRA, M. de. **Cores e Sistemas de Cores**. São Paulo, agosto 1999. Disponível em: <<http://gbdi.icmc.sc.usp.br/documentacao/apostilas/cg/ap11.html>>. Acesso em: 08 abril 2002.

INSTITUTO DE FÍSICA UFRJ. **Luz e cor**. Rio de Janeiro, [2002?]. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/teaching/luz/cor.html>>. Acesso em: 08 abril 2002.

JACK, R.; MacDonald L; Freeman K. **Computer generated color: a practical guide to presentation and display**. New York: John Wiley & Sons, 1994.

LOSANO, Roberto Daniel. **El color y su medicion**. Buenos Aires: Editorial Américalee, 1978.

MCDONALD, Roderick. **Color physics for industry**. Bradford: Society of Dyers and Colourists, 1987.

MEYER, Bruno; ZOLLINGER, H.R. **Colorimetria** .[S.L.]: Clariant, 1998.

MINOLTA CORPORATION. **Spectramatch**. Ransey, [2002]. Disponível em: <<http://www.minolta.europe.com>>. Acesso em: 08 abril 2002.

PAGE-JONES, Meilir. **Fundamentos do desenho orientado a objeto com UML**. São Paulo: Makron Books, 2001.

PAUL, Bourke. **RGB colour space**. Victoria, maio 1995. Disponível em: <<http://astronomy.swin.edu.au/~pbourke/colour/colourspace/>>. Acesso em: 08 abril 2002.

SOWIRAL, Henry; RUSHFORTH, Kevin; DEERING, Michael. **The Java 3D API specification** . Boston: Addison-Wesley , 2000.

SUN MICROSYSTEMS. **Java 3D API**. Santa Clara, [1995]. Disponível em: <http://java.sun.com/products/java-media/3d>. Acesso em: 08 abril 2002.

WEINMAN, Lynda. *Desing gráfico na web* . São Paulo: Quark Books , 1998.

WINBLAD, Ann; EDWARDS, Samuel D., KING, David R. **Software orientado ao objeto**. São Paulo: Makron Books, 1993.

X-RITE INCORPORATED. *Colorimetric*. Grand Ville, [2002]. Disponível em: <http://www.xrite.com>>. Acesso em: 08 abril 2002.

ANEXO 1

Segue abaixo tabela com os valores de $E_{\lambda}^*x_{\lambda}$, $E_{\lambda}^*y_{\lambda}$ e $E_{\lambda}^*z_{\lambda}$ para os iluminantes: A, C, D65 e TL84; segundo o observador padrão CIE 1964, retirado da obra de McDonald (1987).

<i>Illuminant A</i>			
400	0.0341	0.0028	0.1393
420	0.7924	0.0807	3.7800
440	1.8956	0.3049	9.7345
460	1.9781	0.8593	11.5226
480	0.7178	2.1351	6.7697
500	0.0368	4.8855	2.2987
520	1.5225	9.6529	0.7469
540	5.6742	14.4638	0.2005
560	12.4369	17.4842	0.0051
580	20.5461	17.5799	-0.0020
600	25.3716	14.9062	0.0000
620	21.5928	10.0811	0.0000
640	12.1586	5.0618	0.0000
660	4.6354	1.8191	0.0000
680	1.3936	0.5401	0.0000
700	0.3755	0.1426	0.0000
Total	111.1620	100.0000	35.1953
<i>Illuminant C</i>			
400	0.1429	0.0115	0.5807
420	3.5932	0.3731	17.1719
440	7.6627	1.2526	39.3550
460	6.3304	2.7321	36.7531
480	1.8374	5.3438	16.9791
500	0.0614	8.7516	4.1506
520	1.9576	12.5912	0.9236
540	6.5555	16.6155	0.2214
560	12.6177	17.7766	0.0042
580	16.9600	14.5823	-0.0022
600	17.1566	10.0792	0.0000
620	12.8331	5.9798	0.0000
640	6.5660	2.7302	0.0000
660	2.2910	0.8978	0.0000
680	0.6045	0.2341	0.0000
700	0.1277	0.0486	0.0000
Total	97.2977	100.0000	116.1374

<i>Illuminant D₆₅</i>			
400	0.2516	0.0236	1.0906
420	3.2317	0.3301	15.3824
440	6.6805	1.1069	34.3830
460	6.0964	2.6206	35.3562
480	1.7213	4.9378	15.8979
500	0.0589	8.6695	3.9972
520	2.1845	13.8473	1.0457
540	6.8093	17.3537	0.2373
560	12.1626	17.1539	0.0025
580	16.4686	14.1481	-0.0022
600	17.2340	10.1056	0.0000
620	12.8953	6.0212	0.0000
640	6.2267	2.5867	0.0000
660	2.1113	0.8268	0.0000
680	0.5736	0.2222	0.0000
700	0.1209	0.0460	0.0000
Total	94.8272	100.0000	107.3906
<i>Source: TL84</i>			
400	-0.0461	-0.0112	-0.2963
420	1.5506	0.1834	7.5982
440	6.0062	0.9472	30.6828
460	2.5775	0.9644	14.8026
480	0.8133	3.6086	8.5908
500	0.0316	3.2778	2.7320
520	-0.6801	-0.6157	-0.1727
540	17.7978	39.4158	0.3538
560	8.5749	16.7056	0.0901
580	9.7913	6.9700	-0.0134
600	22.2285	12.7295	0.0000
620	31.3897	14.9826	0.0000
640	1.9177	0.7193	0.0000
660	0.2442	0.0814	0.0000
680	0.0810	0.0312	0.0000
700	0.0258	0.0101	0.0000
Total	102.3039	100.0000	64.3679

ANEXO 2

Branco						
<i>antique_white</i>	250	235	215	0.9804	0.9216	0.8431
<i>azure</i>	240	255	255	0.9412	10.000	10.000
<i>bisque</i>	255	228	196	10.000	0.8941	0.7686
<i>blanched_almond</i>	255	235	205	10.000	0.9216	0.8039
<i>cornsilk</i>	255	248	220	10.000	0.9725	0.8627
<i>eggshell</i>	252	230	201	0.9900	0.9000	0.7900
<i>floral_white</i>	255	250	240	10.000	0.9804	0.9412
<i>gainsboro</i>	220	220	220	0.8627	0.8627	0.8627
<i>ghost_white</i>	248	248	255	0.9725	0.9725	10.000
<i>honeydew</i>	240	255	240	0.9412	10.000	0.9412
<i>ivory</i>	255	255	240	10.000	10.000	0.9412
<i>lavender</i>	230	230	250	0.9020	0.9020	0.9804
<i>lavender_blush</i>	255	240	245	10.000	0.9412	0.9608
<i>lemon_chiffon</i>	255	250	205	10.000	0.9804	0.8039
<i>linen</i>	250	240	230	0.9804	0.9412	0.9020
<i>mint_cream</i>	245	255	250	0.9608	10.000	0.9804
<i>misty_rose</i>	255	228	225	10.000	0.8941	0.8824
<i>moccasin</i>	255	228	181	10.000	0.8941	0.7098
<i>navajo_white</i>	255	222	173	10.000	0.8706	0.6784
<i>old_lace</i>	253	245	230	0.9922	0.9608	0.9020
<i>papaya_whip</i>	255	239	213	10.000	0.9373	0.8353
<i>peach_puff</i>	255	218	185	10.000	0.8549	0.7255
<i>seashell</i>	255	245	238	10.000	0.9608	0.9333
<i>snow</i>	255	250	250	10.000	0.9804	0.9804
<i>thistle</i>	216	191	216	0.8471	0.7490	0.8471
<i>titanium_white</i>	252	255	240	0.9900	10.000	0.9400
<i>wheat</i>	245	222	179	0.9608	0.8706	0.7020
<i>white</i>	255	255	255	10.000	10.000	10.000
<i>white_smoke</i>	245	245	245	0.9608	0.9608	0.9608
<i>zinc_white</i>	253	248	255	0.9900	0.9700	10.000
Cinza						
<i>cold_grey</i>	128	138	135	0.5000	0.5400	0.5300
<i>dim_grey</i>	105	105	105	0.4118	0.4118	0.4118
<i>grey</i>	192	192	192	0.7529	0.7529	0.7529
<i>light_grey</i>	211	211	211	0.8275	0.8275	0.8275
<i>slate_grey</i>	112	128	144	0.4392	0.5020	0.5647
<i>slate_grey_dark</i>	47	79	79	0.1843	0.3098	0.3098
<i>slate_grey_light</i>	119	136	153	0.4667	0.5333	0.6000
<i>warm_grey</i>	128	128	105	0.5000	0.5000	0.4100
Preto						
<i>black</i>	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000
<i>ivory_black</i>	41	36	33	0.1600	0.1400	0.1300
<i>lamp_black</i>	46	71	59	0.1800	0.2800	0.2300

Vermelho						
<i>alizarin_crimson</i>	227	38	54	0.8900	0.1500	0.2100
<i>brick</i>	156	102	31	0.6100	0.4000	0.1200
<i>cadmium_red_deep</i>	227	23	13	0.8900	0.0900	0.0500
<i>coral</i>	255	127	80	10.000	0.4980	0.3137
<i>coral_light</i>	240	128	128	0.9412	0.5020	0.5020
<i>deep_pink</i>	255	20	147	10.000	0.0784	0.5765
<i>english_red</i>	212	61	26	0.8300	0.2400	0.1000
<i>firebrick</i>	178	34	34	0.6980	0.1333	0.1333
<i>geranium_lake</i>	227	18	48	0.8900	0.0700	0.1900
<i>hot_pink</i>	255	105	180	10.000	0.4118	0.7059
<i>indian_red</i>	176	23	31	0.6900	0.0900	0.1200
<i>light_salmon</i>	255	160	122	10.000	0.6275	0.4784
<i>madder_lake_deep</i>	227	46	48	0.8900	0.1800	0.1900
<i>maroon</i>	176	48	96	0.6902	0.1882	0.3765
<i>pink</i>	255	192	203	10.000	0.7529	0.7961
<i>pink_light</i>	255	182	193	10.000	0.7137	0.7569
<i>raspberry</i>	135	38	87	0.5300	0.1500	0.3400
<i>red</i>	255	0	0	10.000	0.0000	0.0000
<i>rose_madder</i>	227	54	56	0.8900	0.2100	0.2200
<i>salmon</i>	250	128	114	0.9804	0.5020	0.4471
<i>tomato</i>	255	99	71	10.000	0.3882	0.2784
<i>venetian_red</i>	212	26	31	0.8300	0.1000	0.1200
Marrom						
<i>beige</i>	163	148	128	0.6400	0.5800	0.5000
<i>brown</i>	128	42	42	0.5000	0.1647	0.1647
<i>brown_madder</i>	219	41	41	0.8600	0.1600	0.1600
<i>brown_ochre</i>	135	66	31	0.5300	0.2600	0.1200
<i>burlywood</i>	222	184	135	0.8706	0.7216	0.5294
<i>burnt_sienna</i>	138	54	15	0.5400	0.2100	0.0600
<i>burnt_umber</i>	138	51	36	0.5400	0.2000	0.1400
<i>chocolate</i>	210	105	30	0.8235	0.4118	0.1176
<i>deep_ochre</i>	115	61	26	0.4500	0.2400	0.1000
<i>flesh</i>	255	125	64	10.000	0.4900	0.2500
<i>flesh_ochre</i>	255	87	33	10.000	0.3400	0.1300
<i>gold_ochre</i>	199	120	38	0.7800	0.4700	0.1500
<i>greenish_umber</i>	255	61	13	10.000	0.2400	0.0500
<i>khaki</i>	240	230	140	0.9412	0.9020	0.5490
<i>khaki_dark</i>	189	183	107	0.7412	0.7176	0.4196
<i>light_beige</i>	245	245	220	0.9608	0.9608	0.8627
<i>peru</i>	205	133	63	0.8039	0.5216	0.2471
<i>rosy_brown</i>	188	143	143	0.7373	0.5608	0.5608
<i>raw_sienna</i>	199	97	20	0.7800	0.3800	0.0800
<i>raw_umber</i>	115	74	18	0.4500	0.2900	0.0700
<i>sepia</i>	94	38	18	0.3700	0.1500	0.0700
<i>sienna</i>	160	82	45	0.6275	0.3216	0.1765
<i>saddle_brown</i>	139	69	19	0.5451	0.2706	0.0745
<i>sandy_brown</i>	244	164	96	0.9569	0.6431	0.3765
<i>tan</i>	210	180	140	0.8235	0.7059	0.5490
<i>van_dyke_brown</i>	94	38	5	0.3700	0.1500	0.0200

Laranja						
<i>cadmium_orange</i>	255	97	3	10.000	0.3800	0.0100
<i>cadmium_red_light</i>	255	3	13	10.000	0.0100	0.0500
<i>carrot</i>	237	145	33	0.9300	0.5700	0.1300
<i>dark_orange</i>	255	140	0	10.000	0.5490	0.0000
<i>mars_orange</i>	150	69	20	0.5900	0.2700	0.0800
<i>mars_yellow</i>	227	112	26	0.8900	0.4400	0.1000
<i>orange</i>	255	128	0	10.000	0.5000	0.0000
<i>orange_red</i>	255	69	0	10.000	0.2706	0.0000
<i>yellow_ochre</i>	227	130	23	0.8900	0.5100	0.0900
Amarelo						
<i>aureoline_yellow</i>	255	168	36	10.000	0.6600	0.1400
<i>banana</i>	227	207	87	0.8900	0.8100	0.3400
<i>cadmium_lemon</i>	255	227	3	10.000	0.8900	0.0100
<i>cadmium_yellow</i>	255	153	18	10.000	0.6000	0.0700
<i>gold</i>	255	215	0	10.000	0.8431	0.0000
<i>goldenrod</i>	218	165	32	0.8549	0.6471	0.1255
<i>goldenrod_dark</i>	184	134	11	0.7216	0.5255	0.0431
<i>goldenrod_light</i>	250	250	210	0.9804	0.9804	0.8235
<i>goldenrod_pale</i>	238	232	170	0.9333	0.9098	0.6667
<i>light_goldenrod</i>	238	221	130	0.9333	0.8667	0.5098
<i>melon</i>	227	168	105	0.8900	0.6600	0.4100
<i>naplesyellowdeep</i>	255	168	18	10.000	0.6600	0.0700
<i>yellow</i>	255	255	0	10.000	10.000	0.0000
<i>yellow_light</i>	255	255	224	10.000	10.000	0.8784
Verde						
<i>chartreuse</i>	127	255	0	0.4980	10.000	0.0000
<i>chromeoxiddegreen</i>	102	128	20	0.4000	0.5000	0.0800
<i>cinnabar_green</i>	97	179	41	0.3800	0.7000	0.1600
<i>cobalt_green</i>	61	145	64	0.2400	0.5700	0.2500
<i>emerald_green</i>	0	201	87	0.0000	0.7900	0.3400
<i>forest_green</i>	34	139	34	0.1333	0.5451	0.1333
<i>green</i>	0	255	0	0.0000	10.000	0.0000
<i>green_dark</i>	0	100	0	0.0000	0.3922	0.0000
<i>green_pale</i>	152	251	152	0.5961	0.9843	0.5961
<i>green_yellow</i>	173	255	47	0.6784	10.000	0.1843
<i>lawn_green</i>	124	252	0	0.4863	0.9882	0.0000
<i>lime_green</i>	50	205	50	0.1961	0.8039	0.1961
<i>mint</i>	189	252	201	0.7400	0.9900	0.7900
<i>olive</i>	59	94	43	0.2300	0.3700	0.1700
<i>olive_drab</i>	107	142	35	0.4196	0.5569	0.1373
<i>olive_green_dark</i>	85	107	47	0.3333	0.4196	0.1843
<i>permanent_green</i>	10	201	43	0.0400	0.7900	0.1700
<i>sap_green</i>	48	128	20	0.1900	0.5000	0.0800
<i>sea_green</i>	46	139	87	0.1804	0.5451	0.3412
<i>sea_green_dark</i>	143	188	143	0.5608	0.7373	0.5608
<i>sea_green_medium</i>	60	179	113	0.2353	0.7020	0.4431
<i>sea_green_light</i>	32	178	170	0.1255	0.6980	0.6667
<i>spring_green</i>	0	255	127	0.0000	10.000	0.4980
<i>spring_greenmedium</i>	0	250	154	0.0000	0.9804	0.6039

<i>terre_verte</i>	56	94	15	0.2200	0.3700	0.0600
<i>viridian_light</i>	110	255	112	0.4300	10.000	0.4400
<i>yellow_green</i>	154	205	50	0.6039	0.8039	0.1961
Cyano						
<i>aquamarine</i>	127	255	212	0.4980	10.000	0.8314
<i>aquamarinemedium</i>	102	205	170	0.4000	0.8039	0.6667
<i>cyan</i>	0	255	255	0.0000	10.000	10.000
<i>cyan_white</i>	224	255	255	0.8784	10.000	10.000
<i>turquoise</i>	64	224	208	0.2510	0.8784	0.8157
<i>turquoise_dark</i>	0	206	209	0.0000	0.8078	0.8196
<i>turquoise_medium</i>	72	209	204	0.2824	0.8196	0.8000
<i>turquoise_pale</i>	175	238	238	0.6863	0.9333	0.9333
Azul						
<i>alice_blue</i>	240	248	255	0.9412	0.9725	10.000
<i>blue</i>	0	0	255	0.0000	0.0000	10.000
<i>blue_light</i>	173	216	230	0.6784	0.8471	0.9020
<i>blue_medium</i>	0	0	205	0.0000	0.0000	0.8039
<i>cadet</i>	95	158	160	0.3725	0.6196	0.6275
<i>cobalt</i>	61	89	171	0.2400	0.3500	0.6700
<i>cornflower</i>	100	149	237	0.3922	0.5843	0.9294
<i>cerulean</i>	5	184	204	0.0200	0.7200	0.8000
<i>dodger_blue</i>	30	144	255	0.1176	0.5647	10.000
<i>indigo</i>	8	46	84	0.0300	0.1800	0.3300
<i>manganese_blue</i>	3	168	158	0.0100	0.6600	0.6200
<i>midnight_blue</i>	25	25	112	0.0980	0.0980	0.4392
<i>navy</i>	0	0	128	0.0000	0.0000	0.5020
<i>peacock</i>	51	161	201	0.2000	0.6300	0.7900
<i>powder_blue</i>	176	224	230	0.6902	0.8784	0.9020
<i>royal_blue</i>	65	105	225	0.2549	0.4118	0.8824
<i>slate_blue</i>	106	90	205	0.4157	0.3529	0.8039
<i>slate_blue_dark</i>	72	61	139	0.2824	0.2392	0.5451
<i>slate_blue_light</i>	132	112	255	0.5176	0.4392	10.000
<i>slate_blue_medium</i>	123	104	238	0.4824	0.4078	0.9333
<i>sky_blue</i>	135	206	235	0.5294	0.8078	0.9216
<i>sky_blue_deep</i>	0	191	255	0.0000	0.7490	10.000
<i>sky_blue_light</i>	135	206	250	0.5294	0.8078	0.9804
<i>steel_blue</i>	70	130	180	0.2745	0.5098	0.7059
<i>steel_blue_light</i>	176	196	222	0.6902	0.7686	0.8706
<i>turquoise_blue</i>	0	199	140	0.0000	0.7800	0.5500
<i>ultramarine</i>	18	10	143	0.0700	0.0400	0.5600
Magenta						
<i>blue_violet</i>	138	43	226	0.5412	0.1686	0.8863
<i>cobalt_violetdeep</i>	145	33	158	0.5700	0.1300	0.6200
<i>magenta</i>	255	0	255	10.000	0.0000	10.000
<i>orchid</i>	218	112	214	0.8549	0.4392	0.8392
<i>orchid_dark</i>	153	50	204	0.6000	0.1961	0.8000
<i>orchid_medium</i>	186	85	211	0.7294	0.3333	0.8275
<i>permanent_violet</i>	219	38	69	0.8600	0.1500	0.2700
<i>plum</i>	221	160	221	0.8667	0.6275	0.8667
<i>purple</i>	160	32	240	0.6275	0.1255	0.9412

<i>purple_medium</i>	147	112	219	0.5765	0.4392	0.8588
<i>ultramarine_violet</i>	92	36	110	0.3600	0.1400	0.4300
<i>violet</i>	143	94	153	0.5600	0.3700	0.6000
<i>violet_dark</i>	148	0	211	0.5804	0.0000	0.8275
<i>violet_red</i>	208	32	144	0.8157	0.1255	0.5647
<i>violet_redmedium</i>	199	21	133	0.7804	0.0824	0.5216
<i>violet_red_pale</i>	219	112	147	0.8588	0.4392	0.5765

ANEXO 3

Exemplo do formato de um arquivo de dados exportado pelo software Hélios.

```
"TESTE",10,"PADRÃO ADN 14/12/98","24/04/2002",,4,0.0536,0.0536,0.0536,
0.0536,0.0536,0.0581,0.0608,0.0604,0.0586,0.0565,0.0543,0.0515,0.0481,
0.0463,0.0451,0.0418,0.0370,0.0326,0.0290,0.0262,0.0243,0.0227,0.0217,
0.0211,0.0210,0.0211,0.0216,0.0232,0.0266,0.0332,0.0473,0.0736,0.1139,
0.1687,0.2381,0.2381,0.2381,0.2381,0.2381,0.2381,0.2381,1,-2,-1,-1,-1,-1,-1,
-1,""
"TESTE",11,"PADRÃO Y05 9/05/00","24/04/2002",,4,0.0708,0.0708,0.0708,
0.0708,0.0708,0.0632,0.0611,0.0639,0.0709,0.0806,0.0956,0.1173,0.1480,
0.1894,0.2441,0.3178,0.4020,0.4919,0.5821,0.6688,0.7420,0.7862,0.8146,
0.8352,0.8485,0.8571,0.8629,0.8693,0.8747,0.8786,0.8812,0.8819,0.8833,
0.8872,0.8954,0.8954,0.8954,0.8954,0.8954,0.8954,0.8954,1,-2,-1,-1,-1,-1,-1,
-1,""
```

Exemplo de um aparelho espectrofotômetro da marca HunterLab.

ULTRASCAN™ XE

Spectrophotometer

Color Matching
Batch Correction
QA/QC Color
Measurement

DP INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS

DP INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS LTDA.
Rua Dr. Pinto Ferraz, 131 • Vila Marlana
São Paulo-SP • Brasil • CEP 04117-040
Fones: (011) 574-5866 / FAX: (011) 571-8335
email: dpinst@diadata.com.br

Automated Color Measurement

ANEXO 4

Detalhamento do código do método `criaRGB` que realiza a transformação de dados do modelo XYZ em valores do modelo RGB.

```
/**método de calculo para determinar os valores para RGB a partir de XYZ
 */
public static final Dados[] calcRGB(Dados dados[]) {

    int aux = dados.length;
    double X =0;double Y=0;double Z=0;
    for ( int i=0; i < aux;i++) {//até o final da qde de amostras
        //matriz de transformação
        double[] mat1 = {3.240479,-1.53715,-0.498535};
        double[] mat2 = {-0.969256,1.875992,0.041556};
        double[] mat3 = {0.055648,-0.204043,1.057311};
        X = dados[i].obterX();
        Y = dados[i].obterY();
        Z = dados[i].obterZ();

        double[] matxyz = new double[3];
        matxyz[0] = X;
        matxyz[1] = Y;
        matxyz[2] = Z;
        double R,G,B;
        R = 0;G = 0; B = 0;//transformação para R
        for (int j=0;j<3;j++) R = R + (mat1[j]*matxyz[j]);
        dados[i].setR(R);
        //transformação para G
        for (int j=0;j<3;j++) G = G + (mat2[j]*matxyz[j]);
        dados[i].setG(G);
        //transformação para B
        for (int j=0;j<3;j++) B = B + (mat3[j]*matxyz[j]);
        dados[i].setB(B);

    }
    return dados;
}
}
```