Luz e Cor

por

Marcelo Gattass

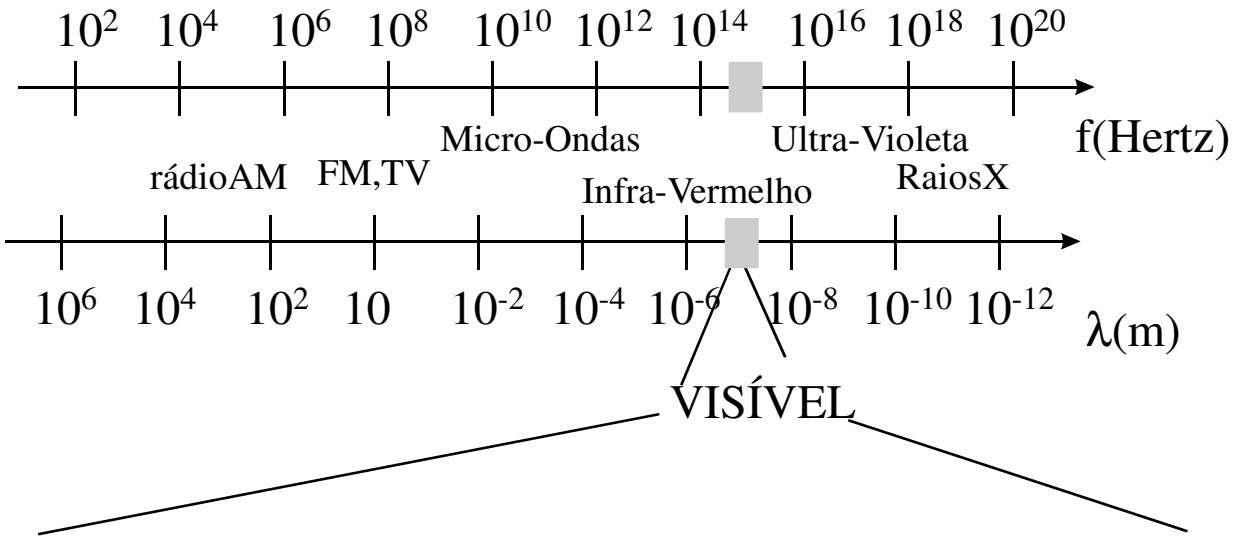
Departamento de Informática

PUC-Rio

(adaptado por Luiz Fernando Martha para a disciplina CIV2802 – Sistemas Gráficos para Engenharia)

Luz

Onda eletro-magnética



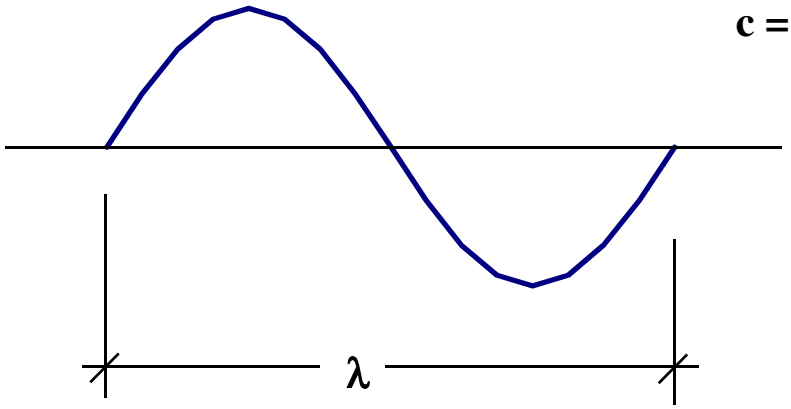
vermelho (4.3×10^{14} hz), laranja, amarelo,..., verde, azul, violeta (7.5×10^{14} hz)

Comprimento de Onda

c = Velocidade da Luz $\cong 3.0 \times 10^8$ m/s

$$c = \lambda f$$

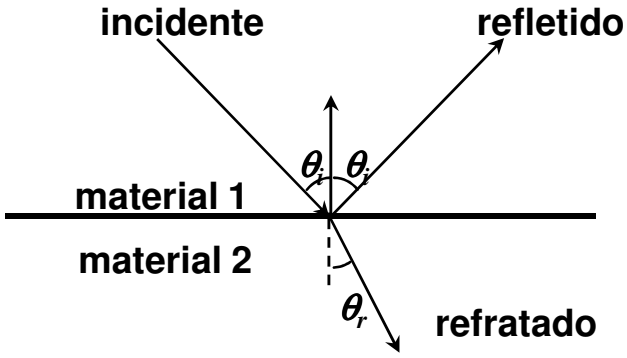
$$\lambda = c / f$$



Cor	λ
Violeta	380-440 mμ
Azul	440-490 mμ
Verde	490-565 mμ
Amarelo	565-590 mμ
Laranja	590-630 mμ
Vermelho	630-780 mμ

1 mμ = 10^{-9} m

Reflexão e Refração

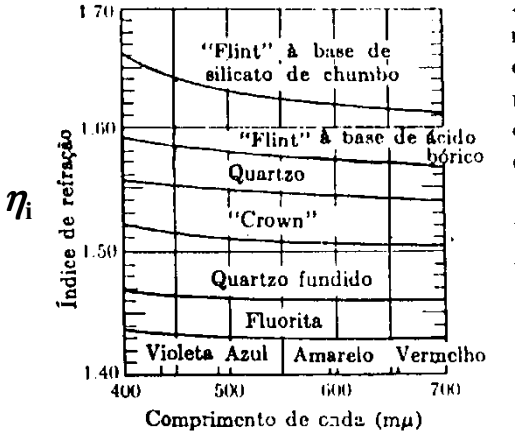


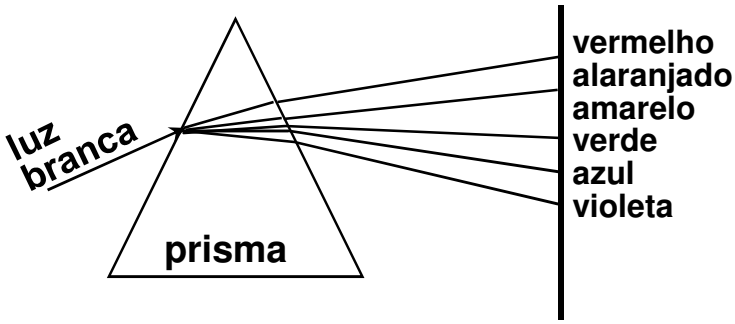
$$sen\ \theta_r = \frac{\eta_2}{\eta_1}\ \text{sen}\ \theta_i$$

lei de Snell (1621)

Índice de refração

$$\eta_i = \frac{\text{velocidade da luz no vácuo}}{\text{velocidade da luz no material i}}$$



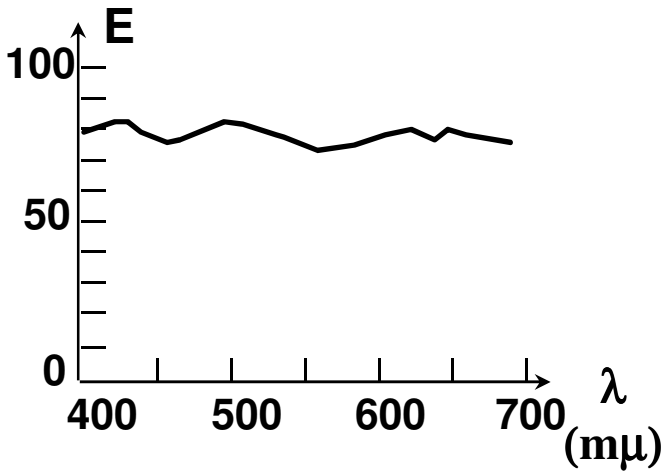


luz branca (acromática) tem todos os comprimentos de onda

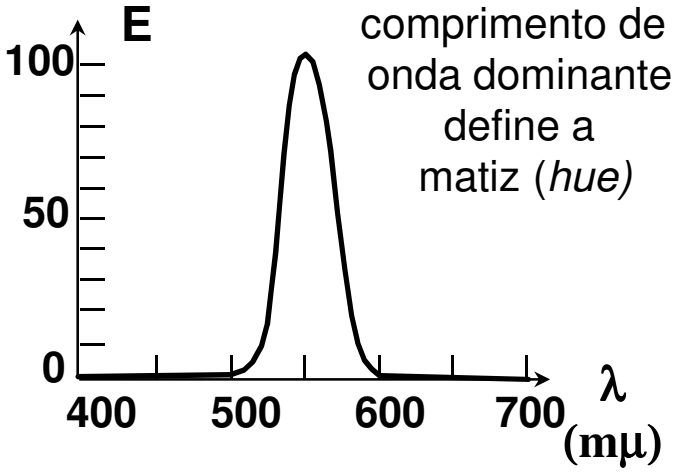
Newton

Fontes luminosas

fonte luminosa branca

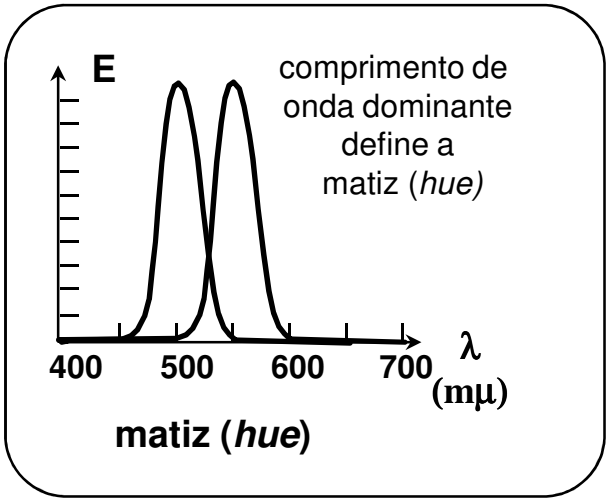


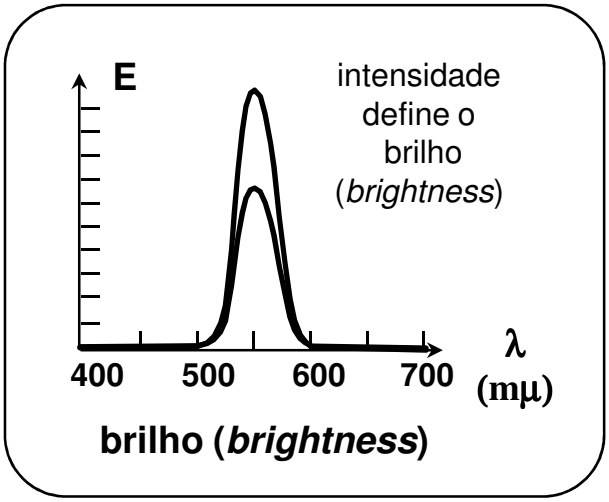
fonte luminosa colorida

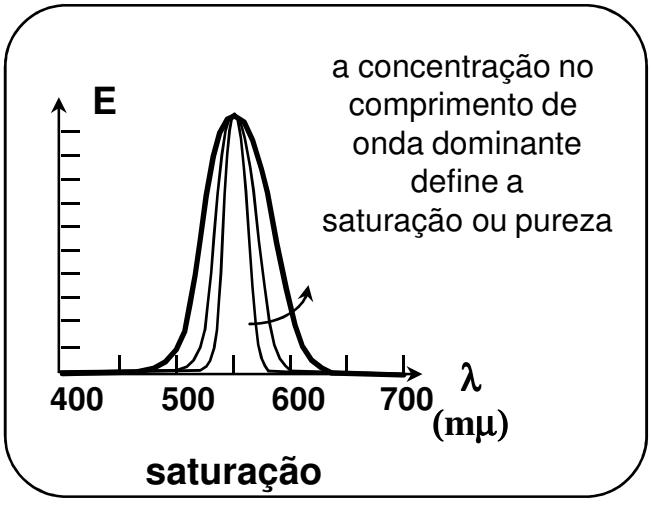


comprimento de onda dominante define a matiz (*hue)*

Características das fontes luminosas



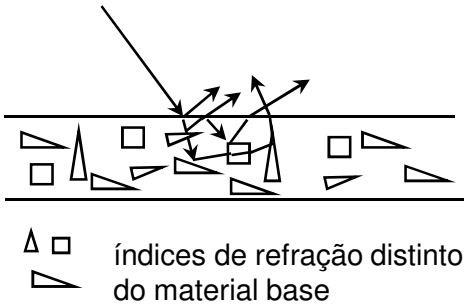




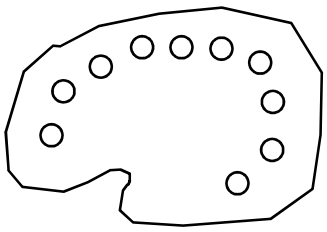
cores pastéis são menos saturadas ou menos puras

Processos de formação de cores

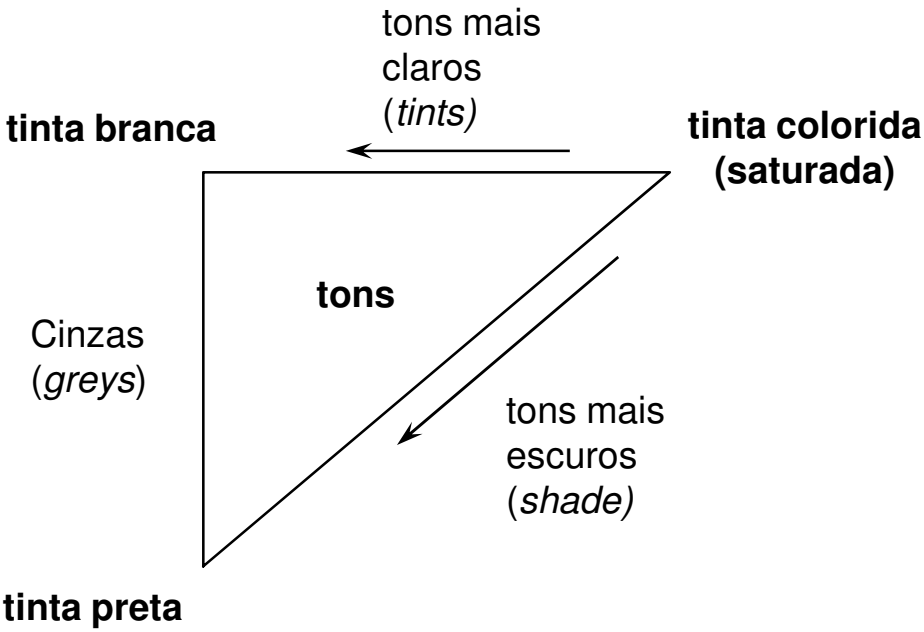
por pigmentação



A sucessão de reflexão e refração determinam a natureza da luz refletida

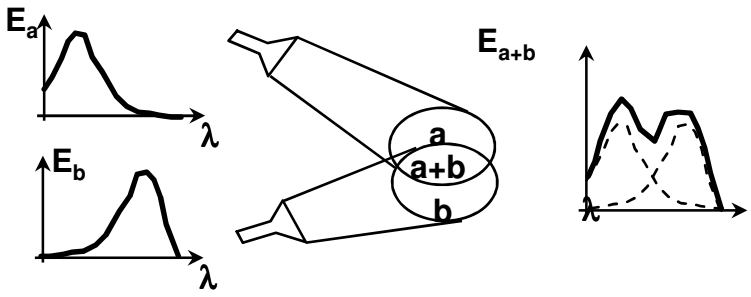


PALHETA
DO
PINTOR



Processos de formação de cores

aditivos

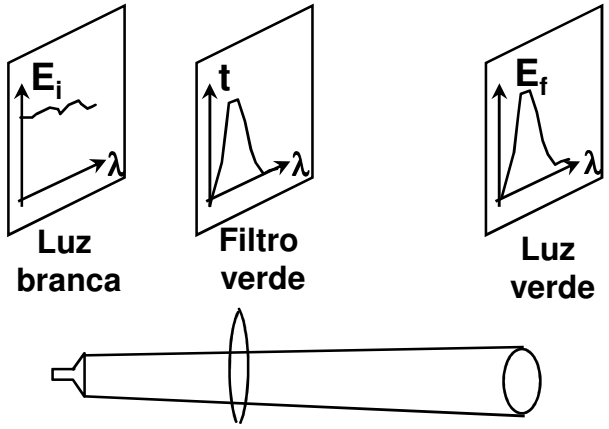


$$E_{a+b}(\lambda) = E_a(\lambda) + E_b(\lambda)$$

O olho não vê componentes!

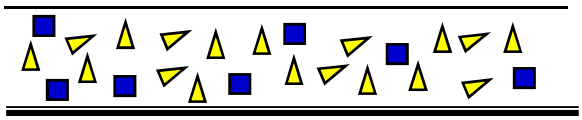
subtrativos

filtros ou corantes



transparência

$$E_f(\lambda) = t(\lambda) \cdot E_i(\lambda)$$

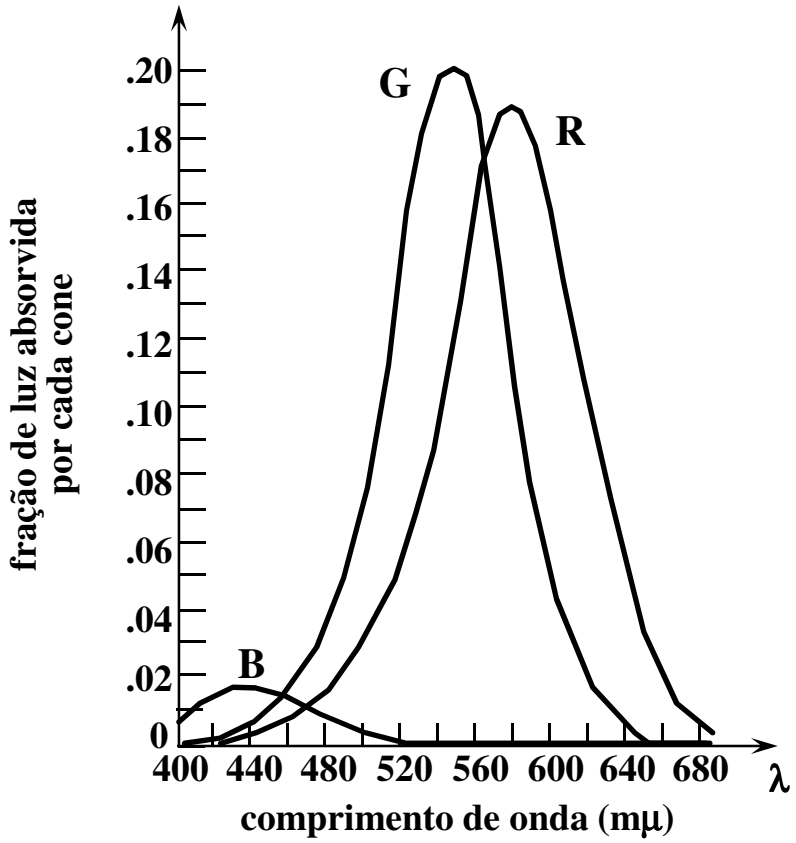


azul
amarelo

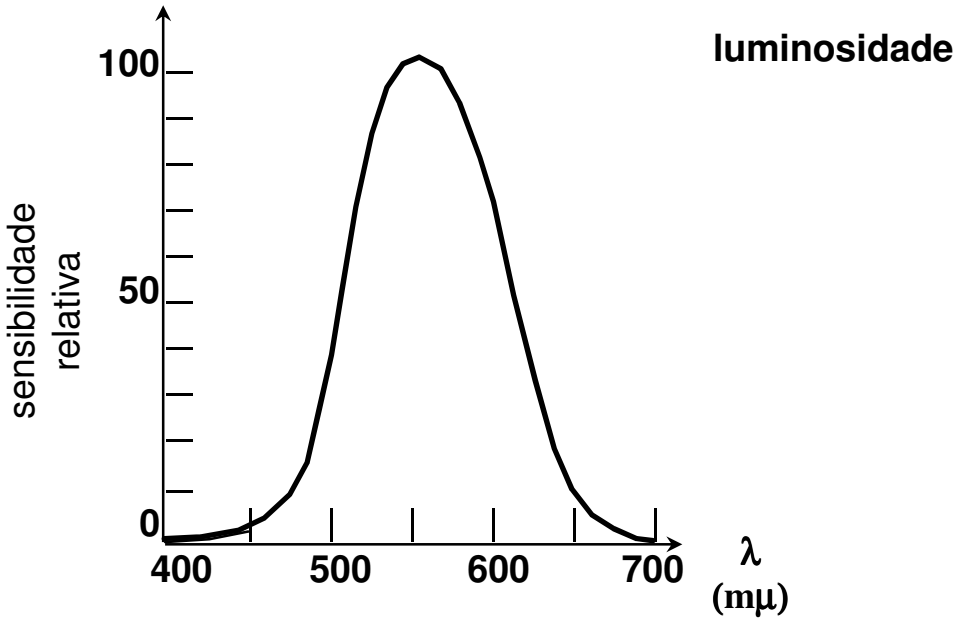
índices de refração próximo do material base

Espaço de cor do olho humano

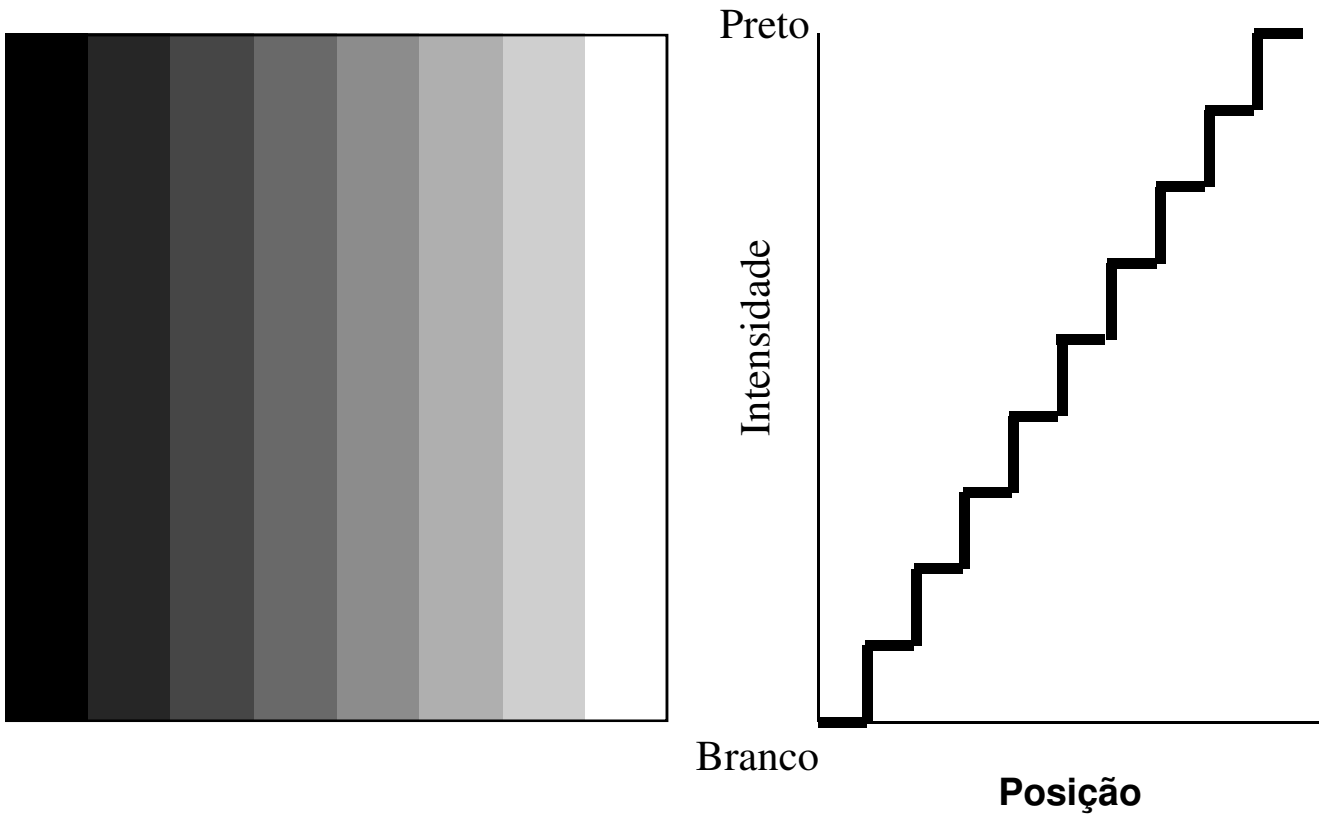
Olho humano: Cones (RGB) e Bastonetes (cegos para cor)



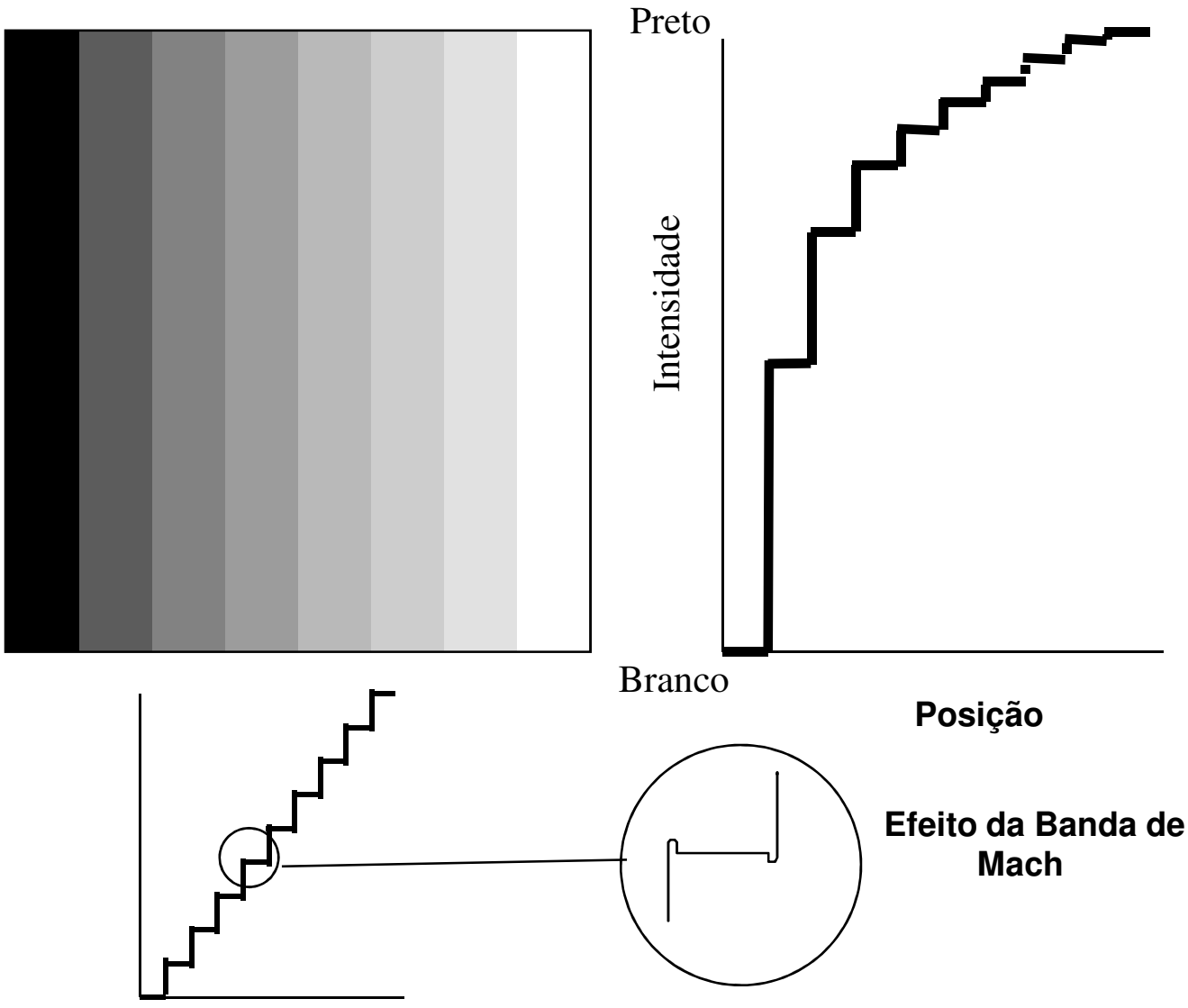
Fração da luz absorvida pelo olho



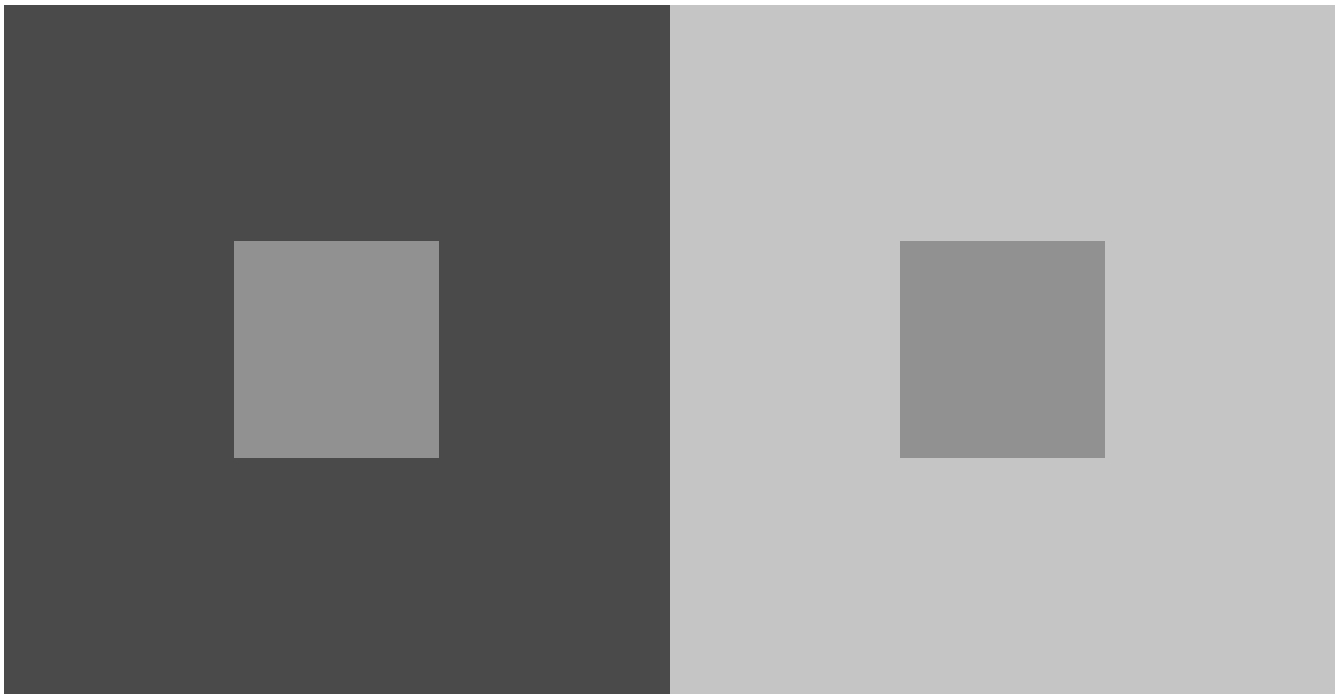
Tons de cinza igualmente espaçados



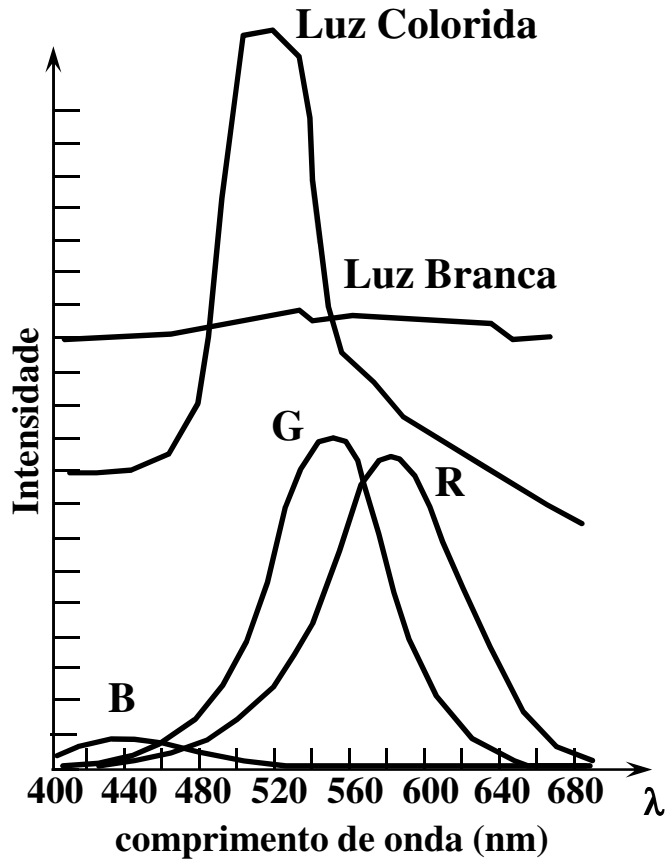
Tons de cinza perceptualmente espaçados e bandas de Mach



Contraste Simultâneo



Percepção de cor



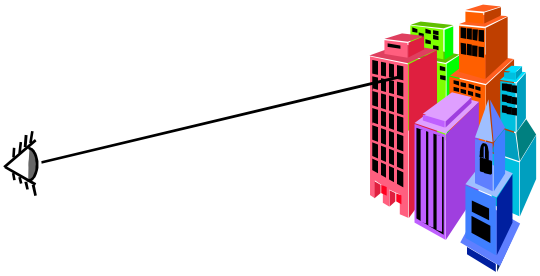
componente vermelha

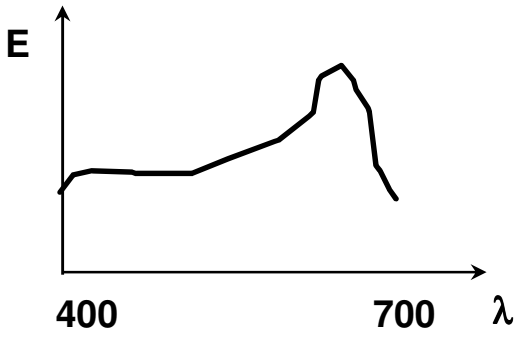
$$r = \int c(\lambda)\, R(\lambda)\, d\lambda$$

não é bem assim!

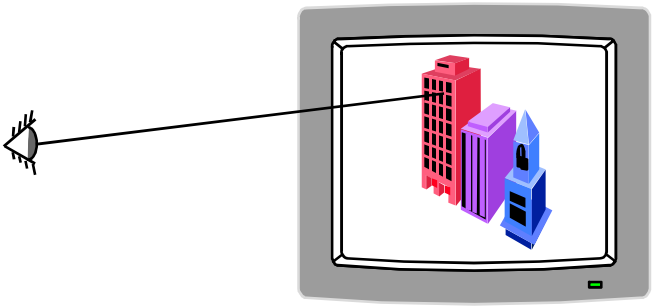
O problema de reprodução de cor em CG

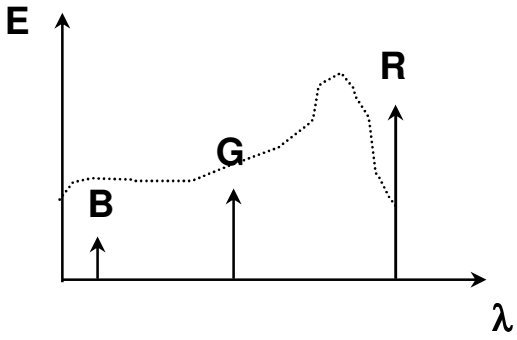
Mundo Real





Espaço Virtual

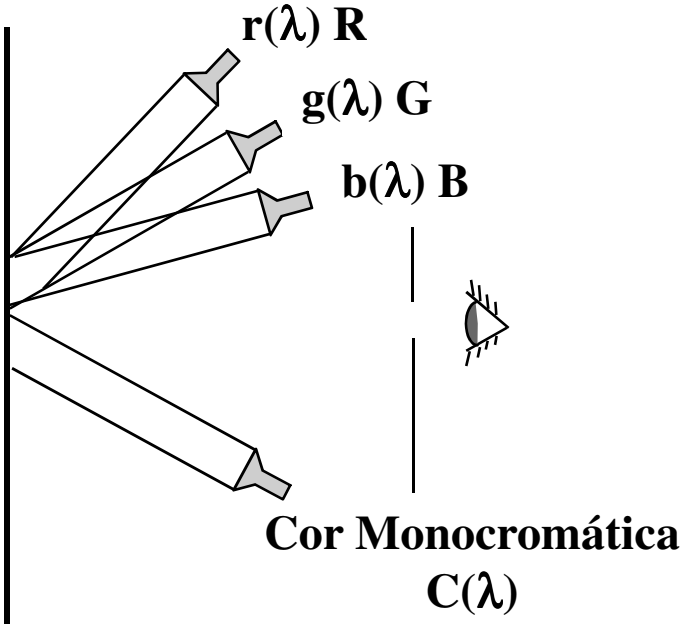




- mesma sensação de cor ⇒ Metamerismo
- só distingue 400 mil cores ($< 2^{19}$) ⇒ 19 bits deveriam ser suficientes

Representação perceptual da cor
CIE RGB

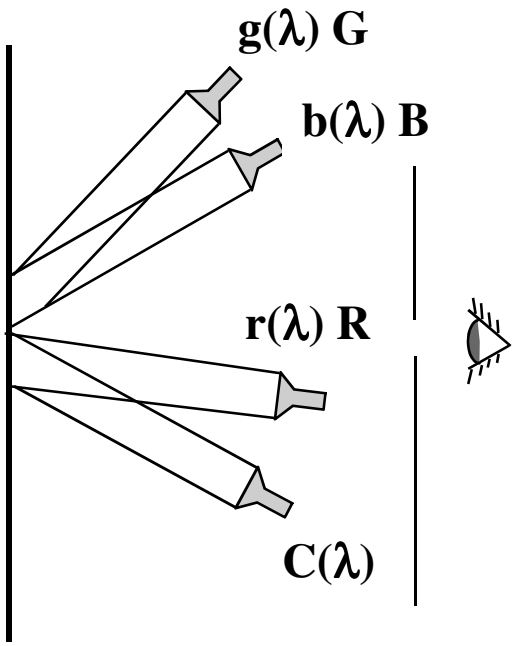
R **= 700 mμ**
G **= 546 mμ**
B **= 435.8 mμ**



$$C(\lambda) = r(\lambda)\,R + g(\lambda)\,G + b(\lambda)\,B$$

Problema:
Não consegue se representar todas as cores visíveis (falta saturação)

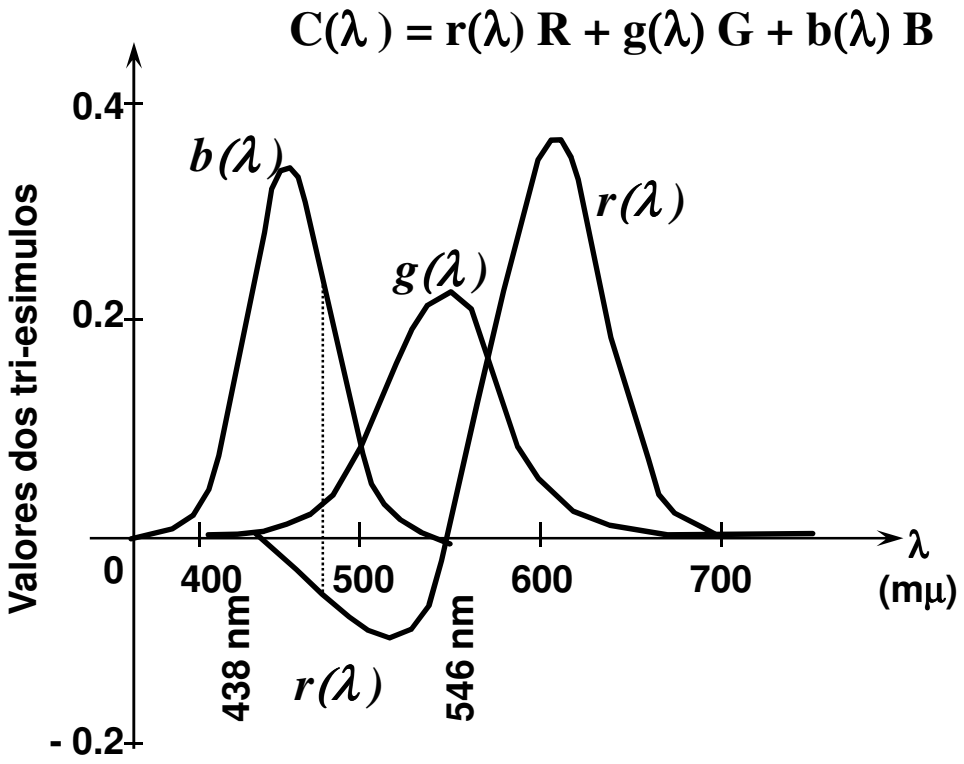
Artifício para "subtrair" uma componente



$$C(\lambda) + \underline{r}(\lambda)\, R = g(\lambda)\, G + b(\lambda)\, B$$

$$C(\lambda) = r(\lambda)\, R + g(\lambda)\, G + b(\lambda)\, B, \text{ onde } r(\lambda) = -\,\underline{r}(\lambda)$$

Componentes das cores monocromáticas
- CIE RGB -



Combinação de três cores (RGB) para reproduzir as cores espectrais

Conversão da base CIE RGB para CIE XYZ

$$C(\lambda) = r(\lambda)\,R + g(\lambda)\,G + b(\lambda)\,B$$

Escolhendo-se XYZ tal que:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.36470 & -0.51515 & 0.00520 \\ -0.89665 & 0.14264 & -0.01441 \\ -0.46808 & 0.08874 & 1.00921 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

tem-se

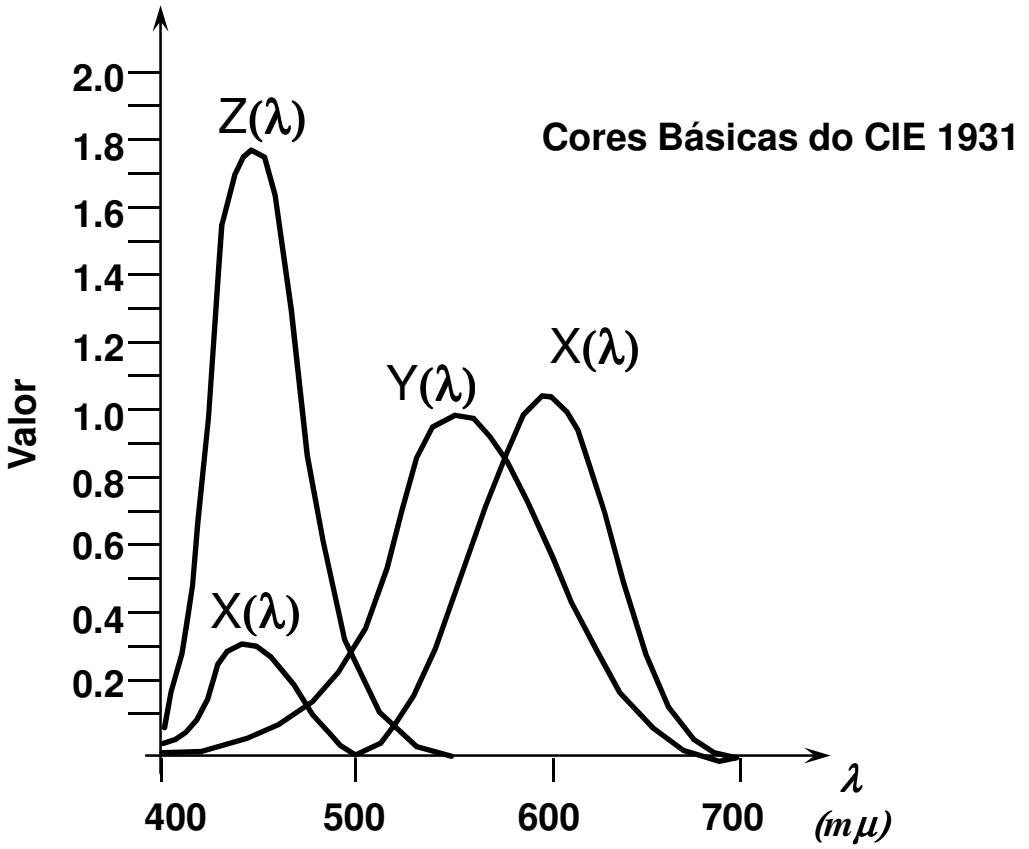
$$C(\lambda) = X(\lambda)\,X + Y(\lambda)\,Y + Z(\lambda)\,Z$$

onde

$$X(\lambda) = 2.36470r(\lambda) - 0.89665g(\lambda) - 0.46808b(\lambda)$$
$$Y(\lambda) = -0.51515r(\lambda) + 0.14264g(\lambda) + 0.08874b(\lambda)$$
$$Z(\lambda) = 0.00520r(\lambda) - 0.01441g(\lambda) + 1.00921b(\lambda)$$

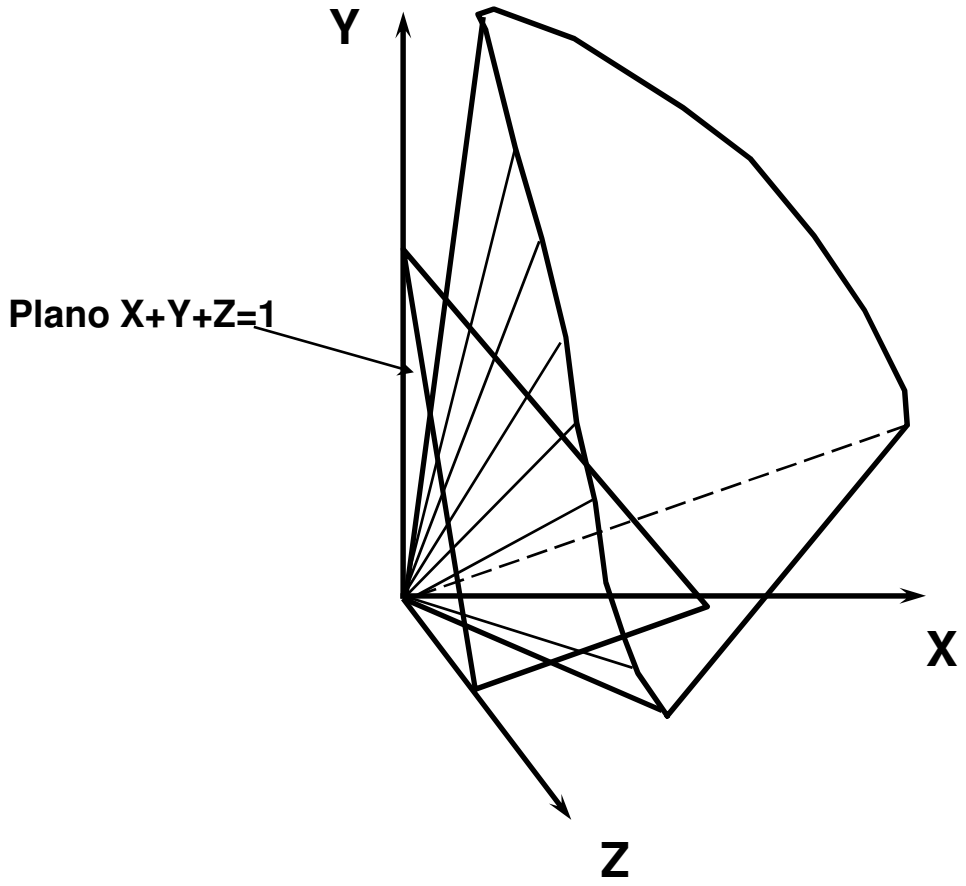
Componentes das cores monocromáticas
- CIE XYZ -

$$C(\lambda) = X(\lambda)\,\mathbf{X} + Y(\lambda)\,\mathbf{Y} + Z(\lambda)\,\mathbf{Z}$$



Nota: **Y** *foi escolhida de forma a* **Y(λ)** *ser semelhante à curva de sensibilidade do olho (luminância)*

Cores visíveis representadas no sistema CIE XYZ



Retirando a luminosidade ou brilho da definição da cor em CIE XYZ

• ***Um parenteses sobre luminosidade ou brilho***

Valores típicos de iluminamento de uma superfície

Modo	**Valores (*lux*)**
Luz do dia (máximo)	100 000
Luz de dia sombrio	10 000
Interior próximo a janela	1 000
Minimo p/ trabalho	100
Lua cheia	0,2
Luz das estrelas	0,000 3

… e o olho se acomoda!

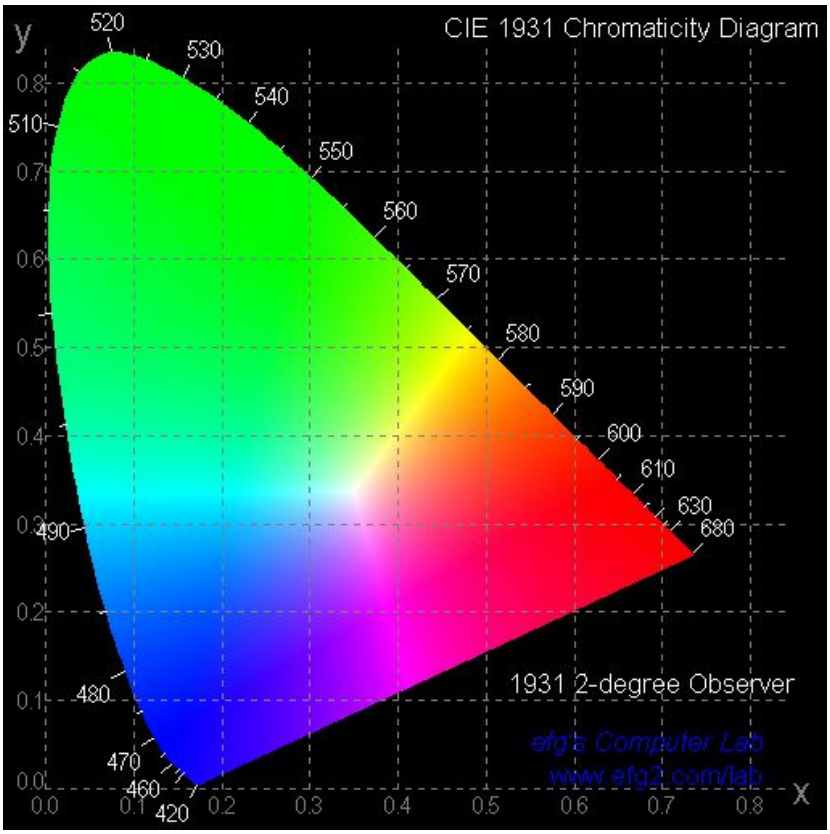
• ***Retirar o fator luminosidade ou brilho projetando no plano*** X+Y+Z=1

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

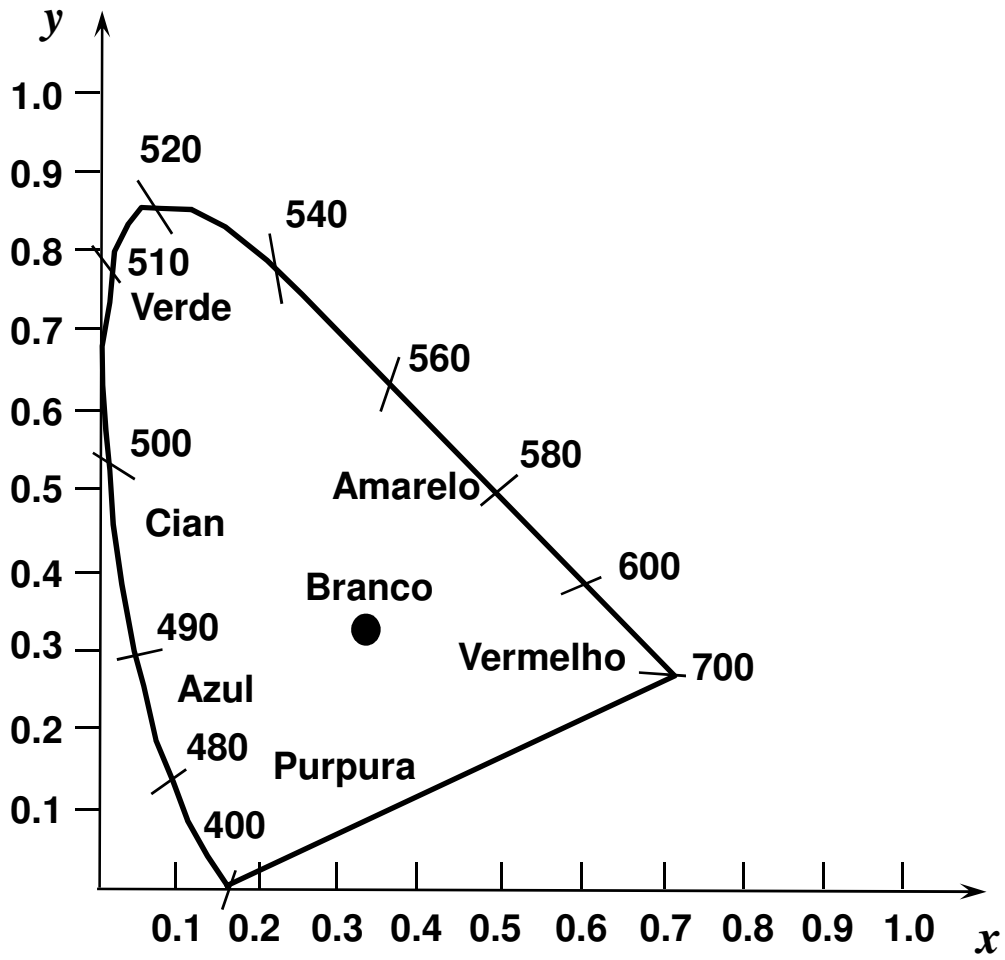
note que
$x+y+z = 1$

$$X = (x / y)\ Y$$
$$Y = Y$$
$$Z = (1-x-y)\ Y / y$$

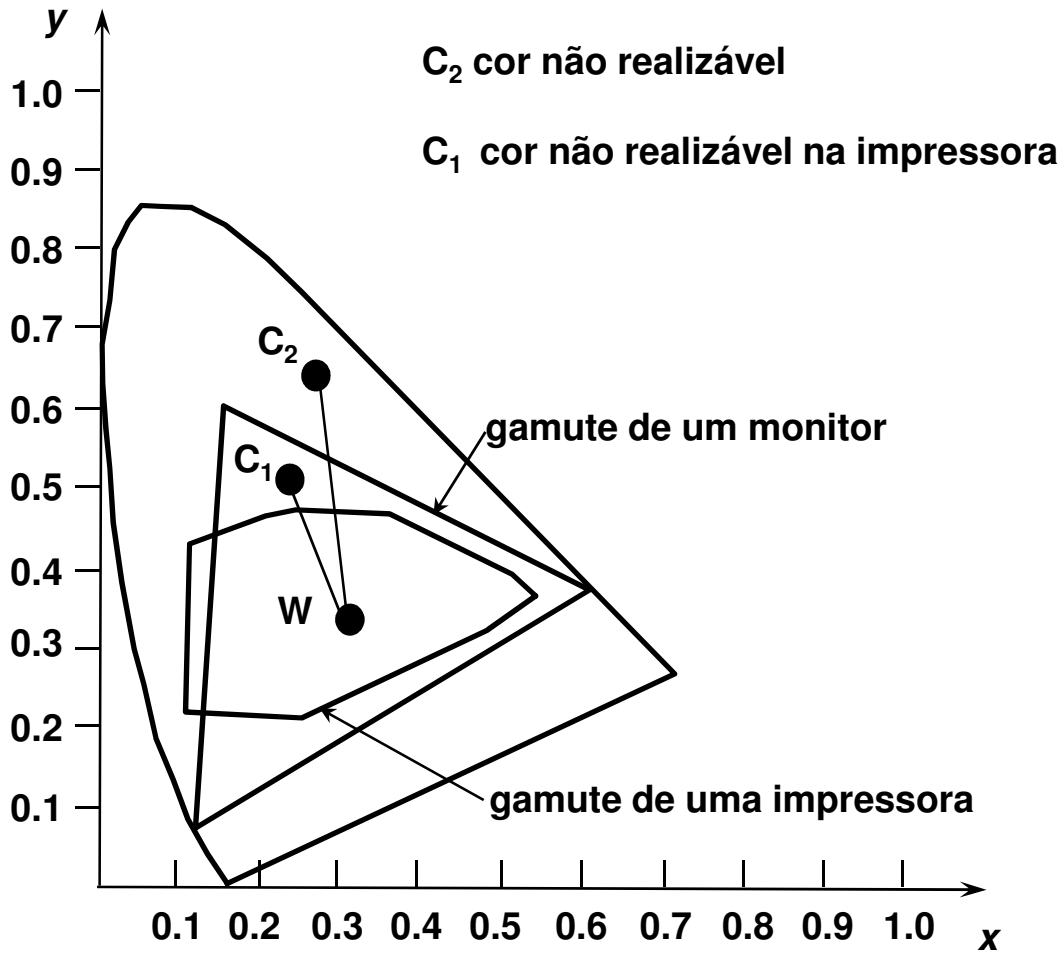
Cores visíveis representadas no sistema CIE xyY



Cores visíveis representadas no sistema CIE xyY

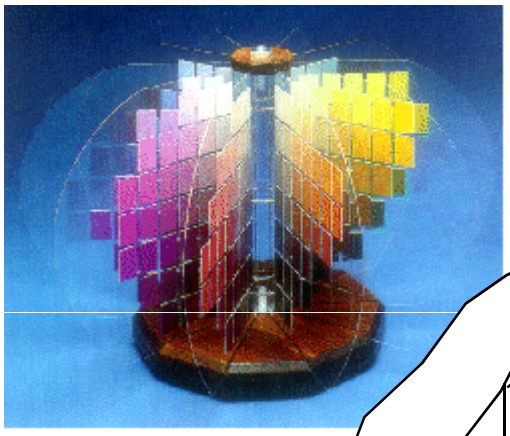


Gamute de cromaticidade de dispositivos

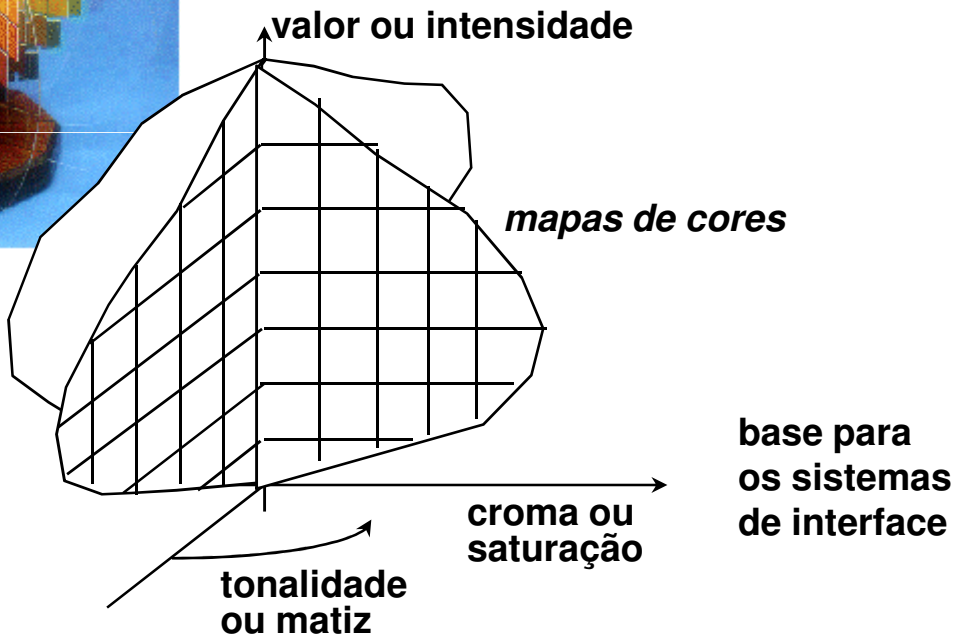


Sistemas de cores por enumeração

Munsell



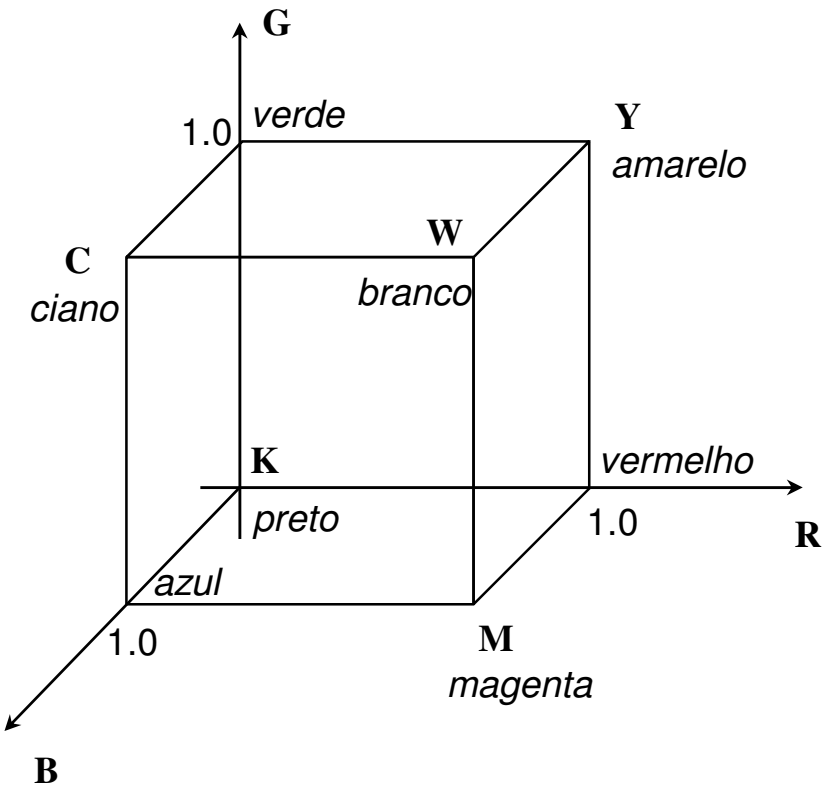
Albert H. Munsell - artista plástico (1905)



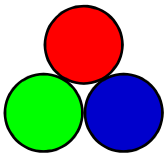
Pantone (início dos 60's)

Sistemas de cor dependentes de dispositivo - mRGB

*I) Sistemas dos Monitores - **mRGB***



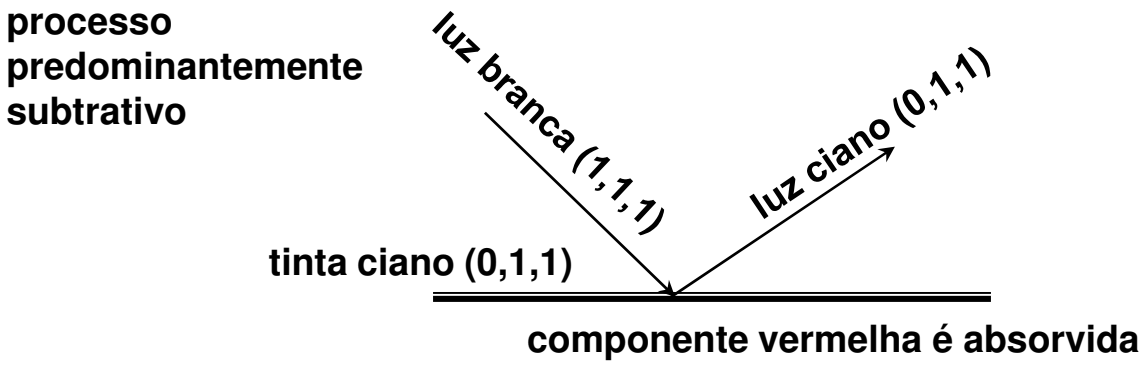
processo aditivo

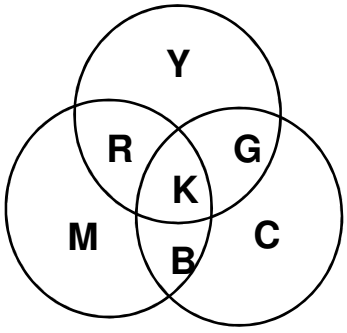


normalmente temos 1 *byte* para cada componente mapeando [0, 255] em [0,1]

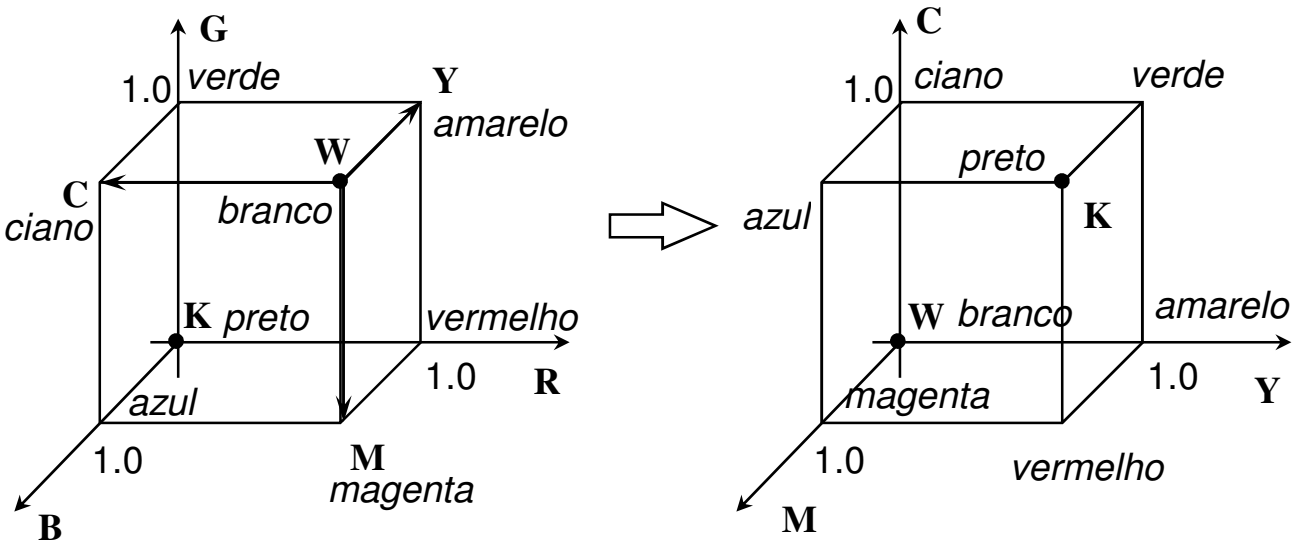
Sistemas de cor dependentes de dispositivo - CMY

*II) Sistemas das Impressoras -**CMY ou CMYK***





Conversão RGB para CMY e vice-versa

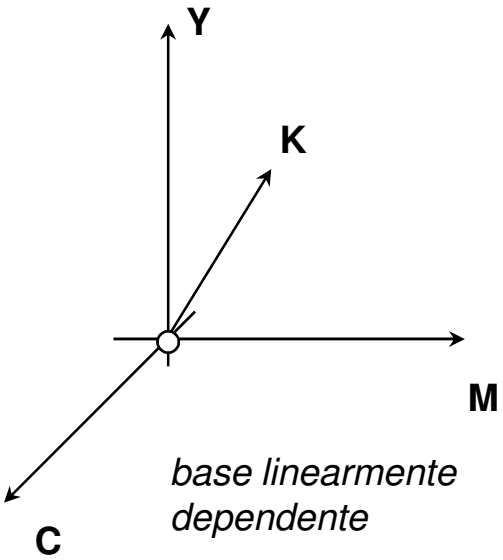


(r,g,b) ***(c,m,y)***

$$(c,m,y) = (1-r,\ 1-g,\ 1-b)$$

Sistemas de cor dependentes de dispositivo - CMYK

- **O sistema CMYK usa o preto (blacK) porque o pigmento (carbono) é mais barato;**
- **A superposição de ciano, magenta e amarelo para produzir preto gera um tom meio puxado para o marron.**



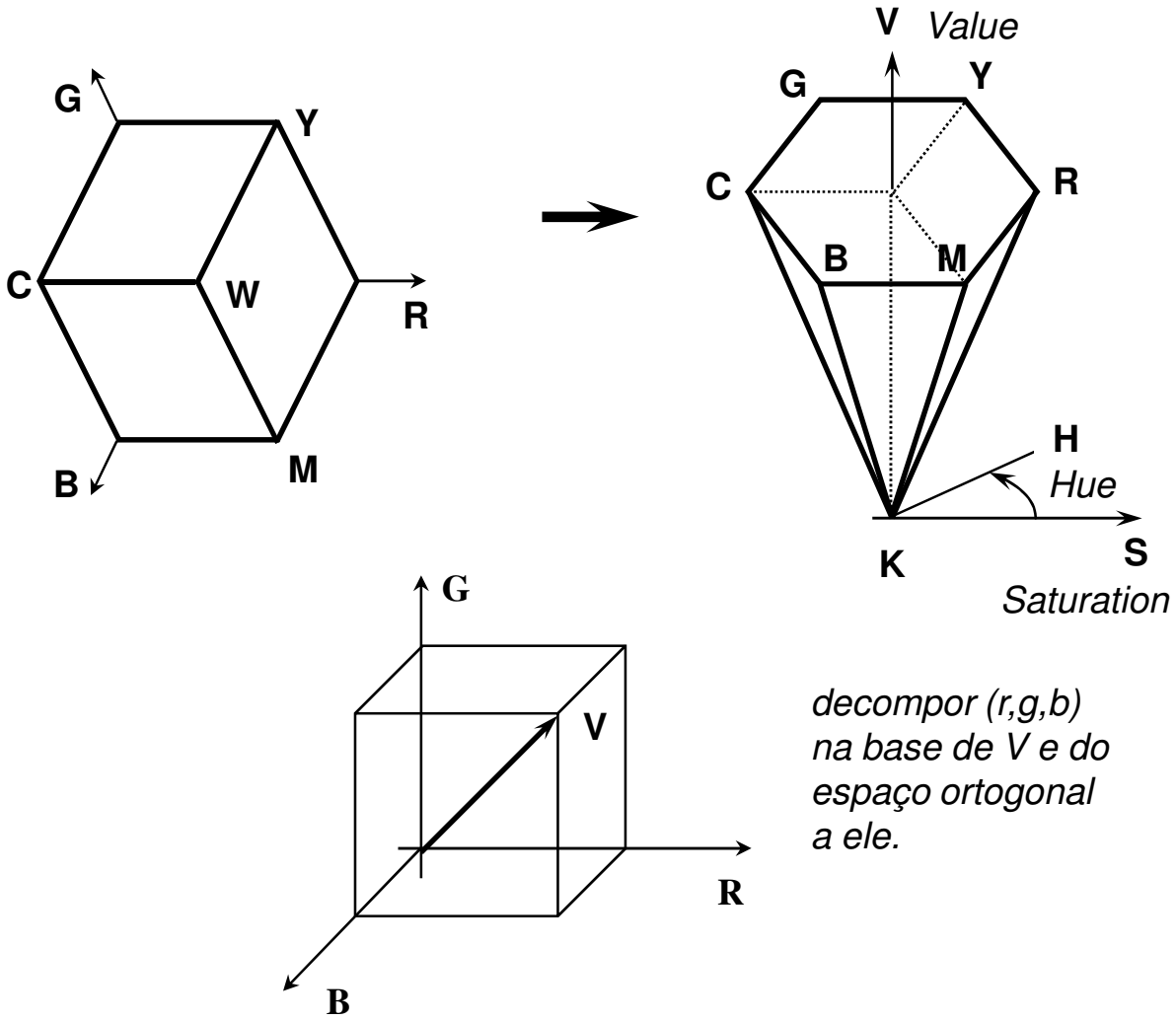
base linearmente dependente

$$K := \alpha \min(C, M, Y)$$

$$\alpha \in [0,1]$$

$$C := C - K$$
$$M := M - K$$
$$Y := Y - K$$

Sistemas de cor mais indicados para interface com usuário - HSV



decompor (r,g,b) na base de V e do espaço ortogonal a ele.

Diálogo para seleção de cor - IUP