

SÍNTESE DE CORES

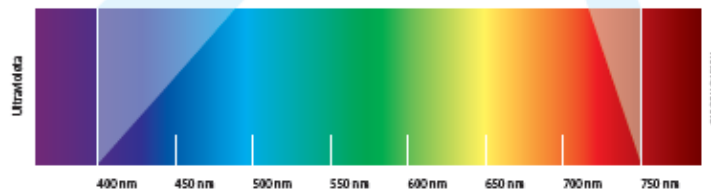
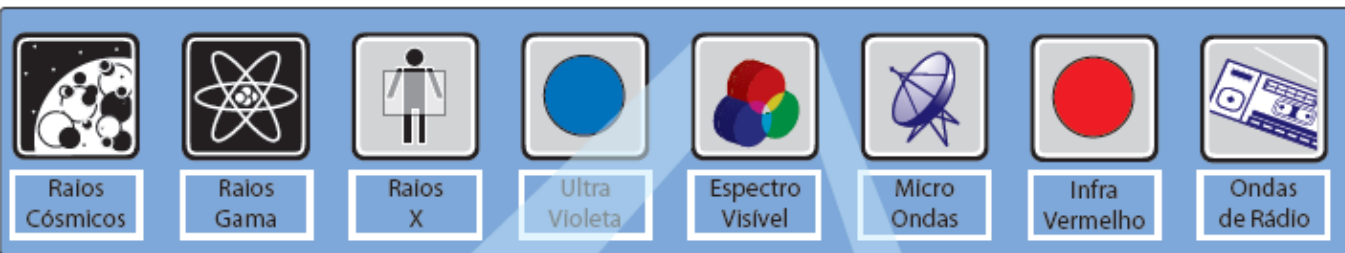
Prof. Valmir Macário Filho

COR - Fundamentos

- É a nossa percepção de diferentes comprimentos de onda luz
- É a presença ou ausência de componentes de frequência de luz que nos dá a sensação de cor
- A luz é um fenômeno físico, mas a cor depende da interação da luz com o sistema visual, sendo, assim, um fenômeno psicofísico
- Necessidade de especificar uma cor
 - O que significa um objeto ser vermelho?
 - Mas vermelho é vermelho pra todo mundo?

O Universo Físico de Cor

Espectro eletromagnético e espectro visível

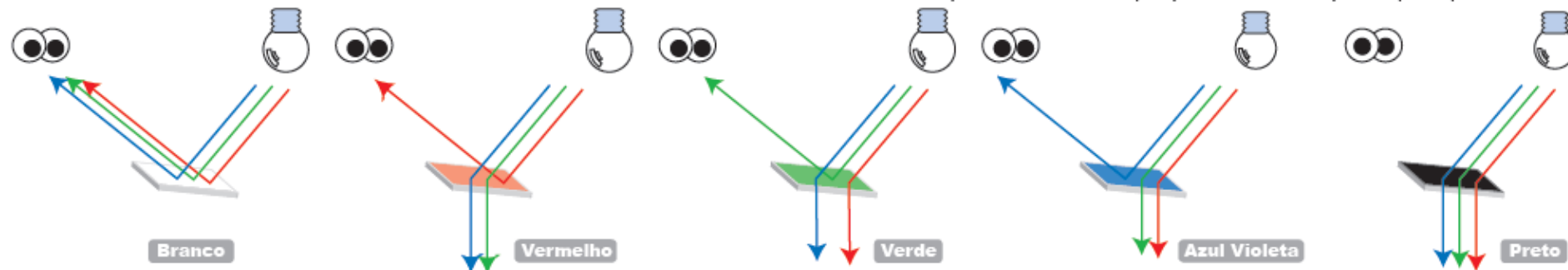


Luz e Cor

São itens intimamente relacionados. Não há cor sem luz.

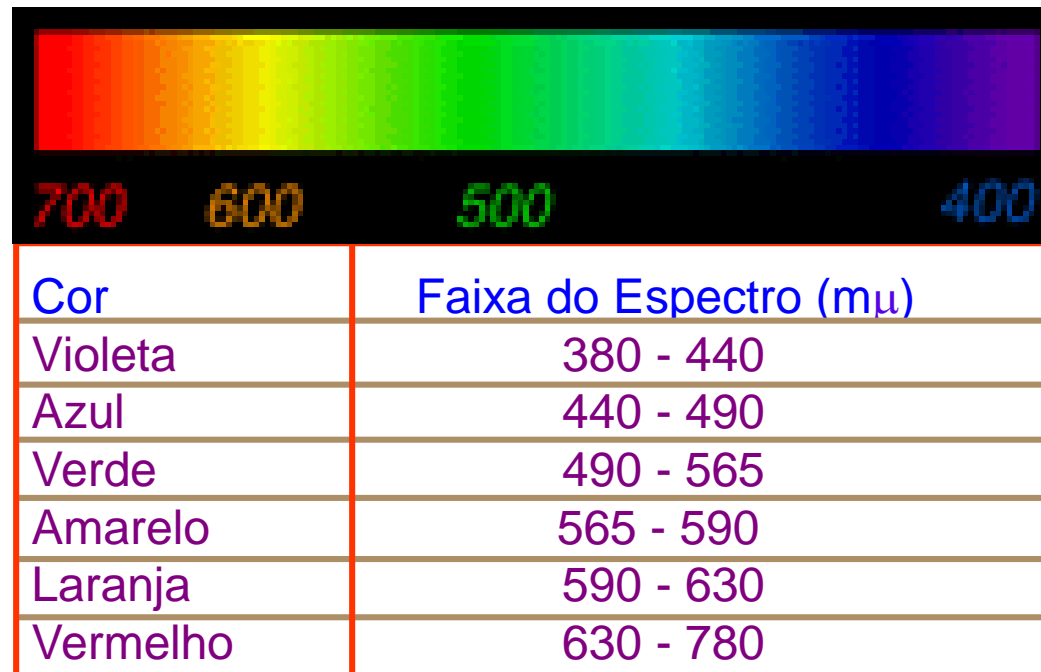
Luz - forma de energia ou radiação que em uma frequência entre 400 a 700 nanômetros é interpretada visualmente pelo olho humano.

Cor - sensação visual resultante da interpretação da reflexão ou absorção da luz pelas superfícies.

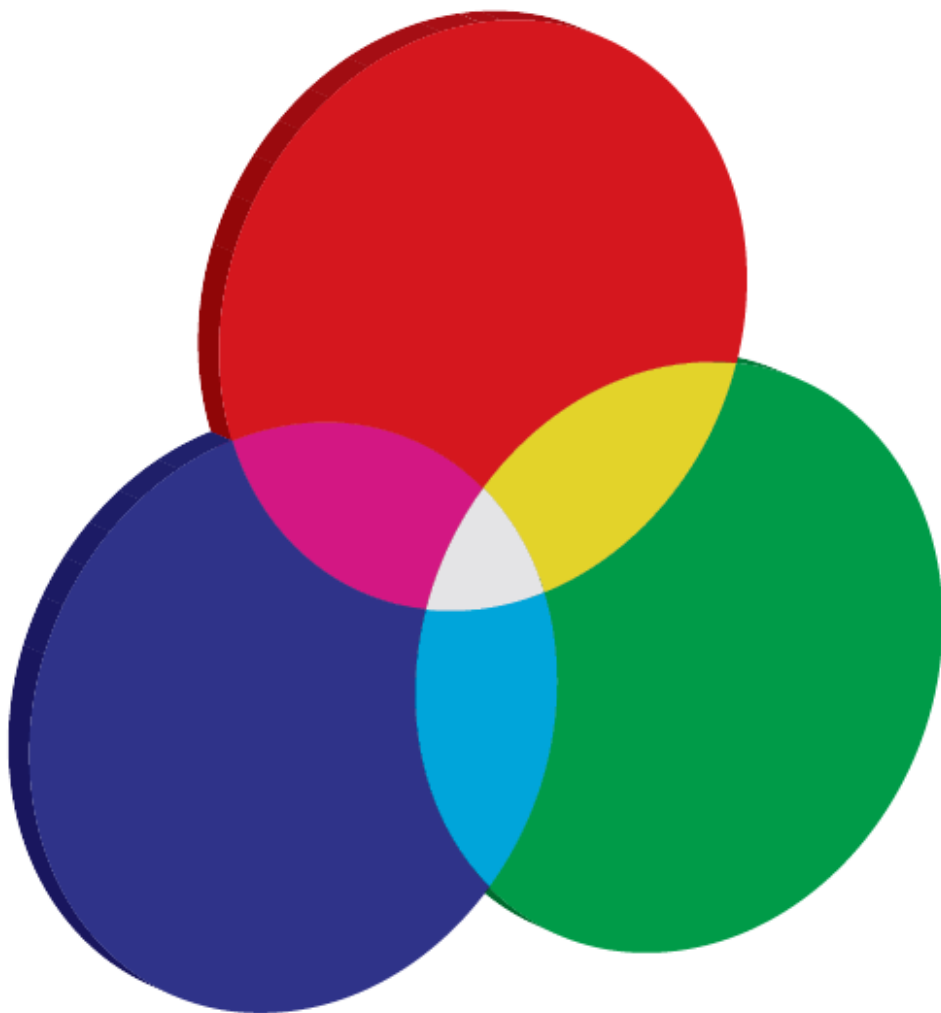


O Universo Físico de Cor

- Faixa Visível do Espectro
 - Comprimento de onda: 380nm a 780nm (nm= $m\mu$ =nanômetro = $10^{-9}m$)



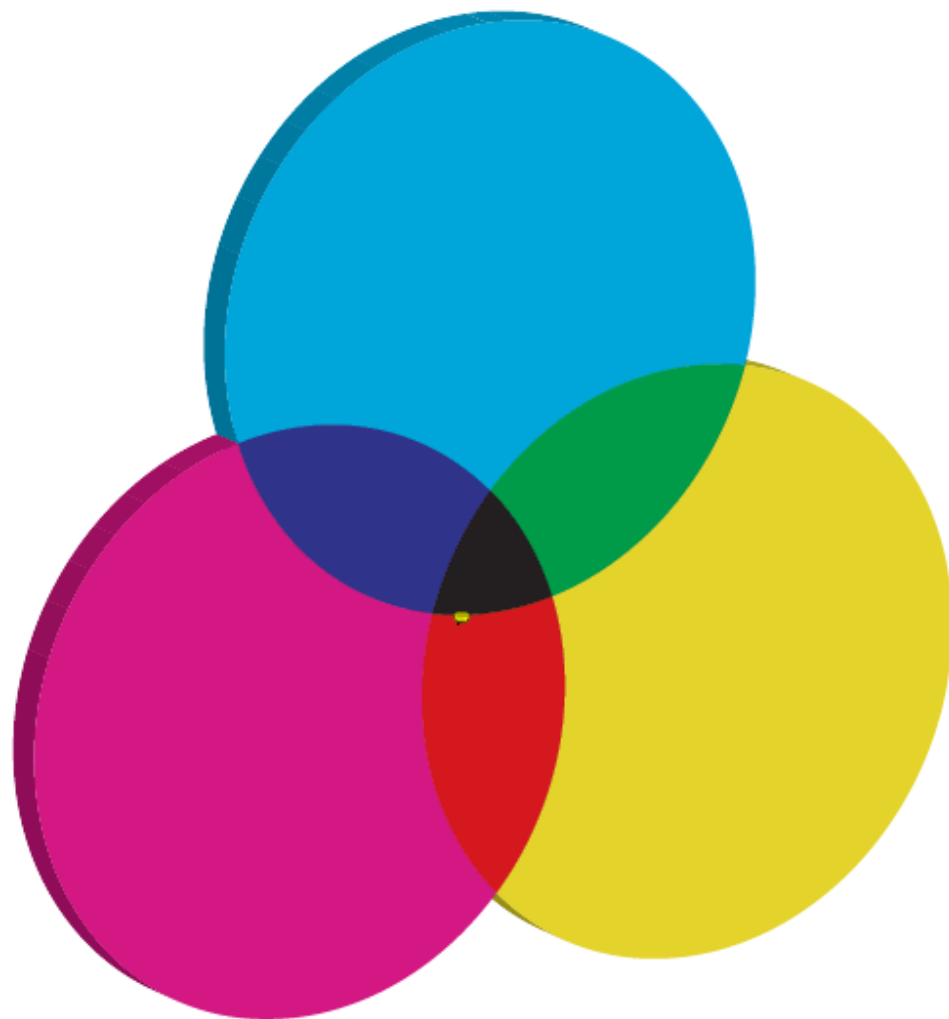
Síntese de Cores



Síntese Aditiva

Cor enquanto luz.

Esta síntese representa de forma básica as cores primárias do espectro visível, possuindo um alcance de cores muito maior que o espaço de cores em CMYK.



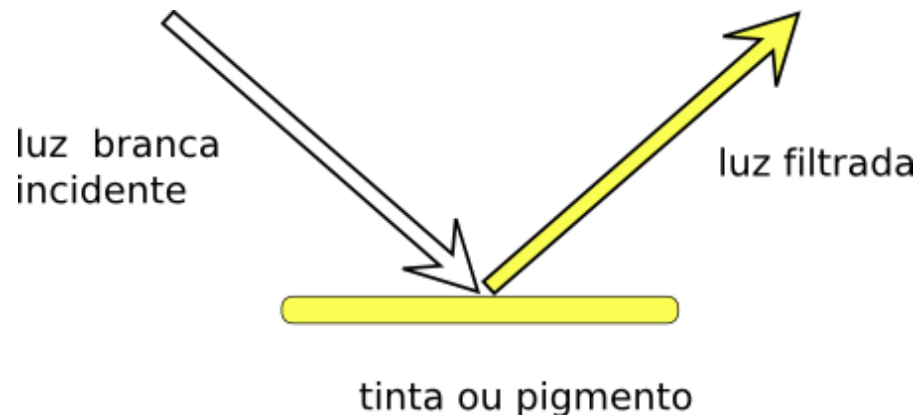
Síntese Subtrativa

Cor enquanto pigmento.

Esta síntese representa de forma básica as cores primárias de impressão. Seu alcance é reduzido se comparado com o espaço de cores em RGB.

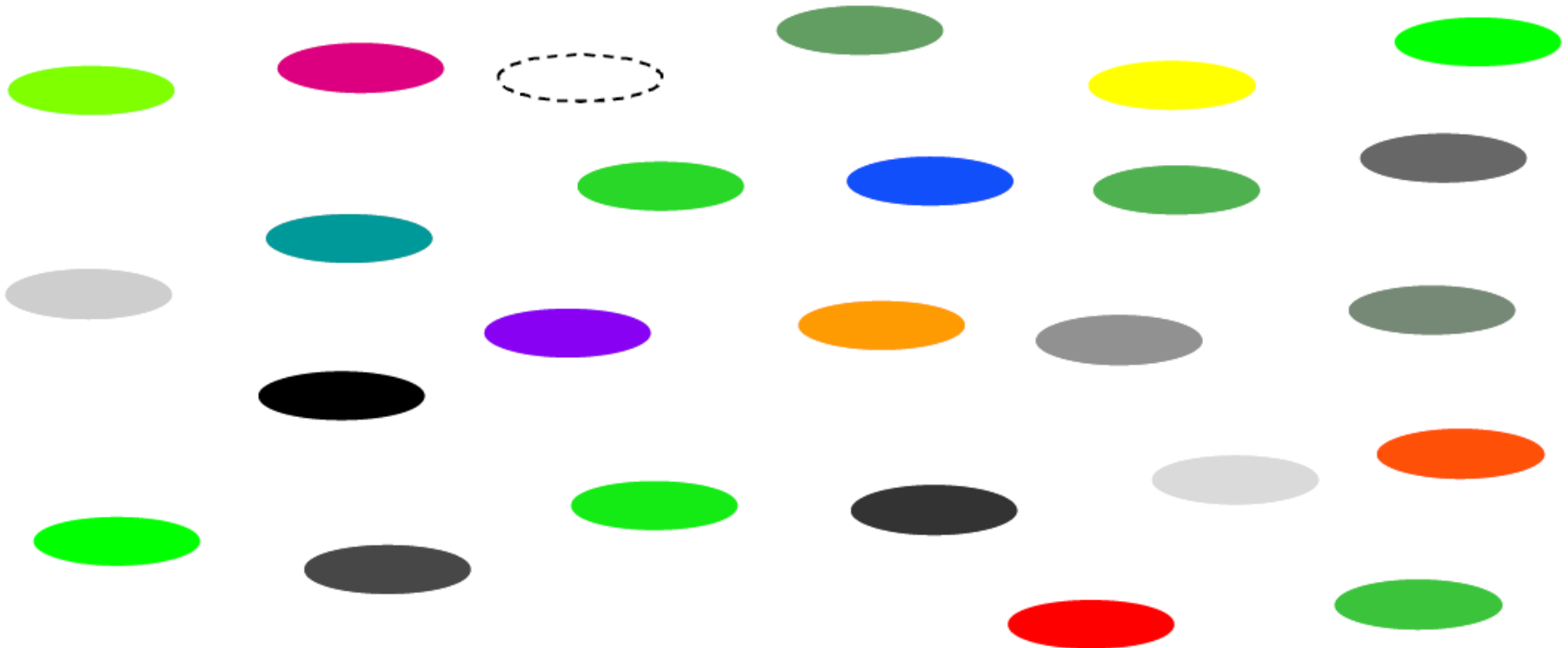
O Universo Físico de Cor

- Sistemas aditivos:
 - Funcionam bem para especificar cores em dispositivos que emitem luz, como monitores
- Sistemas subtrativos:
 - Apropriado se o dispositivo funciona com tintas ou pigmentos (materiais filtram a luz)

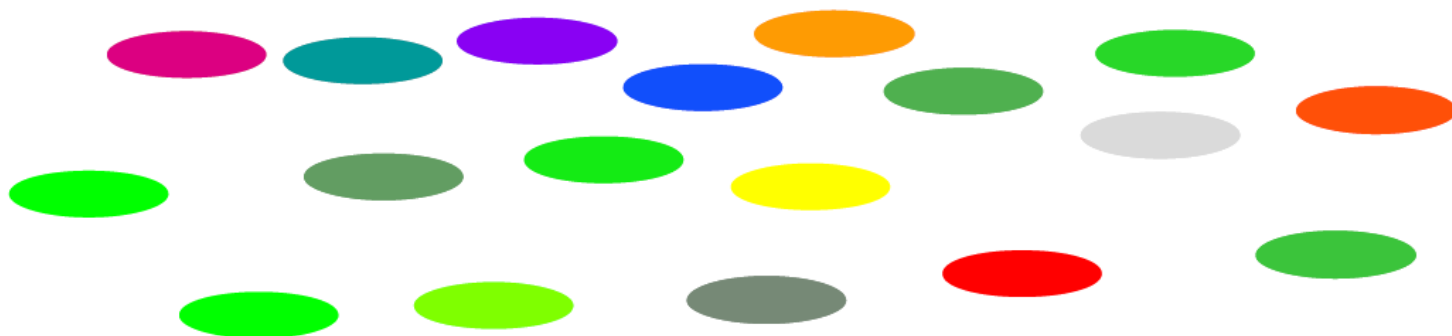
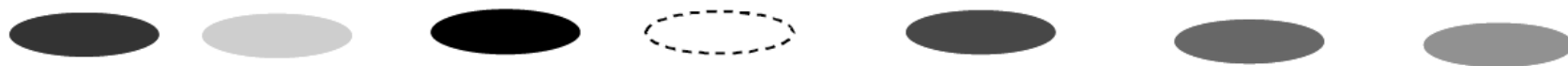


Colorimetria

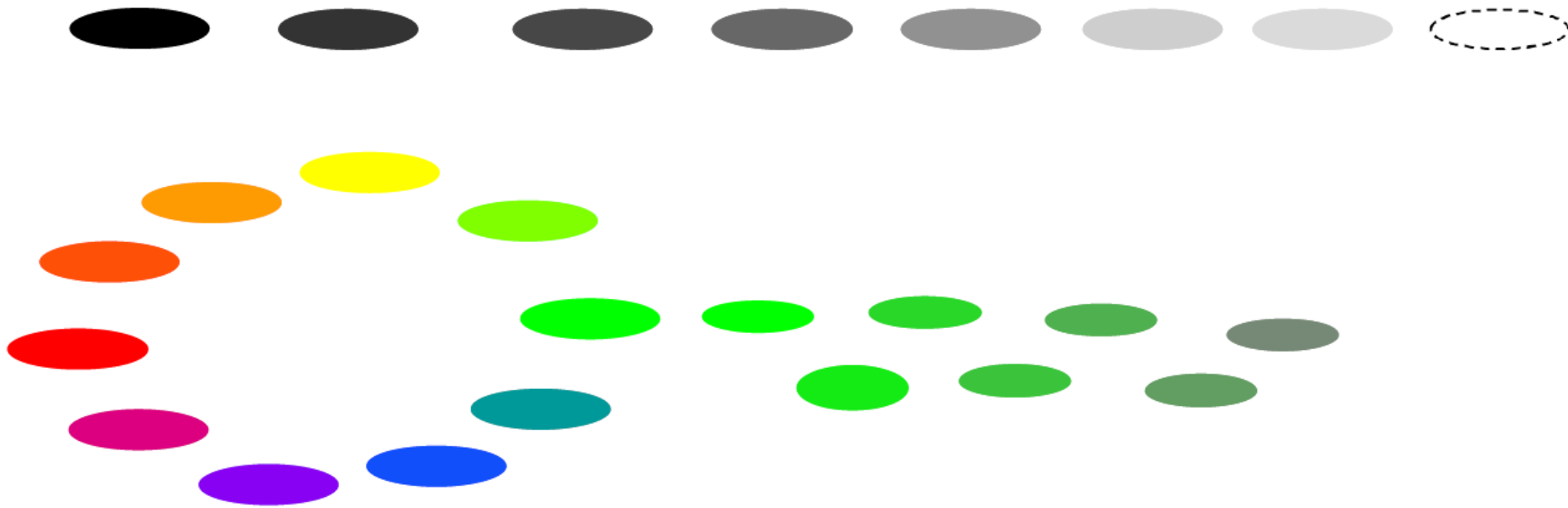
- Imagine como se poderíamos “ordenar” ou “organizar” essas amostras coloridas



- Poderíamos começar separando as amostras neutras...



- . . . depois agrupando tons similares . . .



- Três Dimensões da Cor

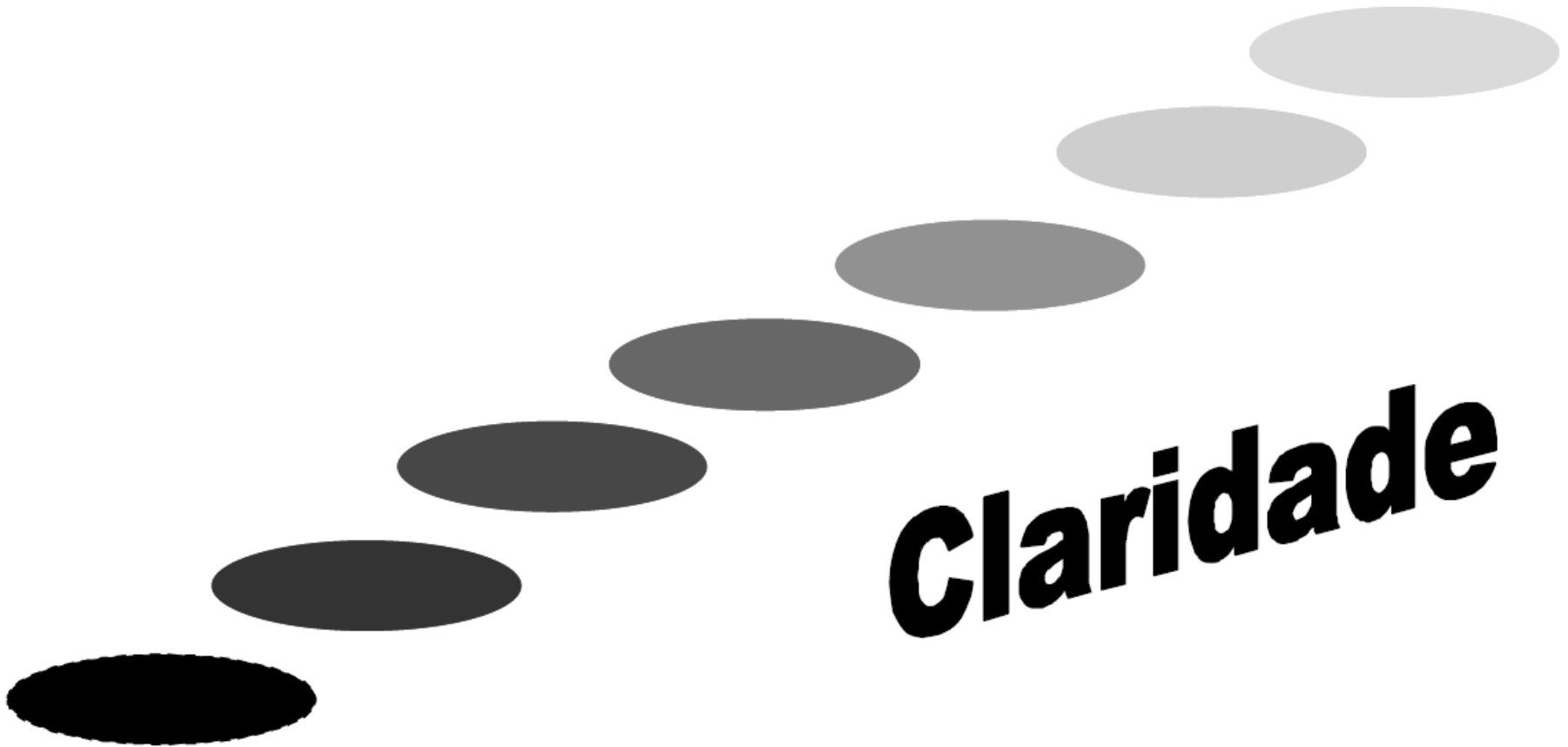


- Três Dimensões da Cor



SATURAÇÃO

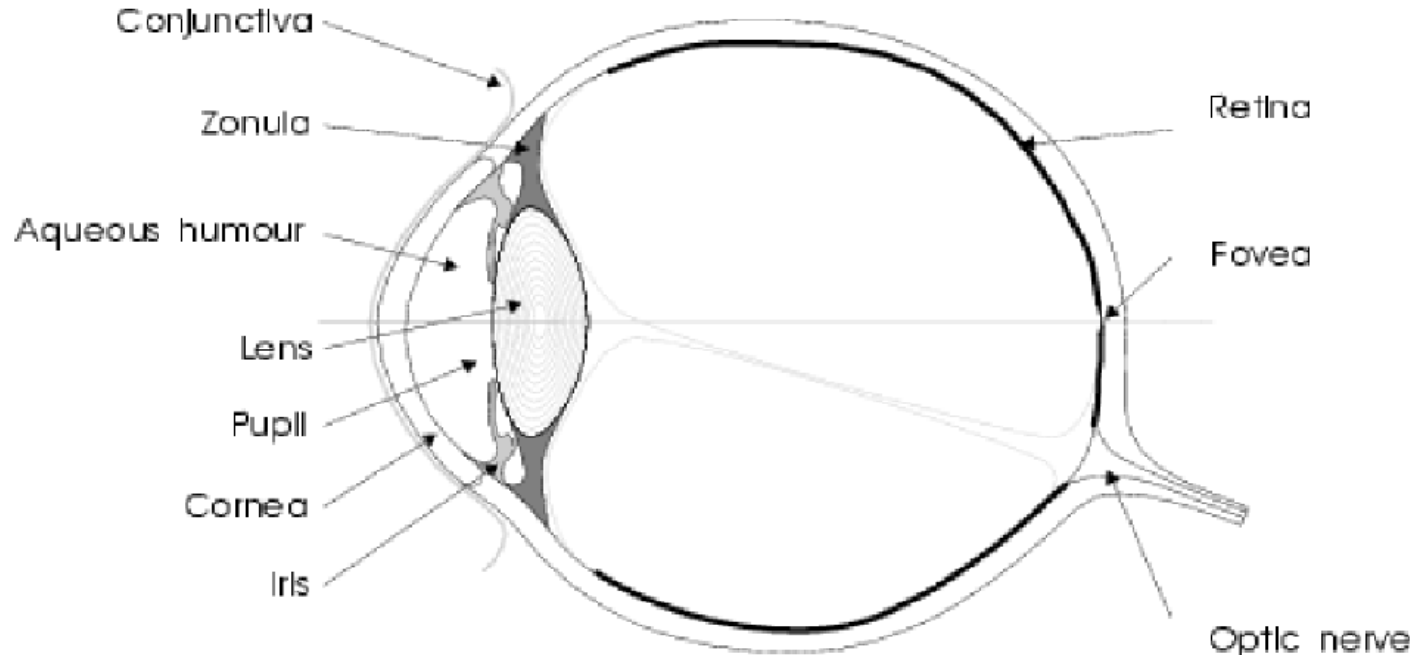
- Três Dimensões da Cor



Clareza

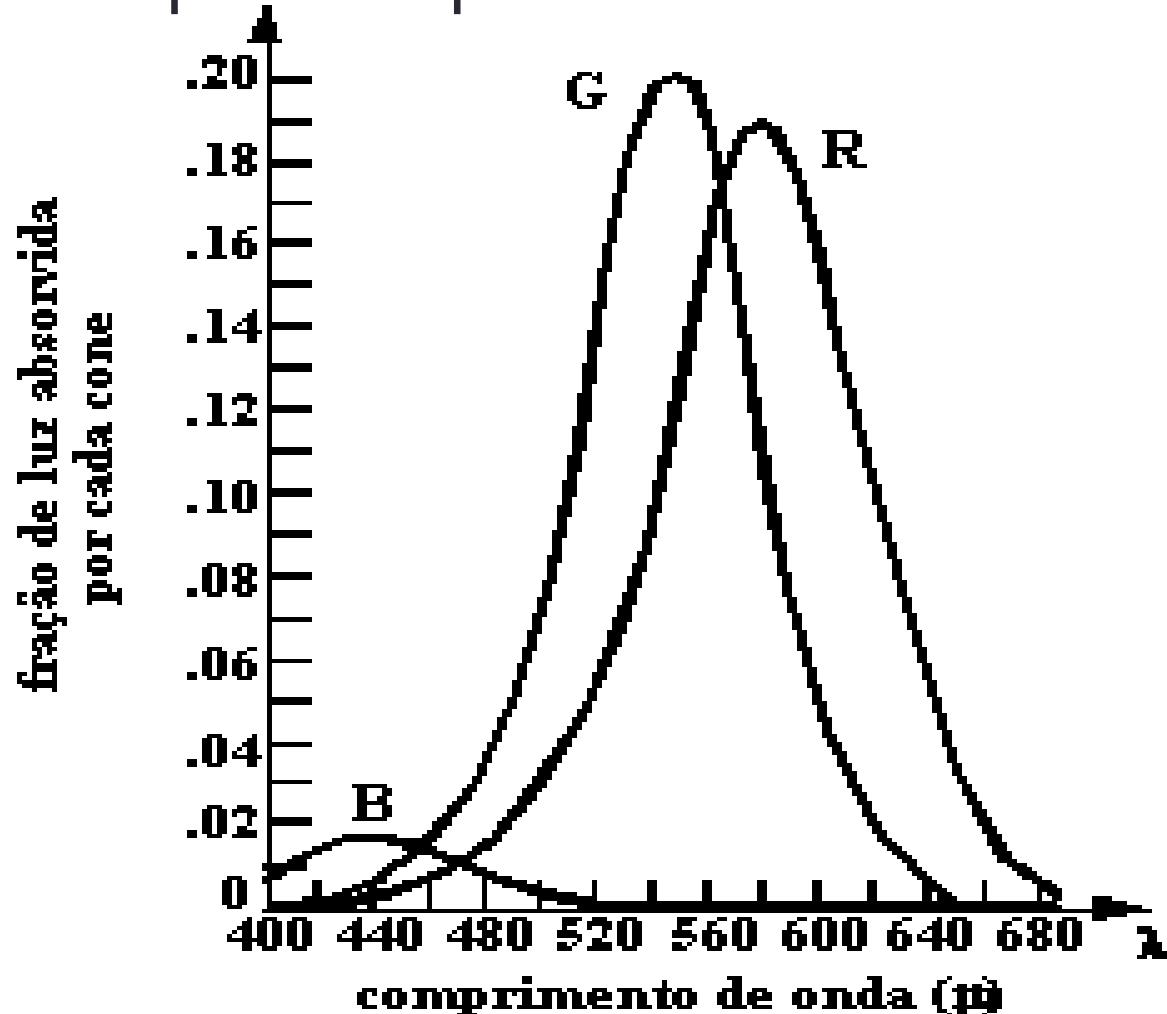
Olho Humano

- O olho é um sistema físico de processamento de cor (sistema refletivo)
- Similar a uma câmera de vídeo
- Converte luz em impulsos nervosos.



O Universo de Representação de Cor

- Curvas de resposta espectral do olho humano:



Luminância e Crominância

- A combinação das frequências é feita no cérebro da seguinte forma:
 - $L - M$
 - $H - (L + M)$
 - $L + M$
- Considerando
 - $H = B, M = G, L = R$; e
 - $R + G = Y$ (amarelo)
- a combinação enviada ao cérebro é:
 - $R - G$
 - $B - Y$
 - $R + G$

Luminância e Crominância

- **Luminosidade:**

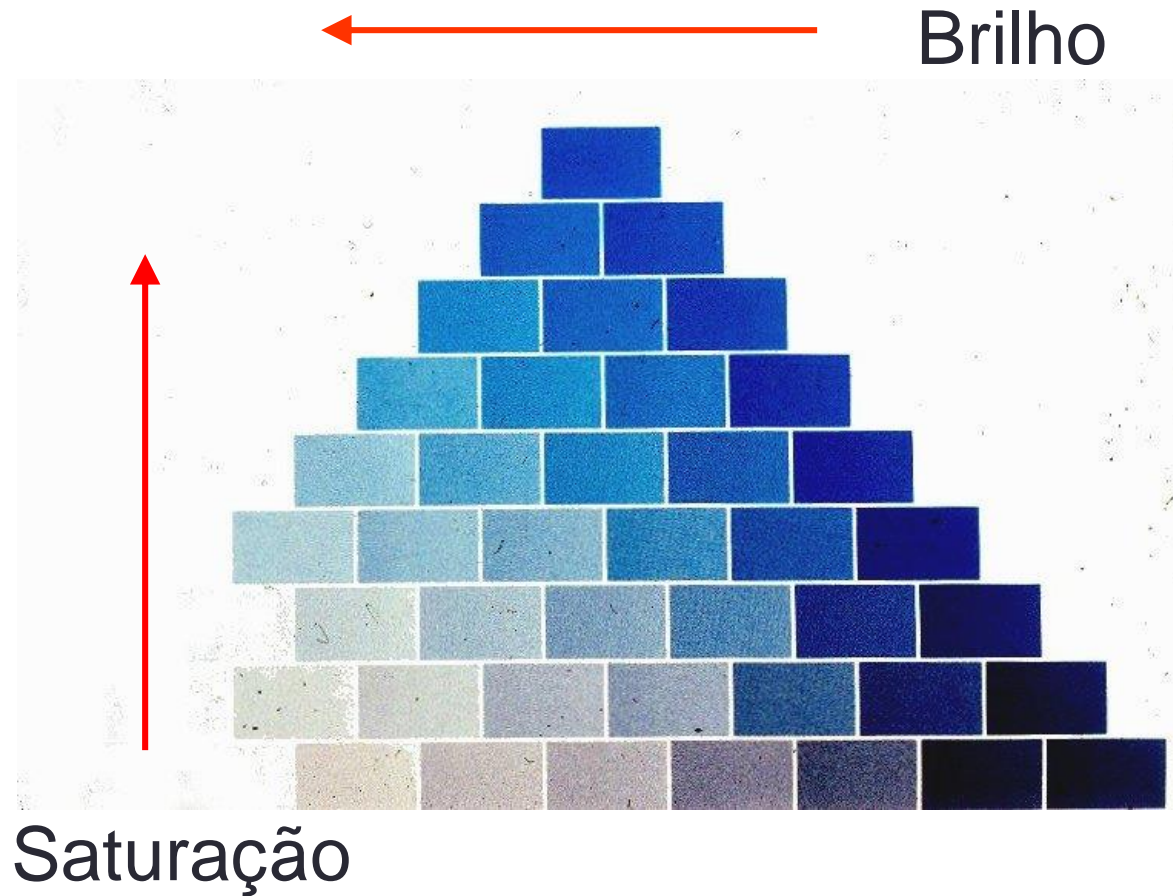
- Relacionada a claridade;
- A combinação R + G está relacionada com a *luminosidade* da cor ou *luminância*
 - A contribuição da componente B é praticamente desprezível

- **Matiz:**

- Medida do comprimento de onda médio da luz que ele reflete ou emite.
- Define a cor do objeto.
- R - G e B - Y fornecem a informação da *tonalidade* (ou *matiz*) da cor, também chamada de *crominância*, então a crominância refere-se ao valor das cores

- O sinal luminoso é dividido em *Luminância* e *Crominância*

Brilho versus Saturação

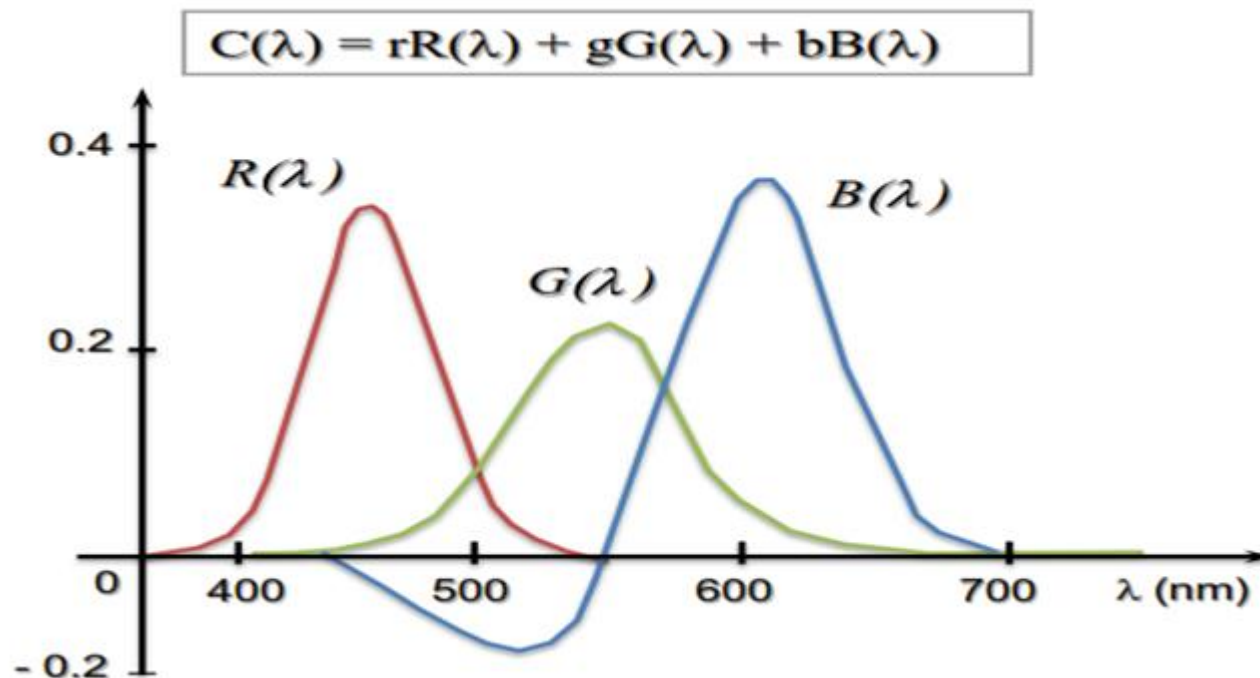


sistemas de cor padrão

- Sistemas propostos para especificação de cor padronizada.
- Independentes de dispositivos físicos.
- Sistemas propostos pela CIE (**Comission Internationale de l'Eclairage**)
 - Sistema CIE-RGB.
 - Sistema CIE-XYZ.

O sistema CIE-RGB

- Primeiro sistema padrão proposto.
- Base de primárias do sistema:
 - $R(\lambda)$ vermelho com comprimento de onda de 700 nm
 - $G(\lambda)$ verde com comprimento de onda de 546 nm
 - $B(\lambda)$ azul com comprimento de onda de 435.8 nm



Em algumas implementações os valores RGB
são convertidos para os intervalos:

[0,1] (double)

[0-255] (uint8)

[0-65535] (uint16)



double

0.30	G:0.29	G:0.27	G:0.29	G:0.33	G:0.64	G:0.1
0.10	B:0.09	B:0.09	B:0.11	B:0.15	B:0.48	B:0.1
0.85	R:0.84	R:0.83	R:0.83	R:0.78	R:0.75	R:0.1
0.33	G:0.32	G:0.30	G:0.31	G:0.31	G:0.32	G:0.1
0.13	B:0.12	B:0.11	B:0.12	B:0.12	B:0.16	B:0.1
0.85	R:0.84	R:0.83	R:0.84	R:0.81	R:0.78	R:0.1
0.34	G:0.32	G:0.31	G:0.32	G:0.31	G:0.30	G:0.1
0.13	B:0.13	B:0.13	B:0.13	B:0.12	B:0.13	B:0.1
0.85	R:0.84	R:0.84	R:0.83	R:0.82	R:0.79	R:0.1
0.35	G:0.35	G:0.33	G:0.31	G:0.30	G:0.29	G:0.1
0.16	B:0.16	B:0.16	B:0.13	B:0.13	B:0.11	B:0.1
0.83	R:0.83	R:0.85	R:0.84	R:0.82	R:0.80	R:0.1
0.36	G:0.35	G:0.36	G:0.33	G:0.32	G:0.29	G:0.1

uint8

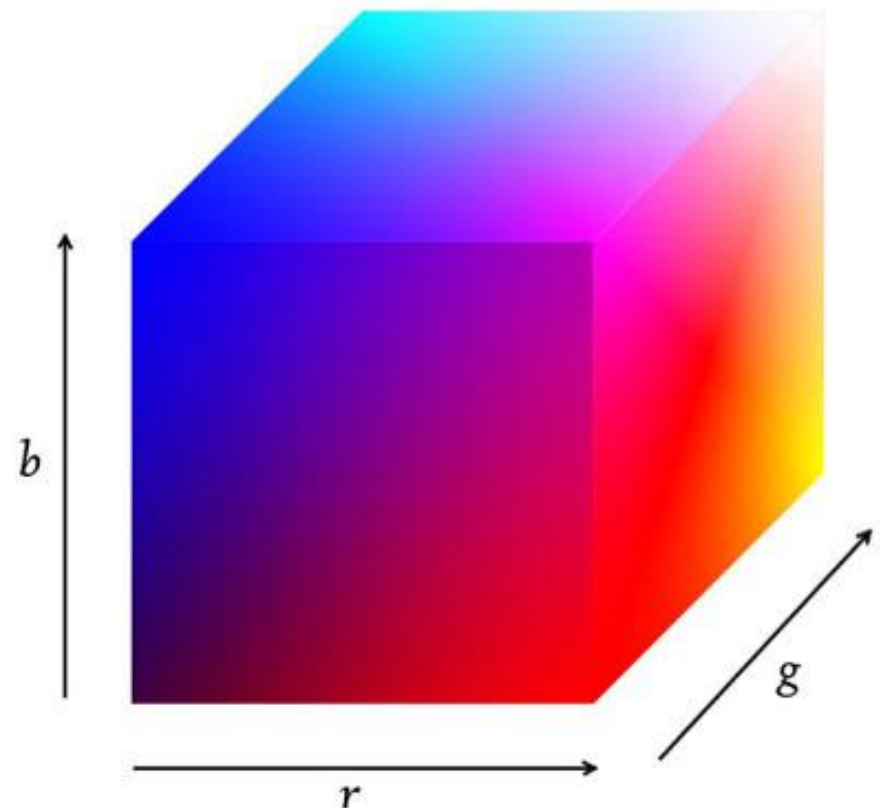
76	G: 73	G: 70	G: 74	G: 84	G:164	G:1
25	B: 23	B: 22	B: 27	B: 39	B:123	B:1
216	R:215	R:212	R:211	R:200	R:191	R:2
85	G: 81	G: 77	G: 79	G: 78	G: 82	G:1
33	B: 30	B: 29	B: 31	B: 31	B: 41	B:
216	R:213	R:212	R:214	R:206	R:198	R:1
86	G: 81	G: 80	G: 82	G: 78	G: 77	G:
34	B: 32	B: 32	B: 34	B: 31	B: 34	B:
217	R:215	R:213	R:211	R:208	R:201	R:1
89	G: 89	G: 85	G: 80	G: 77	G: 74	G:
40	B: 41	B: 40	B: 34	B: 33	B: 29	B:
211	R:212	R:216	R:214	R:209	R:205	R:1
93	G: 89	G: 91	G: 85	G: 81	G: 74	G:

O cubo RGB

- Sólido de cor para o sistema RGB

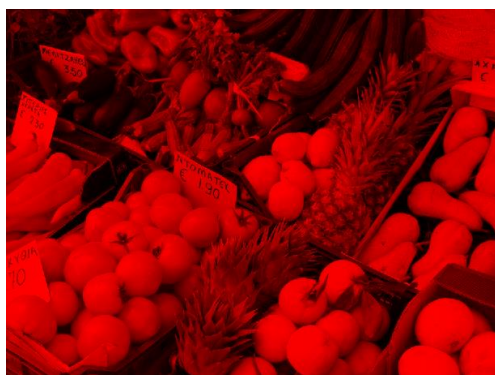
Vértices:

R	G	B	cor
0	0	0	preto
1	0	0	vermelho
0	1	0	verde
0	0	1	azul
1	1	0	amarelo
0	1	1	ciano
1	0	1	magenta
1	1	1	branco

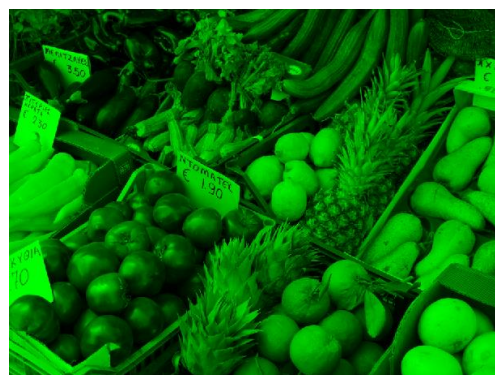




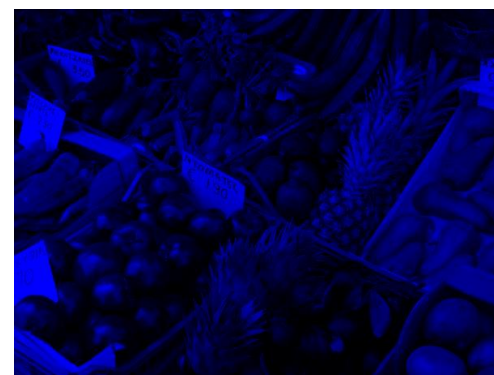
RGB



Red



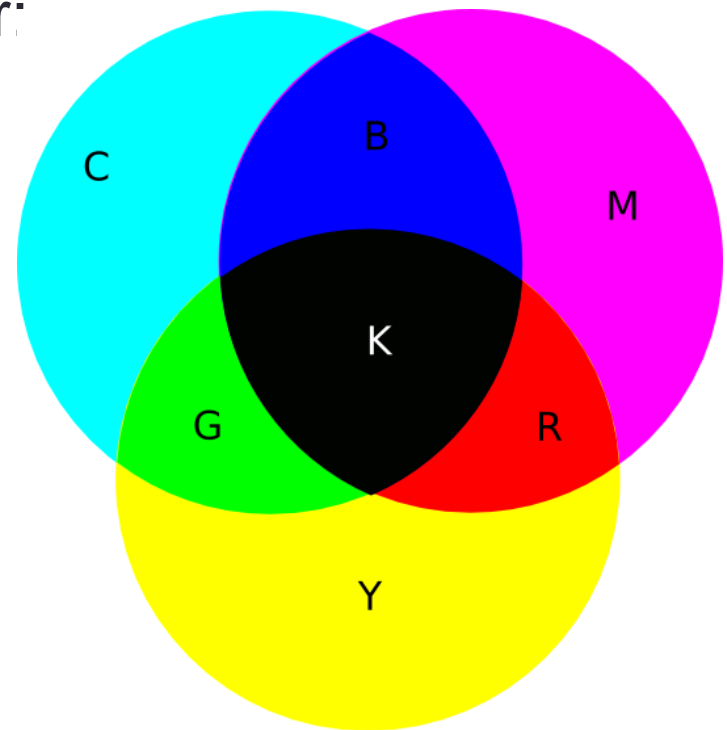
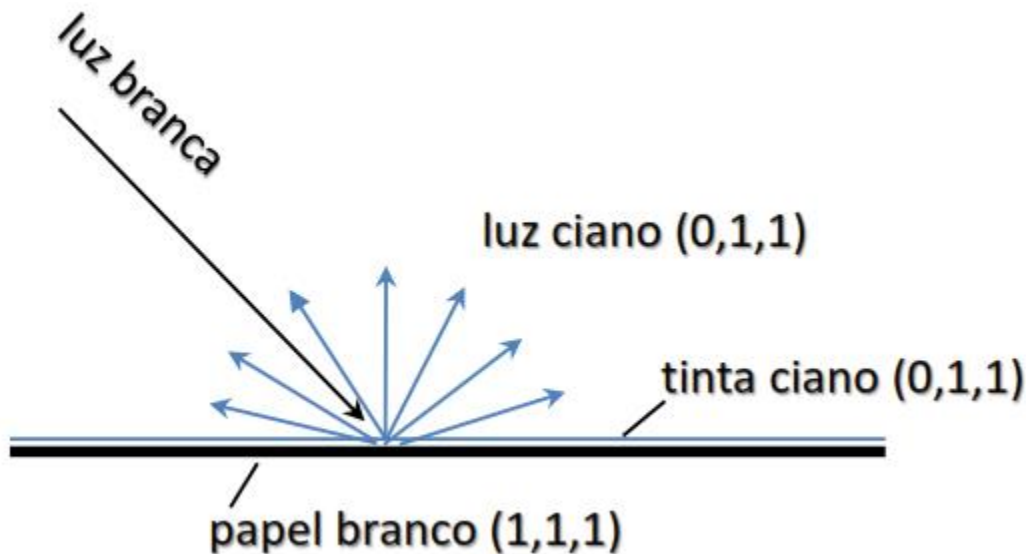
Green



Blue

O sistema CMY

- Ciano, Magenta e Amarelo são as cores que se obtém ao retirar Vermelho,
- Diz-se que são as cores complementares das primárias RGB
- Conversão $\text{CMY} \leftarrow \text{RGB}$ é dada por:
 $C = 1 - R$, $M = 1 - G$, $Y = 1 - B$



O sistema CMY

- Impressoras frequentemente usam pigmentos com essas cores
 - Para criar a cor preta é preciso quantidades iguais de pigmentos de ciano, magenta e amarelo.
 - É útil postular a existência de uma cor primária preta, gerando um sistema chamado CMYK

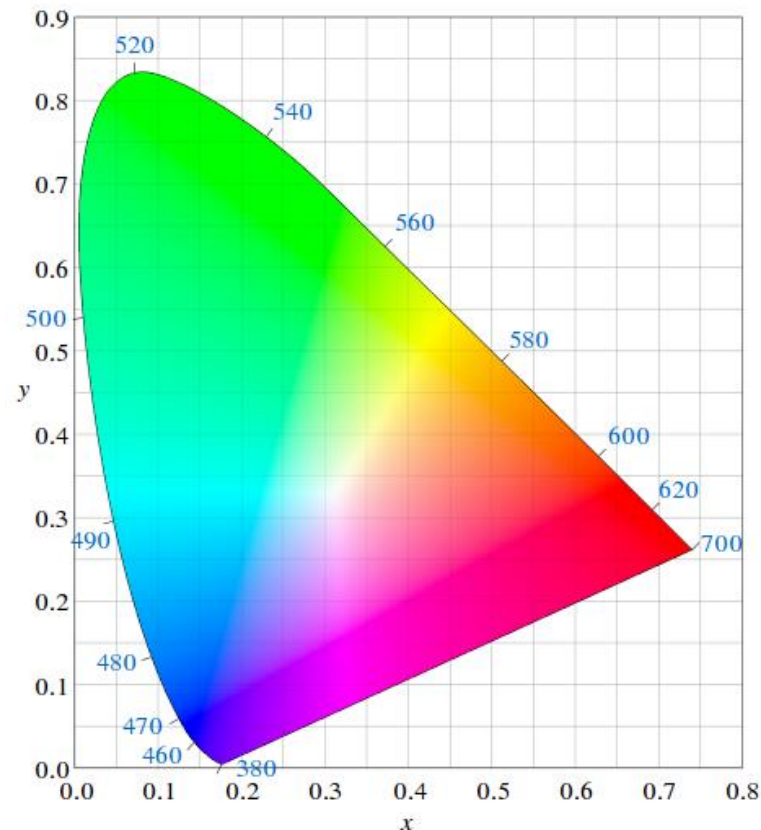
Red + Green = Yellow

Red + Blue = Magenta

Green + Blue = Cyan

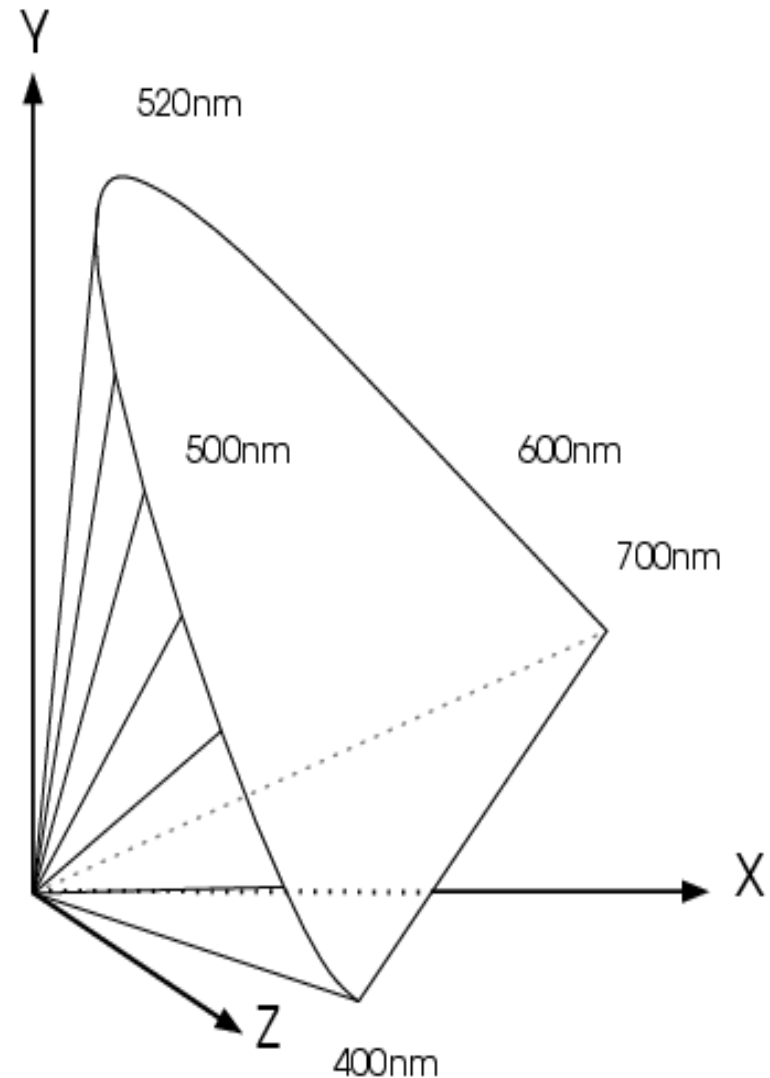
O sistema CIE-XYZ

- Capaz de reconstruir todas as cores visíveis.
- Deste modo todas as cores visíveis possuem coordenadas positivas.



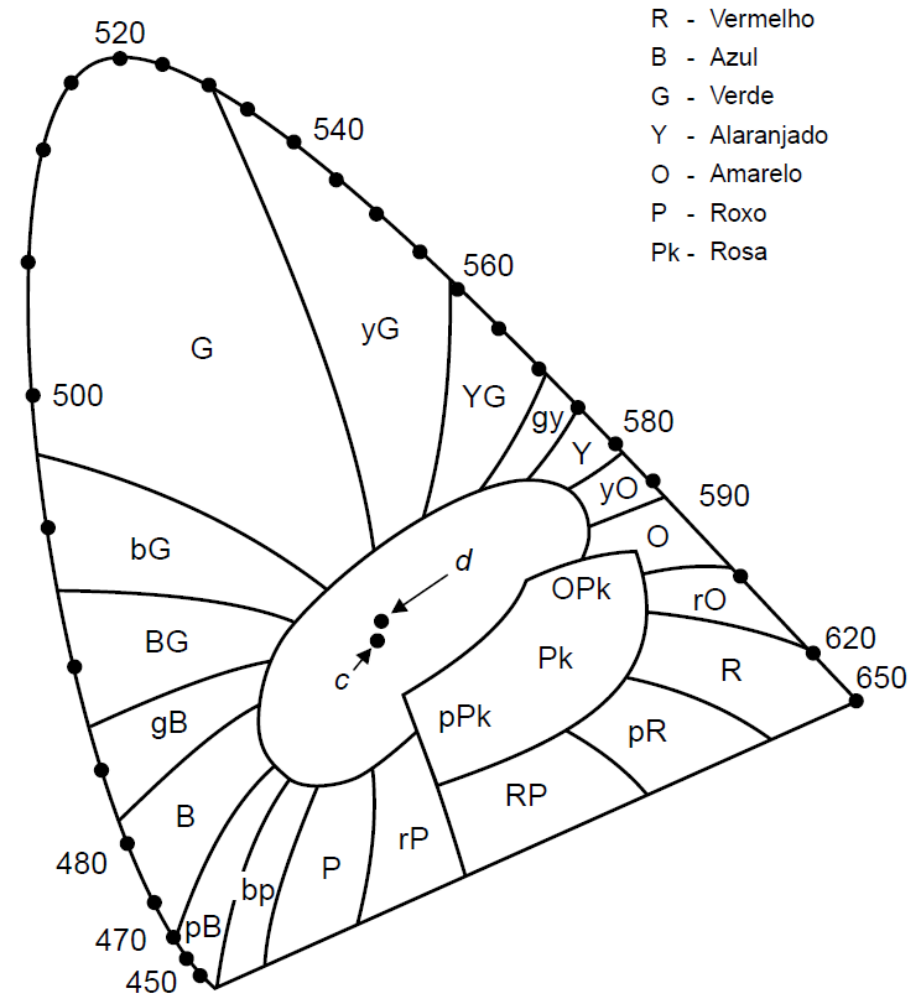
Sólido de cor

- Conjunto de todas as cores visíveis forma um cone convexo, chamado de sólido de cor.
- Combinação de duas cores visíveis é também visível.

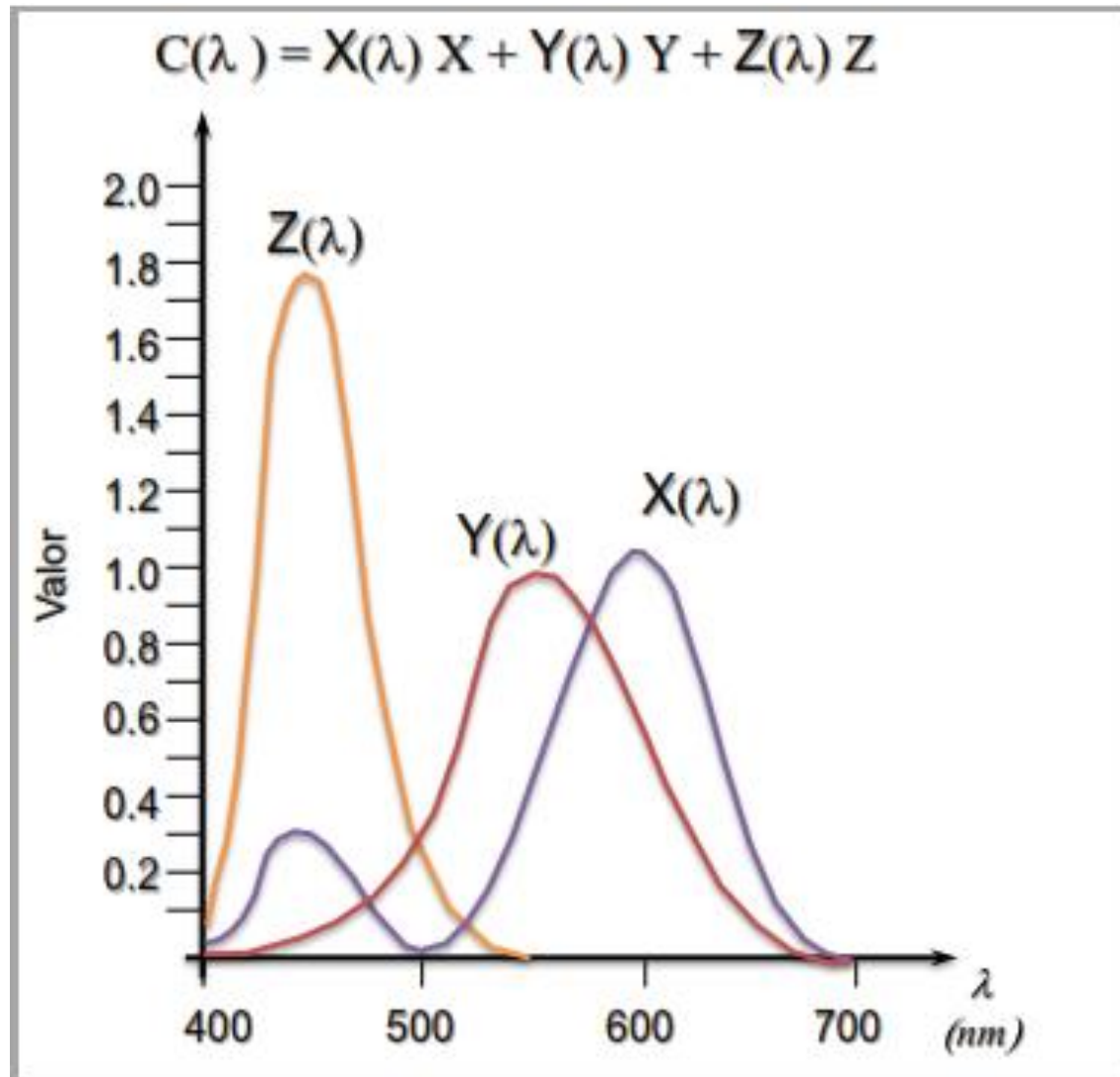


O sistema CIE-XYZ

- Pontos c e d representam dois tipos de Branco.
- Comprimento da onda:
 - Comprimento da reta que passa por um dos pontos de branco, passe pela cor e pela borda.
- Saturação:
 - Razão entre a distância do ponto à cor branca e a distância entre a borda e a cor branca.
- Criação de cores:
 - Qualquer cor pode ser criada passando uma linha entre duas cores;
 - Todas as cores entre elas podem ser criadas combinando-se essas duas cores na proporção da distância ao ponto desejado.



O sistema CIE-XYZ



O sistema CIE-XYZ

Conversão

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4887180 & 0.3106803 & 0.2006017 \\ 0.1762044 & 0.8129847 & 0.0108109 \\ 0.0000000 & 0.0102048 & 0.9897952 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

O sistema CIE-YIQ

- YIQ, sistema de cor de TVs NTSC
- YIQ parameters
 - Y : luminância
 - I, Q: crominância (informação de cor)
- Cálculo:
 - $Y = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B$
 - $I = R - Y$
 - $Q = B - Y$
- Separa a luminância ou brilho da cor, porque nós percebemos variações no brilho melhor do que variações de cor

O sistema CIE-YIQ

- Conversão:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

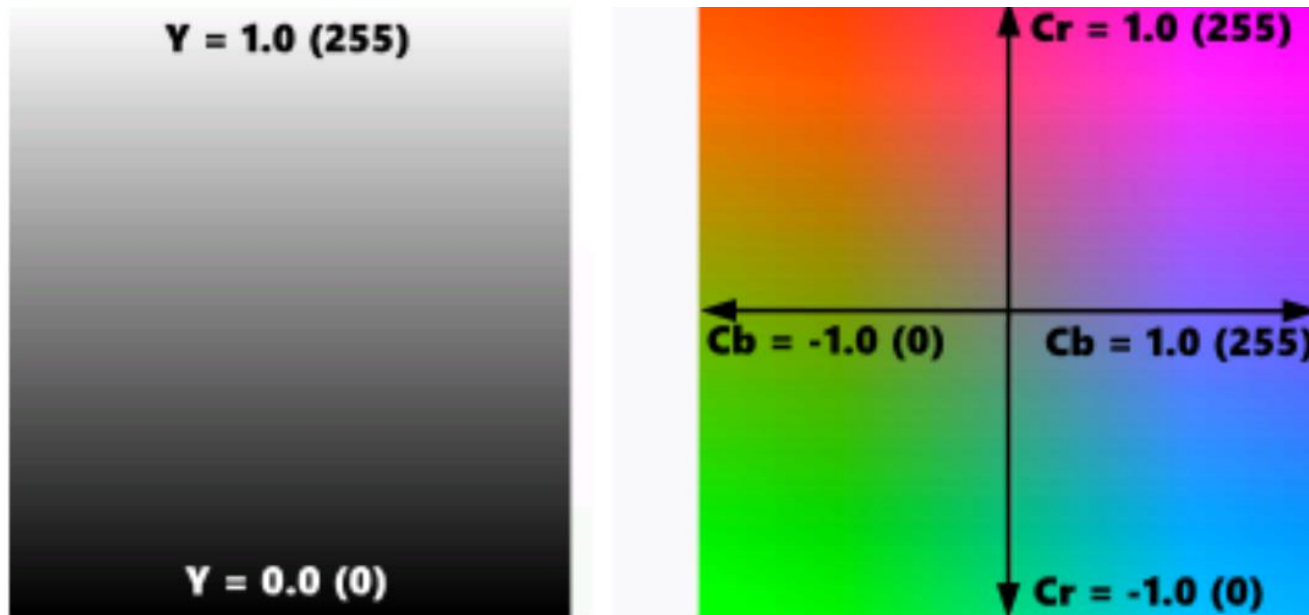
$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.956 & 0.621 \\ 1.000 & -0.272 & -0.647 \\ 1.000 & -1.106 & 1.703 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix}$$

YCbCr

- Os componentes são separados em duas categorias, luminância e crominância
- O modelo YCbCr é uma das escolhas mais populares para a detecção de tons de pele
- Também conhecido como YUV

YCbCr

- Y é a luminosidade
- Cb é o canal de cor azul
- Cr é o canal de cor vermelho



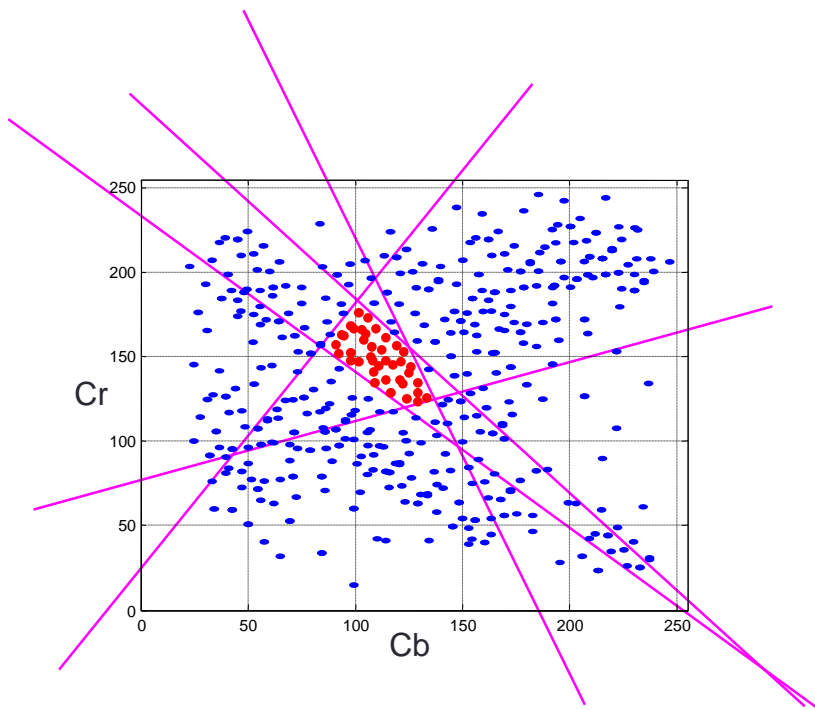
RGB para YCbCr

- O componente Y é obtido a partir da soma ponderada de valores RGB , a crominância é calculada subtraindo o componente de luminância dos canais B e R do sistema RGB .

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 65.481 & 128.553 & 24.966 \\ -37.797 & -74.203 & 112.000 \\ 112.000 & -93.786 & -18.214 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

- Note que Y está entre $[16, 235]$ enquanto Cb e Cr estão entre $[16, 240]$. Na prática, a escala é convertida para $[0, 255]$.

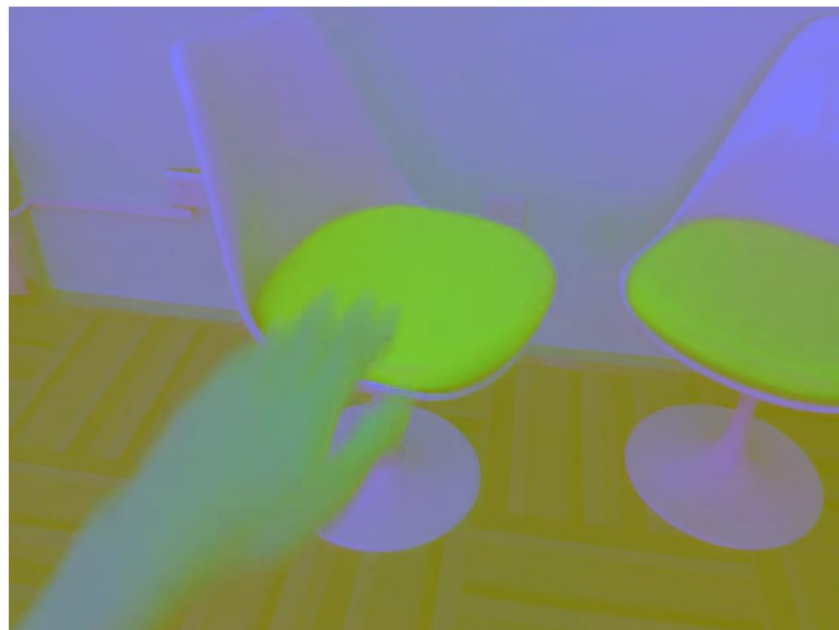
Detecção de Tom de Pele



Valores que delimitam o tom de pele:

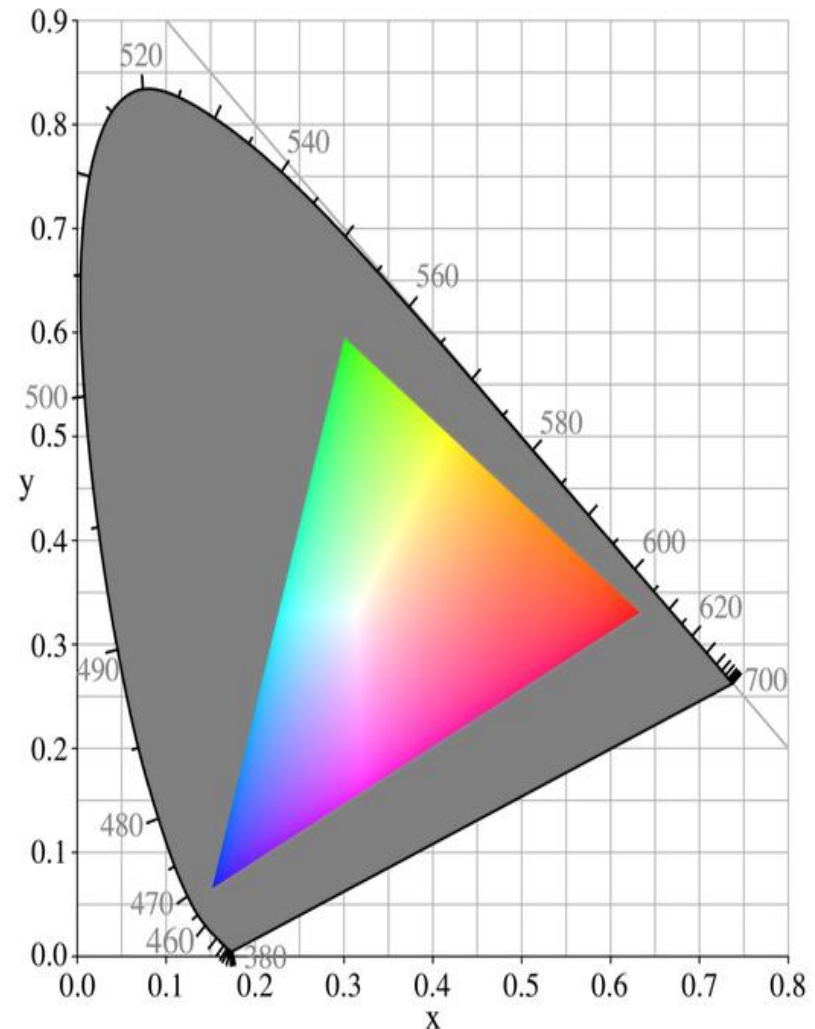
$$133 \leq Cr \leq 173$$

$$80 \leq Cb \leq 120$$



Gamute

- Monitores, impressoras e outros dispositivos são normalmente usados para reproduzir cores
- O gamute de um dispositivo é a variedade de cores que ele é capaz de reproduzir



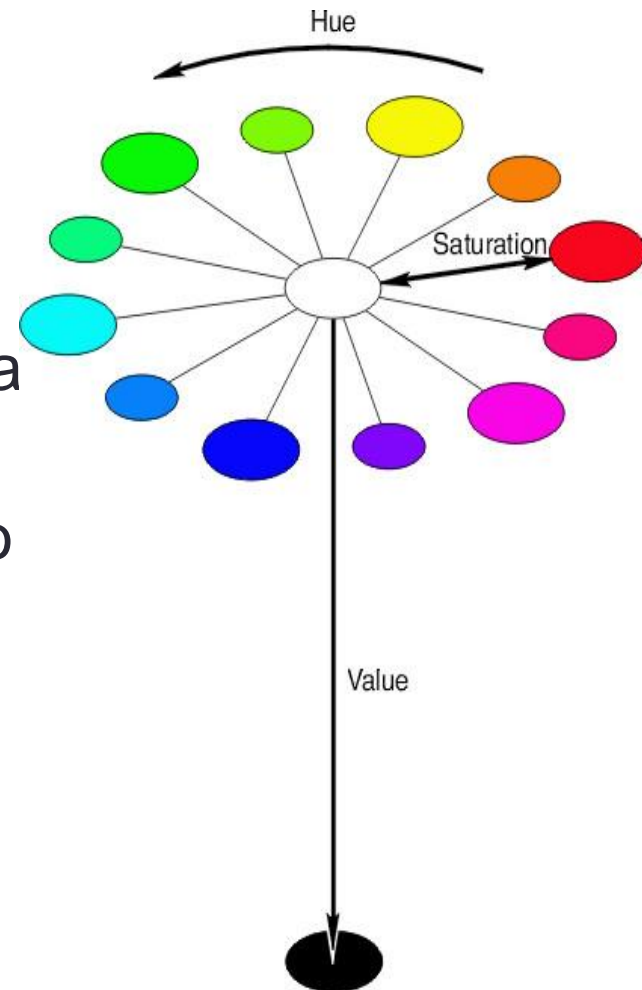
Gamute típico de um monitor

Sistemas de cor computacionais e de interface

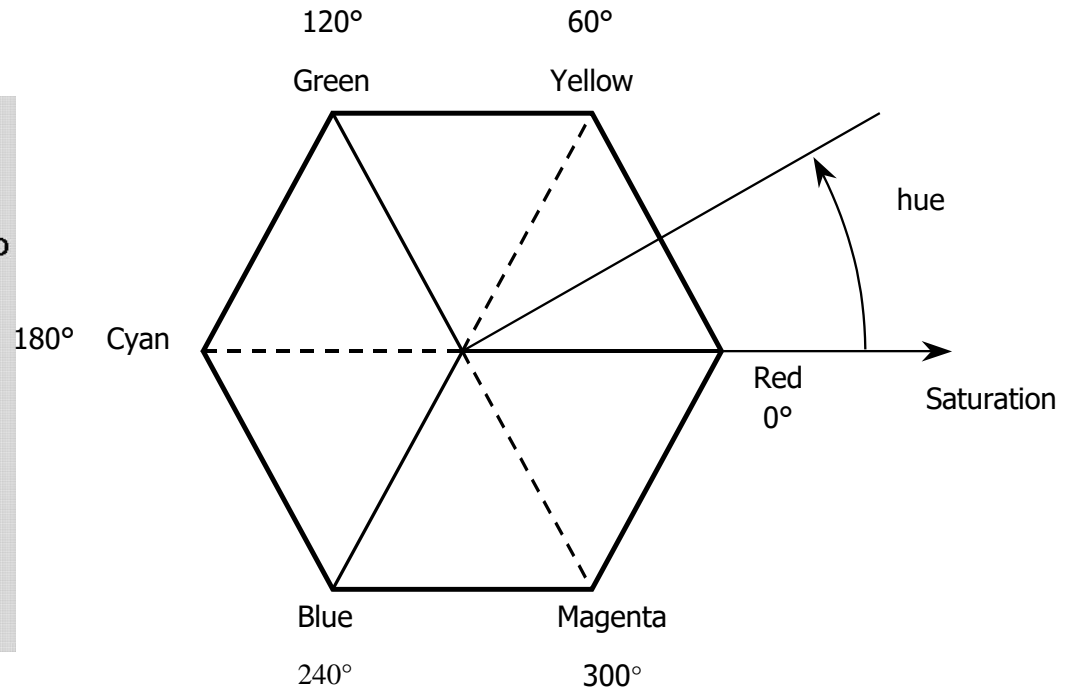
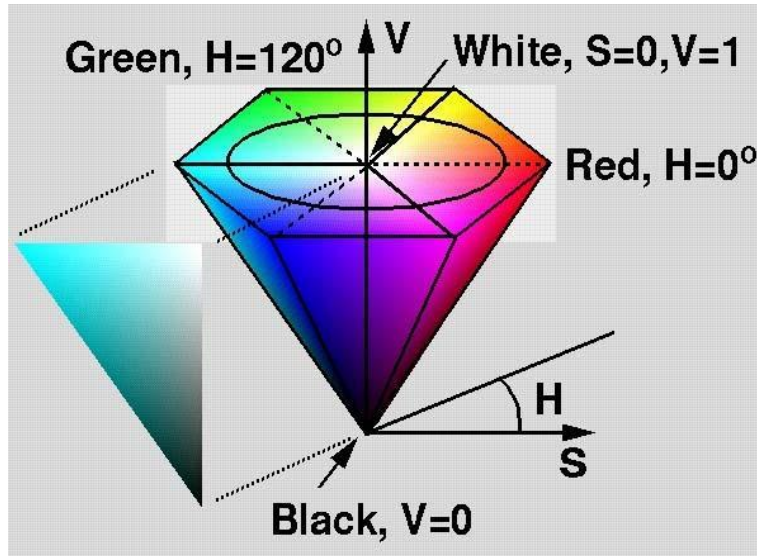
- Sistemas de cor computacionais são usados em síntese de imagens
 - Não são intuitivos para humanos
 - O sistema RGB é o exemplo mais conhecido
- Sistemas de cor de interface são mais apropriados para humanos
 - Baseados em coordenadas
 - HSV - Hue, Saturation, Value
 - HSL - Hue, Saturation, Luminosity
 - Baseados em amostras
 - Pantone
 - Munsell

O sistema HSV

- Sólido de cor é uma pirâmide hexagonal invertida
- Coordenadas correspondem ao matiz, saturação e valor
- Hexágono correspondente a $V = 1$ é uma projeção do cubo RGB
- Hue (matiz) corresponde a um ângulo ao redor do eixo do cone
- Saturação é o afastamento em relação ao eixo da pirâmide
- Valor (brilho) é a altura com relação ao ápice (preto)



O sistema HSV



- Hue (matiz) medido em graus $[0^\circ, 360^\circ]$
- Saturation (saturação) $[0.0, 1.0]$
- Value (valor) $[0.0, 1.0]$

Transformação de RGB para HSV

$$H = \begin{cases} 60 \frac{(G - B)}{(M - m)} & , \text{ se } R = M \\ 60 \frac{(B - R)}{(M - m)} + 120 & , \text{ se } G = M \\ 60 \frac{(R - G)}{(M - m)} + 240 & , \text{ se } M = B \end{cases}$$

Se $H < 0$, então $H = H + 360$

$$S = \begin{cases} \frac{(M - m)}{M} & , \text{ se } M \neq 0 \\ 0 & \text{ caso contrário} \end{cases}$$

$$V = M$$

onde :

$$m = \min(R, G, B)$$

$$M = \max(R, G, B)$$

Transformação de HSV para RGB

$$R = \begin{cases} V & , \text{se } 0 \leq h < 60 \text{ ou } 300 \leq h < 360 \\ q & , \text{se } 60 \leq h < 120 \\ p & , \text{se } 120 \leq h < 240 \\ t & , \text{se } 240 \leq h < 360 \end{cases}$$

$$G = \begin{cases} t & , \text{se } 0 \leq h < 60 \\ V & , \text{se } 60 \leq h < 180 \\ q & , \text{se } 180 \leq h < 240 \\ p & , \text{se } 240 \leq h < 360 \end{cases}$$

$$B = \begin{cases} p & , \text{se } 0 \leq h < 120 \\ t & , \text{se } 120 \leq h < 180 \\ V & , \text{se } 180 \leq h < 300 \\ q & , \text{se } 300 \leq h < 360 \end{cases}$$

onde :

$$p = V(1 - S)$$

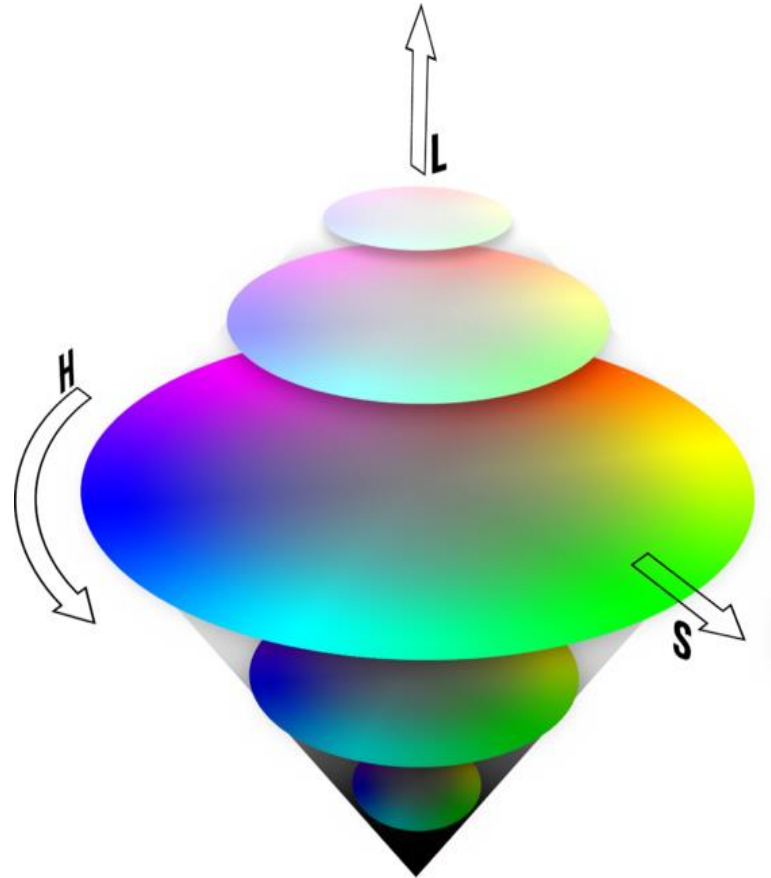
$$q = V(1 - Sf)$$

$$t = V(1 - S(1 - f))$$

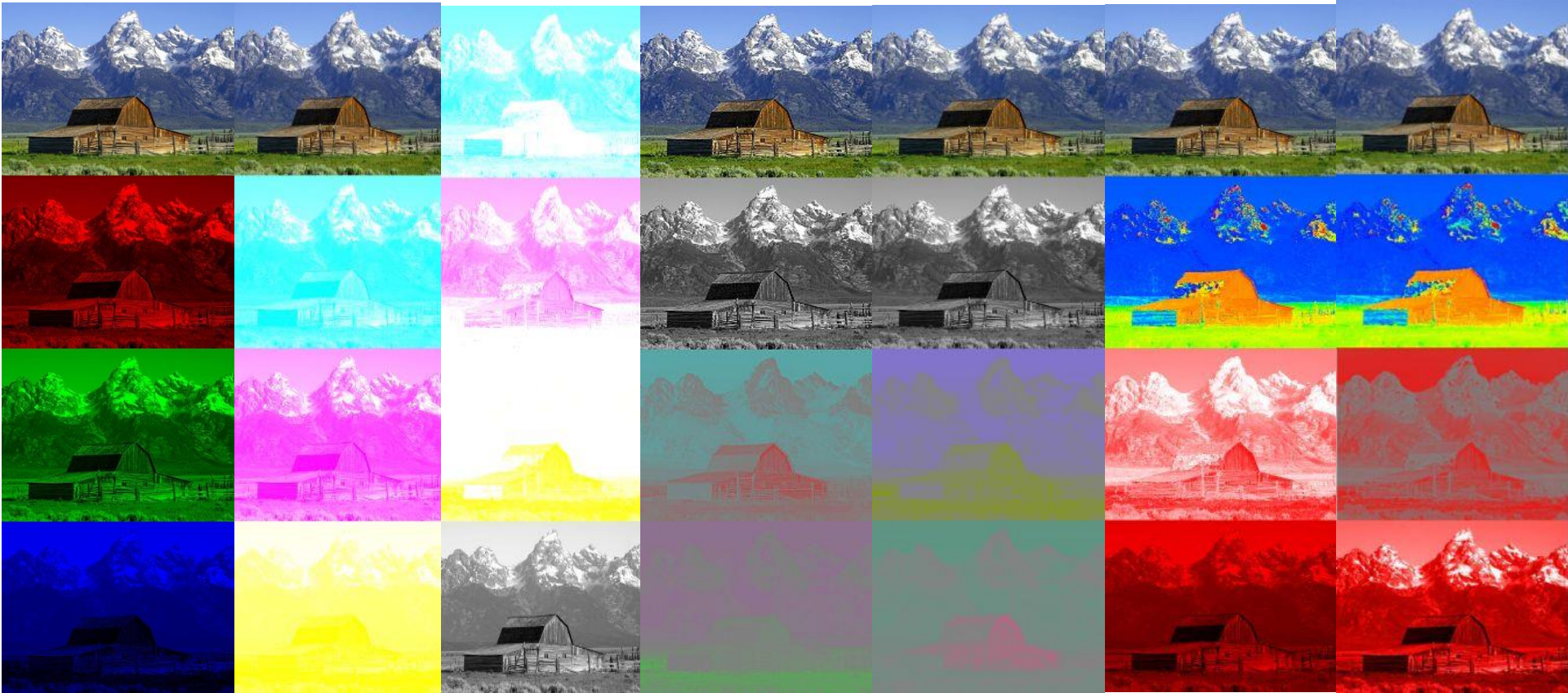
$$f = H - \text{floor}(H)$$

O sistema HSL

- Sólido de cor é um duplo cone
- Semelhante ao HSV, mas simétrico com relação à luminosidade da cor (Lightness)
 - Corresponde à intuição de que branco também é uma cor com saturação zero



Comparação



RGB

CMY

CMYK

YIQ

YCbCr

HSV

HSL

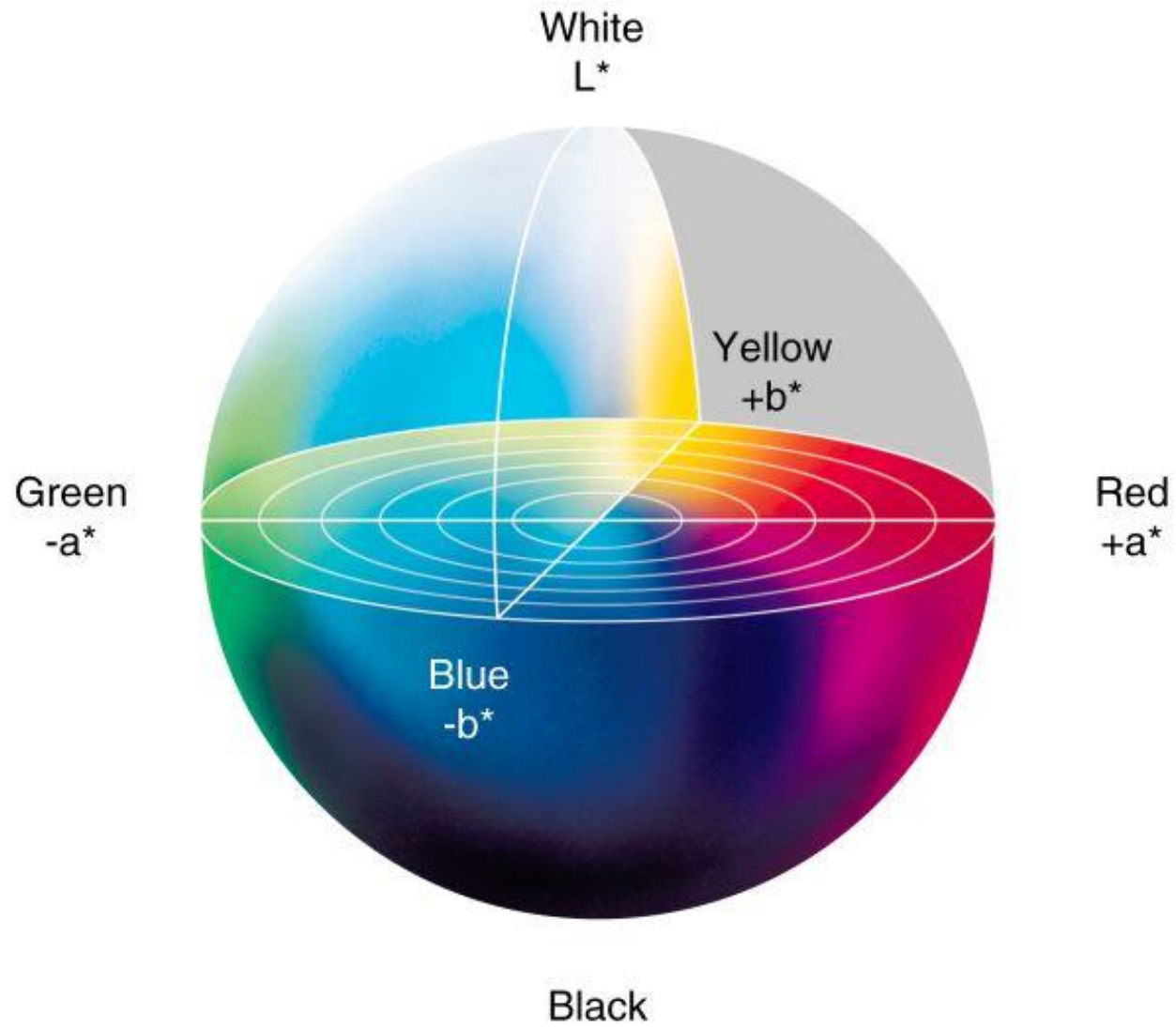
Espaço de Cores Uniforme

- Espaço de cores em que as mudanças nas coordenadores de cores correspondem a mudanças na mesma proporção nos tons visíveis de cor e saturação.
- CIELAB
 - L^*a^*b
- CIELUV
 - L^*u^*v
- Úteis quando cores similares precisam ser comparadas.
- Baseados diretamente no sistema CIE-XYZ

CIELAB

- Expressa numericamente as cores, sendo que o de mensuração cromática $L^*a^*b^*$
- L^* é referente à luminosidade do objeto podendo variar do preto ao branco;
 - 0 = preto
 - 100 = branco
- a^* é a medida do croma no eixo vermelho-verde;
 - $a^* > 0$ vermelho/púrpura
 - $a^* < 0$ verde
- b^* é a medida do croma no eixo amarelo-azul
 - $b^* > 0$ □ amarelo
 - $b^* < 0$ □ azul
- $a^* = b^* = 0$ cor acromática (cinzento)

CIELAB



CIELAB

- Conversão:
 - Converter RGB para o CIE-XYZ
 - X_n Y_n Z_n são os valores XYZ do branco de referência (Dependente do sistema)

$$L^* = 116 \cdot h\left(\frac{Y}{Y_w}\right) - 16$$

$$a^* = 500 \left[h\left(\frac{X}{X_w}\right) - h\left(\frac{Y}{Y_w}\right) \right]$$

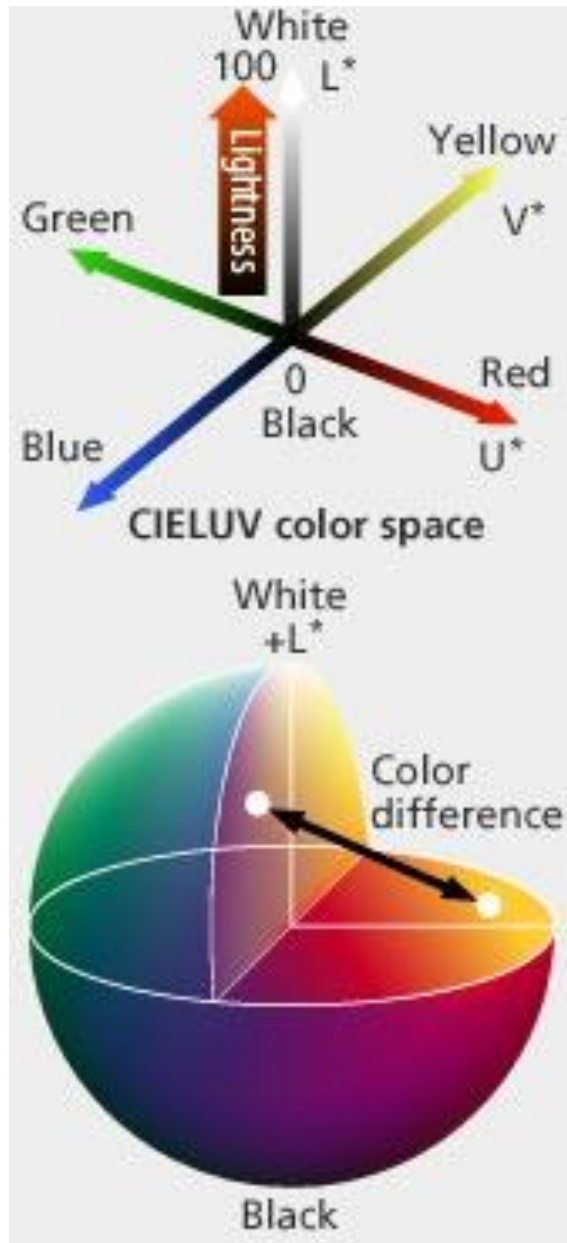
$$b^* = 200 \left[h\left(\frac{Y}{Z_w}\right) - h\left(\frac{Z}{Z_w}\right) \right]$$

$$h(q) = \begin{cases} \sqrt[3]{q} & q > 0.008856 \\ 7.787q + 16/116 & q \leq 0.008856 \end{cases}$$

CIELUV

- L^* é referente à luminosidade do objeto podendo variar do preto ao branco;
 - 0 = preto
 - 100 = branco
- u^* é a medida do croma no eixo vermelho-verde;
 - $u^* > 0$ vermelho/púrpura
 - $u^* < 0$ verde
- v^* é a medida do croma no eixo amarelo-azul
 - $v^* > 0$ □ amarelo
 - $v^* < 0$ □ azul
- $u^* = v^* = 0$ cor acromática (cinzento)

CIELUV



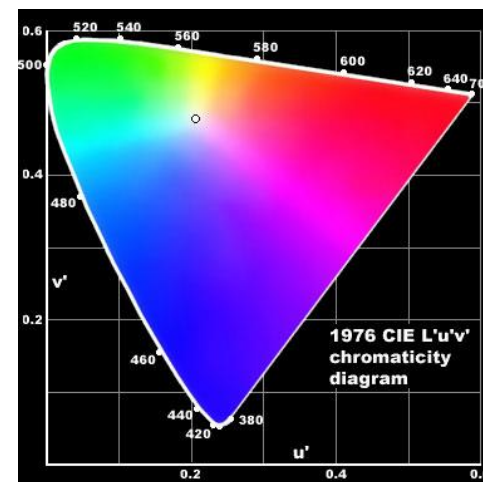
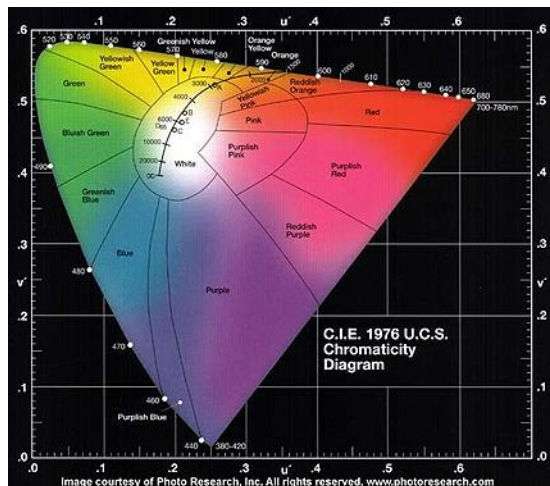
CIELUV

$$L^* = \begin{cases} 903,3 Y/Y_n & \text{if } Y/Y_n < 0,008856 \\ 116 (Y/Y_n)^{1/3} & \text{senão} \end{cases}$$

- $u^* = 13L^* (u' - u'_n)$
- $v^* = 13L^* (v' - v'_n)$
- $u' = 4X / (X+15Y+3Z)$
- $v' = 9Y / (X+15Y+3Z)$
- $Y_n u_n v_n$ são os valores XYZ do branco de referência

CIELAB versus CIELUV

- Nos espaços de cor $L^*a^*b^*$ e $L^*u^*v^*$ as distância entre as cores podem ser calculadas pela distância euclidiana:
- No $L^*u^*v^*$, o vermelho é mais representado que o verde e o azul.
- O $L^*a^*b^*$, possui uma sensibilidade maior no verde que no vermelho e azul. Porém, Azul é mais representado que no espaço de cor $L^*u^*v^*$.



Padrão Computacional de Cores

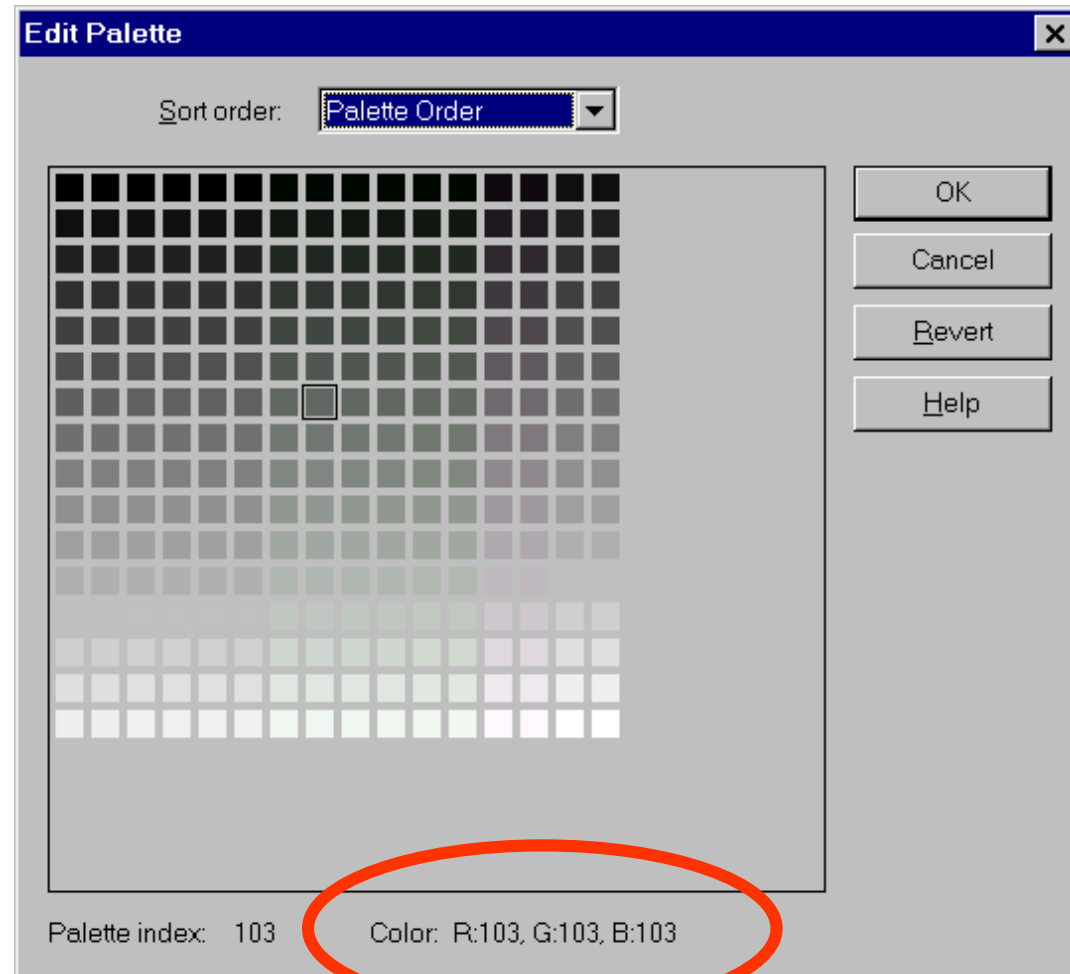
- Windows
 - 2 cores (1 bit)
 - 16 cores (4 bits)
 - 256 cores (8 bits = 1 byte)
 - 16 milhões de cores (24 bits = 3 bytes)
- Até 256 cores são armazenadas em uma **paleta de cores**

Padrão Computacional de Cores

- Paleta de cores armazenada no início do arquivo da imagem, chamado *cabeçalho*
- Cada cor é armazenada no cabeçalho em três bytes (1 R; 1 G; 1 B)
- Cada pixel possui informação sobre a sua cor na paleta
- Para imagens com 16 milhões de cores, a paleta não é utilizada (a cor é definida no próprio pixel em 3 bytes)

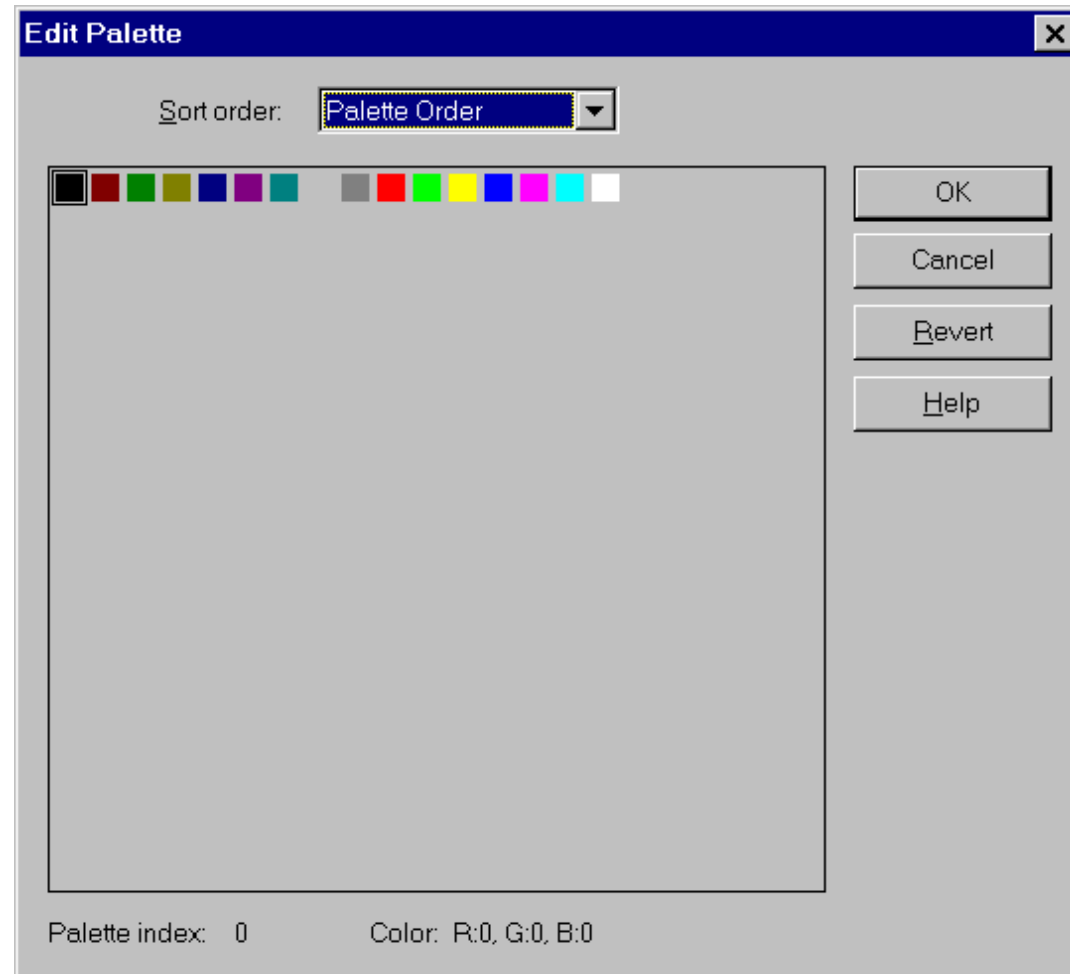
Padrão Computacional de Cores

Paleta para
Imagem
com 256 tons
de cinza
(Windows)



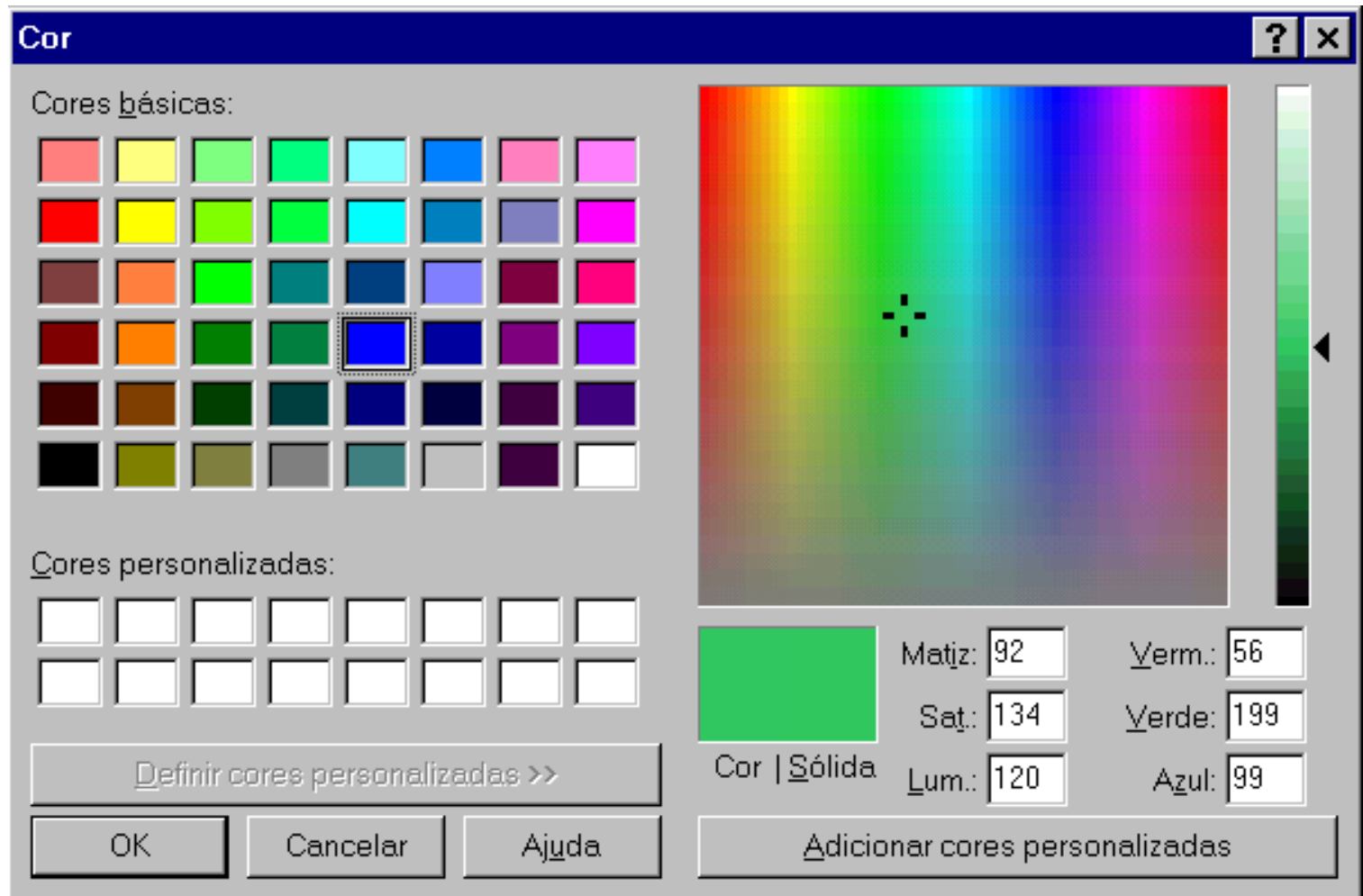
Padrão Computacional de Cores

Paleta para
Imagem
com 16 cores
(Windows)



Luminância, Matiz e Saturação

Cubo de
Cores



Referências

- Azevedo, E., Conci, A. Computação Gráfica – Teoria e Prática, Ed 1, Campus , 2003. 368 p.
- FOLEY, J. et al. Computer graphics: principles and practice. 2. ed. Reading, MA: Addison-Wesley, 1997. 1175 p. il.