
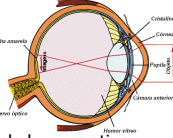


# Modelos e Espaços de Cores

## Aula 23



# Cor

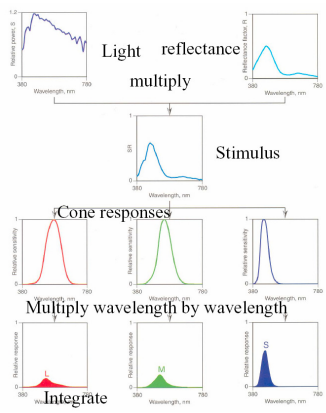


- **Sensação** (processo perceptual) induzida pela luz que atinge os fotorreceptores na retina
- A luz que chega à retina depende das propriedades de absorção, espalhamento (*scattering*) e foco das estruturas que compõem o sistema visual humano (córnea, cristalino e fluidos – humor aquoso e vítreo)
- Antes de chegar à retina, a luz pode sofrer alterações em sua distribuição espectral devido às respostas espectrais dos objetos
- $Cor = \text{fonte de luz} * \text{objeto} * \text{sensibilidade do observador}$

Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

# Cor

- Metamerismo

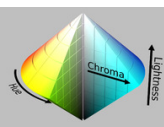


Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

# Classificação de Cores

- O Experimento da Ilha Deserta
  - "Suponha que um indivíduo com visão normal, e sem qualquer experiência anterior com cores, encontrava-se em uma ilha deserta e viu-se rodeado por uma infinidade de pedrinhas com texturas semelhantes, mas com grande diversidade de cores. Para passar o tempo, resolveu ordenar as pedrinhas de acordo com suas cores".


Como você ordenaria as pedrinhas?



Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

# Olho Humano

- Sistema Visual Humano fundamentado pela teoria tricromática
  - Young (1801): Fotorreceptores sensíveis a 3 faixas do espectro
  - Helmholtz (1859): Qualquer cor pode ser formada por 3 cores puras
  - Hering (1878): Sinais oponentes (WB)-(RG)-(YB)




**Cores oponentes**

Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

# Olho Humano

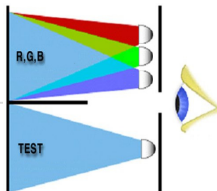
- Sistema Visual Humano fundamentado pela teoria tricromática
  - Young (1801): Fotorreceptores sensíveis a 3 faixas do espectro
  - Helmholtz (1859): Qualquer cor pode ser formada por 3 cores puras
  - Hering (1878): Sinais oponentes (WB)-(RG)-(YB)
    - Indivíduos daltônicos confundem vermelho e verde, ou azul e amarelo, de modo exclusivo



- Teoria mais aceita atualmente: Teoria dos Estágios (ou Zonas) Oponente
  - Estágio Tricromático (a nível dos foto-receptores) seguido de um Estágio Oponente

Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

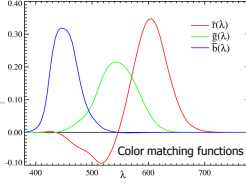
## CIE-RGB (1931)



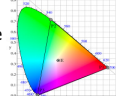
- Indivíduo deve ajustar as 3 luzes primárias para ser perceptualmente igual a luz de teste
  - Luzes primárias são monocromáticas: Vermelho (700nm), Verde (546nm), Azul (436nm)
  - Luz de teste monocromática e seu comprimento de onda ajustável
- A luz de teste é alterada para diversos comprimentos de ondas do espectro visível e os valores ajustados das luzes primárias são tabulados

Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

## CIE-RGB (1931)

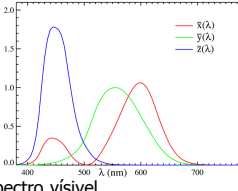


- Na função  $r(\lambda)$  e  $g(\lambda)$  diversos valores negativos, como?
  - Devido a linearidade do modelo de cor aditivo, o valor negativo significa que luz primária foi colocada junto com a luz de teste
- Implica que diversas cores do espectro visível não podem ser reproduzidas por estas 3 cores primárias
  - Existem 3 cores primárias que sejam capazes de reproduzir todas as cores visíveis do espectro?
  - Ponto de vista matemático, basta definir uma base de funções para a qual os valores sejam sempre maiores ou iguais a zero



Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

## CIE-XYZ (1931)

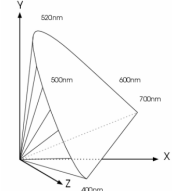


- Comitê definiu 3 cores primárias (X, Y, Z) que permitem representar todas as cores do espectro visível
  - Adotaram estas letras por estas cores primárias serem imaginárias
- Base de cores primárias seguiu algumas propriedades
  - O valor de cada função é sempre maior ou igual a zero
  - Função  $y(\lambda)$  deve ser igual a função de luminância CIE-1924  $V(\lambda)$
  - Quando a energia é constante (luz acromática)  $x = y = z = 1/3$
- Converter de CIE-RGB  $\rightarrow$  CIE-XYZ é uma transformação linear

Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

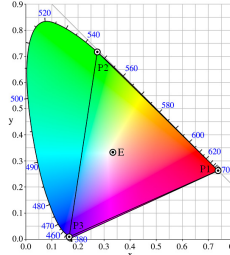
## Sólido de Cor CIE-XYZ (1931)

- Sólido que contém todas as cores do espectro visível
  - Representado no espaço CIE-XYZ
  - Cores espectrais ficam na fronteira deste sólido
  - Cone convexo



Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

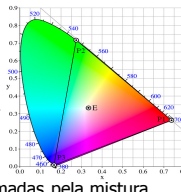
## Diagrama CIE-XYZ (1931)



- Plano no sólido de cor onde  $X + Y + Z = 1$
- Coordenadas de Cromaticidade
  - $x = X / (X+Y+Z)$
  - $y = Y / (X+Y+Z)$
  - $z = Z / (X+Y+Z)$
- Diagrama de Cromaticidade
  - Projeção do plano  $X+Y+Z=1$  no plano XY
  - Reta púrpura une as cores espectrais azul e vermelho

Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

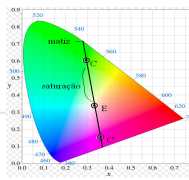
## Propriedades do Diagrama



- Contém todas as cromaticidades visíveis pelo olho humano
- Dadas 2 cores no diagrama, as cores formadas pela mistura destas estão contidas na reta que une estas duas cores
- Dadas 3 cores no diagrama, todas as cores formadas pela mistura destas 3 cores, estão contidas no triângulo formado por estas 3 cores
- Distância xy entre duas cores não representa a distância perceptual entre estas duas cores. Outros espaços de cores foram desenvolvidos para isto (CIE-L\*u\*v\* e CIE-L\*a\*b\*)

Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

## Propriedades do Diagrama



- Considere uma reta do branco padrão (E) para uma dada cor (C):
  - A intersecção desta reta com a fronteira do diagrama define a matiz (hue) da cor C
  - A razão entre as distâncias da cor (C) para o branco padrão (E) e da sua matiz para o branco padrão (E) define a saturação desta cor
  - A cor (C') do lado oposto ao branco padrão (E) com distância relativa igual a cor (C) define a cor complementar

Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

## Modelo de Cores RGB

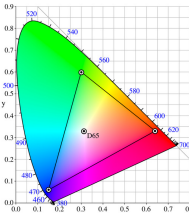


- Modelo aditivo que utiliza as cores vermelho (R), verde (G) e azul (B) como primárias, que combinadas reproduzem as outras cores
- Modelo de cores mais popular, utilizado em monitores
- Existem diversos espaços de cores que utilizam este modelo: sRGB, Adobe RGB, Adobe Wide Gamut RGB
  - Um espaço de cores é definido através da especificação das 3 primárias (R, G, B) e do branco padrão

Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

## Espaço de Cores sRGB

- Standard RGB (sRGB) é o espaço de cores padrão em monitores, câmeras digitais, scanners e representação de imagens em computadores
- Criado em parceria pela HP e Microsoft
- Utiliza as 3 primárias definidas na ITU-R BT.709-2 e o branco padrão é D65



Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

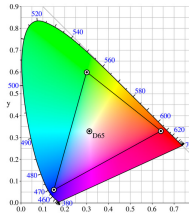
## Espaço de Cores sRGB

- Standard RGB (sRGB) é o espaço de cores padrão em monitores, câmeras digitais, scanners e representação de imagens em computadores
- Criado em parceria pela HP e Microsoft
- Utiliza as 3 primárias definidas na ITU-R BT.709-2 e o branco padrão é D65

$$\begin{bmatrix} R_{linear} \\ G_{linear} \\ B_{linear} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2410 & -1.5374 & -0.4986 \\ -0.9692 & 1.8760 & 0.0416 \\ 0.0556 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

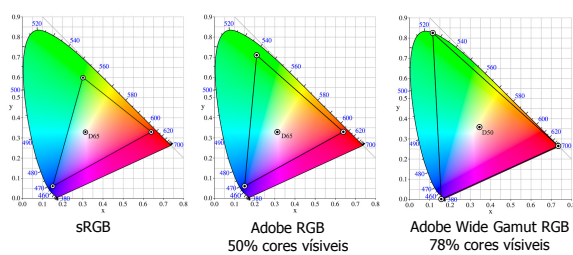
$$C_{srgb} = \begin{cases} 12.92 C_{linear} & C_{linear} \leq 0.0031308 \\ 1.055 C_{linear}^{1/2.4} & C_{linear} > 0.0031308 \end{cases}$$

$C$  representa cada um dos canais R, G e B, separadamente



Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

## Comparação entre Espaços de Cores RGB

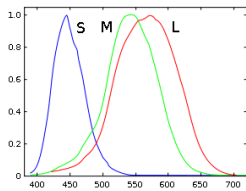


sRGB      Adobe RGB 50% cores visíveis      Adobe Wide Gamut RGB 78% cores visíveis

Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

## Espaço de Cores LMS

- Espaço de cores baseado na resposta espectral dos 3 tipos de cones na retina humana, sensíveis aos comprimentos de onda longos (L), médios (M) e curtos (S)



$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3897 & 0.6890 & -0.0787 \\ -0.2298 & 1.1834 & 0.0464 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

## Espaços de Cores YUV e YIQ

- Espaços de cores que definem uma componente de luminância (Y) e duas componentes de crominância (UV e IQ)
- Utilizado nos padrões de televisão PAL, NTSC e SECAM
  - Manter a compatibilidade com os televisores em "preto-branco"

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.14713 & -0.28886 & 0.436 \\ 0.615 & -0.51499 & -0.1000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.595716 & -0.274453 & -0.321263 \\ 0.211456 & -0.522591 & 0.311135 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

## Espaço de Cores YCbCr

- Espaço de cores padrão para os algoritmos de compressão de imagens e vídeos (JPEG, MPEG, DVD, HDTV)
- Utiliza uma componente de luminância (Y) e duas componentes de crominância (Cb e Cr)
  - YPbPr é a versão analógica deste espaço de cores

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cr \\ Cb \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.168736 & -0.331264 & 0.5 \\ 0.5 & -0.418688 & -0.081312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Planos cromáticos CrCb para diferentes valores de Y

Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

## Espaço YCbCr

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cr \\ Cb \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.168736 & -0.331264 & 0.5 \\ 0.5 & -0.418688 & -0.081312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

## CIE-L\*a\*b\* (1976)

- Utiliza um canal de luminância (L\*) e dois canais de oposição verde-vermelho (a\*) e azul-amarelo (b\*)
  - Baseado no segundo estágio do sistema visual humano
- Espaço de cores perceptualmente aprox. uniforme: distância euclidiana entre duas cores é proporcional a distância percebida entre as duas cores
 
$$L^* = 116 f(Y/Y_n) - 16$$

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

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

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & t > 0,008856 \\ 7,787t + 16/116 & t \leq 0,008856 \end{cases}$$

Xn, Yn, e Zn são as coordenadas XYZ do ponto branco

Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

## Espaço de Cores HSL

- Define uma cor através da sua matiz (H), saturação (S) e lightness (L)
- Utilizado em interfaces para o usuário escolher cores devido a similaridade com que descrevemos as cores

$$H = \begin{cases} \text{undefined} & \text{max} = \text{min} \\ 60^\circ \frac{G-B}{\text{max}-\text{min}} + 0^\circ & \text{max} = R \text{ e } G \geq B \\ 60^\circ \frac{B-G}{\text{max}-\text{min}} + 360^\circ & \text{max} = R \text{ e } G < B \\ 60^\circ \frac{R-B}{\text{max}-\text{min}} + 120^\circ & \text{max} = G \\ 60^\circ \frac{R-G}{\text{max}-\text{min}} + 240^\circ & \text{max} = B \end{cases}$$

$$L = 0.5(\text{max} + \text{min})$$

$$S = \begin{cases} 0 & L = 0 \text{ ou } \text{max} = \text{min} \\ \frac{\text{max}-\text{min}}{\text{max}+\text{min}} & 0 < L \leq 0.5 \\ \frac{2L}{2 - L} & L > 0.5 \end{cases}$$

Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS

## Modelo de Cores CMYK

- Modelo "subtrativo" de cores que utiliza as primárias amarelo (Y), ciano (C) e magenta (M)
  - Preto (K) é acrescentado
- Utilizado para impressões

$$C = G + B$$

$$M = R + B$$

$$Y = R + G$$

Luz branca (1,1,1)

Luz ciano (0,1,1)

Pigmento ciano (0,1,1)

Componente vermelha é absorvida

Copyright Manuel M. Oliveira e Giovane Kuhn, Informática UFRGS