Modelos de Cor

Rogers & Adams – Seção 5.15

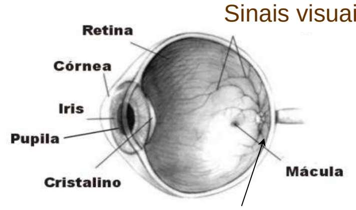
Apostila – Capítulo 7

Sistema Visual

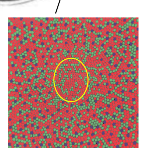
Radiações
Sinais luminosos

Sistema Visual

Sinais visuais



Fóvea ou
mancha amarela



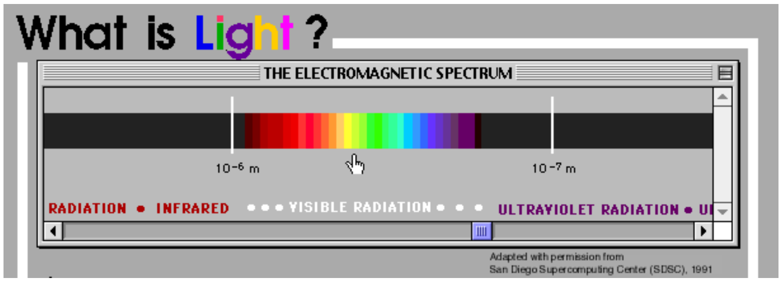
Cones sensíveis a
comprimento de onda
curto, médio e longo

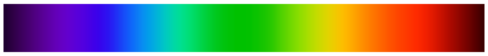
Sinais elétricos

Respostas

Sensação de cores

Ondas Eletromagnéticas Visíveis

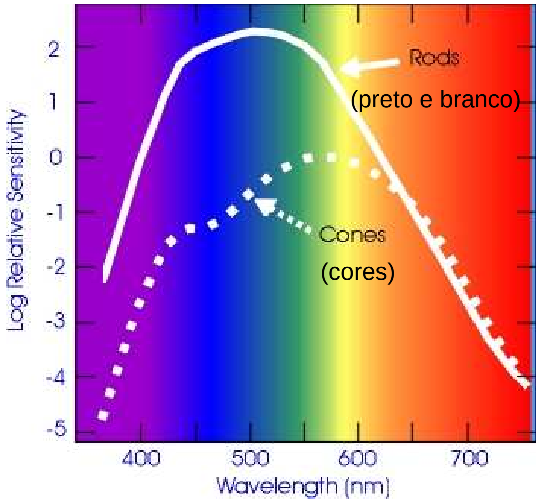




380nm 750nm

Codificação em cores

Células Fotossensíveis
Cones e Bastonetes



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

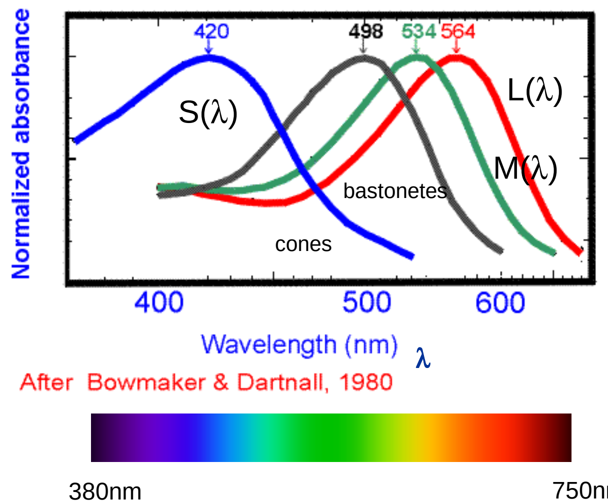
Visão mesópica: visão adaptada a regiões de níveis intermediários.

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

Teoria Tricromática

Young,Helmholtz,Maxwell

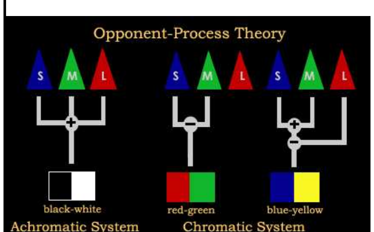
Funções de Sensibilidade Espectral

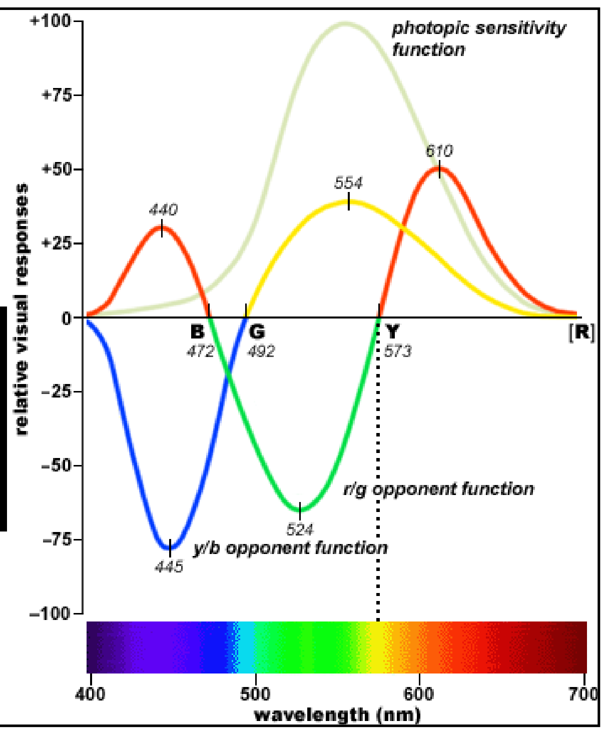


3 tipos de cones

Processo Oponente

Hering





http://www.psych.ucalgary.ca/PACE/VA-Lab/colourperceptionweb/theories.htm

Modelo de Processamento Visual

(teoria tricromática)

(teoria de processo oponente)

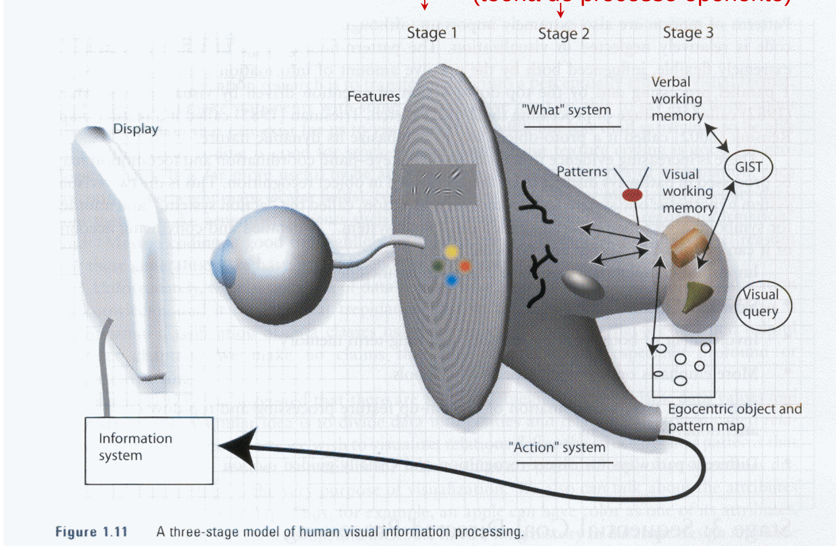
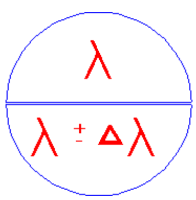


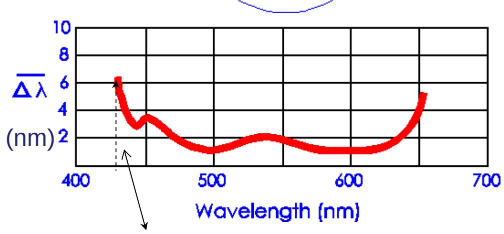
Figure 1.11 A three-stage model of human visual information processing.

Percepção Visual

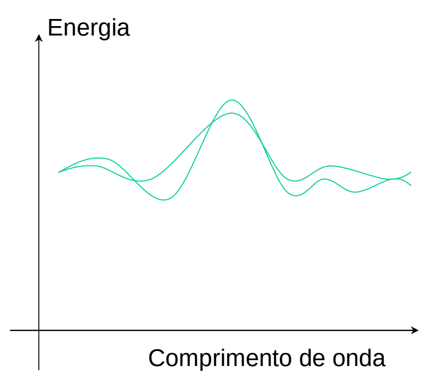
Metâmeras



Distintas distribuições espectrais, porém mesma percepção colorida



Diferença mínima para que duas cores sejam perceptualmente distintas



Cores

Respostas neurais aos estímulos das células fotoreceptoras pelas radiações eletromagnéticas refletidas pela superfície dos materiais físicos.

Fenômeno psicofisiológico
Fenômeno psicofísico

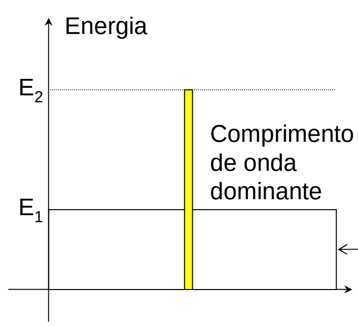
Especificação

Grandezas colorimétricas
- Comprimento de onda dominante ↔ **Grandezas fisiológicas** 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 α Energia



BRANCO = radiações de todos os comprimentos com a mesma energia

“Algebrizar” cores

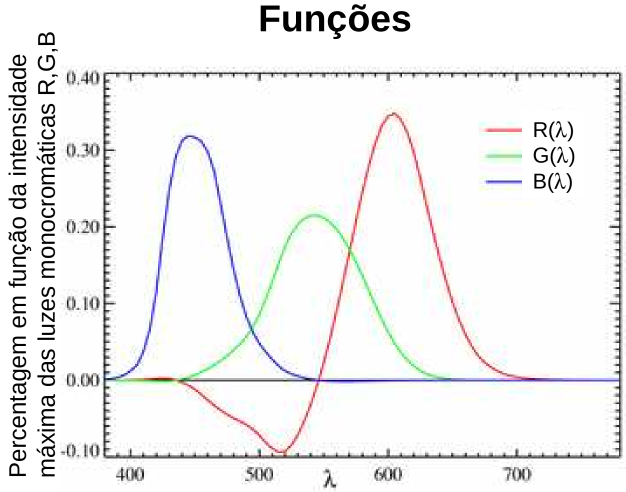
Funções de Reconstrução Espectral com 3 cores

Leis de Grassman

Espaço Vetorial de Cores

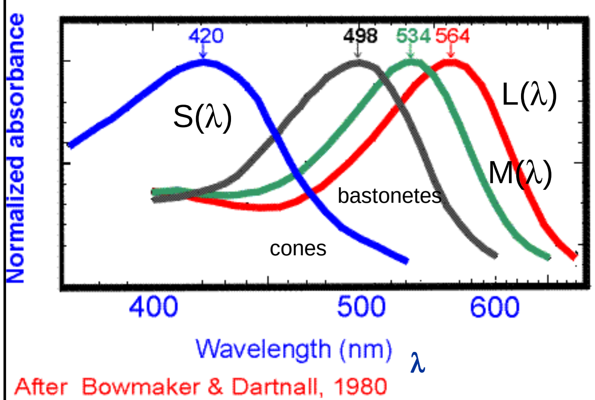
Reconstrução Espectral

Funções



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

Unicidade



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

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

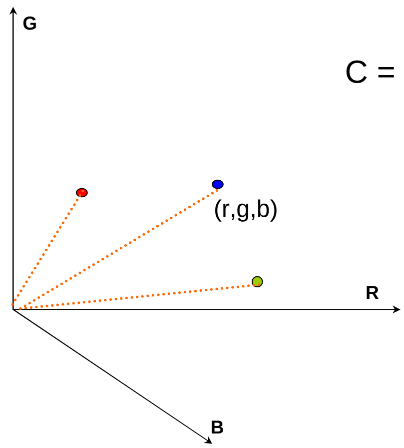
Cor $\Leftrightarrow (\alpha, \beta, \gamma)$

Cada cor tem uma proporção de pesos distinta

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.

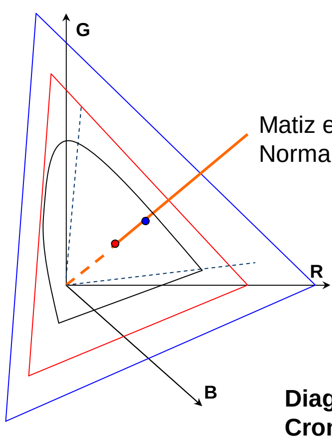
Espaço de Cores RGB



$$C = r\mathbf{R} + g\mathbf{G} + b\mathbf{B}$$

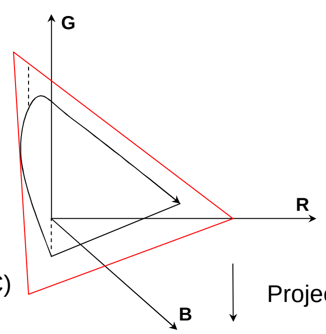
Uma cor pode ser obtida como soma ponderada de somente três tipos de radiações.

Espaço de Cores RGB



Matiz e saturação
Normalizar energia

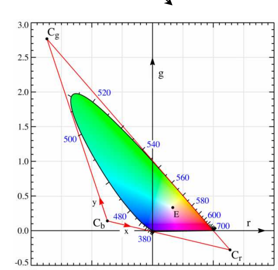
(R/C,G/C,B/C)
C =R+G+B



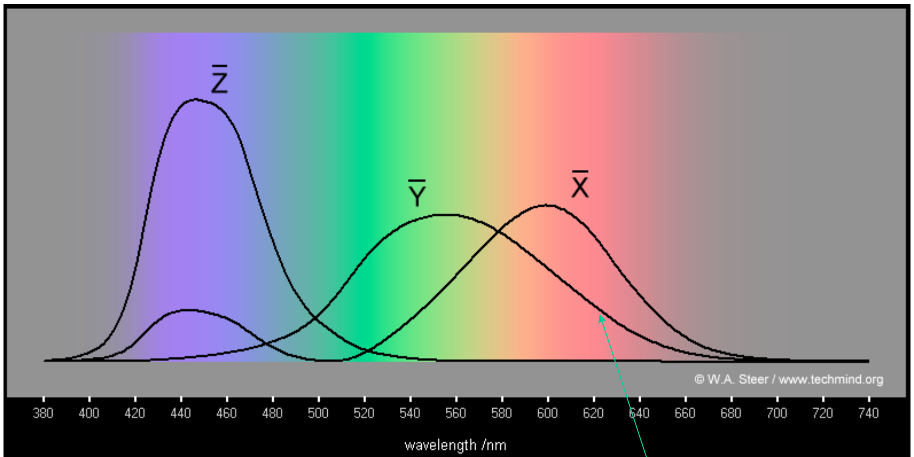
Projeção

Diagrama de Cromaticidade RG

Espaço Homogêneo

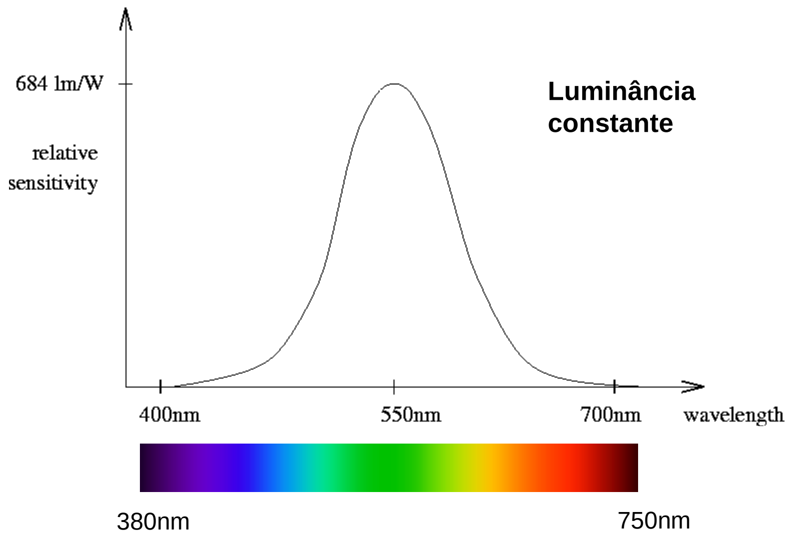


Espaço de Cores XYZ



Função de eficiência luminosa

Função de Eficiência Luminosa

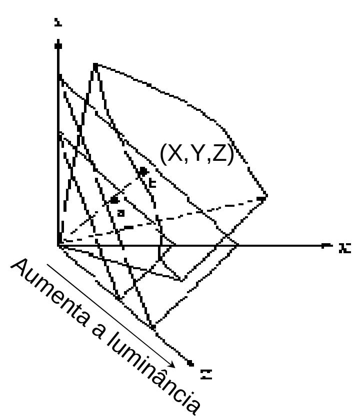


Luminância constante

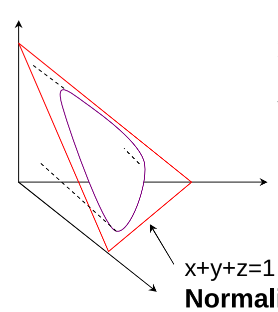
(R,G,B) $\rightarrow$ (X,Y,Z)

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

Espaço de Cores XYZ



X+Y+Z = C

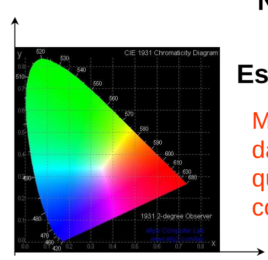


$$x = \frac{X}{C} \qquad y = \frac{Y}{C} \qquad z = \frac{Z}{C}$$

C=X+Y+Z

x+y+z=1

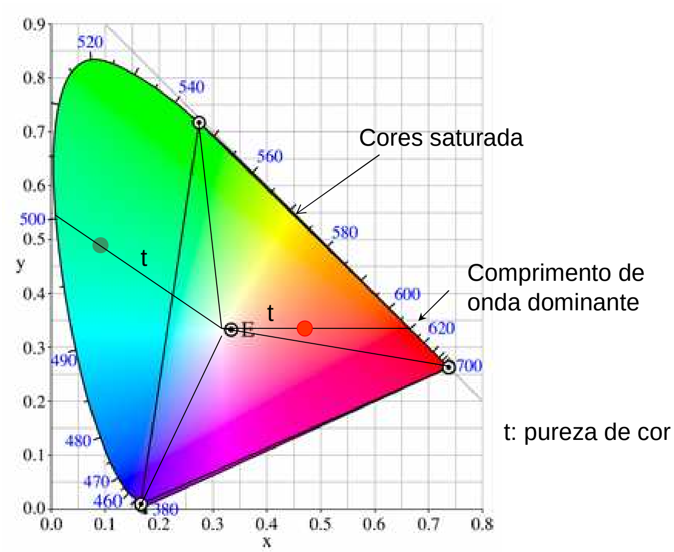
Normalização



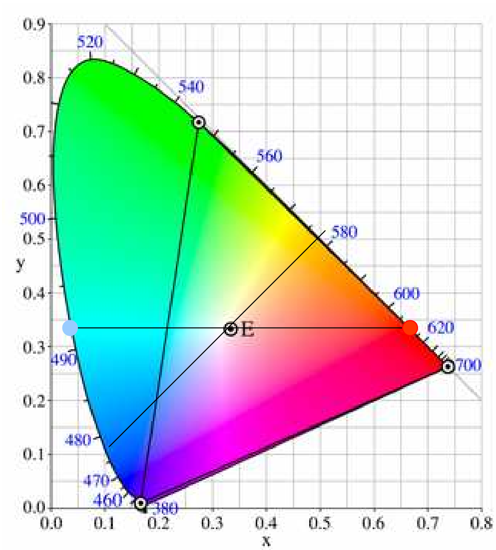
Espaço Homogêneo

Mostra a percentagem das cores primárias que compõem o croma

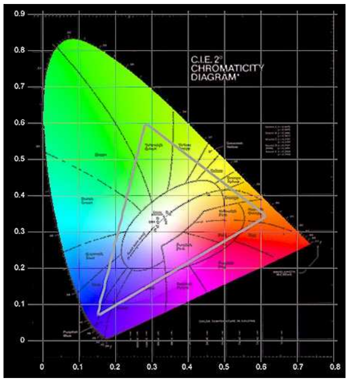
Aplicação 1:
Saturação/Pureza de Cor

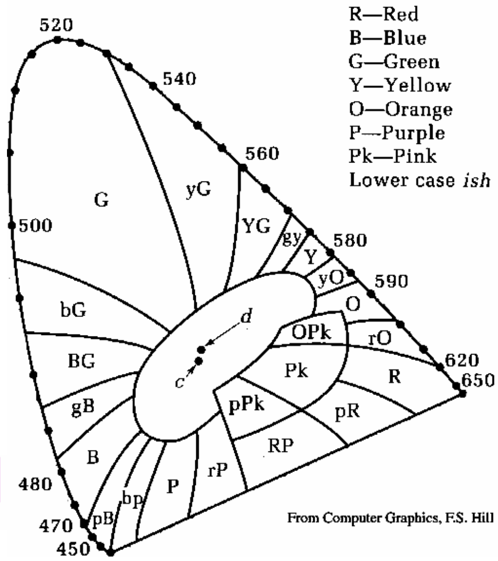


Aplicação 2:
Cor Complementar

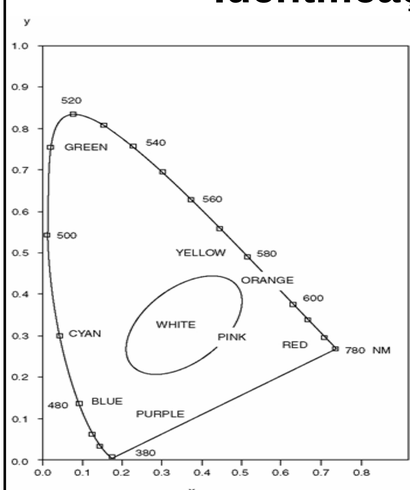


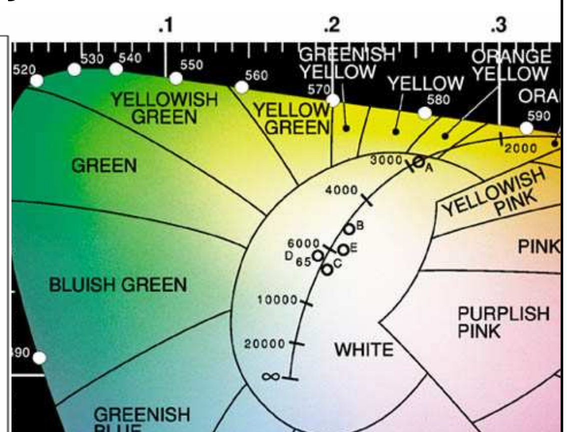
Aplicação 3:
Metâmeras





Aplicação 4:
Identificação de "Brancos"

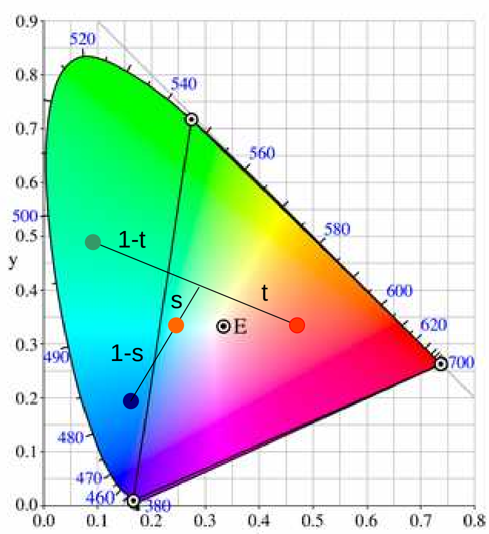




Alguns “brancos-padrão”

Nome	Temperatura	Coordenadas	Fonte
Illuminant A	2856	(0.44757,0.40745)	[Wyszecki82, p 139] [Agoston87, p. 103]
Illuminant B	4874	(0.34842,0.35161)	[Wyszecki82, p 139] [Agoston87, p. 103]
Illuminant C	6774	(0.31006,0.31616)	[Wyszecki82, p 139] [Agoston87, p. 103]
Illuminant D65	6504	(0.3127,0.3291)	[Walker98] [Agoston87, p. 103]
Direct Sunlight	5335	(0.3362,0.3502)	[Agoston87, p. 103]
Light from overcast sky	6500	(0.3134,0.3275)	[Agoston87, p. 103]
Light from north sky on a 45-degree plane	10,000	(0.2773,0.2934)	[Agoston87, p. 103]
Illuminant E	5400	(1/3,1/3)	[Wyszecki82, p 139] [Agoston87, p. 103]

Aplicação 5:
Mistura de Cores



Exemplo

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).

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

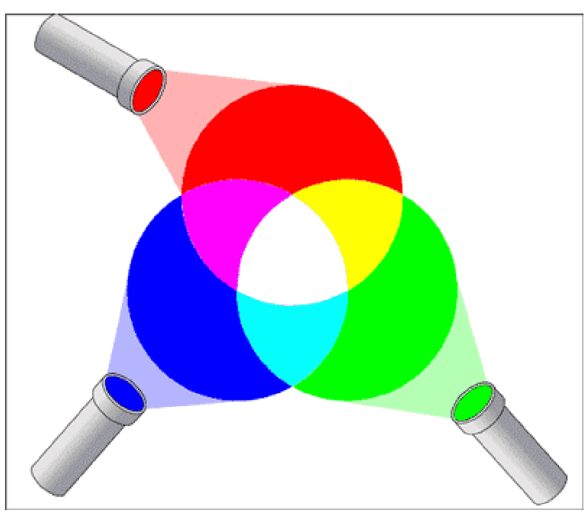
$x_{123} = (x_1C_1 + x_2C_2 + x_3C_3)/(C_1+C_2+C_3)$
$y_{123} = (y_1C_1 + y_2C_2 + y_3C_3)/(C_1+C_2+C_3)$

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

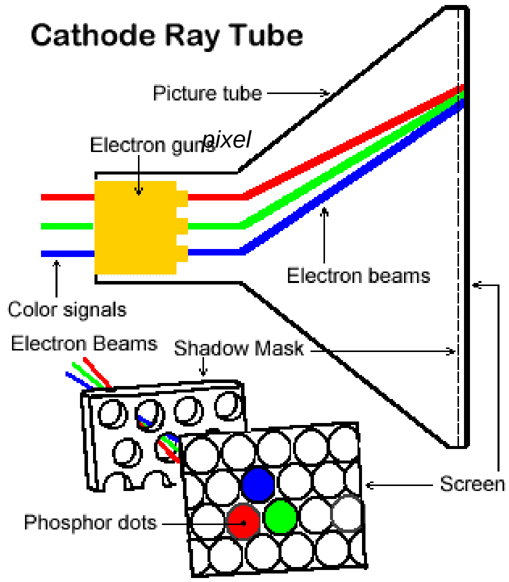
Resposta: (0.215,0.106,30)

Formação Aditiva de Cores

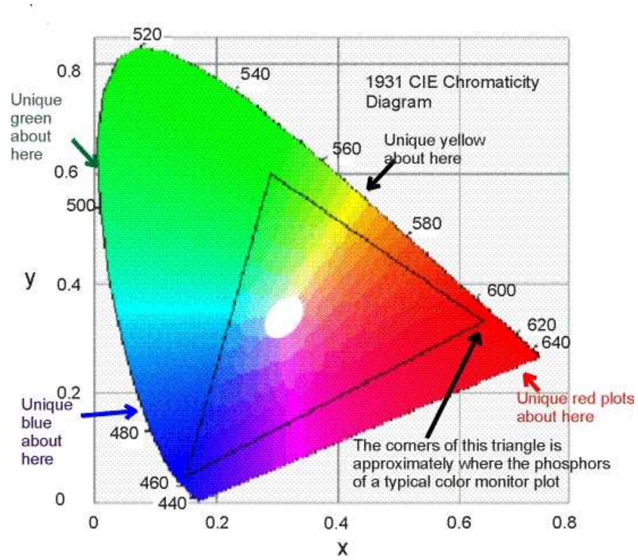
Vermelho
Verde
Azul



Monitores



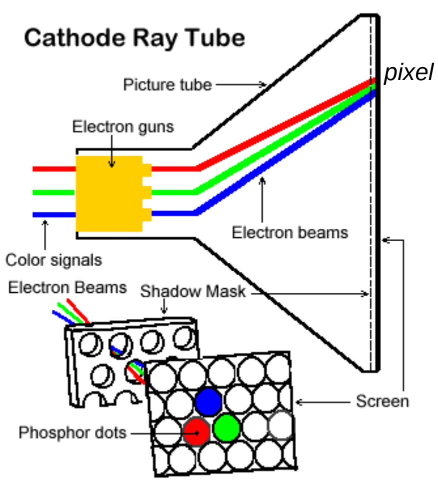
Aplicação 6:
Gamute de Dispositivos

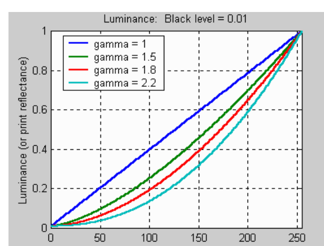


Cromaticidade dos Fósforos de Monitores

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)

Monitores

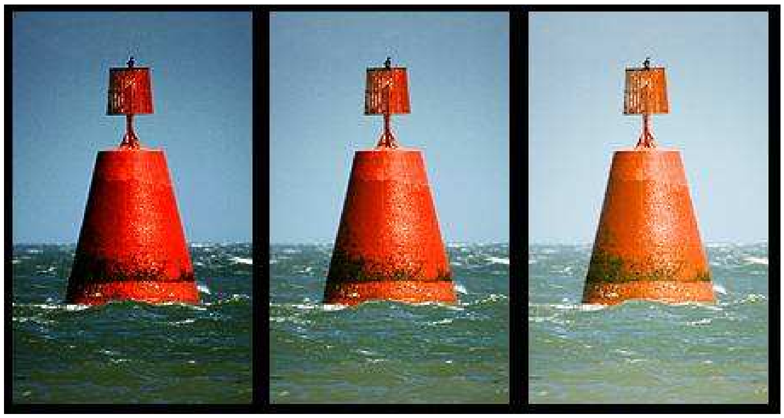




$$L = KV^{\gamma}$$

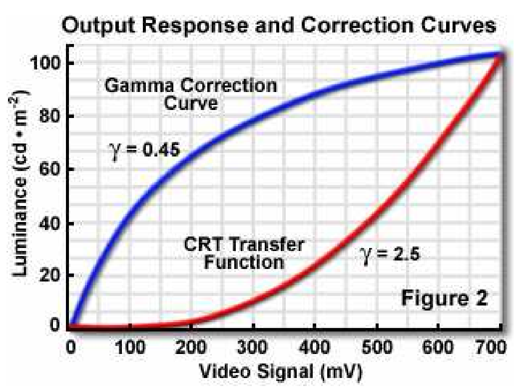
L: luminância em cada *pixel*
K: constante, ajustado pelo controle de contraste
V: tensão de excitação dos feixes de elétrons
γ: gamma, tipicamente entre [1.4,2.5]
$V = V_s^{(1/\gamma)}$: correção gamma

Influência de γ

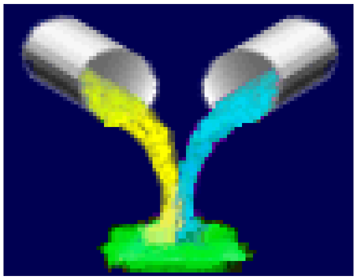


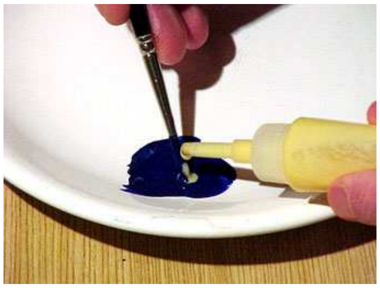
$\gamma = 1.8$ $\gamma = 1.0$

Correção de γ



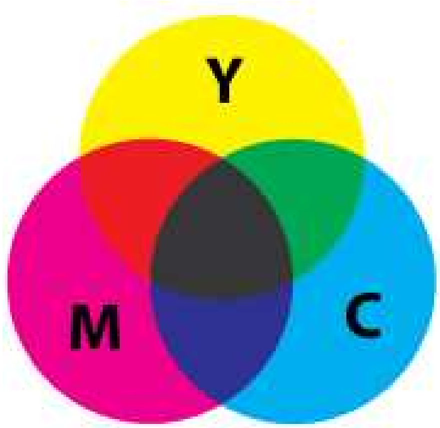
Pigmentação



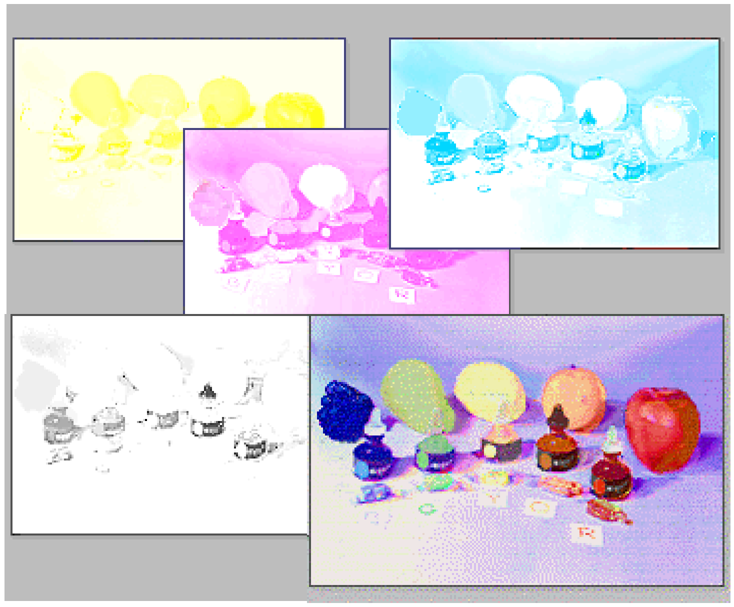


Formação Subtrativa de Cores

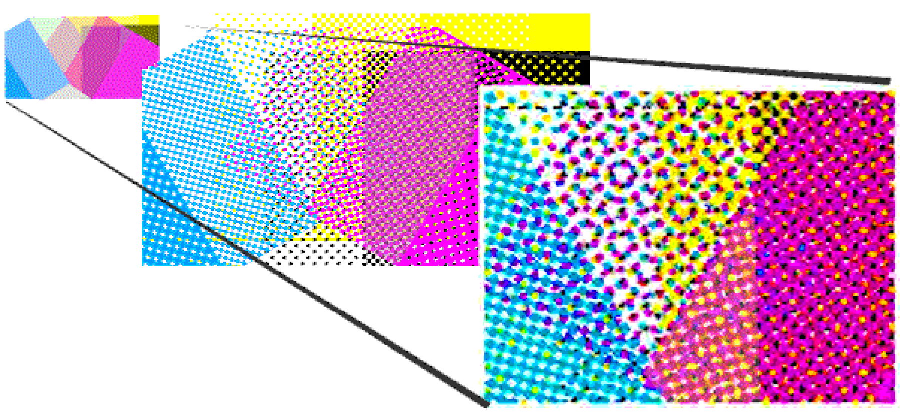
Magenta
Amarelo
Ciano



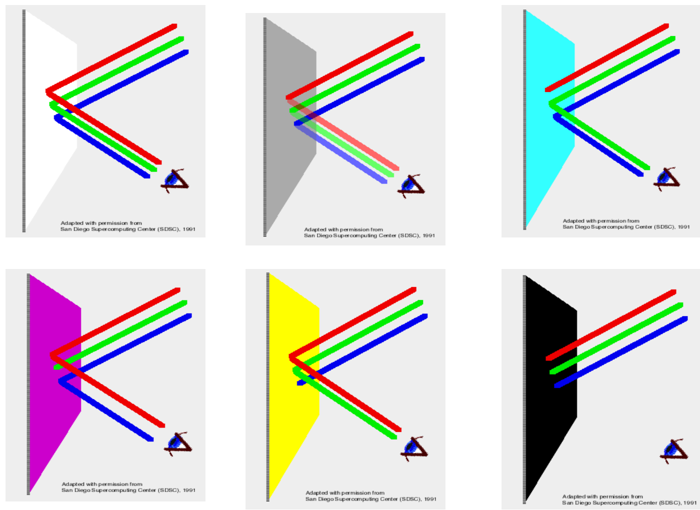
Impressoras



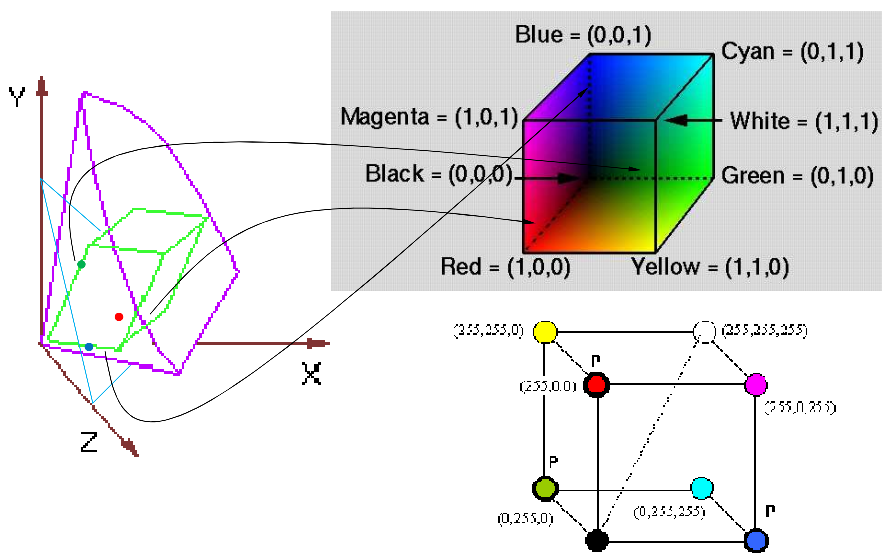
Impressoras



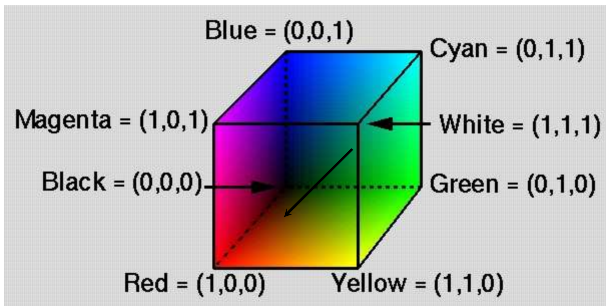
Mistura Subtrativa



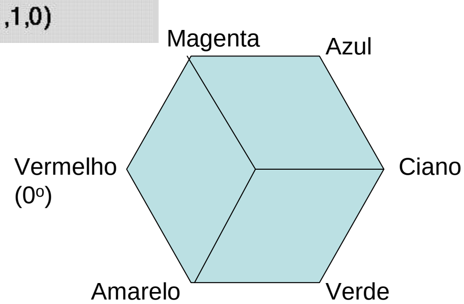
RGB: Gamute de monitores



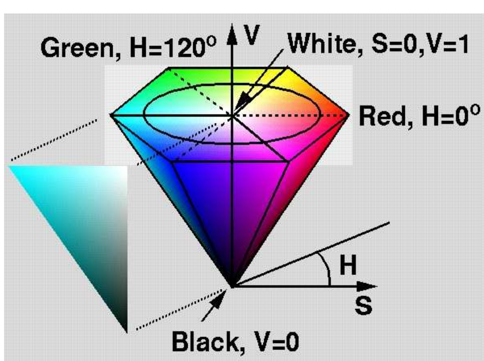
Modelo HSV

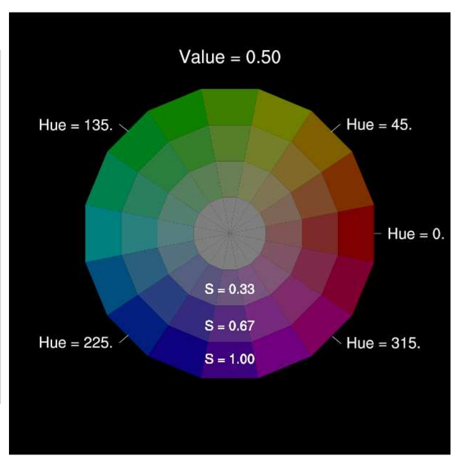


V = max(R,G,B)
S = (V-min(R,G,B))/V
Cr = (V-R)/(V-min(R,G,B))
Cg = (V-G)/(V-min(R,G,B))
Cb = (V-B)/(V-min(R,G,B))



Modelo HSV





RGB → HSV

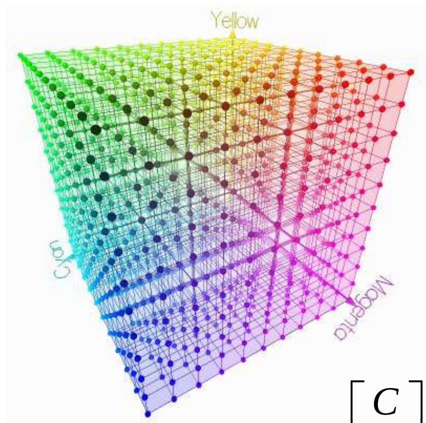
```
HSVType  RGB_to_HSV( RGBType RGB ) {
   // RGB are each on [0, 1]. S and V are returned on [0, 1] and H is
   // returned on [0, 6]. Exception: H is returned UNDEFINED if S==0.
   float R = RGB.R, G = RGB.G, B = RGB.B, v, x, f;
   int i;
   HSVType HSV;

   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);
}
```

HSV → RGB

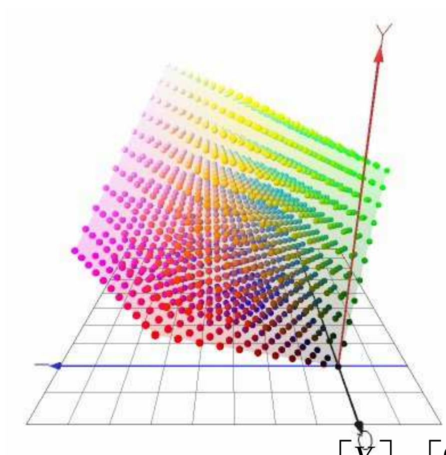
```
RGBType  HSV_to_RGB( RGBType RGB ) {
  // H is given on [0, 6] or UNDEFINED. S and V are given on [0, 1].
 // RGB are each returned on [0, 1].
 float h = HSV.H, s = HSV.S, v = HSV.V, m, n, f;
 int i; RGBType RGB; if (h == UNDEFINED) RETURN_RGB(v, v, v);
 i = floor(h); f = h - i;
 if ( !(i&1) ) f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

CMY: Gamute de Impressoras



$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

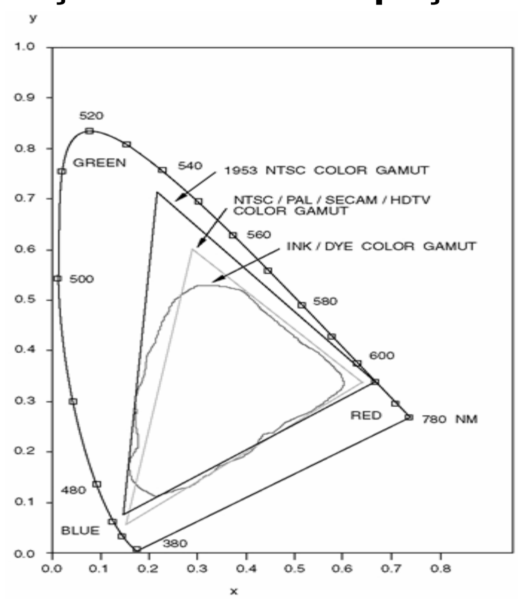
YIQ: Sistema de televisão NTSC



I : faixa laranja - azul
Q: faixa verde violeta
Y: luminância

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.578 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

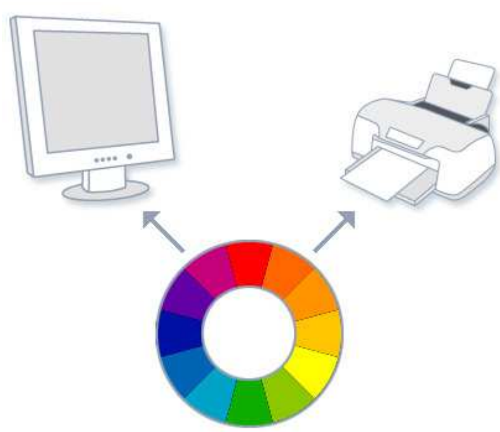
Aplicação 7:
Comparação entre subespaços de cores



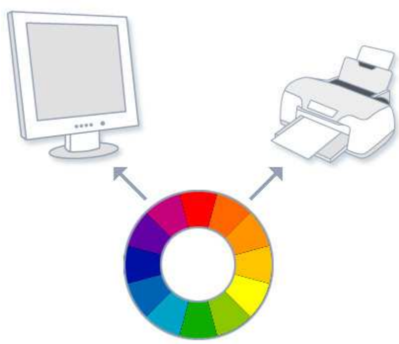
Motivação

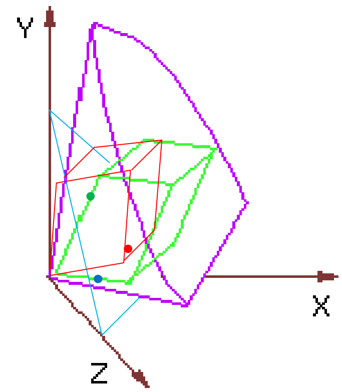
Tarefa 7

- Como transformar as cores entre os espaços?



Conversão entre Dispositivos





Conversão entre Dispositivos

Mudança de base

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

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

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

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

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)

Transformação entre Referências

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:

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

Cores em OpenGL

```
int main(int argc, char** argv)
{
   glutInit(&argc, argv);
   glutInitDisplayMode (GLUT_SINGLE |
GLUT_RGB);
   glutInitWindowSize (500, 500);
   glutInitWindowPosition (100, 100);
   glutCreateWindow (argv[0]);
   init ();
   glutDisplayFunc(display);
   glutReshapeFunc(reshape);
   glutKeyboardFunc (keyboard);
   glutMainLoop();
   return 0;
}
```

```
void init(void)
{
   glClearColor (0.0, 0.0, 0.0, 0.0);
   glShadeModel (GL_SMOOTH);
}


void triangle(void)
{
   glBegin (GL_TRIANGLES);
   glColor3f (1.0, 0.0, 0.0);
   glVertex2f (5.0, 5.0);
   glColor3f (0.0, 1.0, 0.0);
   glVertex2f (25.0, 5.0);
   glColor3f (0.0, 0.0, 1.0);
   glVertex2f (5.0, 25.0);
   glEnd();
}
```