

Unidade V - Fundamentos e Sistemas de Cores



IME 04-10842
Computação Gráfica
Professor Guilherme Mota

Por que estudar cores em CG?



http://en.wikipedia.org/wiki/Geri%27s_Game

O que são cores?

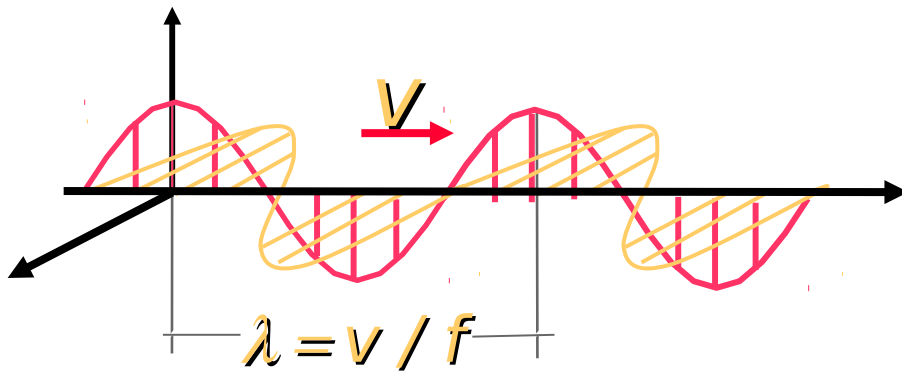


Luz + Sistema Visual

Física da Luz

Natureza dual da luz

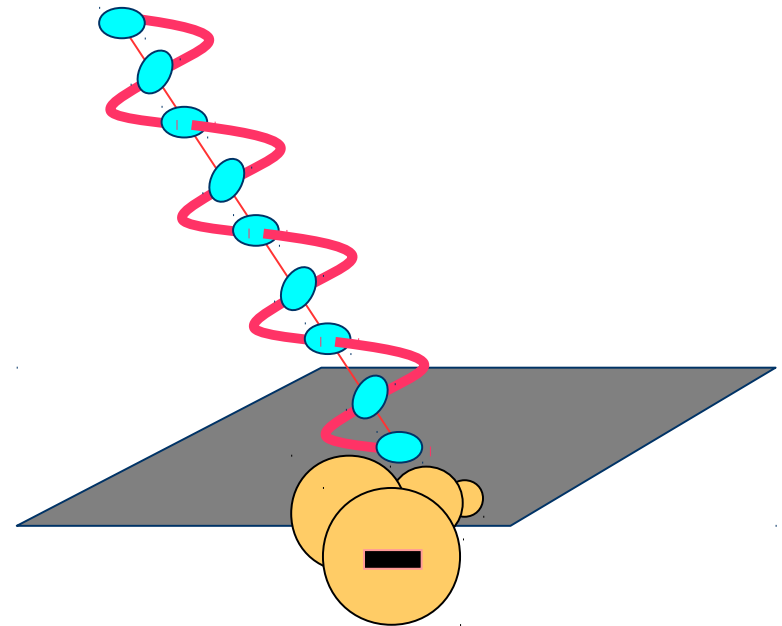
ONDA ELETROMAGNÉTICA



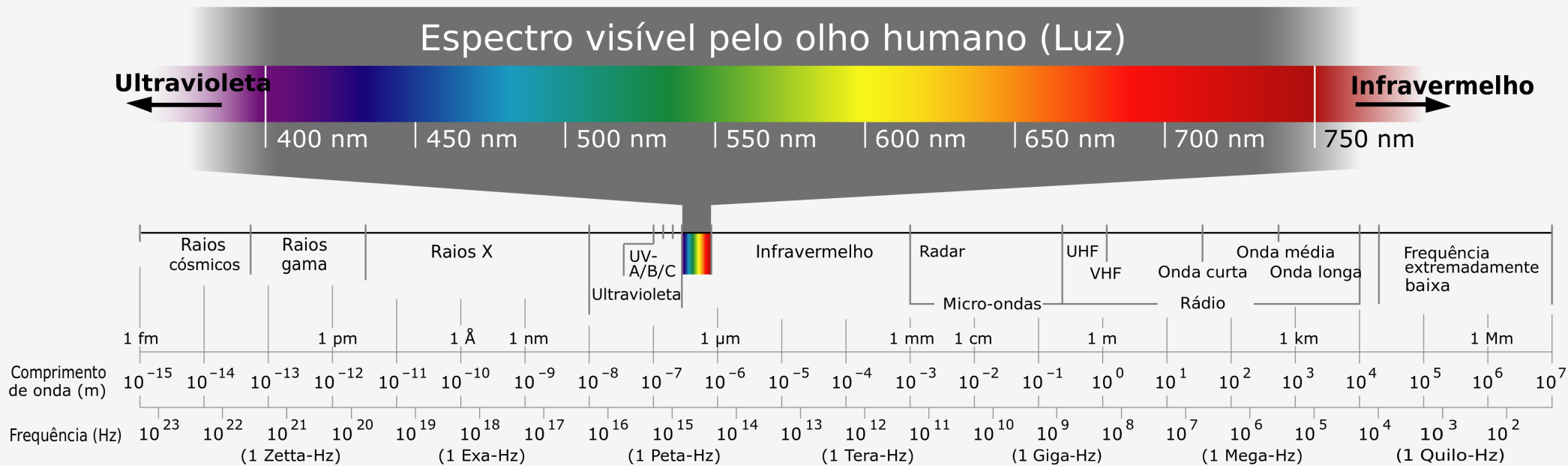
$$c = \lambda f$$

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

PARTÍCULA

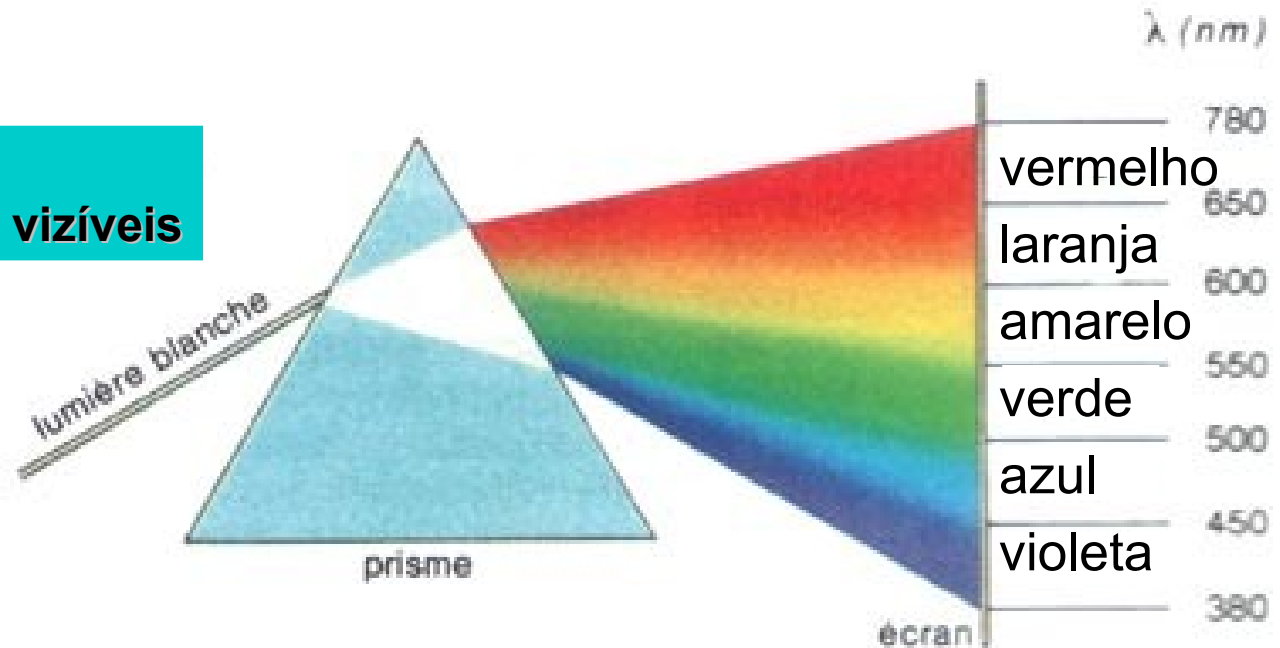


Espectro Eletromagnético



Natureza da luz

A luz branca possui todos os comprimentos de onda visíveis



Cor	λ (1 nm = 10^{-9} m)
Violeta	380-440 nm
Azul	440-490 nm
Verde	490-565 nm
Amarelo	565-590 nm
Laranja	590-630 nm
Vermelho	630-780 nm

Percepção das cores

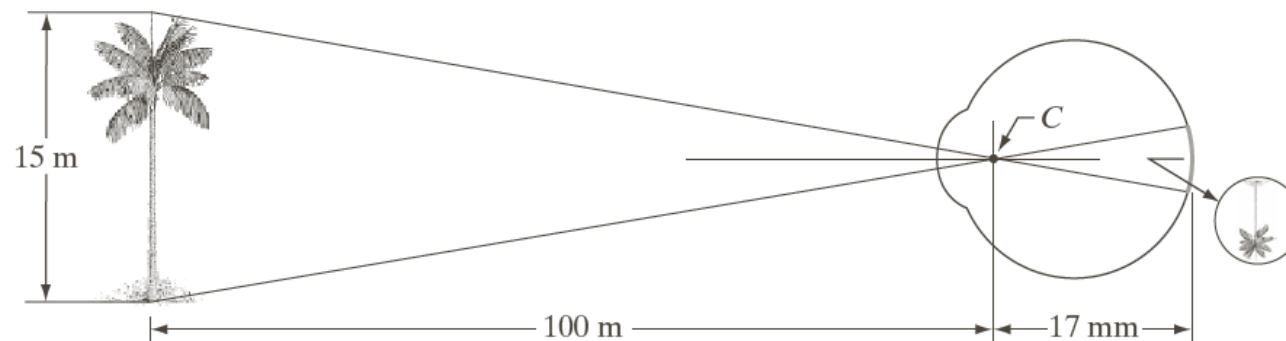


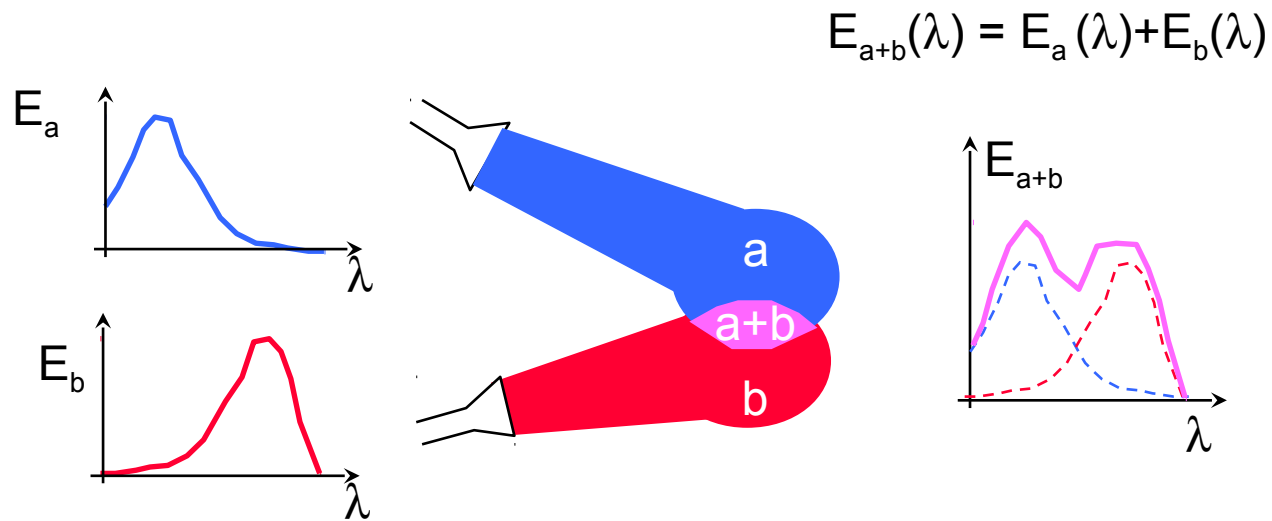
FIGURE 2.3
Graphical representation of the eye looking at a palm tree. Point C is the optical center of the lens.

Formação de cores

Processos de formação de cores

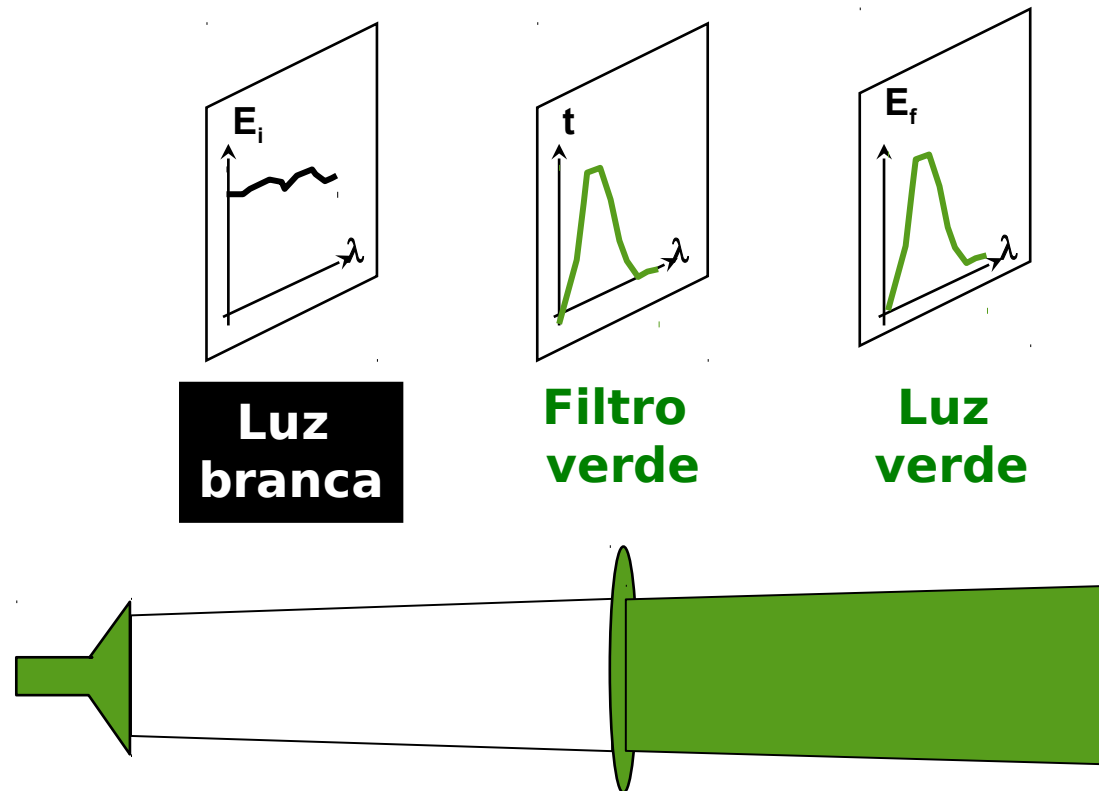
- As cores que percebemos surgem da interação entre fontes de luz e diversos tipos de materiais encontrados no mundo físico.
- Podem ser de 3 tipos:
 - Aditivo.
 - Subtrativo.
 - Por pigmentação.

Processo aditivo



*O olho não vê
componentes!*

Processo subtrativo



$t(\lambda) \rightarrow$ função transparência

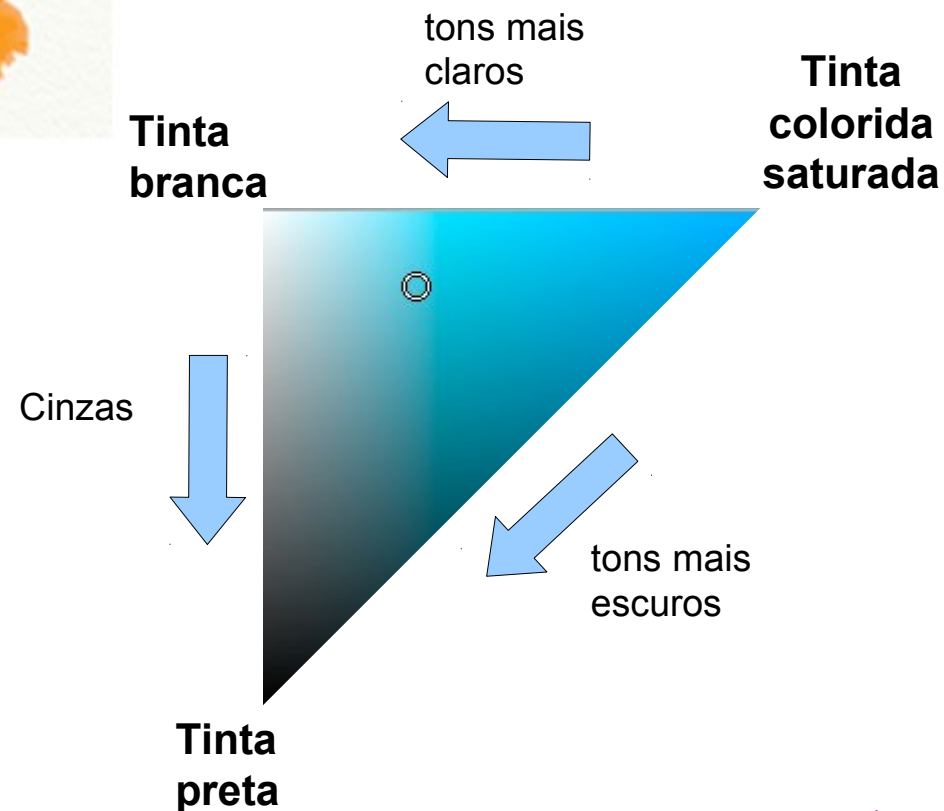
$$E_f(\lambda) = t(\lambda) \cdot E_i(\lambda)$$

Processo por pigmentação

Pigmento
amarelo

Pigmento
azul

Pigmento
vermelho



Percepção de cores

Representação no sistema visual humano

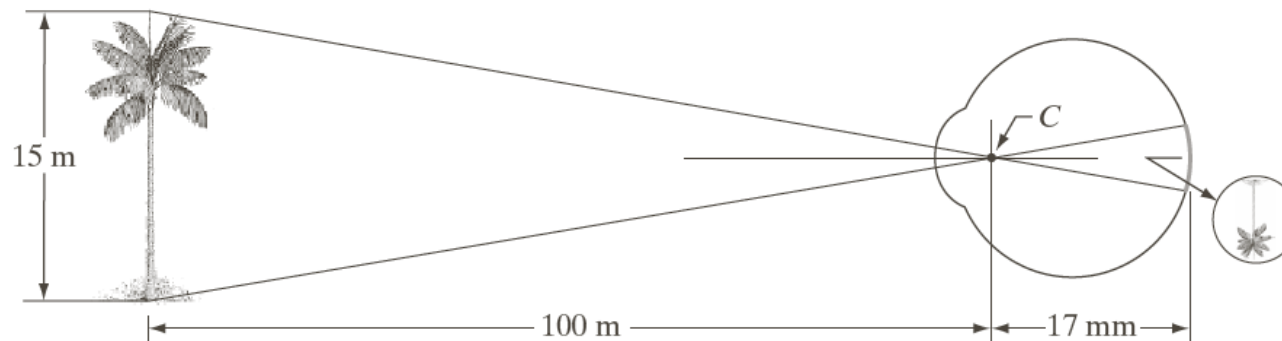
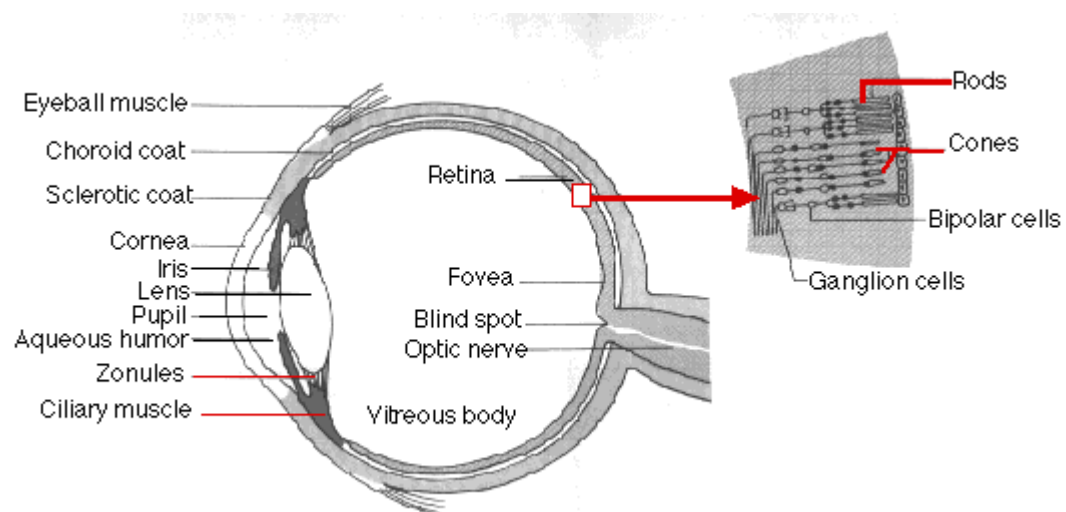
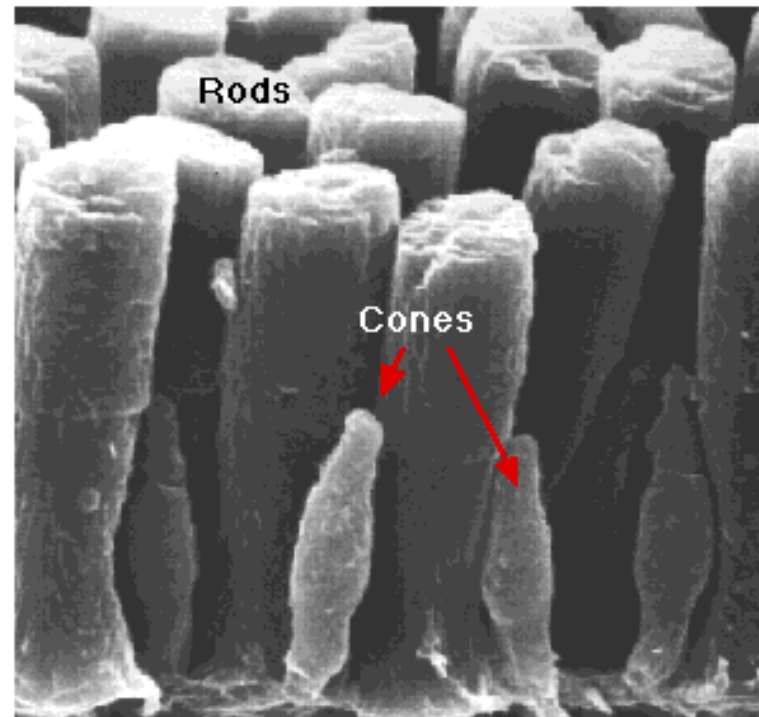
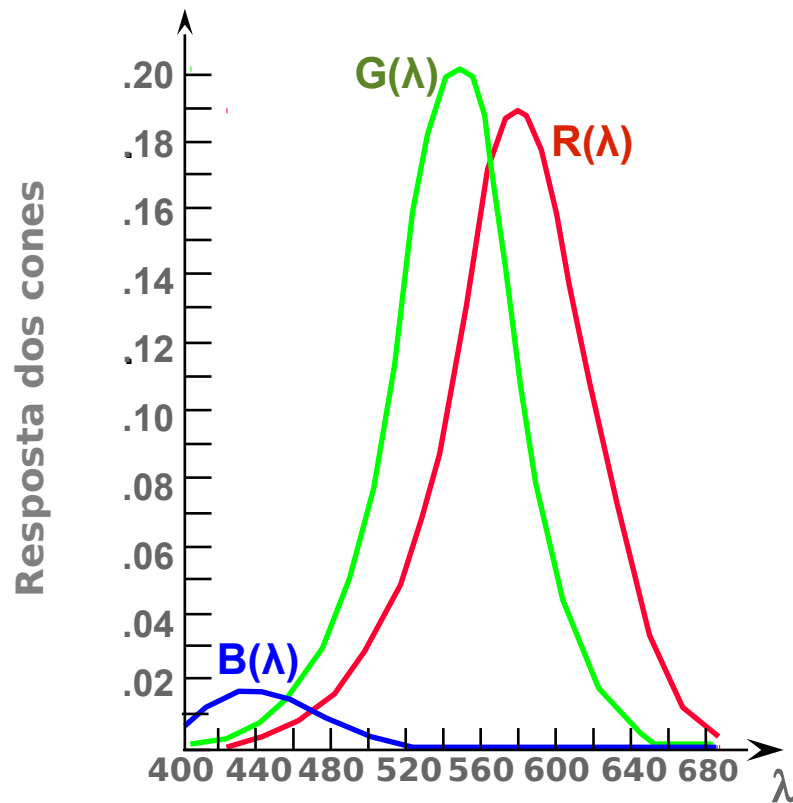


FIGURE 2.3
Graphical representation of the eye looking at a palm tree. Point C is the optical center of the lens.

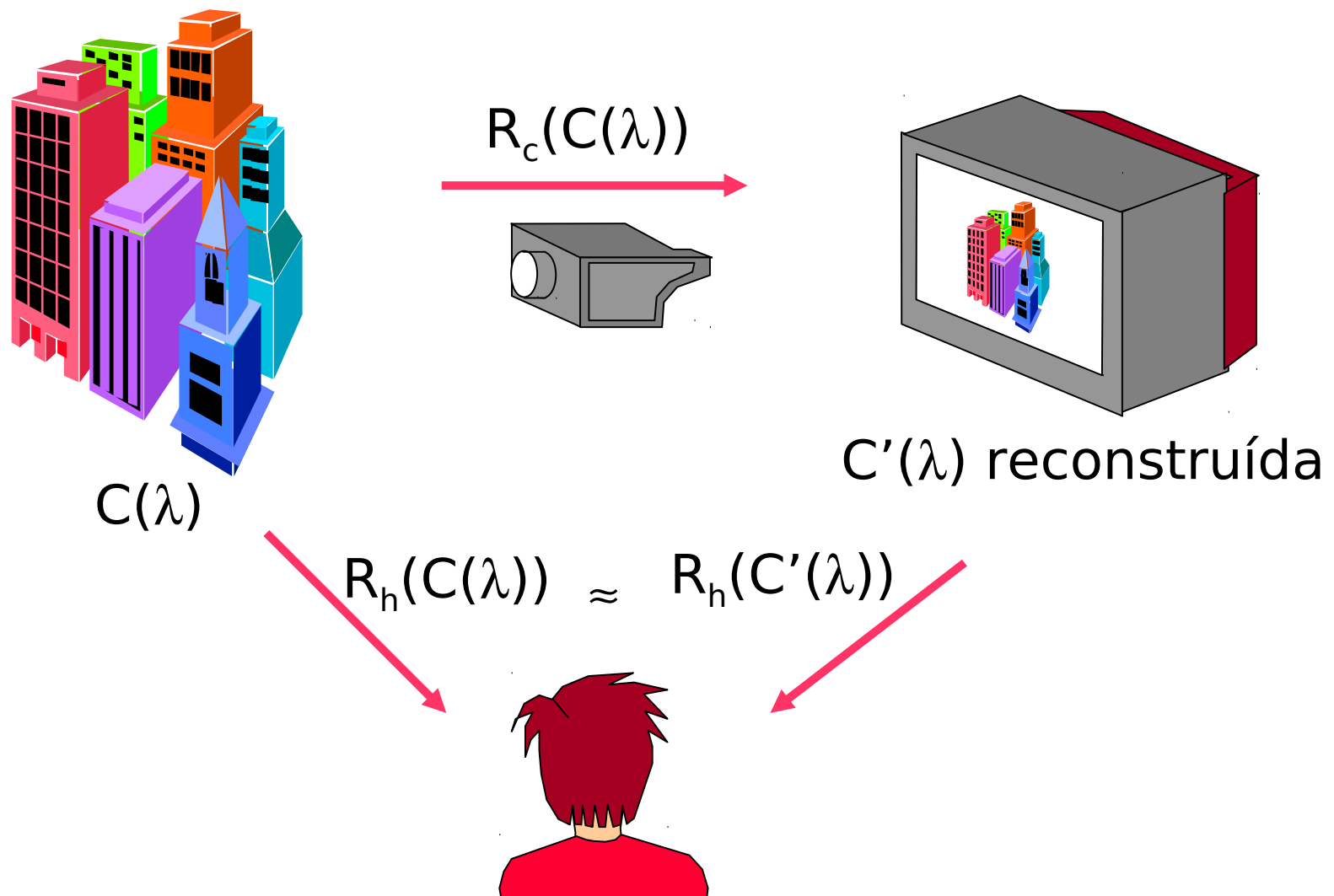


Representação no sistema visual humano

Olho humano: Cones (RGB) e Bastonetes (não distinguem cores)



Reconstrução perceptual



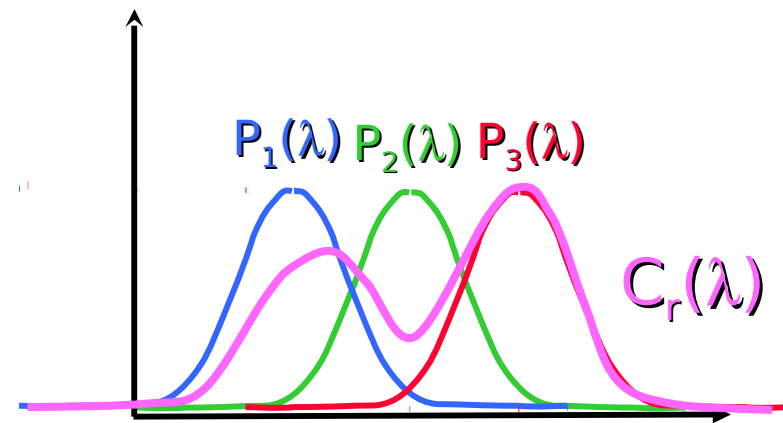
Representação de cores

Representação no espaço tricromático

- O sistema visual humano representa as cores do espaço espectral E em um espaço tricromático.
- Isto significa que três amostras (nas faixas correspondentes ao **vermelho**, **verde** e **azul**) são suficientes para os propósitos de reconstrução perceptual.

Sistemas emissores

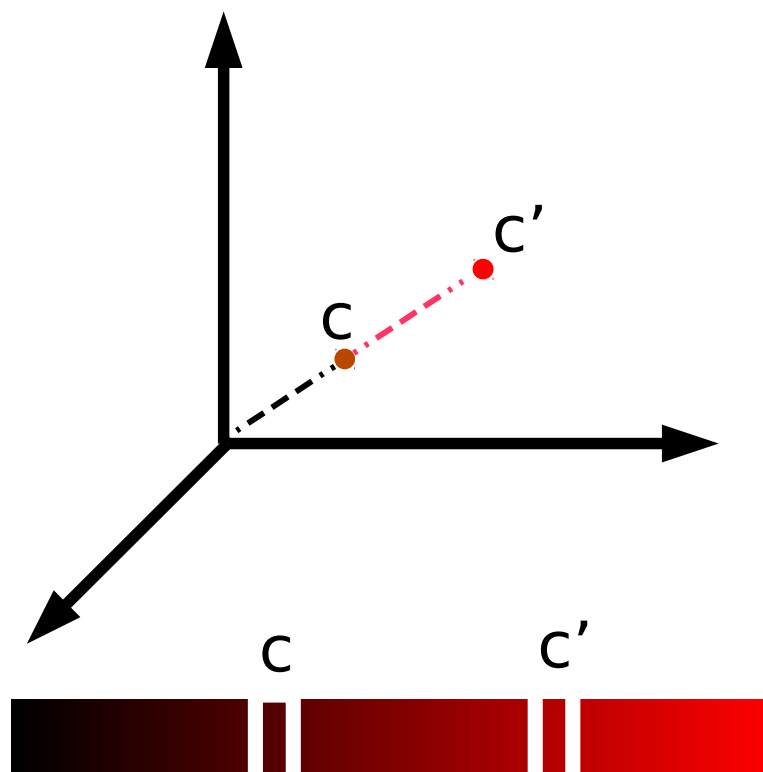
- Reconstroem cores.
- Possuem um conjunto de emissores P_k , $k=1\dots n$.
- Cada emissor está associado a uma cor primária com distribuição espectral $P_k(\lambda)$.
- O conjunto de cores que podem ser reconstruídas por um sistema emissor é denominado gamute



$$C_r(\lambda) = \sum_{k=1}^n c_k P_k(\lambda)$$

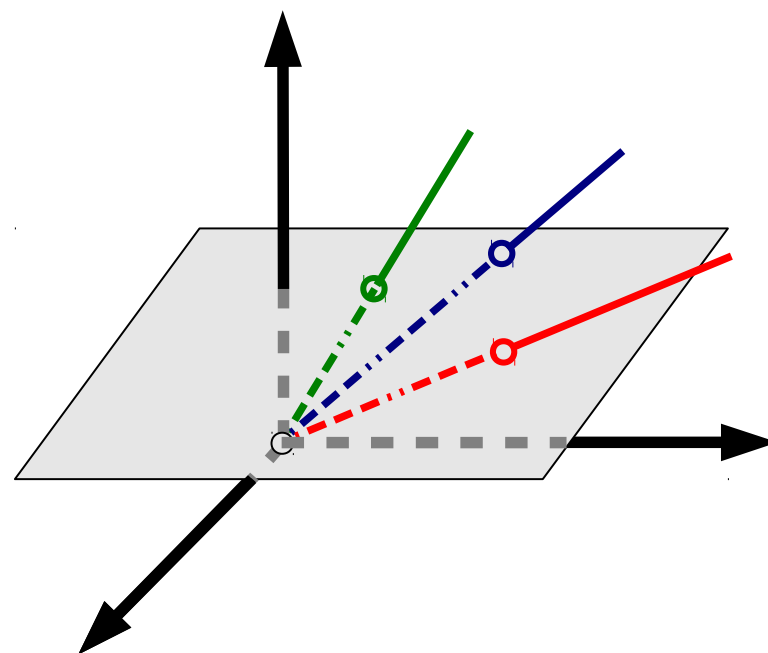
Geometria dos espaços de cores tricromáticos

- Variação da luminância

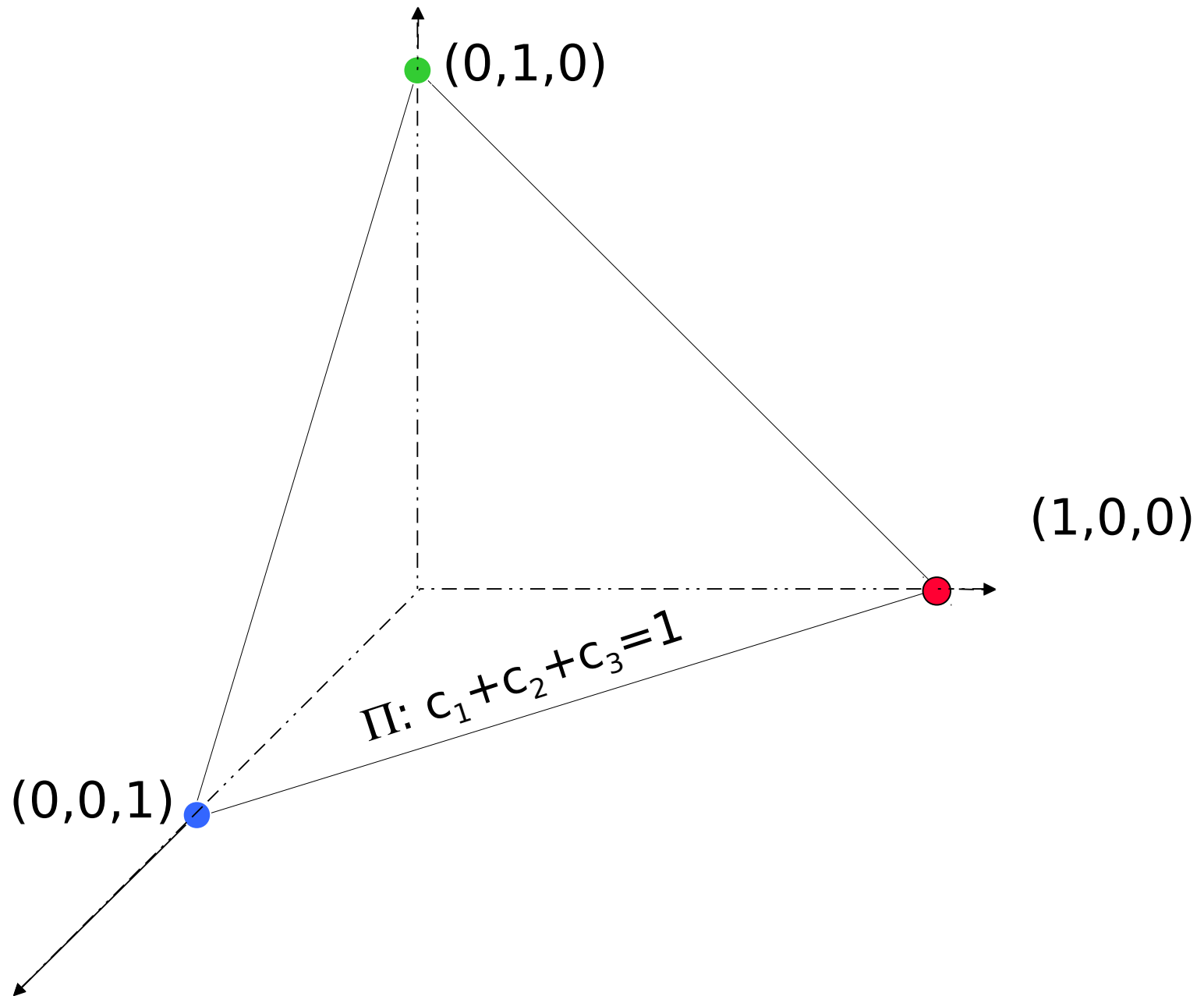


$$c' = t.c$$

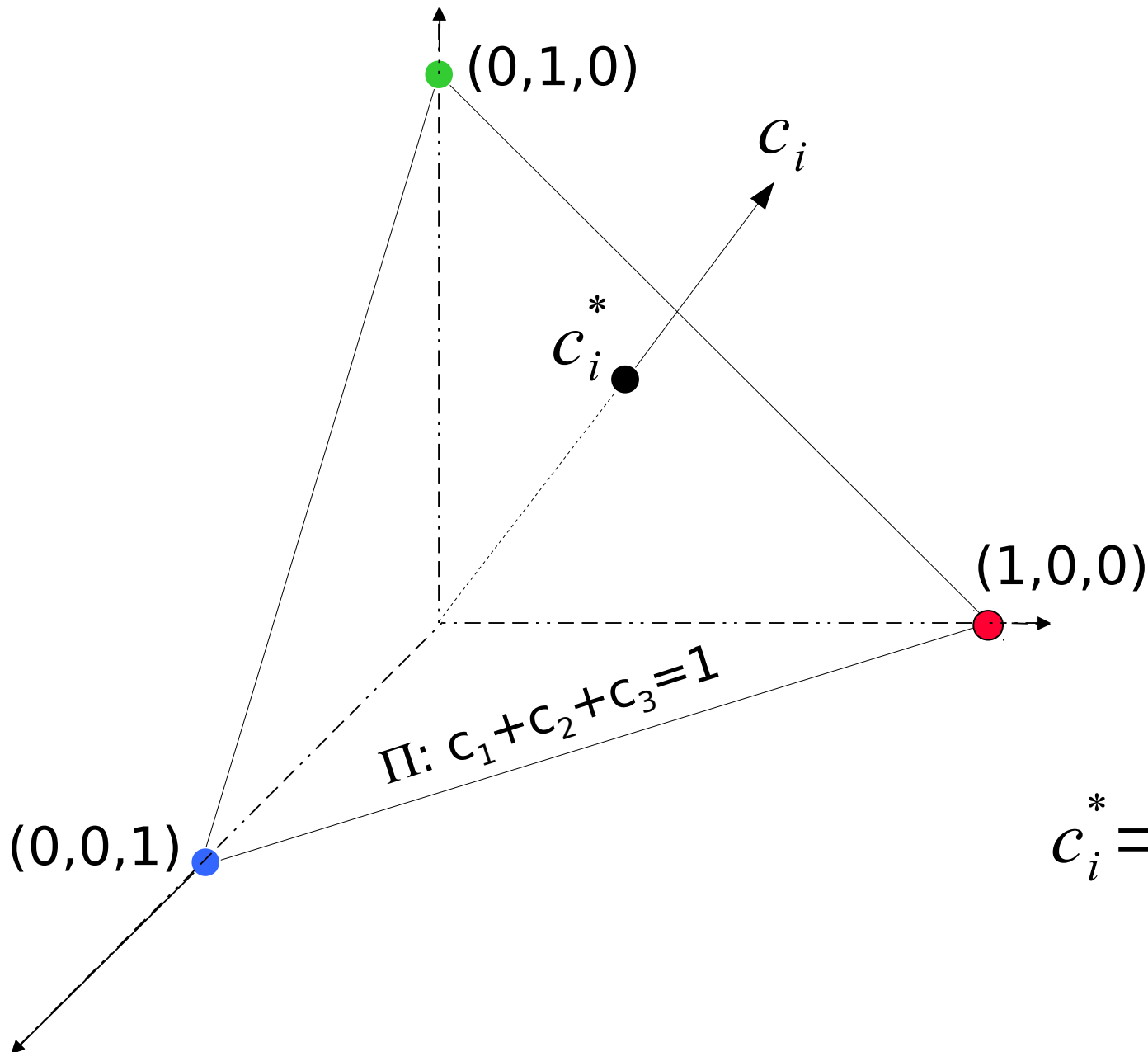
- Retas de croma



Triângulo de Maxwell



Coordenadas de cromaticidade



$$C_i^* = \frac{C_i}{c_1 + c_2 + c_3}$$

Sólidos de cor e diagrama de cromaticidade

- É um cone.
- É convexo.
- Cores espectrais (puras) estão na fronteira.

Plano $X+Y+Z=1$

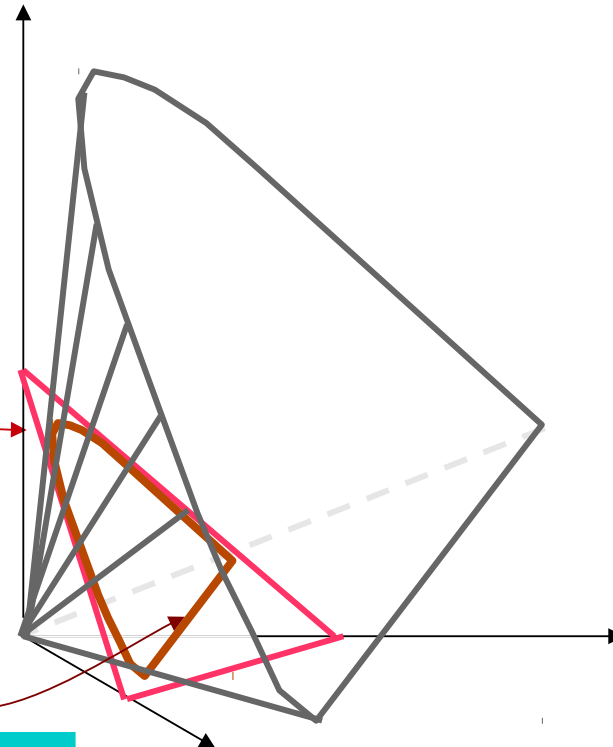
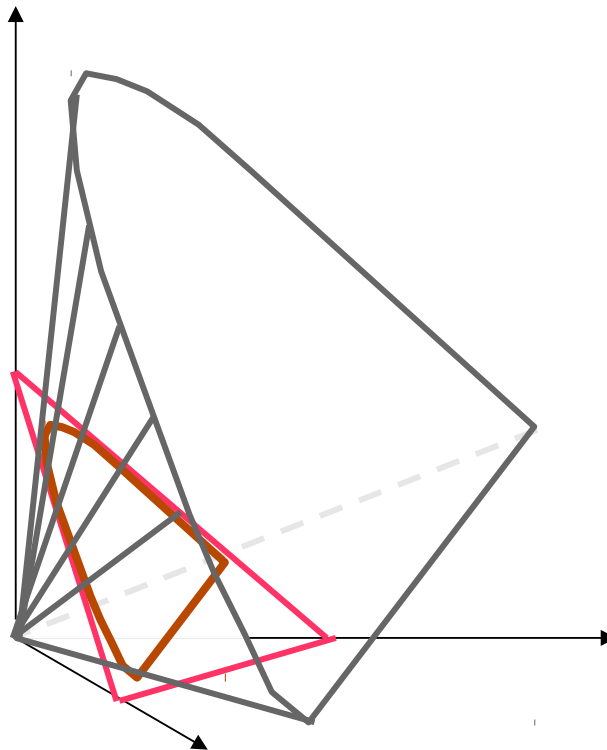


Diagrama de cromaticidade (projecção do sólido de cor sobre o Triângulo de Maxwell)

Sistemas de cor

- Sólido de cor + uma base = Sistema de cor



$$c = c_1 P_1(\lambda) + c_2 P_2(\lambda) + c_3 P_3(\lambda)$$

Sistemas do CIE

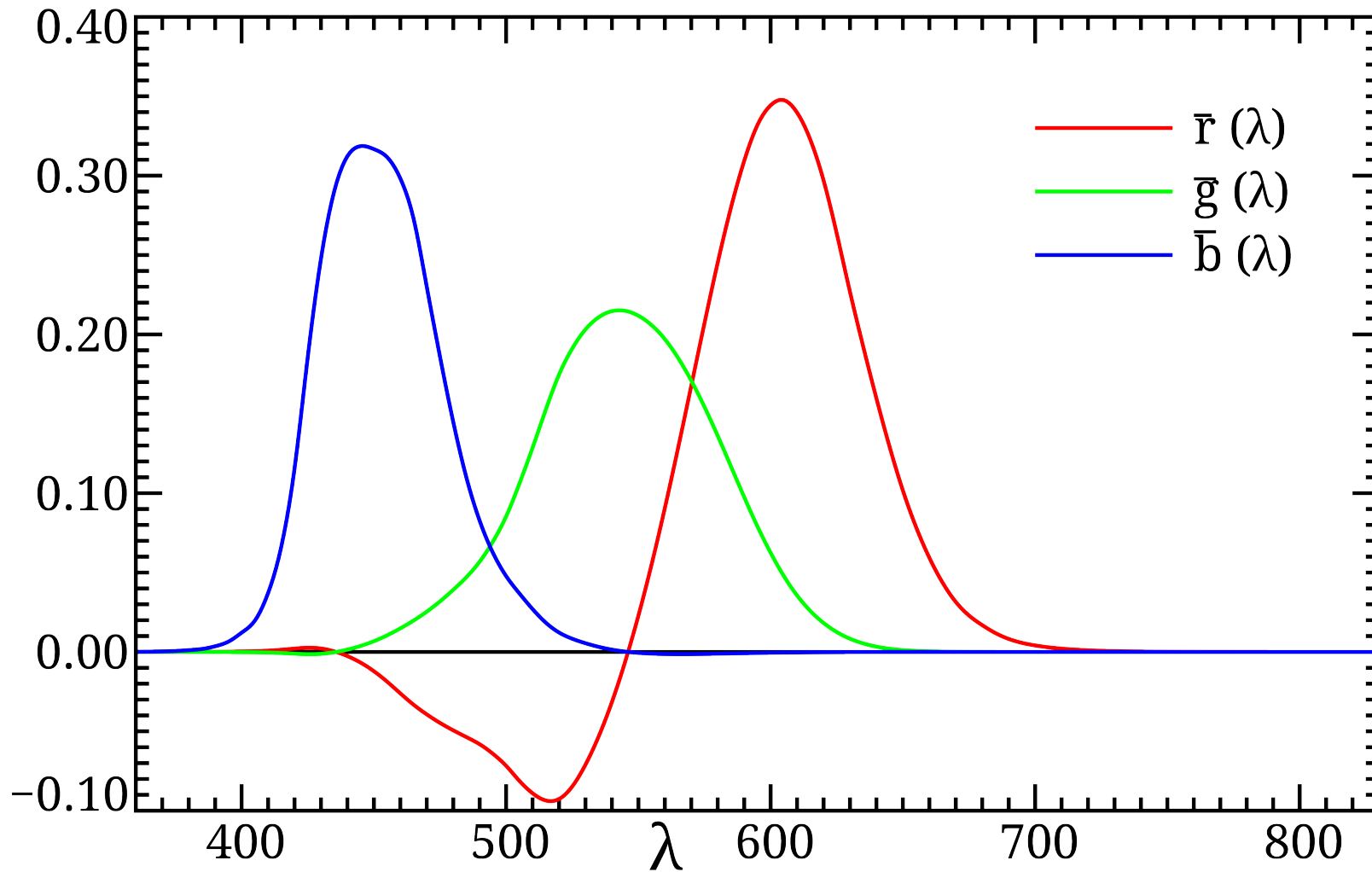
Sistemas de cor padrão

- 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.

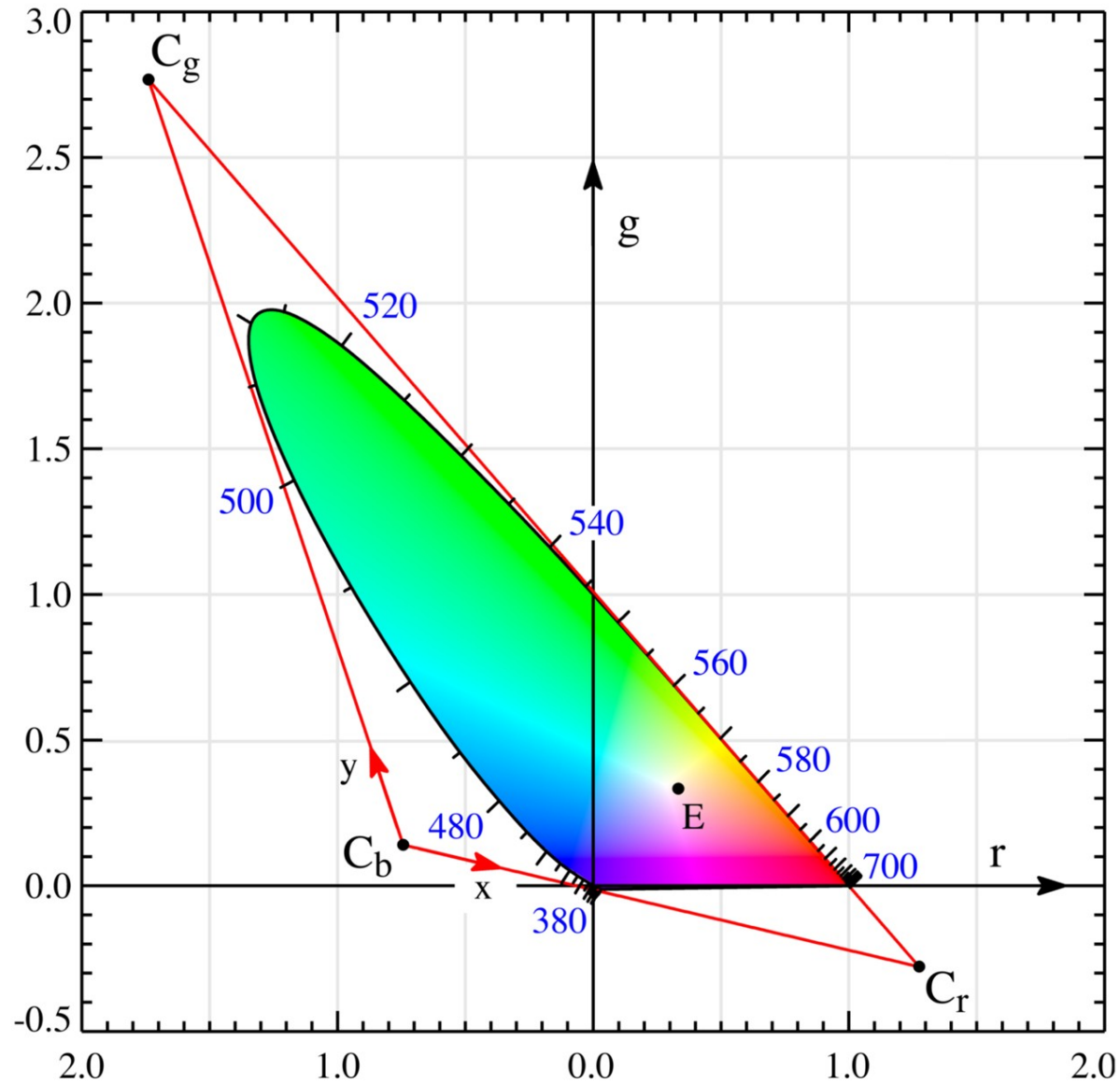
Sistema CIE-RGB

- Primeiro sistema padrão proposto.
- Utiliza uma representação de cor no espaço tricromático
- 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

Funções de reconstrução de cor (Sistema CIE-RGB)



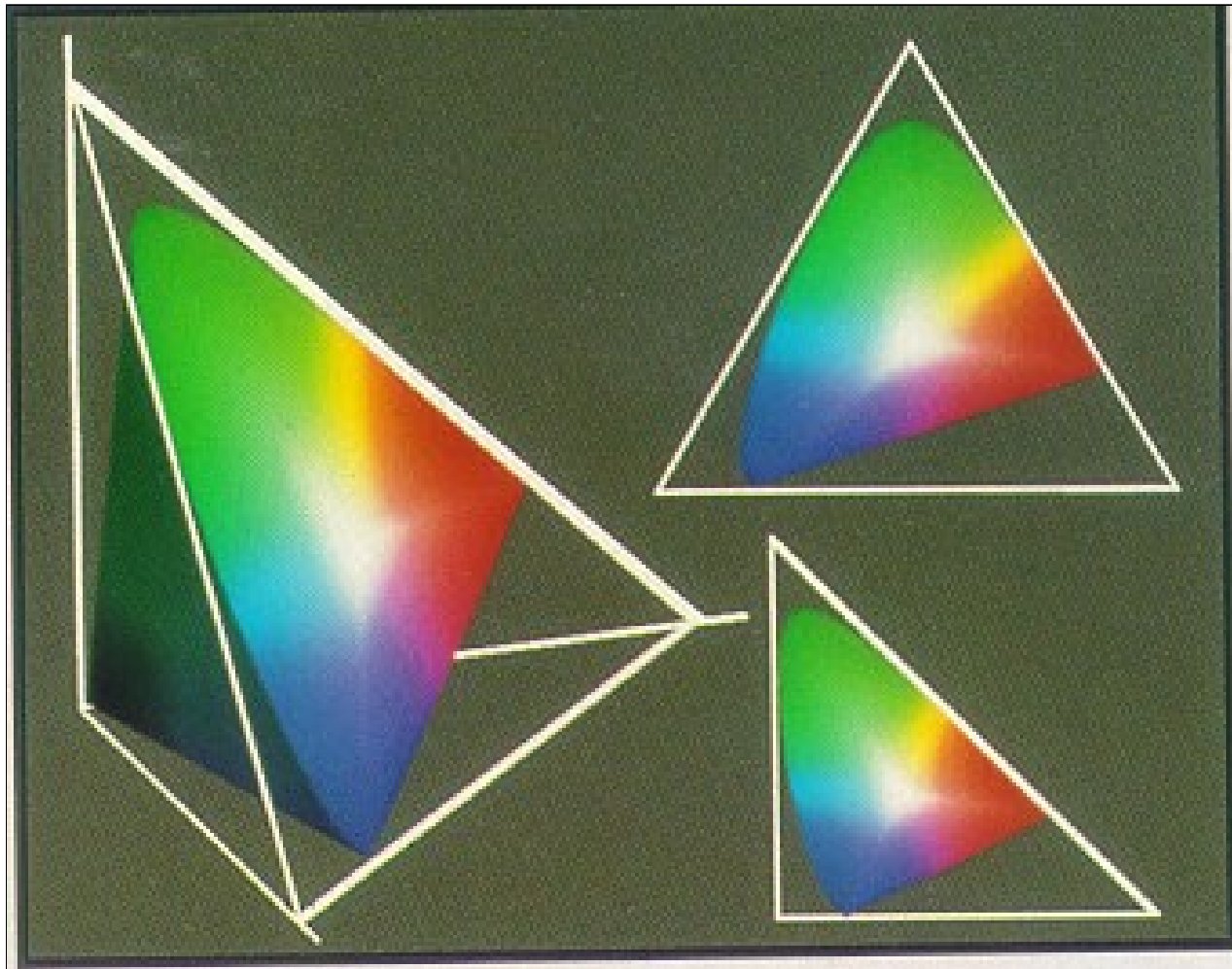
Sistema CIE-RGB



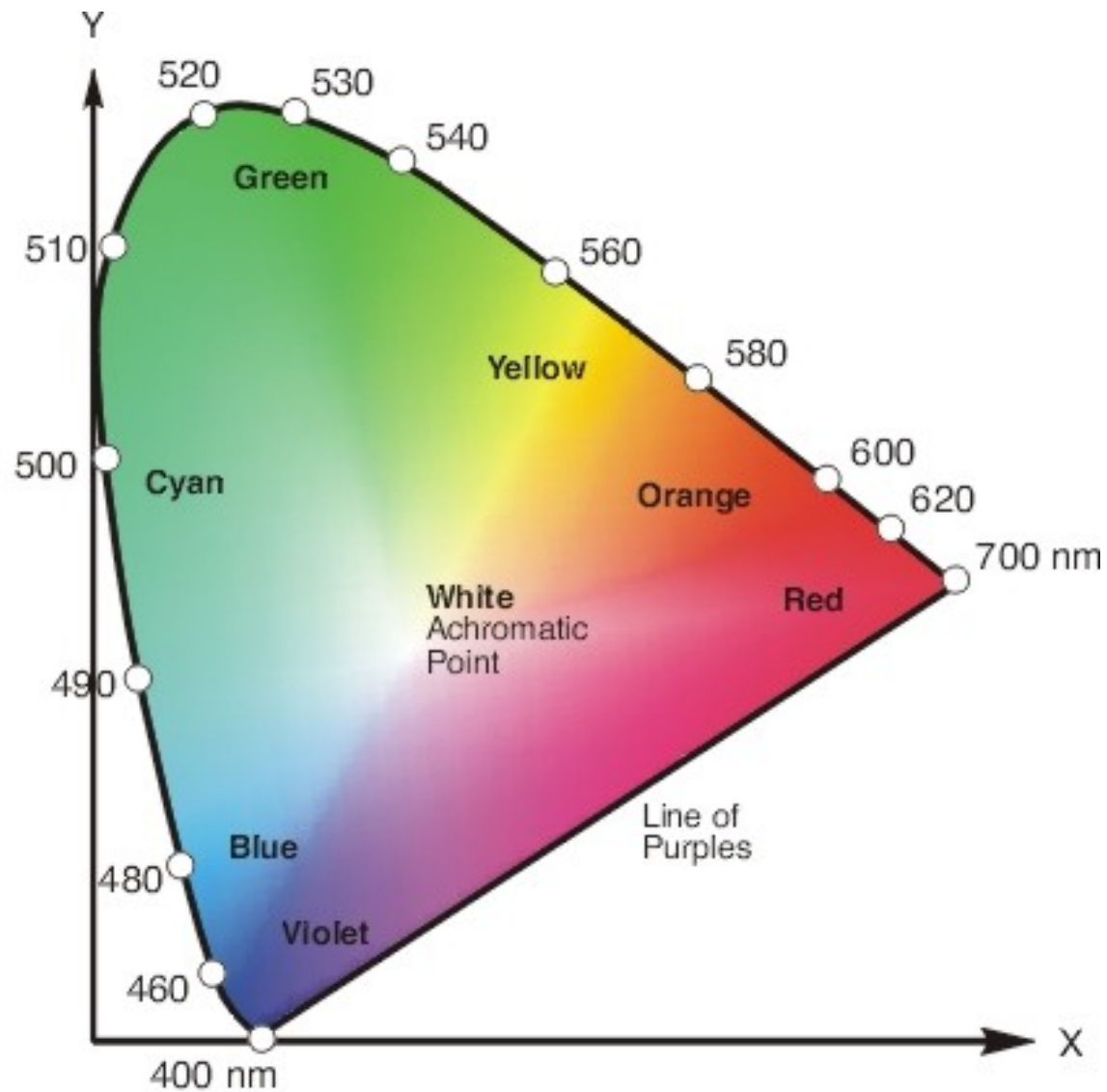
Sistema CIE-XYZ

- Sistema proposto capaz de reconstruir todas as cores visíveis.
- A base de primárias $\{X, Y, Z\}$ é formada por cores não visíveis que estão fora do sólido de cor.
- Deste modo todas as cores visíveis possuem coordenadas positivas.

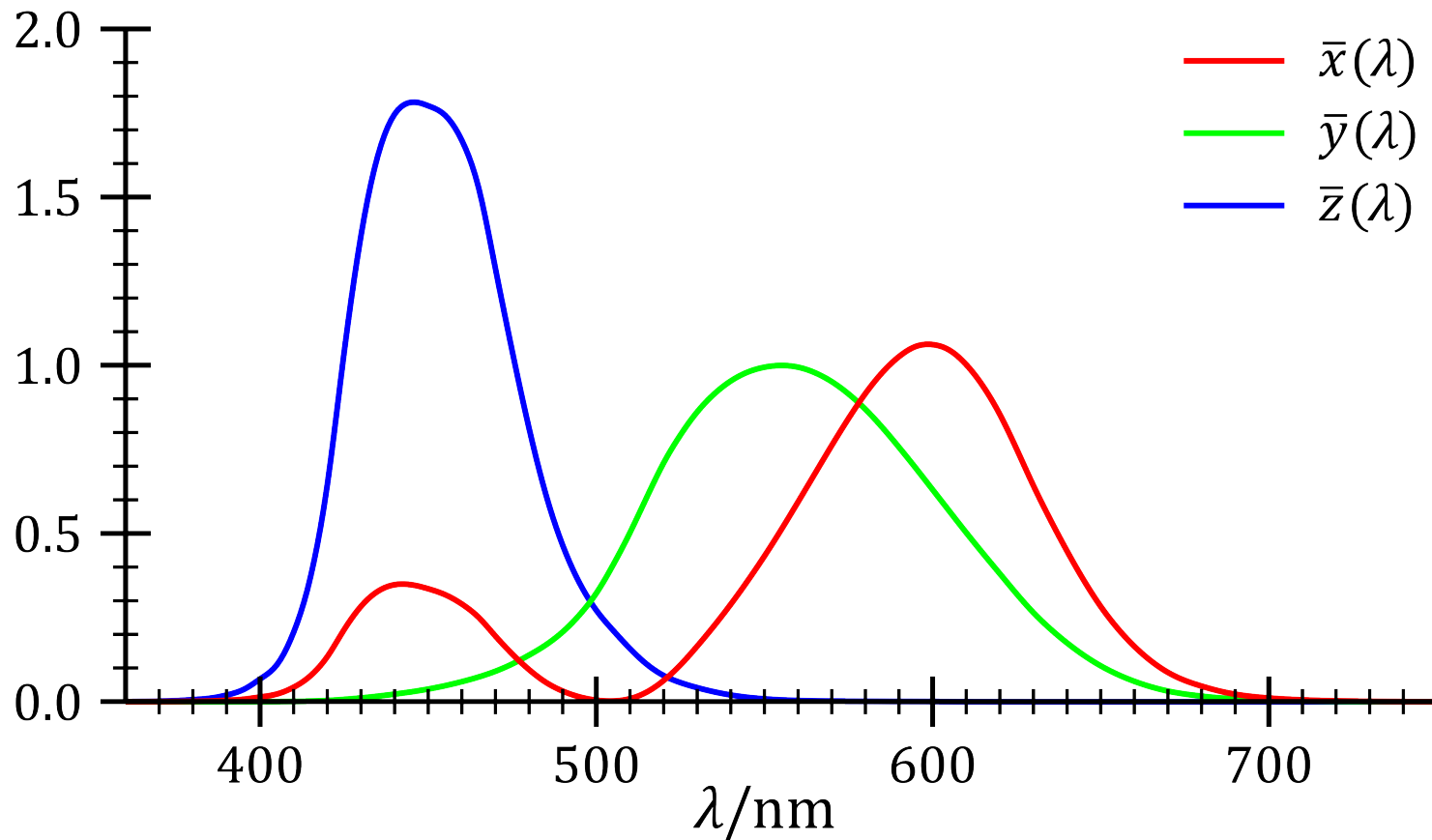
Sistema CIE-XYZ



Sistema CIE-XYZ

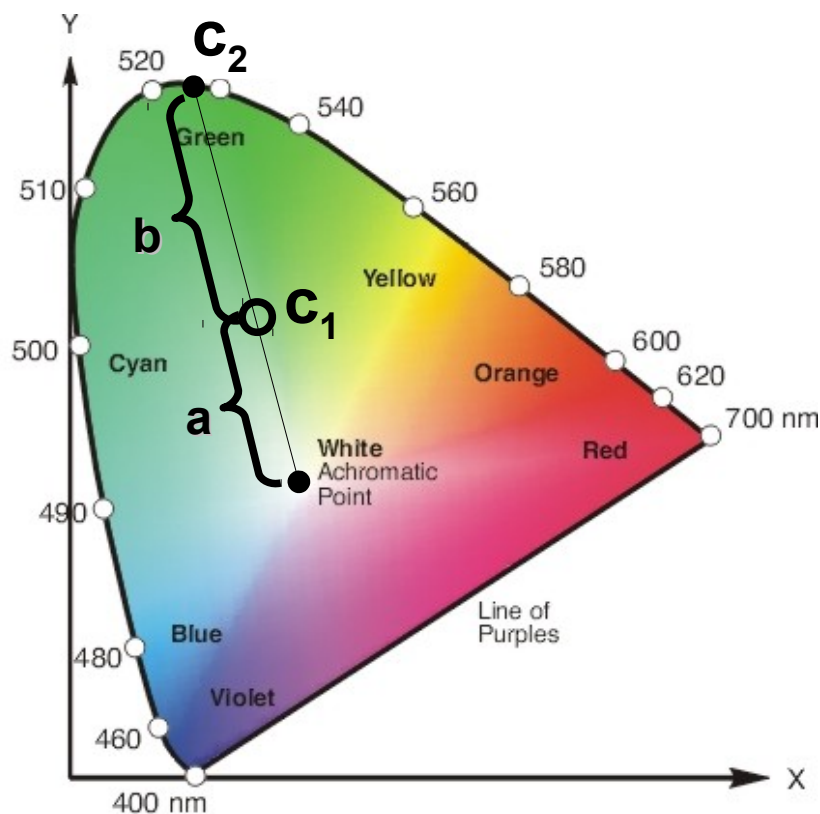


Funções de Reconstrução de Cor CIE-XYZ



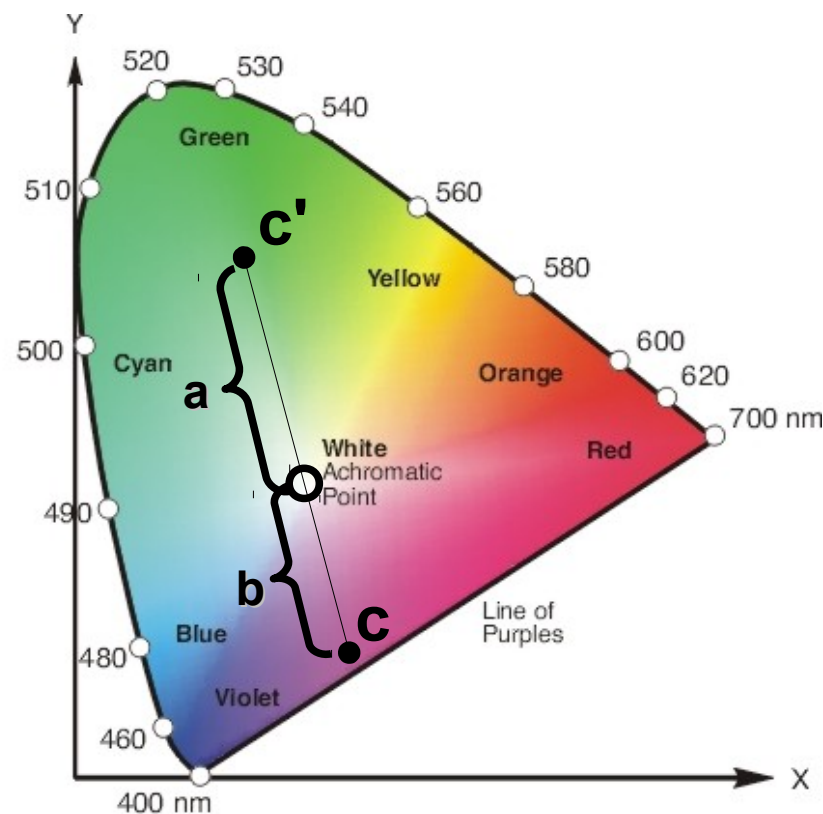
Conceitos de Cores no CIE-XYZ

• Saturação



$$\text{Saturação}(c_1) = \frac{a}{a+b}$$

• Complementaridade

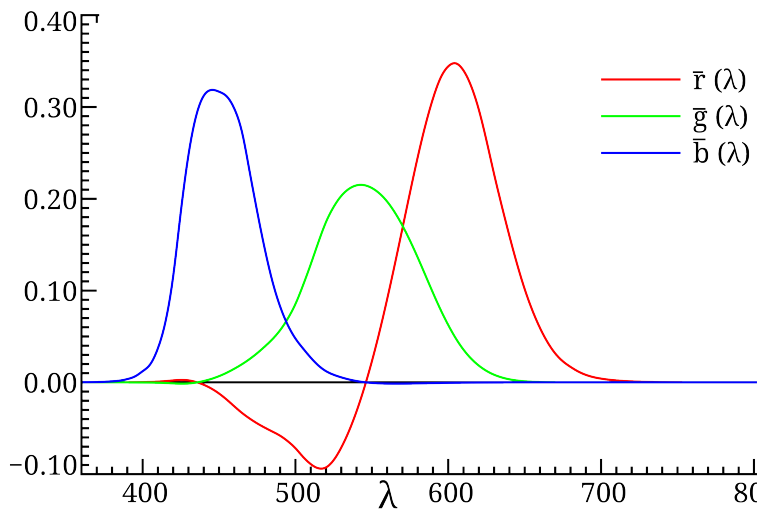
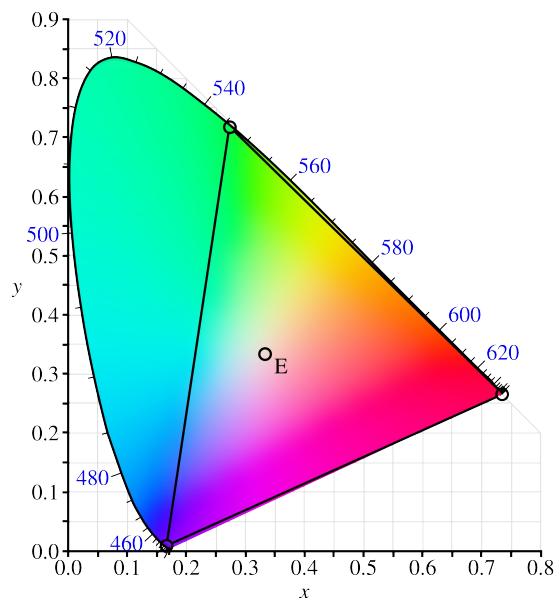


$$\frac{a}{a+b} \cdot c + \frac{b}{a+b} \cdot c' = \text{Branco}$$

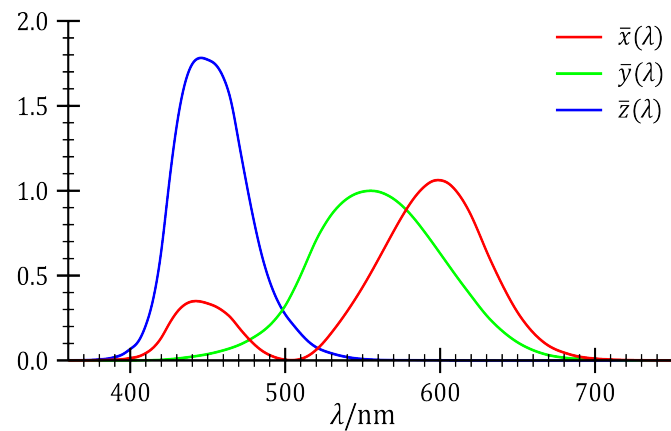
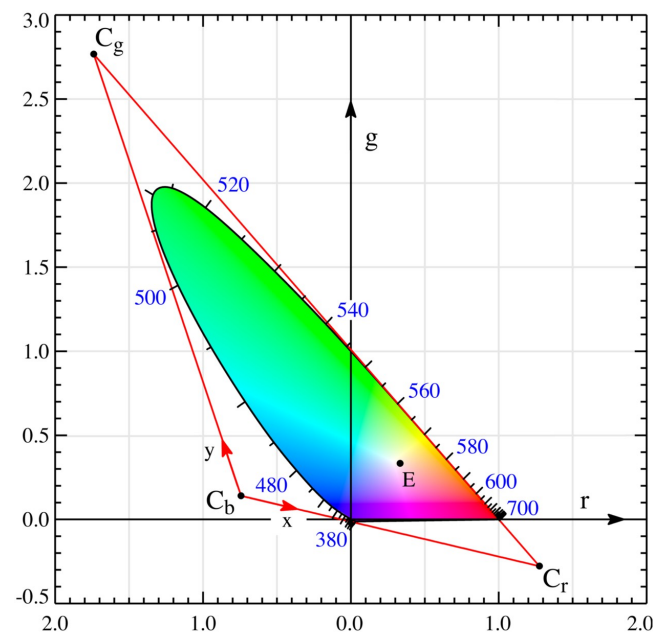
$$\alpha \cdot c + \beta \cdot c' = \text{Branco}$$

Comparação CIE-RGB e CIE- XYZ

• CIE-XYZ



• CIE-RGB



Conversão entre os sistemas CIE-RGB e CIE-XYZ

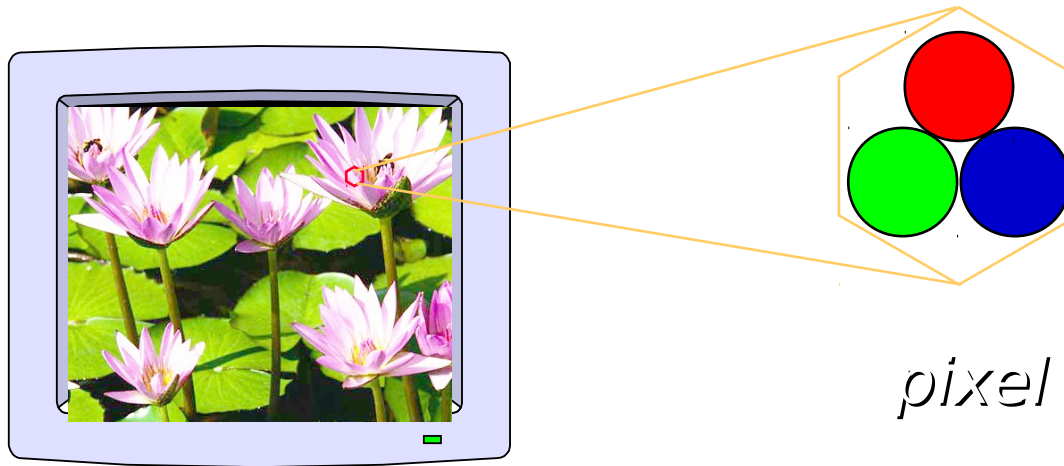
- É feita através de mudanças de coordenadas (determinada por uma mudança de base).
- A mudança entre as bases é determinada por uma transformação linear.

$$\begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.49 & 0.31 & 0.20 \\ 0.17 & 0.81 & 0.01 \\ 0.00 & 0.01 & 0.99 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} R \\ G \\ B \end{vmatrix}$$

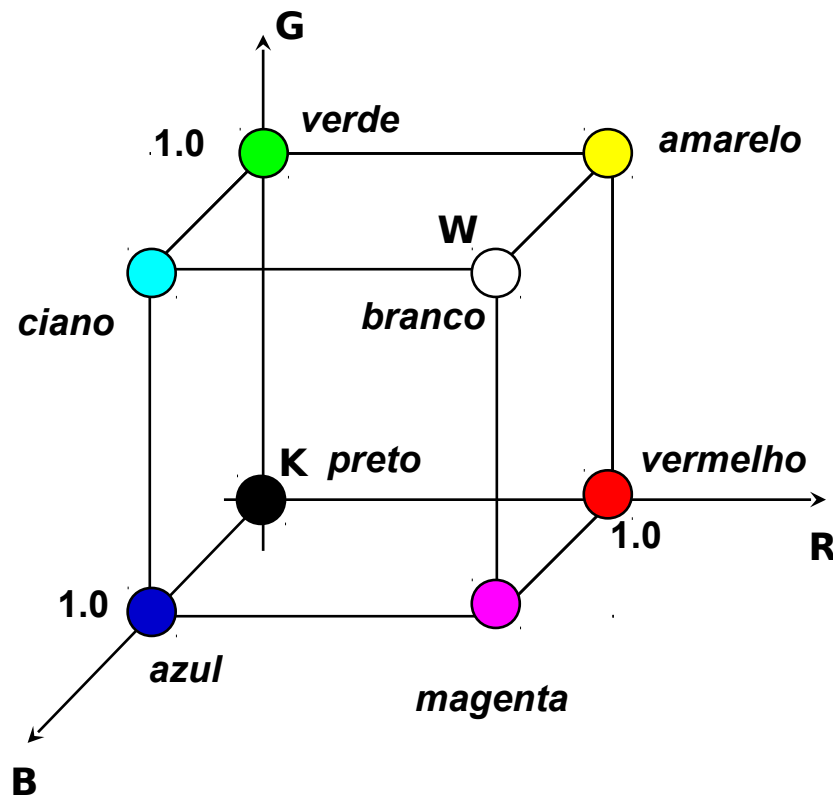
Sistemas dos dispositivos

Sistema dos monitores - mRGB

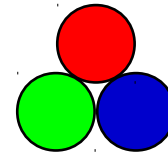
Processo Aditivo



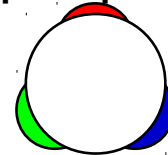
Sistema dos monitores - mRGB



processo aditivo



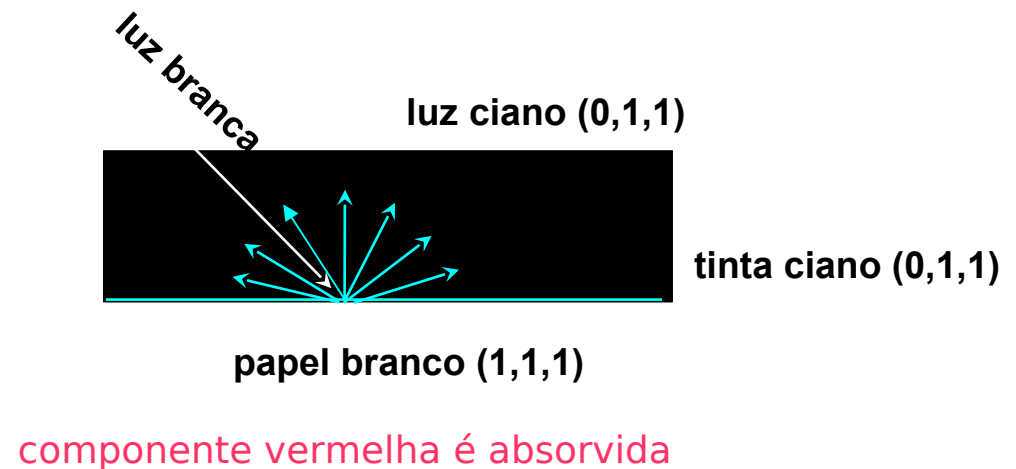
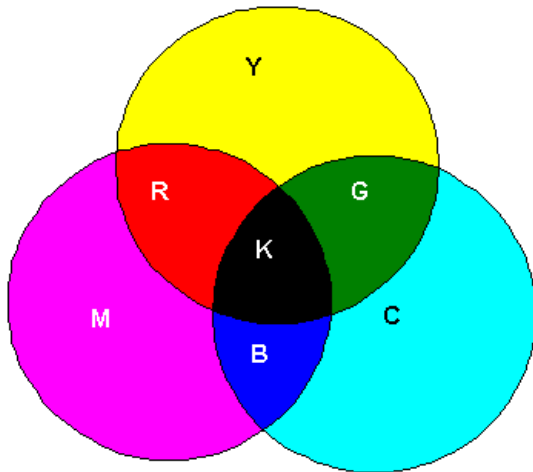
Reconstrução perceptual



É comum termos 1 *byte* para cada componente mapeando $[0, 255]$ em $[0, 1]$

Sistema das impressoras CMY(K)

processo predominantemente subtrativo



Conversões entre sistemas

- RGB para CMY

Ciano = $1 - \text{Vermelho}$

Magenta = $1 - \text{Verde}$

Amarelo = $1 - \text{Azul}$

- CMY para RGB

Vermelho = $1 - \text{Ciano}$

Verde = $1 - \text{Magenta}$

Azul = $1 - \text{Amarelo}$

Conversões entre sistemas

- **CMY para CMYK**

Preto = $\text{mínimo}(\text{Ciano}, \text{Magenta}, \text{Amarelo})$

Ciano = $(\text{Ciano} - \text{Preto}) / (1 - \text{Preto})$

Magenta = $(\text{Magenta} - \text{Preto}) / (1 - \text{Preto})$

Amarelo = $(\text{Amarelo} - \text{Preto}) / (1 - \text{Preto})$

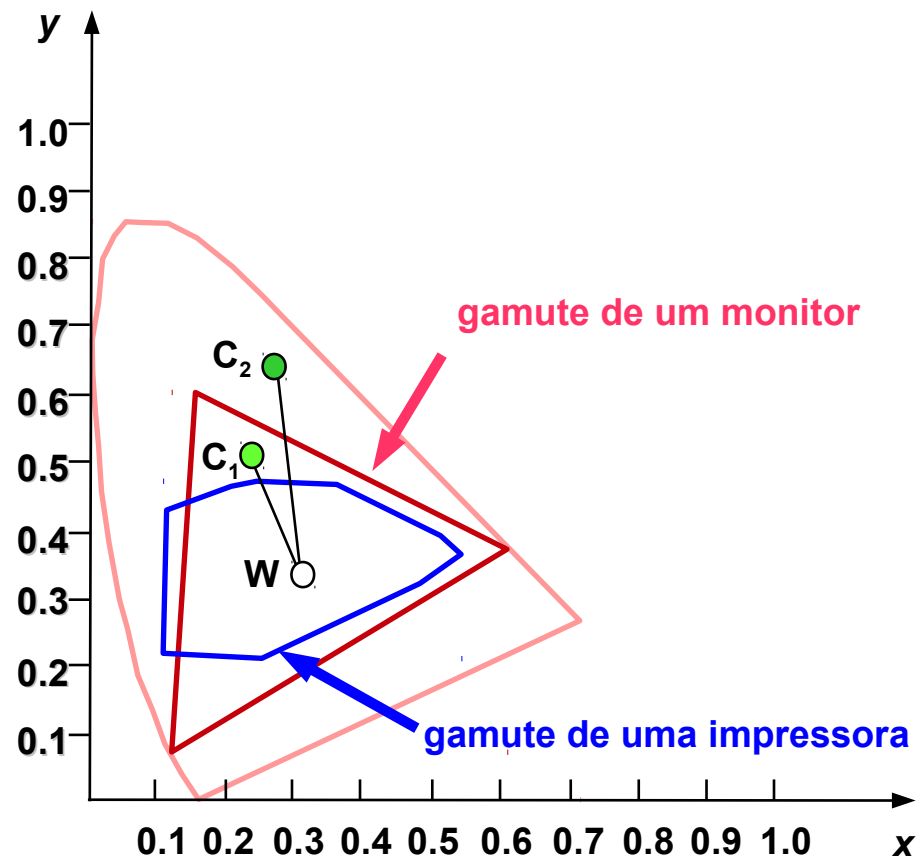
- **CMYK para CMY**

Ciano = $\text{mínimo}(1, \text{Ciano} \times (1 - \text{Preto}) + \text{Preto})$

Magenta = $\text{mínimo}(1, \text{Magenta} \times (1 - \text{Preto}) + \text{Preto})$

Amarelo = $\text{mínimo}(1, \text{Amarelo} \times (1 - \text{Preto}) + \text{Preto})$

Gamute no diagrama de cromaticidade dos dispositivos



Sistemas de interface

Sistemas de interface

- Permitem uma especificação intuitiva de cores.
- São baseados em uma decomposição crominância-luminância.
- Utilizam o seguinte esquema:
 - Escolha da crominância.
 - Escolha da luminância (brilho).

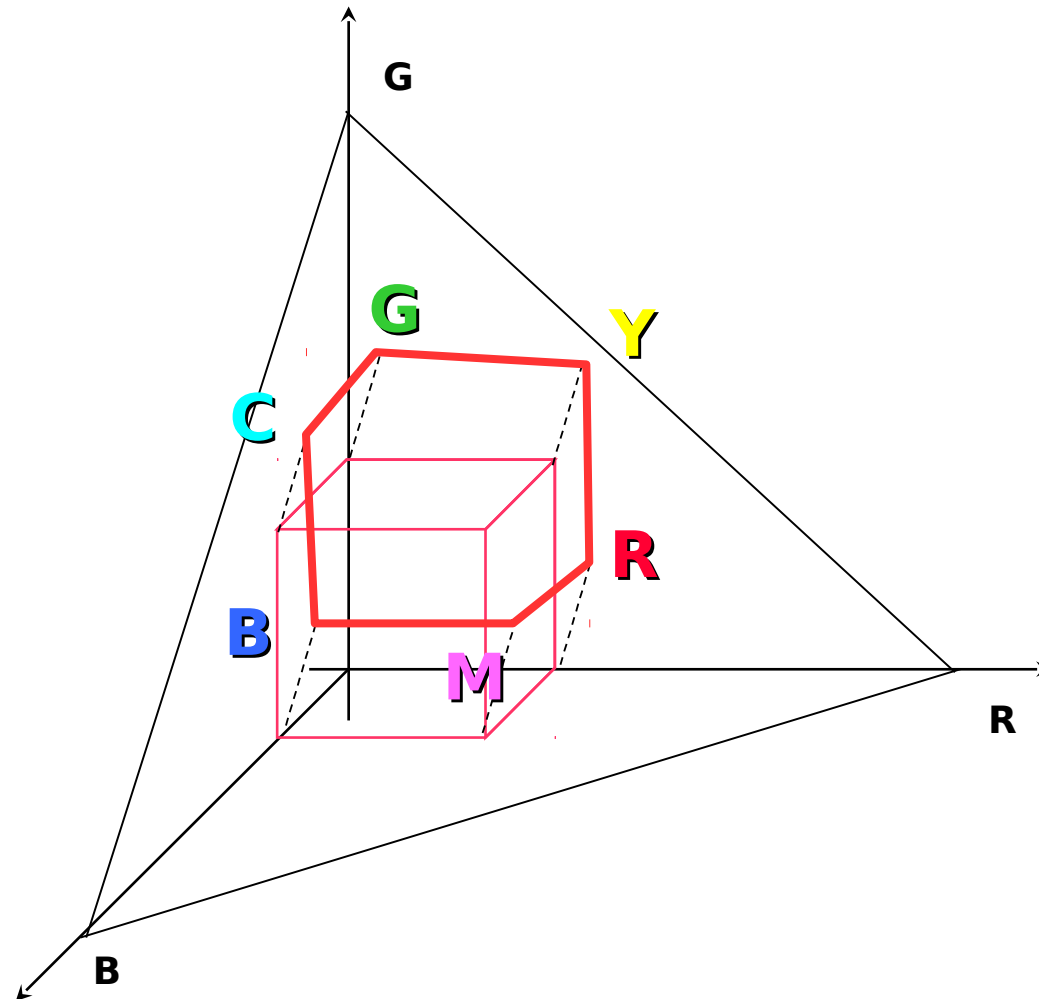
Sistemas de interface

- Escolha da cromaticidade:
 - Escolha de um ponto no espaço de cor (bidimensional).
 - Primeiro o usuário escolhe a matiz.
 - Depois o usuário escolhe a saturação.

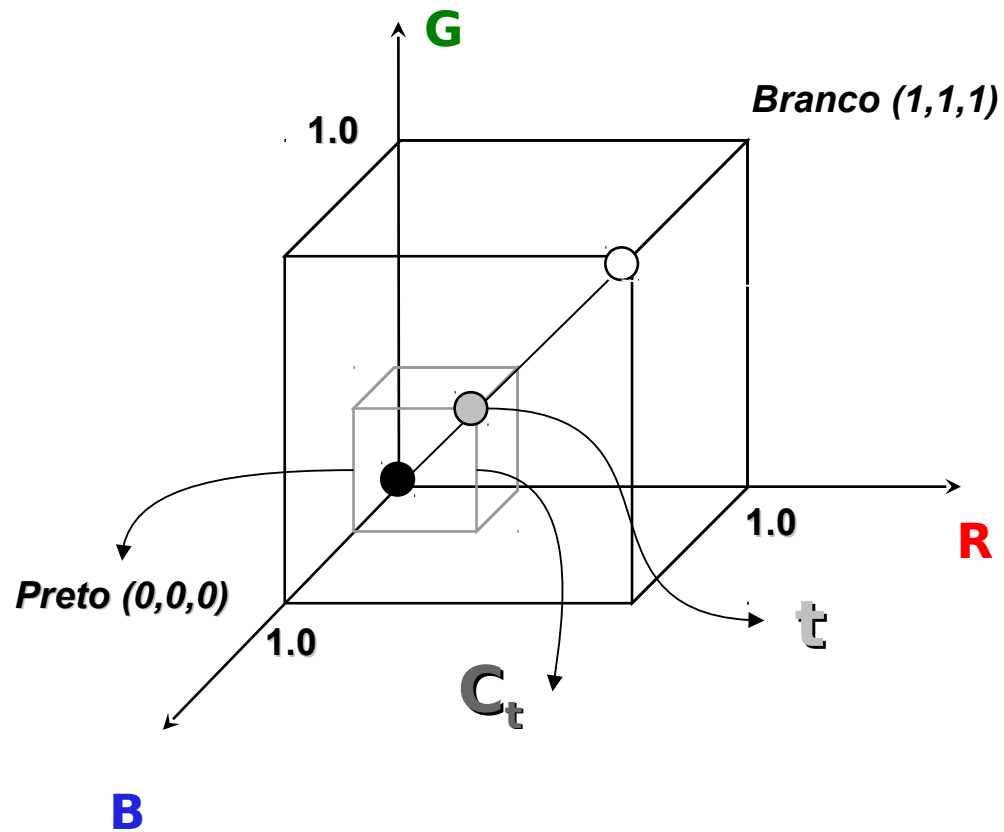
Sistema HSV

- Sistema criado para a especificação de cores em monitores.
- Introduz um sistema de coordenadas segundo o esquema luminância-crominância no sistema **mRGB**.
- Descreve uma cor através de 3 parâmetros:
 - Hue(matiz)
 - Saturation(saturação)
 - Value(valor), uma medida de brilho igual a $\max\{r,g,b\}$.

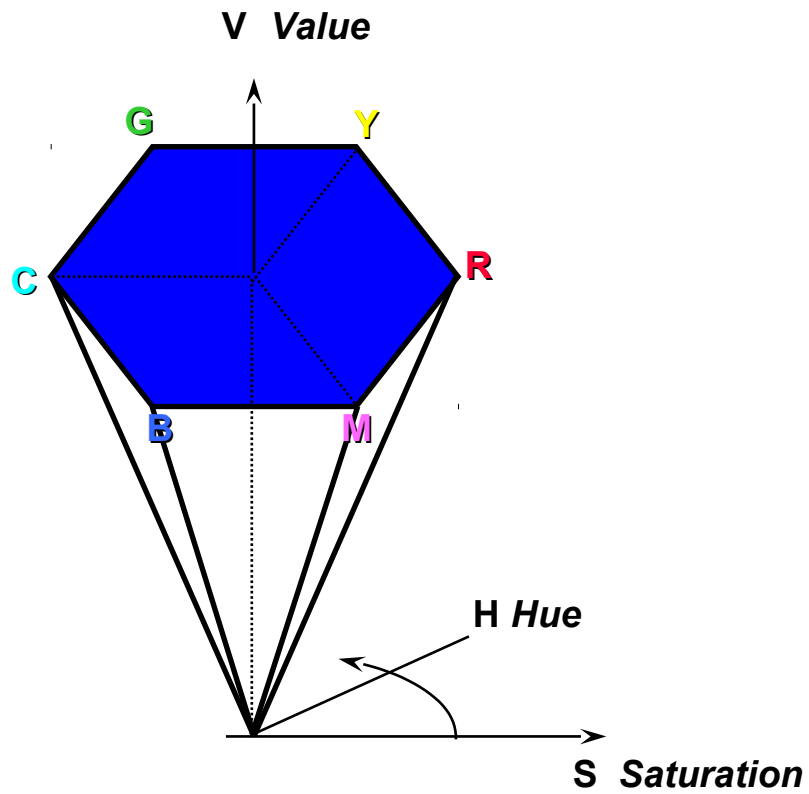
Sistema HSV



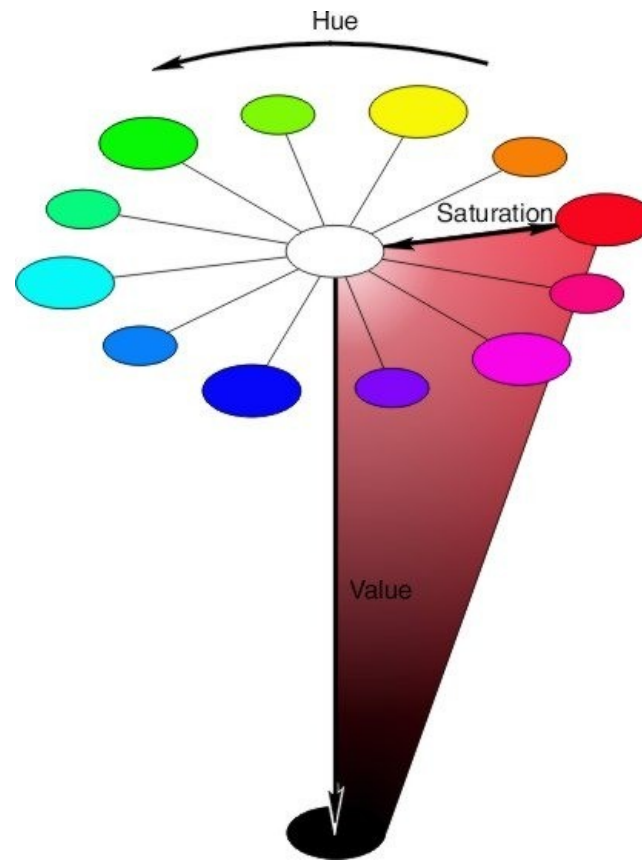
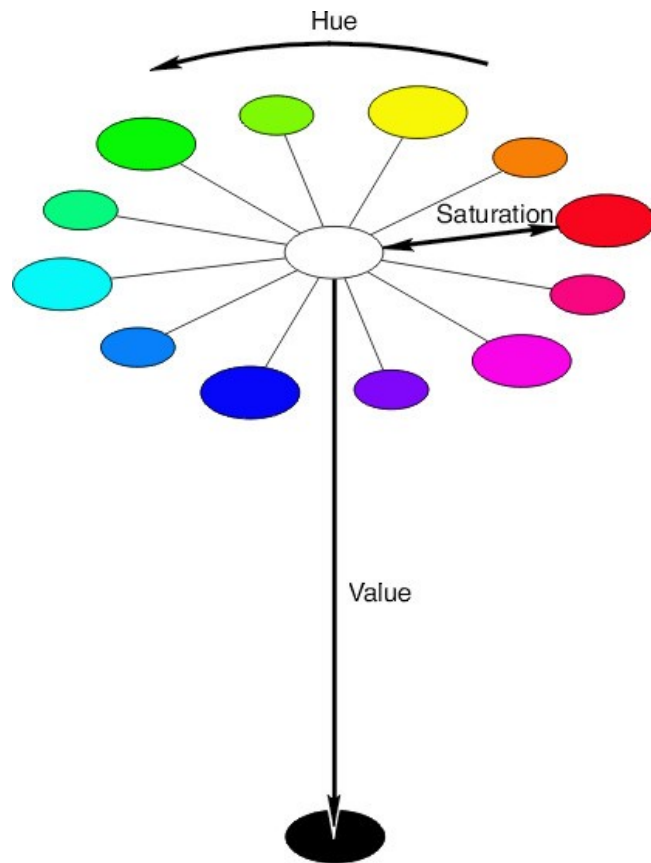
Sistema HSV



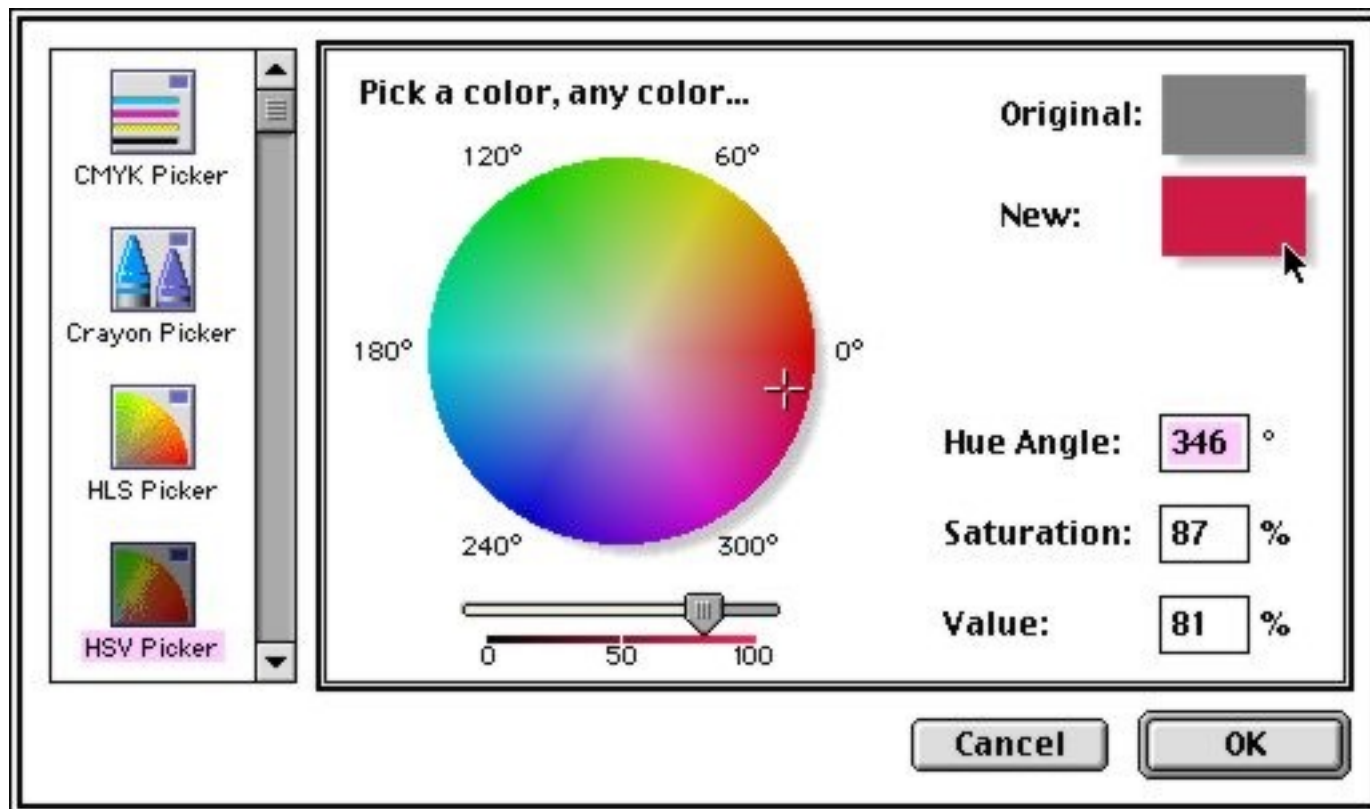
Sistema HSV



Sistema HSV



Sistema HSV



Dúvidas

