



Ciências  
ULisboa | Informática

# Computação Gráfica 2020/2021

Licenciatura em Engenharia Informática  
3º ano, 1º semestre

Guião das Aulas Teóricas  
CG2020-05

Ana Paula Cláudio

**COR**

# Quantas cerejas?



# Quantas cerejas?



## Há diferença na cor dos quadrados centrais?



**Os quadrados pequenos têm a mesma cor  
embora não pareçam por estarem em contextos diferentes**

## Há diferença na cor dos quadrados centrais?



**Mais surpreendentes são os arranjos que fazem duas cores diferentes  
parecerem iguais: os quadrados pequenos têm as seguintes cores**



## A cor é um fenómeno físico

- A cor não existe em si de forma independente da luz.
- A cor é gerada pela luz.

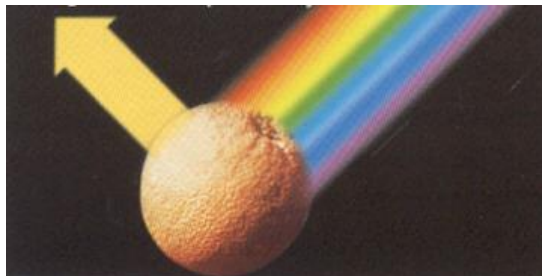


Isaac Newton  
1666

A luz branca ao incidir num prisma de vidro decompõe-se nas várias **cores-luz**.

## Cor dos objectos

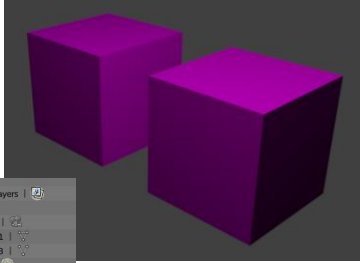
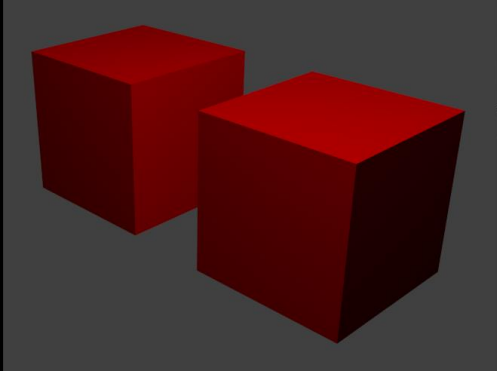

Um objecto iluminado com luz branca parece-nos cor-de-laranja, porque absorve todas as cores-luz do espectro excepto a componente cor-de-laranja



- parte da **luz branca incidente** foi absorvida pelo objecto e transformou-se em calor,
- a outra foi **reflectida** e atingiu a nossa visão que a recebeu e a interpretou como cor-de-laranja.

A cor dos objectos é percebida de forma diferente consoante a cor da luz que os ilumina

Iluminados com luz Branca

Os mesmos objectos iluminados com Luz Amarela

---

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt CG2020-05

A **cor é importante** porque podemos usá-la, por exemplo, nas interfaces para transmitir determinado tipo de informação.

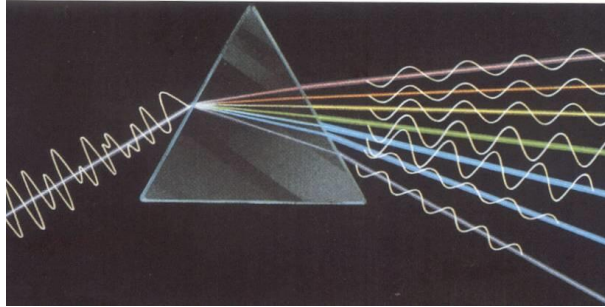
**A cor tem, habitualmente, uma semântica associada!**

**Temos a capacidade de distinguir cerca de 700 tons diferentes!**

---

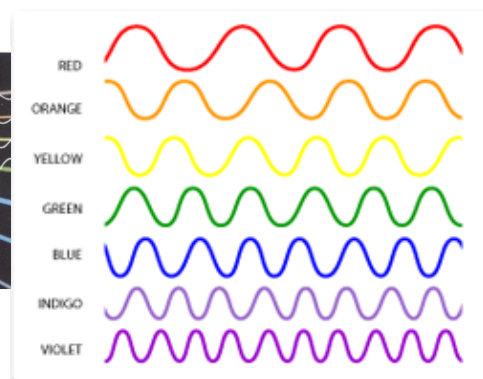
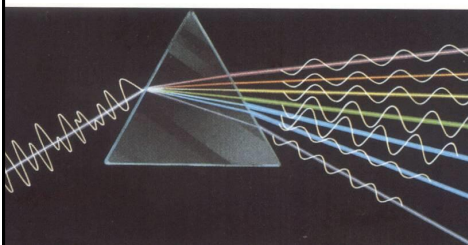
Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt CG2020-05 10

# A luz é um fenómeno ondulatório



Cada cor tem o seu comprimento de onda

# A luz é um fenómeno ondulatório



Cada cor tem o seu comprimento de onda

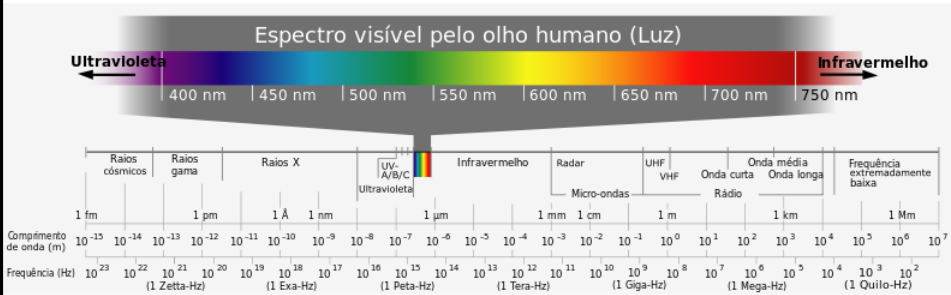
<http://www.ledwatcher.com/how-visible-light-works-and-why-do-we-see-it/>

# Visão a cores

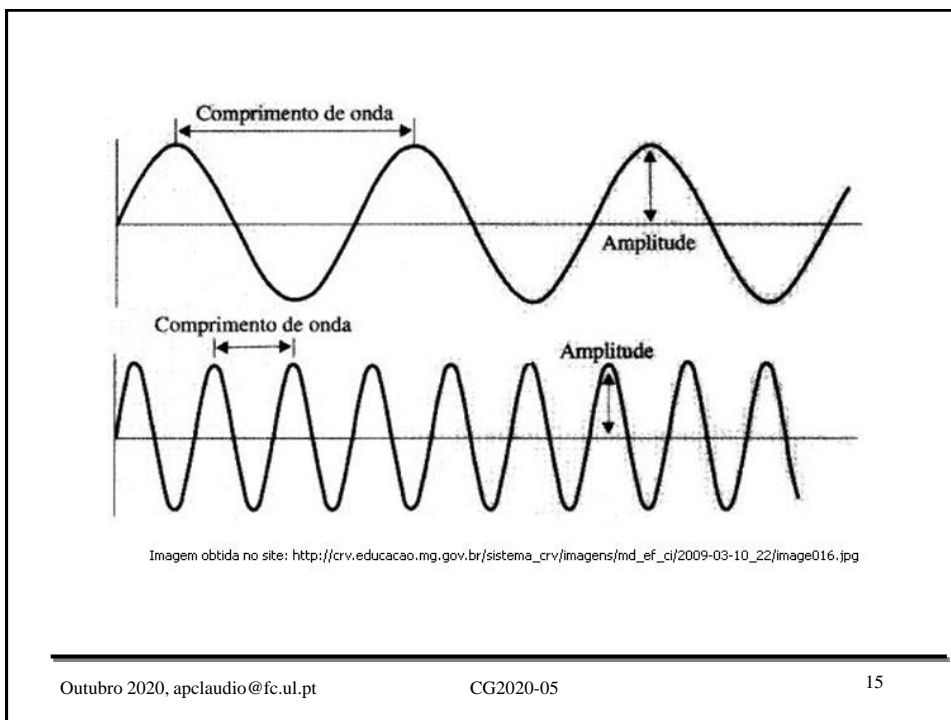
	color	Wavelength interval
	Red	~ 700–635 nm
	Orange	~ 635–590 nm
	Yellow	~ 590–560 nm
	Green	~ 560–520 nm
	Cyan	~ 520–490 nm
	Blue	~ 490–450 nm
	Violet	~ 450–400 nm

- Cada cor corresponde a um determinado **comprimento de onda** (unidade: **nm** = nanómetro =  $10^{-9}$  metro)

# Visão a cores



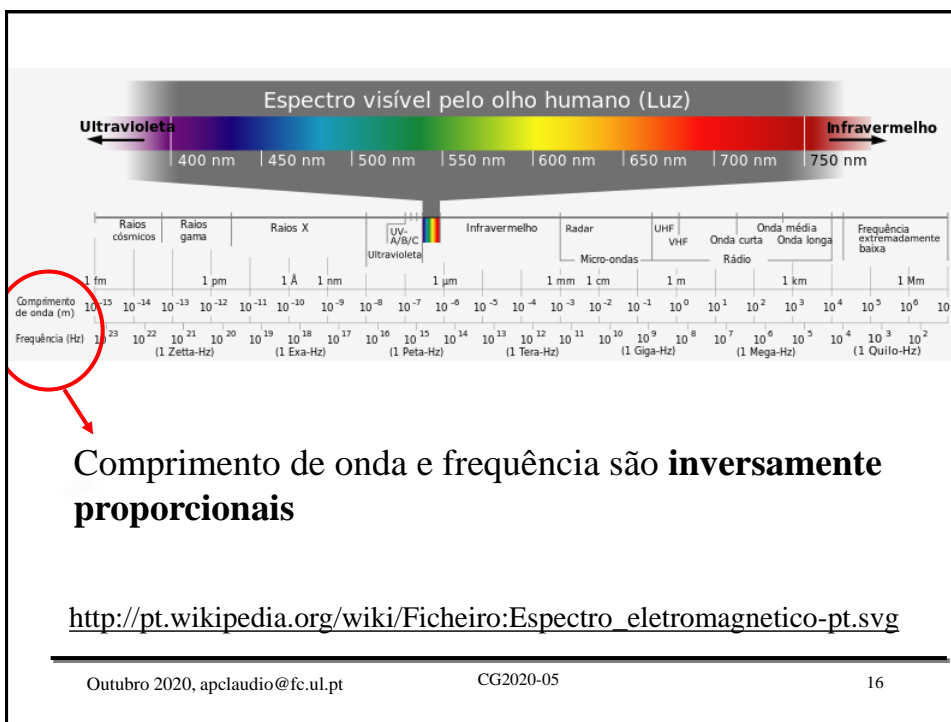
O espectro visível, ou simplesmente luz visível, é apenas uma pequena parte de todo o espectro da radiação eletromagnética possível, que vai desde as ondas de raios gama às ondas rádio.



Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

15



Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

16

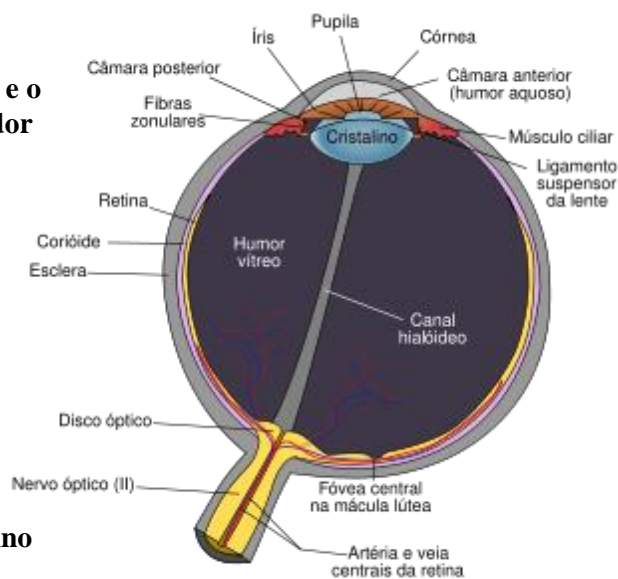


## Percepção da cor

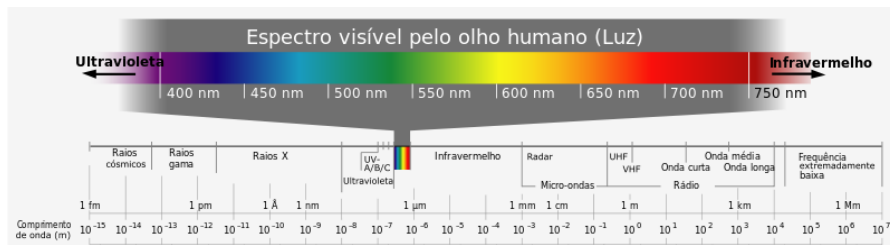
Além do fenómeno físico ondulatório que vimos atrás, a cor também envolve um fenómeno de percepção no qual os nossos **olhos** e o **sistema nervoso** são elementos fundamentais.

**Os olhos são os sensores e o cérebro é o processador**

**No olho, a luz passa pela íris, é focada pelo cristalino e projecta-se na retina**



## Visão a cores



- O Sistema Visual Humano, sensível a radiação electromagnética numa pequena gama de comprimentos de onda, tem dois tipos de visão:
  - **Escotópica** - funciona a níveis baixos de luminosidade e não é sensível ao comprimento de onda da luz
  - **Fotópica** – funciona a níveis mais elevados de luminosidade e é sensível ao comprimento de onda da luz

## Percepção da cor

- Na retina existem **dois tipos de células sensoras**:
  - **Bastonetes (rods)** – permitem a **visão escotópica** que funciona a níveis baixos de luminosidade e não é sensível ao comprimento de onda da luz
  - **Cones (cones)** – permitem a **visão fotópica** que funciona a níveis mais elevados de luminosidade e é sensível ao comprimento de onda da luz
- Os **cones** e os **bastonetes** existem em quantidades diferentes e distribuídos de formas diferentes na retina
- **Só existe um tipo de bastonetes**

## Percepção da cor

**Os cones existem em três tipos diferentes**, cada um dos quais especialmente sensível a um determinado comprimento de onda da luz

- Os que são sensíveis a comprimentos de onda mais elevados (**cones-vermelhos**) → 64%
- Os que são sensíveis a comprimentos de onda médios (**cones-verdes**) → 33%
- Os que são sensíveis a comprimentos de onda mais baixos (**cones-azuis**) → 2%

**Note que a percentagem de cada um deles é diferente.**

## Percepção da cor

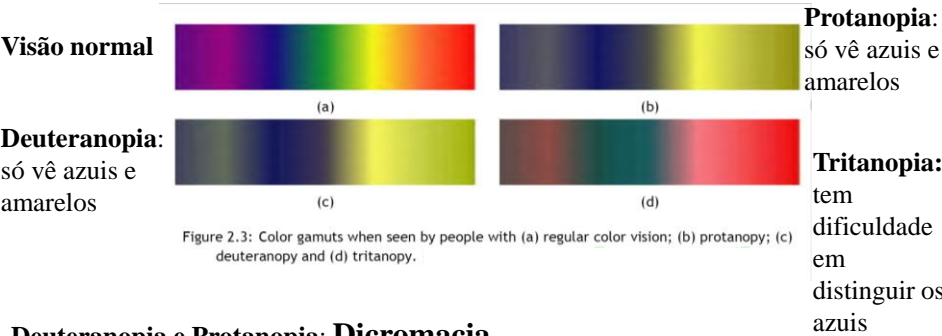
Os **cones** recebem o estímulo da luz que vai sendo transduzido em sinais químicos, que são conduzidos ao cérebro, através do nervo óptico.

Os cones permitem-nos a visualização de todas as cores do espectro visível.

O ser humano tem a capacidade de distinguir cerca de 700 tons diferentes.

# Percepção da cor

Contudo, algumas pessoas são **daltónicas** (existem diversos tipos de daltonismo que podem ter causas distintas)



## Deuteranopia e Protanopia: Dicromacia

# Percepção da cor



Imagem vista por um daltónico

## Percepção da cor

Solução: usar método adaptativos (de recoloração) para pessoas daltónicas

Normal View



Deuteranope View



Sem adaptação



Com adaptação

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

25

## Percepção da cor

Solução: usar método adaptativos (de recoloração) para pessoas daltónicas

Normal View



Deuteranope View



Sem adaptação



Com adaptação proposta no artigo:

Ribeiro, M. and Gomes, A. *A Skillet-Based Recoloring Algorithm for Dichromats*. In Proceedings of the 15th IEEE International Conference on E-Health Networking, Application and Services (IEEE HealthCom'2013), Lisbon, Portugal, pp. 654-658, October 2013.

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

26

## Percepção da cor

Solução: usar métodos adaptativos (de recoloração) para pessoas daltónicas



(a) Imagem original; (b) imagem original vista por um dicromata;  
(c) Imagem recolorida usando a solução proposta em:

Deng, Y., Wang, Y., Ma, Y., Bao, J., & Gu, X. (2007). A fixed transformation of color images for dichromats based on similarity matrices. *Advanced Intelligent Computing Theories and Applications. With Aspects of Theoretical and Methodological Issues*, 1018-1028.

## Percepção da cor

O propósito dos **métodos de adaptação de cor** é melhorar a percepção da cor das pessoas daltónicas.

Geralmente, nestas adaptações algumas cores são remapeadas para outras cores como forma de mitigar a eventual confusão na percepção de cores.

No processo de remapeamento, na maioria dos casos, a cor é representada num espaço de cores diferente do RGB, que é o formato nativo dos dispositivos de exibição.

## Voltando aos sensors...

### os cones são sensores e existem em três tipos diferentes:

- Os que são sensíveis a comprimentos de onda mais elevados (cones-vermelhos) → 64%
- Os que são sensíveis a comprimentos de onda médios (cones-verdes) → 33%
- Os que são sensíveis a comprimentos de onda mais baixos (cones-azuis) → 2%

## Teoria do estímulo triplo (*Tristimulus Theory*)

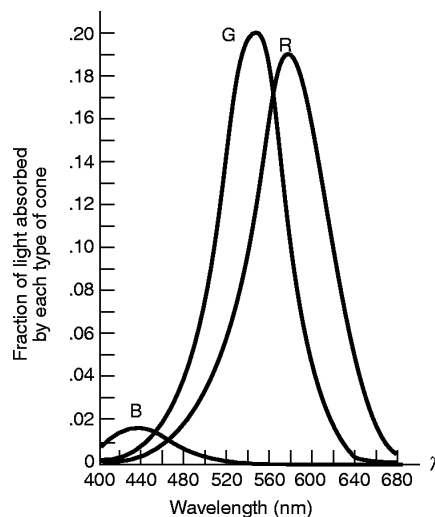
- A teoria do estímulo triplo que **explica o mecanismo de percepção das cores** baseia-se na existência destes 3 tipos de cones sensíveis, respectivamente, à luz azul, verde e vermelha.
- Experiências conduzidas de acordo com esta hipótese permitiram determinar **as curvas de resposta espectral** indicadas na figura seguinte.

## Teoria do estímulo triplo (*Tristimulus Theory*)

Funções de resposta espectral para cada um dos tipos de cones da retina

Fraction of light absorbed by each type of cone

color	Wavelength interval
<span style="color: red;">■</span> Red	~ 700–635 nm
<span style="color: green;">■</span> Green	~ 560–520 nm
<span style="color: blue;">■</span> Blue	~ 490–450 nm



Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

31

- Do gráfico de resposta espectral conclui-se que a **sensibilidade ao azul** é muito inferior à sensibilidade às outras duas componentes.
- A teoria do estímulo triplo conduz à ideia que é possível **reproduzir as cores visíveis do espectro misturando** em proporções adequadas as três cores ditas primárias: **vermelho, verde e azul**.



Esta ideia não é totalmente correcta atendendo

ao estudo das **curvas de mistura** (*color-matching functions*)

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

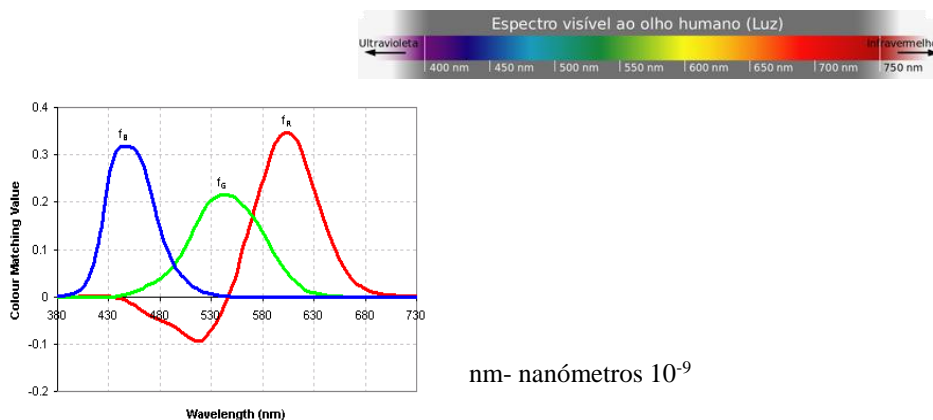
CG2020-05

32



## Curvas de mistura (*color-matching functions*)

As **curvas de mistura** representam as intensidades relativas de cada uma das componentes primárias (luz vermelha, luz verde e luz azul) necessárias para reproduzir as diferentes cores do espectro



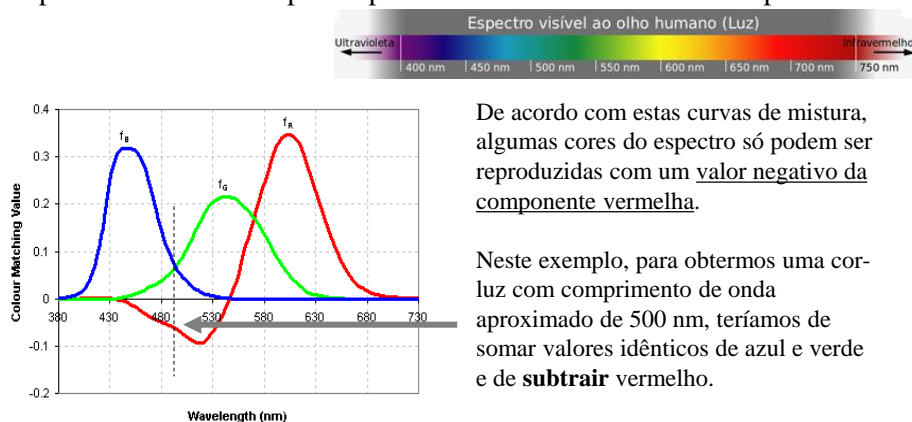
Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

33

## Curvas de mistura (*color-matching functions*)

As **curvas de mistura** representam a intensidade relativa das componentes primárias necessária para reproduzir as diferentes cores do espectro



De acordo com estas curvas de mistura, algumas cores do espectro só podem ser reproduzidas com um valor negativo da componente vermelha.

Neste exemplo, para obtermos uma cor-luz com comprimento de onda aproximado de 500 nm, teríamos de somar valores idênticos de azul e verde e de **subtrair** vermelho.

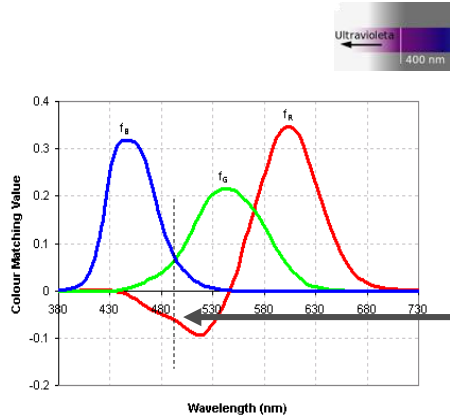
Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

34

## Curvas de mistura (*color-matching functions*)

As **curvas de mistura** representam a intensidade relativa das componentes primárias necessária para reproduzir as diferentes cores do espectro



De acordo com estas curvas de mistura, algumas cores do espectro só podem ser reproduzidas com um valor negativo da componente vermelha.

O mesmo é dizer que **essas cores não podem de facto ser reproduzidas em monitores a cores com esta técnica** (mistura de vermelho, verde e azul)

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

35

## Modelos de cor

- Um modelo de representação de cor envolve
  - A definição de um sistema de coordenadas
  - A definição do subespaço das cores visíveis

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

36

# Modelos de cor

A percepção da cor envolve normalmente as noções de

**Cor dominante** ou **tom** (*Hue*) – é a qualidade que nos permite designar as cores: Vermelho, Verde, Azul, Amarelo, ...

**Saturação** – é o grau de pureza do tom, varia quando se junta branco ou preto ao tom (ex: o cor de rosa é um vermelho pouco saturado)

**Brilho ou Intensidade** – capacidade de reflectir a luz branca

# Modelos de cor

- A **colorimetria**, ramo da ciência que se ocupa do estudo da cor, oferece métodos objectivos de especificação das cores.
- Aqui os conceitos básicos são
  - **Comprimento de onda dominante** (correspondente à cor dominante ou *hue*)
  - **Pureza** (correspondente à saturação)
  - **Luminância** (correspondente ao brilho ou intensidade)

## Modelo de cor CIE

- Em 1931 foi fundada em Paris a **CIE** (Comission International de L'Éclairage).

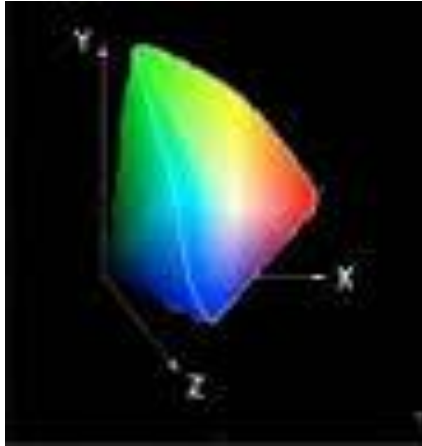
“The International Commission on Illumination - also known as the CIE from its French title, the Commission Internationale de l'Eclairage - is devoted to worldwide cooperation and the exchange of information on all matters relating to the science and art of light and lighting, colour and vision, photobiology and image technology.”

<http://www.cie.co.at/>

## Modelo de cor CIE

- O modelo de cor CIE XYZ foi a primeira norma internacional neste âmbito.
- Este modelo define **três cores primárias imaginárias**, X,Y, Z, que podem gerar todas as cores do espectro visível.
- Neste sistema **as cores visíveis encontram-se dentro de um volume** situado totalmente no primeiro octante e cuja **forma é aproximadamente cónica**.

## Modelo de cor CIE



Sólido de cor CIE XYZ

## Modelo de cor CIE

- Qualquer cor  $C$  pode ser obtida por combinação linear das 3 primárias

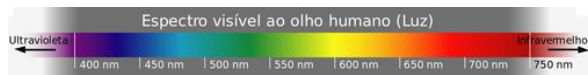
$$C = xX + yY + zZ$$

sendo os coeficientes  $x$ ,  $y$  e  $z$  obtidos directamente das curvas de mistura

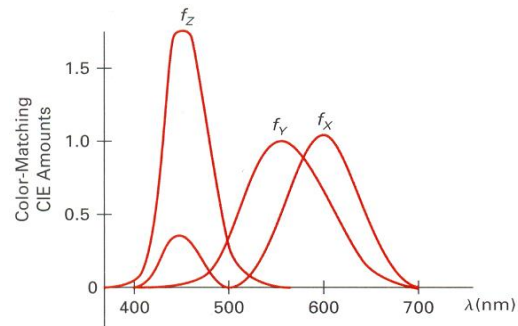
- Neste modelo, quando duas cores são misturadas, a cor resultante situa-se no segmento de recta que as une.
- Duas cores complementares(\*) encontram-se nos extremos de um segmento de recta que une as duas cores e que intersecta a posição correspondente ao branco.

(\*) duas cores complementares misturadas permitem obter branco

## Modelo de cor CIE



Neste modelo já não  
temos valores  
negativos!



Quantidade das cores primárias do modelo CIE-XYZ  
necessárias para representar as cores espectrais

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

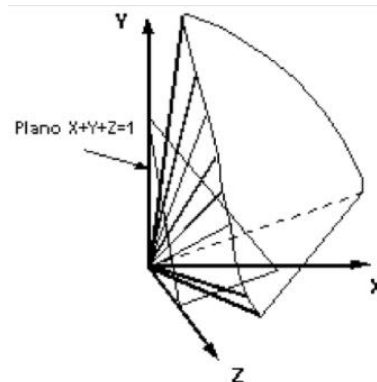
CG2020-05

43

## Modelo de cor CIE



Sólido de cor CIE XYZ



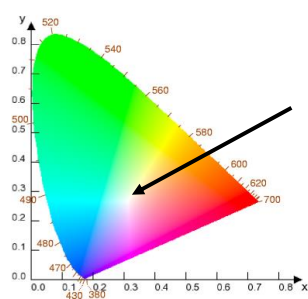
Plano de Maxwell (ou plano de  
crominância):  $X + Y + Z = 1$

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

44

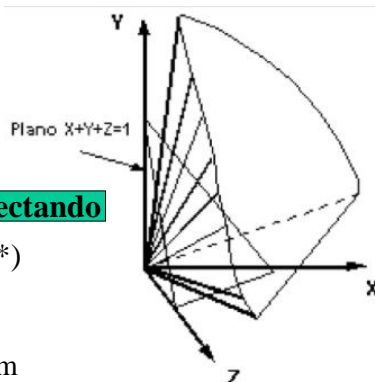
## Modelo de cor CIE



branco de referência

intersectando

(\*)



**Diagrama de cromaticidade CIE** (em forma aproximada de ferradura).

As cores puras e saturadas encontram-se sobre a parte curva da periferia (em nm)

(\*) Retirando o brilho ou luminosidade da cor

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

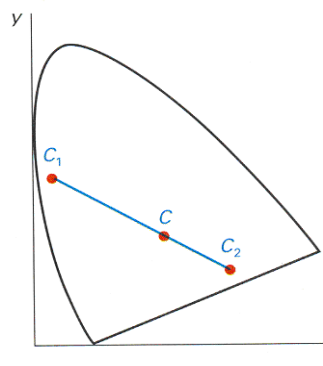
45

## Modelo de cor CIE

Este diagrama é útil para identificar **cores complementares**: ou seja, as que combinadas produzem branco, encontram-se em lados opostos de qualquer segmento de recta que passe por C

Cores complementares:

$$\alpha.C_1 + \beta.C_2 = C \text{ (branco)}$$



Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

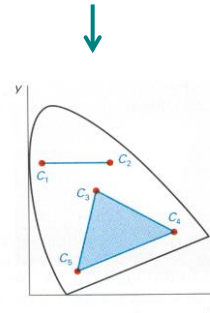
46

## Modelo de cor CIE

Este diagrama pode ser usado para comparar gamas de cor para diferentes cores primárias:

- Se considerarmos um **triângulo** cujos vértices se situem dentro da “ferradura” ou sobre a sua periferia, temos 3 cores visíveis que se podem misturar em proporções adequadas para produzir uma qualquer cor dentro do triângulo.
- Como **não** é possível encontrar um triângulo que cubra toda a área da ferradura, é fácil concluir pela **impossibilidade de, à custa de 3 cores primárias do espectro visível, reproduzir todas as cores deste espectro.**

Gamas de cor para duas e três cores primárias



## Modelos de cor

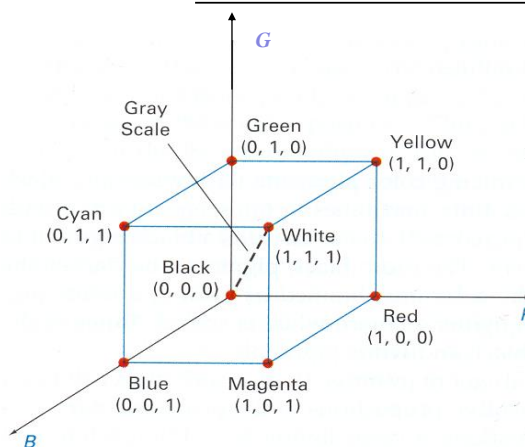
- O modelo CIE permite representar todas as cores visíveis mas
  - Não é intuitivo
  - Nem adequado para a computação gráfica



# Modelos de cor

- Os modelos utilizados na prática dividem-se em dois grupos:
  - modelos orientados para o *hardware* como
    - o RGB (monitores) e
    - o CMY (impressoras)
  - modelos orientados para o utilizador como o HSV e HLS

**O modelo RGB (Red, Green, Blue)** utiliza um sistema de eixos cartesianos e o subespaço das cores visíveis é um cubo de aresta unitária.

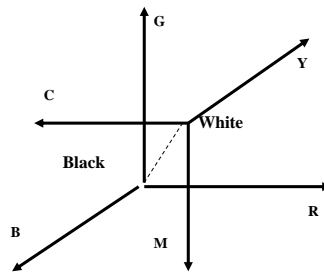
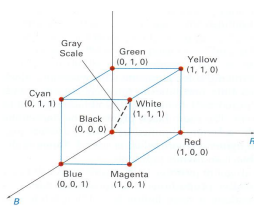


**Cor-luz:** as cores observadas resultam da mistura de luzes das 3 cores (r,g,b) em percentagens diferentes.

## O modelo CMY (Cyan, Magenta, Yellow)

utiliza o mesmo referencial que o sistema RGB:  
um sistema de eixos cartesianos e o subespaço  
das cores visíveis é um cubo de aresta unitária.

**Cor-pigmento:** as cores observadas resultam da mistura das 3 cores (C,M,Y) em percentagens diferentes e na forma de pigmentos.



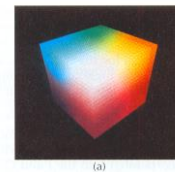
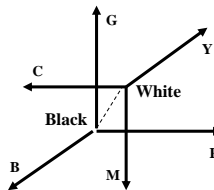
Nota: cyan pode ser traduzido por cião ou azul-ciano

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

51

## RGB e CMY



- No modelo **RGB** a **origem das coordenadas** corresponde ao **preto** ou ausência de **luz**
  - Neste modelo o **branco** obtém-se **somando** as três componentes básicas, R, G e B, com o valor máximo.
- No modelo **CMY** a **origem** corresponde ao **branco**, ou seja, à luz que é a mistura de todas as cores.
  - Neste modelo o **preto** obtém-se **sobrepondo** ao branco as três componentes básicas, C, M e Y, com o valor máximo.

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

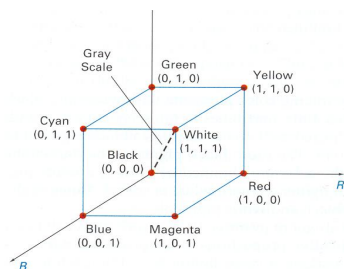
52

# RGB e CMY

O modelo **RGB** é **aditivo** e o modelo **CMY** é **subtrativo**.

**O RGB é adequado para situações em que há emissão de luz**

Misturando luz vermelha e luz verde em proporções iguais → obtém-se amarelo



**O CMY é adequado para situações em que há apenas reemissão de luz**

Cobrindo uma superfície branca iluminada com luz branca com uma mistura de amarelo e cião a superfície fica

verde (o amarelo provoca a absorção do azul e o cião do vermelho)

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

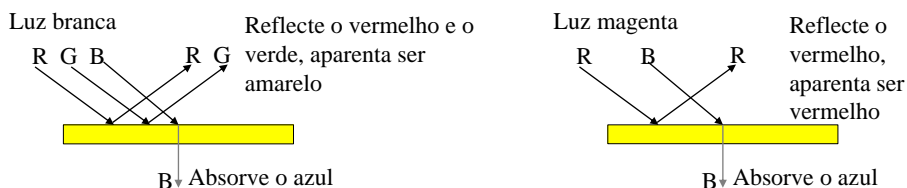
53

## A cor dos objectos é percebida de forma diferente consoante a cor da luz que o ilumina

A cor de um objecto é a cor que este aparenta ter quando iluminado com luz branca.

Ex: Um objecto amarelo iluminado com luz magenta aparenta ser vermelho

**Esquematicamente e simplificando:**



Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

54

## A cor dos objectos é percebida de forma diferente **consoante a cor da luz que o ilumina**

Ex: Um objecto amarelo iluminado com luz magenta aparenta ser

vermelho

Ex: Um objecto azul iluminado com luz vermelha aparenta ser

preto

## A cor dos objectos é percebida de forma diferente **consoante a cor da luz**

De um modo geral :

Se a cor da luz é: (LR, LG, LB)

e a cor do objecto é: (MR, MG, MB)

Então a cor aparente do objecto é: (LR.MR, LG.MG, LB.MB)

## CMY e RGB

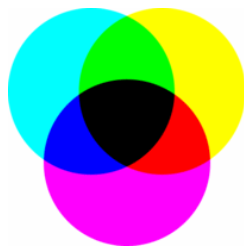


No modelo CMY as cores funcionam como um filtro  
apenas são reemitidas as cores existentes no filtro

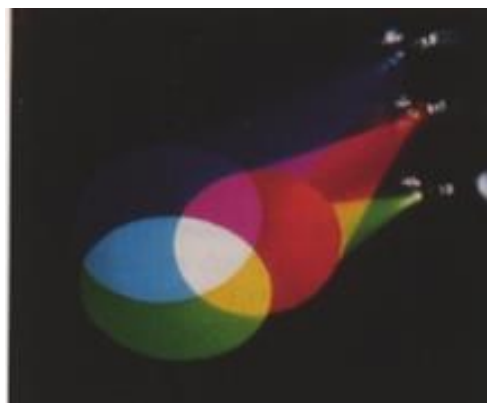
Daí a importância de se garantir que a **luz que ilumina** um objecto seja **branca** se quisermos saber qual a sua cor, porque só a luz branca dá garantia de conter toda a gama de cores que o objecto tem de reemitir para revelar a sua verdadeira cor.

O modelo CMY corresponde às **cores-pigmento** utilizadas nos guaches. A mistura de cores-pigmento gera uma nova cor sempre menos luminosa.

## CMY e RGB



Exemplo do modelo subtrativo com aplicação de filtros



Exemplo do modelo aditivo com emissão de luz vermelha, verde e azul

Como obter a cor  
( $R=0.75$ ,  $G=0.5$ ,  $B=0.25$ )  
no modelo CMY?

As cores primárias do modelo RGB são complementares das cores primárias do modelo CMY.

Ou seja,

$$C=1-R$$

$$M=1-G$$

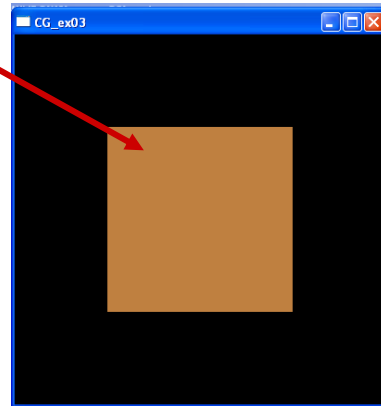
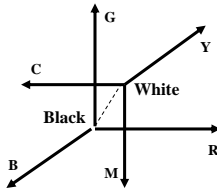
$$Y=1-B$$

Assim para obter

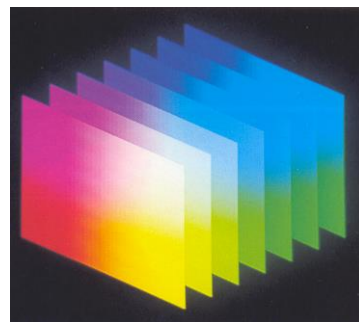
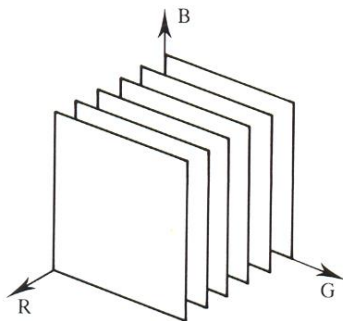
$$R=0.75 \text{ usar } C=1-0.75=0.25$$

$$G=0.5 \text{ usar } M=1-0.5=0.5$$

$$B=0.25 \text{ usar } Y=1-0.25=0.75$$



## RGB secções paralelas ao plano BG



O cubo RGB:

- **pode variar de monitor para monitor**
- representa um subconjunto das cores visíveis pelo olho humano
- não é um espaço perceptualmente uniforme

## Outros sistemas de cor....

- **CMYK** (cyan, magenta, yellow, black-**key**)



As cores usadas na impressão são semi-transparentes, de modo que a sobreposição do ciano e do amarelo, produzam o verde, por exemplo. Entretanto, para variar a quantidade de tinta transferida para o papel é necessário um recurso denominado **meio tom (half-toning)**.

Wikipédia

### CMYK

Meio tom é a transformação das massas de cores em malhas de minúsculos pontos correspondentes a cada uma das quatro cores. Sem estes pontos, cada cor primária seria apresentada como uma massa densa e uniforme de cor. Com meios-tons é possível variar o tamanho ou a frequência dos pontos, produzindo variações percentuais na aplicação das cores.

Wikipédia

<http://en.wikipedia.org/wiki/Halftone>

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

63

<http://www.december.com/html/spec/colorrgbade.html>

RGBa → Alpha → transparência    1 = opaco; 0 = transparente

Color Name	rgb(R,G,B)	Swatch	rgba(R,G,B,a) Swatches										
		rgb(R,G,B)	a = 1.0	a = 0.9	a = 0.8	a = 0.7	a = 0.6	a = 0.5	a = 0.4	a = 0.3	a = 0.2	a = 0.1	a = 0.0
black	rgb(0,0,0)												
navy	rgb(0,0,128)												
blue	rgb(0,0,255)												
green	rgb(0,128,0)												
teal	rgb(0,128,128)												
lime	rgb(0,255,0)												
aqua	rgb(0,255,255)												
maroon	rgb(128,0,0)												
purple	rgb(128,0,128)												
olive	rgb(128,128,0)												
gray	rgb(128,128,128)												
silver	rgb(192,192,192)												
red	rgb(255,0,0)												
fuchsia	rgb(255,0,255)												
yellow	rgb(255,255,0)												
white	rgb(255,255,255)												

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

64

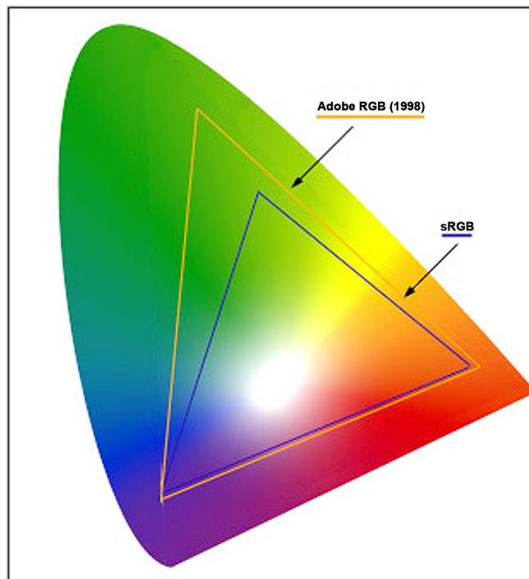


## sRGB

↓  
standard

**sRGB** is a standard RGB color space created cooperatively by HP and Microsoft in 1996 for use on **monitors, printers** and the **Internet**.

It matches the color intensity outputs of **monitors** and **printers** better than linear RGB space.



Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

65

## sRGB



## AdobeRGB



<https://fstoppers.com/pictures/adobe-rgb-vs-srgb-3167>

Both images contain only three colors, however, the colors shown in the AdobeRGB scale have more differential between them. This means photos taken in the AdobeRGB color space will have more vibrancy in their colors, whereas sRGB will traditionally have more subtle tones. In situations where you're photographing strong color tones, sRGB may need to dull them out to accommodate, whereas AdobeRGB is able to display those colors with more accuracy.

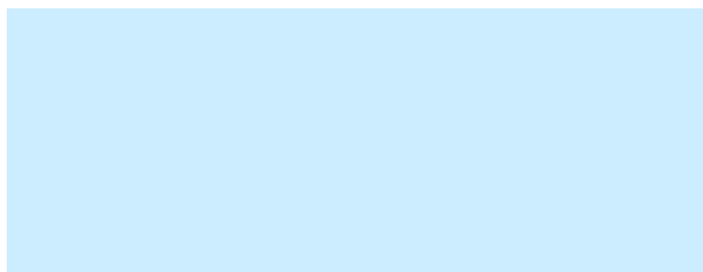
Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

66

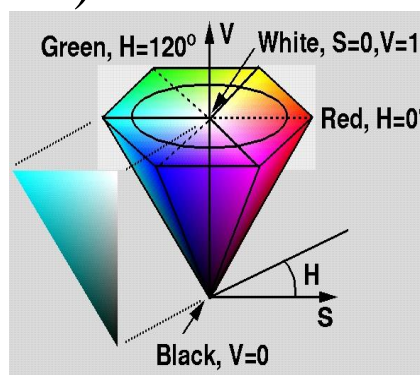
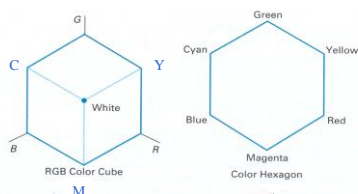
O uso do sistema RGB não é muito intuitivo para o utilizador...

## Que cor é esta?

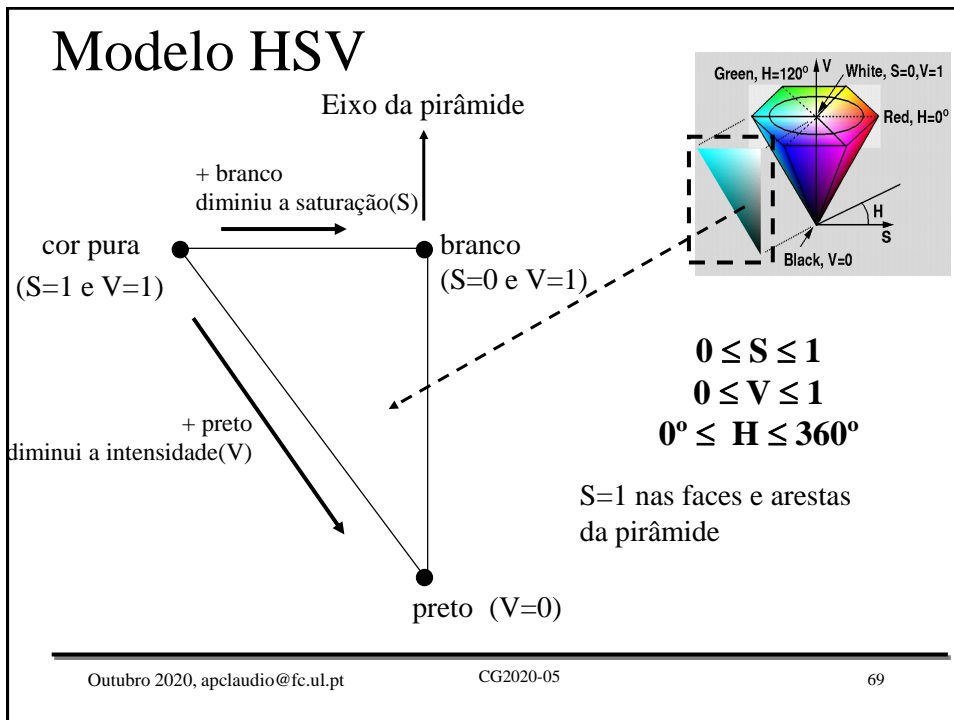


RGB desta cor = (0.81, 0.93, 1.0)

## Modelo HSV (Hue Saturation Value)



O hexágono da base da pirâmide do modelo HSV corresponde a uma projecção isométrica do cubo RGB.



## Modelo HSV

Hue, Saturation e Value  
correspondem à nossa forma de perceber a cor:  
**cor dominante, saturação e brilho (ou intensidade)**

Por isso se diz que o modelo HSV é orientado ao utilizador

A relação entre os modelos RGB e HSV é **uma relação não linear** o que implica, entre outras coisas, que a interpolação de cores nos dois modelos não dê o mesmo resultado.

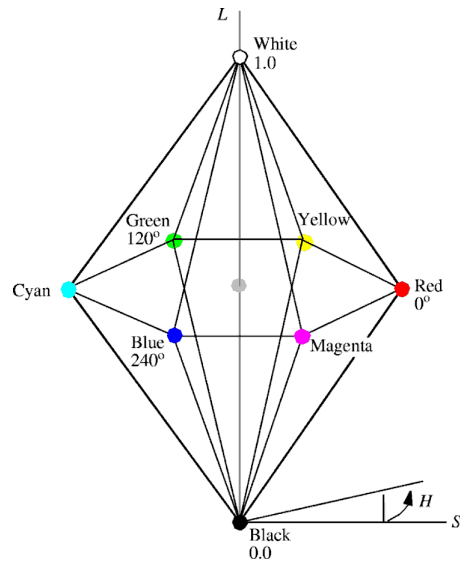
O **modelo HSL** (Hue, Saturation, Lightness) é uma variante do HSV

**Luminosidade**- *lightness*

## Modelo HSL

(Hue, Saturation,  
Lightness)

As cores mais saturadas estão  
no plano  $L=0.5$  com  $S=1$



Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

71

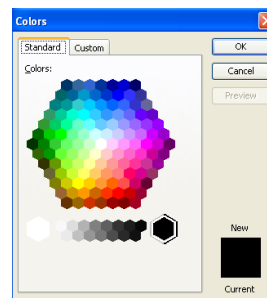
## Como seleccionar o atributo cor de um objecto?

- A cor pode ser **especificada numericamente** usando um modelo de cor  
ou **escolhida entre conjuntos de cores**

As cores são convertidas em  
intensidades

**RGB** para os monitores

**CMY** para as impressoras



Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

72

O número de cores possíveis depende da memória disponível para cada pixel (quadrícula) no *frame buffer* (*frame buffer* ou *memória de vídeo* = matriz que guarda a cor que se vai desenhar em cada pixel).  
Cada pixel contém um ou mais bits de informação. O nº de bits por pixel designa-se por **profundidade do pixel**.  
**A profundidade do pixel determina o número máximo de cores que é possível utilizar em simultâneo.**

Exemplo (profundidade do pixel = 3):

EIGHT RGB COLOR CODES FOR A THREE-BIT PER PIXEL FRAME BUFFER

Color Code	Stored Color Values in Frame Buffer			Displayed Color
	RED	GREEN	BLUE	
0	0	0	0	Black
1	0	0	1	Blue
2	0	1	0	Green
3	0	1	1	Cyan
4	1	0	0	Red
5	1	0	1	Magenta
6	1	1	0	Yellow
7	1	1	1	White


O número de cores possíveis depende da memória disponível para cada pixel no *frame buffer*

- As cores podem ser guardadas de **duas** formas:

1


colocando os valores RGB directamente no *frame buffer*

- 3 bits por pixel → 8 cores (como vimos no slide anterior)
- 6 bits por pixel → 64 cores

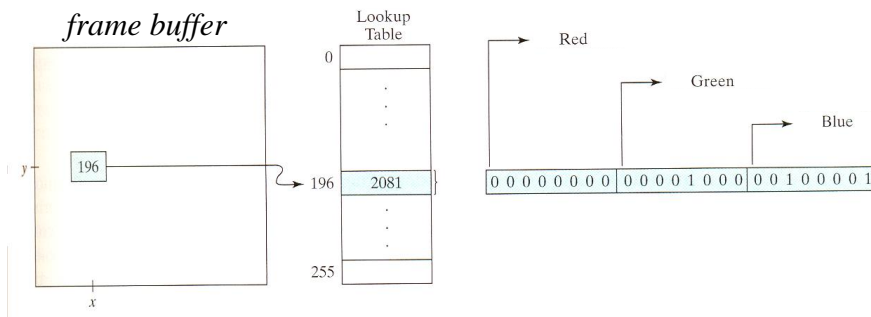
**TRUE COLOR (cor completa)**  24 bits por pixel → 2<sup>24</sup> cores (dezassex milhões); 3 bytes R,G,B  
**Mas:** 24 bits x 1280 x 1024 pixels → ~3,7 MB por imagem

2

colocando os valores RGB numa tabela, guardando no *frame buffer* apontadores para a tabela

 Lookup table

## Lookup Table (LUT) ou Cor indexada



Uma **LookUp Table (LUT)** com 24 bits por entrada é acedida a partir de um *frame buffer* de 8 bits, permitindo ter no total  $2^{24}$  (~17 milhões) cores diferentes mas **acessíveis apenas em conjuntos de 256 de cada vez** ( $2^8=256$ ).



8 bits x 1280 x 1024 pixels → 1,25 MB por imagem

## Utilização da cor

Além de aumentar o realismo, a cor tem os seguintes benefícios:

- pode facilitar a discriminação em *displays* complexos
- pode enfatizar a organização lógica da informação
- pode chamar a atenção para avisos
- pode desencadear reacções emocionais

...

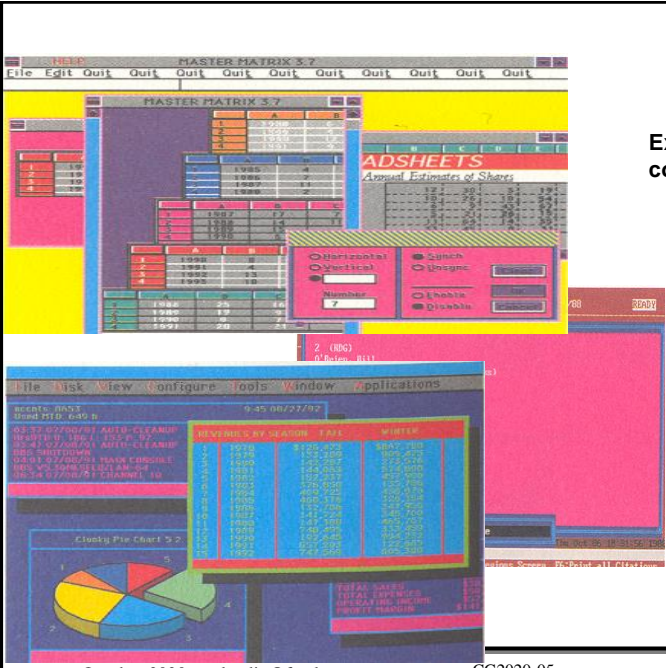
Mas é preciso usar com cuidado; pode degradar um *display* (diminuir o desempenho de um utilizador)

## Algumas directivas para a utilização da cor

- Usar a cor com parcimónia; limitar o número de cores e a quantidade
- Projectar primeiro sem cor
- Não veicular informação apenas através da cor
- Evitar a utilização simultânea de cores saturadas
- Assegurar que a codificação de cor apoia a tarefa
- Tornar o código de cor o mais evidente possível
- Ter em consideração o significado cultural das cores
- Permitir ao utilizador controlar o código de cor
- Ser coerente na utilização da cor

## Algumas directivas para a utilização da cor

- Usar um separador fino entre zonas com cores que não harmonizem bem ou entre tons muito próximos (linhas de contorno)
- Se a imagem tem muitas cores, escolher para a cor do fundo uma cor neutra (tonalidade de cinzento)
- Evitar cores fortes em contraste
- **Uma vez que a percepção ao azul é fraca, evitar azul sobre fundo preto**
- **O mesmo é válido para amarelo sobre fundo branco**




Exemplo de como não usar a cor

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

79



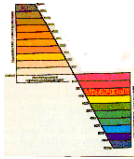
Pequenas manchas de cor num fundo com tons neutros sublinham a informação

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

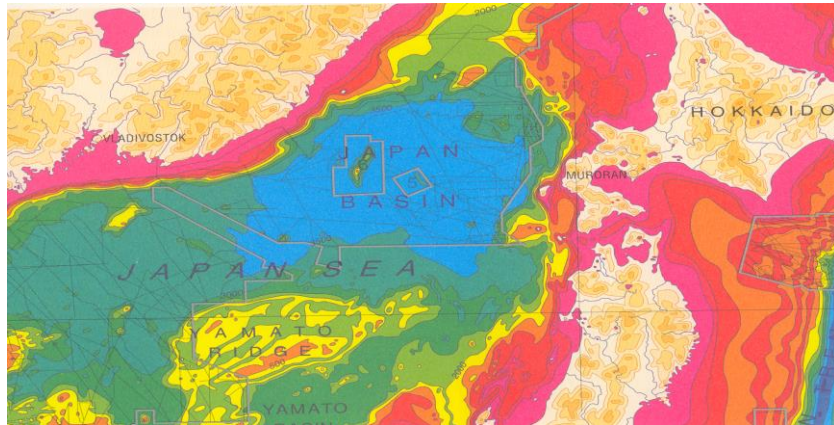
CG2020-05

80





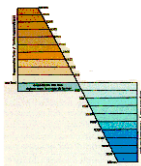
### Representação de informação quantitativa



Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

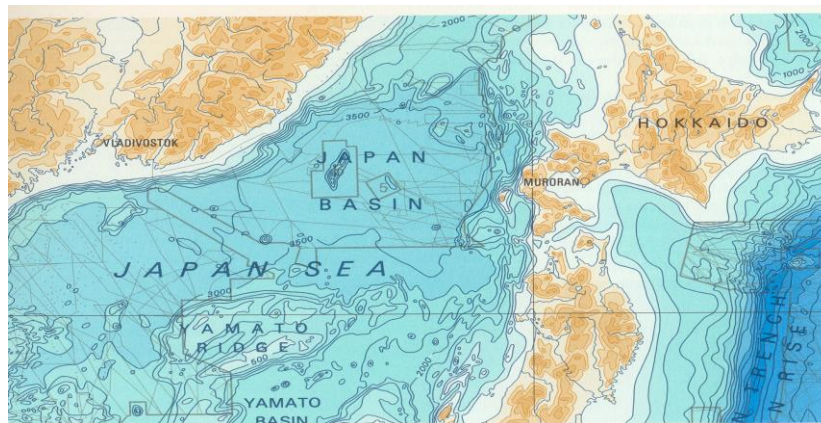
CG2020-05

81



### Representação de informação quantitativa

(solução melhorada)



Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

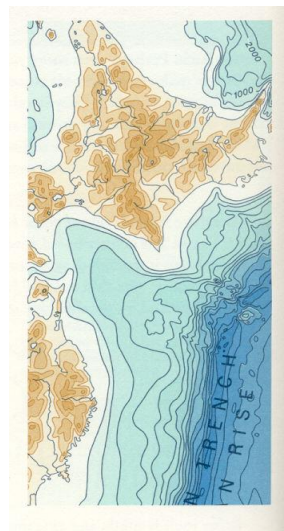
82

# Linhas de contorno

A inclusão de **linhas de contorno** a delimitar regiões coloridas

- ajuda a delimitar as zonas
- permite identificar zonas contíguas que seria difícil distinguir apenas pela cor

In [Tufte90]



## Importância do leite e derivados

essenciais para a formação dos ossos e dentes, particularmente na infância e adolescência. É também importante na idade adulta para prevenir e atrasar a perda de massa óssea, responsável pelo aparecimento da osteoporose. Além disso, o leite tem outros nutrientes importantes, como proteínas de alta qualidade, vitaminas A,

O leite meio-gordo tem a composição nutricional mais equilibrada para a população em geral. O consumo de leite pode ser desaconselhado em algumas condições de saúde, como a intolerância à lactose e a alergia às proteínas do leite.

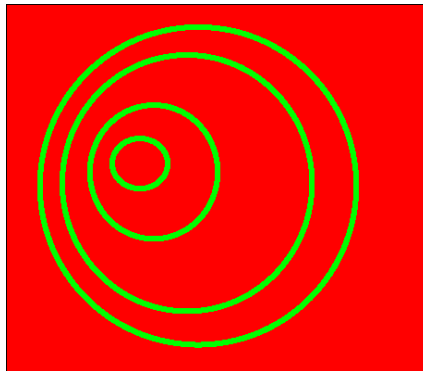
Actualmente, o leite sofre um processamento térmico que o torna mais seguro para o consumo humano, sem alterar as suas propriedades naturais, já que não lhe é adicionado qualquer aditivo.

## motivação para continuar.

Aproveite os tempos livres para incentivá-lo a mexer-se usando estas dicas:

- Joguem à "apanhada" ou às "escondidas";
- Façam jogos com bolas, raquetas, balões, etc.;
- Andem de patins;
- Passeiem de bicicleta;
- Brinquem à "caça ao tesouro";
- Dançam ao som da música que o seu filho gosta;
- Joguem ao "elástico" e à "macaca";
- Façam do corredor de sua casa uma pista de bowling com um kit para crianças;
- Façam lutas de almofadas;
- Peça ajuda para carregar compras consigo (atenção ao peso).

Apesar da dimensão da letra ser igual nas duas colunas, o texto da esquerda é mais difícil de ler (letra branca sobre fundo amarelo)



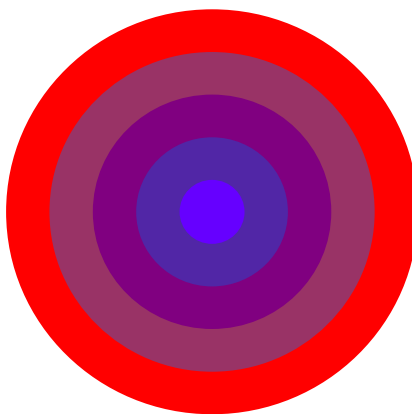
**Cores fortes em contraste podem  
provocar efeitos de “vibração”**

---

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

85



- As cores azuis parecem recuar e as cores vermelhas parecem avançar

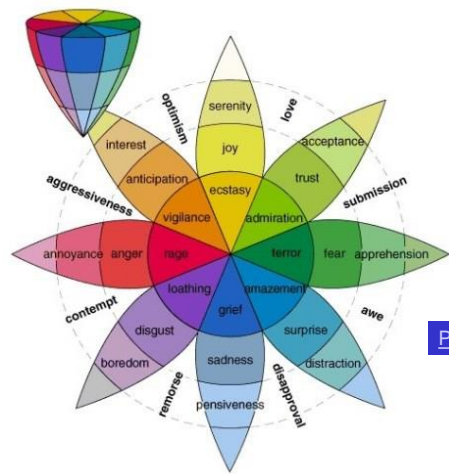
---

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt

CG2020-05

86

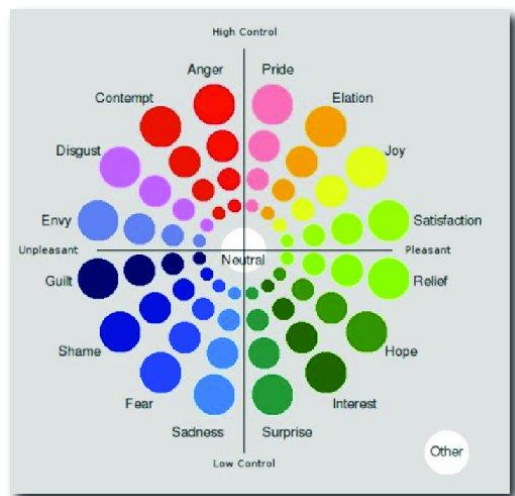
Cores e Emoções



Plutchik *Emotion Dyads* – Dan Spira

<https://www.6seconds.org/2017/04/27/plutchiks-model-of-emotions/>

Cores e Emoções



Geneva Emotion Wheel (Scherer, 2005)

**The Electromagnetic Spectrum**

The diagram illustrates the electromagnetic spectrum with a horizontal axis representing wavelength. The axis is marked with values:  $10^{-13}$  cm,  $10^{-9}$  cm,  $10^{-6}$  cm,  $10^{-4}$  cm,  $10^{-2}$  cm, 1 cm, and 1 km. Below the axis, a series of waves of increasing wavelength are shown. Icons represent different regions: Gamma ray (nuclear symbol), X-ray (hand with bones), Ultraviolet (sun with rays), Visible (eye), Infrared (thermometer), Microwave (microwave oven), and Radio (radio). Below the diagram, a blue box contains the URL: <http://fisicoquimico.blogspot.pt/>.

**O espectro visível, ou simplesmente luz visível, é apenas uma pequena parte de todo o espectro da radiação eletromagnética possível, que vai desde as ondas de raios gama ao das onda rádio.**

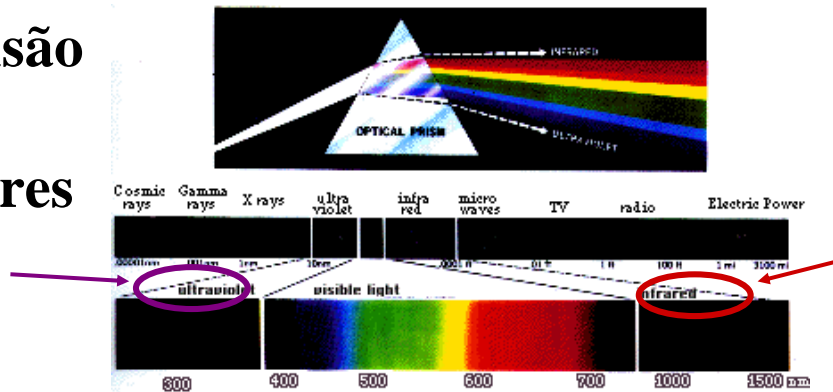
---

Outubro 2020, apclaudio@fc.ul.pt CG2020-05 89

## Referências

- Introduction to Computer Graphics, Foley, Van Dam, Feiner, Hughes, Phillips, Addison-Wesley
- Interactive Computer Graphics- A Top-Down Approach Using OpenGL- Edward Angel, Addison-Wesley
- Hearn, D., Baker, M. P., “Computer Graphics using OpenGL”, 3rd edition, Addison-Wesley
- [http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/texture\\_colour/](http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/texture_colour/)
- Tufte, E., *Visual Display of Quantitative Information*, Graphics Press, 1983
- Tufte, E., *Envisioning Information*, Graphics Press, 1990
- Zita Areal, Visualmente 7|8|9, Areal editores
- Maureen Stone, A Field Guide to Digital Color, A. K. Peters
- <http://www.dimap.ufrn.br/~motta/dim102/Cores.pdf>

# Visão a cores



- O Sistema Visual Humano é sensível a radiação electromagnética **numa pequena gama de comprimentos de onda**
- E tem dois tipos de visão:
  - **Escotópica** - funciona a níveis baixos de luminosidade e não é sensível ao comprimento de onda da luz
  - **Fotópica** – funciona a níveis mais elevados de luminosidade e é sensível ao comprimento de onda da luz