



# Sistemas de Cores & Introdução ao Processamento de Imagens

por Rossana B Queiroz

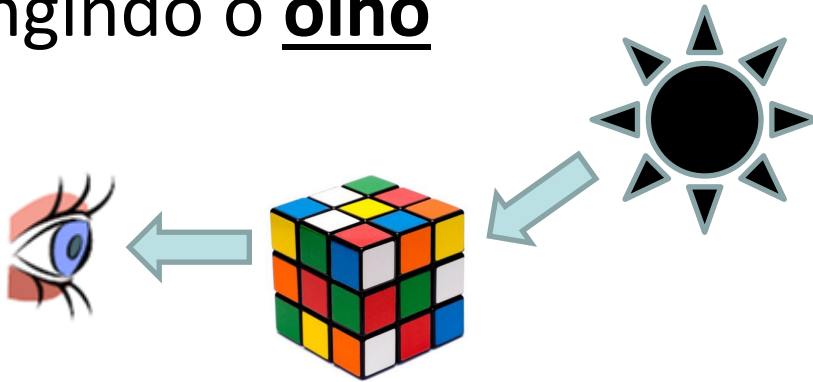
# Imagem

- Processamento Gráfico trabalha essencialmente com imagens
  - Geração (Computação Gráfica, Processamento de Imagens)
  - Obtenção de dados (Visão Computacional)

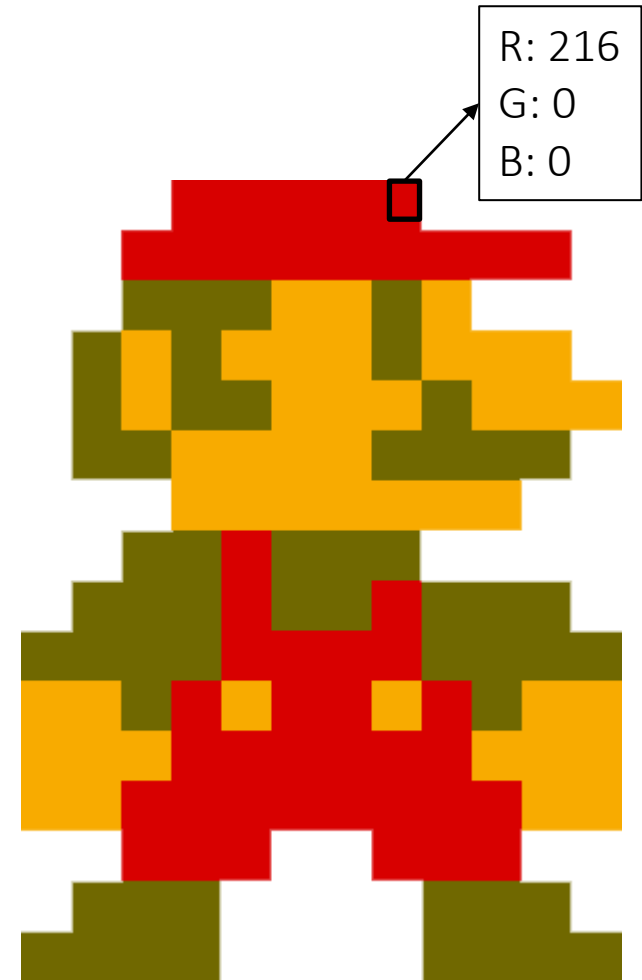
Mas...  
dentro do computador,  
o que é uma IMAGEM?

# O que são imagens?

- O que um observador humano percebe como resultado da luz atingindo o olho



- Uma matriz de valores
  - Elementos da matriz: *pixels*
  - Cada pixel possui o valor que corresponde a sua cor



R: 216
G: 0
B: 0

# Problemas relacionados...

- Como representar a informação luminosa dentro do computador?
- Como acontece o processo de percepção humana de cor e luz?
- Tradução da representação interna num padrão de emissão de luz

# Luz & Cor

- O que é luz?
  - Faixa de radiações eletromagnéticas que afetam o sentido humano de visão

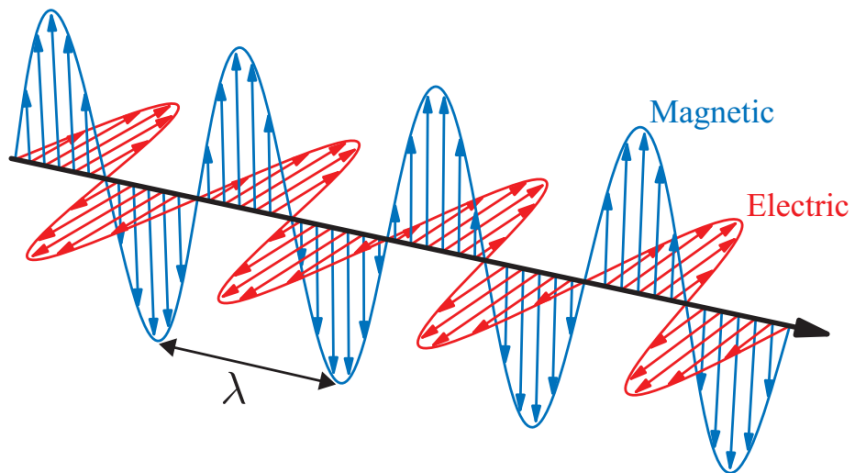


Figure 1: Light is an electromagnetic transverse wave.

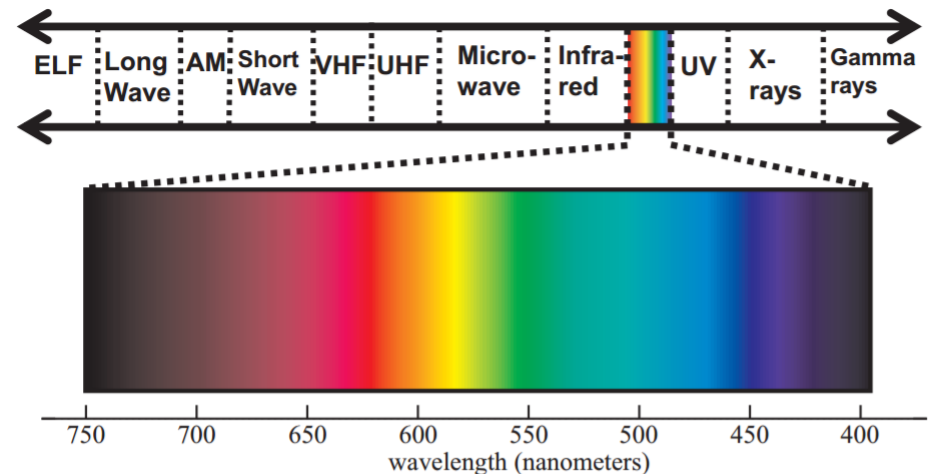
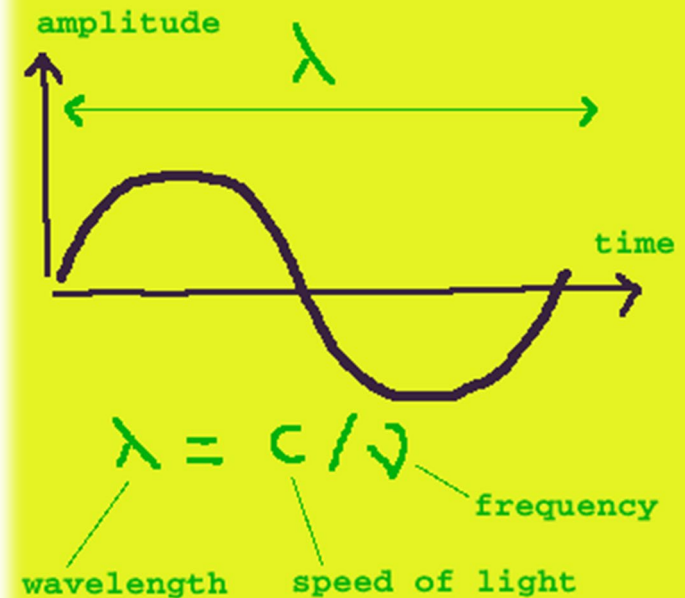
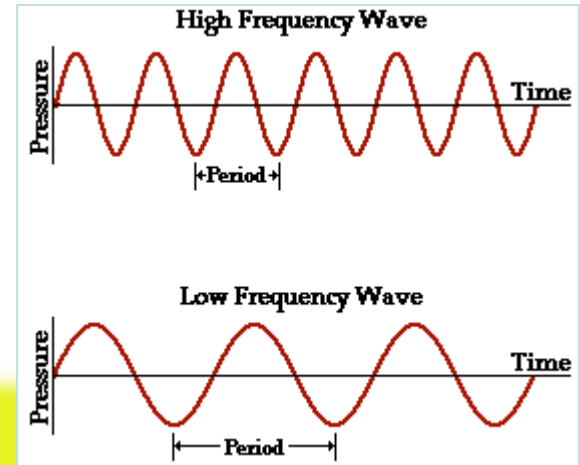


Figure 2: The visible spectrum.

# Luz & Cor

- O que é cor?
  - Sensação produzida pelos diferentes comprimentos de onda atingindo o olho humano
  - Uma cor “pura” pode ser definida pelo seu comprimento de onda
    - Vermelho: 700nm
    - Violeta: 400nm

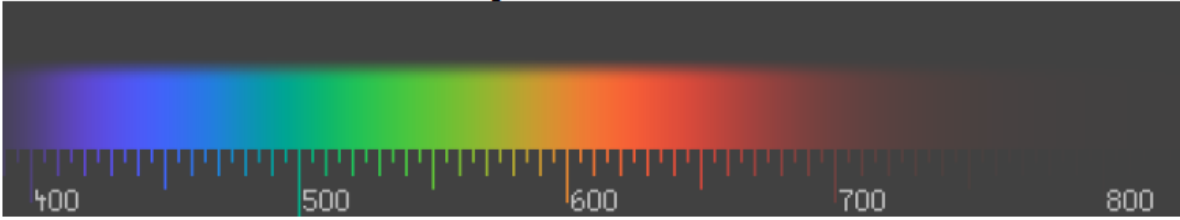


# Cor

- Cor é luz 😊

Cores do espectro visível		
Cor	Comprimento de onda	Frequência
vermelho	~ 625-740 nm	~ 480-405 THz
laranja	~ 590-625 nm	~ 510-480 THz
amarelo	~ 565-590 nm	~ 530-510 THz
verde	~ 500-565 nm	~ 600-530 THz
ciano	~ 485-500 nm	~ 620-600 THz
azul	~ 440-485 nm	~ 680-620 THz
violeta	~ 380-440 nm	~ 790-680 THz

*Espectro Contínuo*



The diagram shows a continuous spectrum of light with a wavelength scale from 400 to 800 nm. The colors transition from violet at 400 nm, through blue, green, yellow, orange, and red, to dark red at 800 nm.

# Cor como partícula

- Os objetos são iluminados por muitas (muitas mesmo) partículas de luz, ou fótons
- Cada um destes fótons é (se comporta como) uma onda.
- Todo objeto físico reflete ou absorve fótons e, desta maneira, sua cor é definida
- Objetos mais claros refletem mais luz (absorvem menos)
- Objetos mais escuros refletem menos luz (ou absorvem mais)

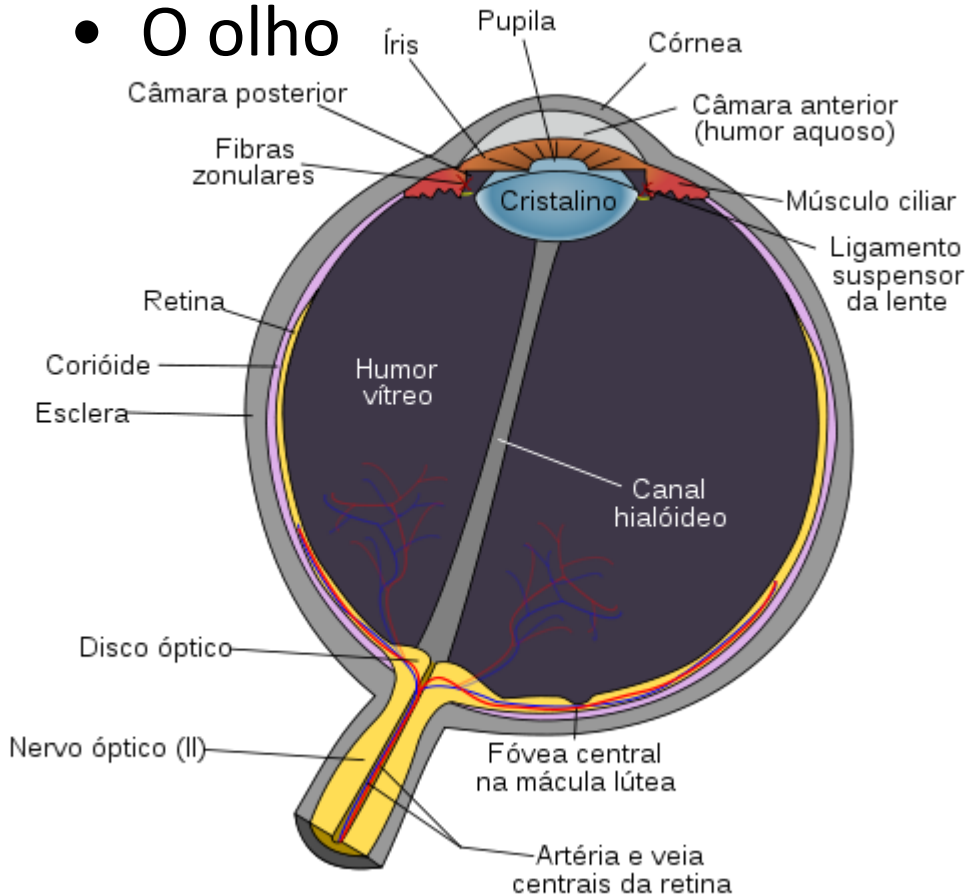


# O que é cor?

- A cor é uma percepção visual provocada pela ação de um feixe de fótons sobre células especializadas da retina, que transmitem através de informação pré-processada no nervo óptico, impressões para o sistema nervoso.
  - Nosso cérebro processa o feixe de luz e nos retorna essa sensação que é a cor.

# Como funciona nossa visão

- O olho

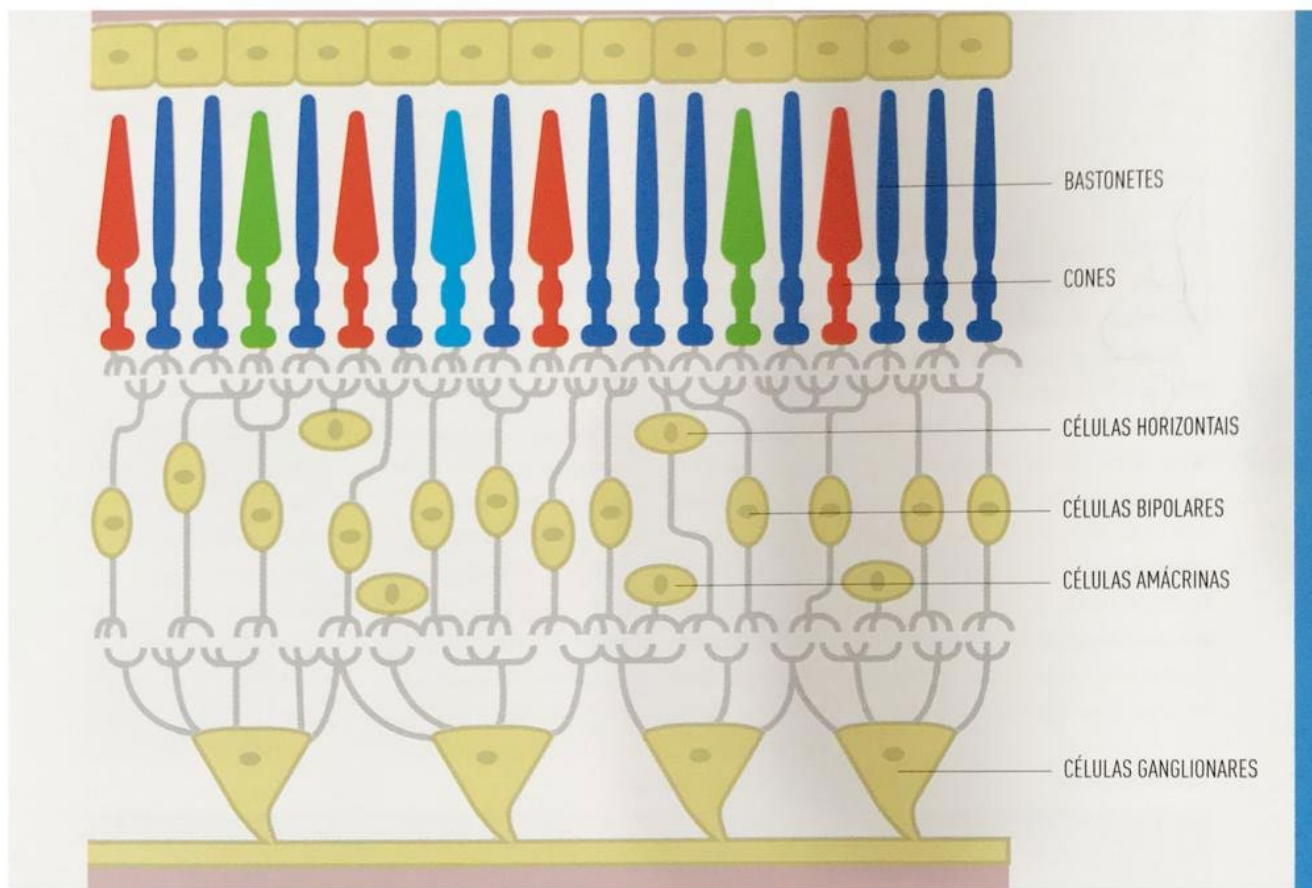


- Luz penetra no olho e atinge a retina
- Pupila controla a quantidade de energia que entra no olho
- Cristalino permite o foco (lente)

# Como funciona nossa visão

- Retina contém células foto-sensíveis ao espectro visível
  - Enviam sinais elétricos para o cérebro
- 2 tipos de células
  - Bastonetes
    - Percebem intensidades
  - Cones
    - Percebem as cores (3 tipos, R, G, B)
    - Cones azuis MENOS receptivos do que os outros dois

# Teoria de Cor Tricromática

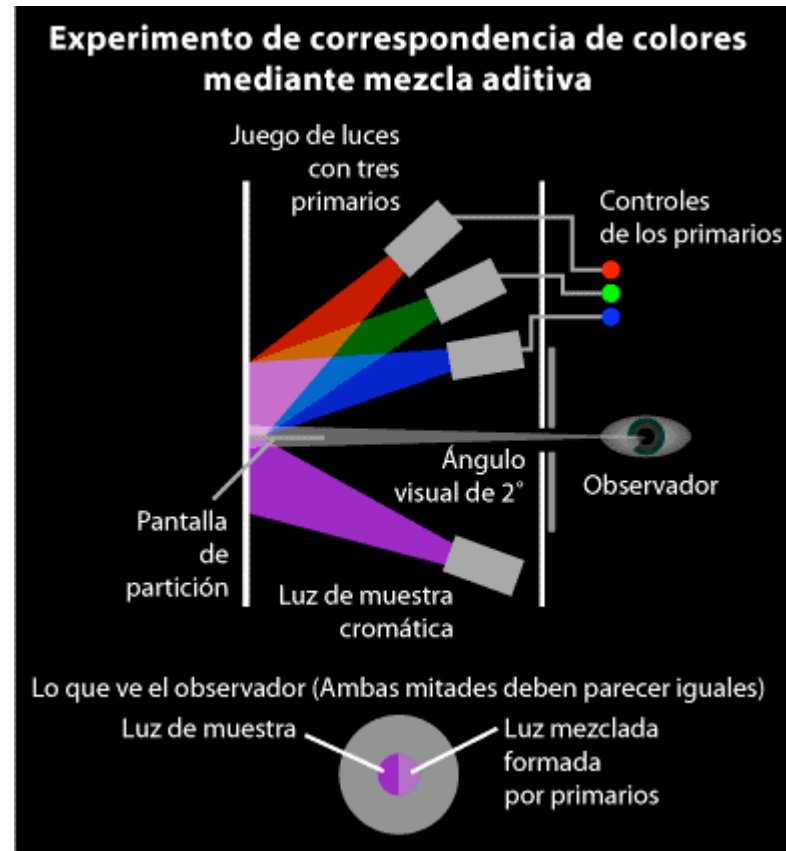


# Teoria de Cor Tricromática

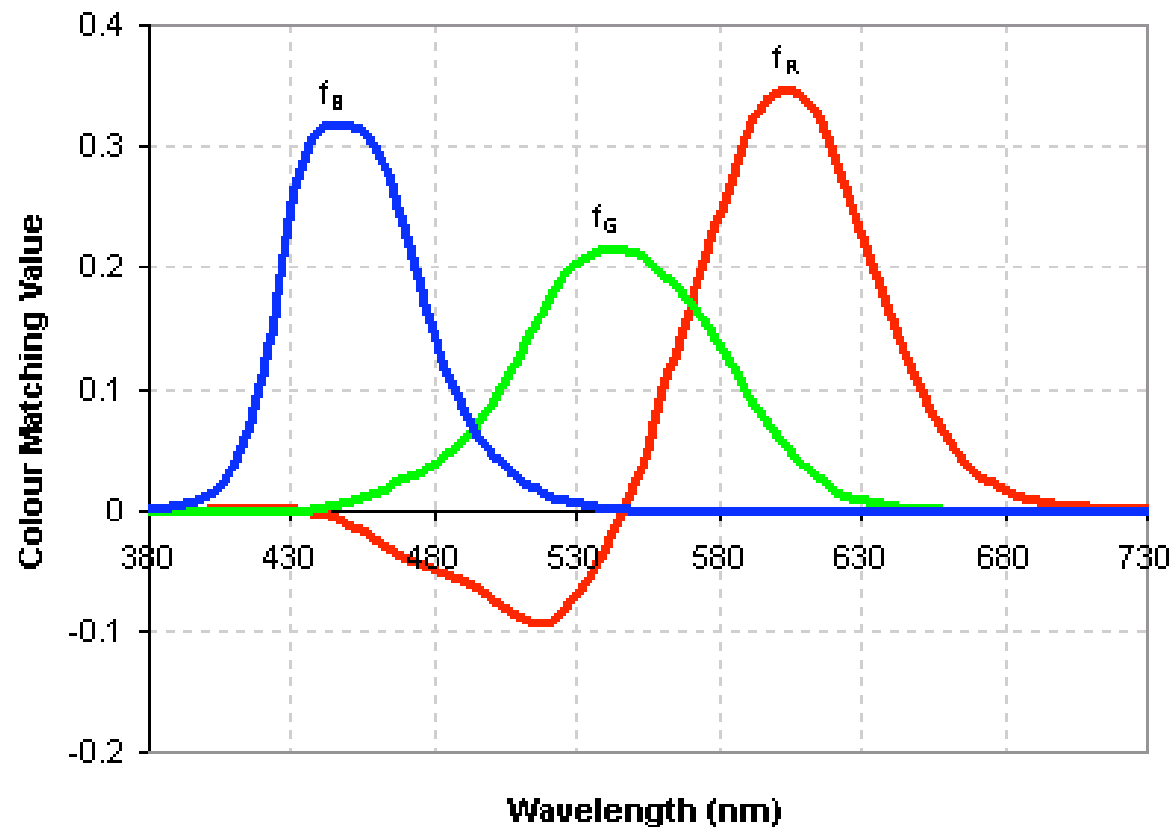
- 3 receptores de cores primárias no olho
  - Quantas cores vemos?
  - Condução de experimentos para determinar quantas cores nós vemos

# Experimento do CIE, 1931

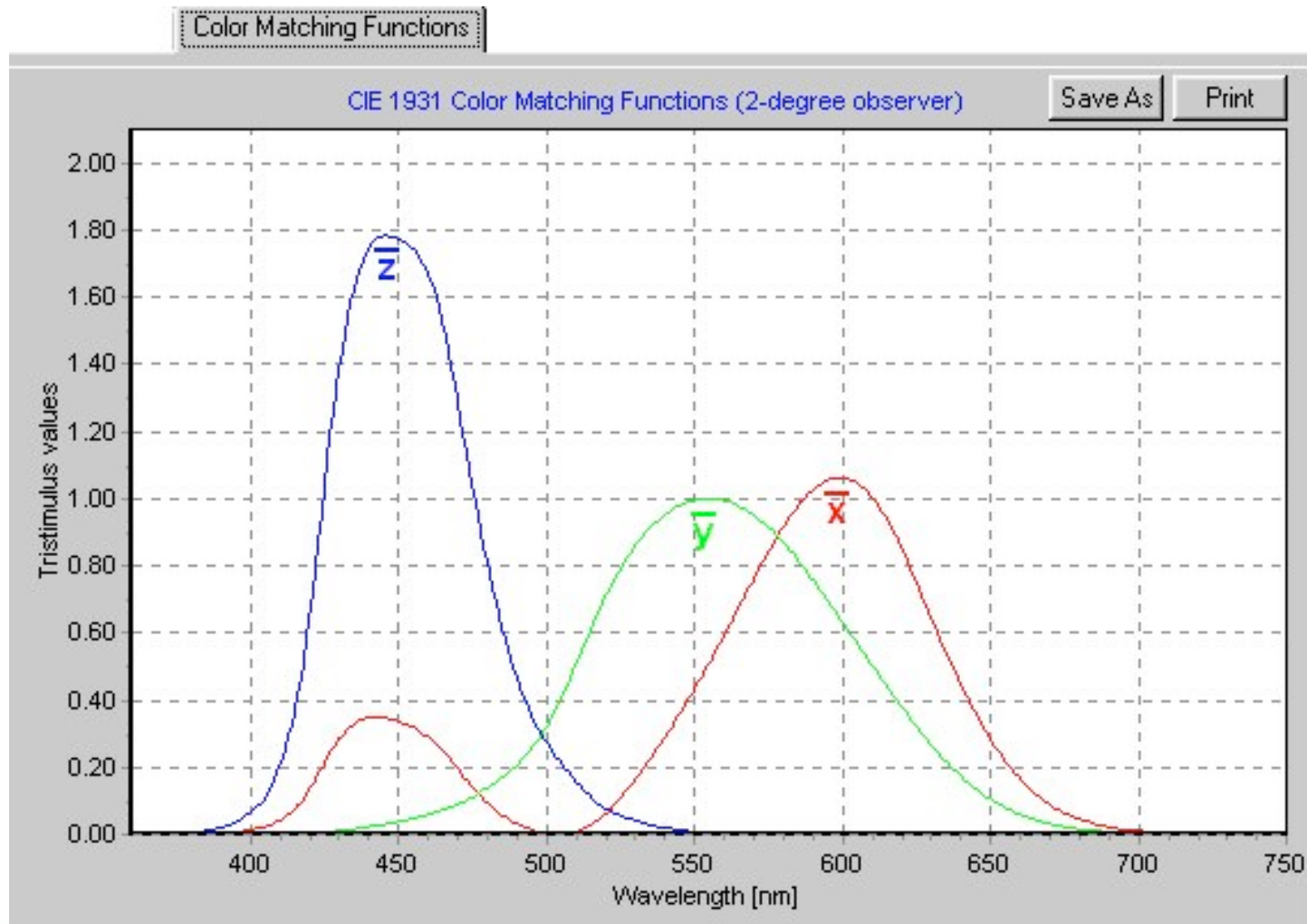
- Commission Internationale de L'Eclairage
- 3 primárias
  - Blue: 435.8 nm
  - Green: 546.1nm
  - Red: 700nm
- Espectro
  - 360 – 830nm a cada 5nm



# Funções de Reconstrução de Cor RGB

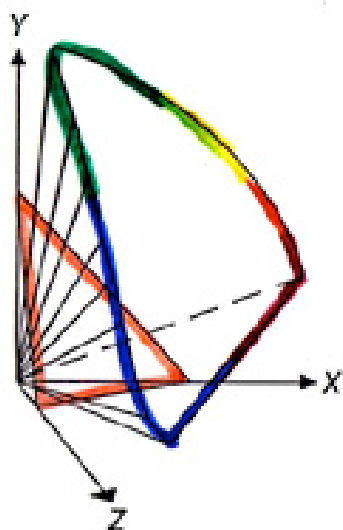


# Função de Reconstrução de Cor XYZ

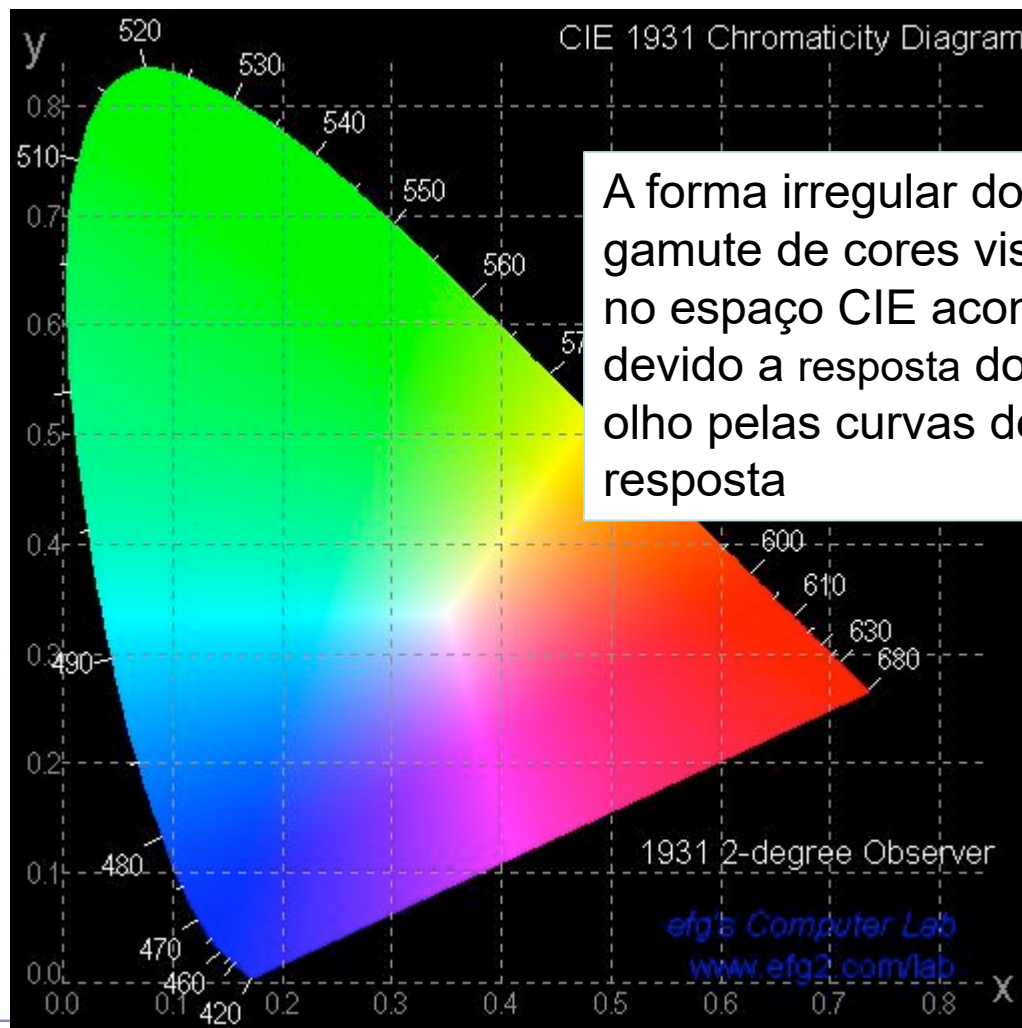




# CIE Diagrama de Cromaticidade



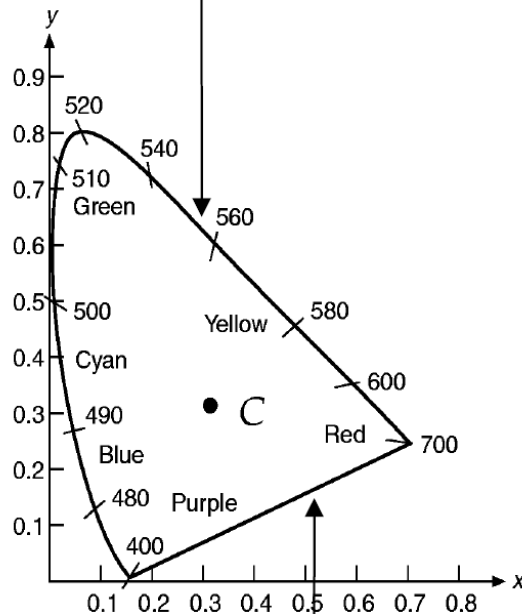
O gamute de cores de um monitor colorido típico no espaço de cores XYZ



A forma irregular do gamute de cores visíveis no espaço CIE acontece devido a resposta do nosso olho pelas curvas de resposta

# CIE Diagrama de Cromaticidade

Qualquer coisa fora dessas bordas não é uma cor física



Região que define espectro de cores Visíveis é fechada pela linha Conectando azul e vermelho

- É a projeção do plano  $(X + Y + Z) = 1$  no plano  $(X, Y)$
- Mostra  $x$  e  $y$  para todos os valores de cromaticidade visíveis:
  - Todas as cores com mesma cromaticidade mas luminância diferentes mapeiam para o mesmo ponto
  - Cores puras espectralmente (monocromáticas) são localizadas nas bordas curvas do diagrama
  - Como luminância não é representada, cores que são relacionadas com luminância não são mostradas (ex. Marrom – cromaticidade laranja-vermelho com baixa luminância)
  - *Illuminante C*: próximo a (nas não exatamente)  $x = y = z = 1/3$ ; semelhante a luz solar

# Exatamente pra quê isso??

Que cor é esta camiseta?

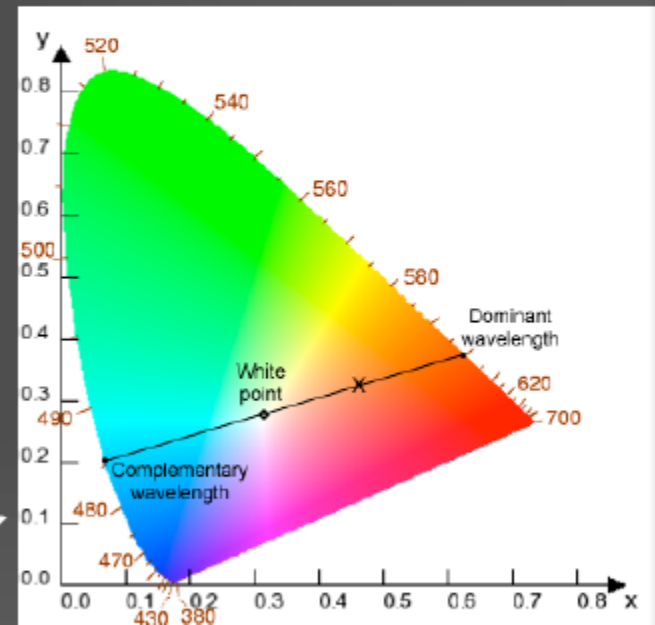


$X=0.25$   
 $Y=0.12$



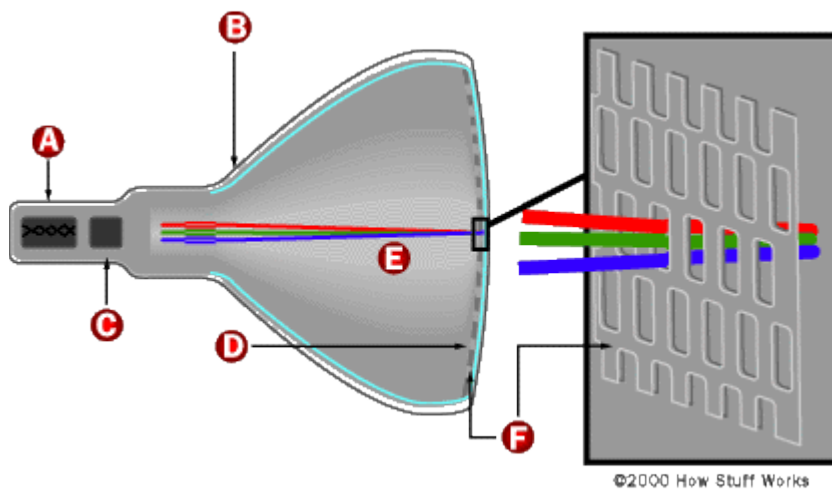
# Propriedades do Diagrama de Cromaticidade

- Cores puras (monocromáticas)
- Cores padrão (exemplo  $x=0.31$   $y=0.316$ )
- Comprimento de onda dominante
- Cor complementar

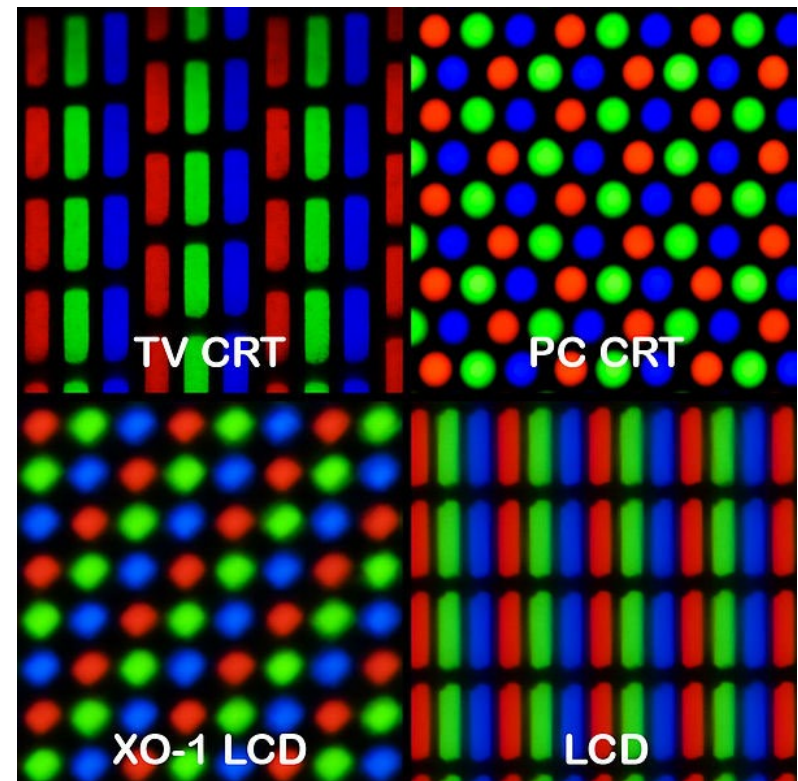


# Geração de cores no computador

- O computador necessita de um hardware que emita fótons RGB para reprodução de imagens coloridas
- CRT (Cathode Ray Tube):
  - Dispositivo emite eletrons
  - Tela possui fósforos (RGB) por ponto visível.
  - A combinação das intensidades de luz destes 3 componentes reproduz uma cor (wavelength) no monitor.
- LCD (Liquid Cristal Display)
  - funciona de maneira similar. Porém, sem dispositivo de emissão de elétrons.
  - Em cada ponto visível são “ligadas” cada uma das componentes de luz, que são combinadas para reproduzir uma cor.

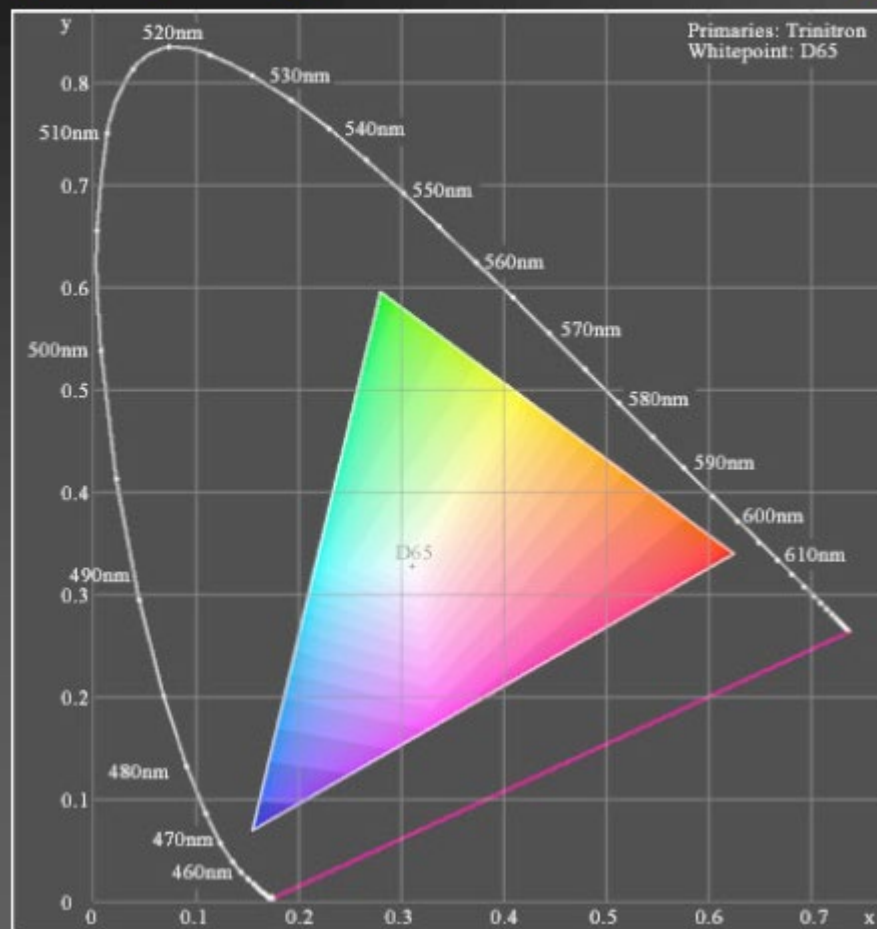


- |                                 |                                    |
|---------------------------------|------------------------------------|
| <b>A</b> catodo                 | <b>D</b> tela revestida de fósforo |
| <b>B</b> revestimento condutivo | <b>E</b> feixe de elétrons         |
| <b>C</b> ânodo                  | <b>F</b> máscara de sombra         |





# Gamuts de Cor (Espaços de Cores)



NTSC

R: (0.67,0.33)

G: (0.21,0.71)

B: (0.15,0.08)

Monitor Típico

R: (0.6064, 0.3379)

G: (0.2919,0.5693)

B: (0.1496,0.0732)



Marcelo Walter - UFPE

# Amostragem

- Digitalização das coordenadas espaciais



320 x 240



160 x 120



80 x 60



# Amostragem



320 x 240



160 x 120



80 x 60

# Quantização

- Digitalização da amplitude



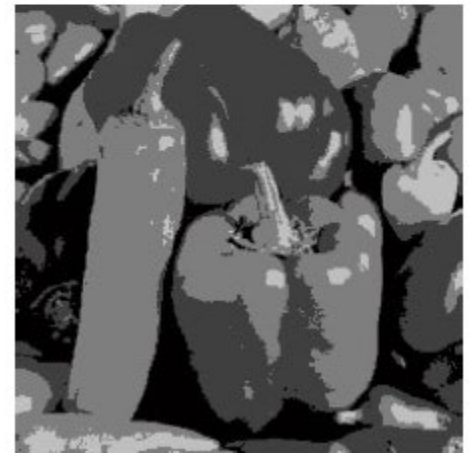
256 níveis de cinza



128 níveis de cinza



15 níveis de cinza



4 níveis de cinza

# Resolução

- Termo utilizado para representar as dimensões de qualquer matriz de pontos (tela ou imagem, por exemplo)
- Pode ser expressa tanto em número de pontos de largura e altura, quanto de quantidade total de pixels.
- Exemplo:
  - 640 x 480, 800 x 600, 1280 x 1024, 256 x 256, ...
  - Ou: 1 Mega pixels, 3 Mega pixels, ... Neste caso, o produto da largura pela altura

# Profundidade de Cores

- Número máximo de cores que podem ser representadas. Expressa em bits:
  - 24 bits (RGB):
    - 1 byte (8 bits) para cada componente R, G e B
    - Total de  $2^{24}$  cores = 16 Mega-cores = 16.777.216 de cores.
    - True-color: todas as cores que o olho humano consegue perceber.
  - 32 bits (RGBA ou ARGB):
    - Idem ao anterior, porém possui um componente a mais, o **canal alfa** destinado a representação de opacidade/transparência da cor.
    - Pode ser utilizado também para representar mais valores por canal (RGB).
    - Máscaras: 10-10-10 (sobram 2) ou 8-8-8-8 (usando alpha)

# Profundidade de Cores

- 16 bits:
  - Número reduzido de cores, menor necessidade de armazenamento.
  - Total de  $2^{16} = 64$  Kilo-cores = 65.536 cores diferentes
  - Máscaras: 5-5-5 (sobra 1) ou 5-6-5 (verde a mais por causa do brilho)
- 8 bits (gray-scale ou indexed-color)
  - Um byte para representar as cores:  $2_8 = 256$  cores possíveis (índices da paleta)
  - Utilizado também para representação em tons-de-cinza.
- 4 bits (indexed-color, 2 pixels por byte)
  - Um byte representa dois pixels  $2_4 = 16$  cores possíveis, ou melhor, 16 índices possíveis na paleta.
- 1 bit (b&w – preto e branco, imagem binária)
  - Preto e branco, duas possibilidades de cores, para bitmap
  - Um byte pode representar 8 pixels

# O que são imagens então?

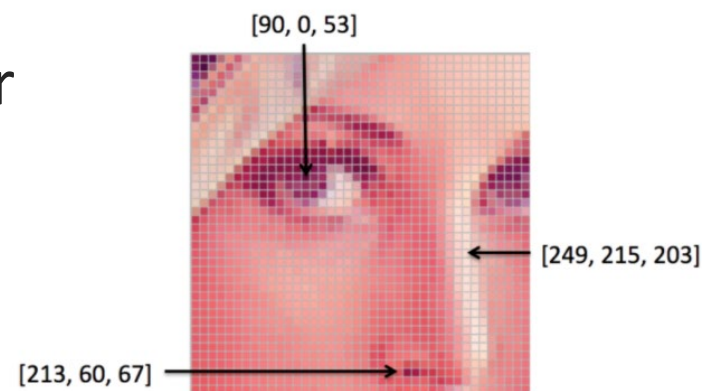
- Cada elemento de uma imagem digital é chamado de pixel (abreviação de picture element). Cada pixel possui:

- uma localização (coordenadas espaciais)
- um ou mais valores associados a ele

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} r(x, y) \\ g(x, y) \\ b(x, y) \end{bmatrix}$$

- Uma imagem pode ser definida por uma função bidimensional  $f(x, y)$

- x e y são coordenadas espaciais
- a amplitude de f em qualquer par de coordenadas (x,y) é chamada de intensidade ou nível de cinza da imagem naquele ponto



# Modelos de Cor

- Um modelo ou sistema de cores é uma especificação de um sistema de coordenadas ou subconjunto de cores visíveis.
- Determina o formato, fórmula ou forma de composição de componentes de sistemas (coordenadas) em cores.
- Exemplos: RGB, HSV, CMYK, HLS, YIQ, ...

# Sistema RGB

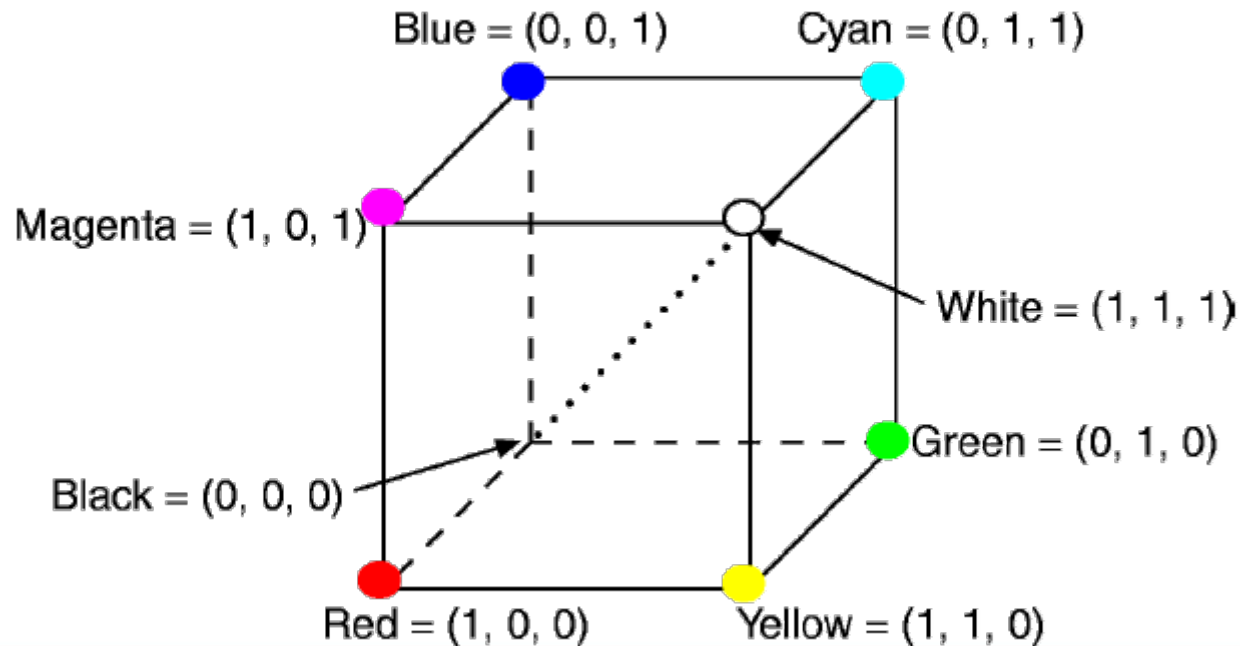
- O sistema RGB é de longe o mais utilizado na computação, porque é baseado no sistema de captação de cor do olho humano e porque é o sistema utilizado em monitores.
- Sistema é representado como sistema de referência tridimensional convencional (sistema cartesiano 3D). Porém, ao invés de x, y e z, o sistema tem as componentes R, G e B (Red-Green-Blue)
- Todas as cores podem ser representadas numa combinação das três componentes. Exemplo:

 Esta cor é a combinação RGB (153, 205, 255)



# Sistema RGB

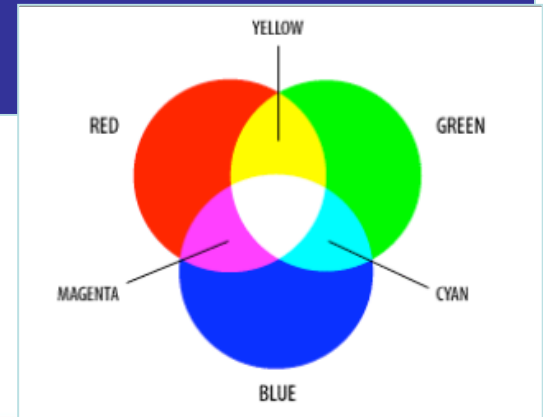
- Visualmente, podemos representar o modelo como um cubo, onde os valores mínimos são 0 e os máximos são 1 ponto-flutuante (ou 0-255 inteiros)



# Sistema RGB

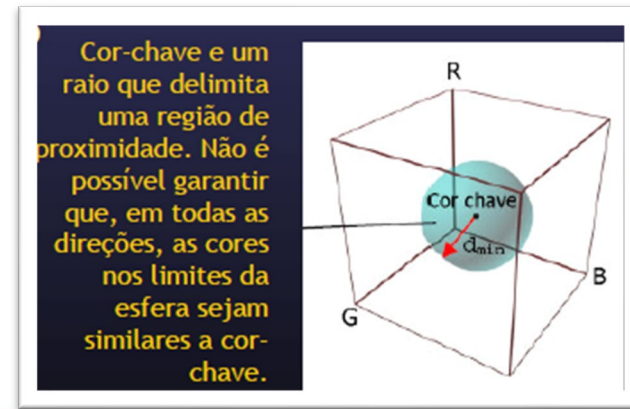
As cores dos cantos do cubo são consideradas cores puras. É onde estão as primárias (R, G e B), as secundárias (Yellow, Cyan e Magenta) e o preto (B) e branco (W). Ainda, do canto preto ao canto branco residem todas as tons de cinzas, também chamada de diagonal de cinzas, com 256 valores possíveis. Quando representado no domínio  $[0, 1]$  dos números reais; os valores são uma fração de 255 ( $n/255$ ). Quando expresso em bytes estão no domínio  $[0, 255]$  dos números inteiros.

- É um modelo aditivo



# Sistema RGB

- Considerações sobre o sistema RGB
  - Natural (representação de como nosso olho vê)
  - Usado nos dispositivos que emitem luz, em geral
  - Contra: difícil de determinar, visualmente, no cubo RGB, a “proximidade” das cores (mais clara, mais intensa, etc..)
  - Distância de cores



# Entendendo os canais RGB

```
>> figure, imshow(I(:,:,1))  
>> figure, imshow(I(:,:,2))  
>> figure, imshow(I(:,:,3))
```



RGB

Intensidade:

Alta: próximo de 255  
(branco)

Baixa: próximo de 0 (preto)

R



Alta concentração  
de vermelho

Baixa concentração  
de vermelho

G



B

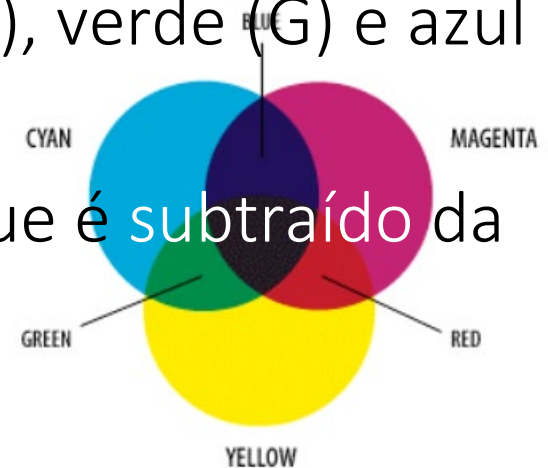


Alta concentração  
de azul

# Modelo CMY(K)

- Modelo **subtrativo**

- Usado em impressões (depósito de pigmentos no papel)
- Ciano (C), magenta (M) e amarelo (Y) são complementares de vermelho (R), verde (G) e azul (B)
- Cores são especificadas pelo o que é subtraído da luz branca



# Modelo CMY(K)

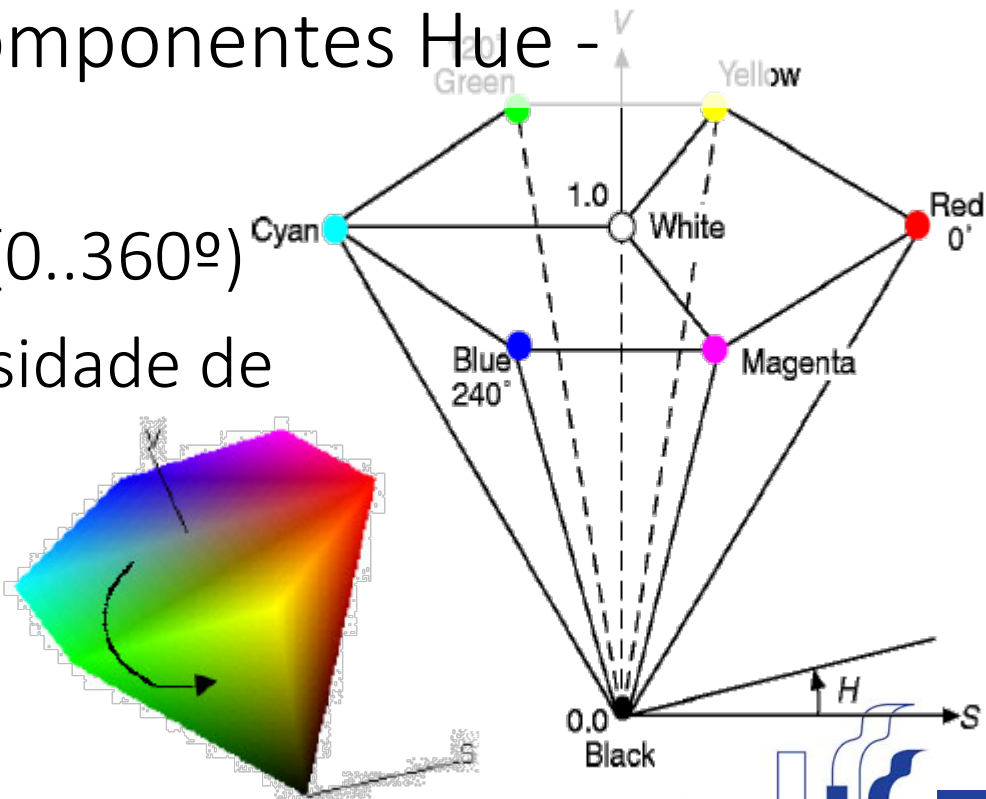


<https://www.youtube.com/watch?v=DT3YZ0lcags>

# Modelo HSV

- Sistema que determina um cor através da combinação das 3 componentes Hue - Saturation - Value

- H - Matiz – cor pura  $[0..360^\circ]$
- S - Saturação – intensidade de cor pura  $[0..1]$
- V - Luminosidade – escuro ou claro  $[0..1]$



# Modelo HSV

- Considerações sobre o HSV:
  - O sistema de cores que é visualmente mais “confiável” que o RGB.
  - Permite, com mais facilidade que o RGB, determinar uma região de cores similares, pois basta determinar um ângulo central e um mínimo e máximo.
  - É necessária conversão para RGB para ser utilizado no computador.
  - Na conversão, o preto pode ser uma combinação de diversas possibilidades de H e S.



# Referências

1. Fraser, T., & Banks, A. (2011). **O essencial da cor no design**. São Paulo: Ed. Senac.
2. Notas de Aula do professor Leandro Tonietto
3. Notas de aula do professor Marcelo Walter (UFRGS)
4. Notas de aula do professor Bruno Carvalho (UFRN)
5. FOLEY, J.D. et al. Computer graphics: principles and practice. Reading: Addison-Wesley, 1990
6. AKENINE-MO, Tomas *et al.* **Real-time rendering**. 2018.