

Fundamentos de Cor

Prof. Antonio L. Apolinário Junior
Estagiária Docente: Rafaela Alcantara

UFBA/IM/DCC/BCC - 2018.1

Roteiro

- Diferentes abordagens para cor:
 - Sensorial
 - Físico
- Modelos
 - Matemático
 - Representação
 - Implementação

Leitura de referencia

- Capítulo 28

Computer Graphics : Principles and Practice

John F. Hughes / Andries van Dam
Morgan McGuire / David F. Sklar
James D. Foley / Steven K. Feiner
Addison-Wesley. 3rd edition. 2013.



- Capítulo 6

Processamento Digital de Imagens

GONZALEZ & WOODS
PEARSON. 3a. edição. 2010.



Diferentes abordagens

Diferentes Abordagens

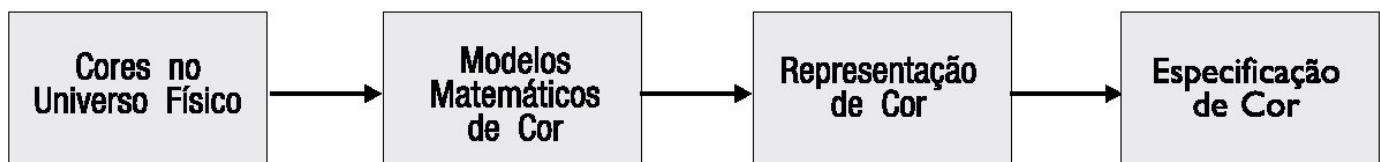
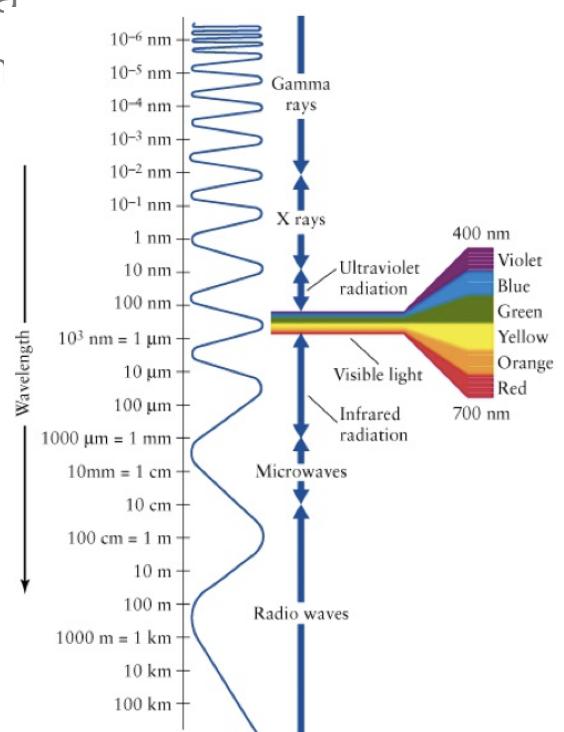
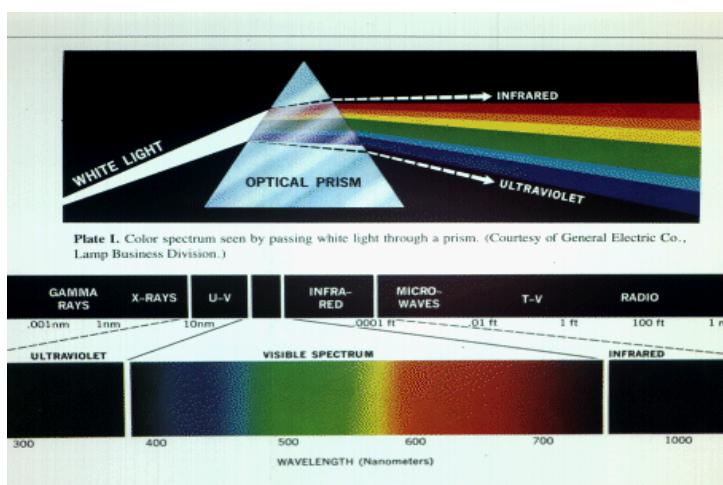


Figura 5.1 Paradigmas no estudo de cor.

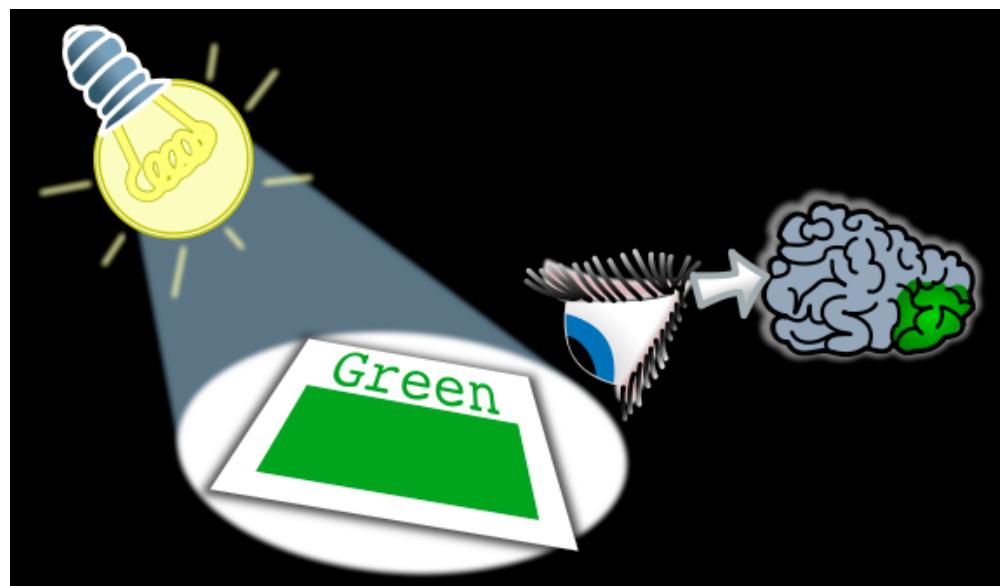
Cor - Fenômeno Físico

- Luz é uma onda eletromagnética
 - Diversos comprimentos de onda
 - Apenas alguns visíveis



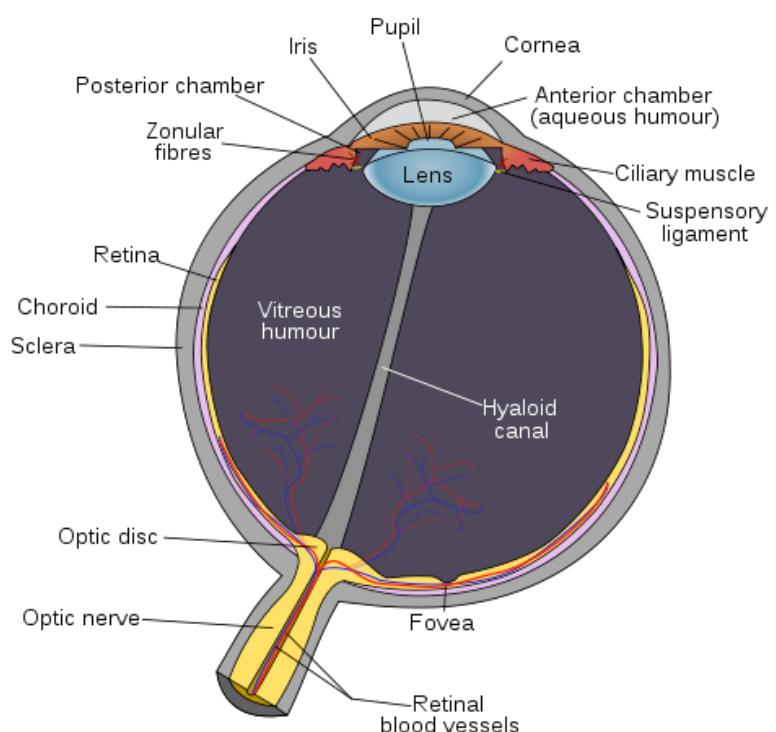
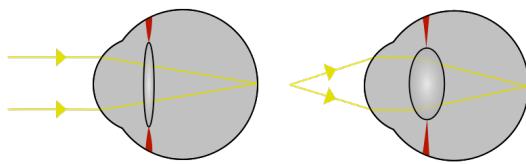
Cor – Interpretação Sensorial

- A sensação visual de cor depende do sistema visual humano



Cor – Interpretação Sensorial

- Sistema visual humano:
 - Córnea
 - Pupila
 - Íris
 - Cristalino (lentes)
 - Retina
 - Fóvea
 - Nervo Óptico



Cor – Interpretação Sensorial

- No tecido da retina encontram-se as células responsáveis pela detecção de luz e cor:
 - Bastonetes
 - Cones

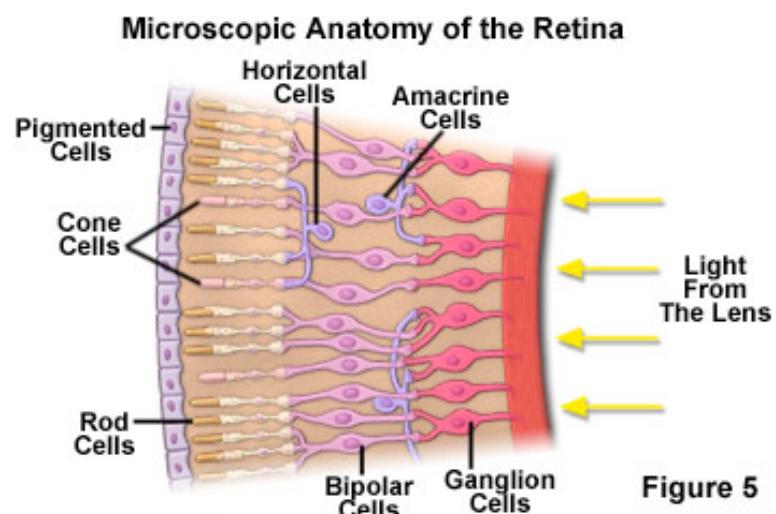
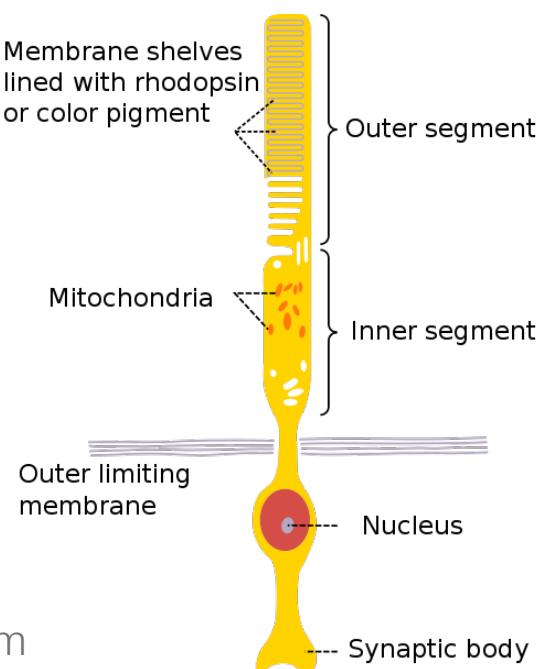


Figure 5

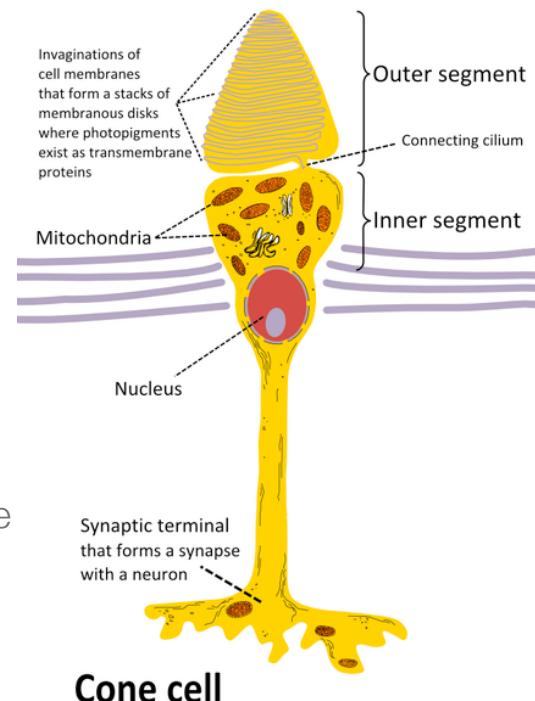
Cor – Interpretação Sensorial

- Bastonetes
 - Formato cilíndrico
 - Em média 92 milhões de células na retina
 - Concentram-se nas regiões externas da retina
 - responsável pela visão periférica
 - Respondem a intensidade mais baixa de luz
 - visão noturna
 - Pico de sensibilidade em 498 nm



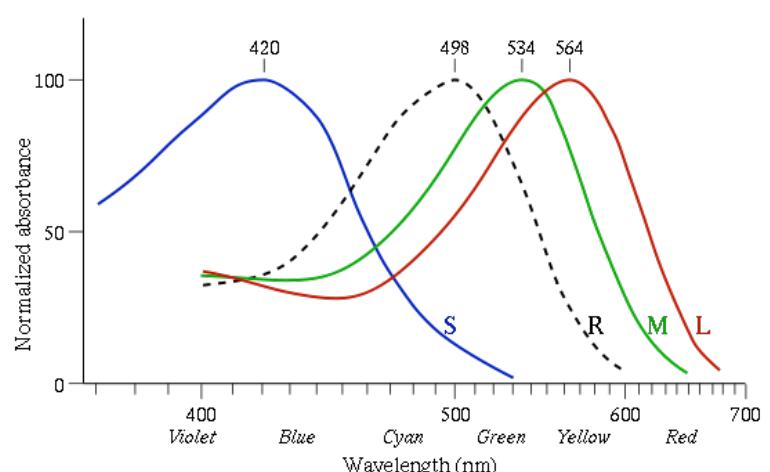
Cor – Interpretação Sensorial

- Cones:
 - Formato de cone
 - Em média 4.5 milhões de células
 - Concentram-se na região da fóvea
 - Tornam-se mais esparsos na região externa da retina
 - Menos sensíveis a luz que os bastonetes
 - Permitem a percepção de cor
 - Percebem mais detalhes finos
 - Respondem mais rápido a estímulos que os bastonetes
 - Mudanças na imagem



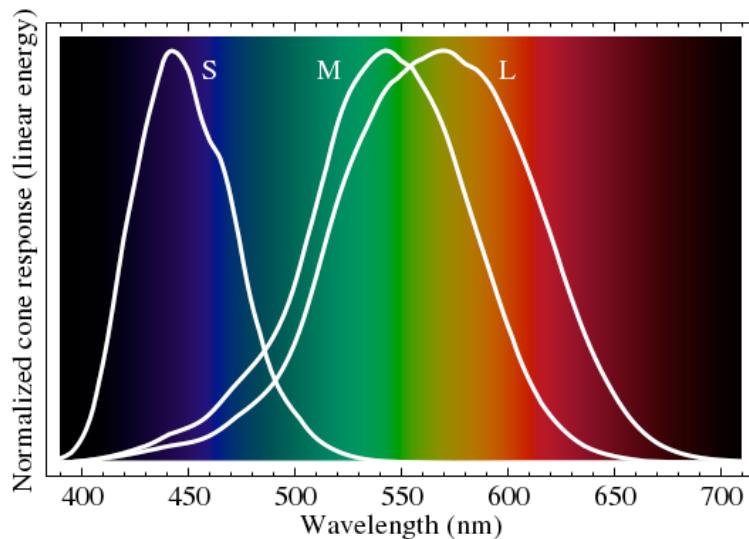
Cor – Interpretação Sensorial

- Cones:
 - Possuem 3 tipos:
 - L
 - Comprimentos de onda longos (564–580 nm)
 - Vermelho
 - M
 - Comprimento de onda médios (534–545 nm)
 - Verde
 - S
 - Comprimentos de onda curtos (420–440 nm)
 - Azul



Cor – Interpretação Sensorial

- Visão Tricomática:
 - Cores são percebidas como a combinação dos estímulos dos 3 diferentes tipos de cones



Cor – Interpretação Sensorial

- Resumindo
 - Cores - 3 tipos de cones
 - Luminosidade e visão periférica - bastonetes

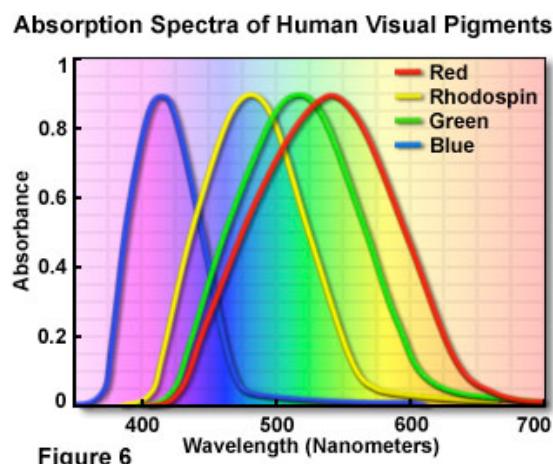
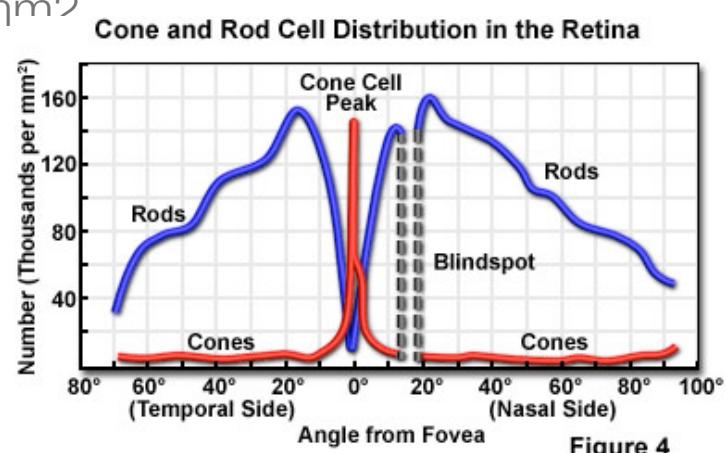


Figure 6

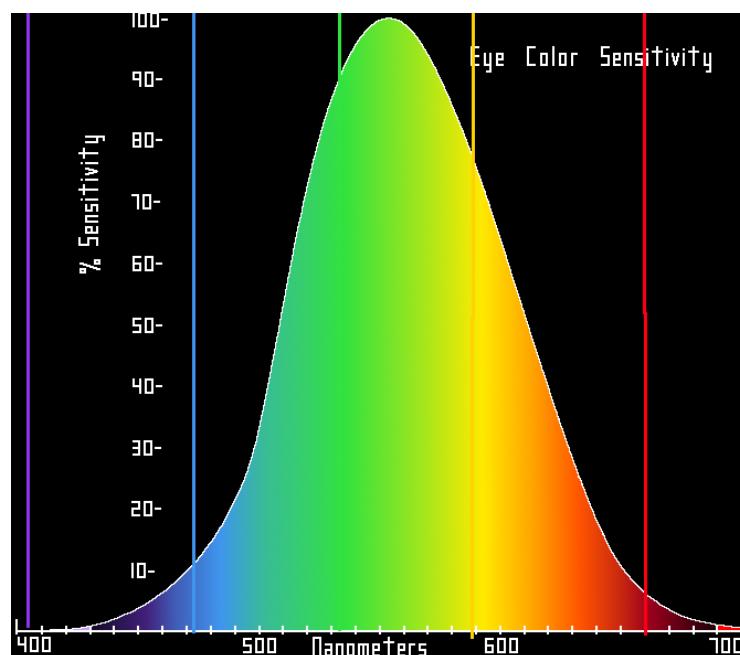
Cor – Interpretação Sensorial

- Diferente distribuição de células na retina:
 - Área periférica predominam os bastonetes
 - $\pm 30K$ bastonetes por mm^2
 - Fóvea tem predomínio de cones
 - $\pm 150K$ cones por mm^2



Cor – Interpretação Sensorial

- Sensibilidade do olho é mais alta na faixa central do espectro visível



Modelo Matemático

Cor – Modelo Matemático

- Descrição matemática de uma cor é dada por uma função que associa a cada comprimento de onda (λ) uma intensidade (energia).
- $C = \int C(\lambda) d\lambda$

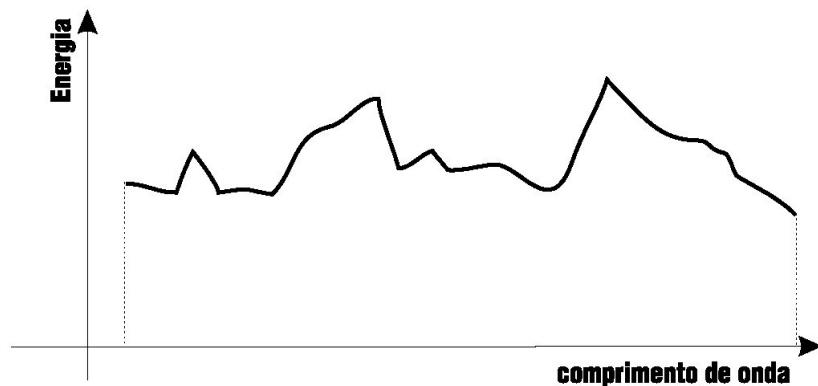
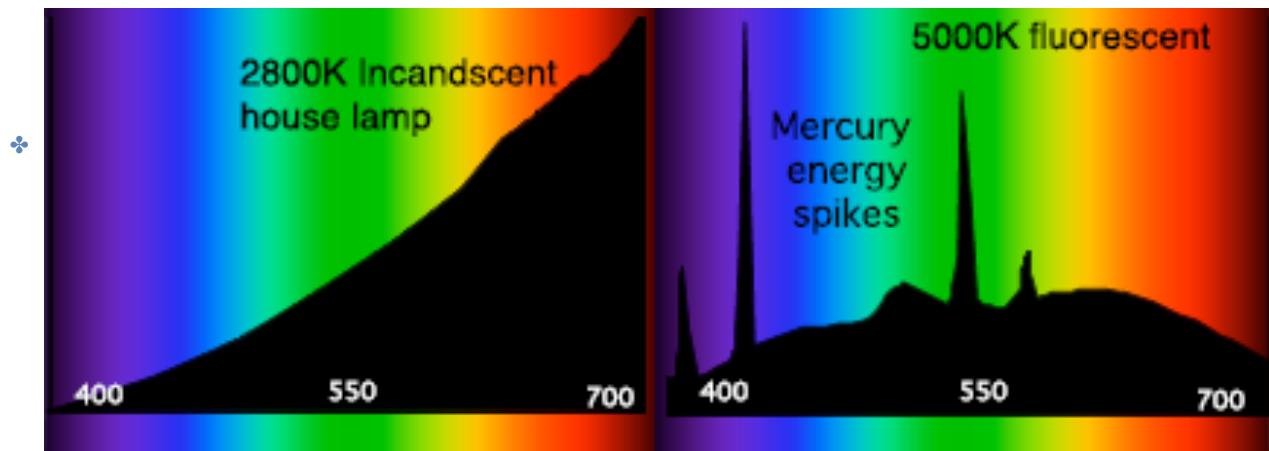


Figura 5.2 Função de distribuição espectral.

Cor – Modelo Matemático

- Função de Distribuição de Energia



Cor – Modelo Matemático

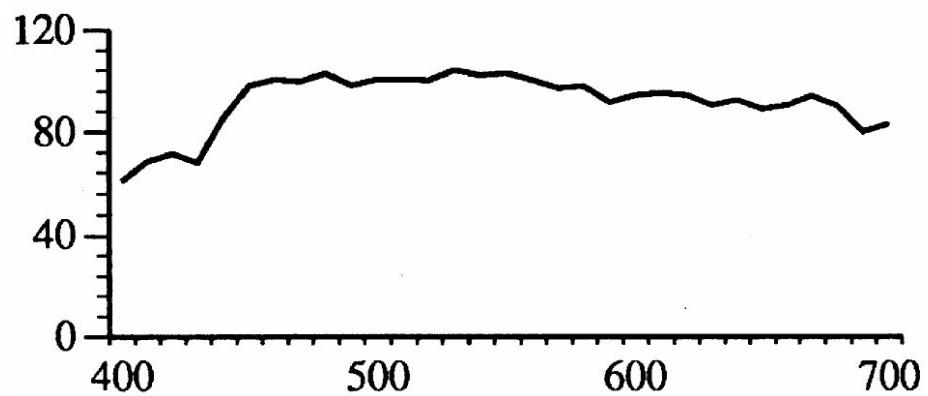


Figura 5.4 Distribuição espectral do branco solar.

Cor – Modelo Matemático

- Cor Pura
- Cor Branca

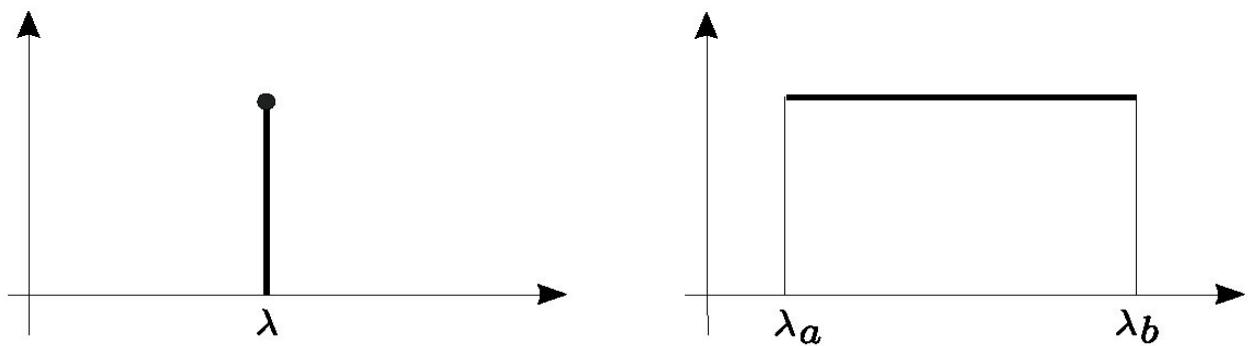


Figura 5.3 Cor espectral pura e cor branca.

Modelo de Representação

Cor – Modelo de Representação

- Amostragem da função de Distribuição espectral

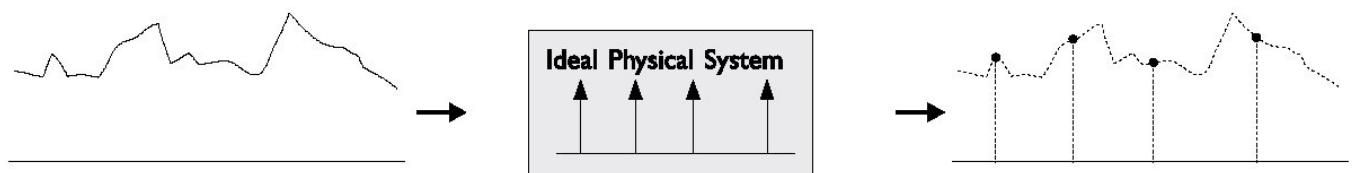


Figura 5.5 Amostragem de cor.

$$C_r(\lambda) = \sum_{k=1}^n c_k P_k(\lambda).$$

Cor – Modelo de Representação

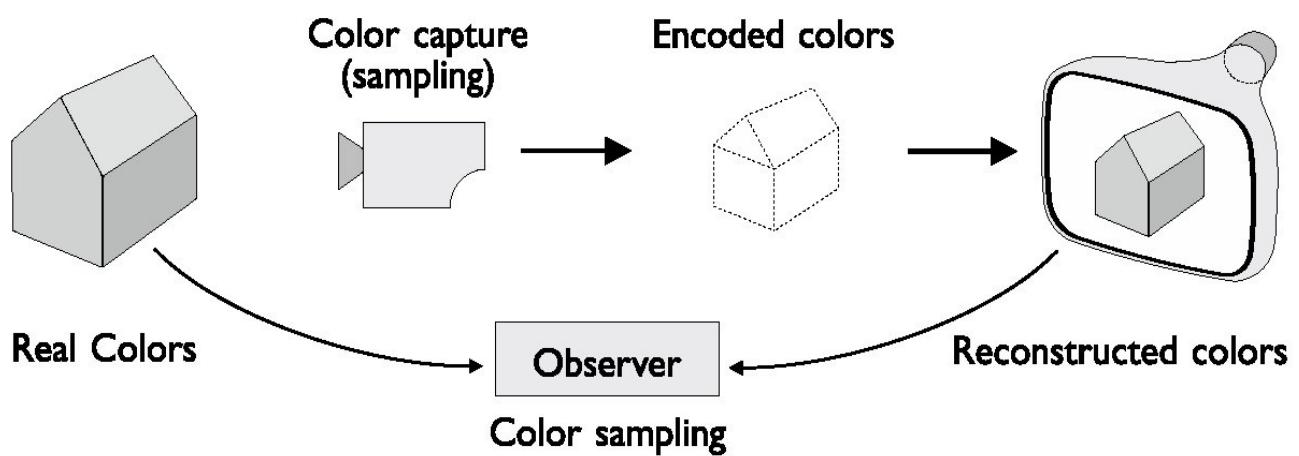
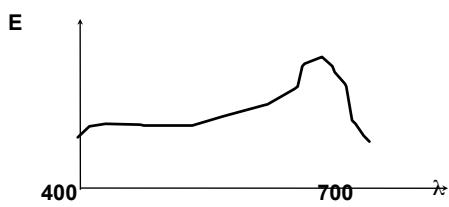
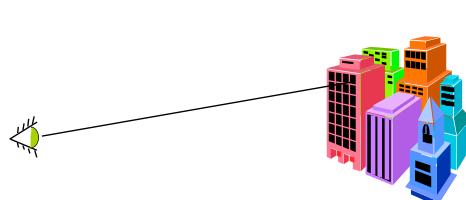


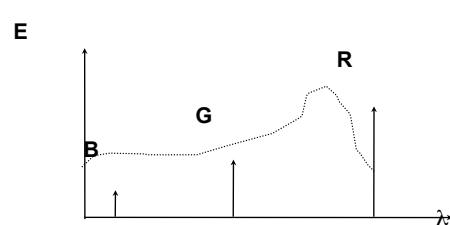
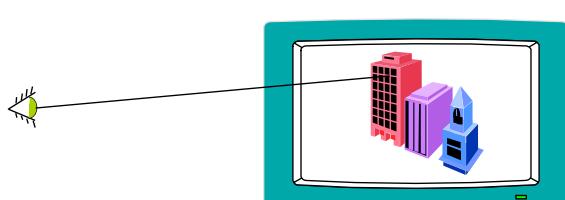
Figura 5.8 Amostragem e Reconstrução.

Cor – Modelo de Representação

Mundo Real



Espaço Virtual



Cor – Modelo de Representação

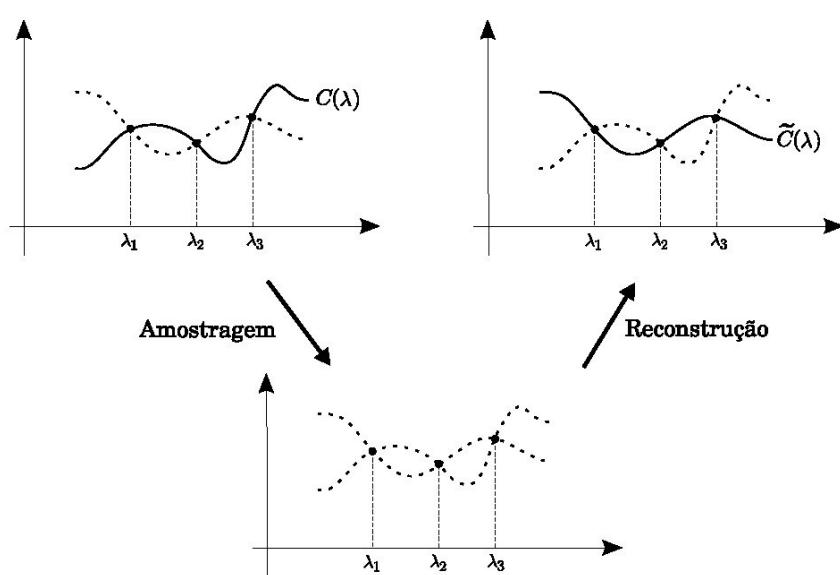
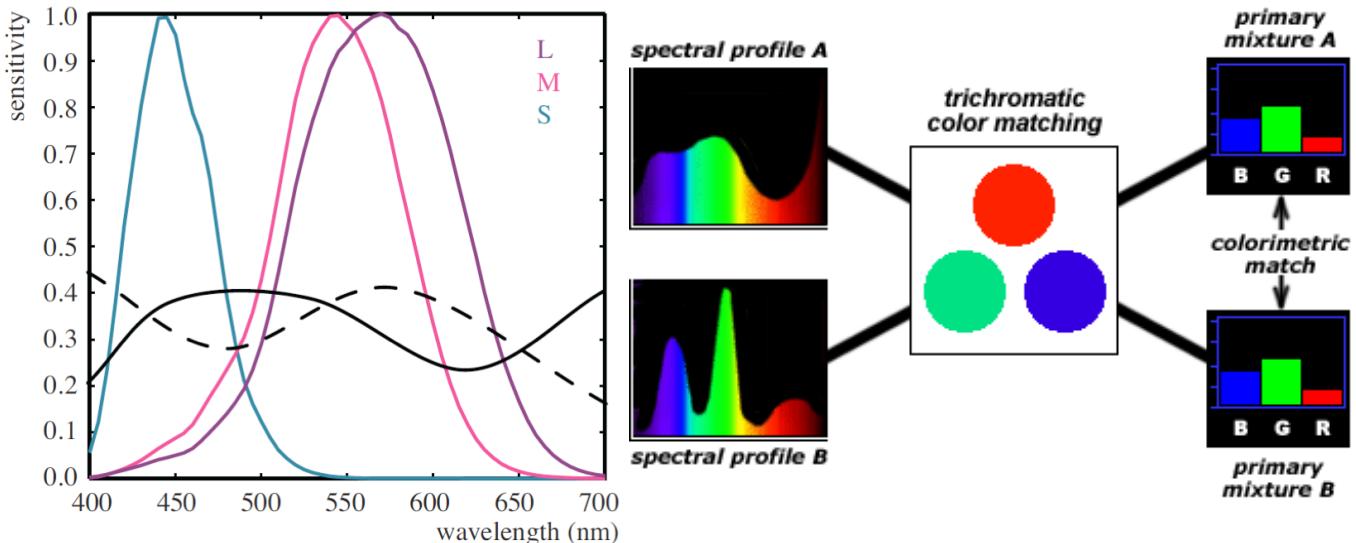


Figura 5.7 Reconstrução perceptualmente equivalente.

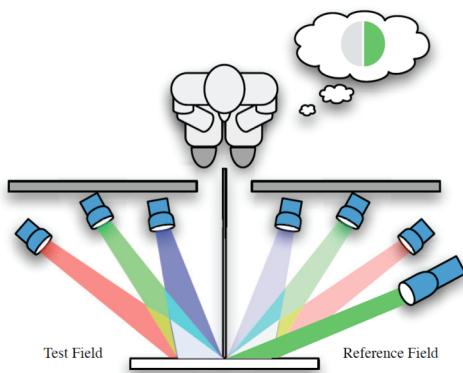
Cor – Modelo de Representação

- Metamerismo



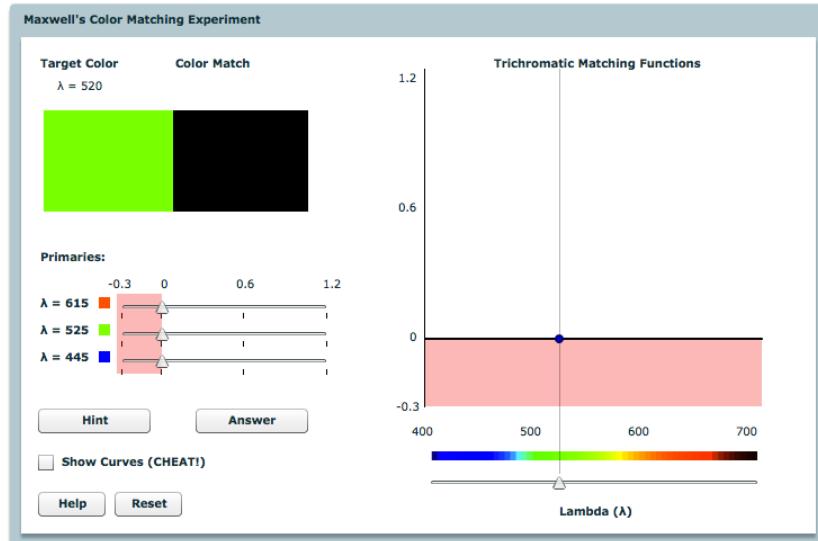
Cor – Modelo de Representação

- Experimento do casamento de cores (*Color Matching Experience*)
 - Dada uma cor qualquer, ajustar a intensidade das 3 cores primárias (RGB) de forma a obter aquela cor.
 - Mudança apenas da intensidade
 - O teste cobre todo o espectro de cores visíveis



Cor – Modelo de Representação

- Experimento do casamento de cores (Color Matching Experience)



• <http://courses.cs.washington.edu/courses/cse131/12sp/applets/colormatching.html>

Cor – Modelo de Representação

- Experimento do casamento de cores (Color Matching Experience)
 - Nem todas as cores podem ser geradas assim.
 - Adicionar uma das cores a cor de teste
 - Controlar as duas cores restantes
 - Nesses casos a quantidade da cor adicionada é considerado um valor negativo.

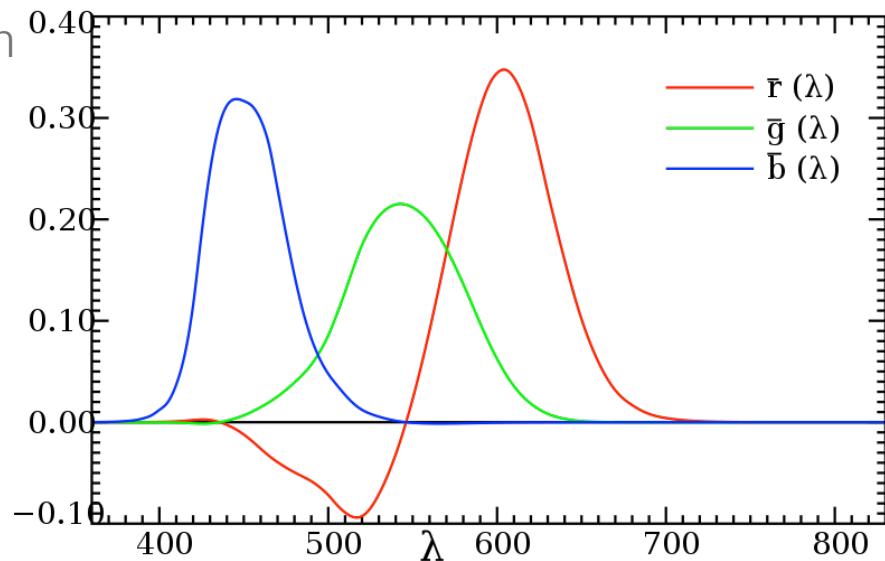
Cor – Modelo de Representação

- Sistema CIE-RGB

- $r = 435.8 \text{ nm}$

- $b = 546.1 \text{ nm}$

- $g = 700 \text{ nm}$



Cor – Modelo de Representação

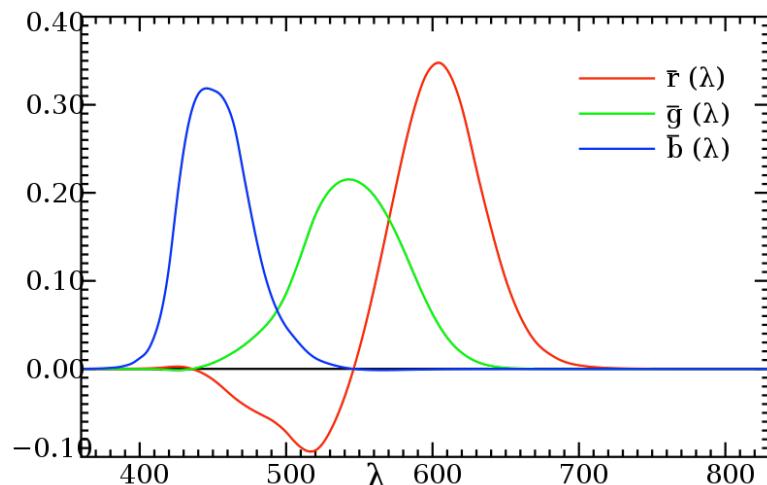
- Sistema CIE-RGB

- Uma cor é definida pela composição das distribuições dadas por r, g, b

$$R = \int_{\lambda} \Phi(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda$$

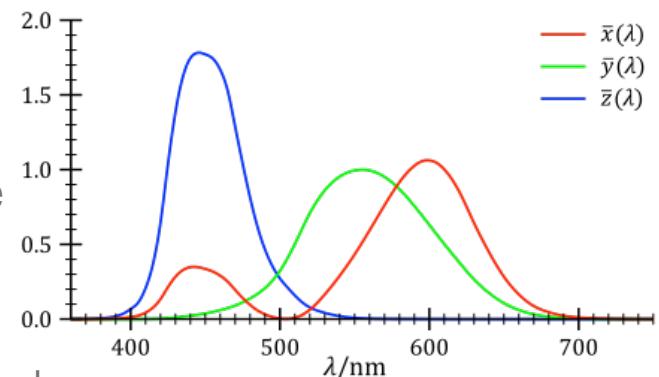
$$G = \int_{\lambda} \Phi(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda$$

$$B = \int_{\lambda} \Phi(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda$$



Cor – Modelo de Representação

- Sistema CIE-XYZ
- Transformação linear do CIE-RGB que elimina valores negativos
- Representação a partir de cores “imaginárias”
- Não é possível reproduzir o experimento de casamento de cores.



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{b_{21}} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \frac{1}{0.17697} \begin{bmatrix} 0.49 & 0.31 & 0.20 \\ 0.17697 & 0.81240 & 0.01063 \\ 0.00 & 0.01 & 0.99 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

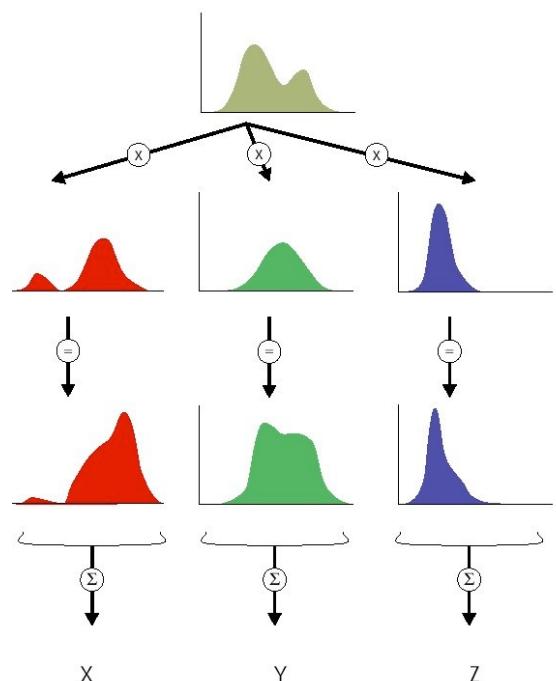
Cor – Modelo de Representação

- CIE-XYZ
 - Y - Luminância
 - X,Z - informação cromática

$$X = \int_{\lambda} \Phi(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

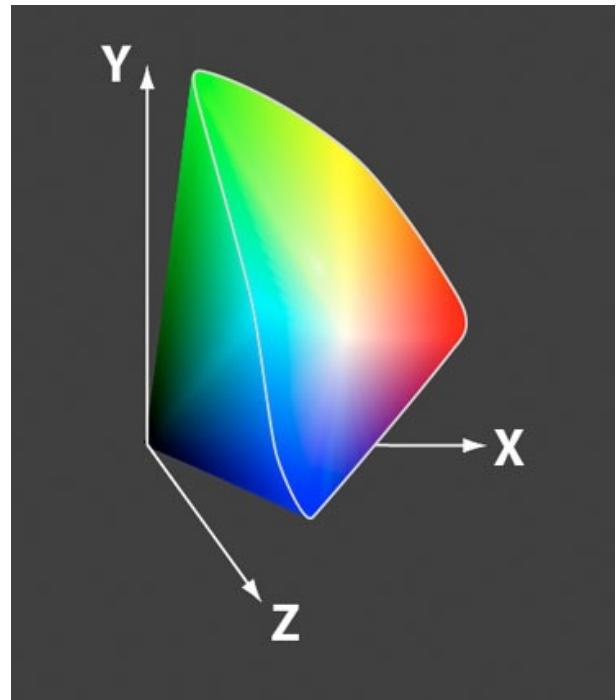
$$Y = \int_{\lambda} \Phi(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_{\lambda} \Phi(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$



Cor – Modelo de Representação

- Diagrama de cromaticidade CIE XYZ



Cor – Modelo de Representação

- Diagrama de cromaticidade CIE xyY
 - Normalização das coordenadas XYZ

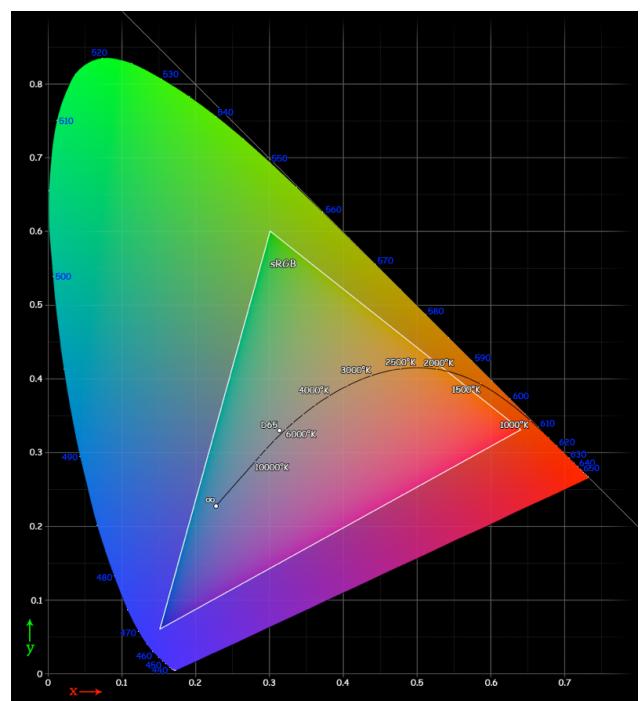
$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

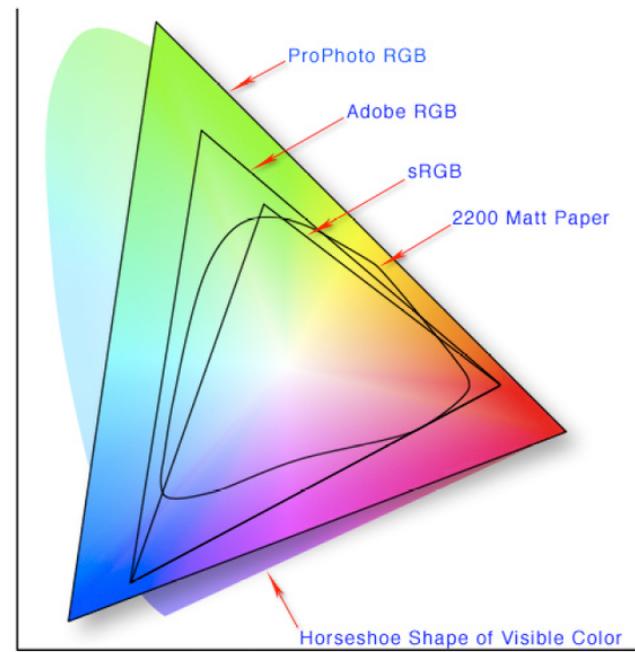
$$x + y + z = 1$$

$$X = \frac{x}{y} Y, y = Y, Z = \frac{z}{y} Y \Rightarrow (X, Y, Z) = Y \left(\frac{x}{y}, 1, \frac{1-x-y}{y} \right)$$



Cor – Modelo de Representação

- CIE-xyY
 - Outros sistemas
 - gamuts diferentes



Sistemas de Cores

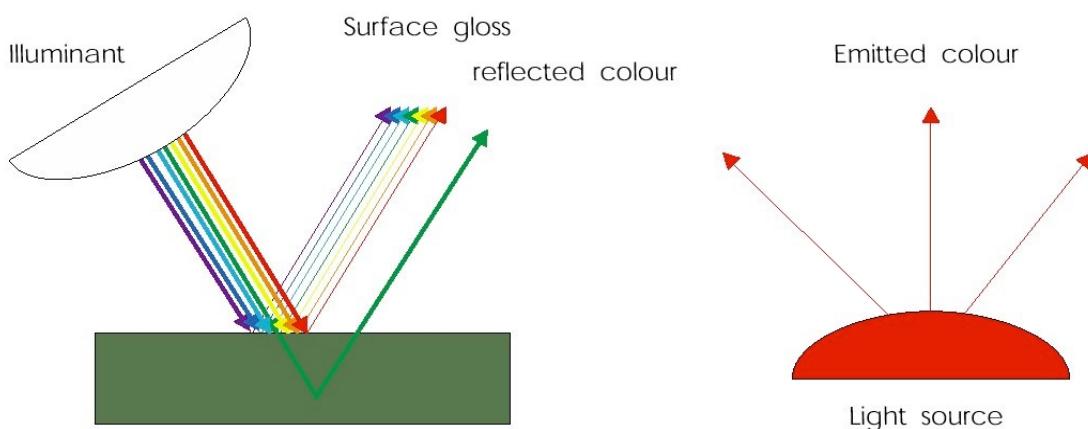
Sistemas de Cores

- Dispositivos
- Padrões
 - *Munsel*
 - *Pantone*
- Computacional
- Interface



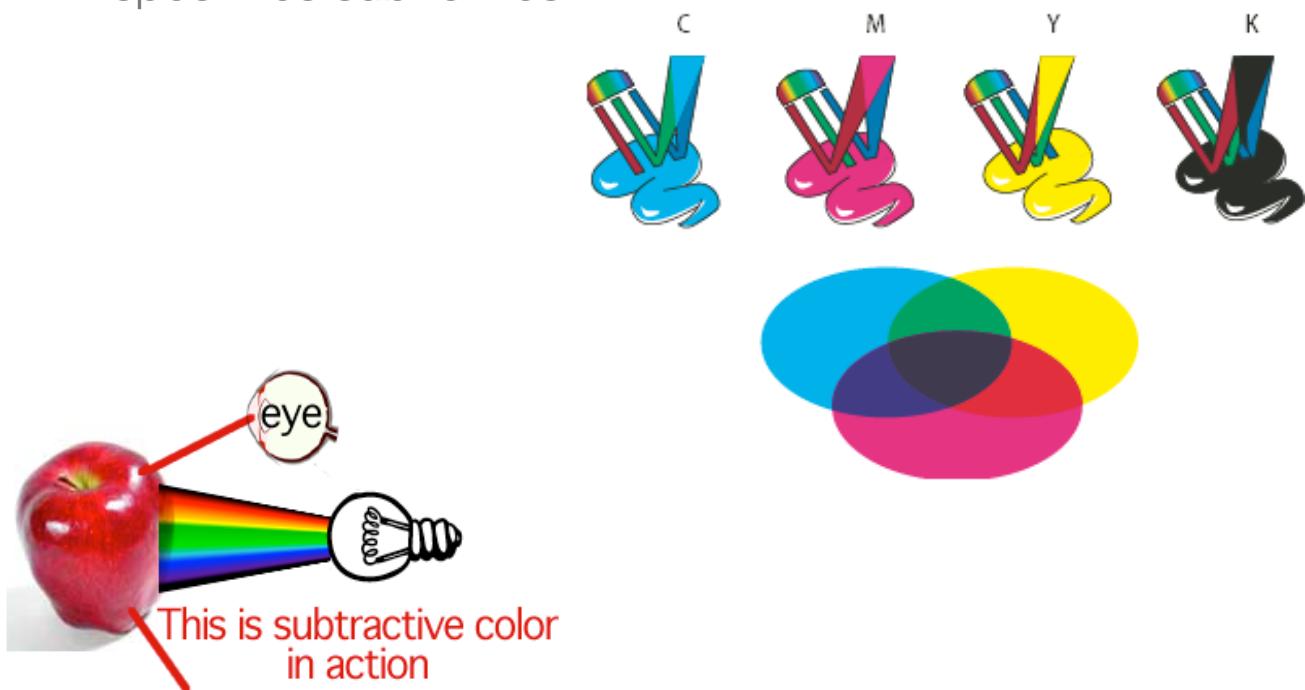
Sistemas de Cores

- Dispositivos
 - Subtrativos ou Refletores



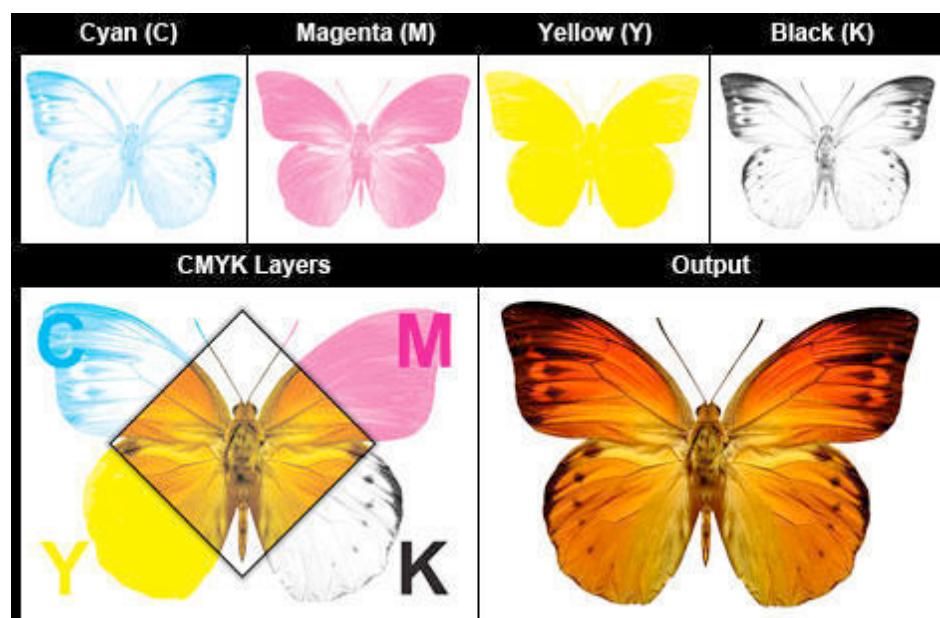
Sistemas de Cores

- Dispositivos subtrativos



Sistemas de Cores

- Impressão baseada em pigmentos



Sistemas de Cores

- Impressão baseadas em pigmentos



CYAN



MAGENTA



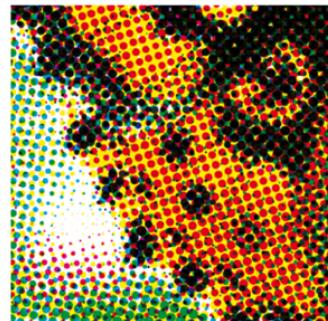
YELLOW



BLACK



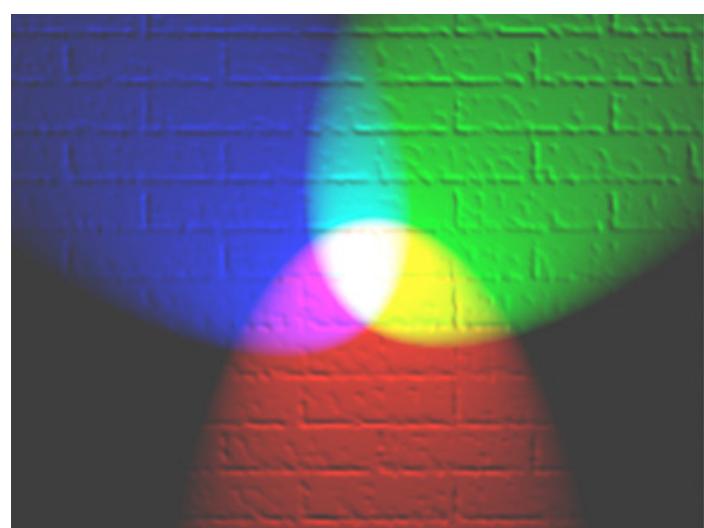
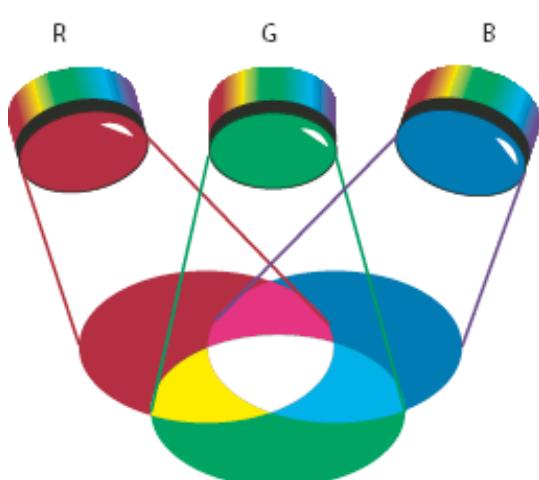
FINAL CMYK



DETAIL VIEW

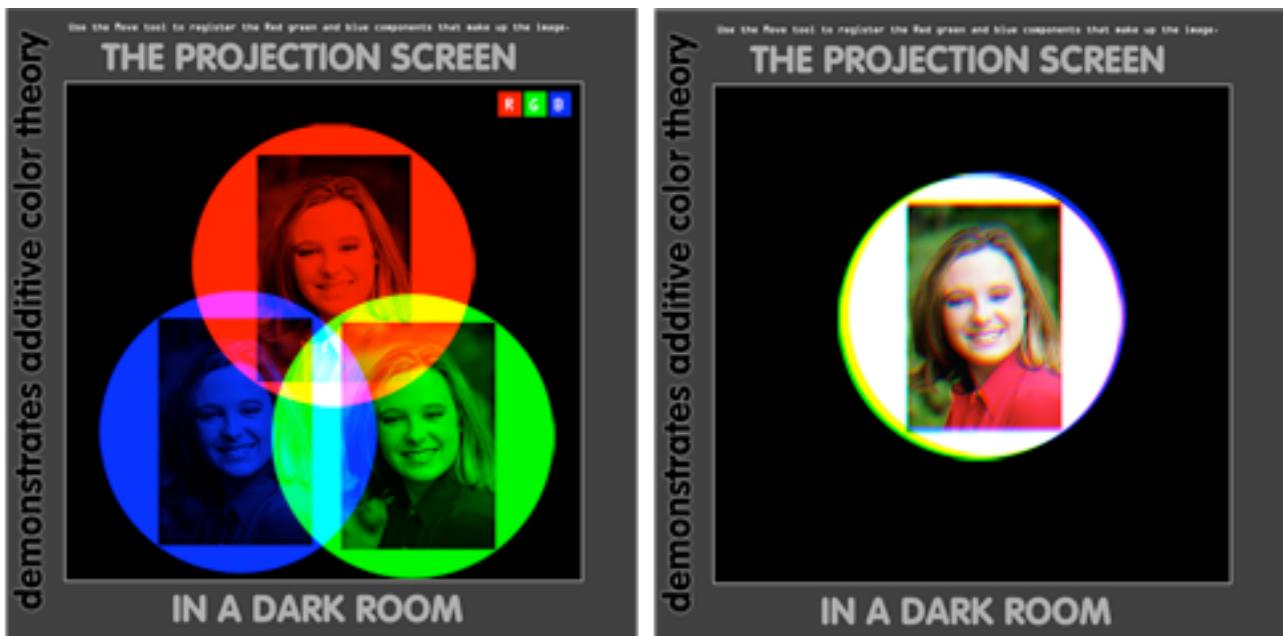
Sistemas de Cores

- Dispositivos aditivos



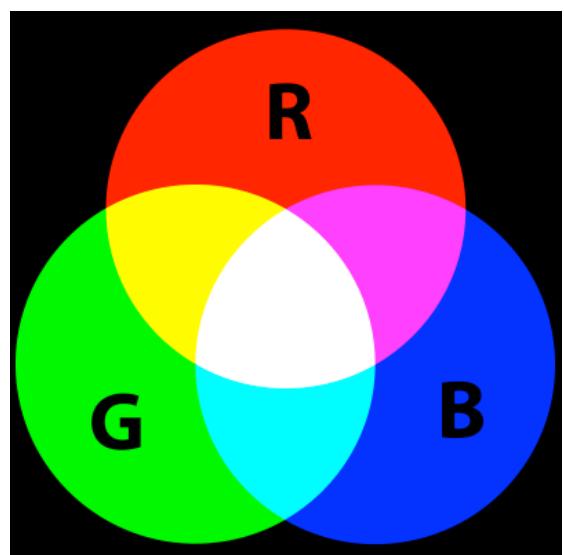
Sistemas de Cores

- Dispositivos aditivos



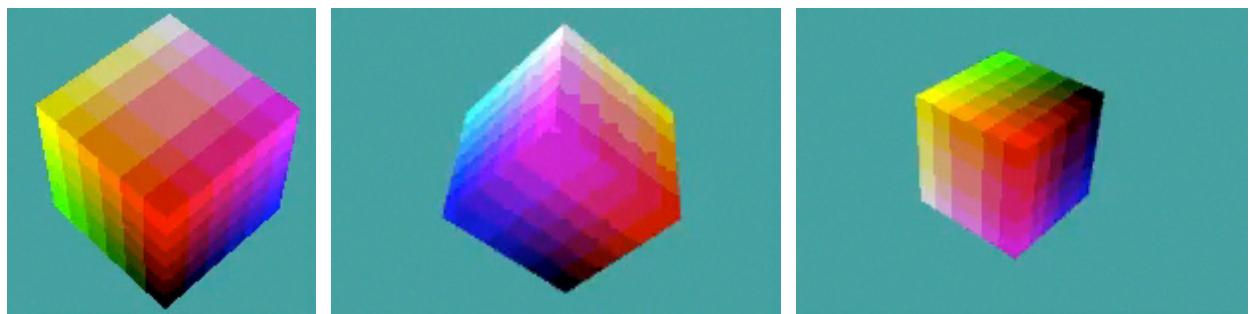
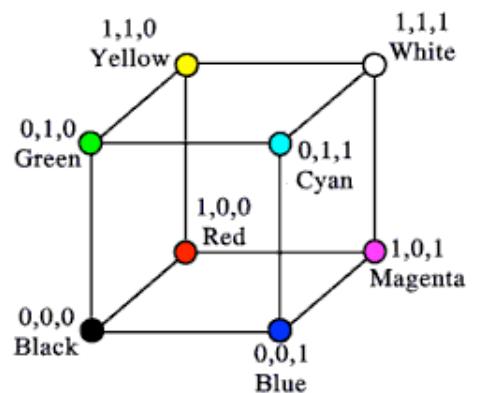
Sistemas de Cores

- Sistema RGB
 - Aditivo
 - utilizado em dispositivos baseados em emissão de luz



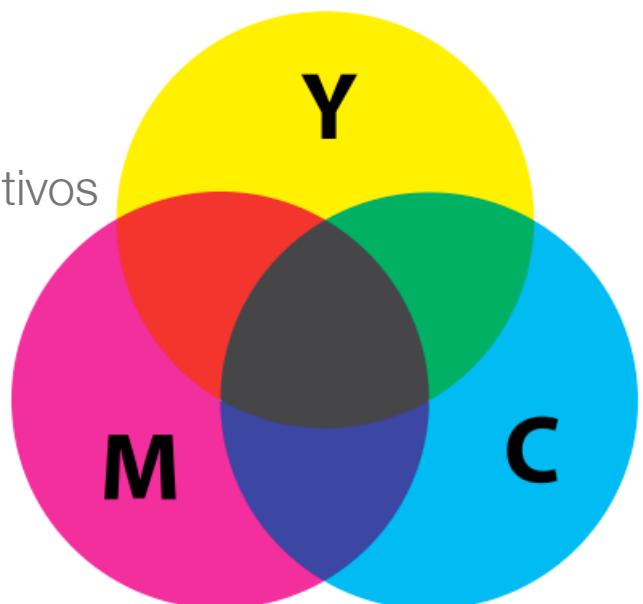
Sistemas de Cores

- Sistema RGB
 - Gráfico é um cubo sólido
 - Diagonal encontram-se os tons de cinza
 - Cores complementares nas diagonais das faces



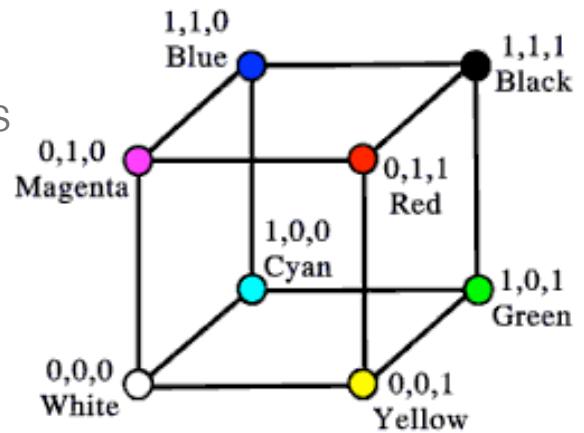
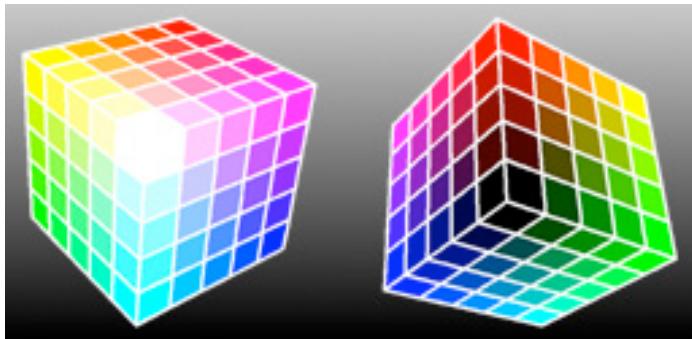
Sistemas de Cores

- Sistema CMY
 - Subtrativo
 - Baseados nas cores complementares ao RGB
 - Muito utilizado em dispositivos de impressão



Sistemas de Cores

- Sistema CMY
 - Gráfico é um cubo sólido
 - Diagonal encontram-se os tons de cinza
 - Cores primárias nas diagonais das faces



Sistemas de Cores

- Complementariedade entre RGB e CMY

$$R = 1 - C$$

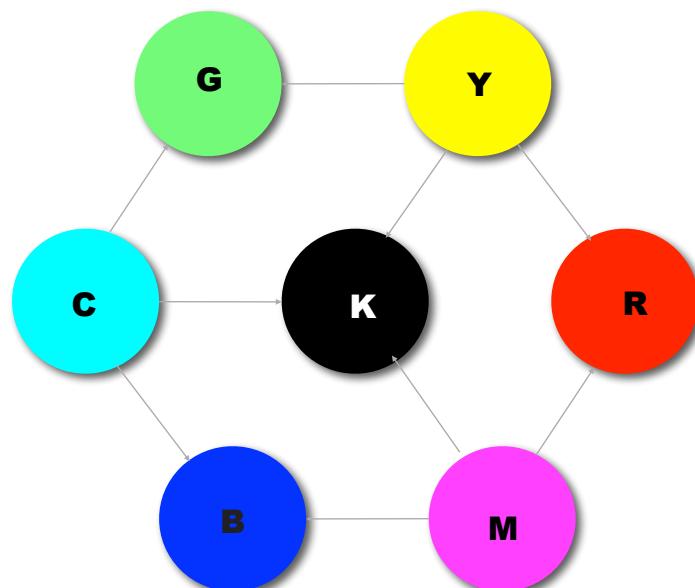
$$G = 1 - M$$

$$B = 1 - Y$$

$$C = 1 - R$$

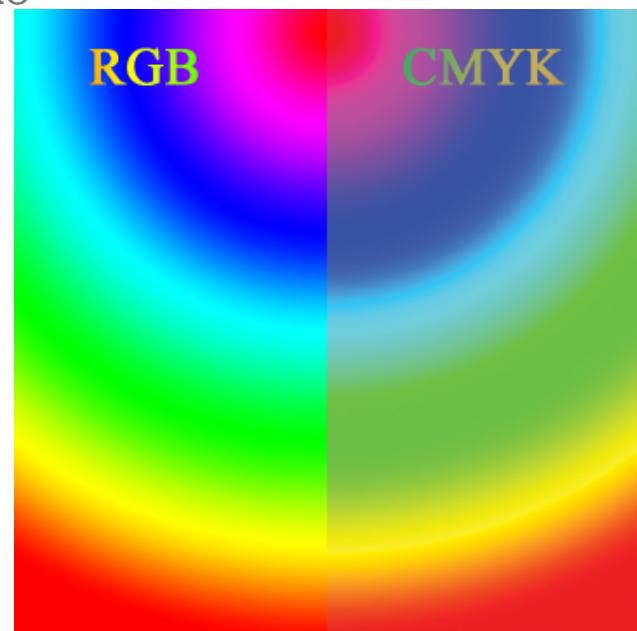
$$M = 1 - G$$

$$Y = 1 - B$$



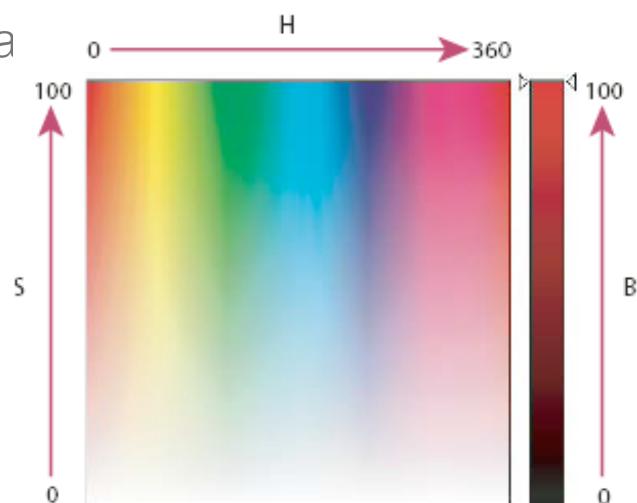
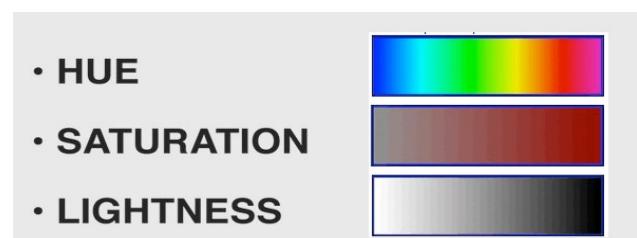
Sistemas de Cores

- RGB x CMY
 - Diferença de representação



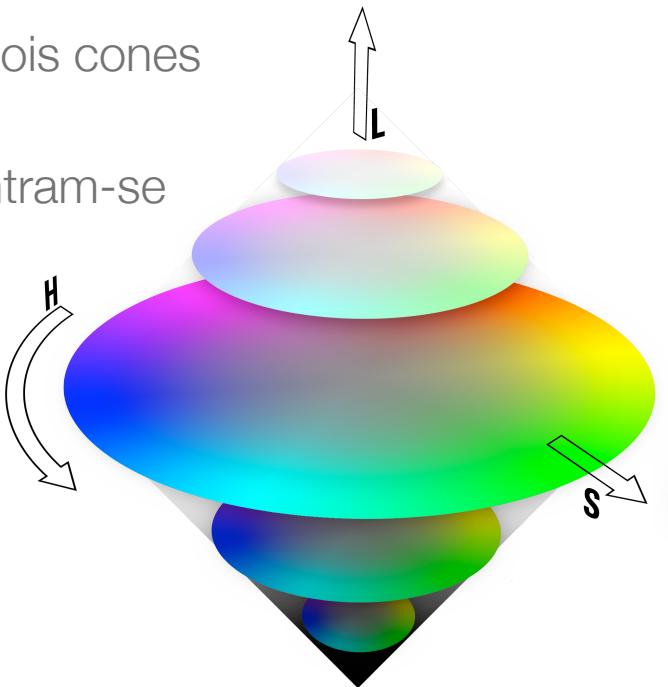
Sistemas de Cores

- HSL
 - Matiz
 - Saturação
 - Luminosidade
- Representação mais utilizada por artistas e profissionais que lidam com cores



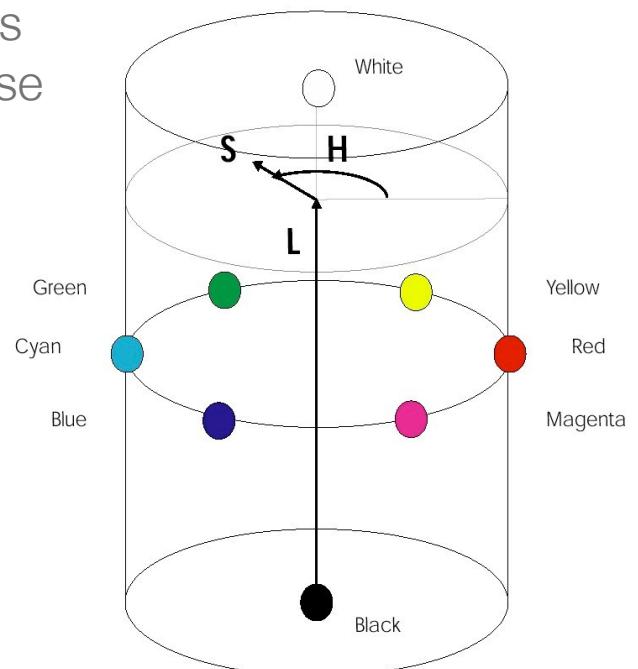
Sistemas de Cores

- Sistema HSL
 - Gráfico é composto de dois cones conectados pela base
 - Ao longo da altura encontram-se os tons de cinza
 - Cores mais saturadas encontram-se na borda da base



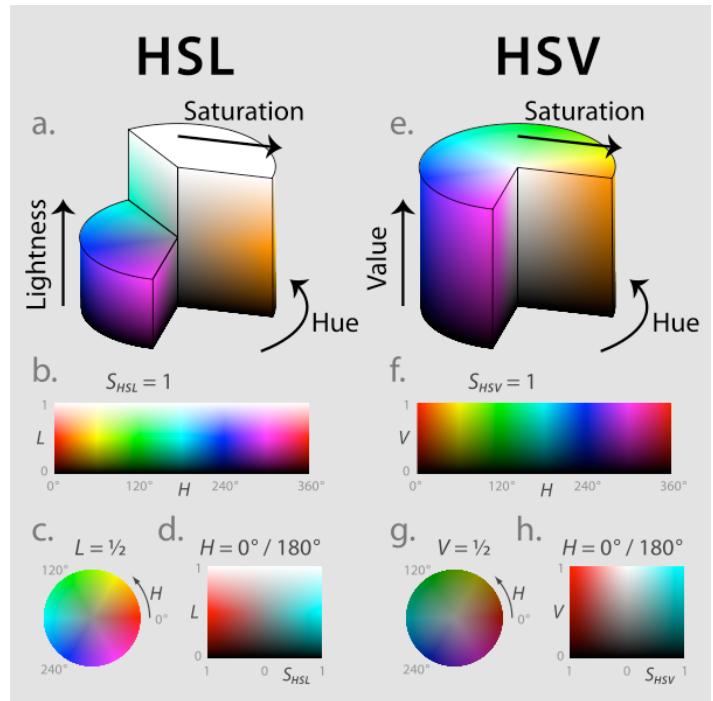
Sistemas de Cores

- Sistema HSL
 - Gráfico é composto de dois cones conectados pela base
 - Ao longo da altura encontram-se os tons de cinza
 - Cores mais saturadas encontram-se na borda da base



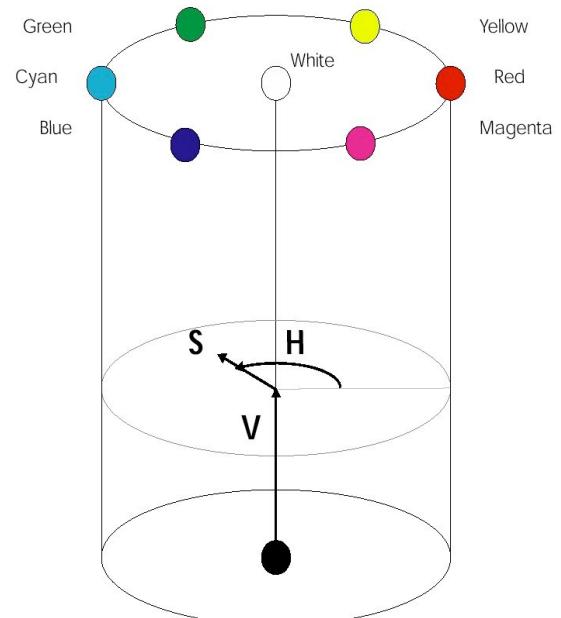
Sistemas de Cores

- HSV
 - Modificação do HSL para simplificar a interpretação da luminosidade
 - Matiz
 - Saturação
 - Valor



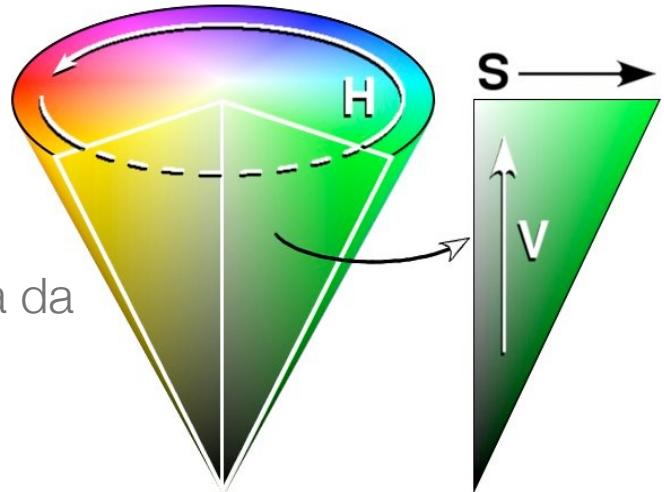
Sistemas de Cores

- Sistema HSV
 - Gráfico é um cone
 - Ao longo da altura encontram-se os tons de cinza
 - Cores mais saturadas encontram-se na borda da base



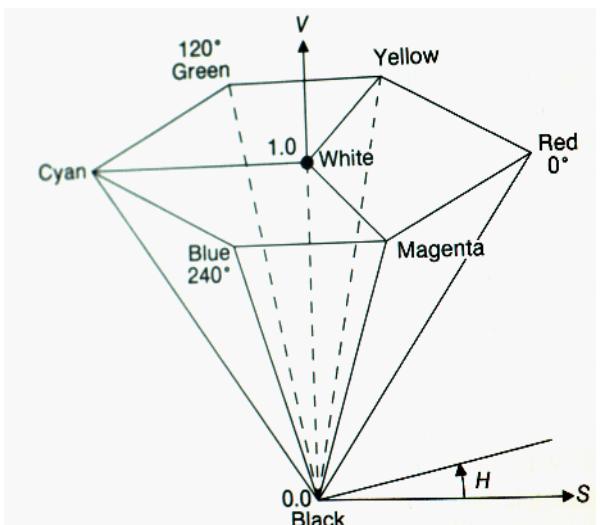
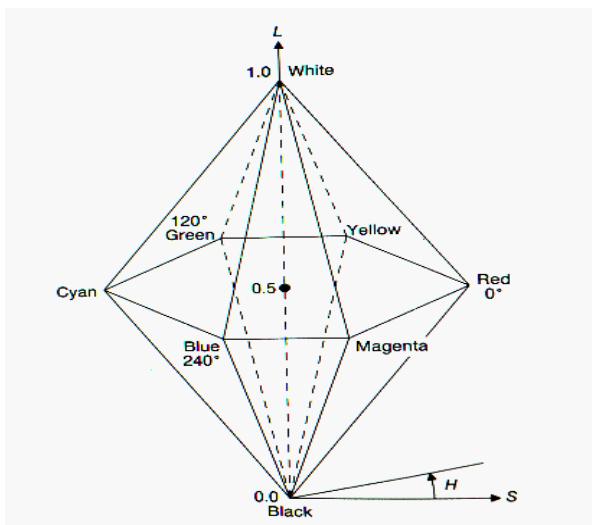
Sistemas de Cores

- Sistema HSL
 - Gráfico é um cone
 - Ao longo da altura encontram-se os tons de cinza
 - Cores mais saturadas encontram-se na borda da base



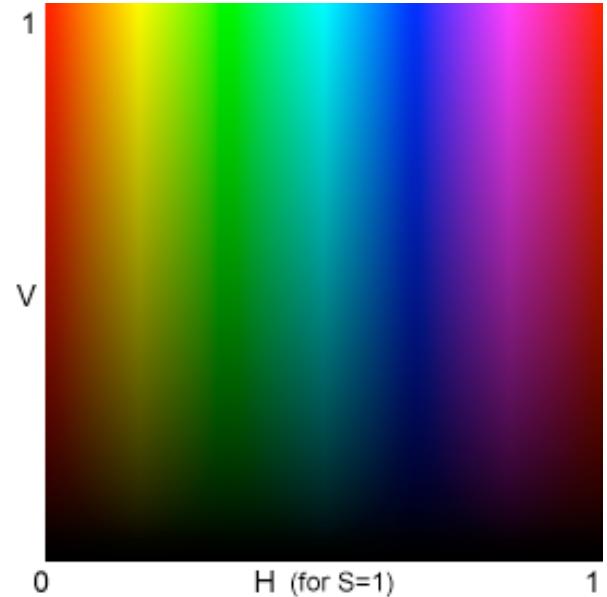
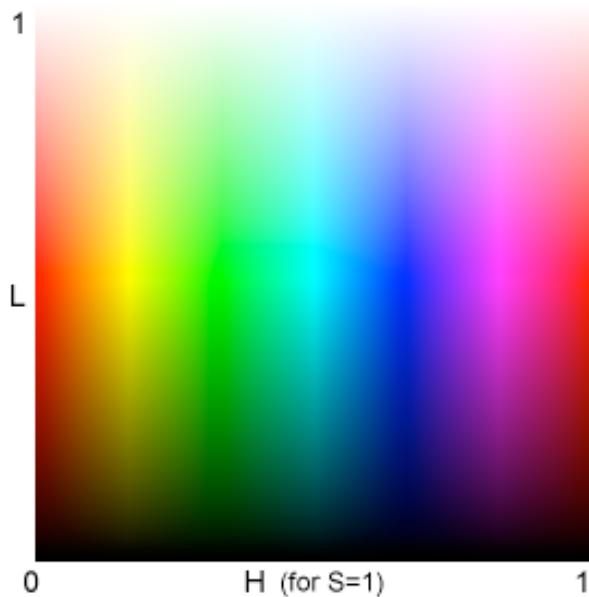
Sistemas de Cores

- Sistema HSL e HSV
 - Versões discretas são pirâmides de base hexagonal



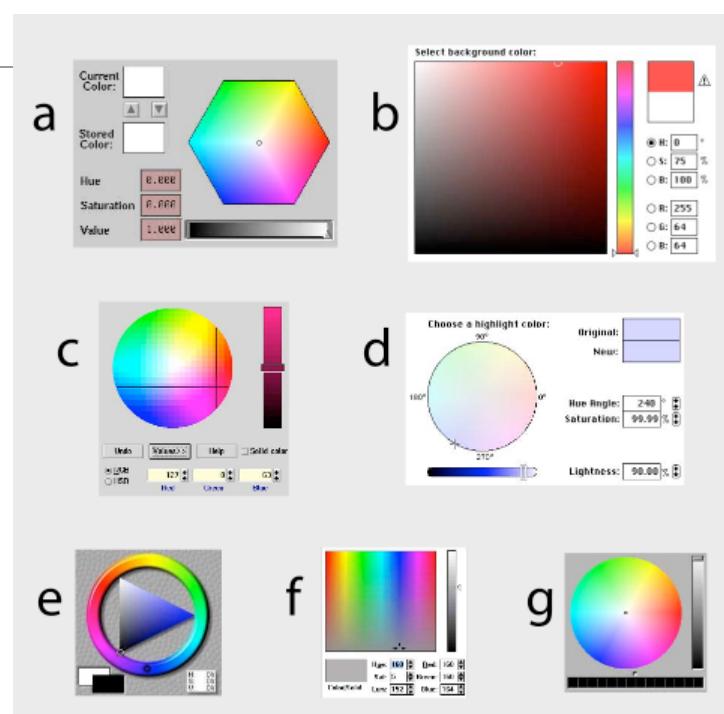
Sistemas de Cores

- Sistema HSL e HSV



Sistemas de Cores

- HLS e HSV
 - Muito utilizados em interfaces com o usuário
 - Mais intuitivo

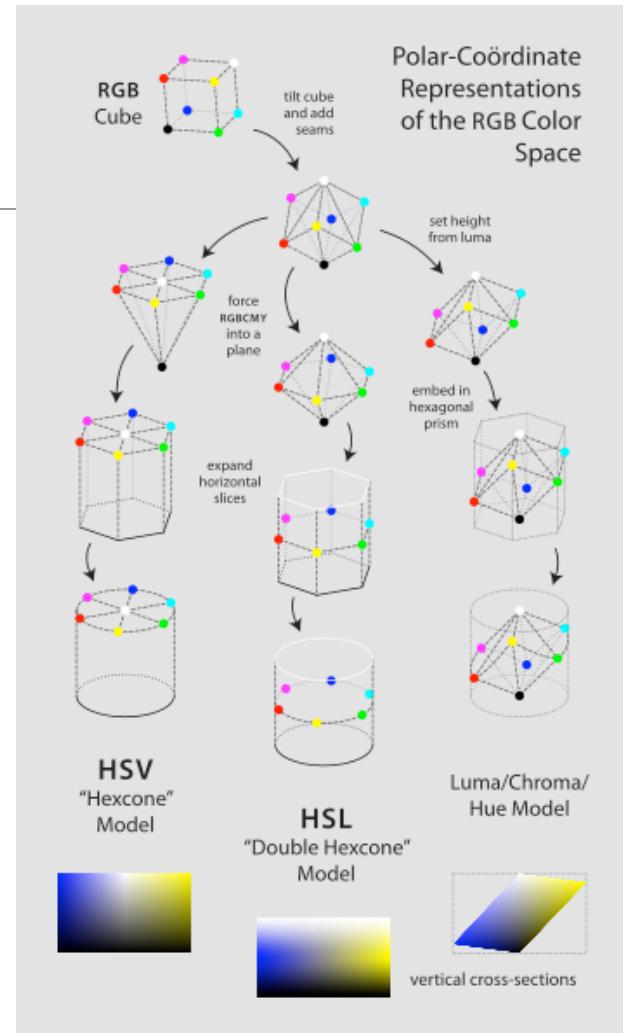


By the 1990s, HSL and HSV color selection tools were ubiquitous. The screenshots above are taken from: (a) SGI [IRIX](#) 5, ca. 1995; (b) Adobe [Photoshop](#), ca. 1990; (c) IBM [OS/2 Warp](#) 3, ca. 1994; (d) Apple Macintosh [System 7](#), ca. 1996; (e) Fractal Design [Painter](#), ca. 1993; (f) Microsoft [Windows 3.1](#), ca. 1992; (g) [NeXTSTEP](#), ca. 1995. These are undoubtedly based on earlier examples, stretching back to PARC and NYIT in the mid-1970s.

<http://www.guidebookgallery.org/>

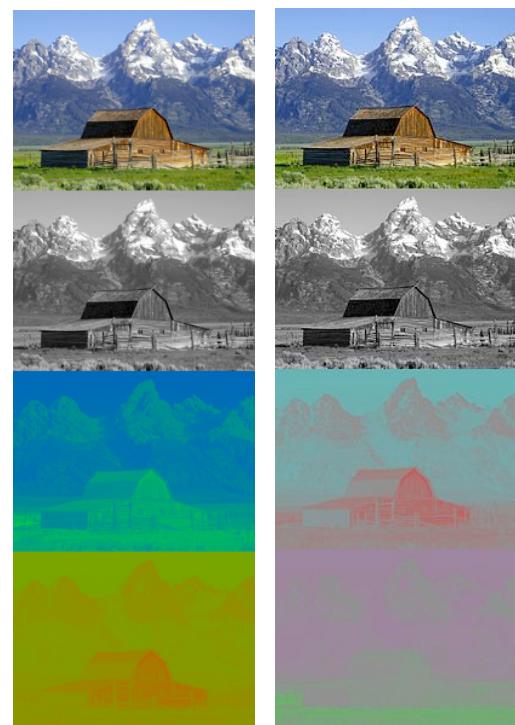
Sistemas de Cores

- Conversão RGB para HLS ou HSV
 - Algoritmo geométrico



Sistemas de Cores

- Outros sistemas específicos:
 - Vídeo
 - YUV (PAL / SECAM)
 - YIQ (NTSC)
 - Luminância - Luma (Y)
 - crominância (UV/IQ)
 - Imagens
 - Adobe RGB (Adobe)
 - sRGB (Microsoft e HP)
 - Pro Photo (Kodak)



A seguir...
Transformações Geométricas