IA725 – Computação Gráfica I

Modelos de Cor

Shirley: Capítulo 20, 21

Redbook: Capítulo 4

Imagens Coloridas

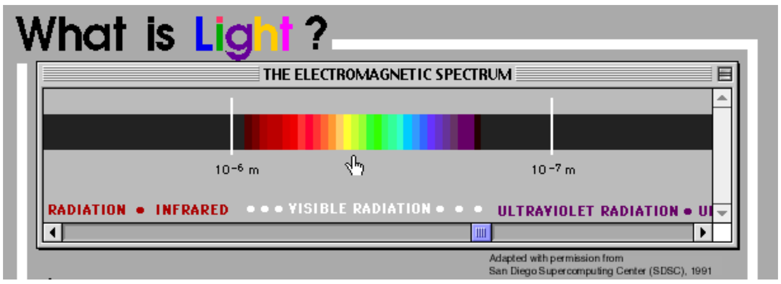
Objetivos

- Formação de Cores
- Percepção de Cores
- Teoria Tricromática
- Modelos de Cores
- Conversão entre Modelos

Cor

⇕

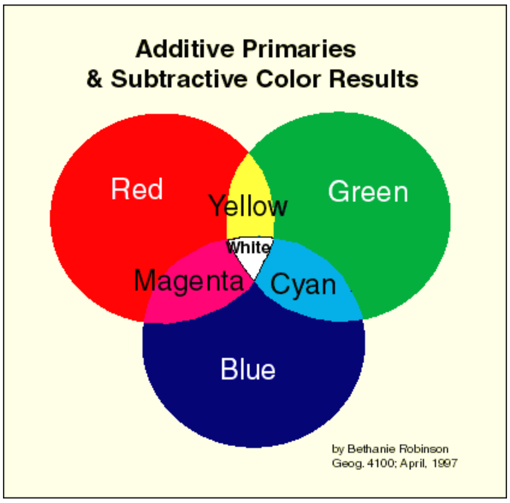
Ondas Eletromagnéticas Visíveis



Formação de Cores

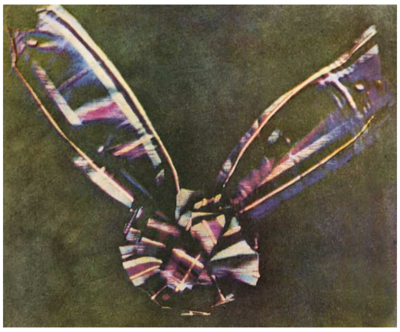
Aditiva - Cores Primárias

Vermelho
Verde
Azul

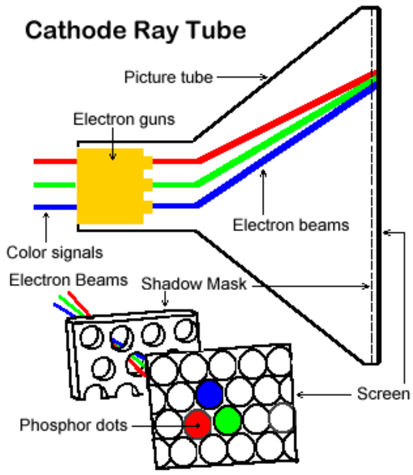


Formação de Cores

Mistura Aditiva

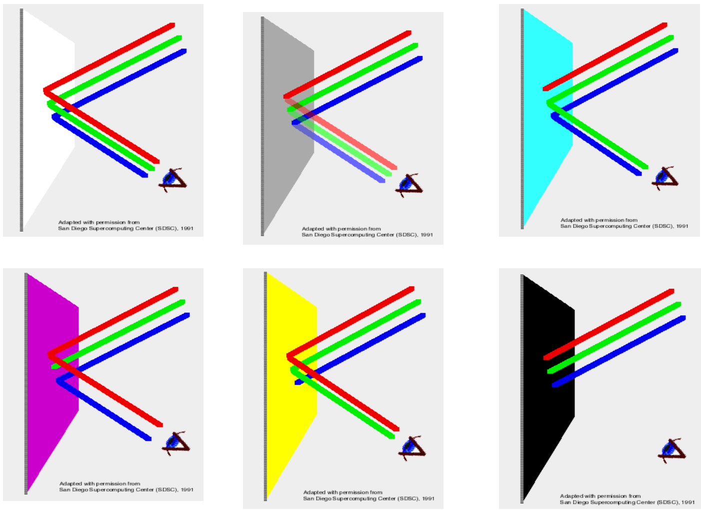


Primeira foto colorida resultante da projeção conjunta de 3 imagens (verde,vermelho e azul), James Clerk Maxwell, 1861



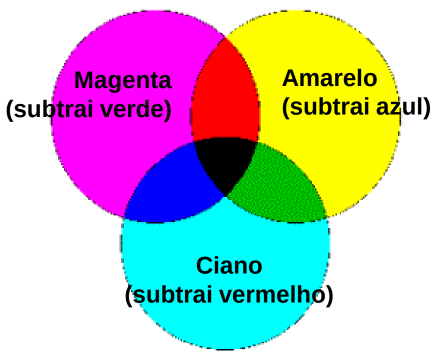
Formação de Cores

Mistura Subtrativa



Formação de Cores

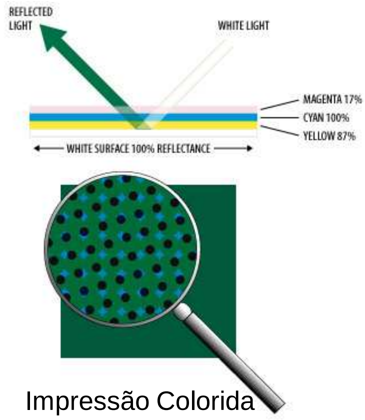
Subtrativa - Cores Primárias



Formação de Cores

Mistura Subtrativa

Pintura

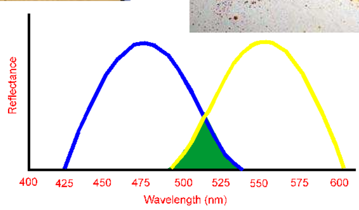


Impressão Colorida

Formação de Cores

Mistura Subtrativa

Tintas

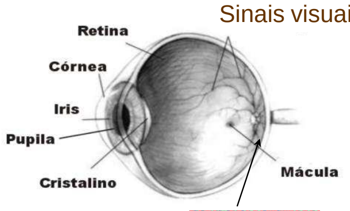


Percepção de Cores

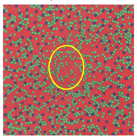
Radiações
Sinais luminosos

Sistema Visual

Sinais visuais



Fóvea ou
mancha amarela



Cones sensíveis a comprimento de onda curto, médio e longo

Sinais elétricos

Respostas

Sensação de cores

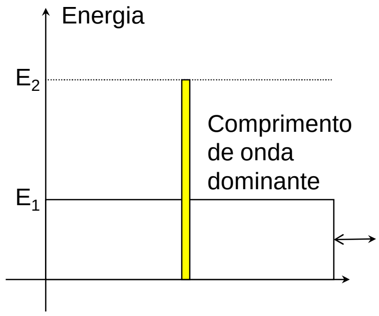
Especificação

Grandezas colorimétricas		Grandezas fisiológicas
Comprimento de onda dominante	↔	Matiz: cor
Pureza na excitação	↔	Saturação: tonalidade da cor
Luminância	↔	Brilho: brilho da cor

Distribuição de energia de uma cor “monocromática”: só há um comprimento dominante

$$\text{Pureza} = \frac{E_2 - E_1}{E_2}$$

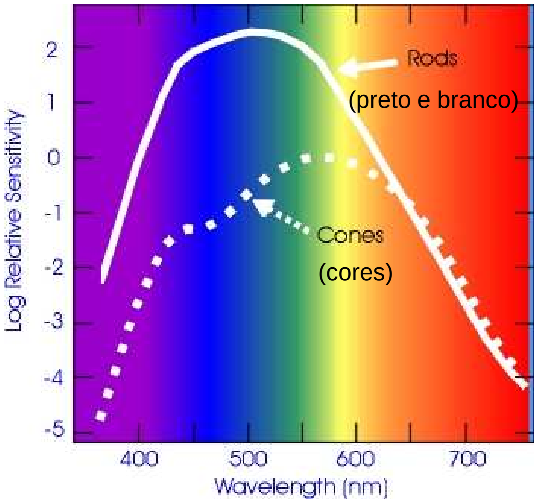
Luminância $\propto$ Energia



BRANCO = radiações de todos os comprimentos com a mesma energia

Células Fotossensíveis

Cones e Bastonetes



Visão fotópica (diurna) : visão adaptada a altos níveis de luminância. Visão colorida.

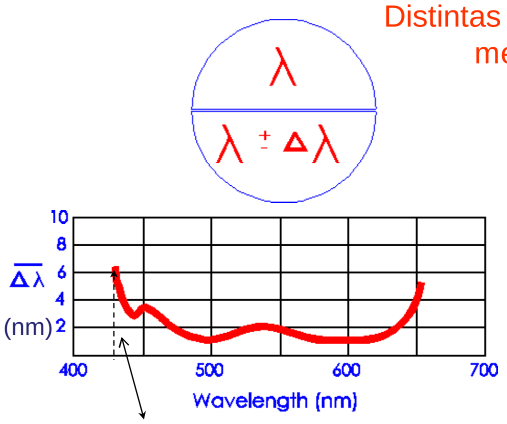
Visão mesópica: visão adaptada a regiões de níveis intermediários.

Visão escotópica (noturna): visão adaptada a baixos níveis de luminância. Os bastonetes respondem melhor.

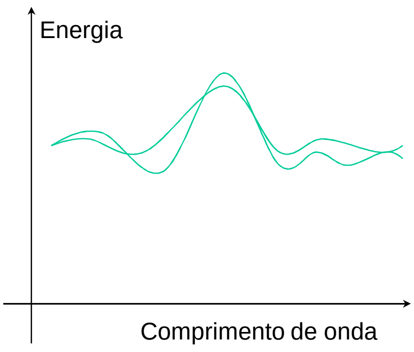
Percepção Visual

Metâmeras

Distintas distribuições espectrais, porém mesma percepção colorida



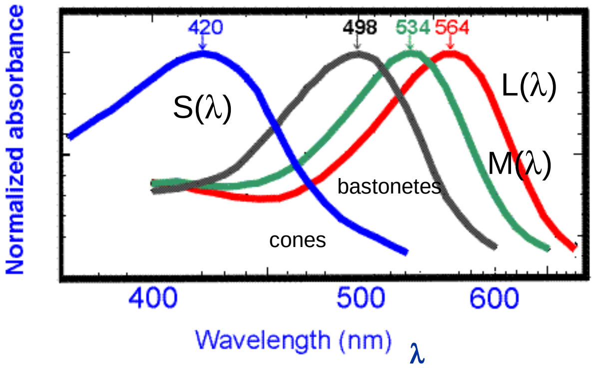
Diferença mínima para que duas cores sejam perceptualmente distintas



Teoria Tricromática

Young,Helmholtz,Maxwell

Funções de Sensibilidade Espectral



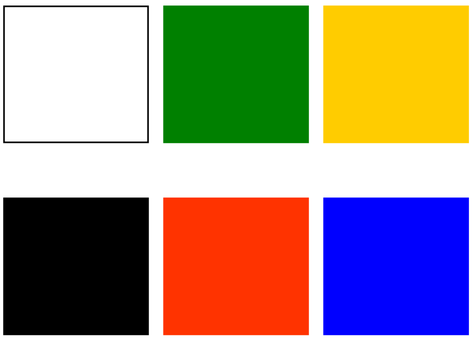
After Bowmaker & Dartnall, 1980

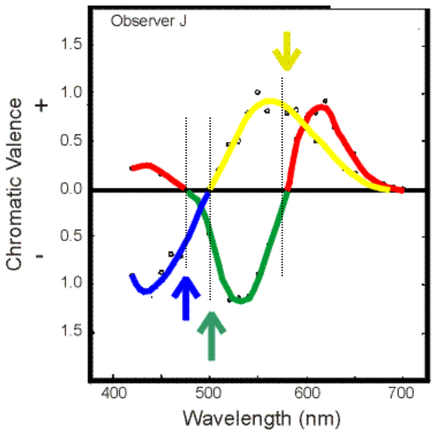
3 tipos de cones

380nm 750nm

Teoria de Processos Oponentes

Hering, Hurvich e Jameson





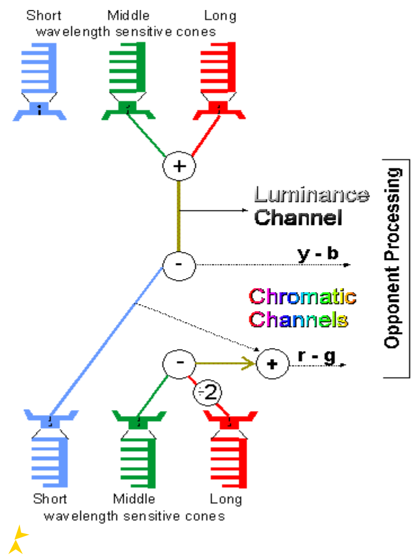
Adapted from Hurvich & Jameson, 1955

Preto esbranquiçado? Verde avermelhado? Azul amarelado?

Resposta a um canal anula a sensibilidade do outro canal

3 canais oponentes ⟶ cores antagônicas

Teoria de Processos Oponentes



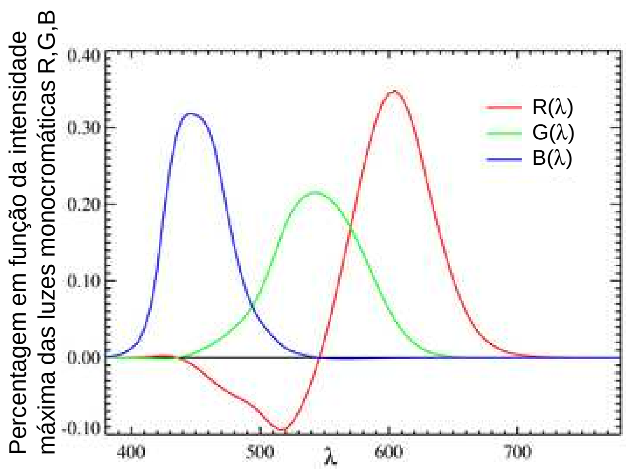
Canal de luminância: cones sensíveis aos comprimentos de onda longos (L) e médios (M), gerando percepção de preto-branco (luminância).

Canal cromático ou canal oponente RG: cones sensíveis aos comprimentos de onda longos (L) e médios (M) tem 50% de probabilidade para perceber verde e outro 50% para perceber vermelho.

Canal cromático ou canal oponente YB: cones sensíveis a amarelo e aos comprimentos curtos (S) tem 50% de probabilidade para perceber amarelo e outro 50% para perceber azul.

Reconstrução Espectral

Funções



$$A(\lambda) = rR(\lambda) + gG(\lambda) + bB(\lambda)$$

Modelos de Cor

Leis de Grassman

1. Qualquer cor pode ser especificada como mistura aditiva de 3 cores independentes.
2. A cor de uma mistura aditiva não se altera quando substituirmos as cores componentes pelas suas metâmeras.
3. Se uma componente de uma mistura aditiva é alterada numa dada proporção continuamente, a cor da mistura é modificada na mesma proporção continuamente, obedecendo as leis de simetria, transitividade e linearidade.

Modelos de Cor

Funções de Reconstrução Espectral com 3 cores

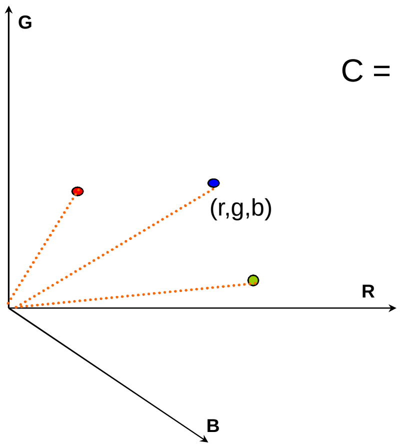
⬇

Leis de Grassman

⬇

Espaço Vetorial de Cores

Modelos de Cor
Espaço de Cores RGB

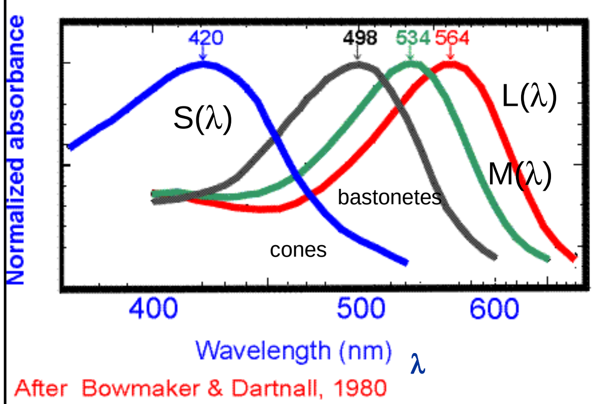


C = r**R** + g**G** + b**B**

Uma cor pode ser obtida como soma ponderada de somente três tipos de radiações.

Representação de uma cor: vetor de 3 valores reais (r,g,b)
É única?

Modelos de Cores
Unicidade



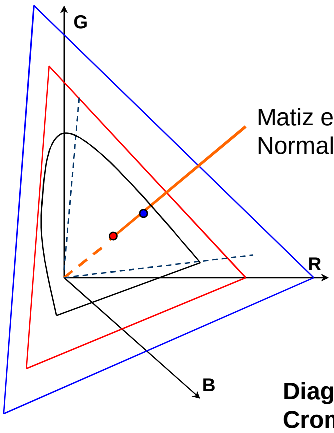
$S_C = rS_R + gS_G + bS_B$
$M_C = rM_R + gM_G + bM_B$
$L_C = rL_R + gL_G + bL_B$

$C = \alpha\mathbf{R} + \beta\mathbf{G} + \gamma\mathbf{B} = \alpha S_c + \beta M_c + \gamma L_c$

Cada cor tem uma proporção de pesos distinta

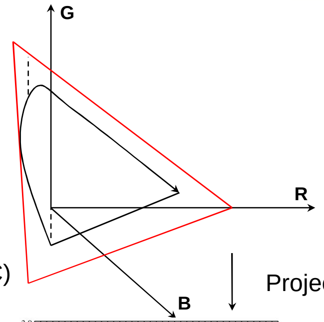
Modelos de Cor

Espaço de Cores RGB



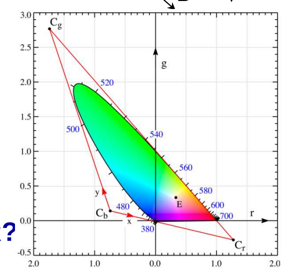
Matiz e saturação
Normalizar energia

(R/C,G/C,B/C)
C =R+G+B



Projeção

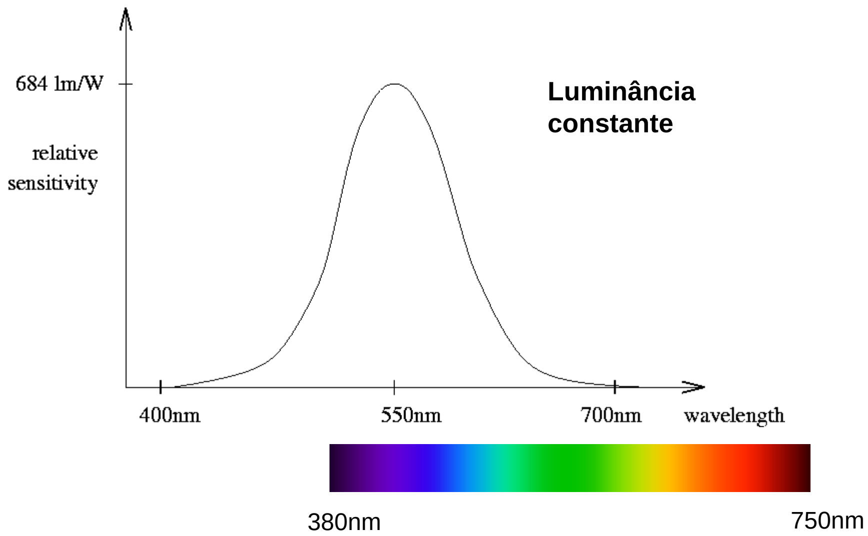
Diagrama de Cromaticidade RG



Como eliminar os valores negativos de R?

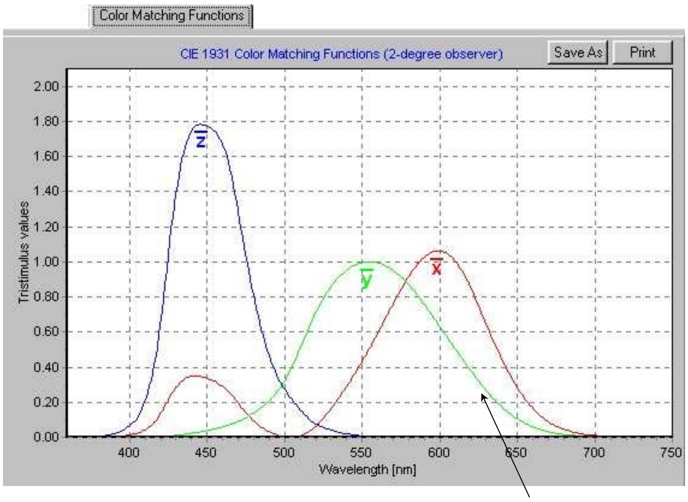
Modelos de Cor

Função de Eficiência Luminosa



Modelos de Cores

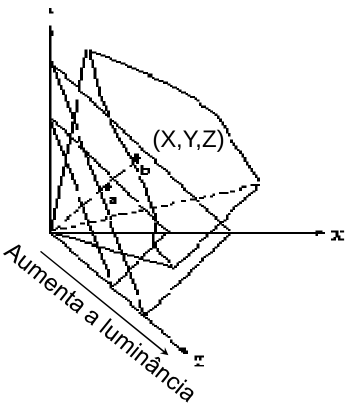
Funções de Recontrução Espectral com X



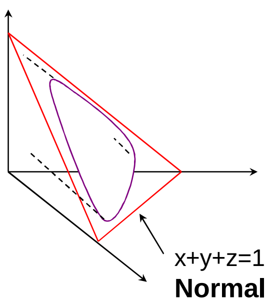
Função de eficiência luminosa

Modelos de Cores

Espaço de Cores XYZ



X+Y+Z = C

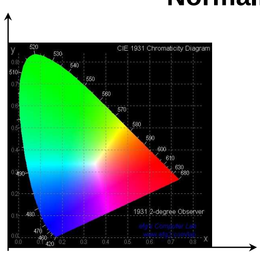


$$x = \frac{X}{C} \quad y = \frac{Y}{C} \quad z = \frac{Z}{C}$$

C=X+Y+Z

x+y+z=1

Normalização



Modelos de Cores

(r,g,b) ⟶ (x,y,z)

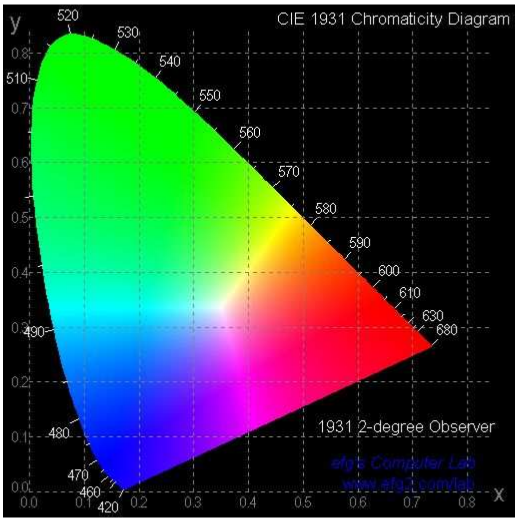
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{b_{21}} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \frac{1}{0.17697} \begin{bmatrix} 0.49 & 0.31 & 0.20 \\ 0.17697 & 0.81240 & 0.01063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

Luminância Escotópica

V = Y (1.33 (1 + (Y+Z)/X) – 1.68)

Modelos de Cor

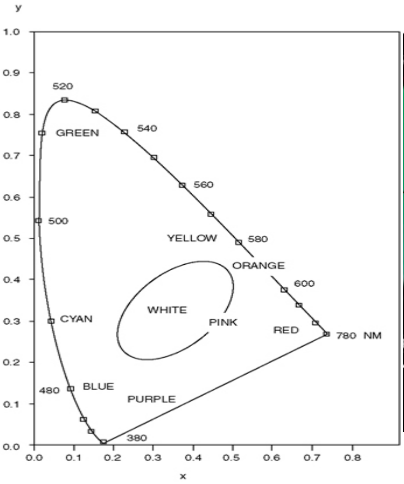
Diagrama de Cromaticidade XYZ (1931)

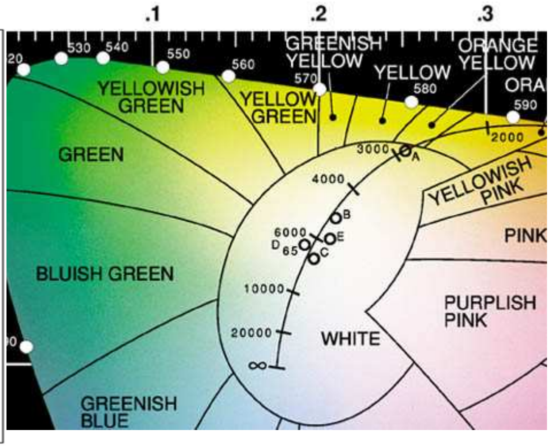


Áreas ou distâncias iguais não correspondem a mesmas variações perceptuais!!

Modelos de Cor

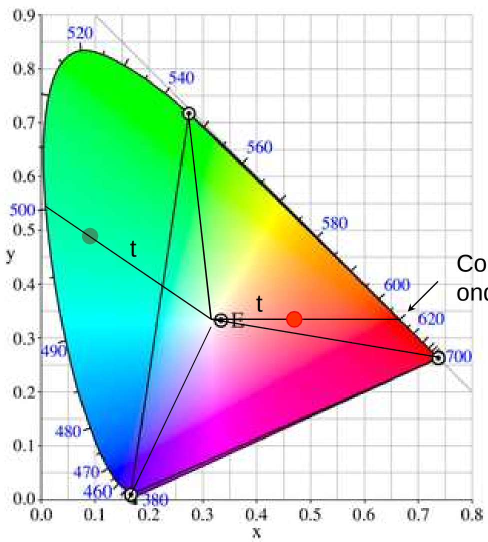
lugar geométrico das cores de um corpo negro em ºK distinta





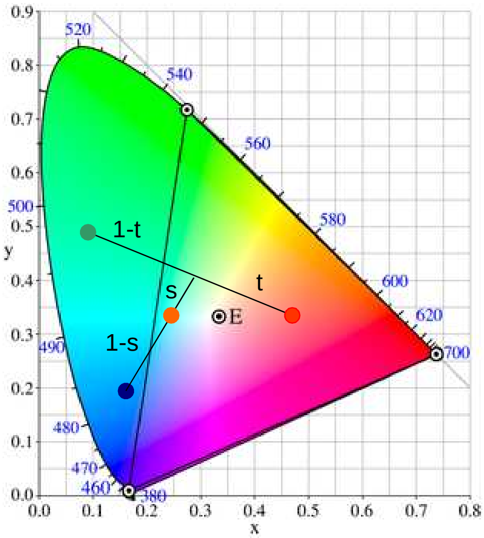
Modelos de Cor

Pureza de Cor



Modelos de Cor

Mistura de Cor



Modelos de Cor

Mistura de Cor

Determine as coordenadas de cromaticidade CIE do resultado da mistura das 3 cores C_1=(0.1,0.3,10), C_2 = (0.35,0.2,10) e C_3 = (0.2, 0.05,10).

Modelos de Cor

Mistura de Cor

Determine as coordenadas de cromaticidade CIE do resultado da mistura das 3 cores C_1=(0.1,0.3,10), C_2 = (0.35,0.2,10) e C_3 = (0.2, 0.05,10).

$C_1 = Y_1/y_1$; $X_1 = x_1C_1$; $Z_1 = (1-x_1-y_1)C_1$
$C_2 = Y_2/y_2$; $X_2 = x_2C_2$; $Z_2 = (1-x_2-y_2)C_2$
$C_3 = Y_3/y_3$; $X_3 = x_3C_3$; $Z_3 = (1-x_3-y_3)C_3$

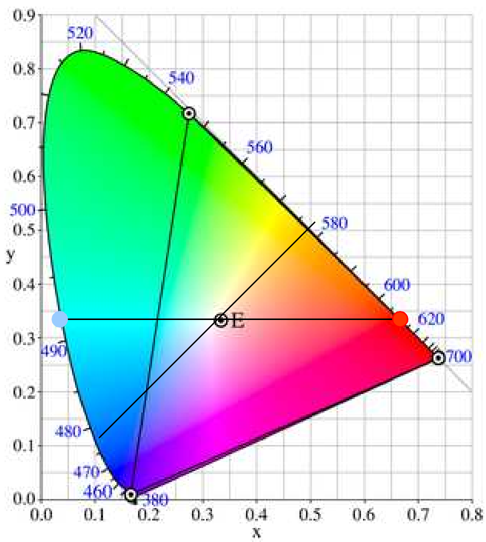
$x_{123} = (x_1C_1 + x_2C_2 + x_3C_3)/(C_1+C_2+C_3)$
$y_{123} = (y_1C_1 + y_2C_2 + y_3C_3)/(C_1+C_2+C_3)$

$Y_{123} = Y_1 + Y_2 + Y_3$

Resposta: (0.215,0.106,30)

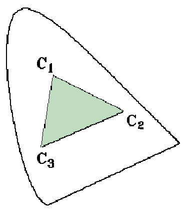
Modelos de Cor

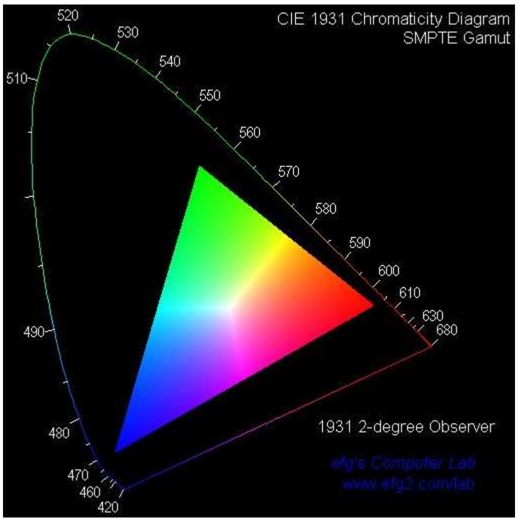
Cor complementar



Modelos de Cor

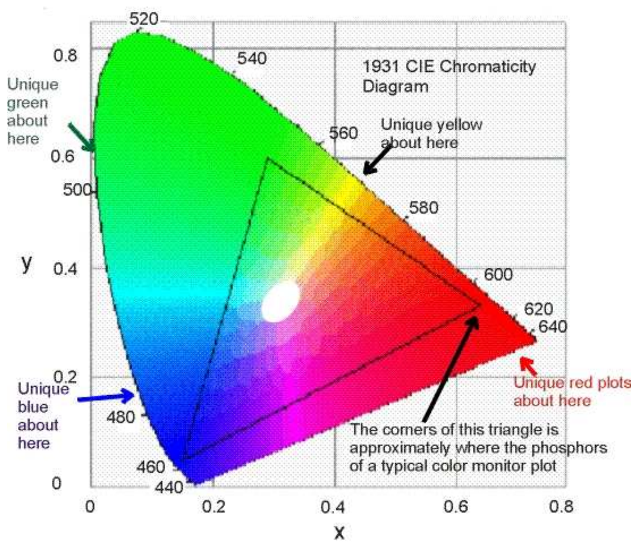
Gamute de Cores





Modelos de Cor

Gamute de Cores de Monitores



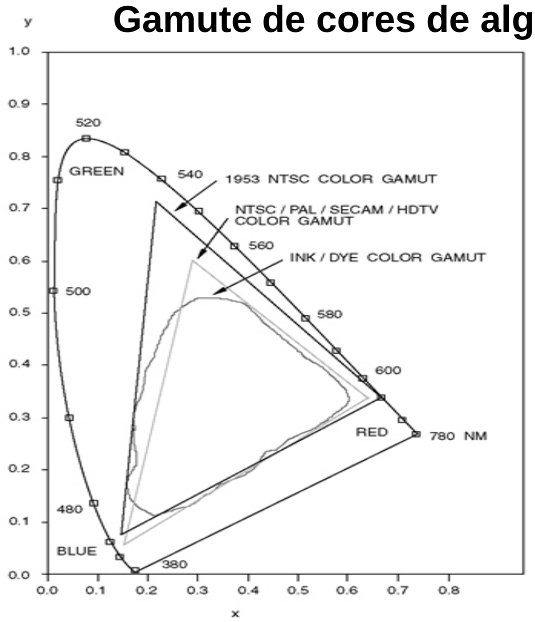
Modelos de Cor

Cromaticidade dos Fósforos

Nome	R	G	B	Branco
Short-Persistence	(0.61,0.35)	(0.29,0.59)	(0.15,0.063)	
Long-Persistence	(0.62,0.33)	(0.21,0.685)	(0.15,0.063)	
NTSC	(0.67,0.33)	(0.21,0.71)	(0.14,0.08)	Iluminante C
EBU	(0.64,0.33)	(0.30,0.60)	(0.15,0.06)	Iluminante D65
Dell (all monitors except 21" Mitsubishi p/n 65532)	(0.625,0.340)	(0.275,0.605)	(0.150,0.065)	9300K
SMPTE	(0.630,0.340)	(0.310,0.595)	(0.155,0.070)	Iluminante D65
P22 phosphor in NEC Multisync C400	(0.610,0.350)	(0.307,0.595)	(0.150,0.065)	(0.280,0.315)
P22 phosphor in KDS VS19	(0.625,0.340)	(0.285,0.605)	(0.150,0.065)	(0.281,0.311)
High Brightness LEDs	(0.700,0.300)	(0.170,0.700)	(0.130,0.075)	(0.310,0.320)

Modelos de Cor

Gamute de cores de alguns monitores



Como determinar as cores correspondentes entre 2 gamutes?

Conversão entre Dispositivos
Mudança de base

$$(R_1,G_1,B_1) \xrightarrow{M_1} (X,Y,Z)$$

$r = (x_{r,1}C_{r,1},\ y_{r,1}C_{r,1},\ z_{r,1}C_{r,1})$
$g = (x_{g,1}C_{g,1},\ y_{g,1}C_{g,1},\ z_{g,1}C_{g,1})$
$b = (x_{b,1}C_{b,1},\ y_{b,1}C_{b,1},\ z_{b,1}C_{b,1})$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \overset{M_1}{\longleftrightarrow} \begin{pmatrix} x_{r,1}C_{r,1} & x_{g,1}C_{g,1} & x_{b,1}C_{b,1} \\ y_{r,1}C_{r,1} & y_{g,1}C_{g,1} & y_{b,1}C_{b,1} \\ z_{r,1}C_{r,1} & z_{g,1}C_{g,1} & z_{b,1}C_{b,1} \end{pmatrix}$$

$$M_1 = \begin{pmatrix} x_{r,1}C_{r,1} & x_{g,1}C_{g,1} & x_{b,1}C_{b,1} \\ y_{r,1}C_{r,1} & y_{g,1}C_{g,1} & y_{b,1}C_{b,1} \\ z_{r,1}C_{r,1} & z_{g,1}C_{g,1} & z_{b,1}C_{b,1} \end{pmatrix}$$

Conversão entre Dispositivos
Mudança de base

$$(R_1,G_1,B_1) \xrightarrow{M_1} (X,Y,Z) \xleftarrow{M_2} (R_2,G_2,B_2)$$

$$M_1 = \begin{pmatrix} x_{r,1}C_{r,1} & x_{g,1}C_{g,1} & x_{b,1}C_{b,1} \\ y_{r,1}C_{r,1} & y_{g,1}C_{g,1} & y_{b,1}C_{b,1} \\ z_{r,1}C_{r,1} & z_{g,1}C_{g,1} & z_{b,1}C_{b,1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{r,2}C_{r,2} & x_{g,2}C_{g,2} & x_{b,2}C_{b,2} \\ y_{r,2}C_{r,2} & y_{g,2}C_{g,2} & y_{b,2}C_{b,2} \\ z_{r,2}C_{r,2} & z_{g,2}C_{g,2} & z_{b,2}C_{b,2} \end{pmatrix} = M_2$$

1. As luminâncias máximas das 3 cores são conhecidas: $Y_{r,1}$, $Y_{g,1}$ e $Y_{b,1}$

$$C_{r,1} = \frac{Y_{r,1}}{y_{r,1}} \qquad C_{g,1} = \frac{Y_{g,1}}{y_{g,1}} \qquad C_{b,1} = \frac{Y_{b,1}}{y_{b,1}}$$

2. A cor de referência branca é conhecida (X_w,Y_w,Z_w)

$$\begin{pmatrix} x_{r,1} & x_{g,1} & x_{b,1} \\ y_{r,1} & y_{g,1} & y_{b,1} \\ z_{r,1} & z_{g,1} & z_{b,1} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_r \\ C_g \\ C_b \end{pmatrix}$$

Em RGB = (1,1,1)

Modelos de Cor

Seja um monitor com as seguintes características:
Branco: D65 (0.313,0.329,1.0)
Vermelho: (0.62,0.34)
Verde: (0.29, 0.59)
Azul: (0.15, 0.06)

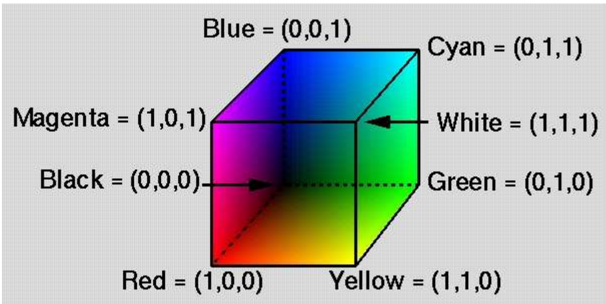
Qual é a matriz de transformação das coordenadas RGB para as coordenadas XYZ?

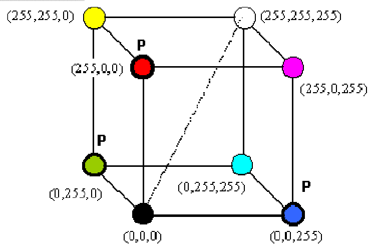
Resposta:

$$\begin{pmatrix} 0.437 & 0.339 & 0.175 \\ 0.240 & 0.690 & 0.070 \\ 0.028 & 0.140 & 0.920 \end{pmatrix}$$

Modelos de Cor

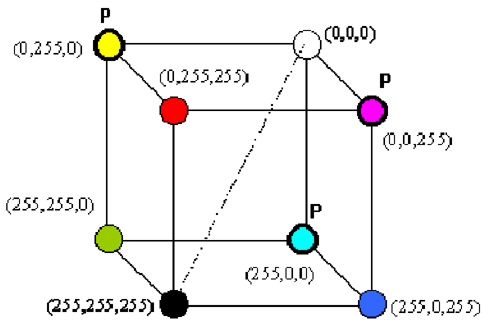
Modelo RGB





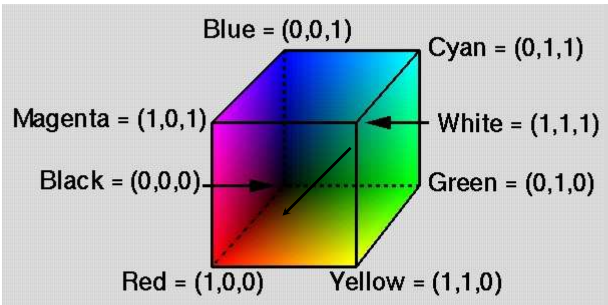
Modelos de Cor

Modelo CYMB

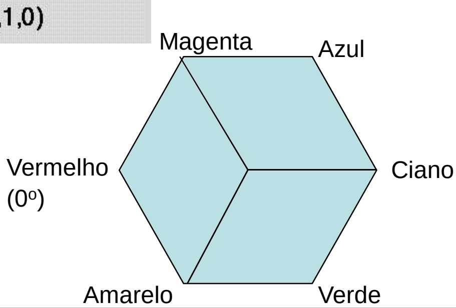


Modelos de Cor

Modelo HSV



V = max(R,G,B)
S = (V-min(R,G,B))/V
Cr = (V-R)/(V-min(R,G,B))
Cg = (V-G)/(V-min(R,G,B))
Cb = (V-B)/(V-min(R,G,B))



Modelos de Cor

RGB -> HSV

```
HSVType  RGB_to_HSV( RGBType RGB ) {
   // RGB are each on [0, 1]. S and V are returned on [0, 1] and H is
   // returned on [0, 6]. Exception: H is returned UNDEFINED if S==0.
   float R = RGB.R, G = RGB.G, B = RGB.B, v, x, f;
   int i;
   HSVType HSV;

   x = min(R, G, B);
   v = max(R, G, B);
   if(v == x) RETURN_HSV(UNDEFINED, 0, v);
   f = (R == x) ? G - B : ((G == x) ? B - R : R - G);
   i = (R == x) ? 3 : ((G == x) ? 5 : 1);
   RETURN_HSV(i - f /(v - x), (v - x)/v, v);
}
```

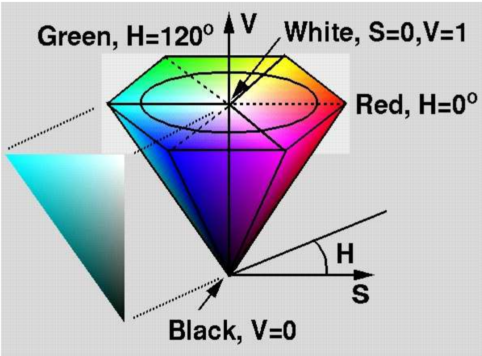
Modelos de Cor

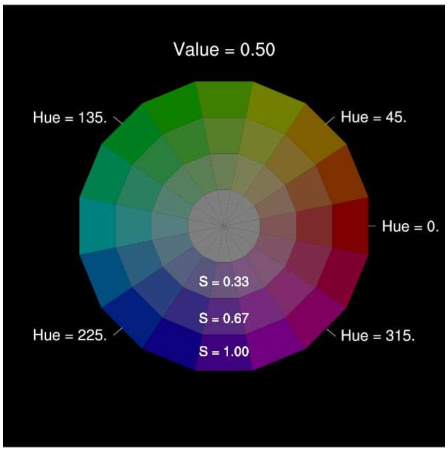
HSV -> RGB

```
RGBType  HSV_to_RGB( RGBType RGB ) {
   // H is given on [0, 6] or UNDEFINED. S and V are given on [0, 1].
  // RGB are each returned on [0, 1].
  float h = HSV.H, s = HSV.S, v = HSV.V, m, n, f;
  int i; RGBType RGB; if (h == UNDEFINED) RETURN_RGB(v, v, v);
  i = floor(h); f = h - i;
  if ( !(i&1) ) f = 1 - f; // if i is even
  m = v * (1 - s); n = v * (1 - s * f);
  switch (i) {
          case 6:
          case 0:
            RETURN_RGB(v, n, m);
          case 1: RETURN_RGB(n, v, m);
          case 2: RETURN_RGB(m, v, n);
          case 3: RETURN_RGB(m, n, v);
          case 4: RETURN_RGB(n, m, v);
          case 5: RETURN_RGB(v, m, n);
}
```

Modelos de Cor

Modelo HSV





Como tornar as variações das tonalidades de cores simétricas em relação ao branco e ao preto?

Modelos de Cor

Modelo HSL