

Luz e Cor

Sistemas Gráficos/ Computação Gráfica e Interfaces

Luz Cromática

Em **termos perceptivos** avaliamos a luz cromática pelas seguintes quantidades:

1. **Matiz (Hue)**: distingue entre as várias cores como vermelho, verde, amarelo, etc.
2. **Saturação**: refere a distância da cor ao cinzento de igual intensidade

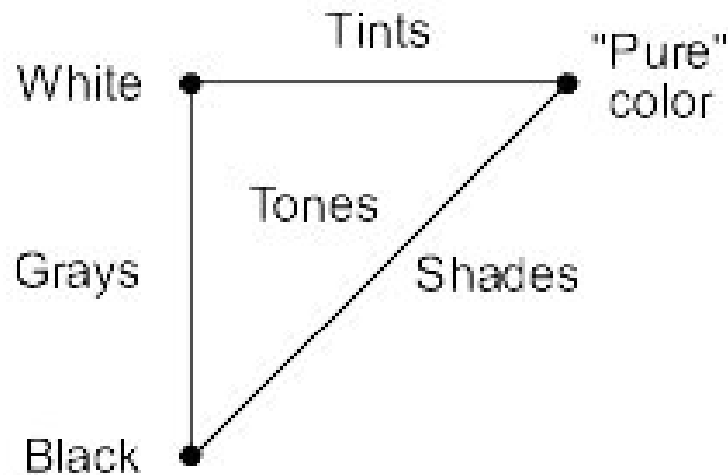
Ex: verde é saturado, mas cor-de-rosa ou azul celeste é pouco.

Cores pouco saturadas incluem muito branco.

3. **Intensidade (Lightness)**: intensidade reflectida
4. **Brilho (Brightness)**: intensidade emitida (lâmpada, sol, ...)

Luz Cromática

Os artistas especificam a cor como diferentes *tints*, *shades*, e *tones* de um pigmento puro (ou saturado).



Tints (tintos): resultam de se juntar pigmento branco a um pigmento puro (diminui a saturação)

Shades (Sombreados): resultam de se juntar pigmento preto a um pigmento puro (diminui a intensidade)

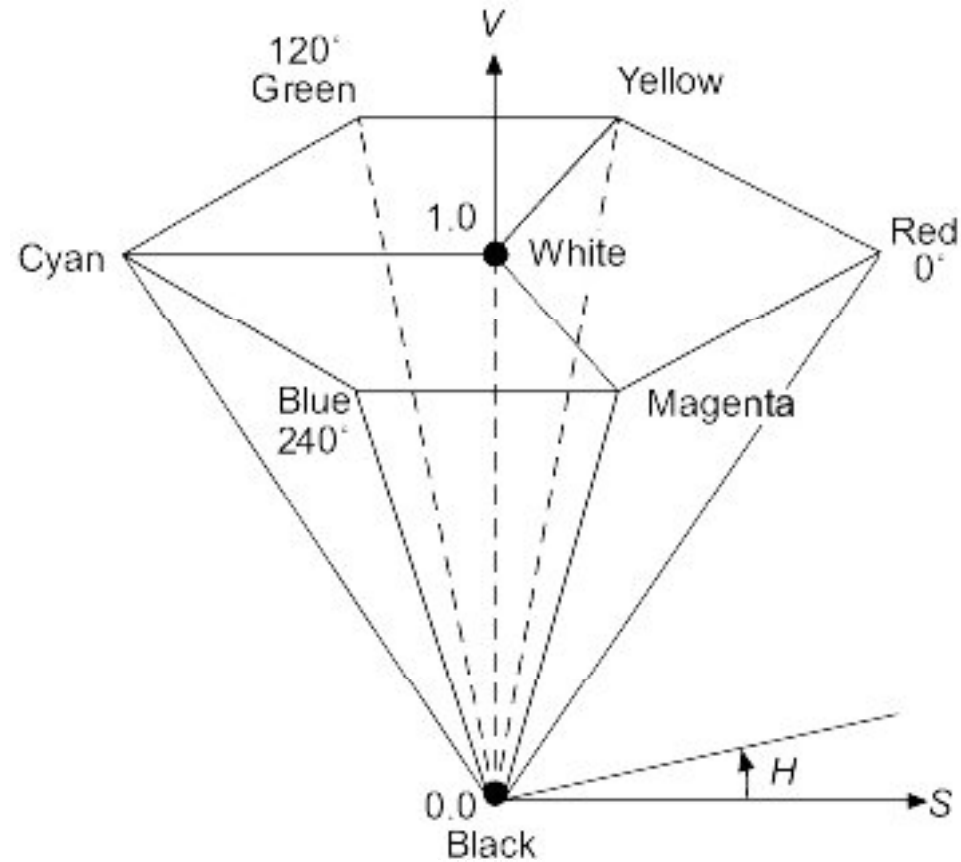
Tones (tons): resultam de se juntar pigmento branco e preto a um pigmento puro

Grays (cinzentos): resultam de se juntar pigmento preto e branco

→ As cores obtidas pelas misturas referidas são cores do mesmo **Hue** (cor pura), com diferentes intensidade e saturação.

Luz Cromática

Modelo HSV: traduz a definição de cor utilizada pelos artistas. Alguns programas permitem a especificação de cor através deste diagrama.

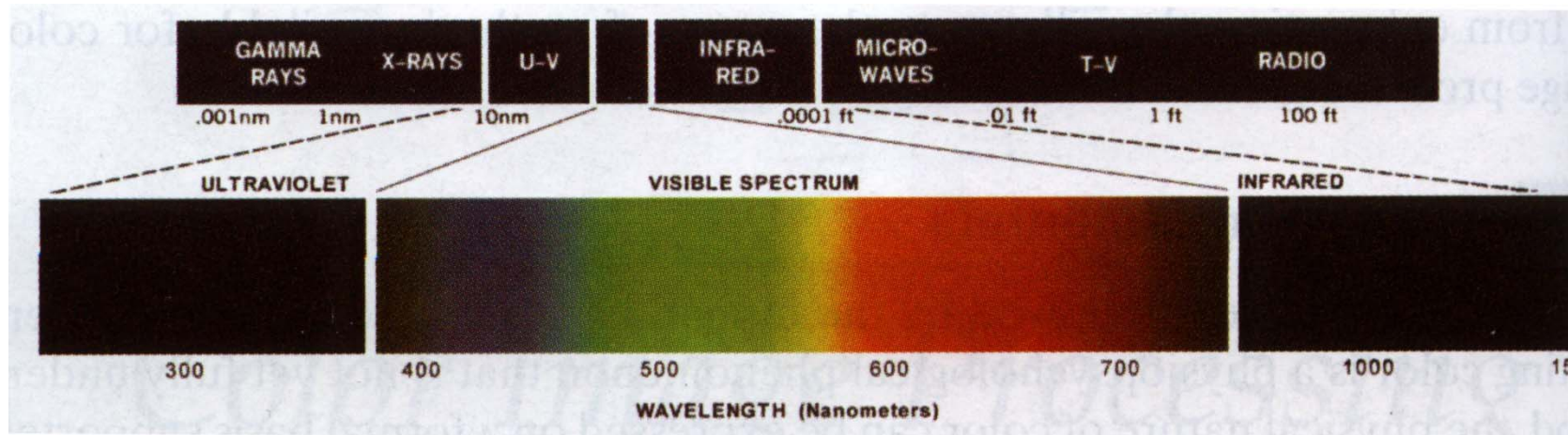


Luz Cromática

As especificações anteriores são subjectivas → é necessário recorrer à física para **quantificar a cor com objectividade**.

Espectro electromagnético: as cores representam uma banda estreita do espectro

- Frequência mais baixa: Vermelho com $\lambda = 700 \text{ nm}$
- Frequência mais alta: Violeta com $\lambda = 400 \text{ nm}$
- Frequência e comprimento de onda: $c = \lambda \cdot f$
onde c é a velocidade da luz ($3 \cdot 10^{10} \text{ cm/s}$)



Luz Cromática

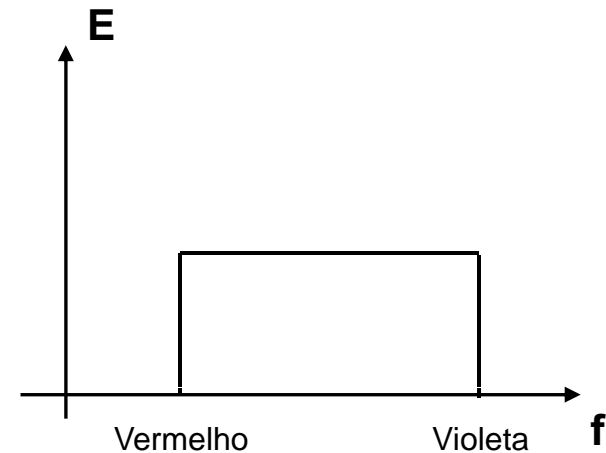
Colorimetria: ramo da física que estuda a cor

- **Comprimento de onda dominante:** cor dominante (hue)
- **Luminância:** intensidade da luz (Brightness)
- **Excitation purity:** Saturação

Cor + Saturação = Cromatância (*Chromaticity*), definição da cor independentemente da intensidade de luz

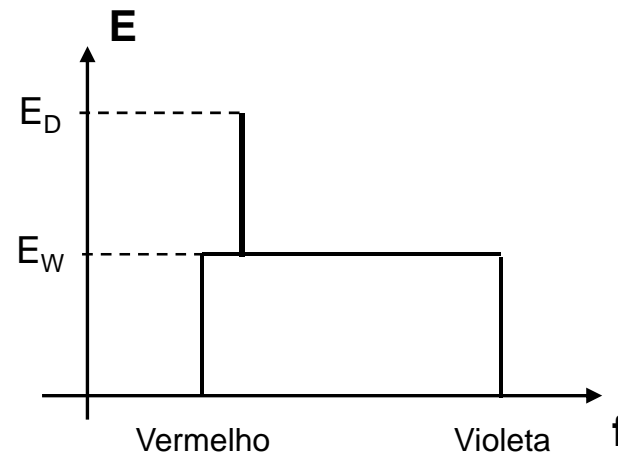
Distribuição de Energia de uma fonte de luz branca:

Todas as frequências estão presentes.



Luz Cromática

Distribuição de Energia de uma fonte de luz com comprimento de onda dominante perto do vermelho:



E_D – Energia dominante

E_W – Energia para o branco

Quanto maior $E_D - E_W$, tanto mais pura será a cor emitida.

$E_W = 0$, pureza 100%

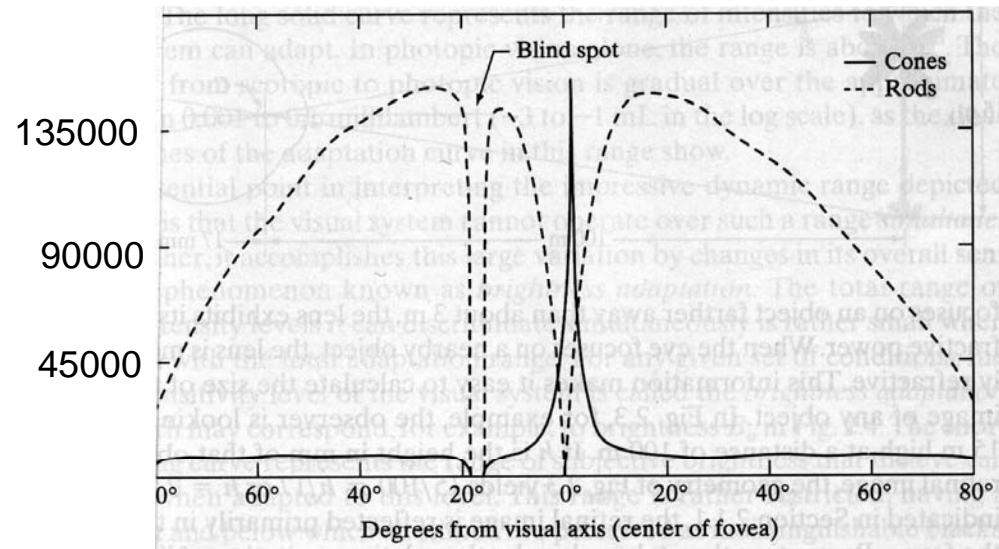
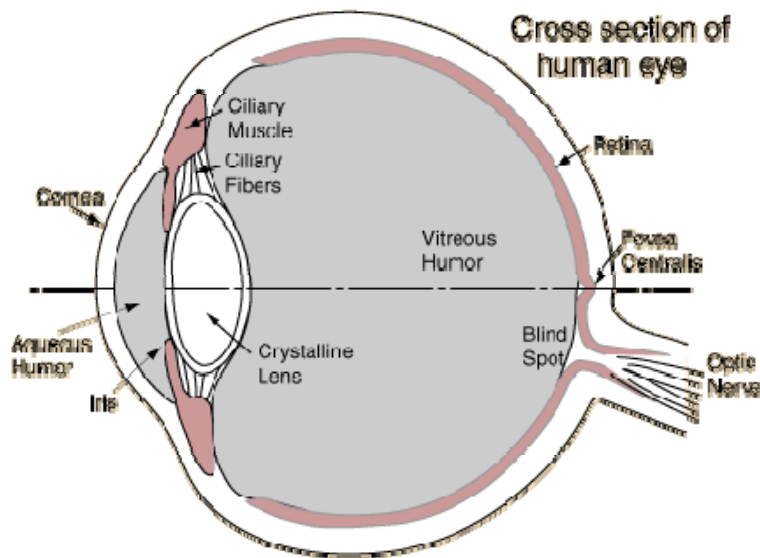
$E_W = E_D$, pureza 0% (branco)

Luminância = área abaixo da curva da energia total emitida

Luz Cromática – resposta do olho humano

Bastonetes (rods): são sensíveis a baixos níveis de iluminação e não distinguem cor

Cones: localizados principalmente na *fovea* são extremamente sensíveis à cor.

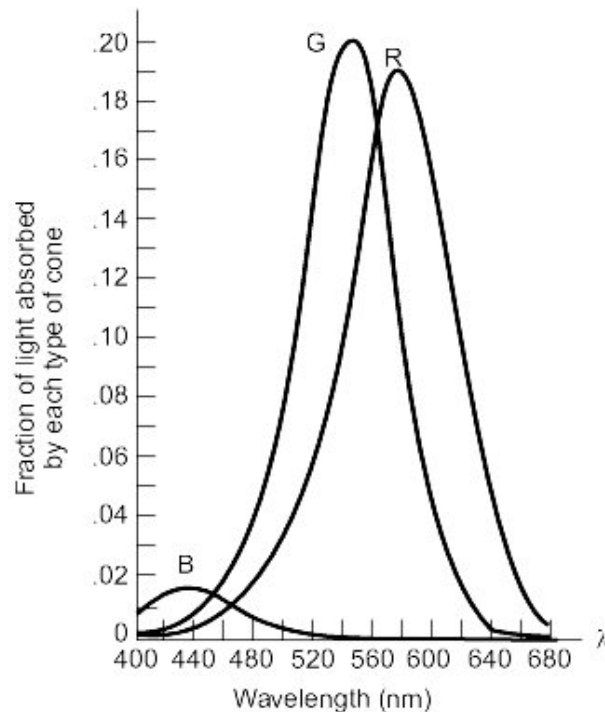


Distribuição de bastonetes e cones na retina
Numero de bastonetes e cones por mm²

Luz Cromática – resposta do olho humano

Teoria do tri-estímulo:

Existem 3 tipos de cones, cuja resposta à luz é máxima em Azul, Vermelho e Verde, respectivamente.



Devido às características de absorção de luz do olho humano, as cores são representadas como uma combinação das chamadas cores primárias R (red), G (green) e B (blue).

Cones sensíveis à luz:

65% à luz vermelha

33% à luz verde

2% à luz azul

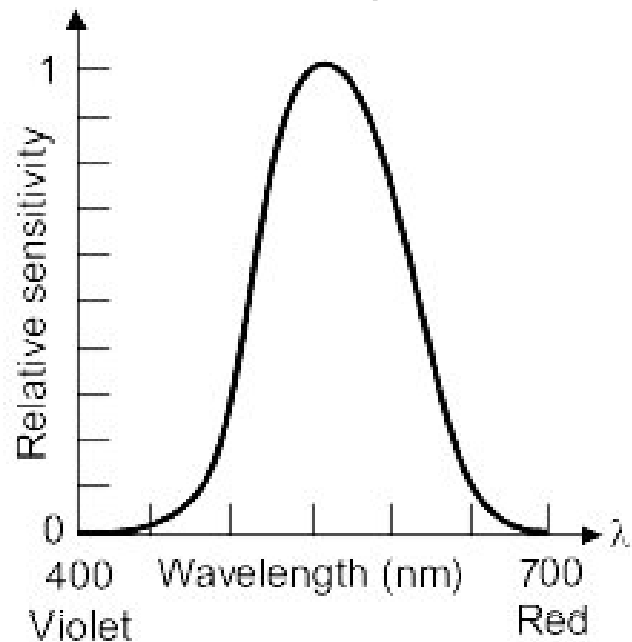
No gráfico, verifica-se uma resposta inferior do olho à luz azul.

Resposta obtida por cada tipo de cone

Luz Cromática – resposta do olho humano

Função eficiência luminosa:

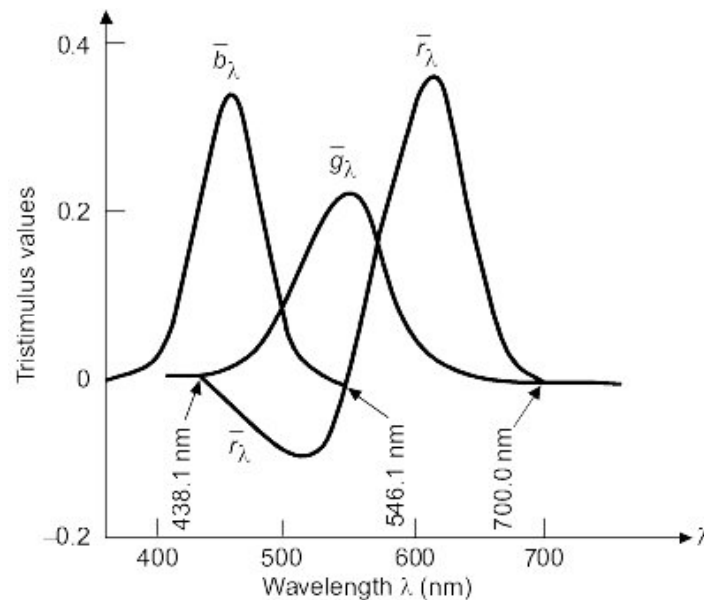
- Resposta do olho a uma luz de luminância constante quando se faz variar a frequência dominante:



Experiências mostram que esta curva se obtém somando as curvas da figura anterior.

Luz Cromática – resposta do olho humano

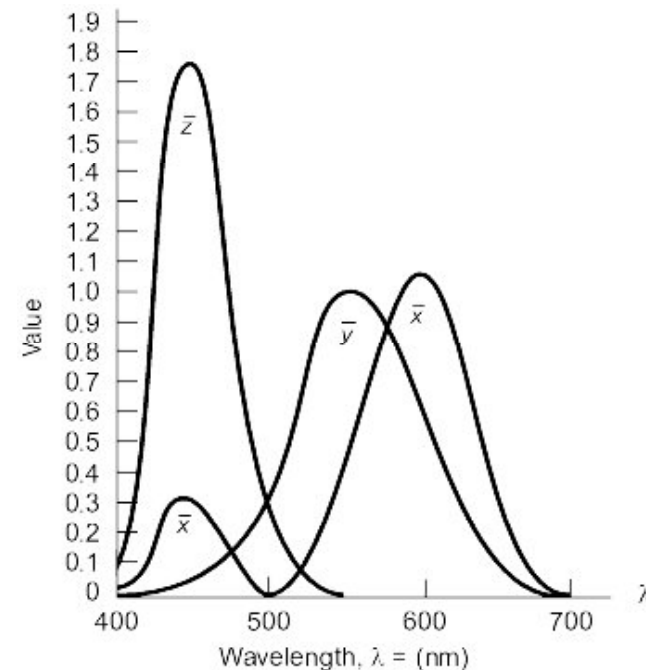
Quantidade necessária das 3 cores primárias para se alcançar todos os comprimentos de onda do espectro visível, com luminância constante:



- Os valores negativos na figura significam que não podemos obter todas as cores pela soma das cores primárias R, G, B.
- Assim, nos monitores CRT, baseados na soma das 3 cores primárias, não podemos representar todas as cores visíveis.

Luz Cromática – Modelo CIE

- A representação de cor por mistura de 3 cores primárias é desejável, mas a necessidade de pesos negativos não é conveniente.
- Para ultrapassar esta dificuldade, em 1931, a *Commission Internationale de l'Éclairage (CIE)* definiu 3 cores primárias imaginárias **X**, **Y** e **Z** para substituir **red**, **green** e **blue**.



Cores Primárias:

- Imaginárias, **X**, **Y** e **Z**
- **Y** coincide com a função eficiência-luminosa

$$C = X \bar{X} + Y \bar{Y} + Z \bar{Z}$$

A cor C obtida com os pesos X, Y e Z das cores primárias **X**, **Y** e **Z**

Luz Cromática – Modelo CIE

- A figura mostra o volume em formato cônico que contém as cores visíveis.

Os **valores de Cromatância** são definidos normalizando contra $X+Y+Z$, i.e. a luminância:

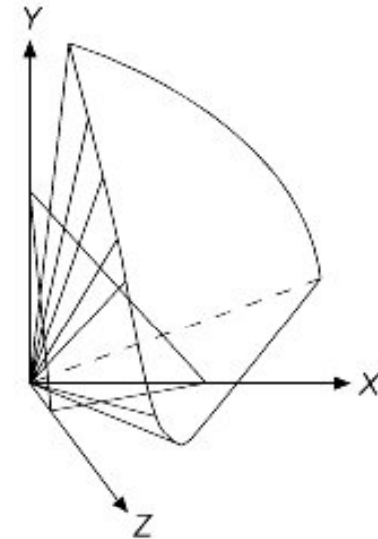
$$x = X / (X+Y+Z) \quad y = Y / (X+Y+Z) \quad z = Z / (X+Y+Z)$$

Os **valores de Cromatância** x , y , z :

- Dependem do comprimento de onda dominante e da saturação
- Não dependem da luminância

Notar que:

$x + y + z = 1$, ou seja, x , y , e z estão no plano $X+Y+Z=1$ como mostra a figura.



Luz Cromática – Diagrama CIE

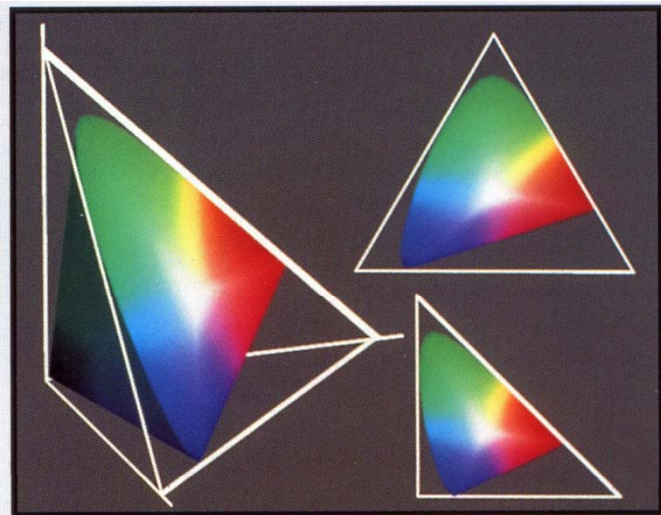
- x, y e Y definem completamente uma cor:

$$X = (x / y) * Y$$

$$Y = Y$$

$$Z = (1 - x - y) / y * Y$$

Y normalmente indica a **luminância**

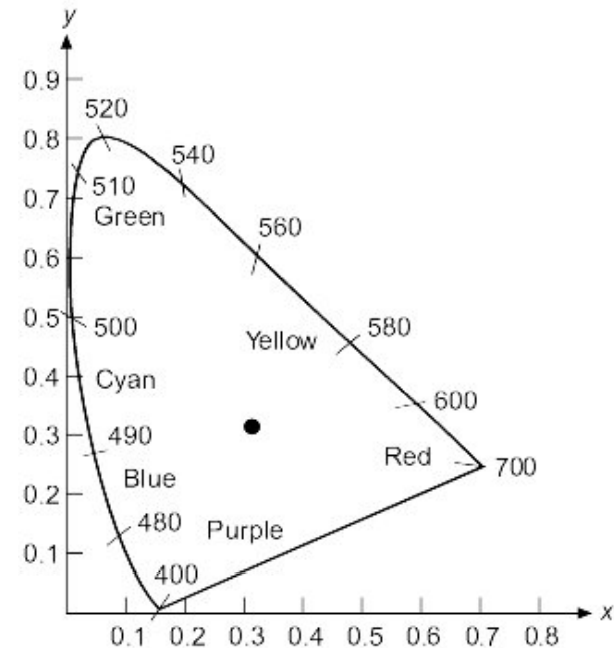


A projecção do plano $X+Y+Z=1$ no plano (X,Y) corresponde ao **Diagrama de Cromatância CIE**

Luz Cromática – Diagrama CIE

- **x , y definem uma cor, sem contar com a luminância.**
- Desenhando x e y para todas as cores visíveis, obtém-se o Diagrama de Cromatância CIE
- Para cada ponto da região da figura tem-se várias cores com a mesma cromatância, mas com diferentes luminâncias.
- As cores 100% puras estão sobre a fronteira curva
- O ponto central corresponde à cor branca

Diagrama de cromatância CIE



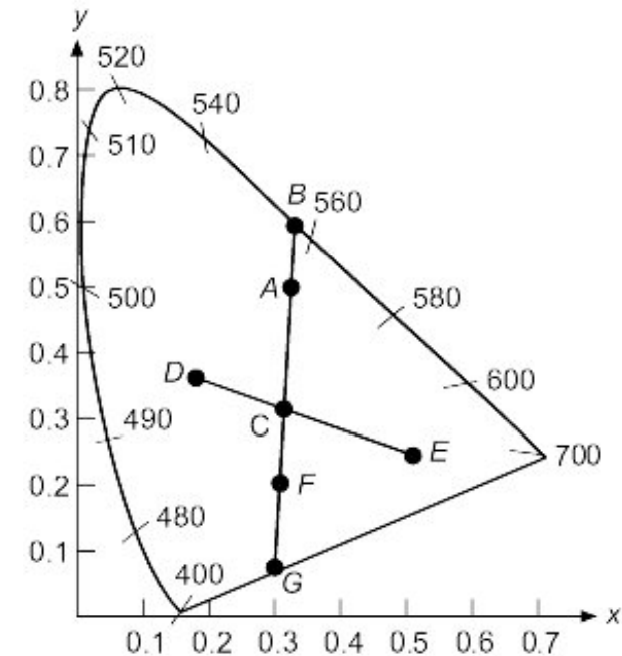
Luz Cromática – Diagrama CIE

Determinação do comprimento de onda dominante:

- Somando duas cores, a cor resultante encontra-se sobre o segmento que une as duas cores adicionadas.
- A cor **A** pode ser vista como **C + B**, logo **B** é o comprimento de onda dominante.

Determinação da pureza da cor:

- **AC / BC** expressa a pureza (em percentagem) da cor **A**.
- Quanto mais perto estiver **A** de **C**, mais luz branca estará incluída em **A** e menos pura será esta cor.



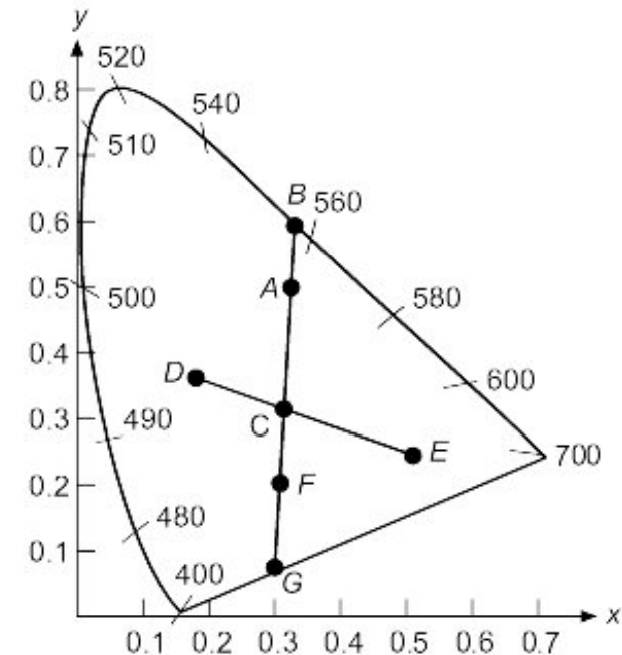
Luz Cromática – Diagrama CIE

Cores complementares:

- São duas cores que somadas originam a cor branca
- Ex: Cores **D** e **E**.

Cores não espectrais:

- Cores que não podem ser definidas por um comprimento de onda dominante. Ex: cor **F**.
- Neste caso, o comprimento de onda dominante é definido como o complementar do comprimento de onda onde a recta que passa por **F** e **C** intersecta em **B** (no exemplo 555 nm).
- A pureza da cor é definida por **FC / GC**.
- As cores não espectrais são as púrpuras e magentas



Luz Cromática – Diagrama CIE

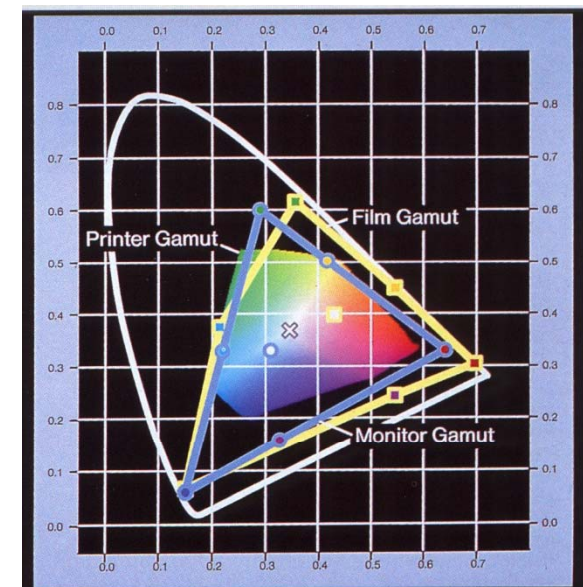
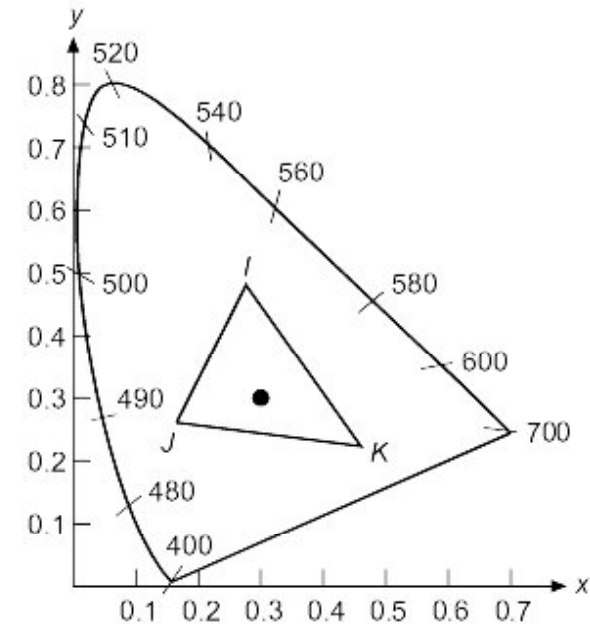
Gama de cores:

- As cores sobre o segmento **IJ** são obtidas pela mistura das cores **I** e **J**.
- Juntando a cor **K**, obtém-se todas as cores situadas no triângulo da figura.

Cobertura das cores no modelo CIE:

- Nenhum triângulo cobre todas as cores do Diagrama CIE
 - Ou seja, nenhum conjunto de 3 cores é suficiente para produzir todas as cores do Diagrama CIE.
- Adicionando R, G, e B não se consegue qualquer cor.

O diagrama é também usado para comparar a gama de cores disponível em dispositivos como monitores e impressoras.



Luz Cromática

Modelos de cor em Sistemas Raster

O objectivo do modelo de cor consiste em estabelecer um formato em que as cores podem ser codificadas de forma clara. Existem modelos orientados para Hardware e Interface com Utilizador.

Modelo de cores para monitores

- Modelo aditivo RGB

Modelo de cores para impressoras

- Modelo substractivo CMY

Modelo que facilitam a interface com o utilizador

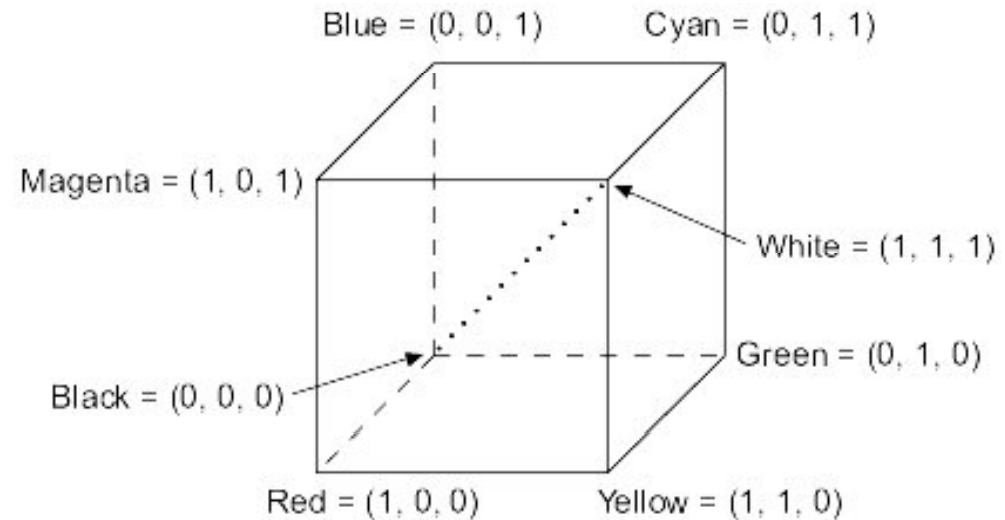
- Modelo intuitivo HSV

Luz Cromática

Modelo de cor RGB

Modelo utilizado nos CRT

- Modelo aditivo
- Cores primárias: R, G, B
- Preto = $(0, 0, 0)$
- Branco = $(1, 1, 1)$



Cubo RGB

- A diagonal $(0, 0, 0)$ a $(1, 1, 1)$ representa os níveis de cinzento, com igual contribuição das 3 cores primárias.
- CRT's com diferentes fósforos apresentam conjuntos de cores diferentes

Luz Cromática

Modelo de cor CMY

Modelo utilizado nas impressoras

- Cores primárias: **Cyan**, **Magenta** e **Yellow**
São as cores complementares de R, G e B respectivamente.
- As cores são especificadas pelo que é removido ou subtraído à **luz branca**, em vez de o que é **somado ao preto** (como em RGB).
- O cubo é idêntico ao modelo RGB, mas agora o branco está na origem.
Branco = (0, 0, 0) e Preto = (1, 1, 1)

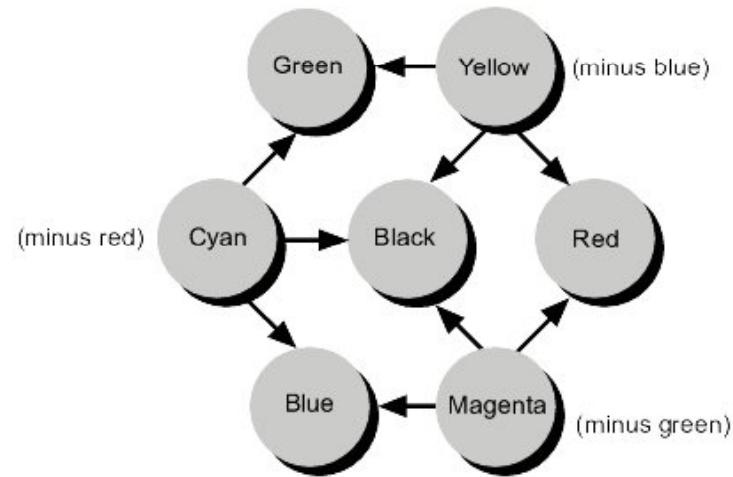
O papel branco reflecte luz branca → tem componentes em **red**, **green** e **blue**

Se a superfície é coberta com tinta **cyan**, não há reflexão de luz **red** na superfície, i.e. a cor **cyan** subtraiu a cor **red** da cor branca reflectida pelo papel.

Então, em termos das 3 cores primárias RGB, **cyan = white – red**, o mesmo é dizer **blue + green**

Luz Cromática

Modelo de cor CMY



Transformação RGB para CMY:

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

Em RGB, Cyan = (0,1,1)
Em CMY, Cyan = (1,0,0)

Transformação CMY para RGB:

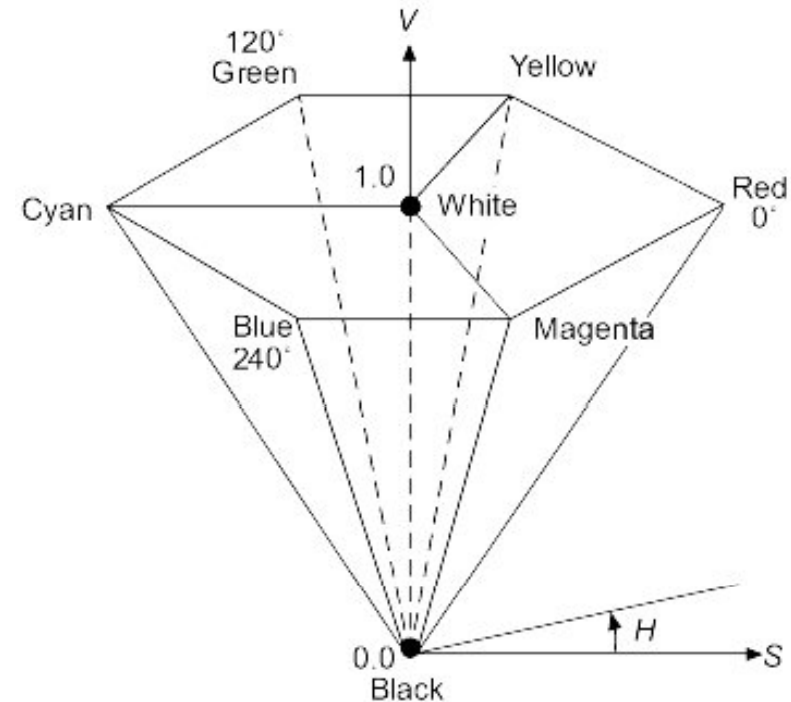
$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix}$$

Luz Cromática

Modelo HSV

Modelo orientado para o utilizador

- HSV (Hue, Saturation, Value)
- Topo: $V = 1$, onde se encontram as cores mais brilhantes
- Ângulo em torno do eixo vertical:
 - $H = 0^\circ$, corresponde ao vermelho
 - $H = 120^\circ$, corresponde ao verde
- Cores complementares: entre si, um ângulo de 180°
- Saturação: varia de 0 (no centro) a 1 (na periferia)



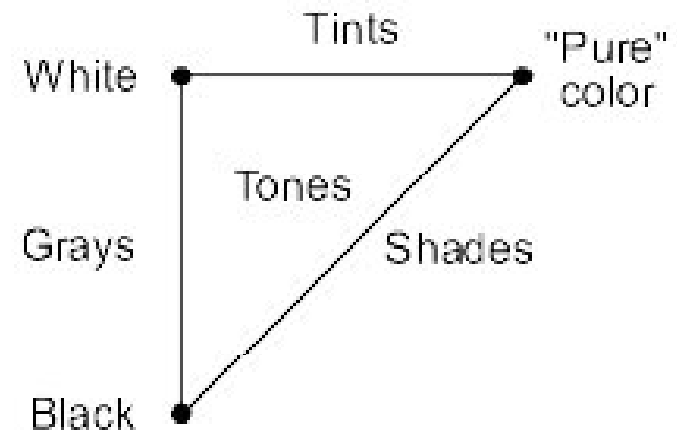
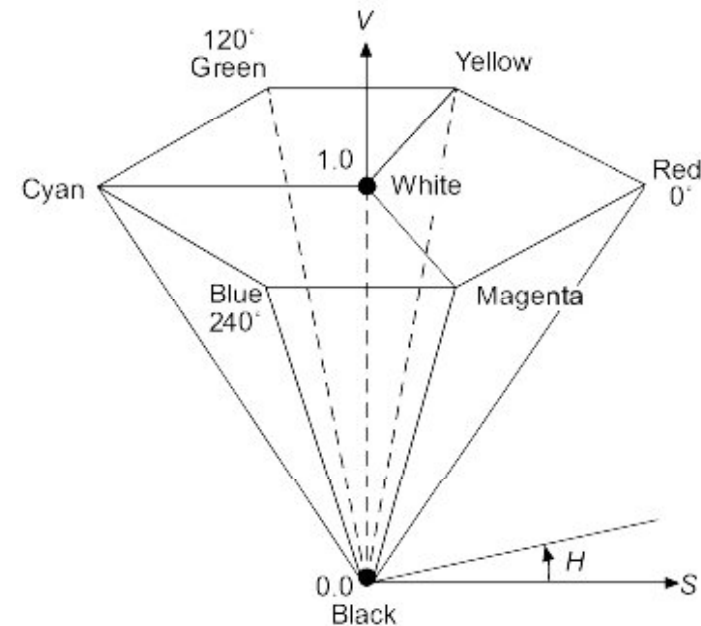
Luz Cromática

Modelo HSV

Exemplos:

- $S = 0$ e $V = 1 \rightarrow$ branco
- $S = 0$ e $V = 0 \dots 1 \rightarrow$ cinzentos
- $H = 0$ e $S = 1$ e $V = 1 \rightarrow$ vermelho puro
- $V = 1$ e $S = 1 \rightarrow$ cores puras (fronteira no topo)
- $V = 1$ e juntando branco \rightarrow tintos (decremento de S)
- $S = 1$ e juntando preto \rightarrow sombreados (decremento de V)
- Variando S e $V \rightarrow$ tons

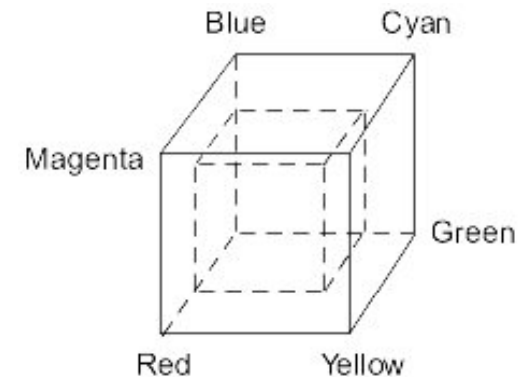
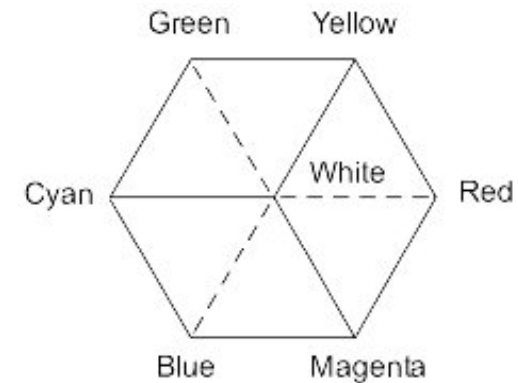
Corresponde ao modelo dos artistas referido no início.



Luz Cromática

Modelo HSV

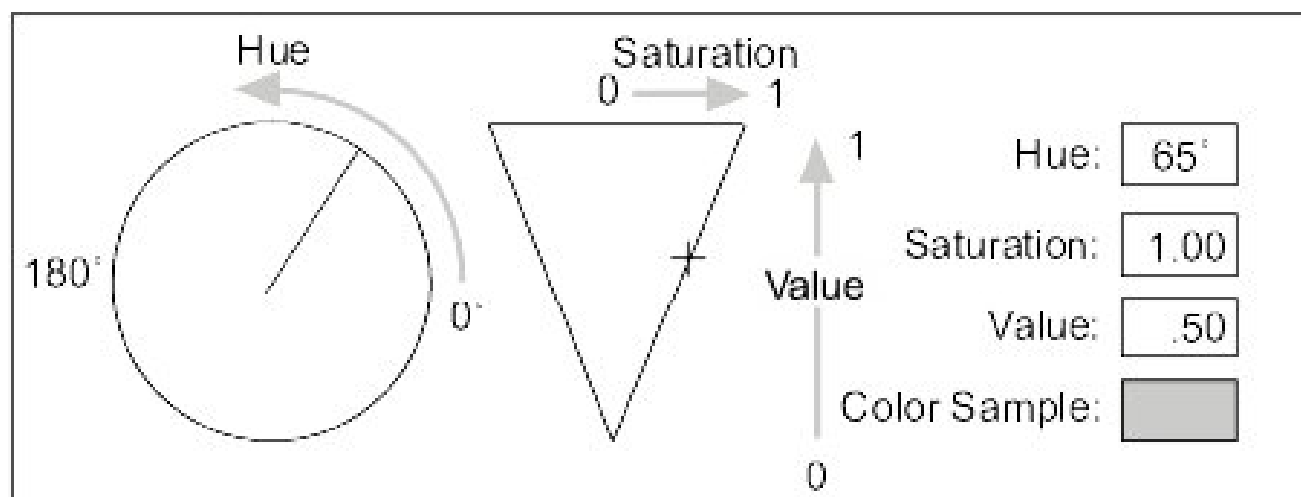
- O topo da pirâmide do modelo HSV corresponde à projecção do cubo RGB visto ao longo da sua diagonal a partir do branco para o preto.
- Variando V de 1 a 0
O cubo RGB surge mais pequeno
A diagonal do cubo RGB corresponde ao eixo V
- É nesta correspondência que se baseiam os algoritmos de conversão entre os dois sistemas
 $RGB \rightarrow HSV$ e $HSV \rightarrow RGB$



Luz Cromática

Modelo HSV

Exemplo de interacção para especificação interactiva da cor:



Luz Cromática

Exercício

3. Sejam duas cores representadas, no modelo HSV, por $C_1=(h_1, 0.5, 0.8)$ e $C_2=(h_2, 0.8, 0.5)$, com h_1 e h_2 desconhecidos. Comente a possibilidade de cada uma delas corresponder aproximadamente a cada um dos três pontos P_1 , P_2 e P_3 marcados no diagrama CIE junto.

