

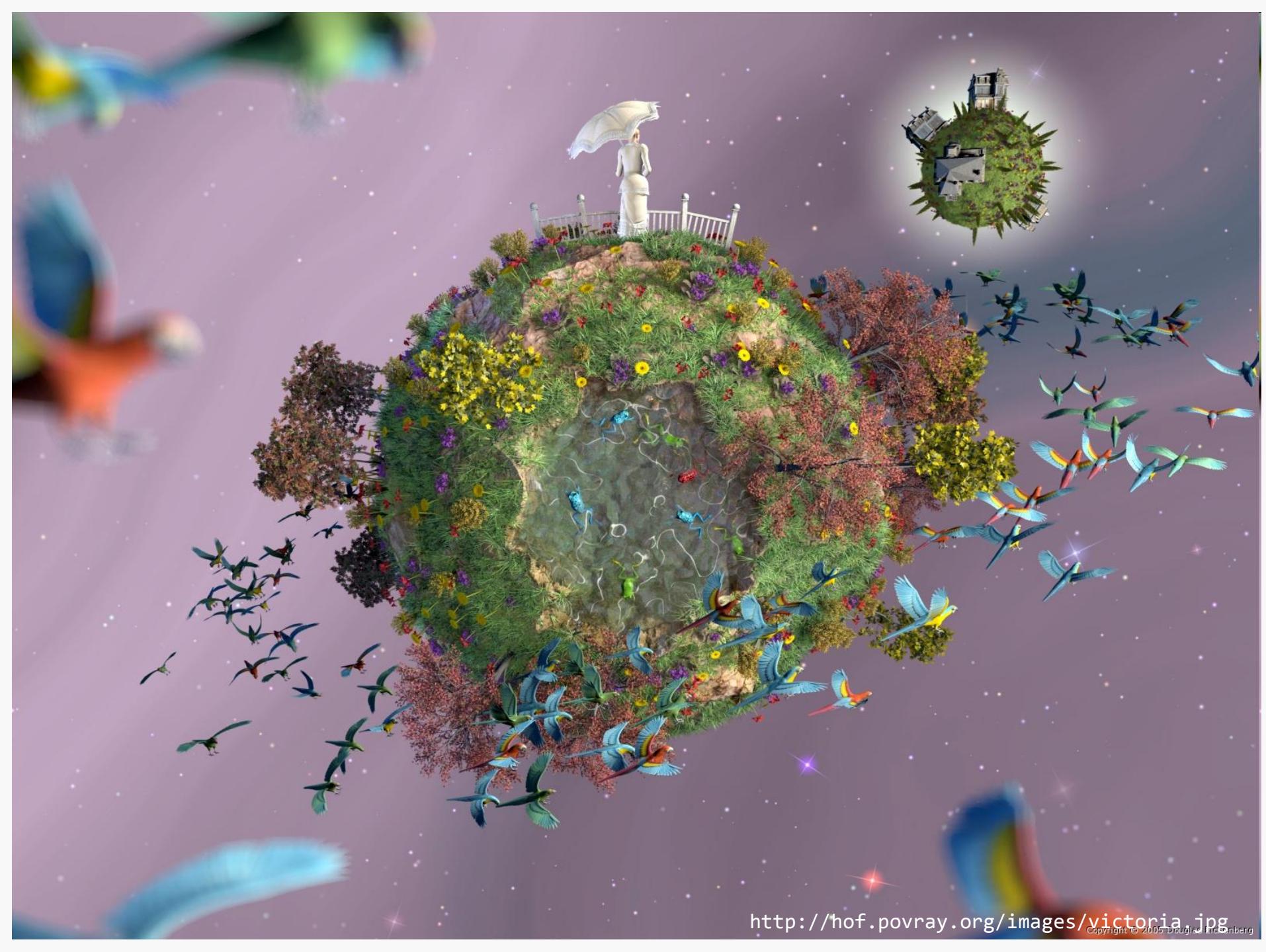
---

# Cor

---

*Computação Gráfica*





# Agenda

---

- Cor
  - Espectro visível
  - Representação da cor
    - Modelos aditivos e subtractivos
    - CIE, RGB, CMY, HSV, HLS
  - Reprodução da cor
  - Emprego da cor em CG
- Iluminação e Sombreamento
  - Sombreamento: Constante, *Gouraud* e *Phong*
  - Modelo de iluminação local de *Phong*
  - Tipo de luzes
  - Modelos de iluminação global: Radiosidade e Ray-Tracing

# A cor...

---

- O que é a Cor?
  - Cor é a **sensação** produzida no nosso cérebro pela luz que chega aos nossos olhos
  - É um problema **psico-físico**

*The rays, to speak properly, are not coloured. In them there is nothing else than a certain Power and Disposition to stir up a Sensation of this or that Colour. (Newton [NewO4], pp. 1.24-1.25.)*



<http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:WhereRainbowRises.jpg>

# Digam lá qual é a cor...

---

# # # # #

# # # # #

# # # # #

# # # # #

# # # # #

# # # # #

# # # # #

# # # # #

*... e agora, outra vez.*

---

**Laranja**

**Verde**

**Vermelho**

**Roxo**

**Preto**

**Amarelo**

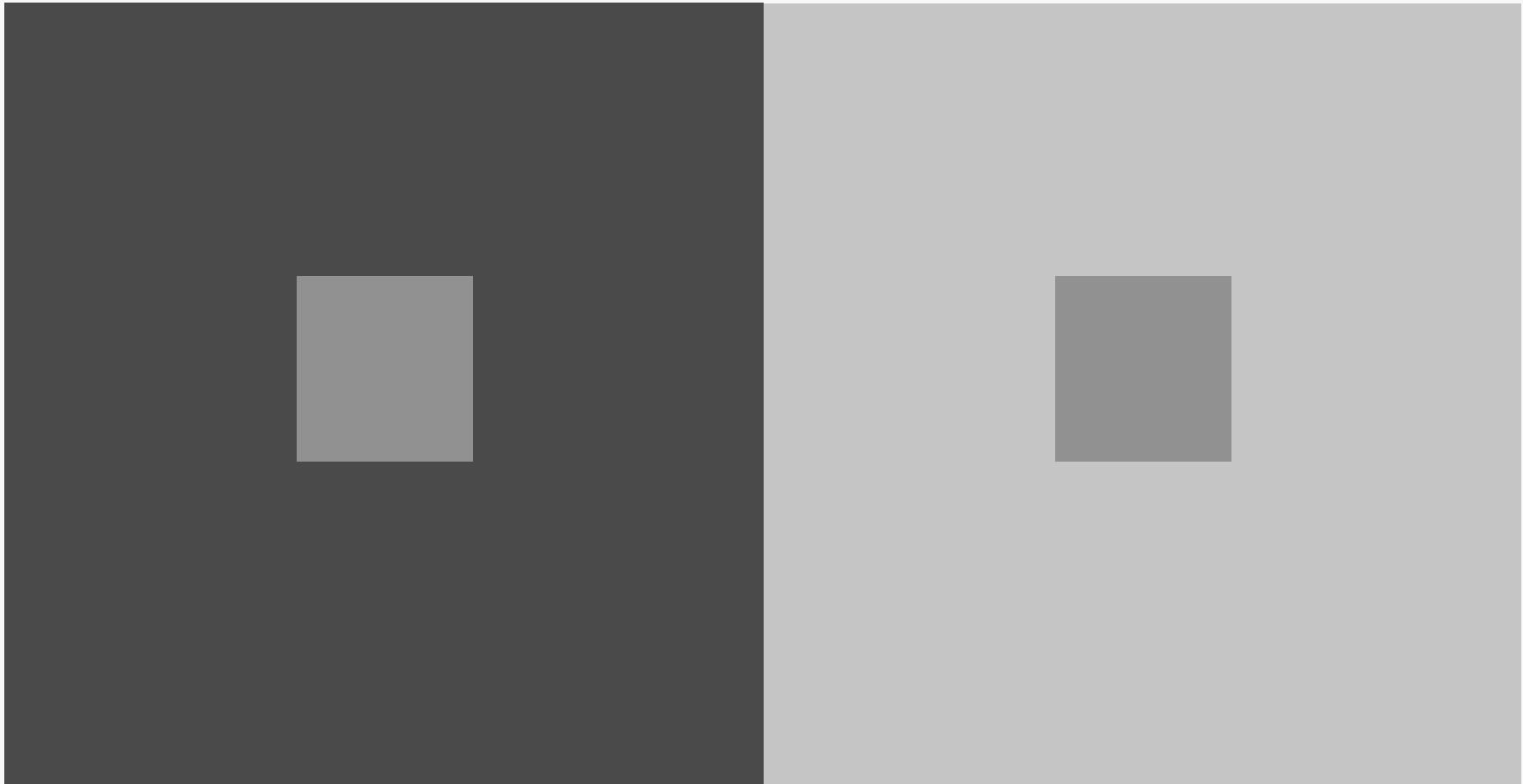
**Cinzeneto**

**Azul**

# Contraste simultâneo

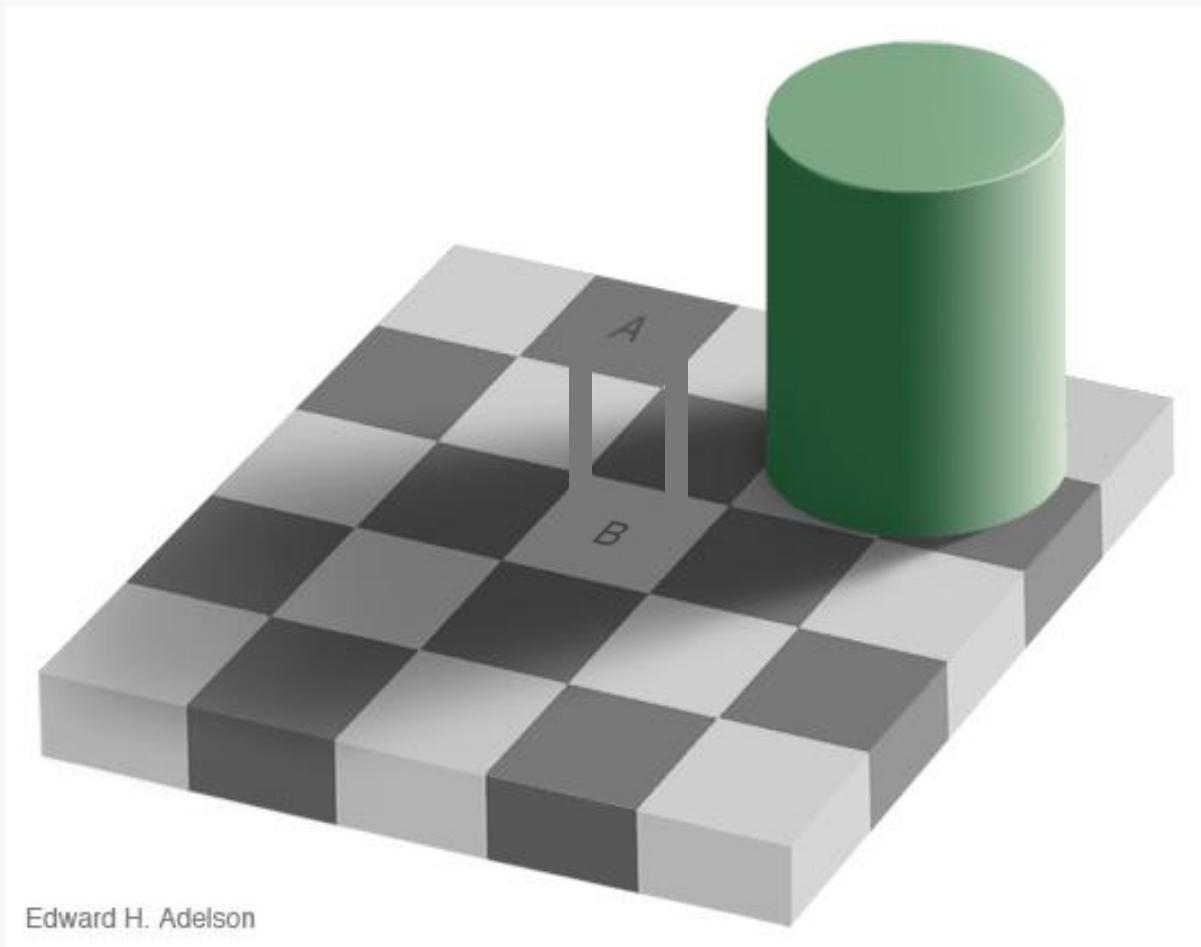
---

- Os quadrados interiores são da mesma cor?



# Contraste simultâneo

---



- Os quadrados marcados com A e B são do mesmo tom de cinzento ?

# As coisas que o nosso cérebro faz...!!!!

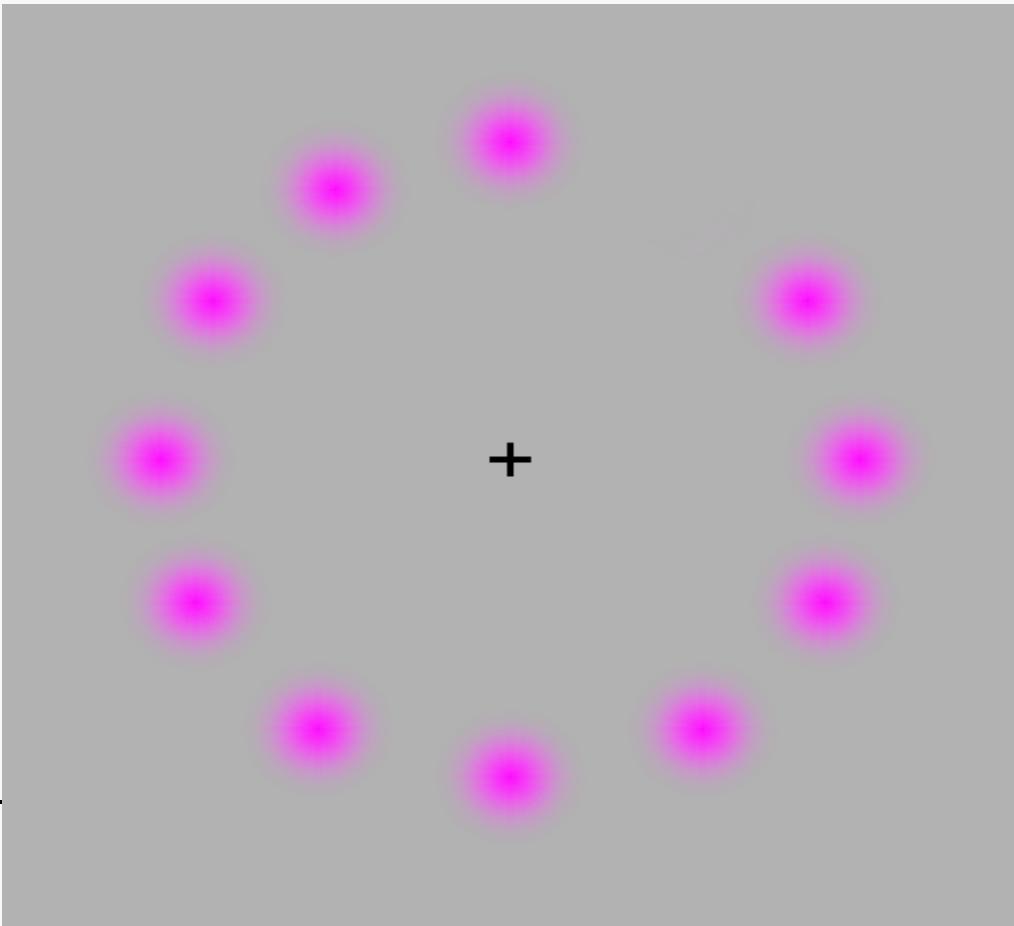
---

Se os seus olhos seguirem o movimento do ponto rotativo cor de rosa, só verá uma cor: rosa.

Se o seu olhar se detiver na cruz negra do centro, o ponto rotativo muda para verde.

Agora, concentre-se na cruz do centro. Depois de um breve período de tempo, todos os pontos cor de rosa desaparecerão e só verá um único ponto verde girando.

É impressionante como o nosso cérebro trabalha. Na realidade não há nenhum ponto verde, e os pontos cor de rosa não desaparecem. Isto deveria ser prova suficiente de que nem sempre vemos o que acreditamos ver...

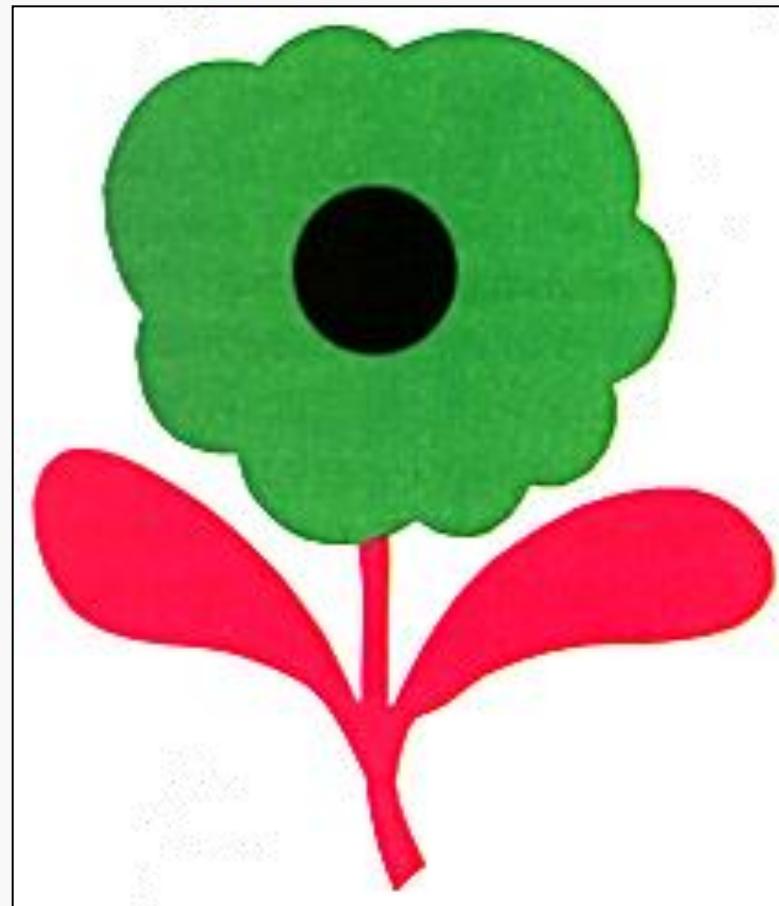


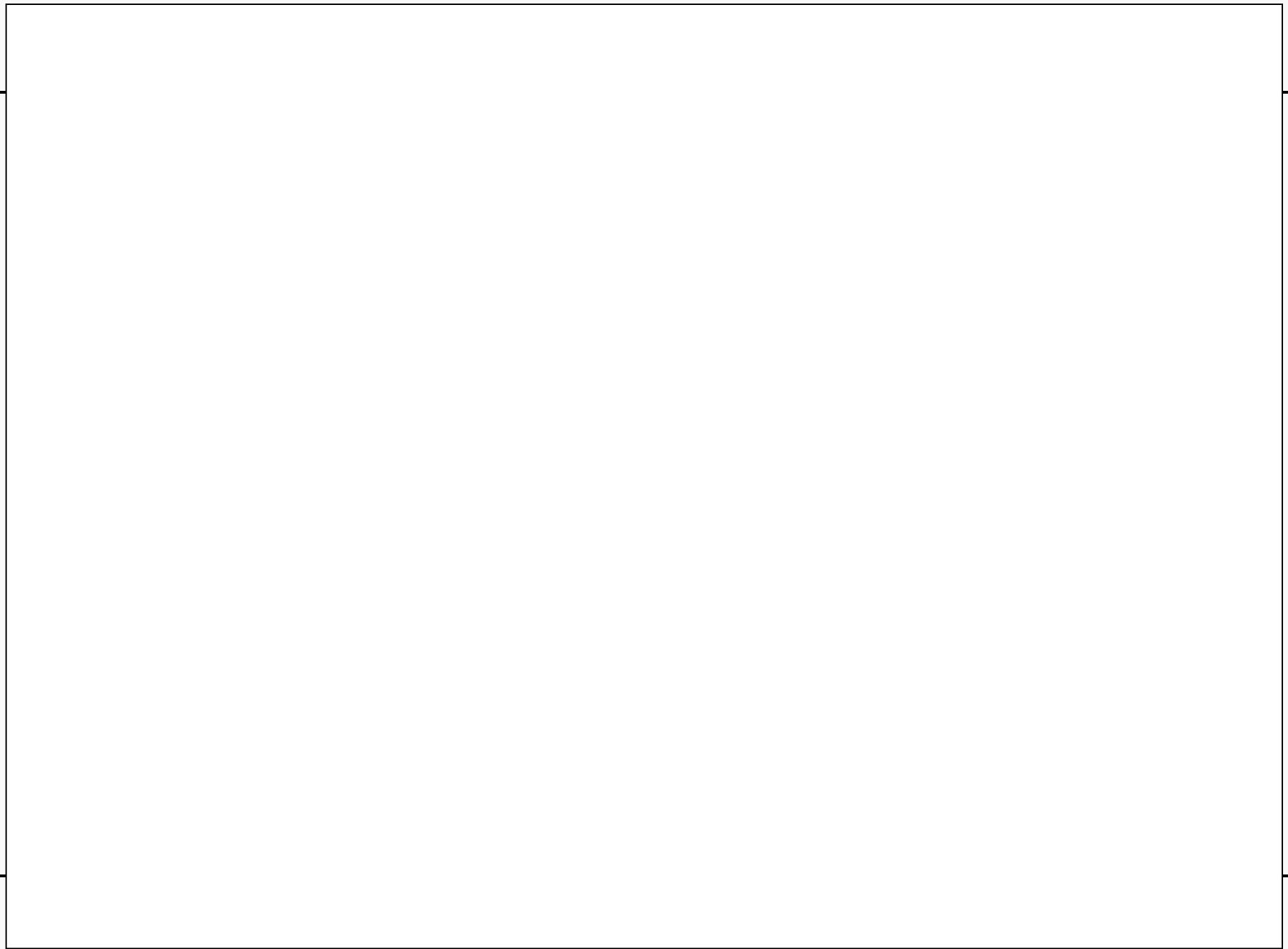
**Nota:** Só dá para ver esta ilusão em *fullscreen* (a imagem é um GIF)

# Efeito *after-image* (1)

---

- Primeiro
  - Olhar fixamente para o centro da imagem durante um ou dois minutos e depois olhar para o quadrado branco (ou uma folha de papel branca)
- Depois
  - Piscar os olhos uma ou duas vezes; surgirá uma imagem da rosa com as cores “correctas”





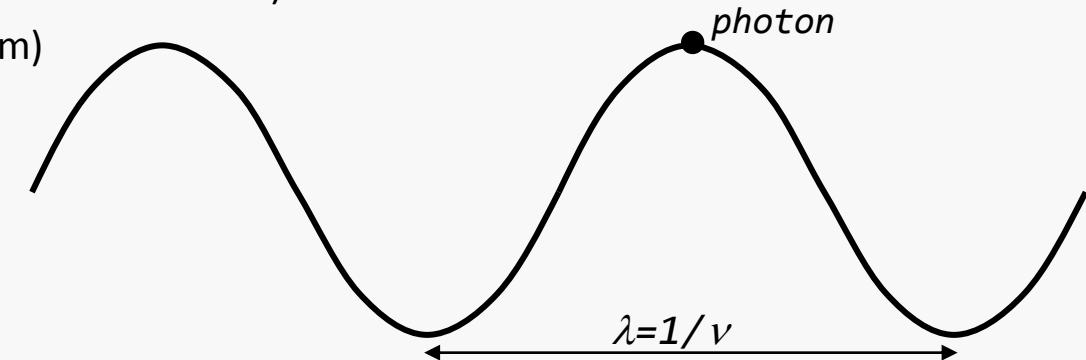
# Modelo espectral da cor – a luz

- Luz é uma **radiação electromagnética** que se propaga a 299.792.458 m/s<sup>(1)</sup> (ou a 1.079.252.848,8 km/h)
- Exemplo:



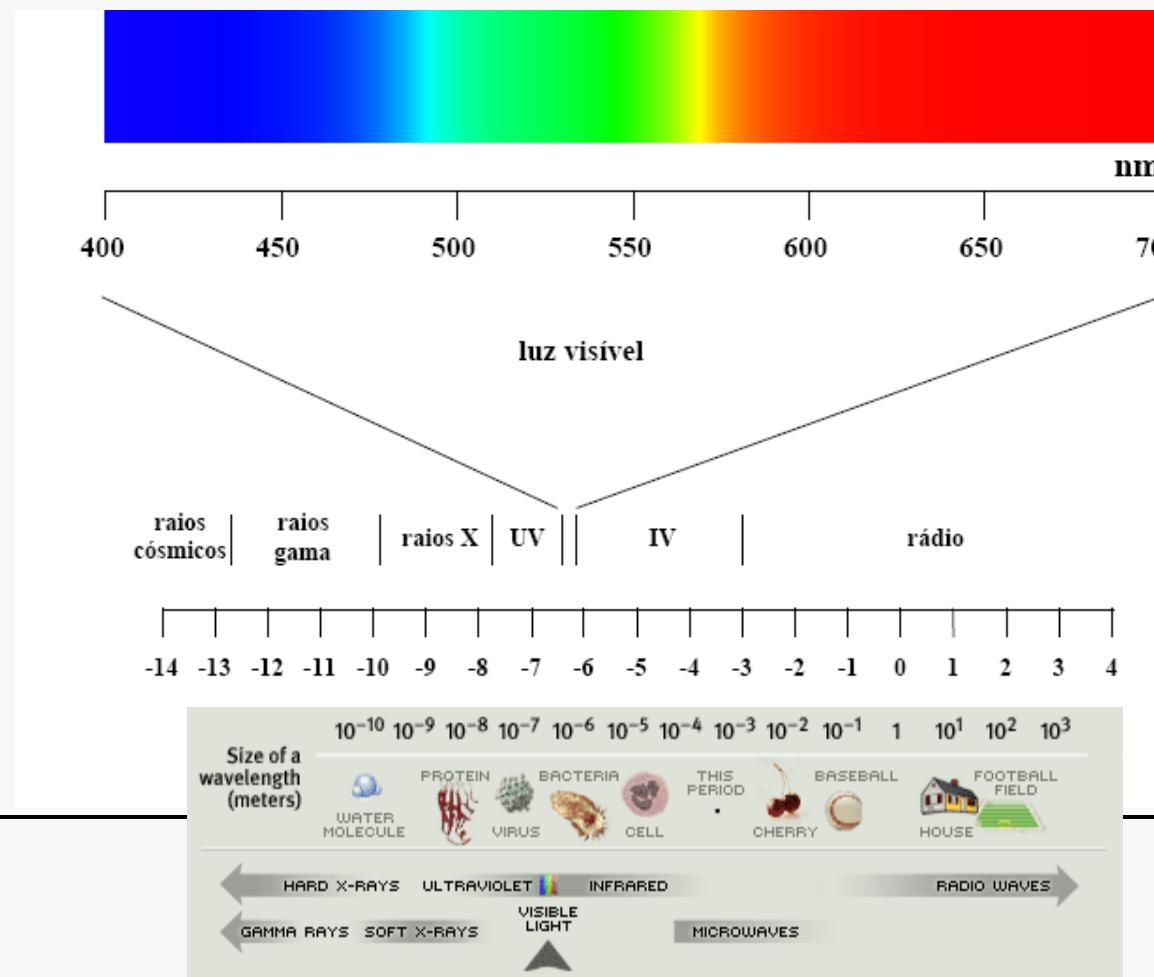
A Luz, demora ~1.2 segundos a chegar à Lua

- $(E = h \cdot v, c = \lambda \cdot v)$ 
  - $h$  é a constante de Planck ( $6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ )
  - $\lambda$  é o comprimento de onda (nm)



# Espectro visível

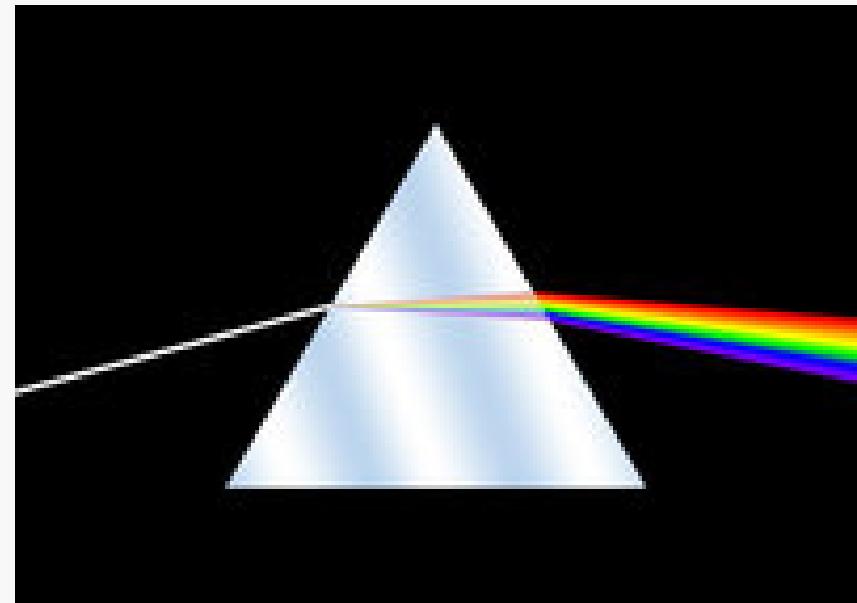
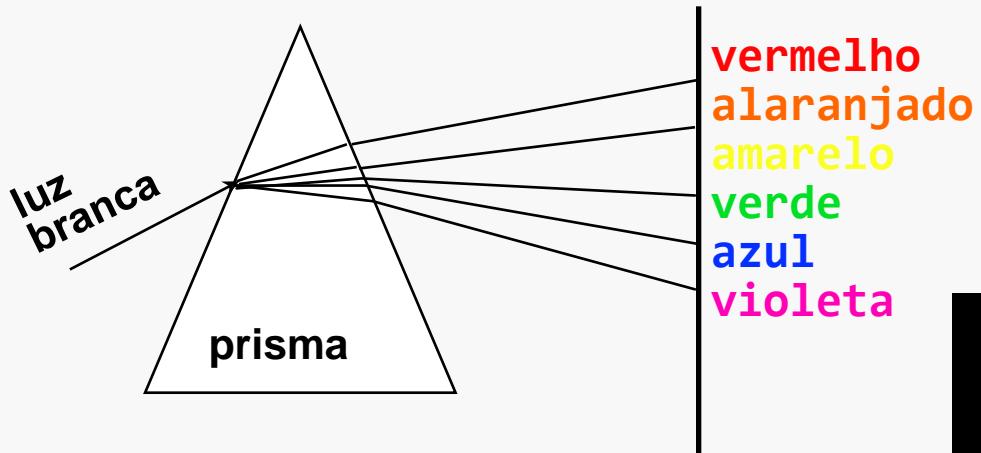
- Nem todas as cores visíveis estão representadas na figura
  - São combinações de comprimentos de onda menores (azuis) e maiores (vermelho)
  - Por exemplo, a cor branca corresponde à detecção simultânea de todos os comprimentos de onda com intensidade equivalente



# A luz branca

---

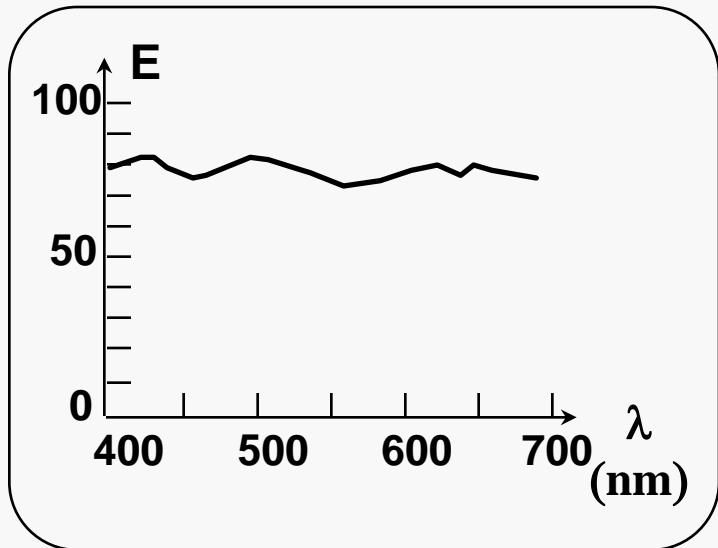
- A luz branca (acromática) tem todos os comprimentos de onda



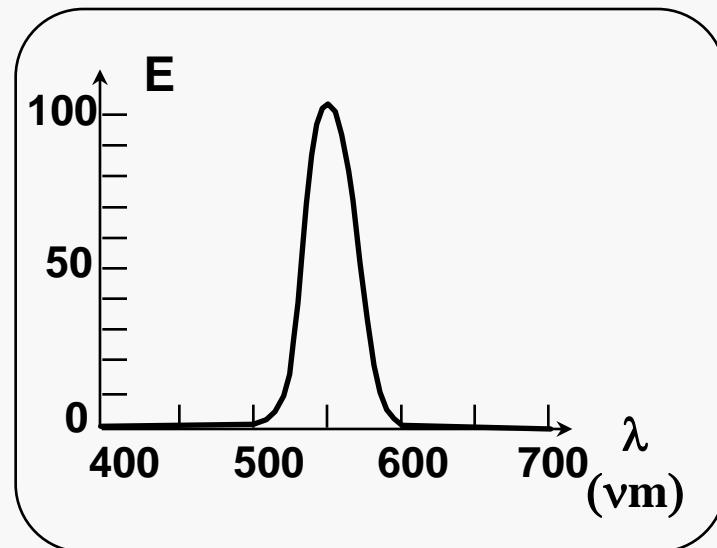
# Fontes luminosas

---

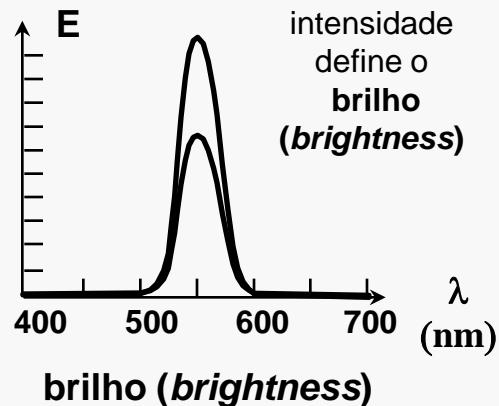
*fonte luminosa branca*



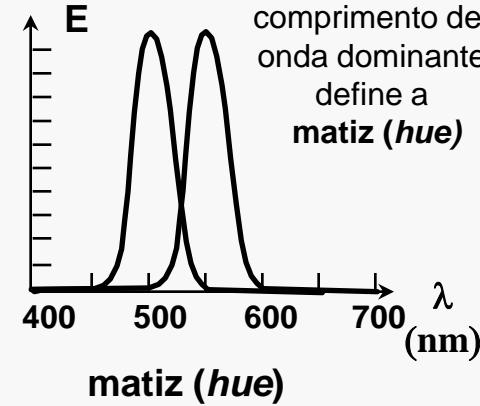
*fonte luminosa colorida*



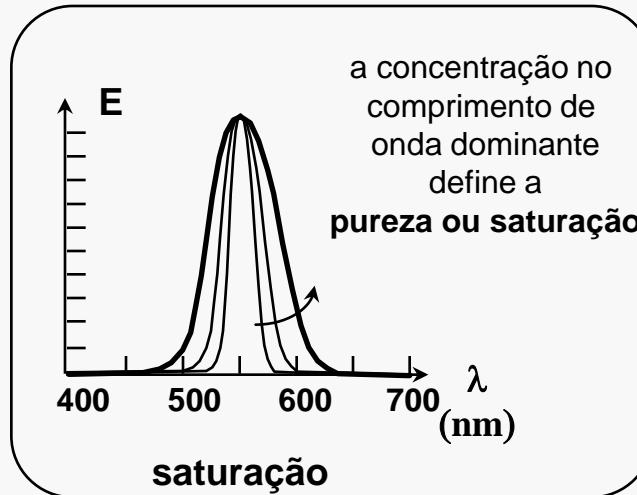
# Características das fontes luminosas



**brilho (brightness)**



**matiz (hue)**



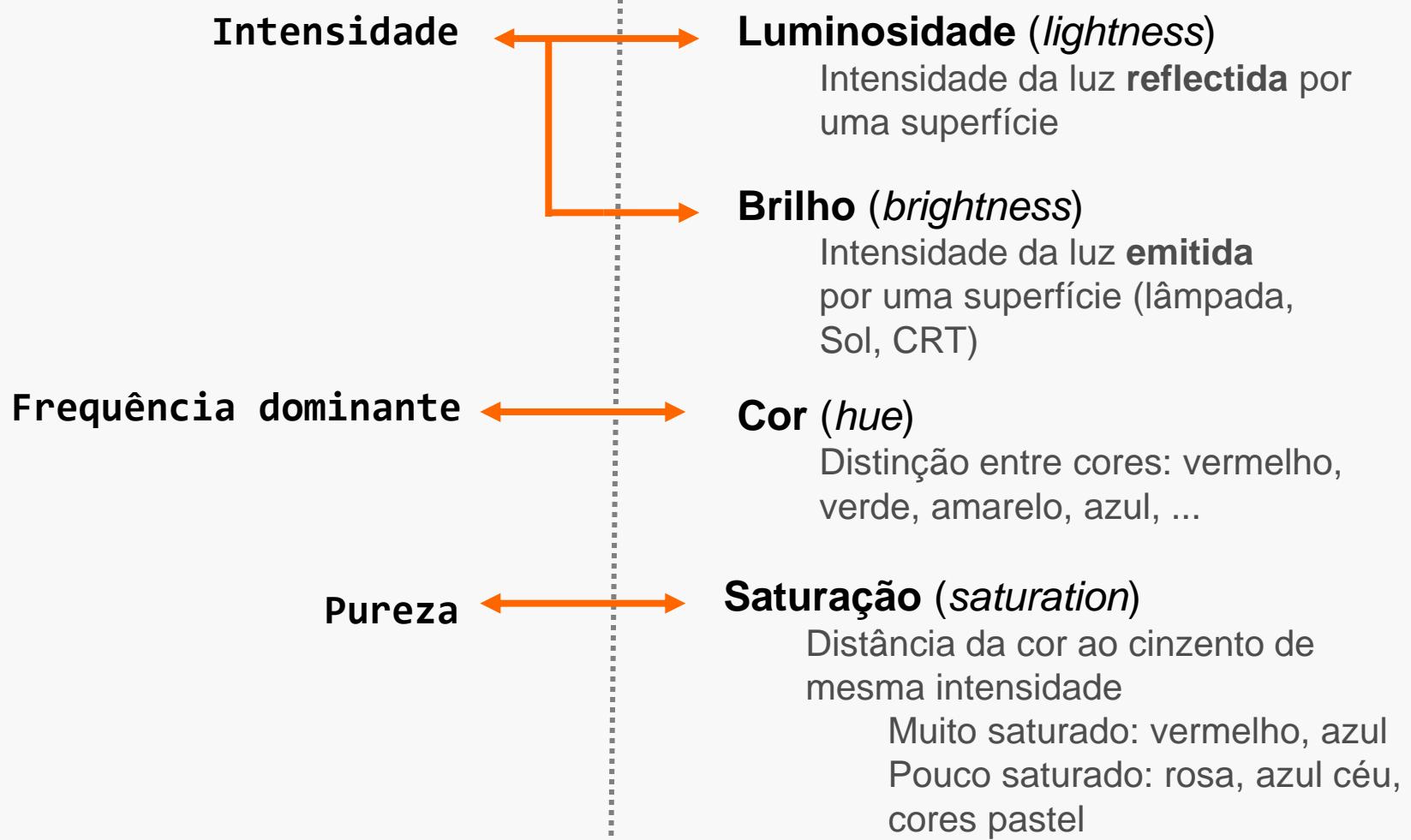
**saturação**

cores pastéis  
são menos  
saturadas ou  
menos puras

# Caracterização da Cor

Físicos

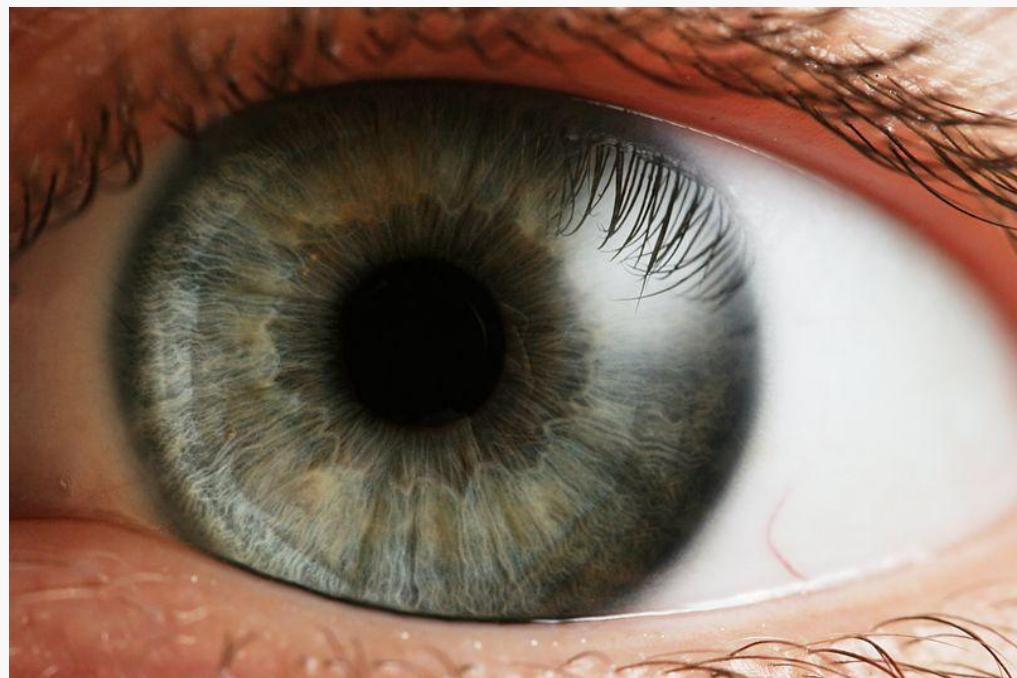
Perceptíveis



# Fisiologia da visão

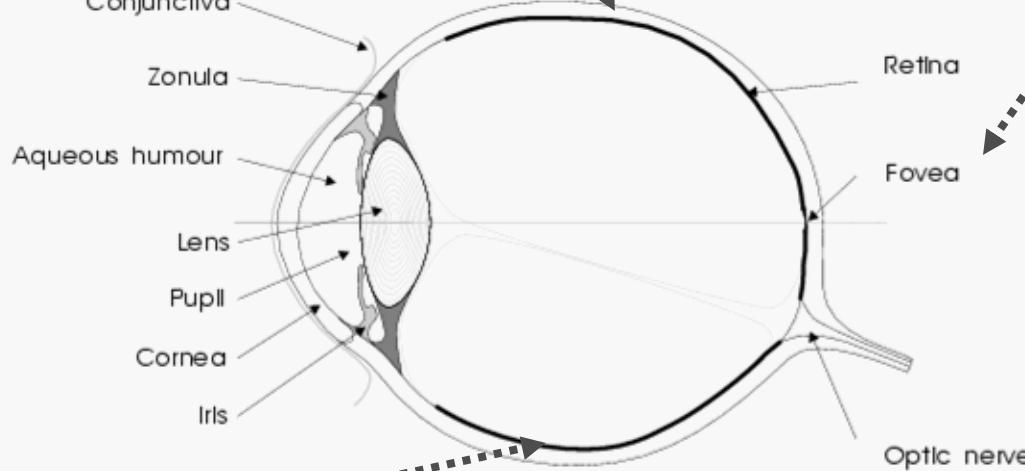
---

- Dois tipos de células, com papéis diferentes
  - **cones e bastonetes**
- Transformam os fotões em impulsos nervosos, enviados para o cérebro através do nervo óptico
- O cérebro processa os impulsos e interpreta-os como imagens
- Na presença de várias imagens ao longo do tempo, interpreta as diferenças entre estas como movimento dos objectos visionados



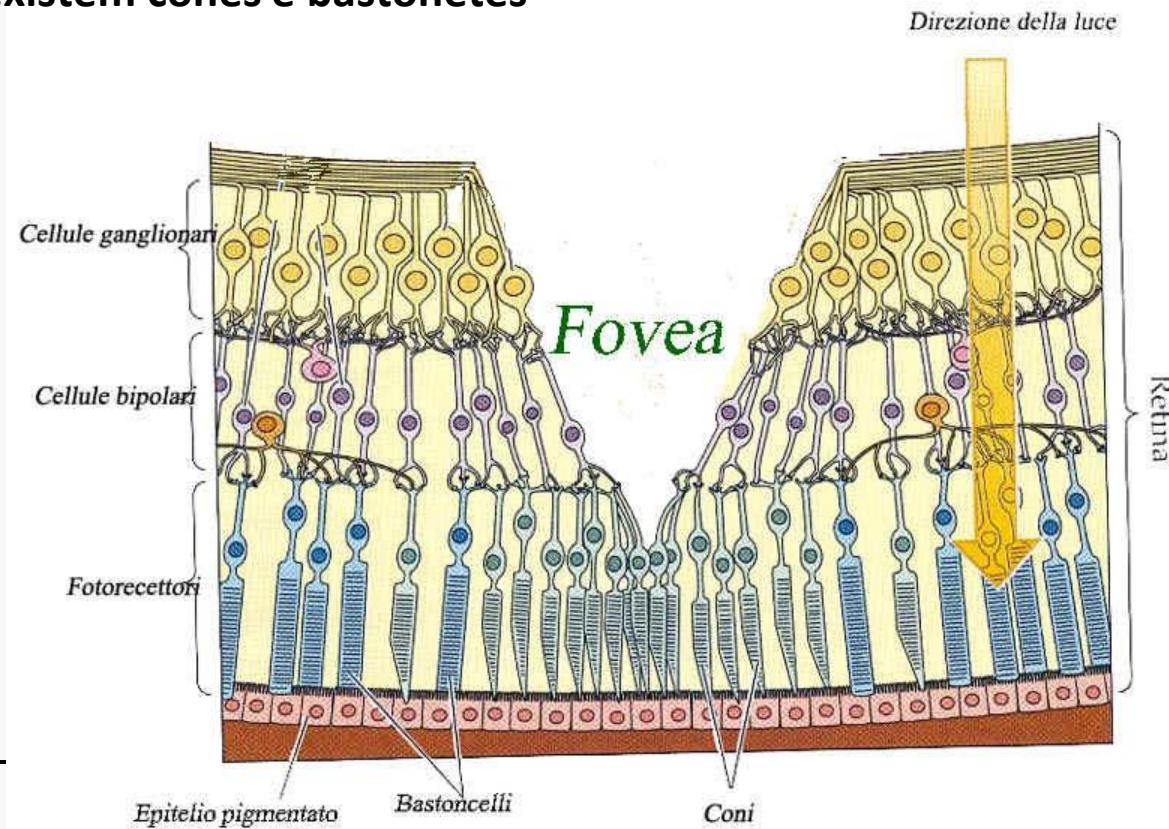
# Fisiologia da visão

- Número de cones e bastonetes
  - 115 a 120 milhões de bastonetes ( $60\mu\text{m}$  de comprimento e  $2\mu\text{m}$  de espessura)
  - 6,8 milhões de cones (mais curtos que os bastonetes e  $6/7\mu\text{m}$  na secção média)



# Distribuição de cones e bastonetes I

- A distribuição de cones e bastonetes na retina **não é uniforme**
  - Na fovea centralis, localizada no centro da retina (com 1,5mm de diâmetro) **apenas existem cones**
  - Em torno da fovea centralis localiza-se a macula centralis (com 1cm de diâmetro) onde **existem cones e bastonetes**



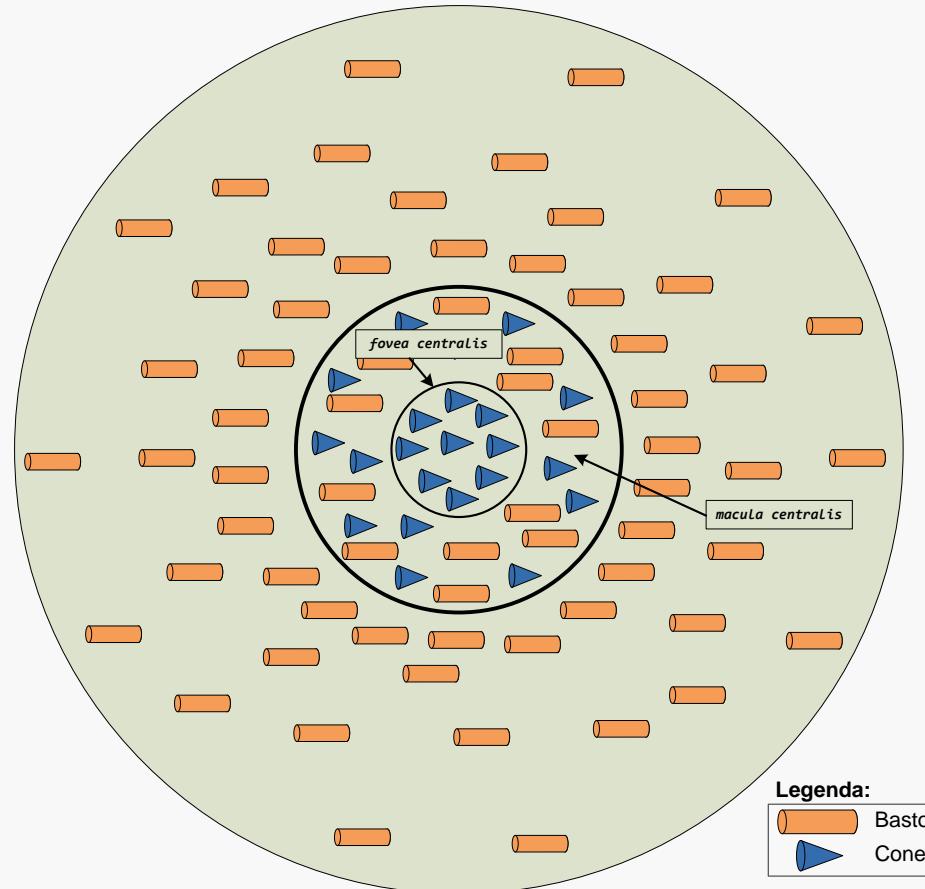
# Distribuição de cones e bastonetes II

- No resto da retina **apenas existem bastonetes**, cuja densidade vai diminuindo à medida que aumenta a distância ao centro da retina
- Esta distribuição gera a
  - Visão periférica
    - Apenas detecta formas e movimento de objectos sem grande detalhe e sem cor
  - Visão central
    - Identificar pormenores, cores e realizar a focagem do olho



Porquê?

*Ver slides seguintes...*



# Bastonetes

---

- Características dos bastonetes
  - 115 a 120 milhões de bastonetes ( $60\mu\text{m}$  de comprimento e  $2\mu\text{m}$  de espessura)
  - Sensíveis à intensidade luminosa **em todo o espectro visível**
    - **Não detectam cor**
    - **Apenas detectam intensidades (tons de cinzento)**
  - Proporcionam
    - Detecção da forma dos objectos (identificação das arestas por alteração da luminosidade nas faces dos objectos)
    - Visão nocturna e visão periférica
    - Informação necessária à orientação

# Cones

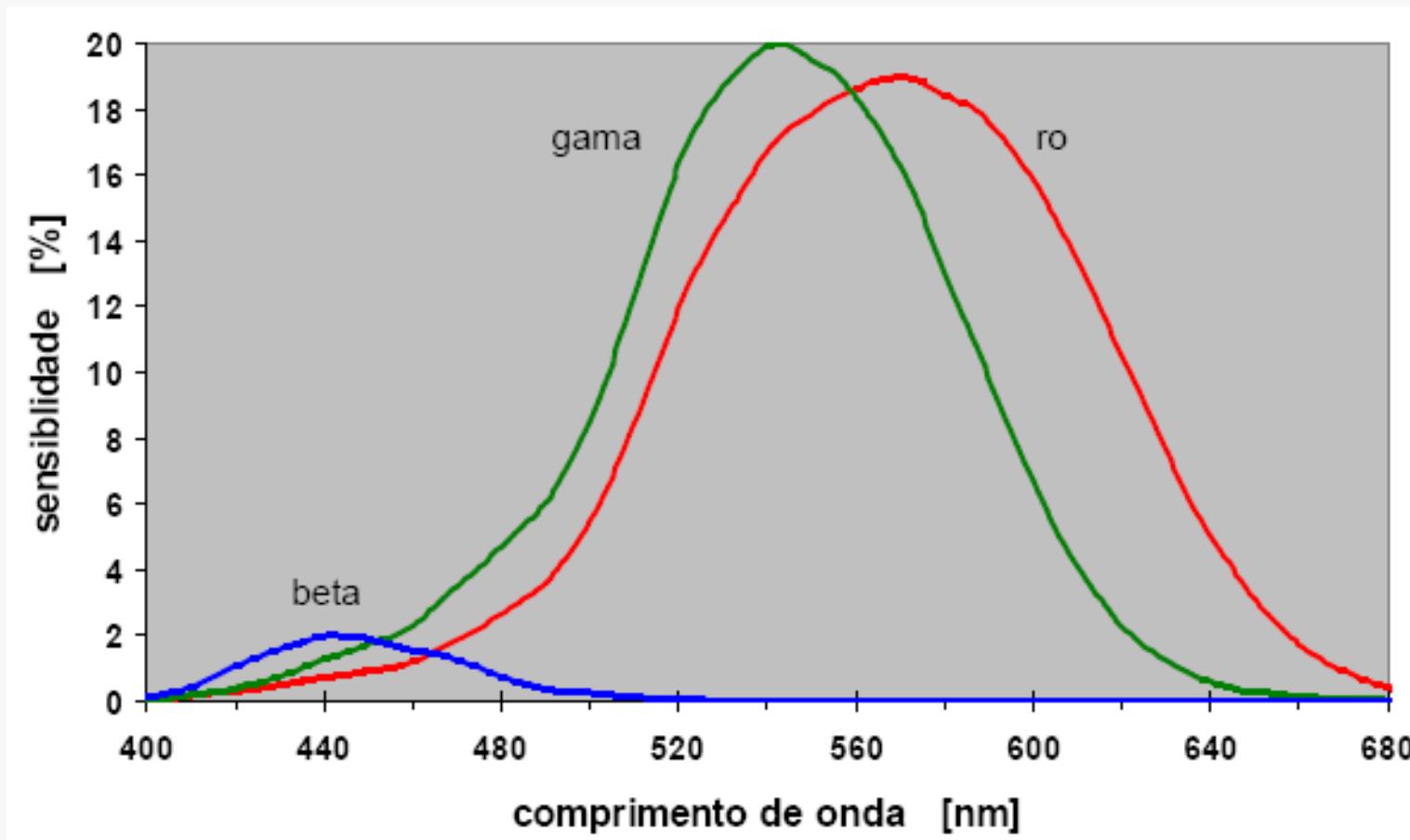
---

- Características dos cones
  - 6,8 milhões de cones (mais curtos que os bastonetes e  $6/7\mu\text{m}$  na secção média)
  - São sensíveis à intensidade luminosa apenas em certas gamas de comprimentos de onda. Existem três tipos de cones:
    - Sensíveis à luz na **zona do azul** (tipo  $\beta$  [beta])
    - Sensíveis à luz na **zona do verde** (tipo  $\gamma$  [gama])
    - Sensíveis à luz na **zona do vermelho** (tipo  $\rho$  [ró])
  - Os cones necessitam de níveis de luminosidade mais elevados que os bastonetes. Por este motivo, o olho humano não é capaz de detectar cor em condições de iluminação muito fraca (p.ex: à noite ou quarto escuro)

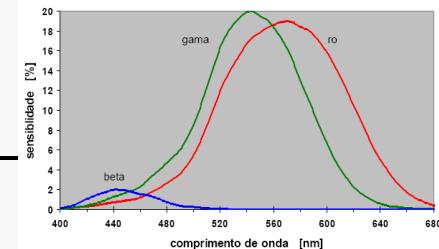
# Cones – Sistema 3D

---

- Sensibilidade dos diferentes tipos de cones



# Teoria dos três estímulos



- Em conjunto, os cones da retina detectam luz na gama de comprimentos de onda situada entre 350nm e 700nm
  - Estes valores podem varia de pessoa para pessoa
- Os comprimentos de onda entre 400nm e 600nm são detectados por todos os cones
  - Inferiores a 400nm apenas são detectados pelos cones  $\beta$
  - Superiores a 600nm apenas são detectados pelos cones  $\gamma$  e  $\rho$

		$\beta$	$\gamma$	$\rho$
Azul	(488nm)	24%	29%	18%
Verde	(514nm)	45%	70%	52%
Vermelho	(633nm)	0%	5%	36%
Ciano	(500nm)	12%	43%	29%
Amarelo	(550nm)	0%	98%	94%

# Modelação da cor

---

- Modelos empíricos são subjectivos
  - Juízo pessoal, fisiologia, iluminação, tamanho da amostra, etc...

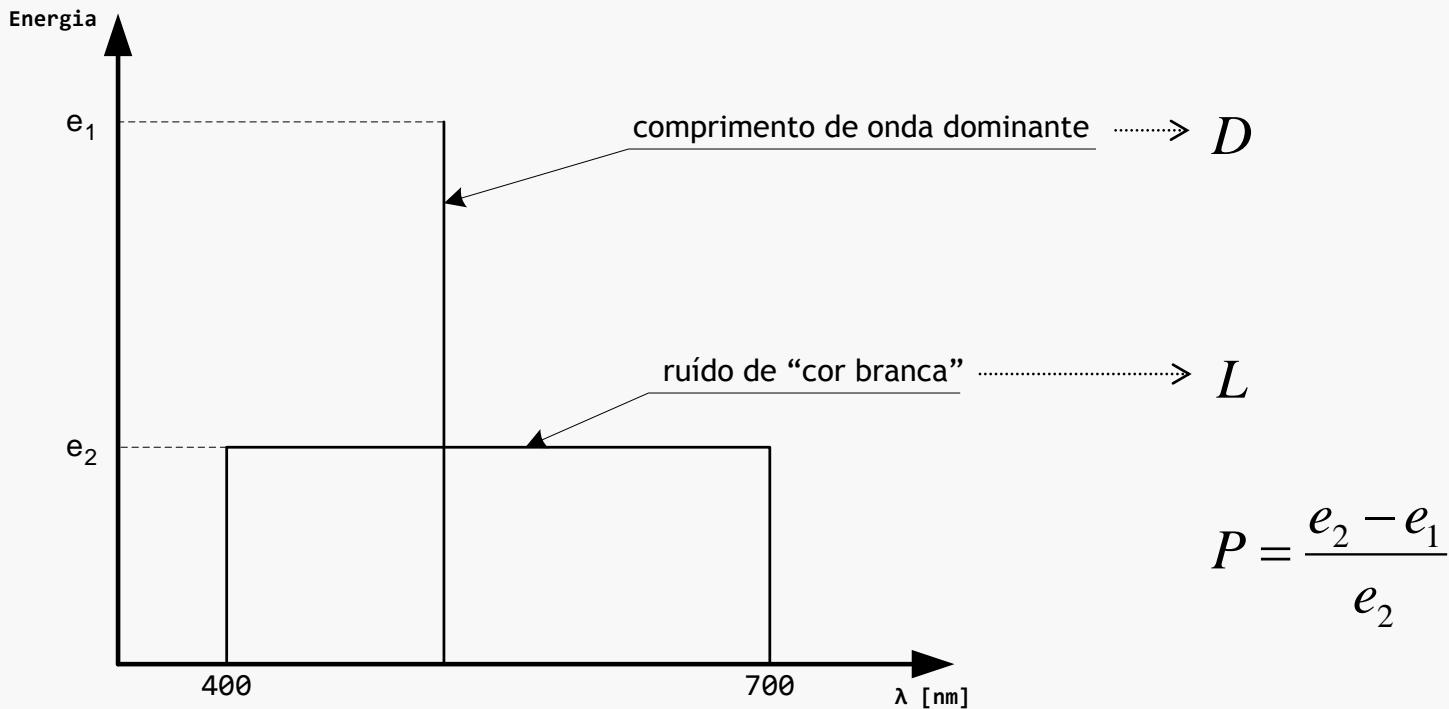


- Tendo em conta a teoria dos três estímulos, verifica-se que bastam três parâmetros para modelar a cor
  - O problema está na definição das grandezas utilizadas
  - A escolha é influenciada pela natureza dos dispositivos de saída

# Modelação da cor

---

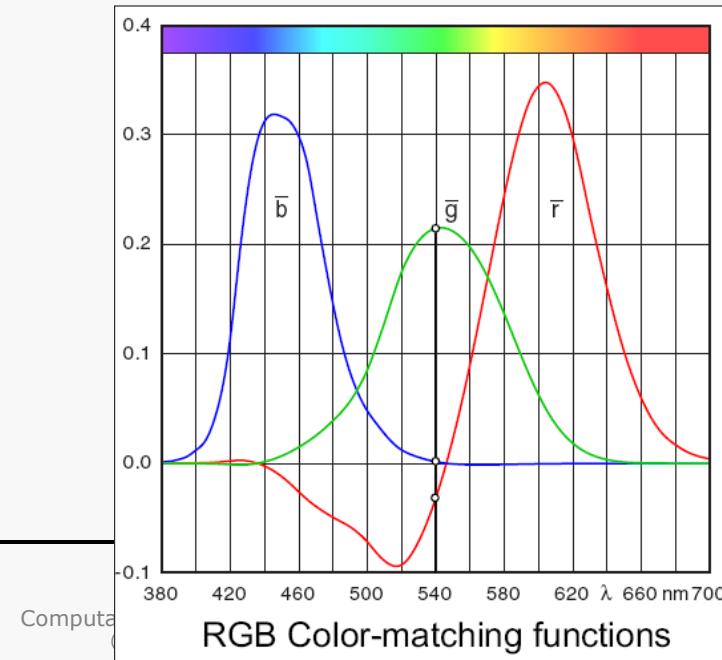
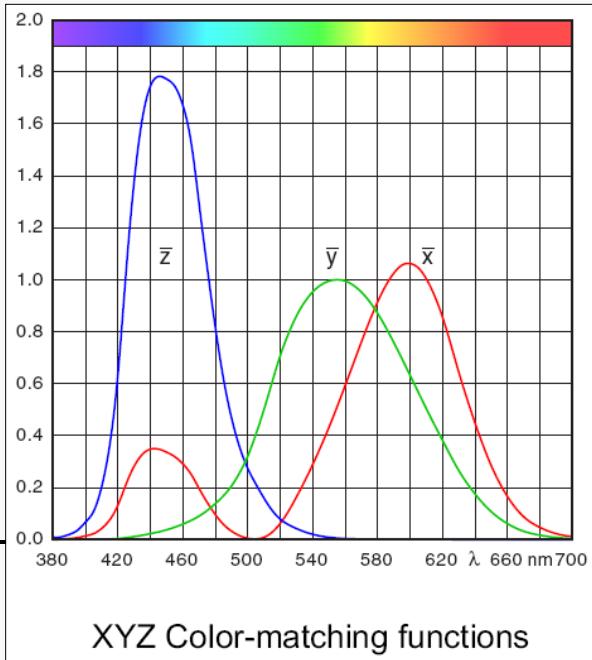
- Modelo DLP (*Dominant wave length, Luminosity, Purity*)
  - Comprimento de onda dominante (energia de luz emitida)
  - Pureza da excitação luminosa (saturação)



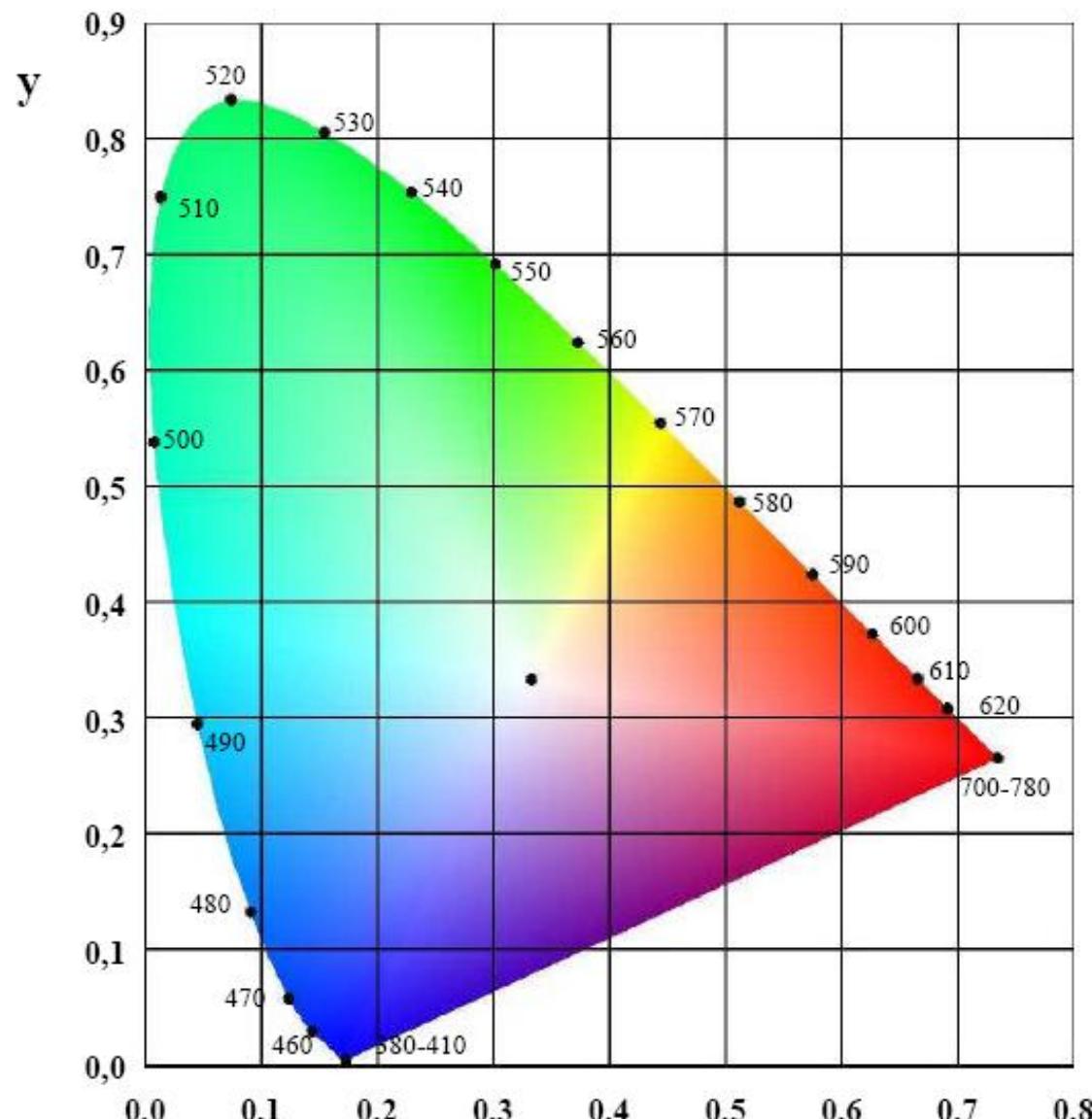
# Modelo CIE

- Diagrama CIE criado em 1931 pela CIE (*Commision Internationale de l'Eclairage*)
- Base de todos os modelos
- Criado para resolver o problema dos modelos baseados na mistura das cores vermelha, verde e azul
  - São usadas as cores X, Y e Z

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.49 & 0.31 & 0.20 \\ 0.17697 & 0.81240 & 0.01063 \\ 0 & 0.01 & 0.99 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix}$$

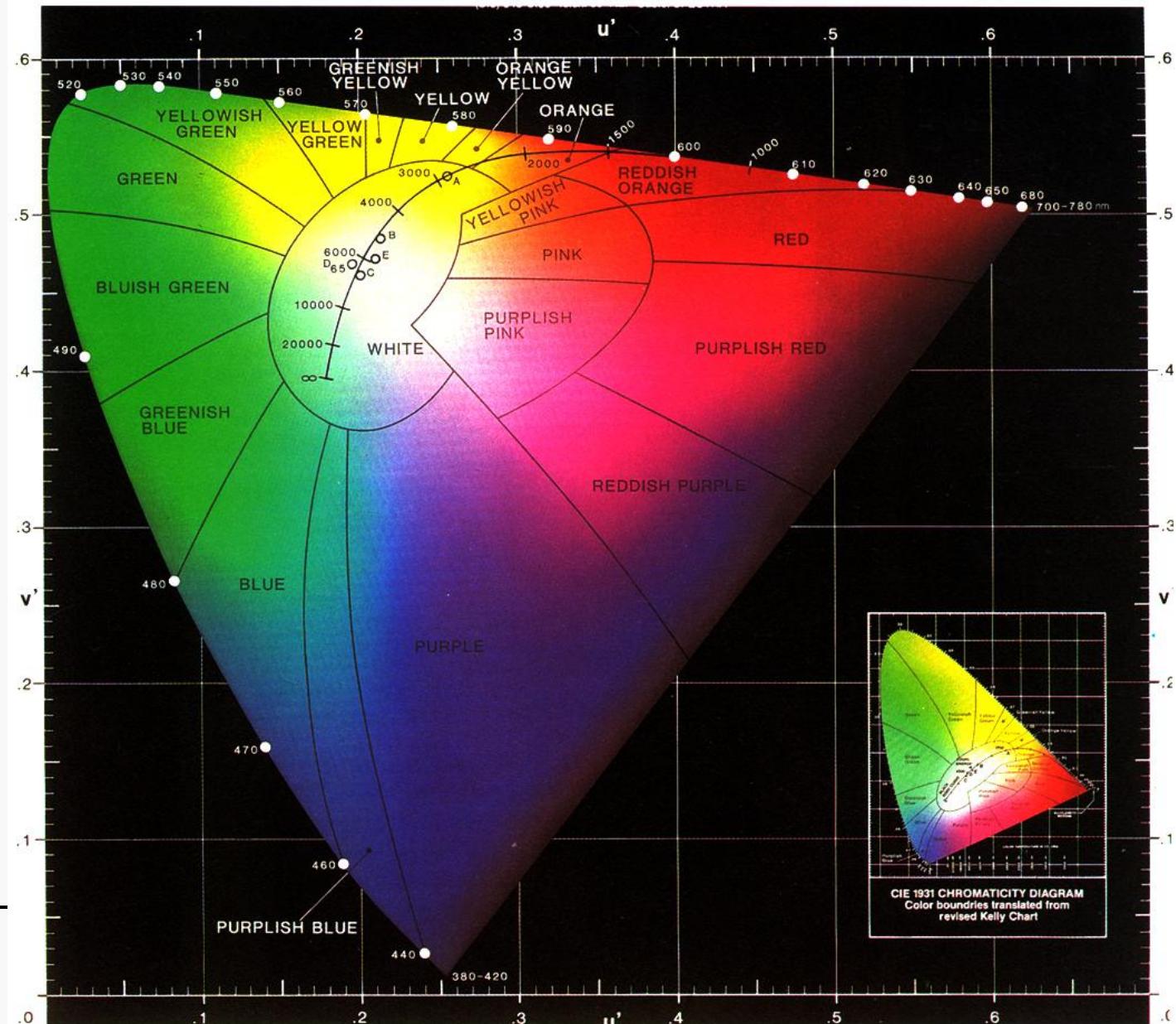


# Diagrama CIE de cromaticidade (1)



Cores espectrais  
correspondem a  
pontos na fronteira  
do diagrama de  
cromaticidade

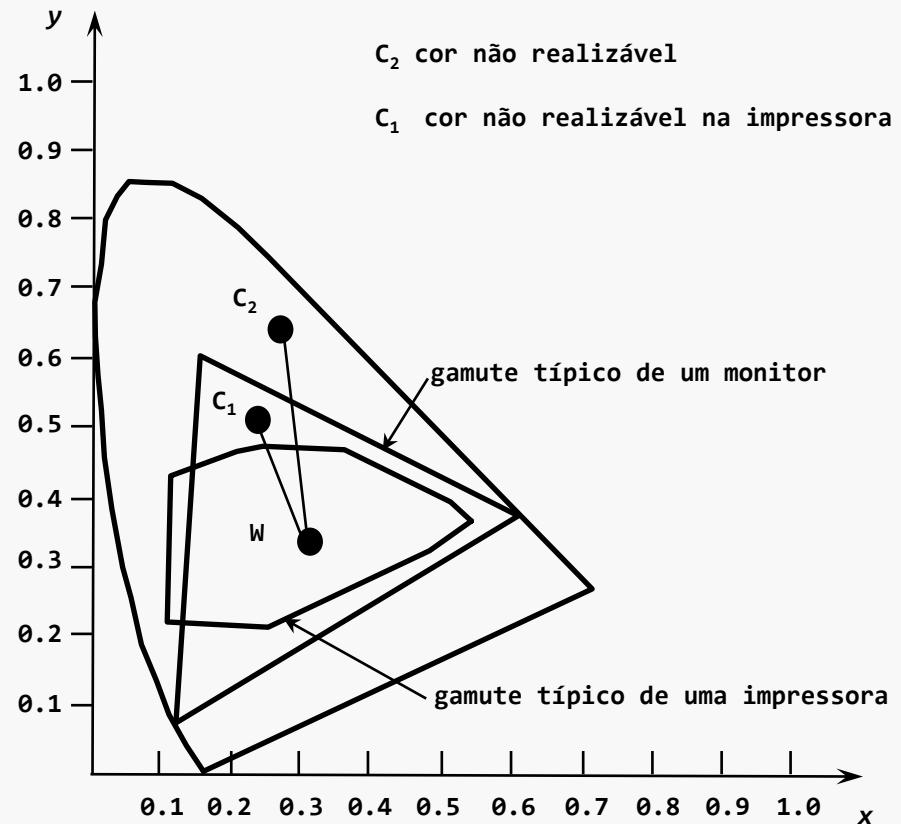
# Diagrama CIE de cromaticidade (2)



# Gamut

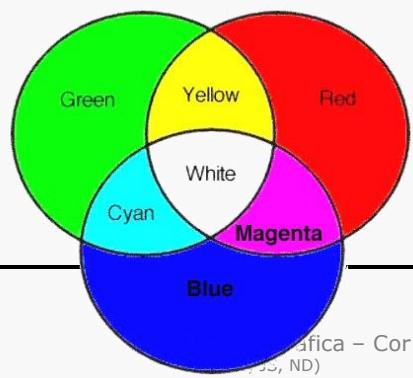
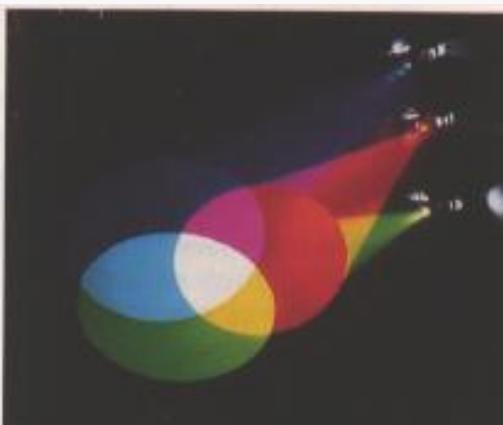
---

- Gamut: Cores que podem ser representadas em determinadas circunstâncias
  - Porção do espaço de cores que é observado em determinado dispositivo de saída
  - São representados em áreas do diagrama CIE
- *O Holy Grail...*
  - Encontrar um *gamut* que cubra todo o espectro de luz visível

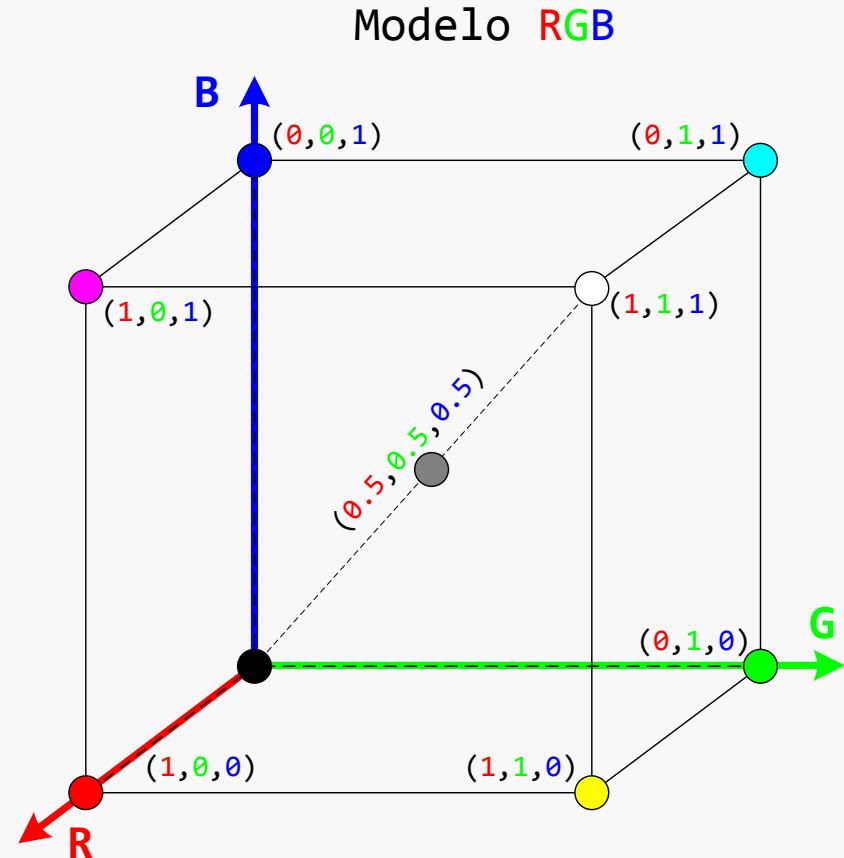
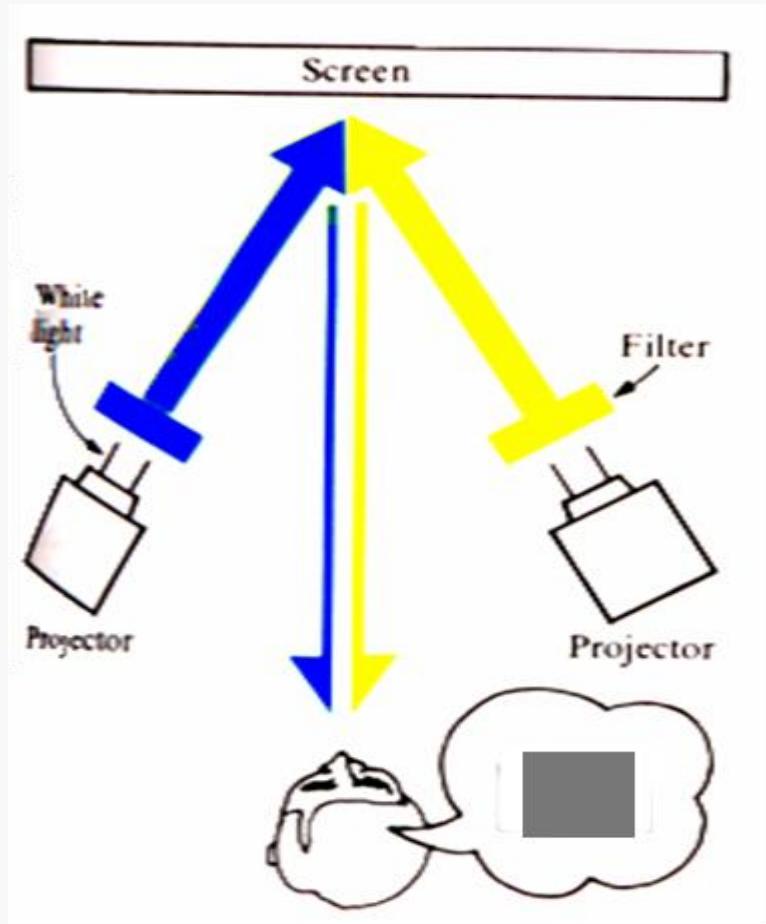


# Modelo RGB (1)

- Concebido com base nos dispositivos de saída gráfica com três cores primárias
  - Vermelho (**Red**), Verde (**Green**) e Azul (**Blue**)
- Modelo omissio em relação significado de cor pura
  - **Porque:** Não define o comprimento de onda a que corresponde cada uma das cores primárias
  - **Consequência:** Os monitores apresentam variações nas cores
- Modelo aditivo



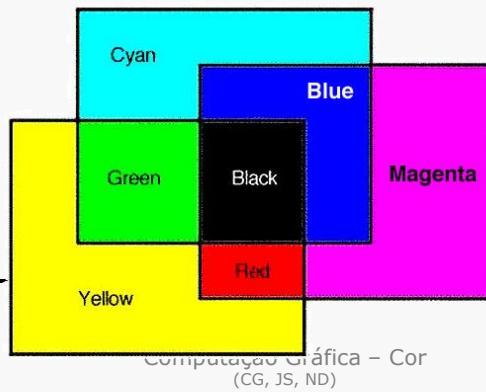
# Modelo RGB (2)



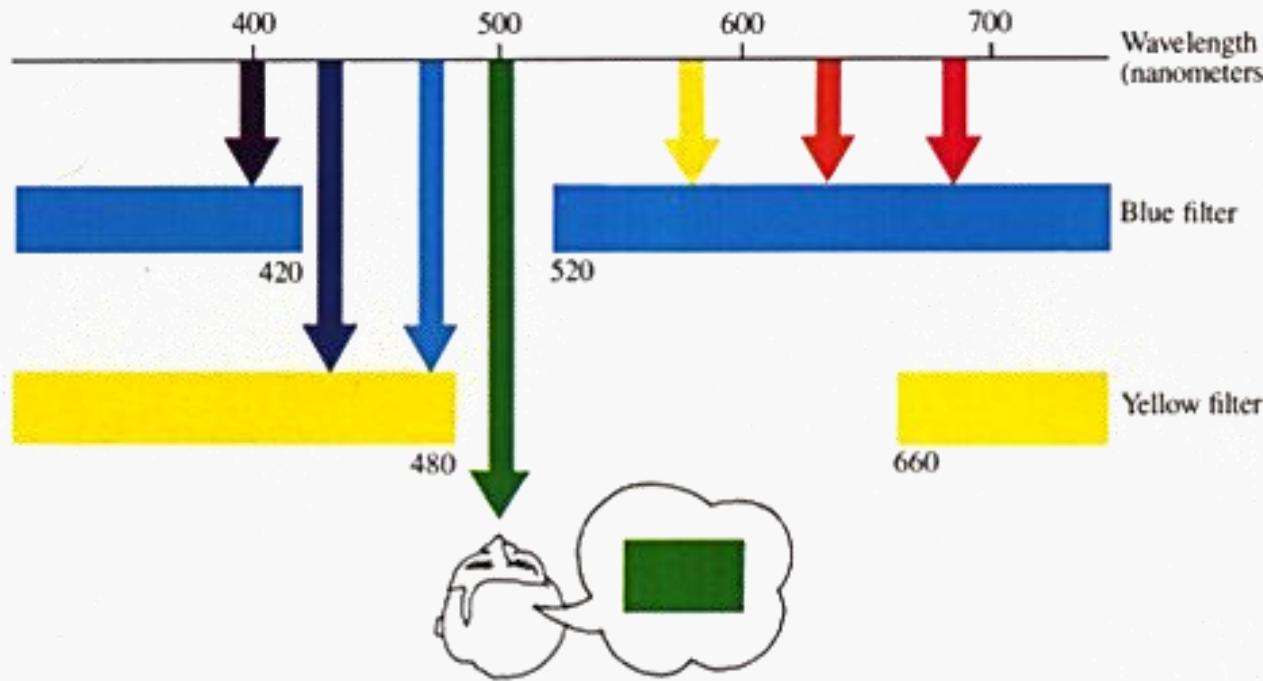
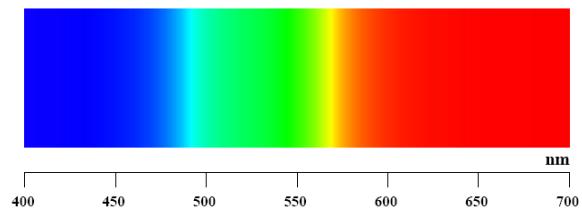
fonte: van dam

# Modelo CMY (1)

- Concebido baseado nas cores complementares
  - Cião (**Cian**), Magenta (**Magenta**) e Amarelo (**Yellow**)
- Tem por base os fenómenos que se verificam quando a luz incide sobre uma superfície
  - **Funcionamento:** Absorvem, reflectem e refractam a luz de forma desigual consoante o seu comprimento de onda
  - **Desvantagem:** Também não define comprimentos de onda
- Semelhante ao RGB, mas com origem na cor branca
- Modelo subtractivo



# Modelo CMY (2)



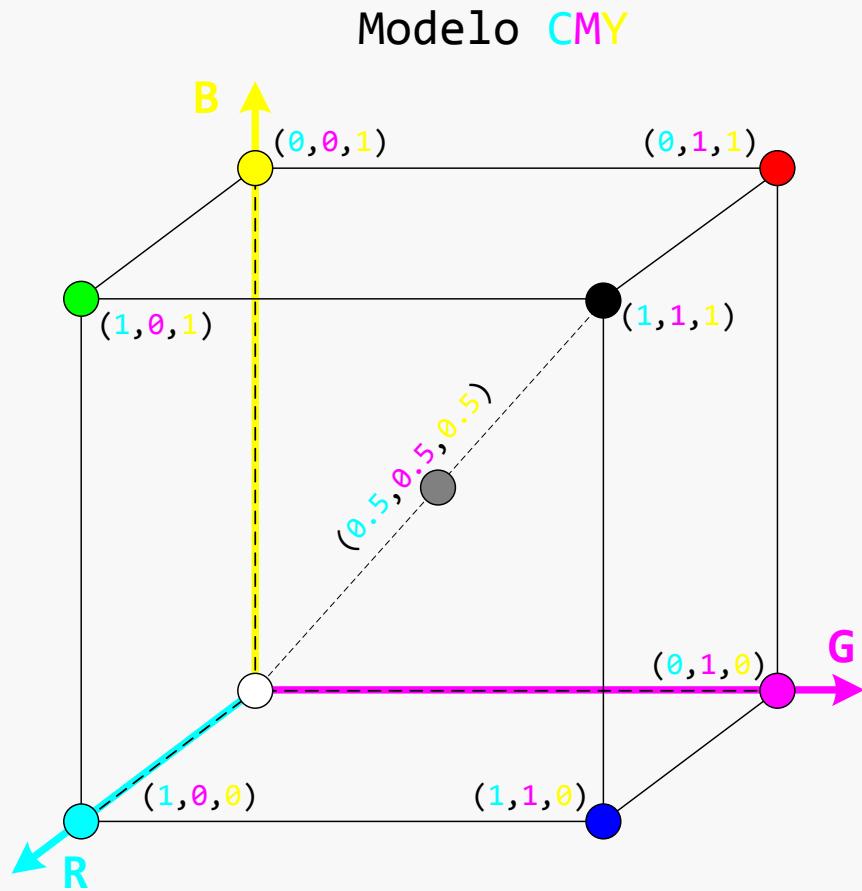
- O utilizador “vê” superfície à qual foram aplicados dois filtros
  - **Filtro azul**: deixa passar comprimentos de onda  $420 < \lambda < 520$
  - **Filtro Amarelo** : deixa passar comprimentos de onda  $480 < \lambda < 660$
- O utilizador recebe comprimentos de onda entre  $480 < \lambda < 520$  que se traduz na percepção da cor **verde**

# Modelo CMY (3)

- Transformação entre modelo RGB e CMY

$$\begin{bmatrix} c \\ m \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix}$$

- Modelo empregue em impressoras a cores
  - Motivo:** Falta de definição de comprimento de onda para as cores complementares, duas impressoras podem imprimir imagens “diferentes”
  - Solução:** Usar sistemas absolutos, como por exemplo, o sistema Pantone™



# Modelo CMYK

- **Problema:**

- A deposição das cores complementares não gera um preto perfeito

- **Solução:**

- Adição a componente K (Key)
  - Tons de cinzento da imagem
  - As impressoras incorporam um segundo tinteiro de cor preta
  - É usado o modelo CMYK

# Demo

---



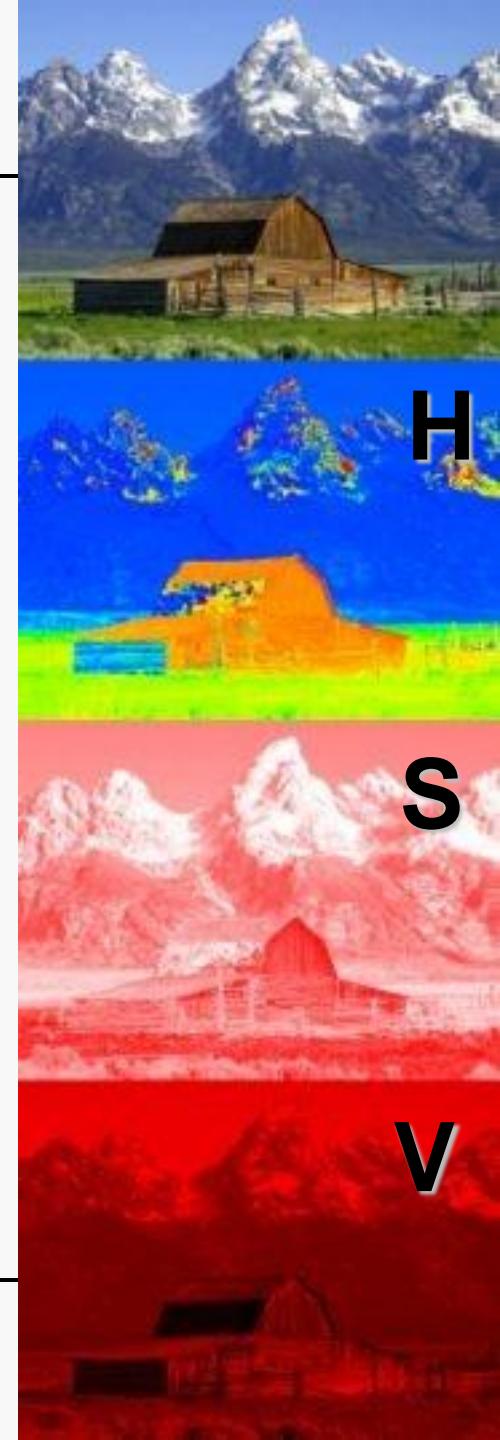
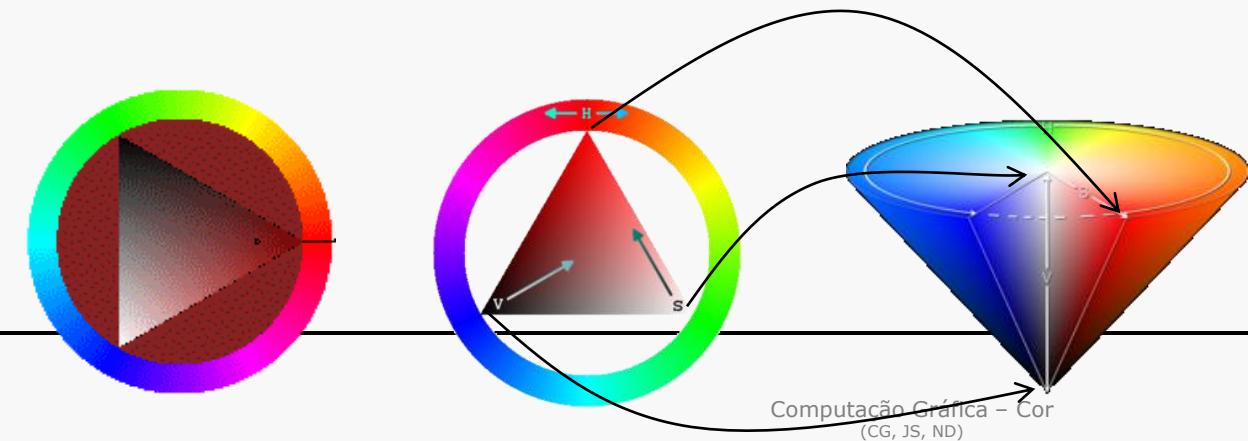
**Exploratories / Color Teory / Combined Color Mixing ([ver](#))**

[http://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/catalogs/color\\_theory.html](http://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/catalogs/color_theory.html)



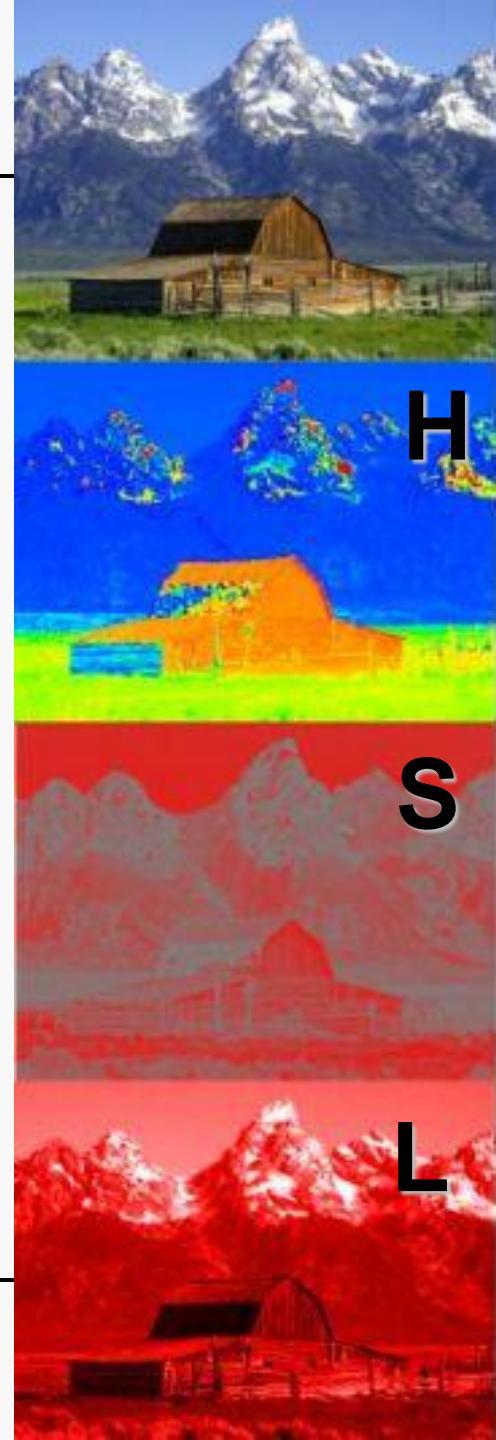
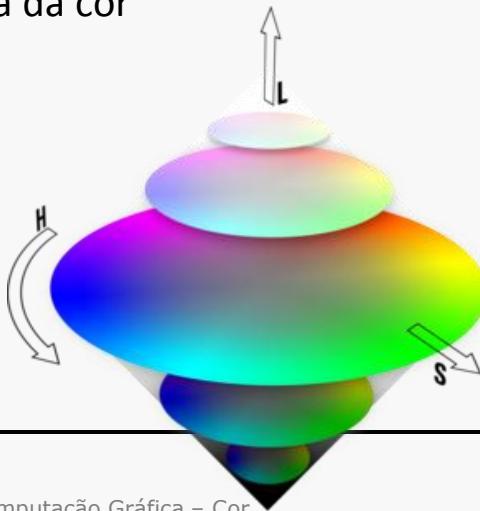
# Modelo HSV(B)

- Modelo baseado em
  - **Hue**: cor
    - varia de 0º a 360º
    - Modela o comprimento de onda dominante
  - **Saturation**: saturação
    - Varia de 0 a 100%
    - Também designada por pureza da cor
  - **Value (Brightness)**: valor (brilho da cor)
    - Varia de 0% (preto) a 100% (branco)



# Modelo HSL

- Modelo baseado em
  - **Hue**: cor
    - varia de 0º a 360º
    - Modela o comprimento de onda dominante
  - **Saturation**: saturação
    - Varia de 0% a 100%, designada por pureza da cor
  - **Lightness (luminance ou luminosity)**
    - Varia de 0% (preto) a 100% (branco)
    - Também designada por pureza da cor
- Modelo simétrico em relação à luminosidade *lightness* e *darkness*



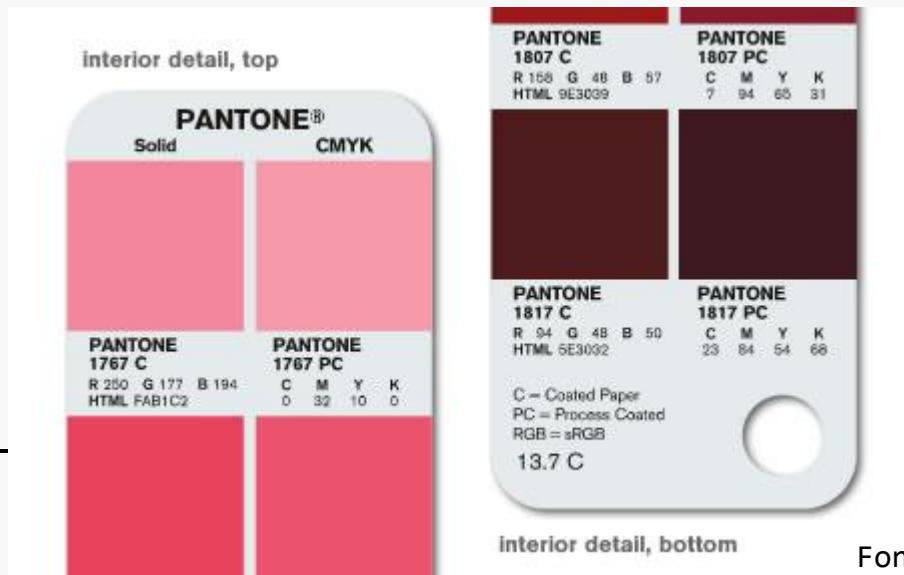
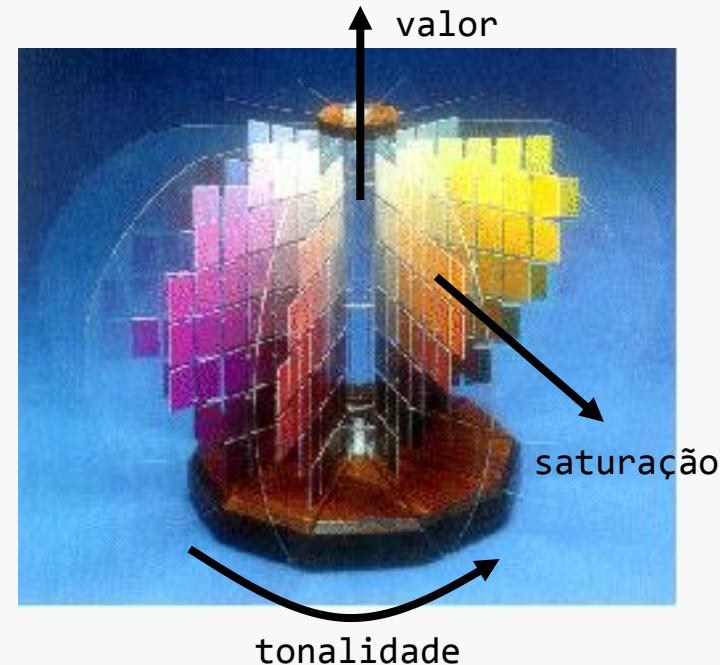
# Comparação entre HSV e HSL

---

- HSL é semelhante ao HSV, com a vantagem de espelhar melhor a noção de saturação e luminosidade, sendo dessa forma melhor para os artistas
- Aplicações que usam HSV (HSB):
  - Apple [Mac OS X](#) system color picker (*has a color disk for H/S and a slider for V*)
  - [The GIMP](#)
  - [Xara Xtreme](#)
  - Paint.NET (*has a color disk for H/S and a slider for V*)
  - Adobe graphic applications ([Illustrator](#), [Photoshop](#), and others)
- Aplicações que usam HSL:
  - Especificação [CSS3](#)
  - [Inkscape](#) (a partir da versão 0.42)
  - [Macromedia Studio](#)
  - [Microsoft Windows](#) system color picker (incluindo [Microsoft Paint](#))
  - [Paint Shop Pro](#)
  - [ImageMagick](#)

# Sistemas baseados em amostras

- Baseados na cor, saturação e luminância
- Sistema Munsell (1915)
  - Usa critério de uniformidade perceptual
- Pantone™ (1960)
  - Desenvolvido pela indústria gráfica
  - Usado no processo de impressão em papel



Fonte: <http://www.pantone.com>

# Caracterização da Cor

---

- **Cor (hue)**
  - Comprimento de onda dominante
  - Distinção entre cores: vermelho, verde, amarelo, azul, ...
- **Saturação (saturation)**
  - Distância da cor ao cinzento de mesma intensidade
    - Muito saturado: vermelho, azul
    - Pouco saturado: rosa, azul céu, cores pastel
- **Luminosidade (lightness)**
  - Intensidade da luz **reflectida** por uma superfície
- **Brilho (brightness)**
  - Intensidade da luz **emitida** por uma superfície (lâmpada, Sol, CRT)

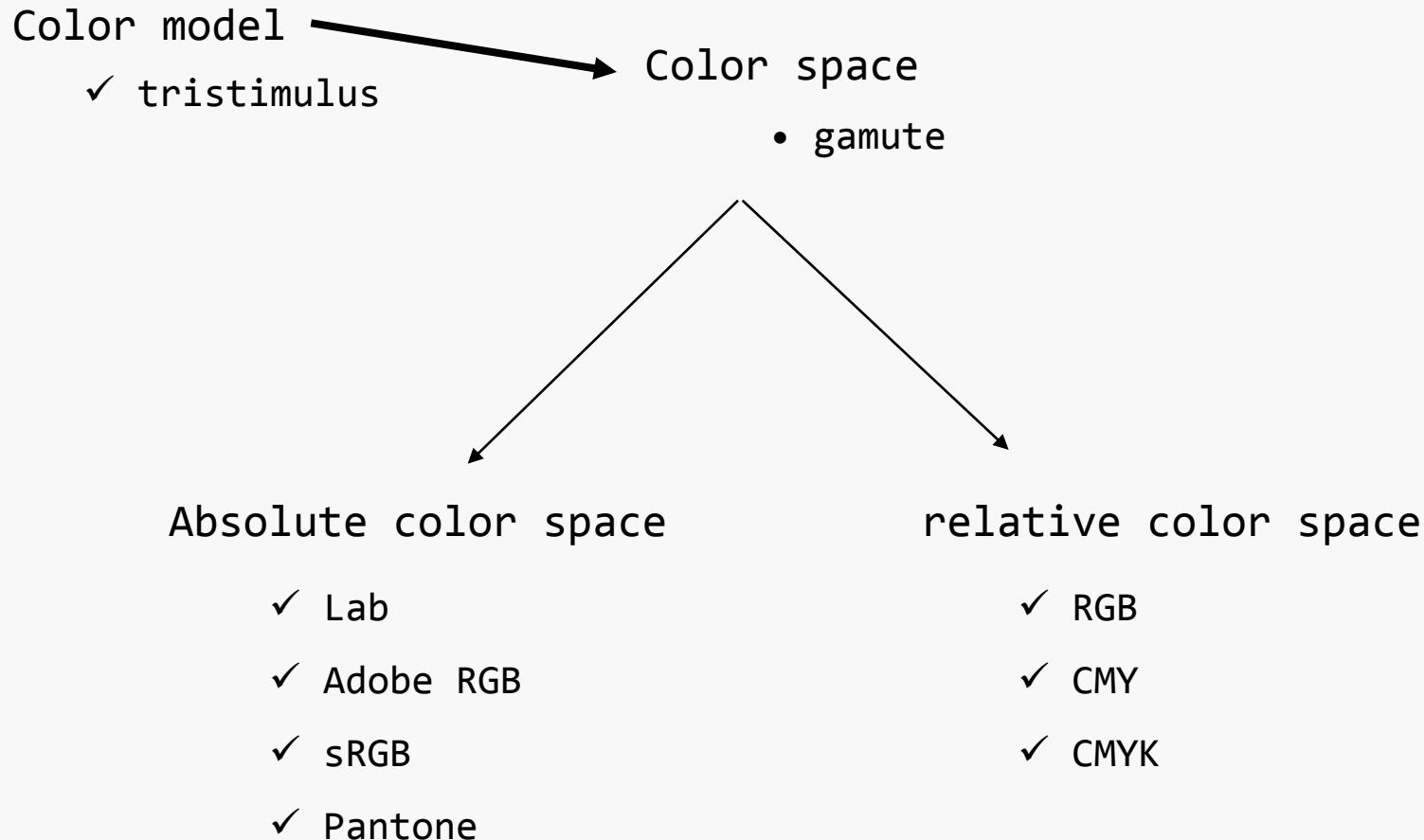
# Cores

---

- **Acromáticas**
  - Preto
  - Cinzento escuro
  - Cinzento
  - Cinzento claro
  - Branco
  
- **Cromáticas**
  - **Violeta**
  - **Anil**
  - **Cião**
  - **Verde**
  - **Amarelo**
  - **Laranja**
  - **Vermelho**
  
- **Saturação (cor vermelha)**
  - Pálido
  - Moderado
  - Forte
  - Intenso
  
- **Luminosidade (cor vermelha)**
  - Muito escuro
  - Escuro
  - Médio
  - Claro
  - Muito Claro

# Resumindo....

---



# Palettes

- Subconjunto de cores cuja definição da cor é feita através de índice numa tabela de cores (*palette*)
  - Minimiza o espaço ocupado pela imagem



Monochrome (1 bit)

2 bit grayscale  
usado no gameboy3 bit RGB  
Usado no teletexto6 bit RGB  
EGA (Enhanced Graphics Adapter)12 bit RGB  
4098 cores  
usado no Amiga

# Emprego da cor em CG (1)

---

- Objectivos na utilização da cor
  - Estético
  - Atrair atenção, realçar
  - Transmitir emoções e estados de espírito
  - Realismo
  - Associar áreas, destacando organização
  - Codificar mensagens (perigo, cuidado, avançar, parar, etc...)
  - Facilita a percepção e a aprendizagem

# Emprego da cor em CG (2)

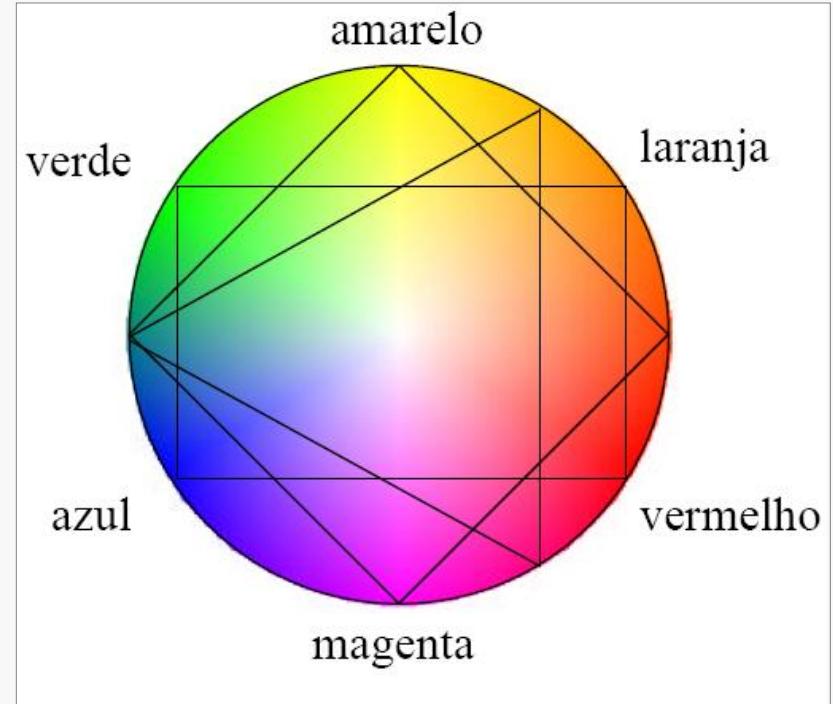
- Princípios gerais
  - O emprego da cor deve ser moderado
  - Deve-se começar por preto e branco e passar a cor (quanto baste)
    - Motivos: daltonismo, dispositivos monocromáticos ou com poucas cores
  - Deve realizar o objectivo pretendido
    - Para não ser mal interpretado
    - Ex: Colocar uma mensagem de sucesso a vermelho!
  - Testar para identificar e corrigir problemas assim como identificar preferências
  - Sempre que possível deixar o utilizador escolher o seu esquema de cor
    - Ex: Ver a aplicação em tons de vermelho ou em tons de azul

Conceito	Cor	%
Parar	Vermelho	100
Avançar	Verde	99
Frio	Azul	96
Quente	Vermelho	95
Perigo	Vermelho	90
Precaução	Amarelo	81
Segurança	Verde	61
Ligado	Vermelho	50
Desligado	Azul	32
Morte	Preto	
Romantismo	Rosa	

Significado tipicamente atribuído às cores, na cultura ocidental

# Emprego da cor em CG (3)

- As cores devem ser escolhidas de forma a existir harmonia
  - Percurso suave num modelo
  - Planos ou cortes do espaço
  - Igual distância percentual
  - Não usar muitas cores



- Exemplos:
  - Num gráfico com **poucas cores**
    - Usar uma cor complementar na cor de fundo
  - Num gráfico com **muitas cores**
    - Usar um tom de cinzento na cor de fundo

# Emprego da cor em CG (4)

---

- Cuidados a ter com a cor
  - Devem ter em atenção aspectos culturais
  - Cores brilhantes/saturadas podem criar realces não desejados
  - Uso da mesma cor produz imediata associação de áreas
  - A cor usada deve contrastar com o fundo (tom e intensidade)
    - Azul e preto pouco diferem em brilho
    - Amarelo e branco são muito brilhantes
    - Marcação a amarelo de texto preto com fundo branco ou preto

<b>pouco contraste</b>	<b>Contraste adequado</b>	<b>Marcação de texto</b>
Azul sobre azul	Branco sobre azul	Branco sobre preto <b>marcado</b> a amarelo
Azul sobre preto	Branco sobre preto	Preto sobre branco <b>marcado</b> a amarelo
Amarelo sobre branco	Preto sobre branco	Preto sobre branco <b>marcado</b> a amarelo

# Referências

---

- Computer Graphics: Principles and Practice in C,  
James D. Foley, Andries van Dam, Steven K. Feiner, John F. Hughes,  
Addison-Wesley Professional; 2nd edition (1995)
  - Capítulo 13 (cor) e Capítulo 16 (iluminação)
- The Perception of Color: <http://webvision.med.utah.edu/KallColor.html>
- Color FAQ: <http://www.poynton.com/PDFs/ColorFAQ.pdf>
- Gernot Hoffmann, *CIE Color Space*:  
<http://www.fho-emden.de/~hoffmann/ciexyz29082000.pdf>
- J. M. Brisson Lopes, IST, *Cor e Luz*
- Exploratories / Color Theory / Combined Color Mixing
  - [http://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/repository/edu/brown/cs/exploratories/applets/combinedColorMixing/combined\\_color\\_mixing\\_guide.html](http://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/repository/edu/brown/cs/exploratories/applets/combinedColorMixing/combined_color_mixing_guide.html)
- Causes of Color: <http://webexhibits.org/causesofcolor/index.html>

