

cores e
Sistema de Visão Humana

aula 13
2016/2 – IC / UFF

Imagem colorida

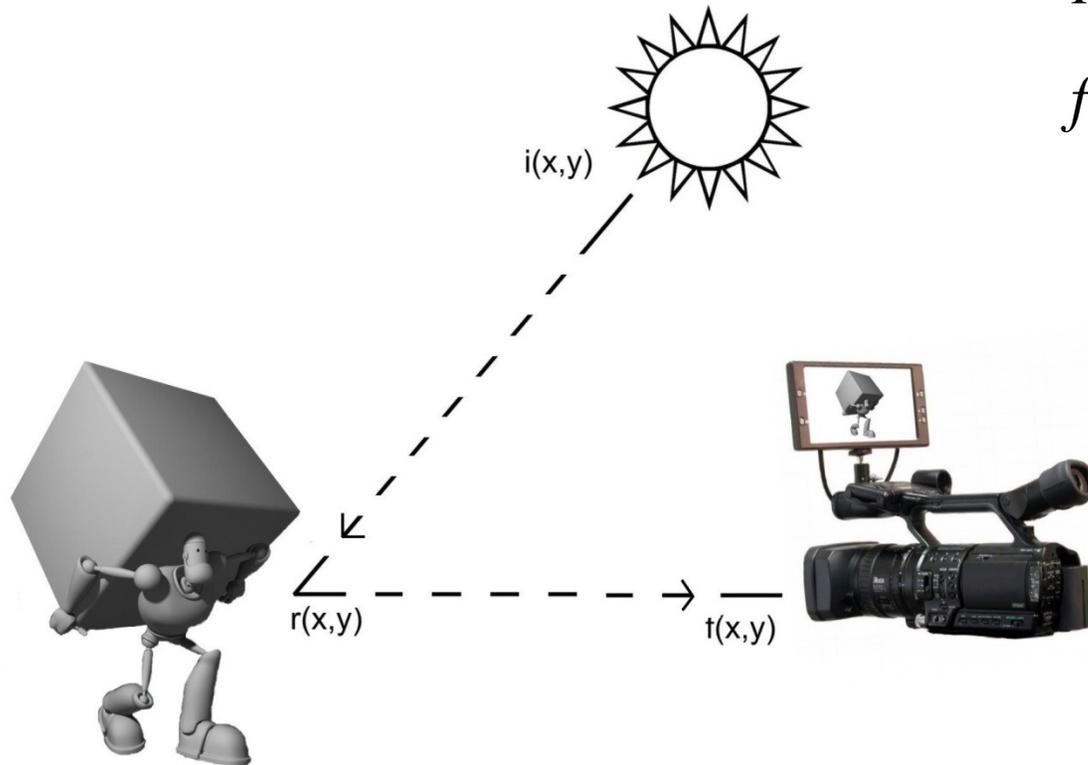
A capacidade de **interpretar formas tridimensionais** e a **organização espacial** **independem da cor**, mas sim da **iluminação das formas** que representam.



Imagens de objeto **emitentes** ou iluminados

iluminados

$$f(x,y) = i(x,y) \cdot r(x,y)$$



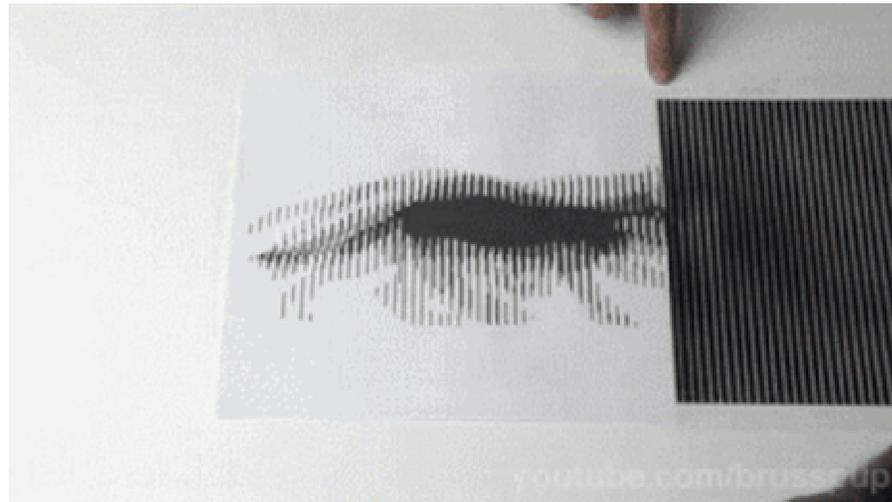
Amostragem e Quantização

- Amostragem – refere-se ao número de pontos amostrados de uma imagem digitalizada (**resolução**).
- Quantização - **quantidade de cores ou níveis de tons** que pode ser atribuído a cada ponto digitalizado.

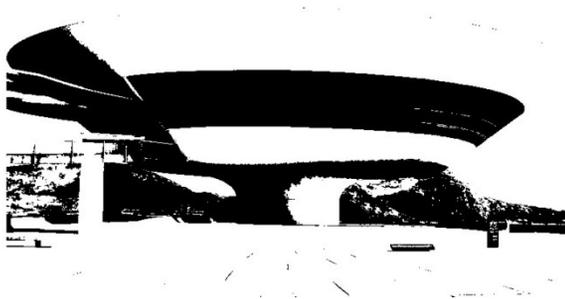
As **imagens analógicas** possuem um número ilimitado de cores ou tons.

No computador é necessário **limitar** os níveis de cores ou tons possíveis de serem atribuídos a cada *pixel* da imagem (**gradação tonal**).

moire



Imagens Monocromáticas



Exemplos de imagens monocromáticas

Perceber é mais que captar

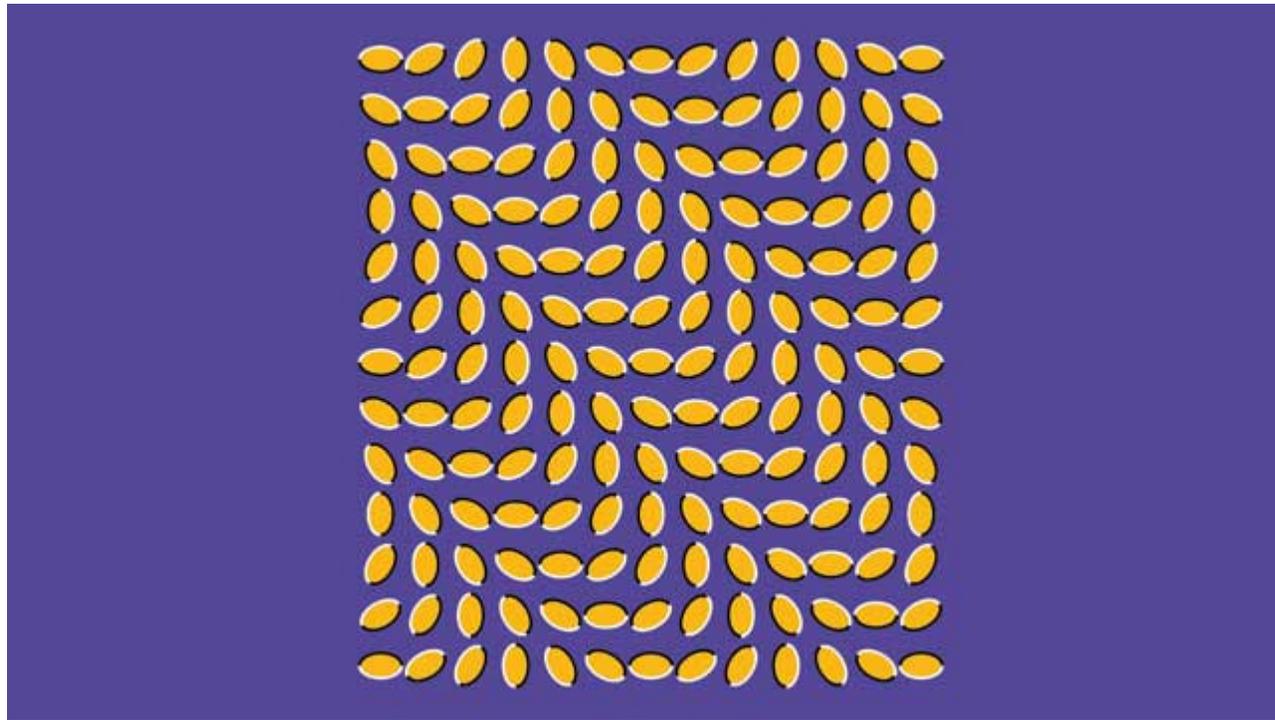
A **cor** e a **iluminação** são analisadas por partes diferentes do cérebro.

Estas partes estão **fisicamente separadas** e são anatomicamente tão distintas quanto são a visão e a audição.

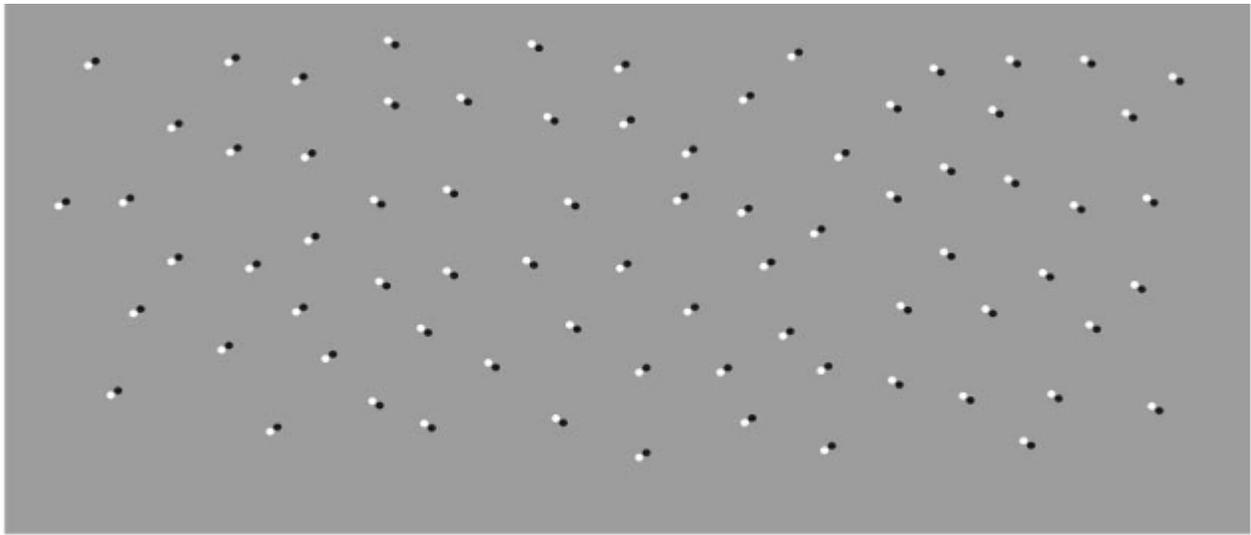


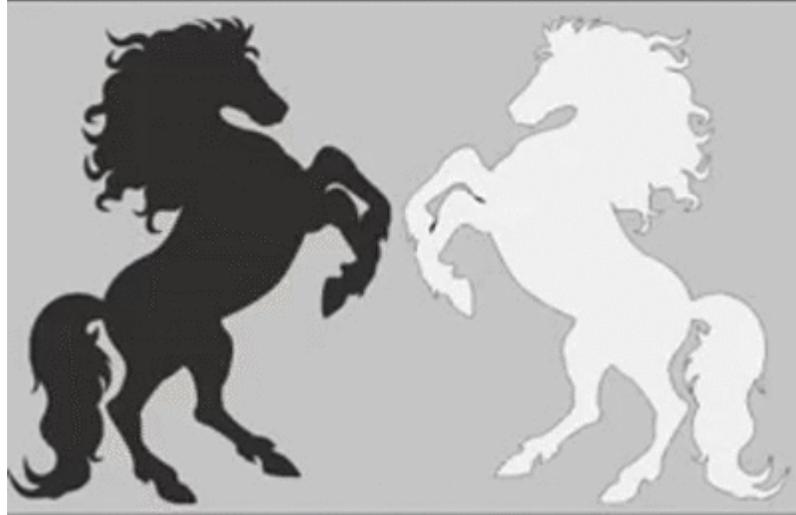
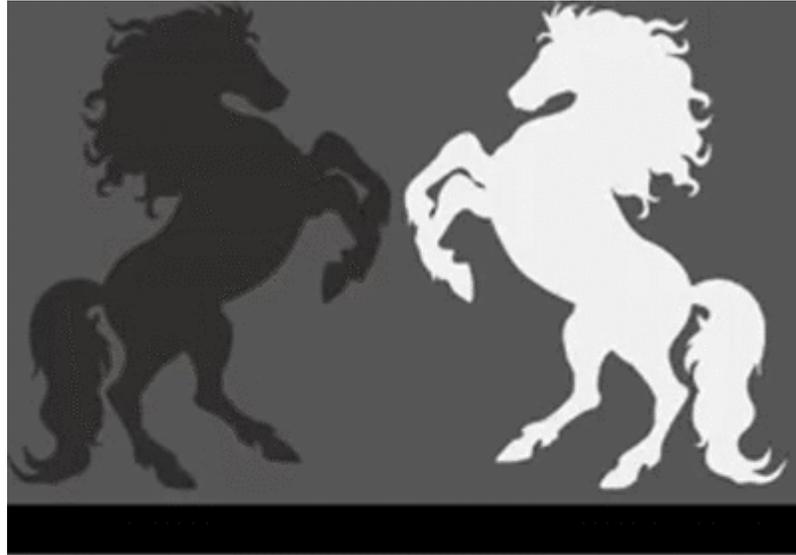
Percepção do movimento

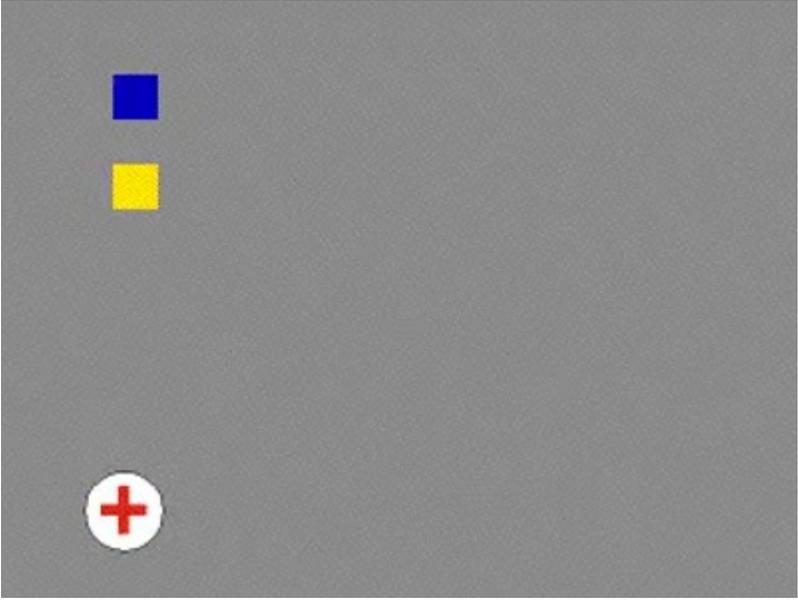
É mais primitiva do que a das cores!



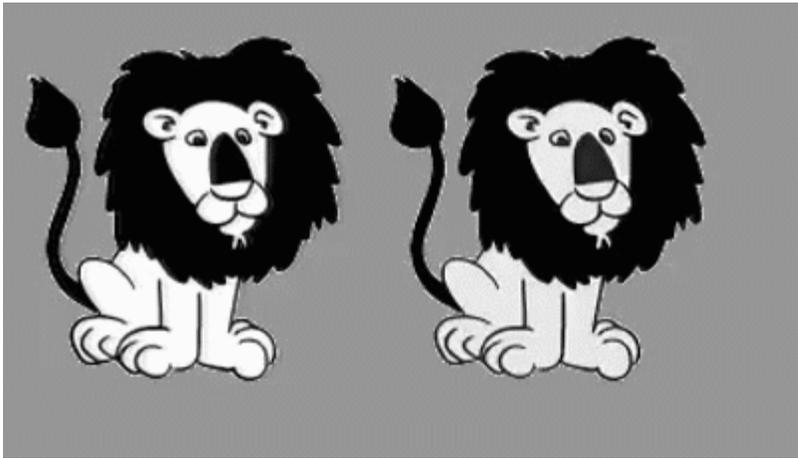
Y O C
S M O Q W O F H
R Z T I X
S G I D E N T I E S T Q
P N

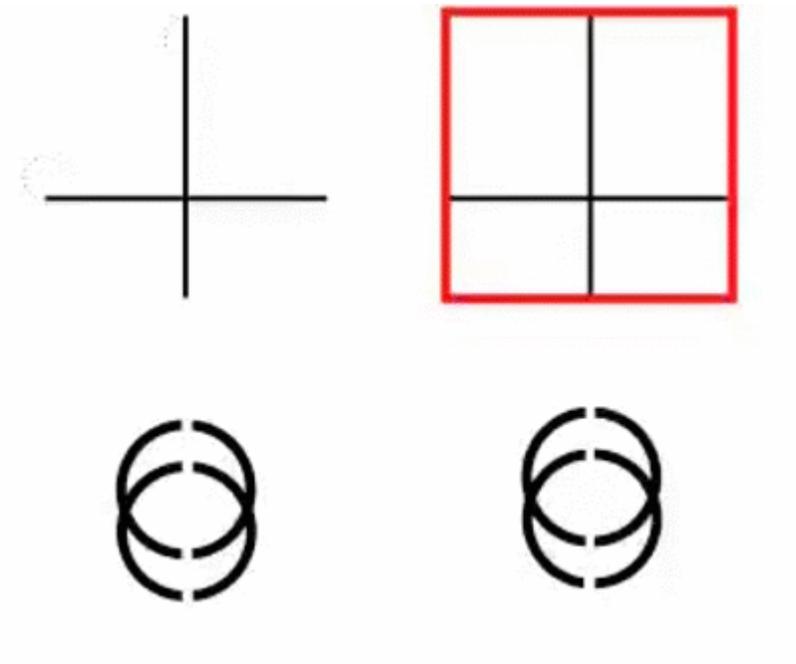






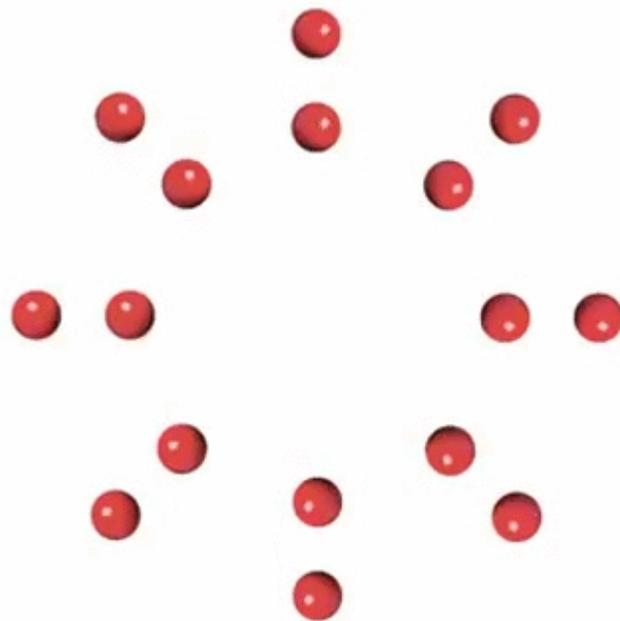


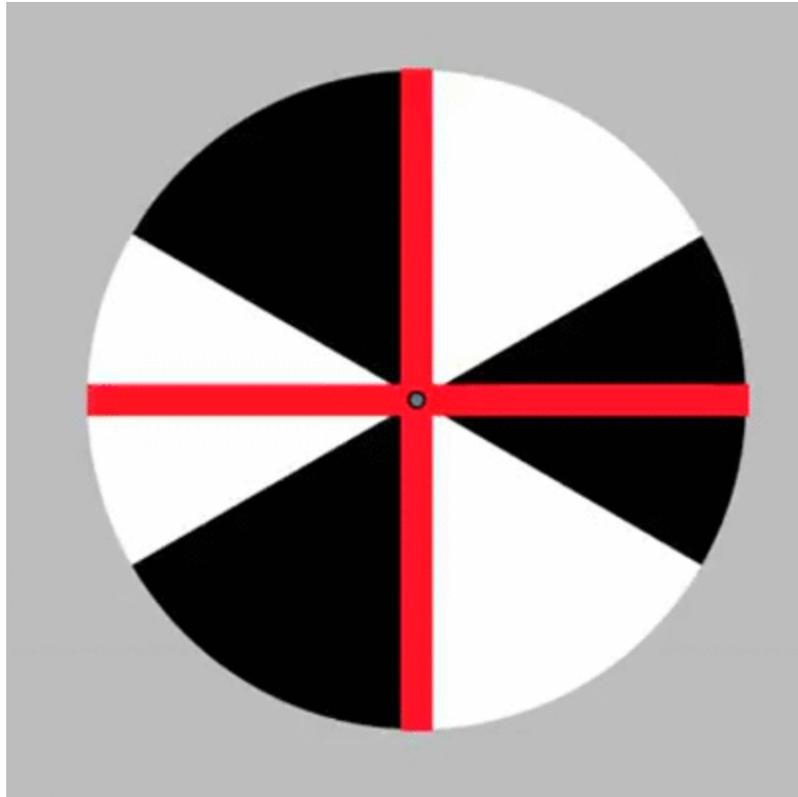


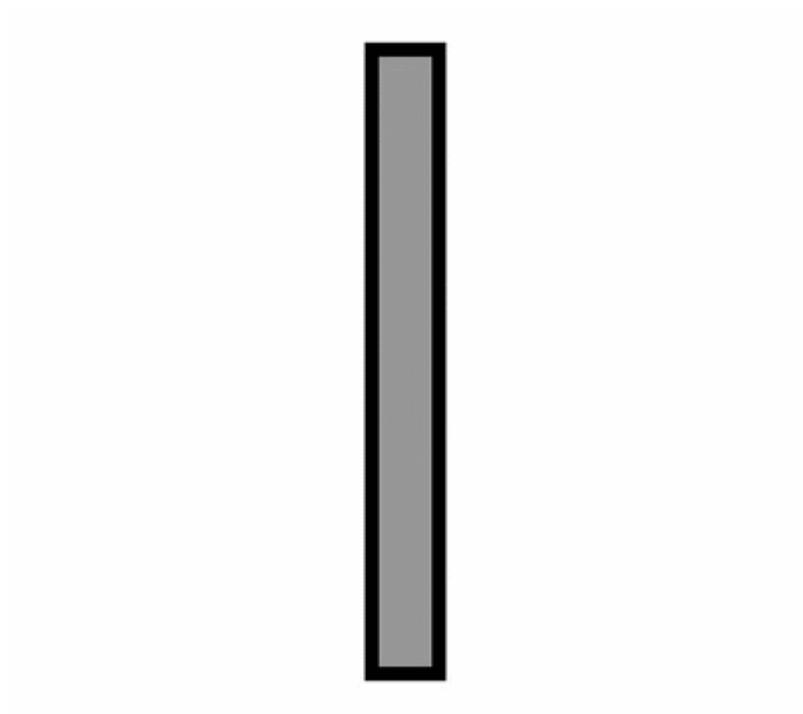




+







O trem vem ou vai?



Esconda o terço central e depois esconda o primeiro e ultimo terço desta imagem. A velocidade é a mesma?



Algumas Características da Visão Humana

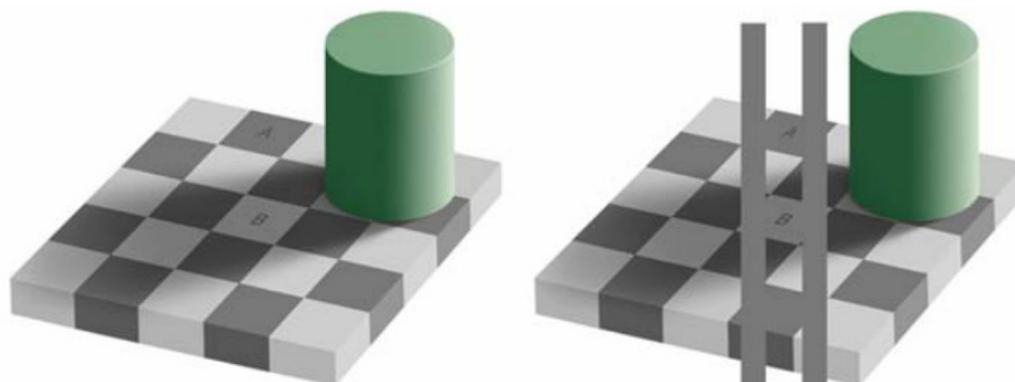
- **Adaptabilidade**
- **Constancia**
- **Visão colorida**
- **Acomodação**
- **Campo de visão**
- **Acuidade**
- **Persistência visual**

Constância de cor



“ver” a cor é mais que apenas capturar comprimentos de ondas

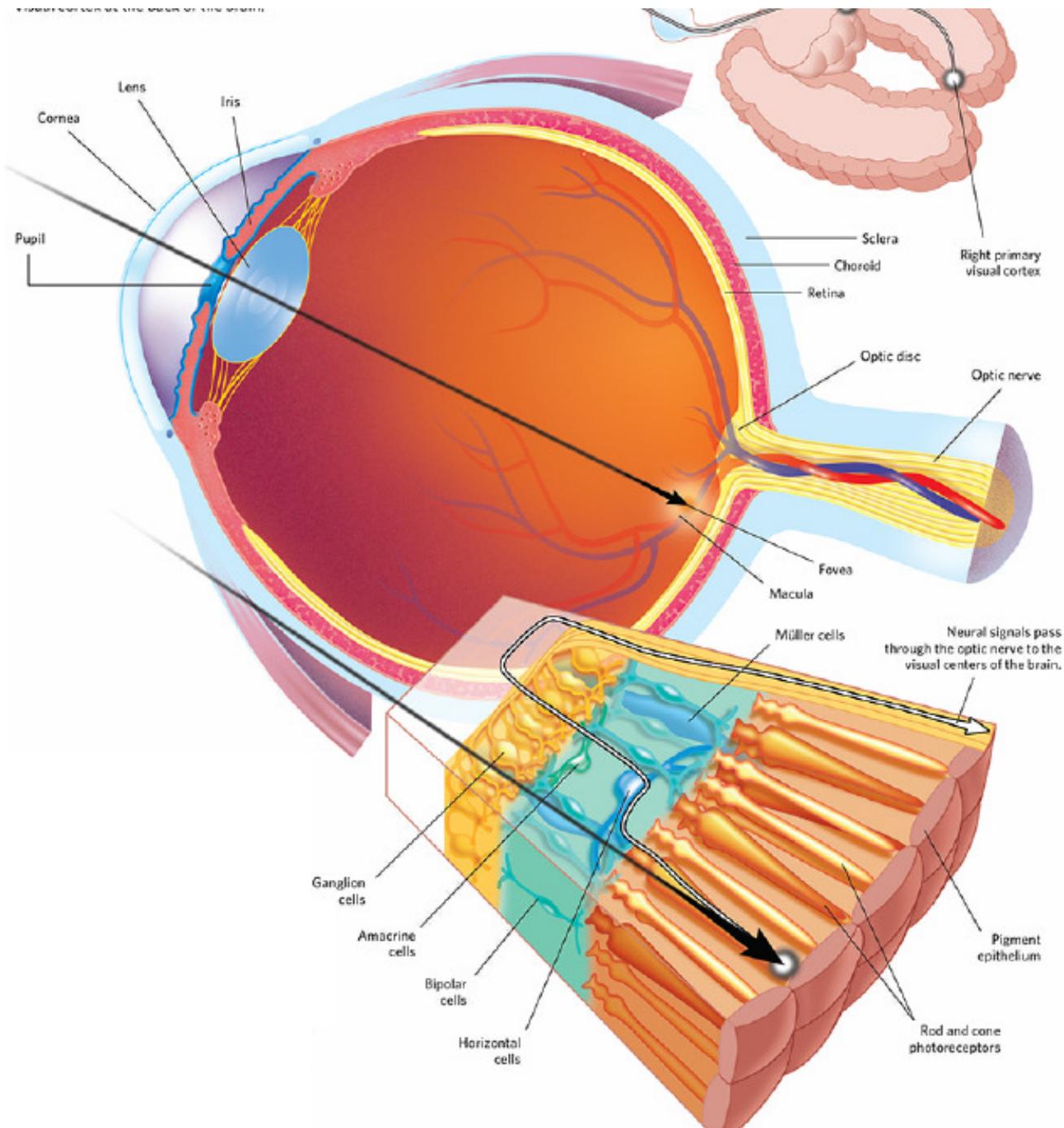
Uma banana parece **amarela** independente da quantidade de iluminação que incide sobre ela. E ela pode nem ser medida como **amarela**, mas você continuara a pensar que ela é **amarela**!



Como funciona a visão?

a luz entra em seus olhos, a córnea a refrata e ela penetra passando pela pupila e sendo focada pelo cristalino (lentes) na segunda parte do olho, onde encontra a retina.

Onde células fotossensíveis **i**niciam sua transformação em sinais elétricos que a transformarão em visão.

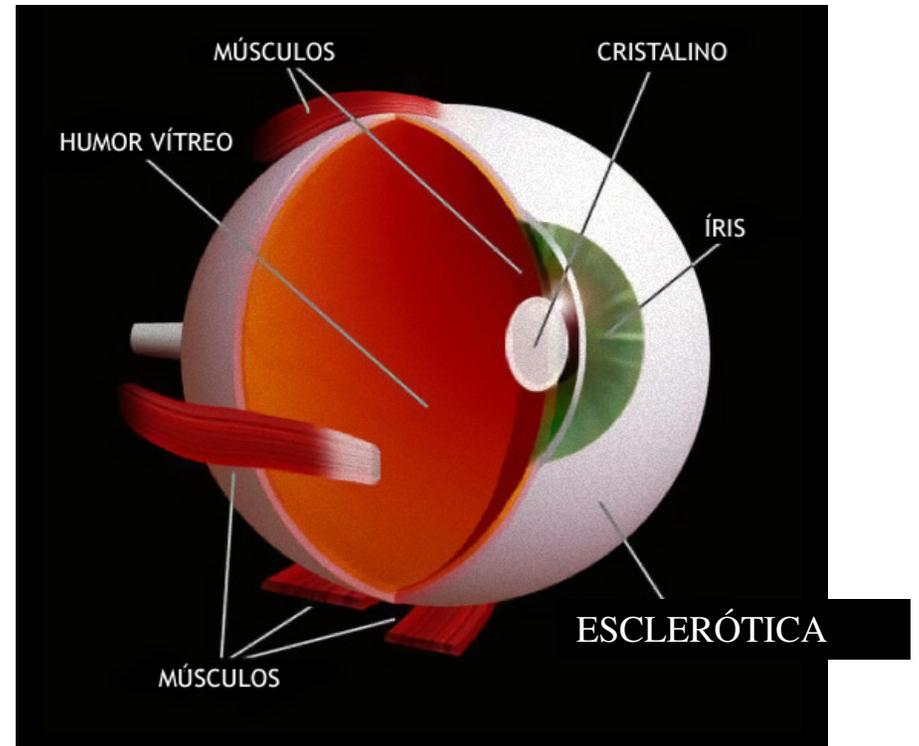


Sistema de Visão Humana

Esclerótica - membrana elástica, conhecida como 'branco do olho'.

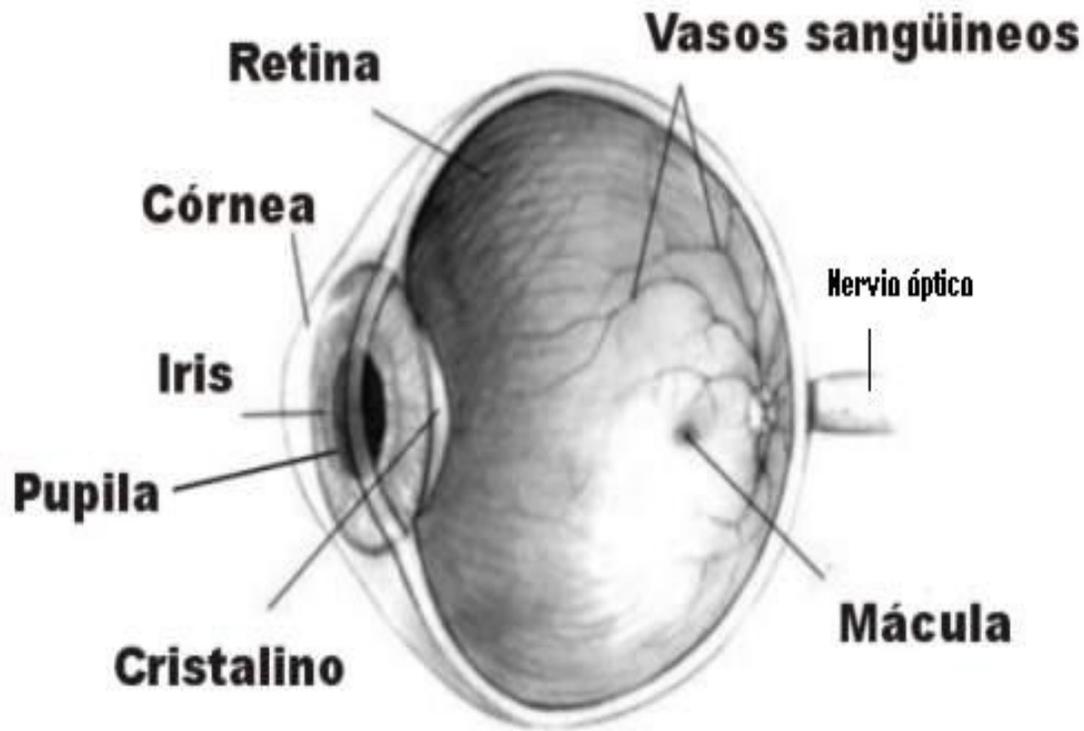
Córnea - atua como uma lente simples, captando e concentrando a luz.

Íris – membrana colorida com um orifício negro no centro (pupila).



Principais elementos do olho humano.

Sistema de Visão Humana



Elementos do olho em corte.

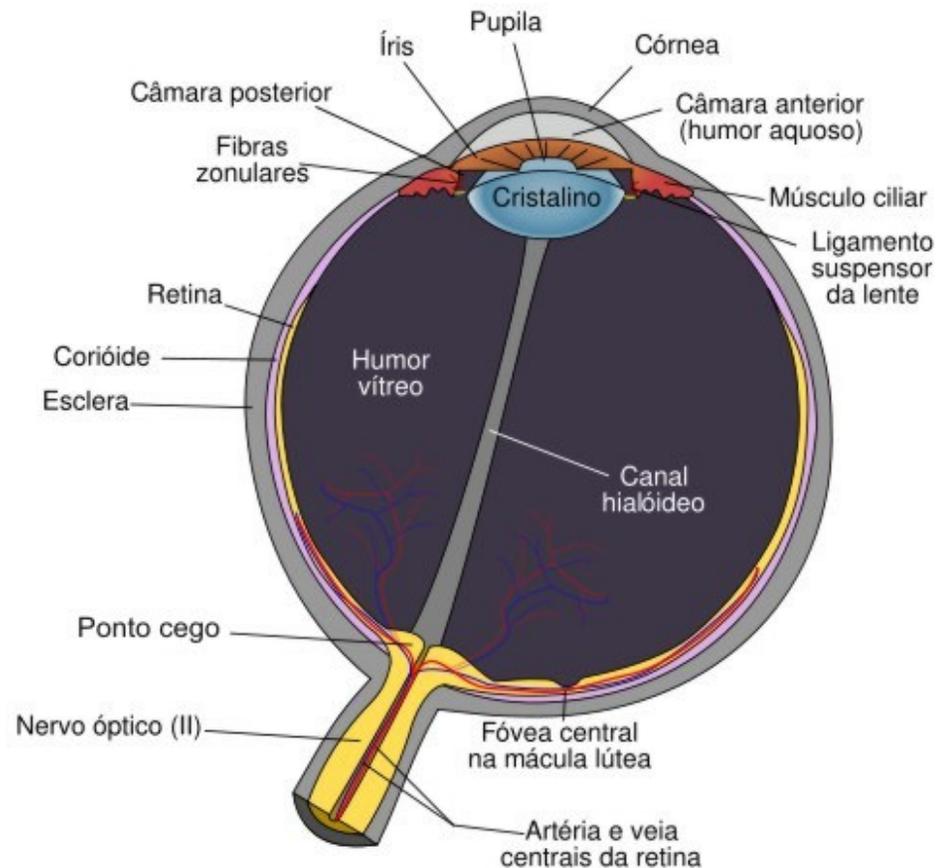
Cristalino - parte da visão humana responsável pelo foco, sendo **também** chamado de lente.

Humor vítreo – substância gelatinosa localizada atrás do cristalino.

Sistema de Visão Humana

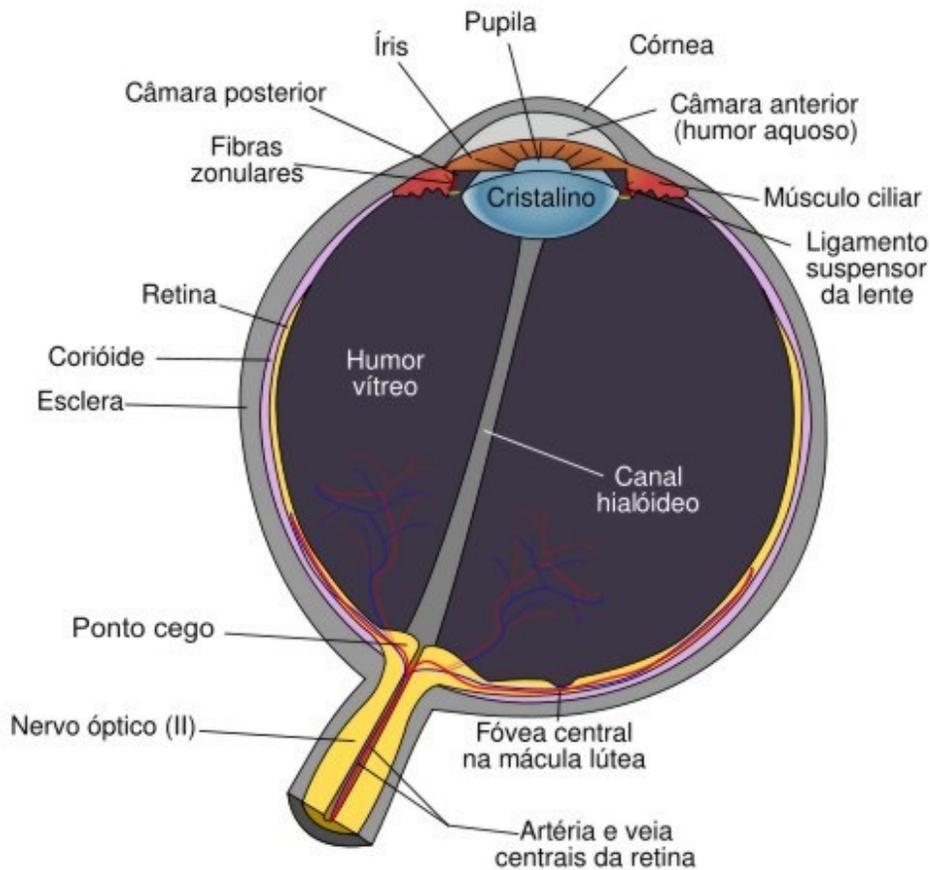
Humor aquoso – encontra-se atrás da córnea em uma pequena câmara preenchida (fluido gelatinoso).

Pupila - a luz passa através deste orifício (ponto negro do olho).



Principais elementos em 2D.

Sistema de Visão Humana

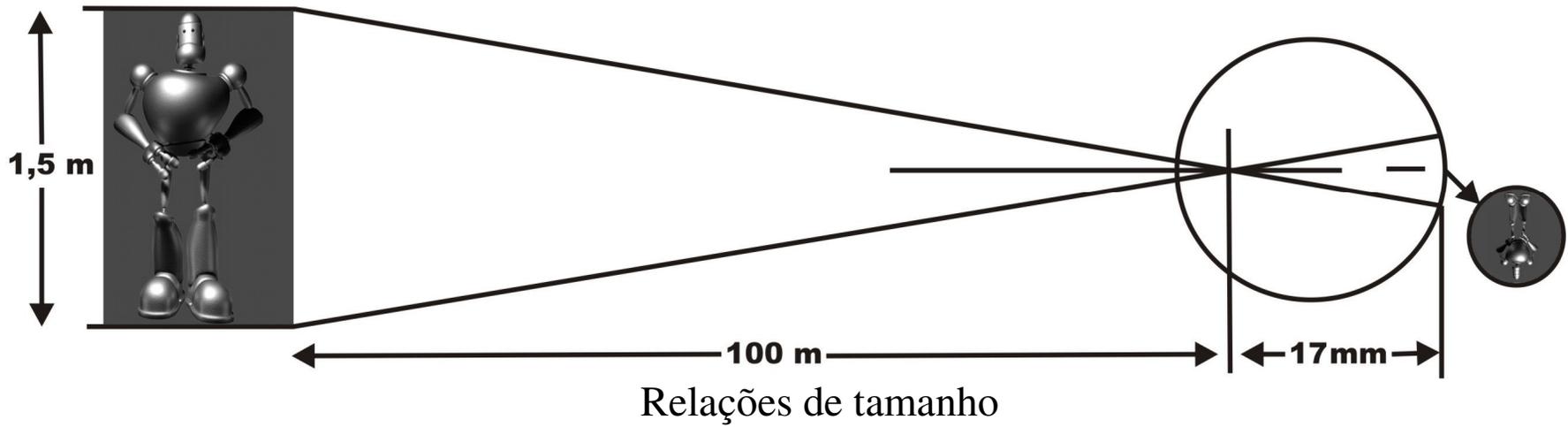
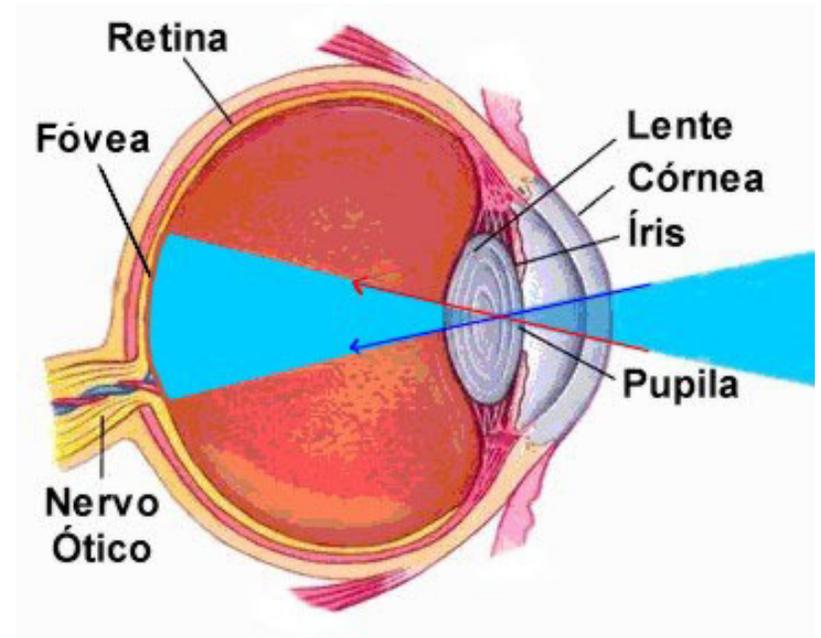


Esquema dos principais elementos do olho humano.

Retina – em média composta de cerca de 120 milhões de bastonetes e 6 milhões de cones (sensores), converte o estímulo luminoso em sinais elétricos.

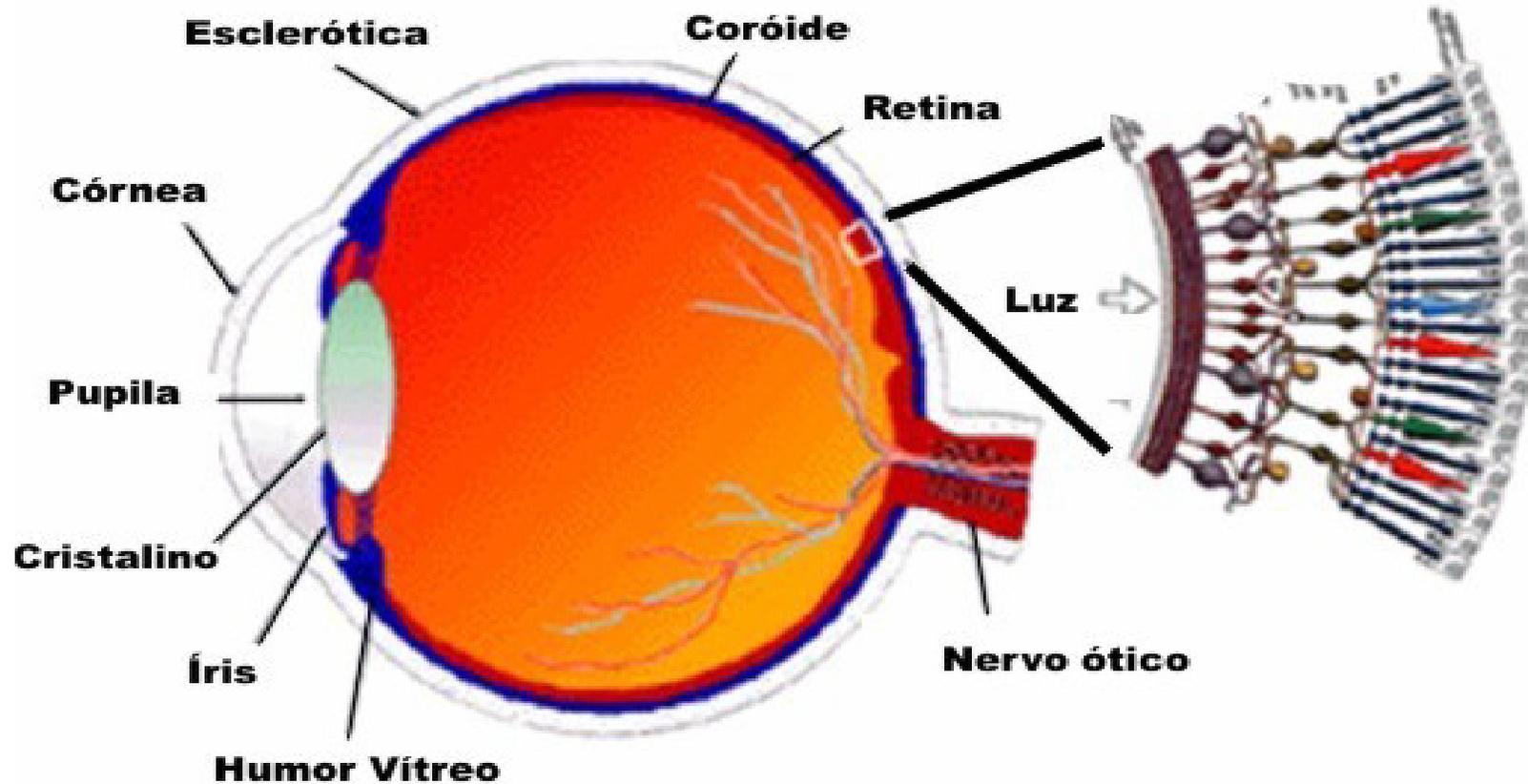
Nervo óptico - transmite para o cérebro os sinais.

Sistema de Visão Humana



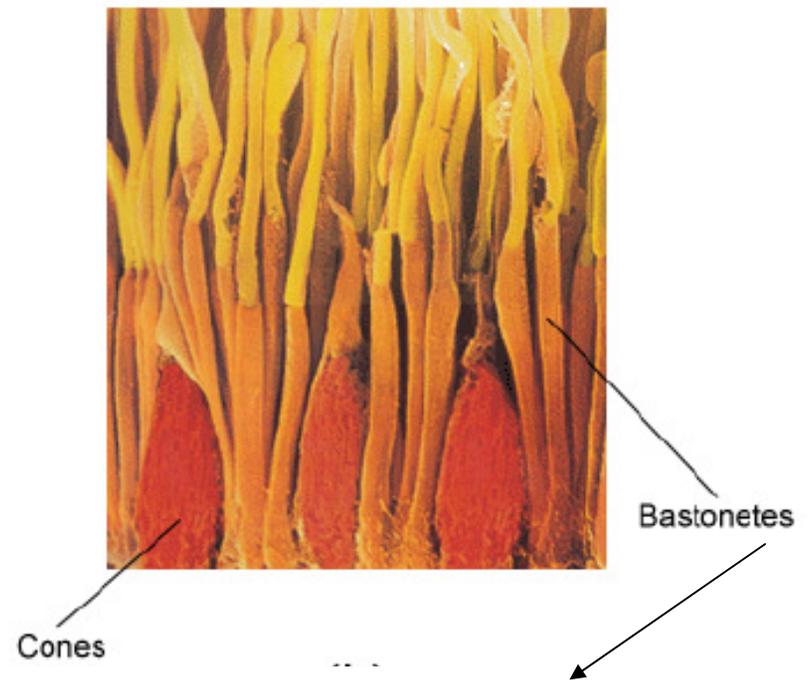
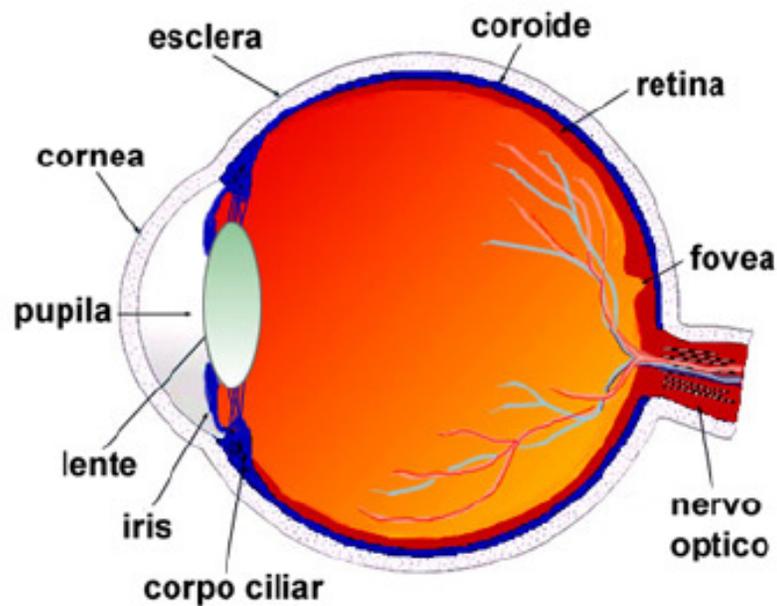
Sistema de Visão Humana

Células Cones e Bastonetes



Olho humano e células da retina

Os cones são cerca de 7 milhões,



cerca de 125 milhões

Bastonetes

Visão monocromática:

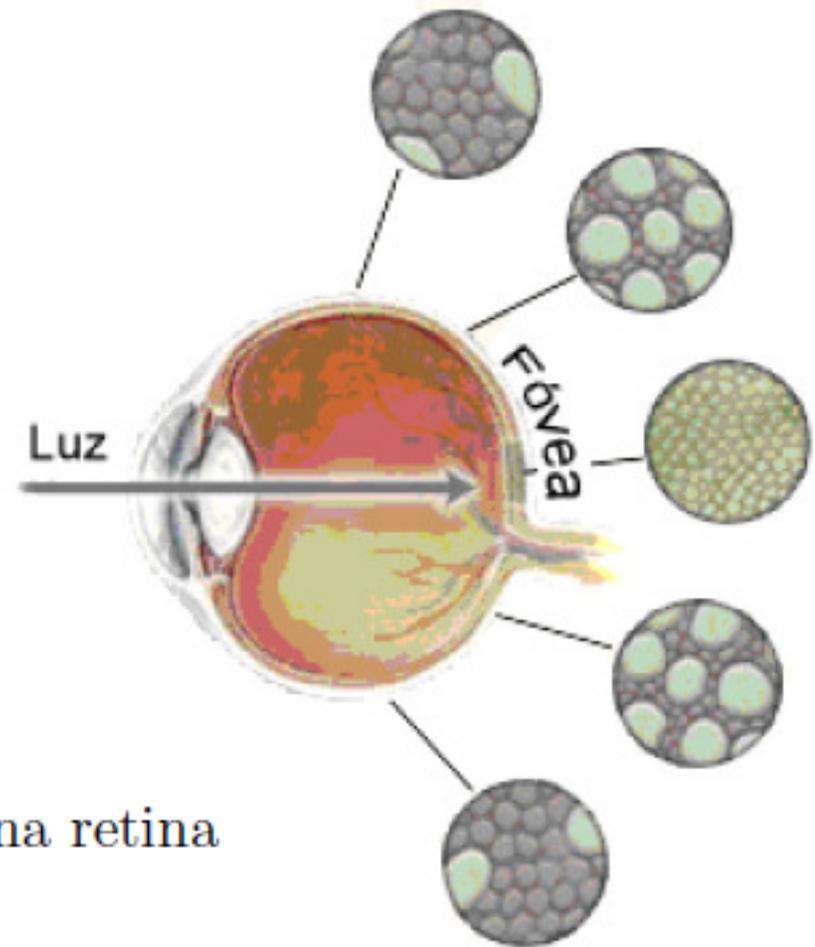
A substância química responsável pela sensibilidade dos bastonetes à luz é a **rodopsina**, quando a luz incide sobre uma molécula de rodopsina, esta gera um sinal elétrico que é transmitido às células nervosas presentes na retina.

cones

3 tipos:

- i. L-Cones - Curva de resposta com pico em 445nm
- ii. M-Cones - Curva de resposta com pico em 535nm
- iii. S-Cones - Curva de resposta com pico em 575nm

Distribuição dos cones e bastonetes na retina



Percepção de Cor

Teoria Tricromática

Apenas três tipos de receptores da retina são necessários operando com sensibilidades a **diferentes comprimentos de onda: três cores primárias.**

Teoria de Maxwell

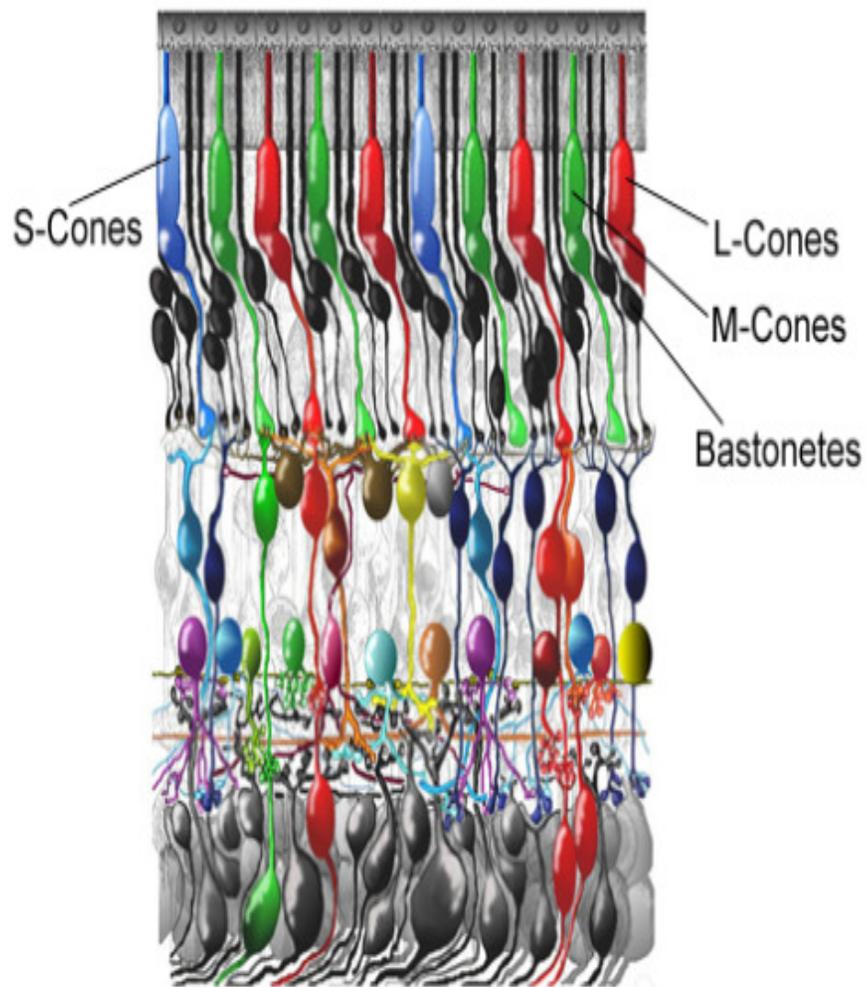
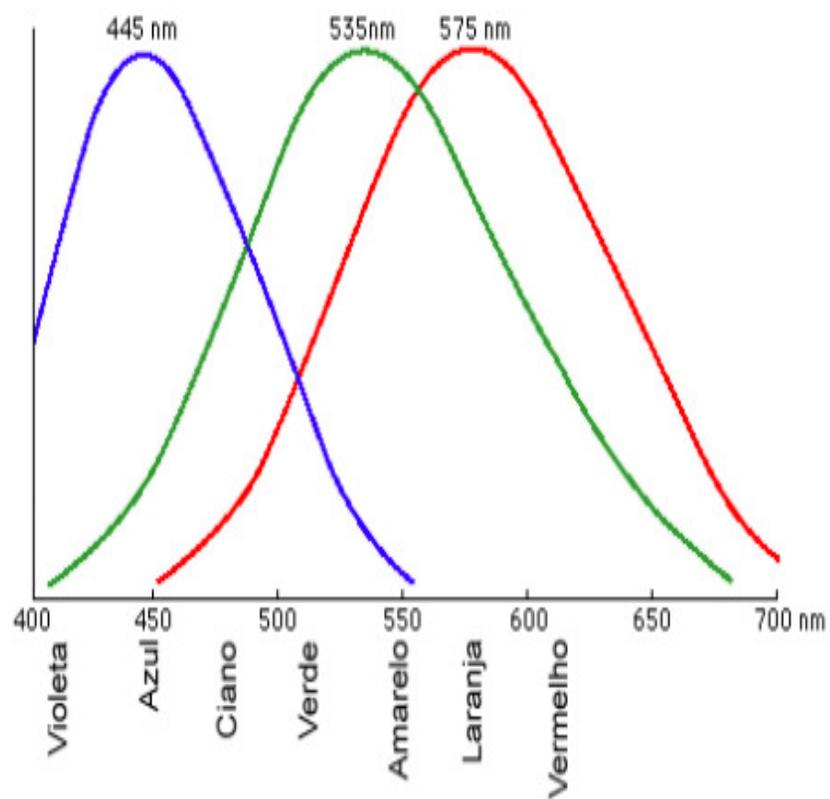
Os três cones existentes na retina são sensíveis respectivamente ao vermelho (*R*), ao verde (*G*) e ao azul (*B*), chamadas *cores primárias de luz*.

Teoria de Yong

Young, no século XIX, mostrou experimentalmente que a retina tem **3 tipos distintos de foto pigmentos**, sensíveis às 3 cores primarias: **vermelho**, **verde** e o **azul**.

Ele concluiu ainda que esta decomposição da luz em 3 cores não é uma característica da luz, mas sim uma característica do sistema visual humano

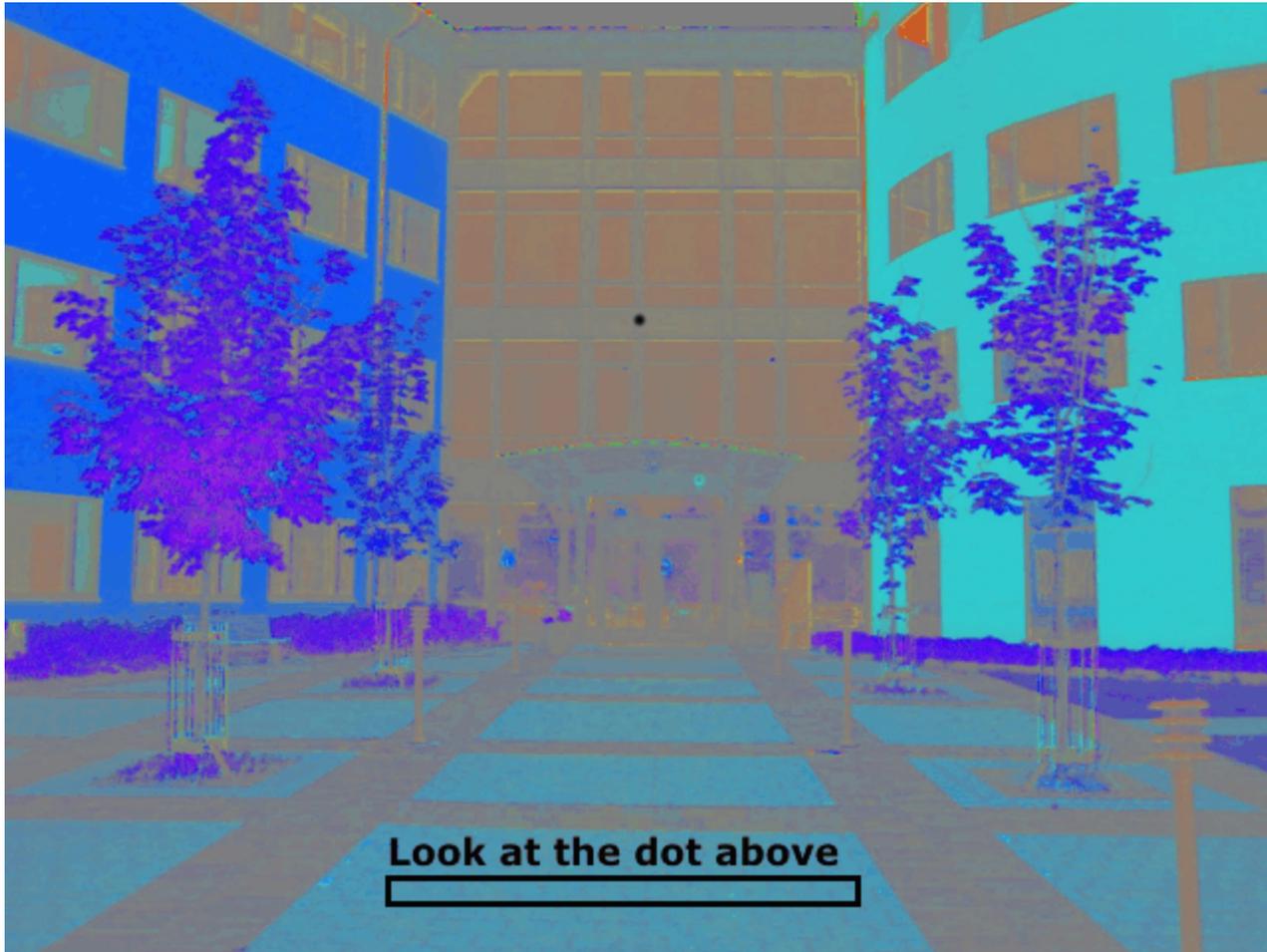
Curvas de respostas dos 3 tipos de cones



Não somos fotômetros!

Ao sair da retina os impulsos eletroquímicos que determinam a cor seguem seu caminho para o sistema perceptivo, mas como a cor é determinada?

A **trinca de informação que sai da retina** se transforma em uma **dupla de cores oponentes** (amarelo-azul, vermelho-verde), agindo como um filtro, tornando a codificação da cor mais seletiva



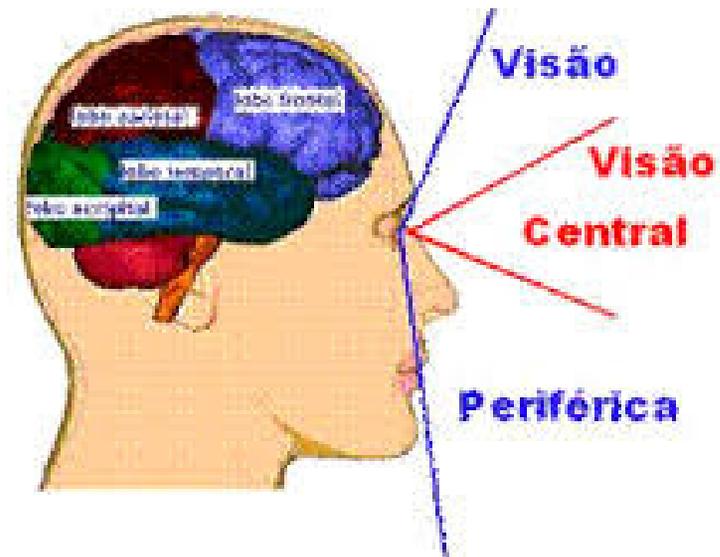
Look at the dot above

Em seguida o sinal segue para o cérebro onde se direciona a áreas específicas para o tratamento de cor e iluminação.

Esta divisão é responsável por diferentes percepções independentes.

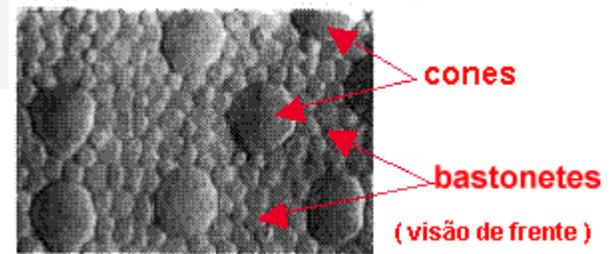
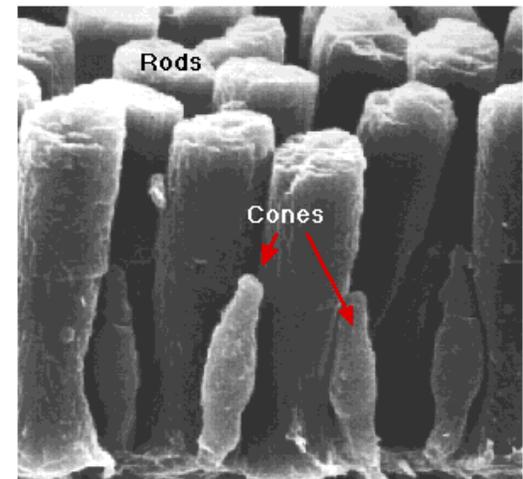
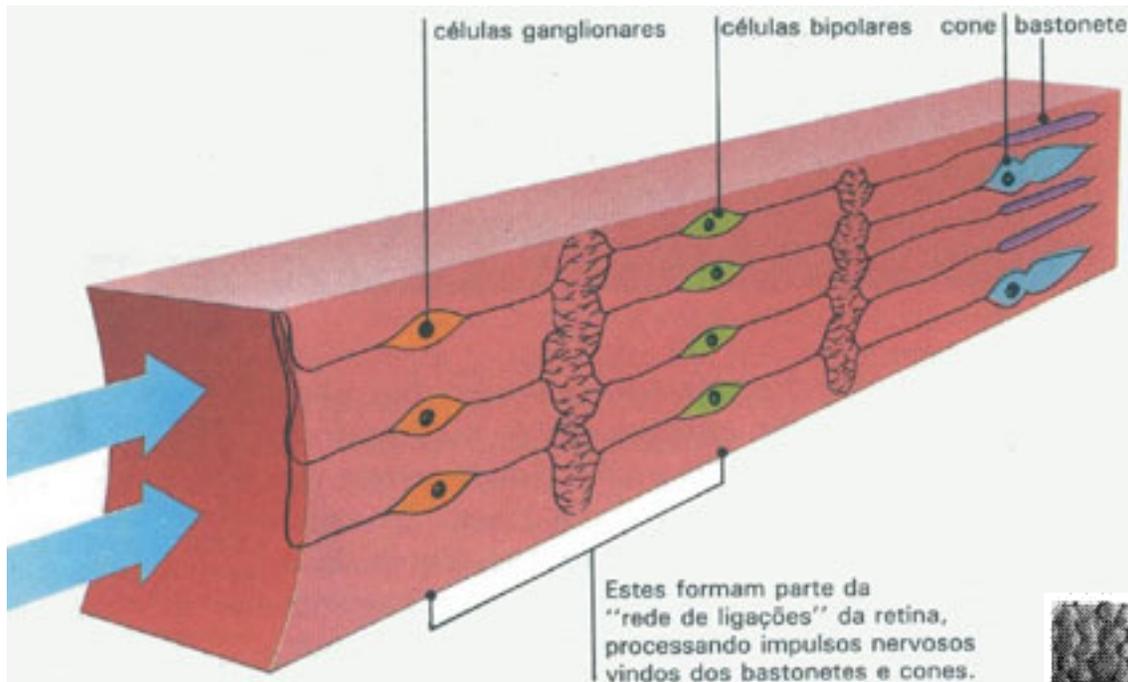
Cores -> visão central

Intensidade - > Visão periférica



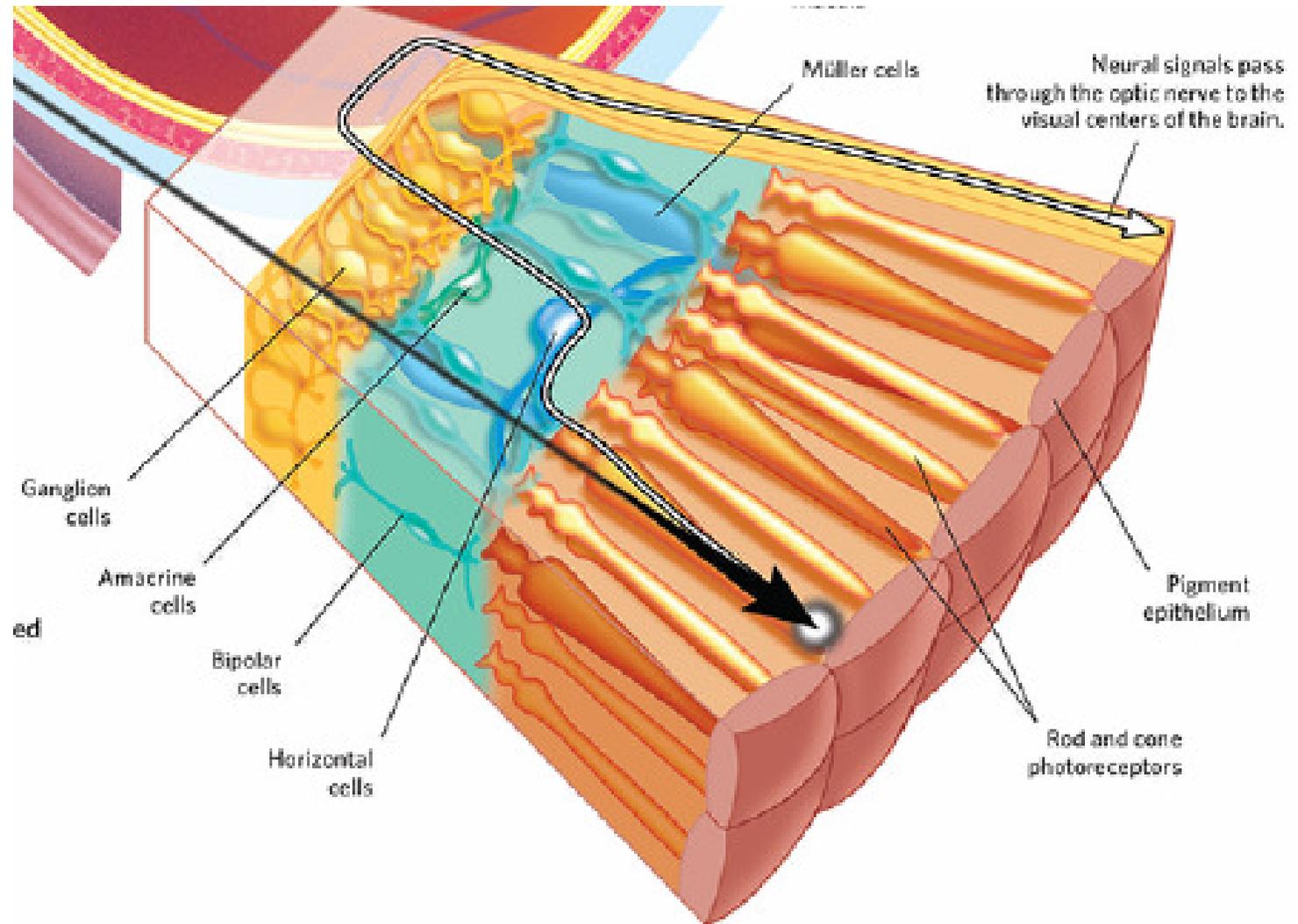
Sistema de Visão Humana

Esquema x real



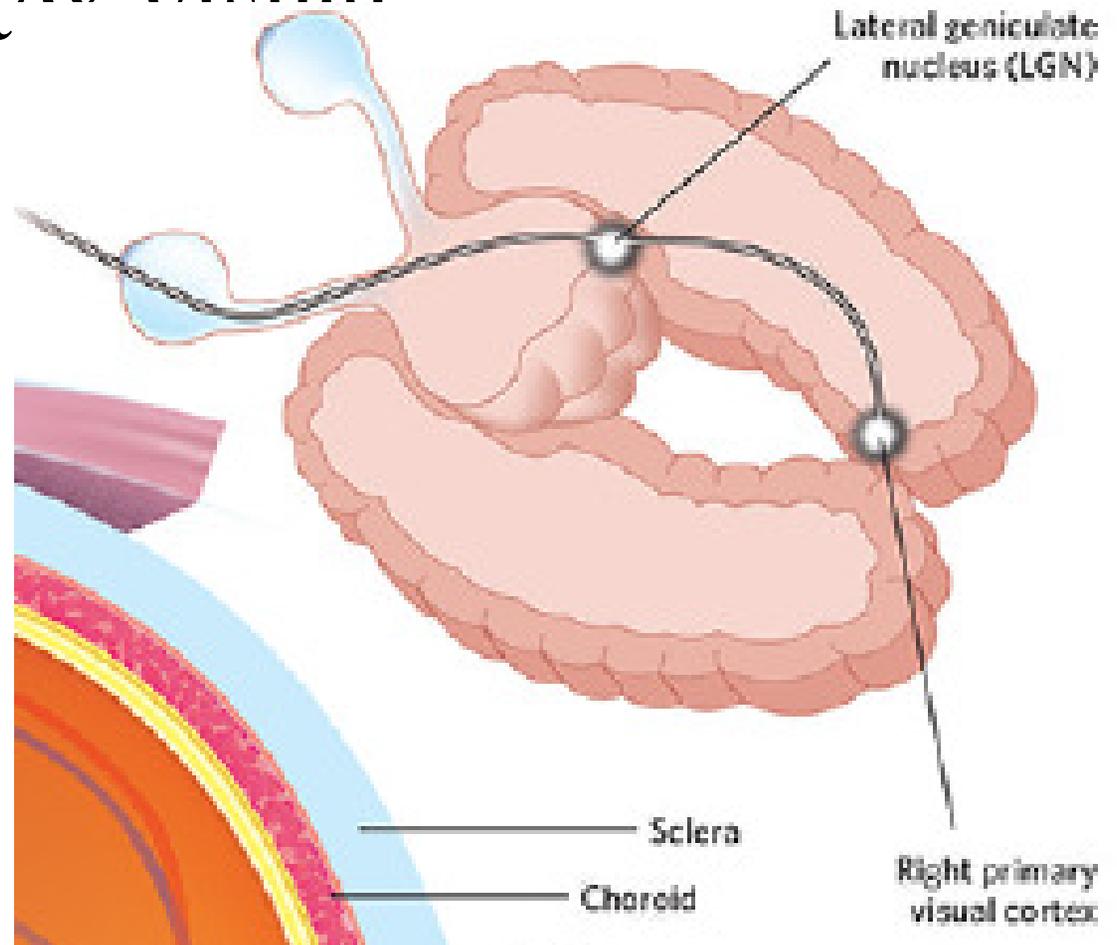
...a ...

fotoreceptores no final da retina a luz deve atravessar outras camadas



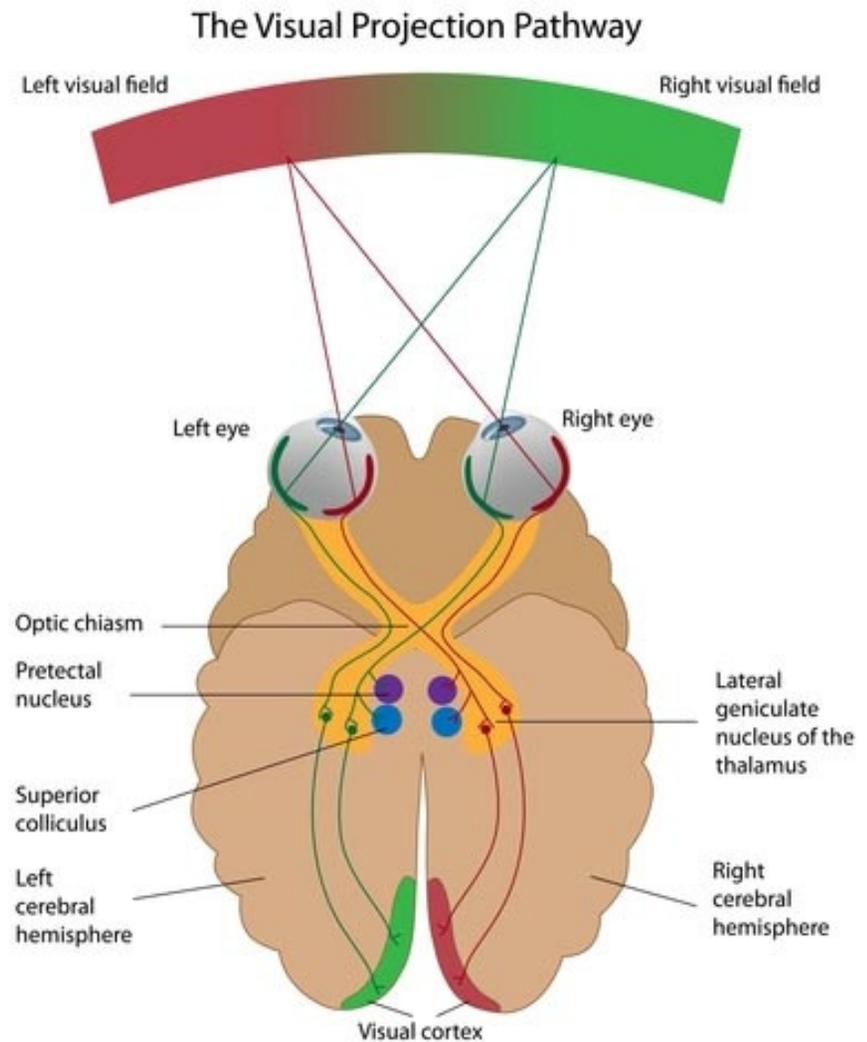
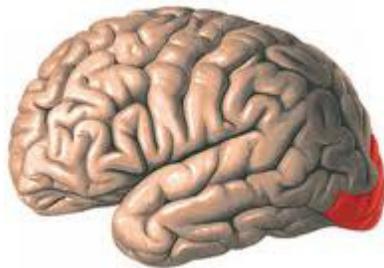
O nervo óptico leva os sinais visuais a diversas regiões do cérebro e aos 2 hemisférios, neste caminho passam pelo Núcleos Laterais Geniculares (LGN) até o cortex visual

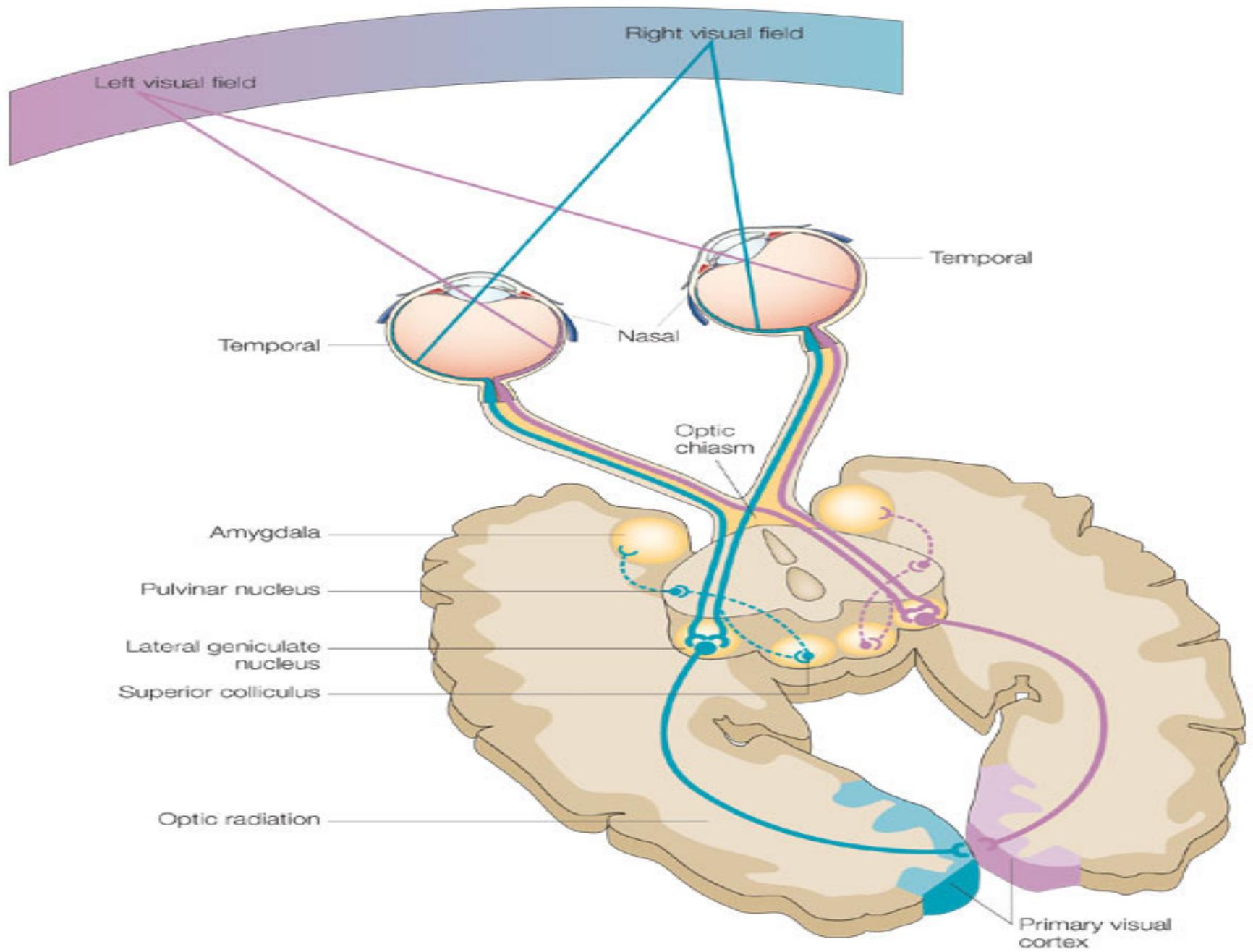
Núcleos Laterais Geniculares (LGN)
Campos visuais do mesmo lado de cada olho



Núcleos Laterais
Geniculares (LGN)
Campos visuais do lado
direito de cada olho é
tratado no LGN do lado
esquerdo

córtex visual





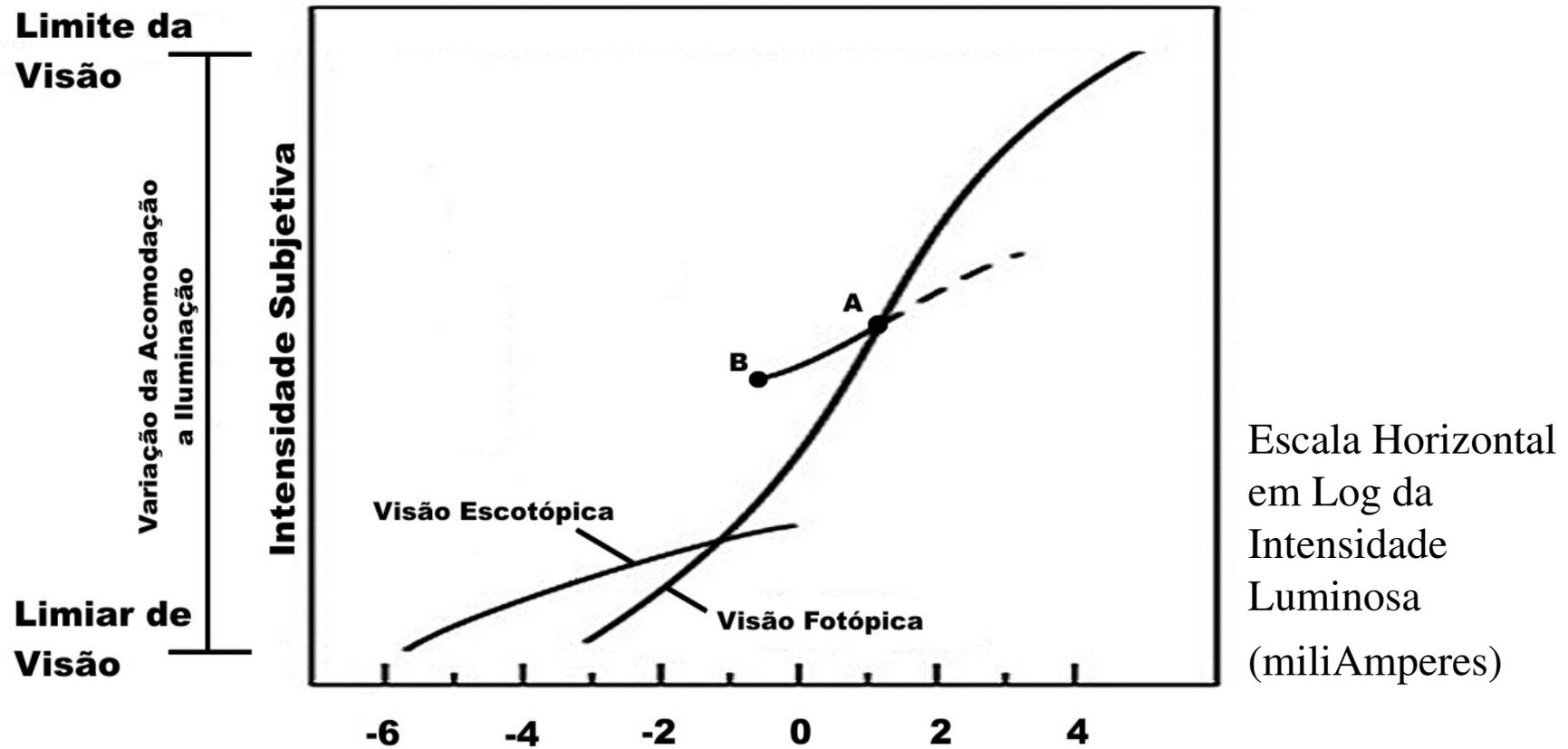
Sistema de Visão Humana

Característica do processo de visão

- Adaptabilidade ao nível de iluminação, muito claro e ao quase completamente escuro**

Sistema de Visão Humana

Visão Escotópica e Fotópica

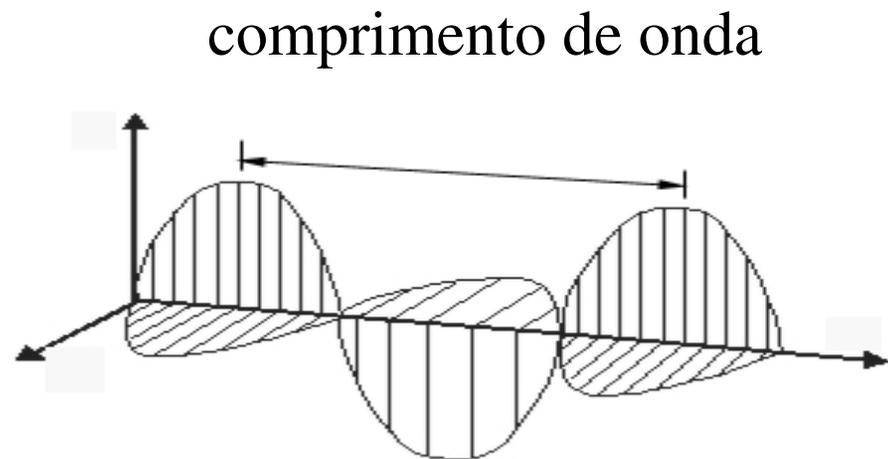
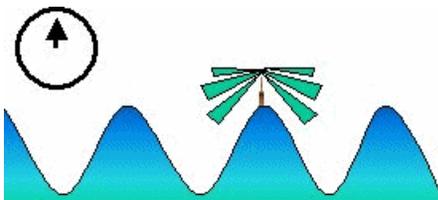


Intensidade Luminosa da visão escotópica e fotópica

Características ópticas da luz

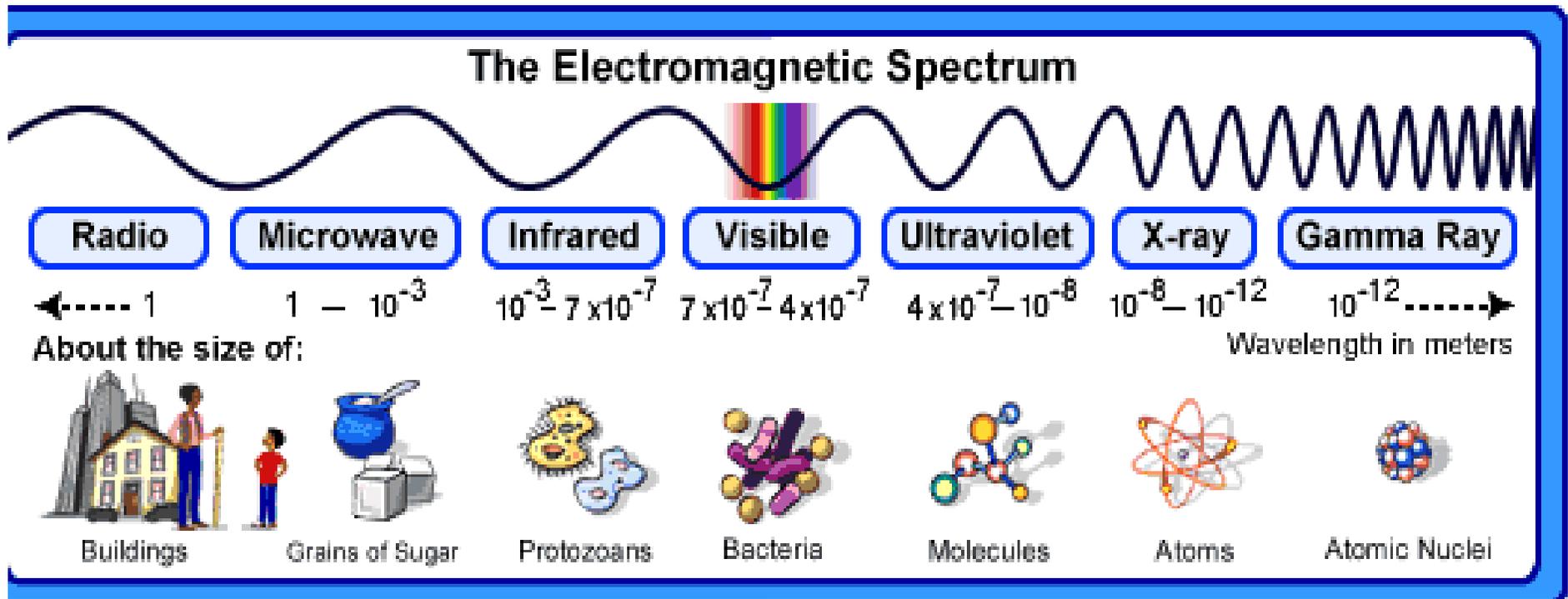
A luz é uma radiação eletromagnética que interage com as superfícies por:

- reflexão
- absorção
- transmissão



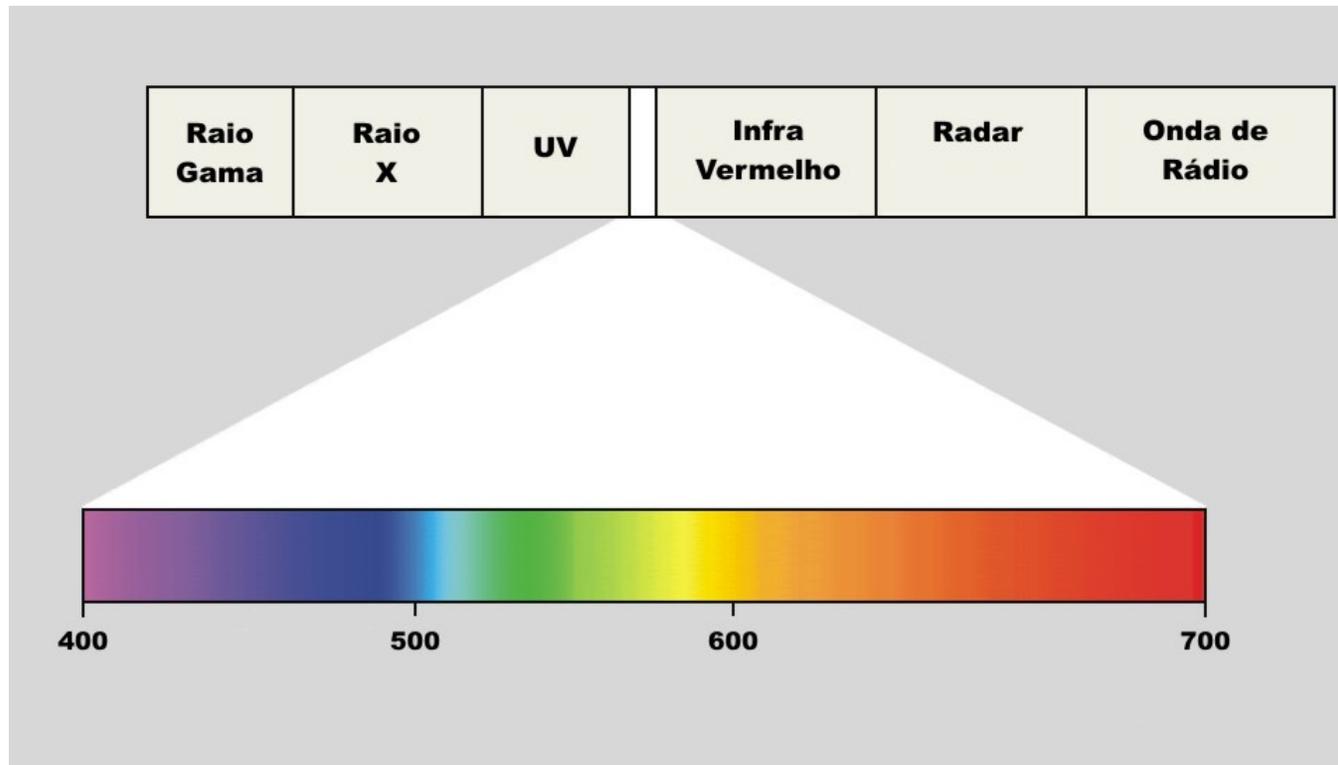
Espectro eletromagnético

E comprimentos de onda



Características ópticas da luz

Radiação Eletromagnética



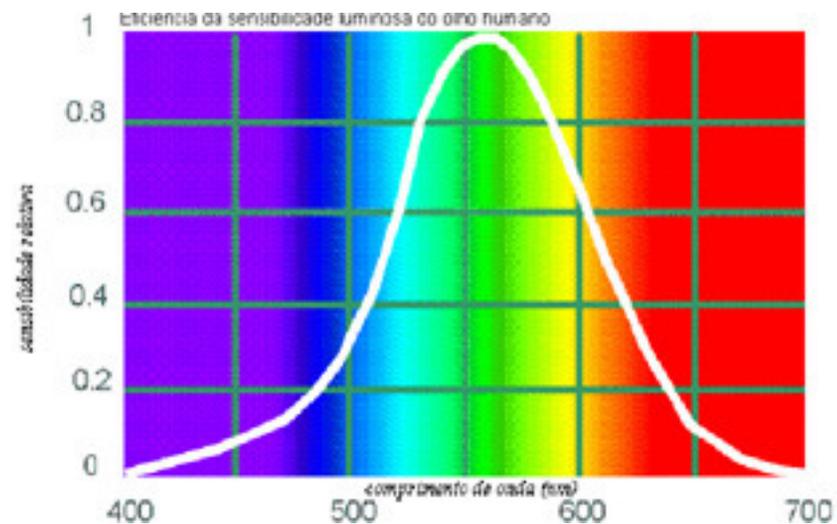
Espectro eletromagnético e comprimentos de onda

(em nano metros – nm) .

Características ópticas da luz

Limites de sensibilidade

- Os limites do espectro visível e das faixas de cores não são bem definidos (dependem da sensibilidade dos órgãos visuais e da intensidade luminosa)
- As curvas de sensibilidade se aproximam assintoticamente do eixo horizontal nos limites, tanto para os maiores quanto para os menores comprimentos de onda.
- Pode-se detectar radiações além de 380 e 700 nm se elas forem suficientemente intensas.



Características ópticas da luz

Imagem Térmica
O que é *false color*?



Exemplo de uma cena exibida em RGB e a mesma cena captura por um sensor térmico e representada associando o nível de temperatura a cores (*false color*)

Características ópticas da luz

Radiações do espectro eletromagnético.

	RADIAÇÃO	COMPRIMENTO DE ONDA (nm)
ACTÍNEO	Ondas curtas UV - C	100 a 280
	Ondas médias UV - B	280 a 315
	Ondas longas UV - A	315 a 400
VISÍVEL	Espectro visível	400 a 700
TÉRMICO	Ondas curtas IV - A	700 a 1400
	Ondas médias IV - B	1400 a 3000
	Ondas longas IV - C	mais de 3000

Percepção de Cor

Discromatopsias: defeitos de visão de cores

- Combinando luzes vermelhos, verdes e azuis em intensidades adequadas, os indivíduos normais enxergarão a cor branca - são os **tricromatas normais**.
- Algumas pessoas **necessitam das 3 cores**, porém de intensidade **bem maior de uma** dessas cores e menor nas outras - são chamadas de **tricromatas anormais**.

Percepção de Cor

Tricromatas anormais

- Produzem os 3 pigmentos, mas com sensibilidade anormal.
- Podemos identificar dois tipos **principais** de **tricromatas anormais** :
 - protanômalos e
 - deuteranômalos,conforme necessitem de um excesso de **vermelho** ou **verde**.

Percepção de Cor

Dicromatas :

- Outras pessoas, os **dicromatas**, são capazes de vêr o **branco** com mistura de apenas **duas** das três cores primárias aditivas.
- Dicromatismo é consequência da **ausência de síntese** de um desses pigmentos.
- Mais comuns pessoas **protanópsicas** ou **deuteranópsicas**, caso a **ausência** se faça em relação **ao vermelho** ou ao **verde**, respectivamente

Percepção de Cor

Monocromatas:

- Uma fração muito pequena das pessoas é constituída de monocromatas; esses vêem qualquer luz como apenas branco, seja ela de qualquer uma das três cores ou suas combinações.

Percepção de Cor

Problemas com as cores **verde** e **vermelho** são mais comuns:

- Por apresentarem **afinidades fisiológicas**, os **protanômalos** e **protanópsicos** são reunidos sob o nome de **protanóides**.
- O mesmo ocorre com os **deuteraanômalos** e **deuteraanópsicos**: constituem o grupo dos **deuteraanóides**.

Percepção de Cor

Em resumo, tem-se:

1. TRICROMATAS

1.1 NORMAIS

1.2 ANORMAIS

1.2.1 **PROTANÔMALOS** (déficit para o **Vermelho**)

1.2.2 **DEUTERANÔMALOS** (déficit para o **Verdes**)

1.2.3 **TRITANÔMALOS** (déficit para o **Azul**)

2. DICROMATAS

2.1 **PROTANÓPISICOS** (sem fotopigmento **Vermelho**)

2.2 **DEUTERANÓPISICOS** (sem fotopigmento **Verdes**)

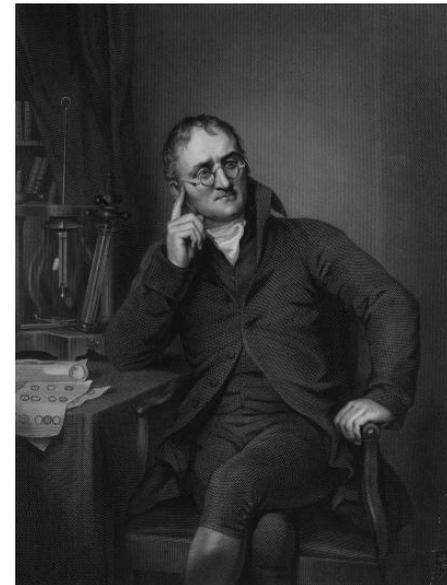
2.3 **TRITANOPISICOS** (sem fotopigmento **Azul**)

3. MONOCROMATAS OU ACROMATAS

Percepção de Cor

Daltonismo.

O primeiro tratado científico sobre a deficiência na visão de cores foi publicado em 1798 pelo químico Inglês **John Dalton [1766-1844]** por isso todos os problemas de visão a cores são também chamados de **Daltonismo.**



Teste de Daltonismo

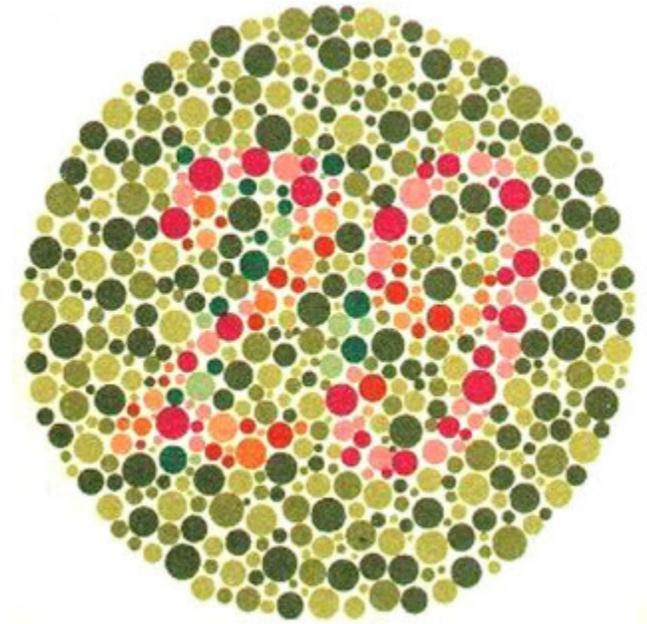
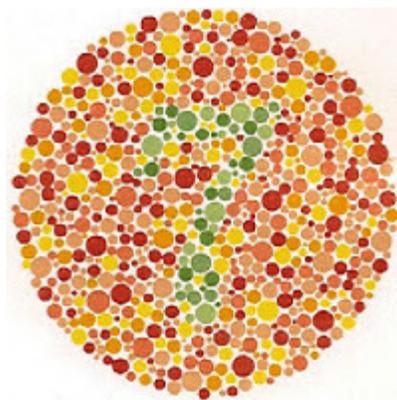
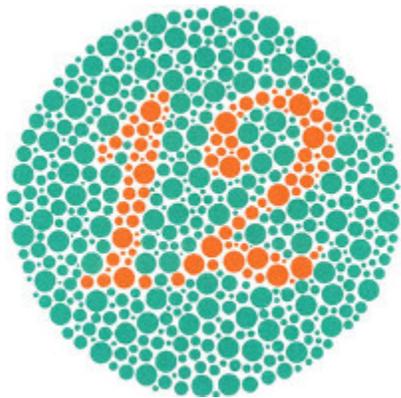
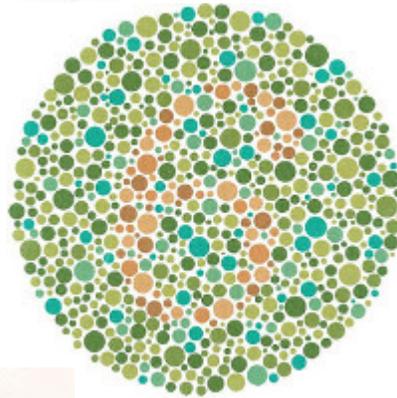
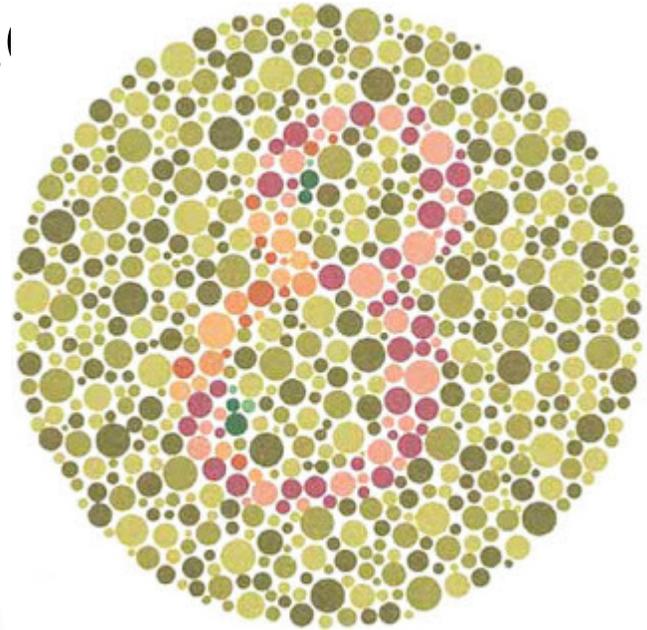
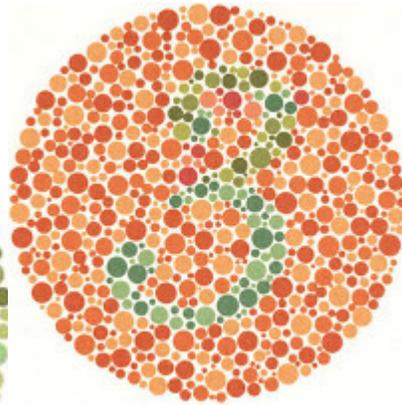
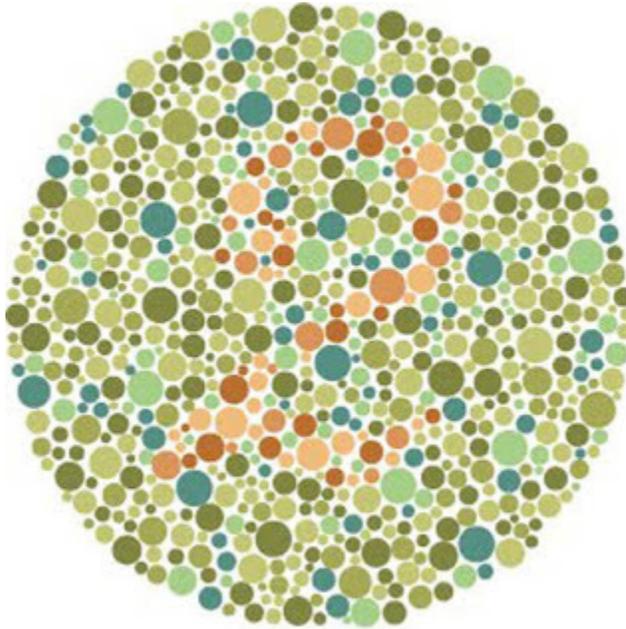
Na maioria das vezes o daltônico leva anos para perceber sua deficiência: Como sentir falta de algo que nunca se viu?

Devido a fatores genéticos ligados ao cromosoma X, as mulheres têm muito menos probabilidade de serem daltônicas do que os homens.

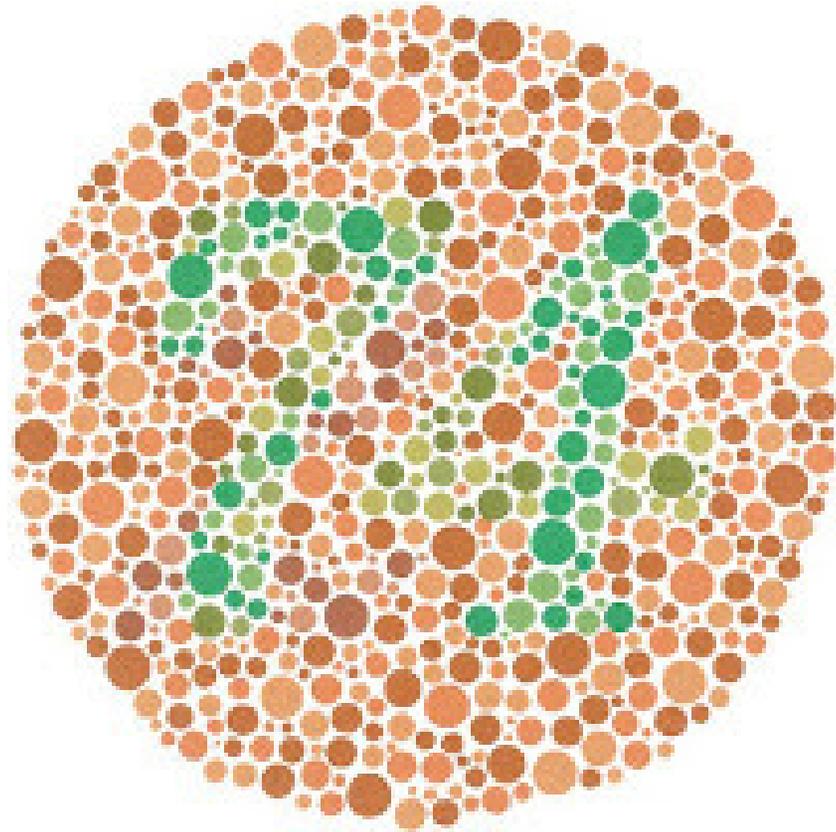
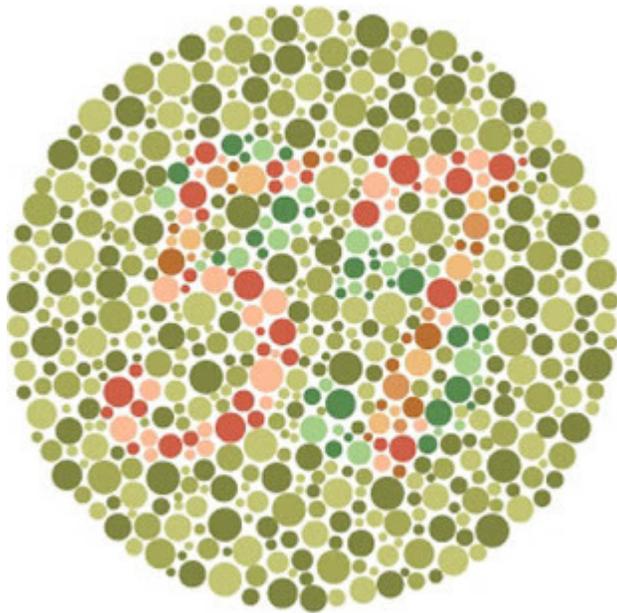
Teste resumido de daltonismo utilizando figuras de Ishihara.

O objetivo deste teste é identificar os números presentes em cada figura.

**peças com daltonismo não enxergam
os números 2, 12, 3,**



peçoas com daltonismo não enxergam os números 57, e 74



Espaços de Cores

Para que a quantificação seja possível, é e necessário um domínio para se trabalhar com a cor, ou seja, um **espaço de cores**.

Este deve ter as seguintes propriedades:

Capacidade de representar a **maior quantidade** de cores possíveis.

Possuir **uma base** (com o menor número de cores possíveis) capaz de gerar todo o espaço.

Considerar ao máximo as **características fisiológicas** do sistema ótico e subjetivas do sistema perceptivo.

Representação como pontos de um espaço 3D de Cor

Cores criadas com o vetor cromático R,G,B

Cor	R (%)	G (%)	B (%)	
vermelho puro	100	0	0	
azul puro	0	0	100	
amarelo	100	100	0	
laranja	100	50	0	
verde musgo	0	25	0	
salmão	100	50	50	
cinza	50	50	50	

O espaço de cor *RGB*

$$C = r \mathbf{R} + g \mathbf{G} + b \mathbf{B}$$

onde \mathbf{R} , \mathbf{G} e \mathbf{B} são as cores primárias e r , g e b os coeficientes da mistura

Em geral define-se em três como o número de cores primárias em um espaço, devido ao fato do olho humano possuírem **três tipos de fotorreceptores**.

Nem todos os espaços de cor possuem uma **base com cores primárias**, nos espaços de cores *HSV* e *HSL* não existe um grupo de cores primárias.

Mesmo em um espaço com uma base, nem sempre essa base será formada por **comprimentos de onda visíveis**.

Por exemplo no espaço de cor XYZ, os 3 comprimentos de onda primários **X, Y e Z que formam a base não são visíveis**, mas podem ser usados para produzir **todas as outras cores visíveis**

Existem diversos tipos de
modelos,
são eles :

Fisiológico.

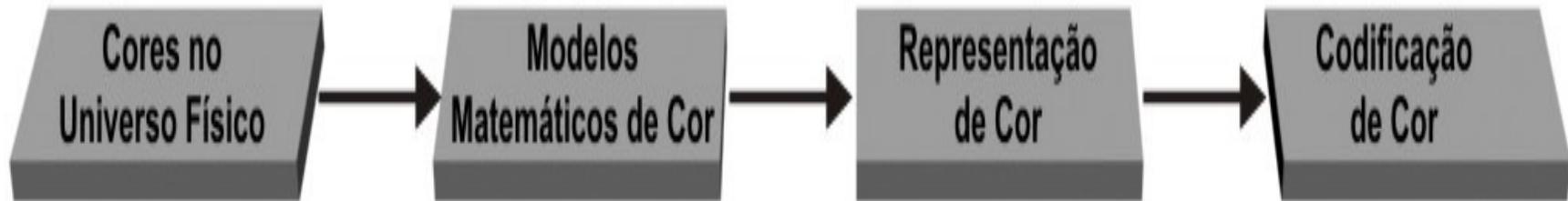
Sensações Oponentes.

Psicofísico.

Baseado em Medidas Físicas e

Adequados a determinado equipamento.

Modelos de Cores



Níveis de abstração de cores.

Modelo Fisiológico

considera a fisiologia da retina humana, ou seja, considera a existência de 3 células receptoras de luz combinando 3 elementos básicos.

Aditivos > para as **cores** por exemplo:
vermelha, **verde** e **azul**.

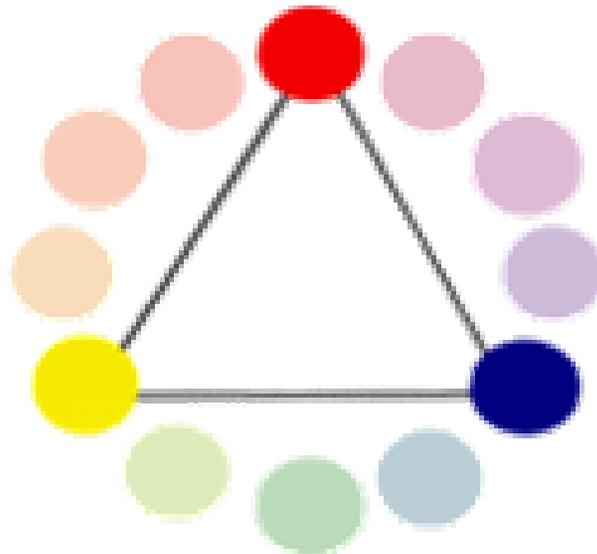
Subtrativos > para as **tintas** por exemplo: >
magenta, **amarelo** e **ciano**



Cores aditiva obtidas pela combinação de luzes RGB

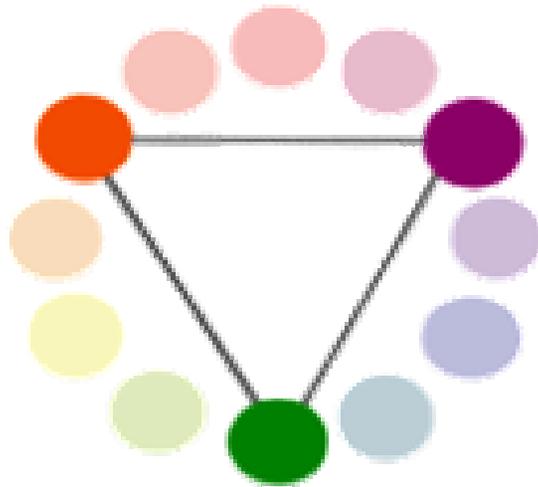
Cores Primarias :

São as consideradas como bases para a descrição das demais, exemplo RGB, CMY, RYB, etc...



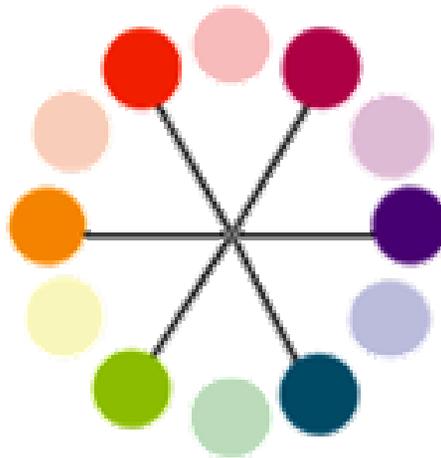
Cores Secundarias:

Obtidas da mistura de 2 primarias.



Cores Terciarias:

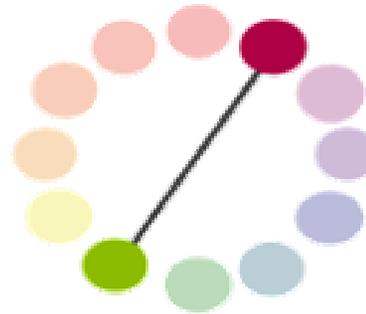
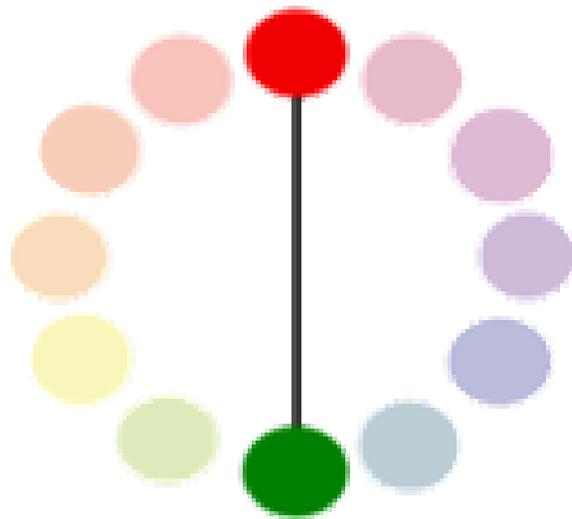
Obtidas da mistura de primarias (main hues) e secundarias (second class hues).



Cores Complementares :

Em um determinado sistema de cor, são as que combinadas produzem o **branco** ou o **preto** (se aditivos ou subtrativas) .

Se encontram em pontos opostos do círculo de matizes de um modelo de cor.

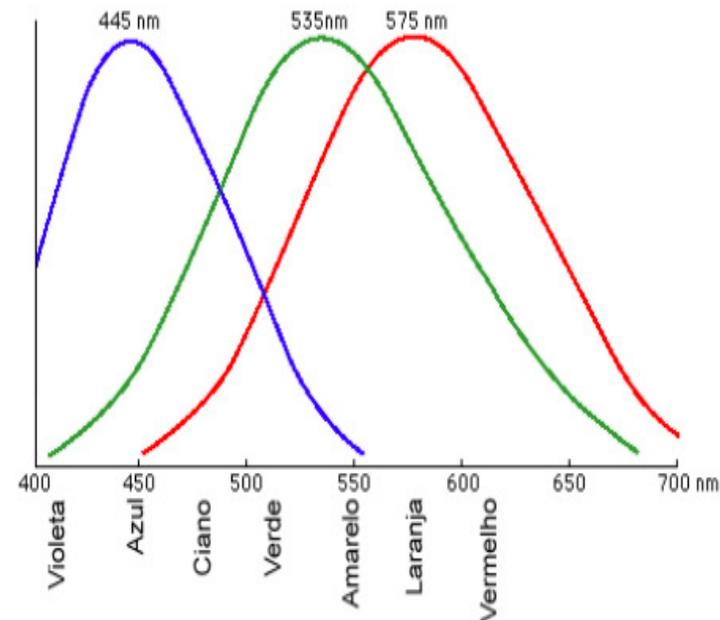


Color Analoga :

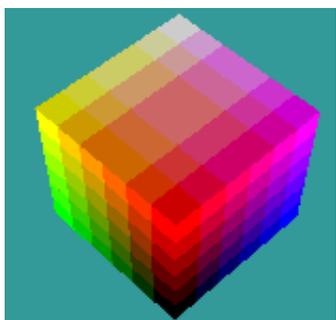
- Tem mesma percepção por um humano padrão
- É o que se busca reproduzir nos diversos sistemas de cores (color conversion).

Modelos de cor

RGB



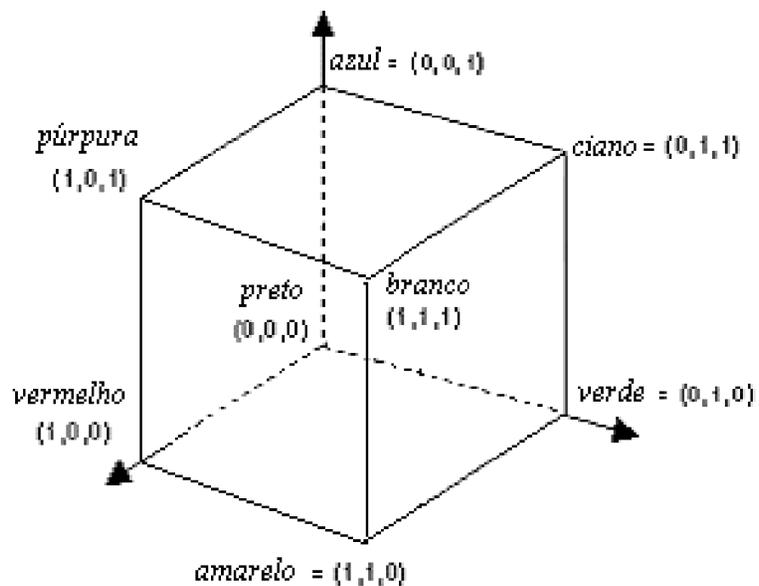
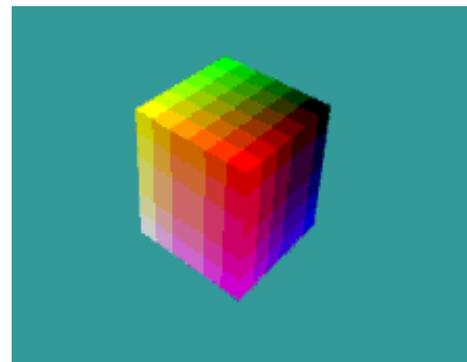
- Base de primárias do sistema:
 - $R(\lambda)$ luz vermelho com comprimento de onda de 700 nm
 - $G(\lambda)$ luz verde com comprimento de onda de 546 nm
 - $B(\lambda)$ luz azul com comprimento de onda de 435.8 nm

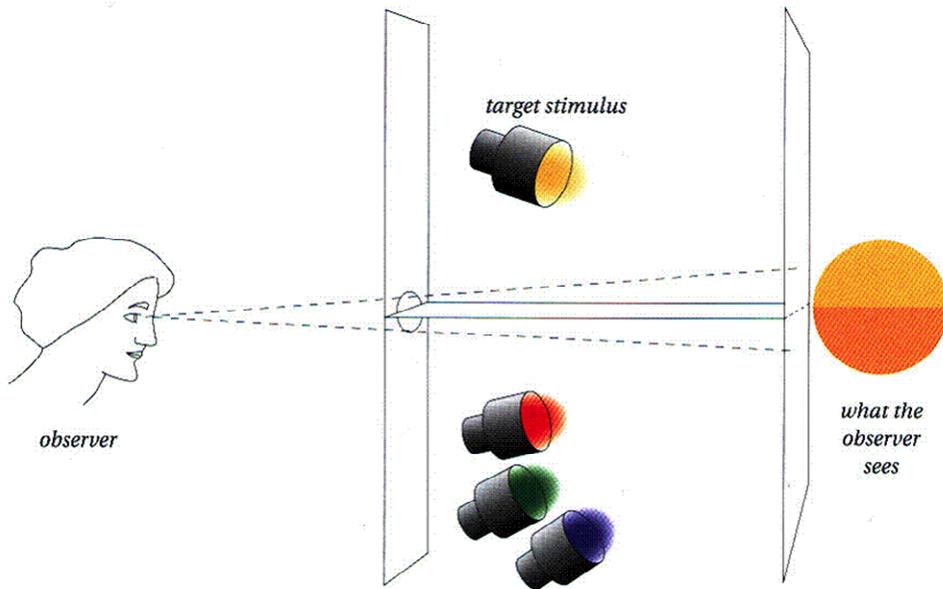


Modelos de cor

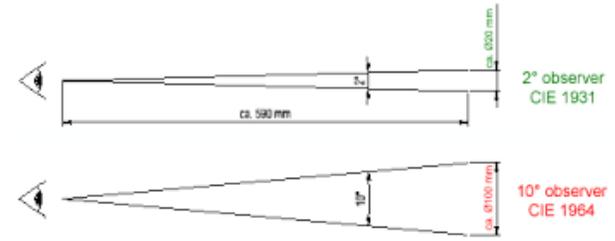
Sistema RGB

Normalizado entre 0 e 1

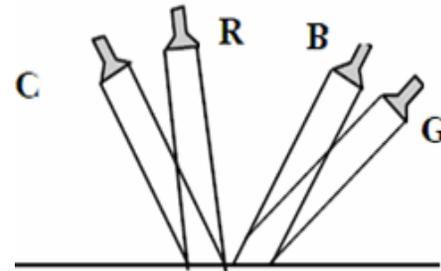
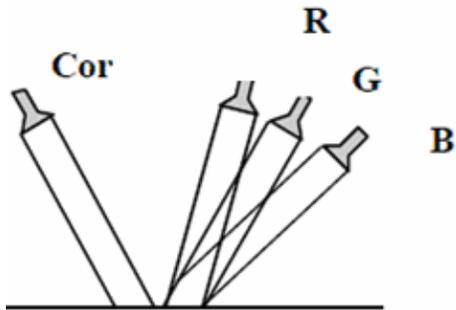




The observer adjusts the intensities of the red, green, and blue lamps until they match the target stimulus on the split screen.

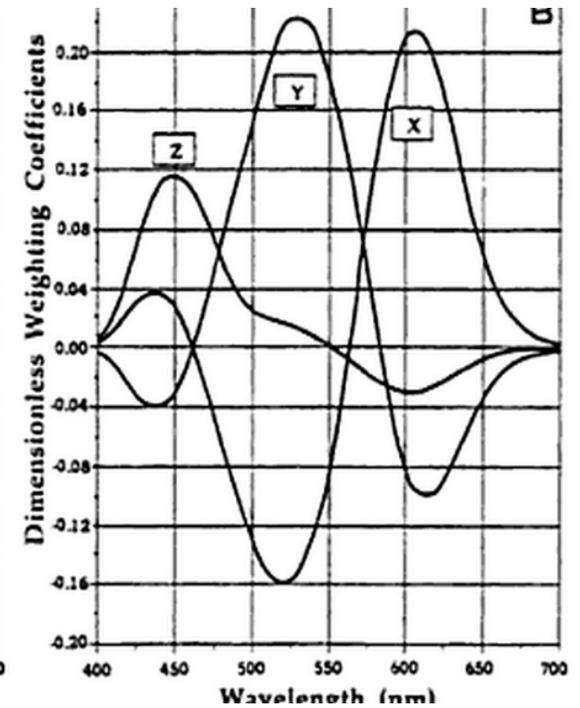
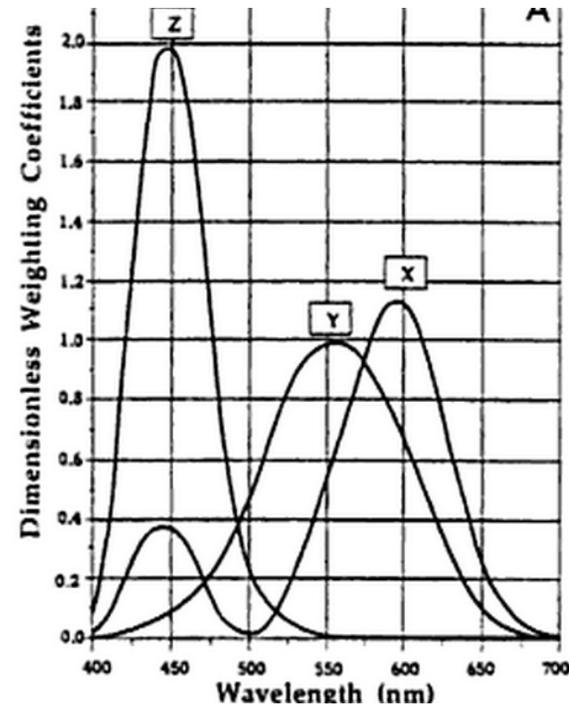
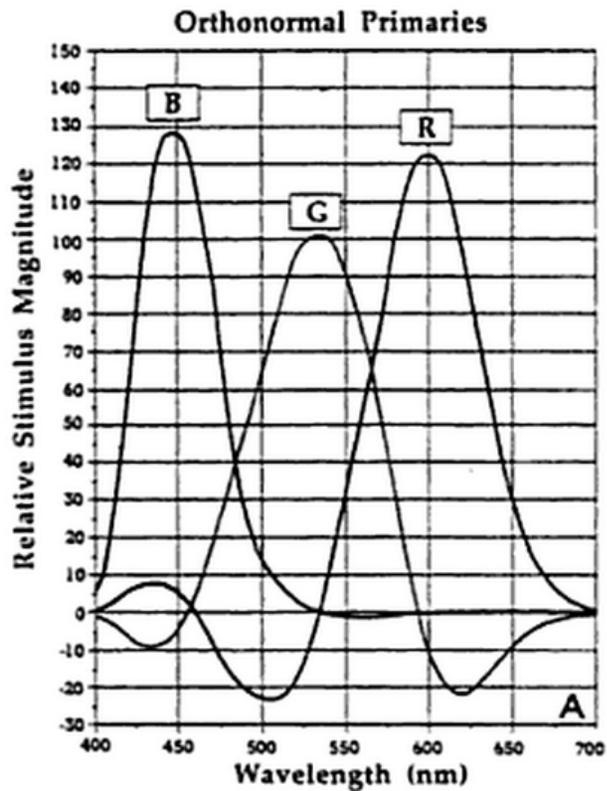


Experiência de casamento de cores



Coeficientes negativos

Na geração da cor



O Sistema CIE XYZ

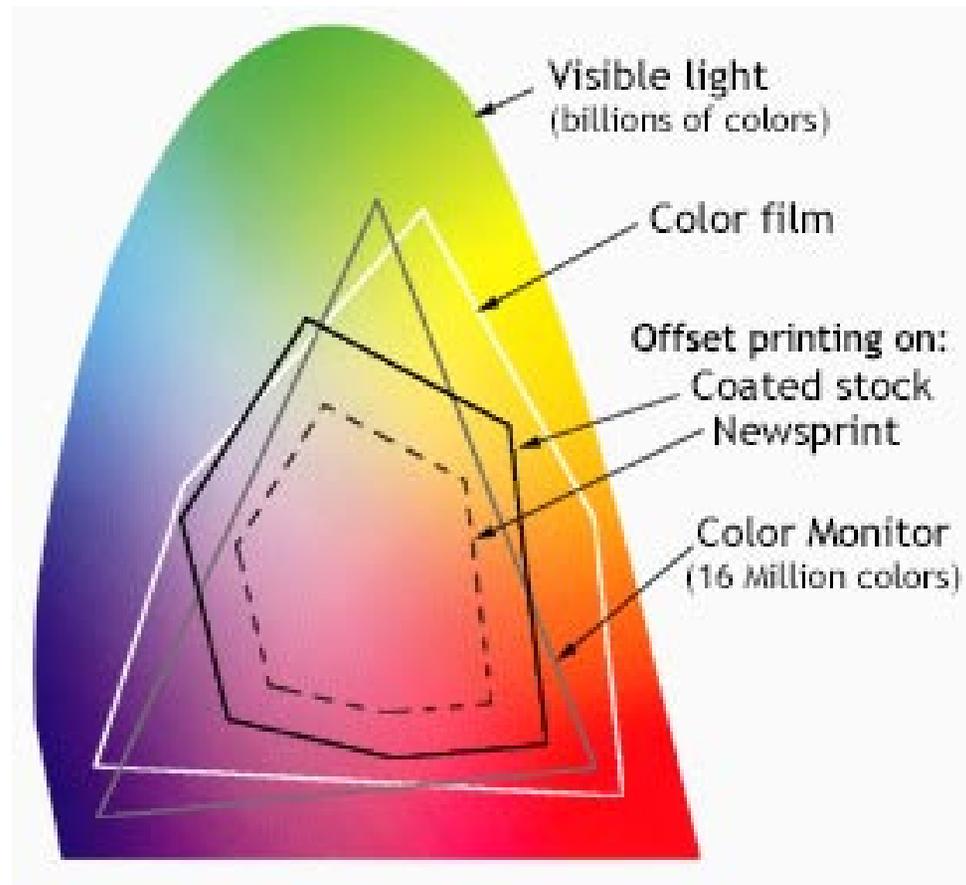
- Os fotos receptores cones dos olhos humanos tem picos de sensibilidade as ondas **curtas** (*S*: 420–440 nm), **médias** (*M*: 530–540 nm), e **longas** (*L*: 560–580 nm).
- Assim em principio 3 parâmetros são suficientes para descrever a sensação de cor humana.
- Essas são as consideradas cores primárias de um modelo aditivo de cor
- As mais usadas destas são as definidas pela **Commission internationale de l'éclairage** - CIE 1931 e denominadas *X*, *Y* e *Z*.
- O CIE XYZ, é um dos muitos espaços de cores aditivos e serve como base para a definição de cores de forma padronizada
- Site oficial: <http://cie.co.at/>

Sólidos de cores visíveis

- Devido aos 3 tipos de sensores de cores a resposta a diferentes amplitudes de comprimentos de onda que representam todas as cores visíveis é uma figura 3D.
- Mas o conceito de uma cor pode ser descrito em 2 partes sua **intensidade luminosa ou energia** (brightness) e a **cor (chromaticity)**.

Facilidade de representar em mapas 2D

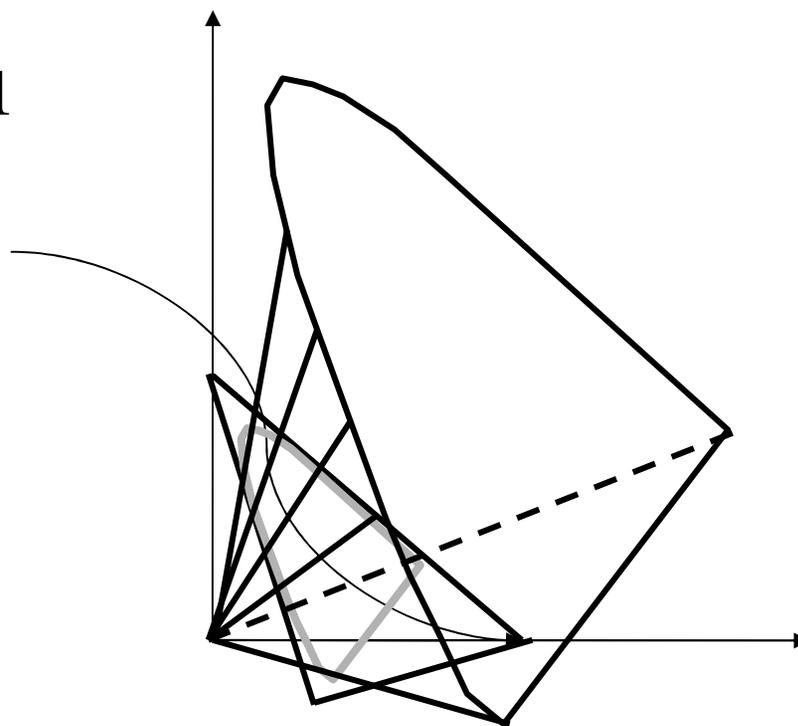
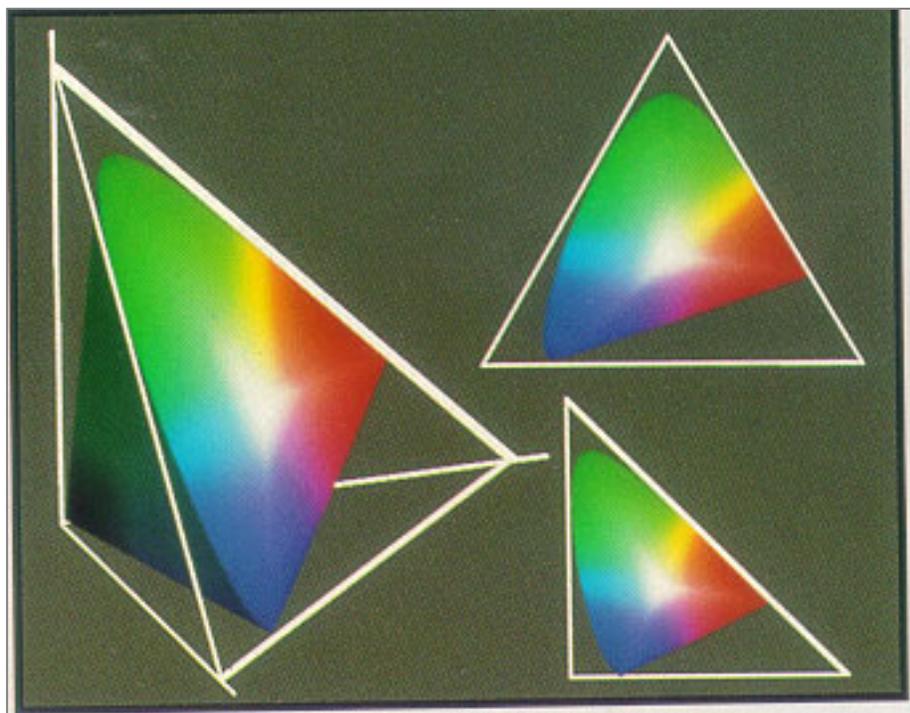
**Separando a intensidade
intensidade luminosa
Da cromacidade,
pode-se ter um plano
de cores**



Modelos de cor

Sólidos de cores visíveis e diagramas de cromaticidade

Plano $X+Y+Z=1$



A cromacidade define a cor em si

- A intensidade diz o quanto ela é intensa.
- Por exemplo uma **cor branca** e um **cinza**, no fundo tem a mesma combinação de cores primárias, mas o branco é muito mais intenso que o cinza.
- Assim é possível descrever a cor em 2D e surgem os **diagramas de cromacidade**

Modelos de cor

Sistema XYZ

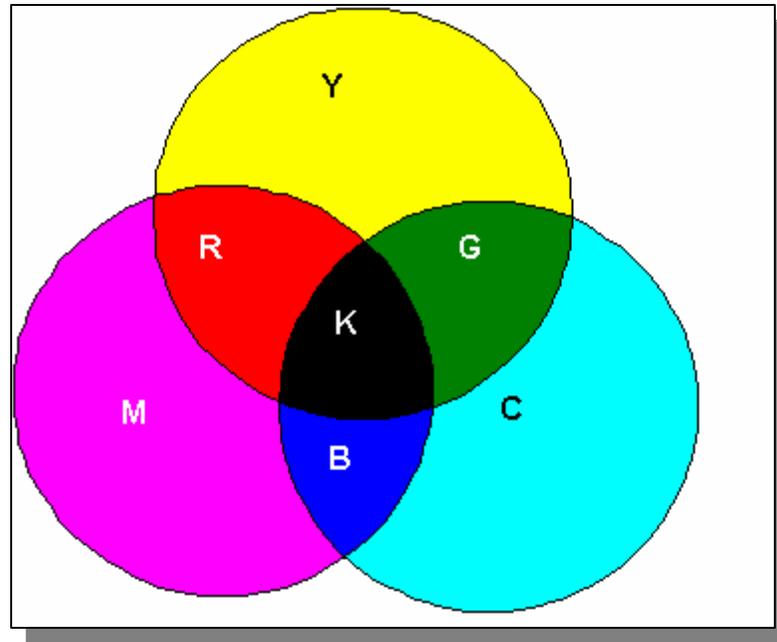
conversão entre os sistemas CIE-RGB e CIE-XYZ

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.489989 & 0.310008 & 0.200003 \\ 0.176962 & 0.812400 & 0.010638 \\ 0.000000 & 0.009999 & 0.990001 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix},$$
$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.364666 & -0.896583 & -0.468083 \\ -0.515155 & 1.426409 & 0.088746 \\ 0.005203 & -0.014407 & 1.009204 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}.$$

CIE (Comissão Internationale de l'Éclairage)

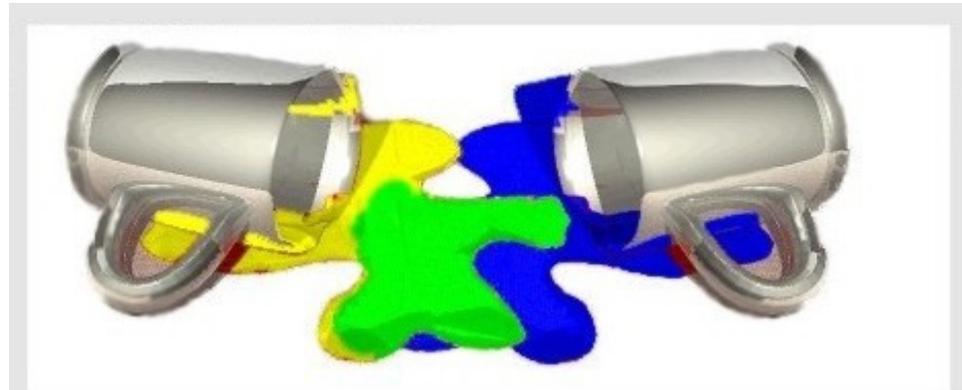
Modelos de cor

Sistemas de cores subtrativos CMY

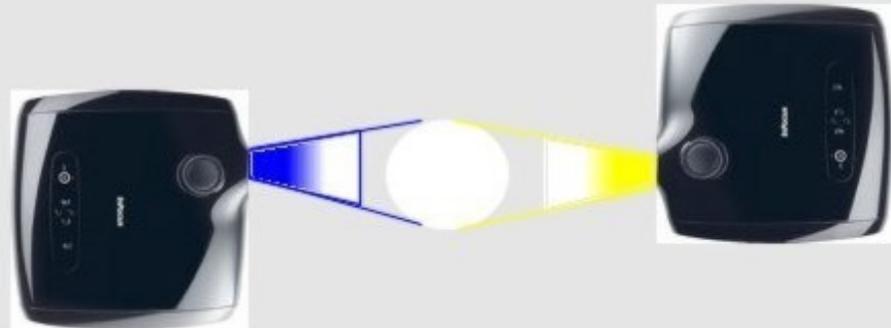


Modelos de cor: noção de primárias, secundárias e terciárias

Cores complementares



Tinta amarela misturada com tinta azul cria uma tinta verde.



Luz amarela com luz azul cria uma luz branca.

Os pigmentos se combinam, subtraindo intensidades luminosas da luz que atinge os objetos.

Modelo de Sensações Oponentes

Considera que as respostas dos 3 tipos de cones são combinadas para alimentar um dos **2 canais de cores oponentes**: o **vermelho-verde** e o **amarelo-azul**

Este modelo usa a característica de que a cor **vermelha** e **verde** se cancelam, ou seja, não são vistas simultaneamente no mesmo lugar, não existe o **vermelho esverdeado!**

O mesmo acontece com o **amarelo** e **azul** não existindo assim o **amarelo azulado**.

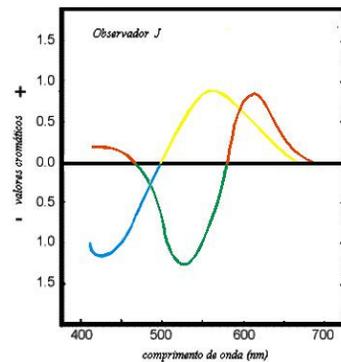
Este espaço consegue explicar vários fenômenos visuais que não são adequadamente explicados pelas outras teorias.

Percepção de Cor

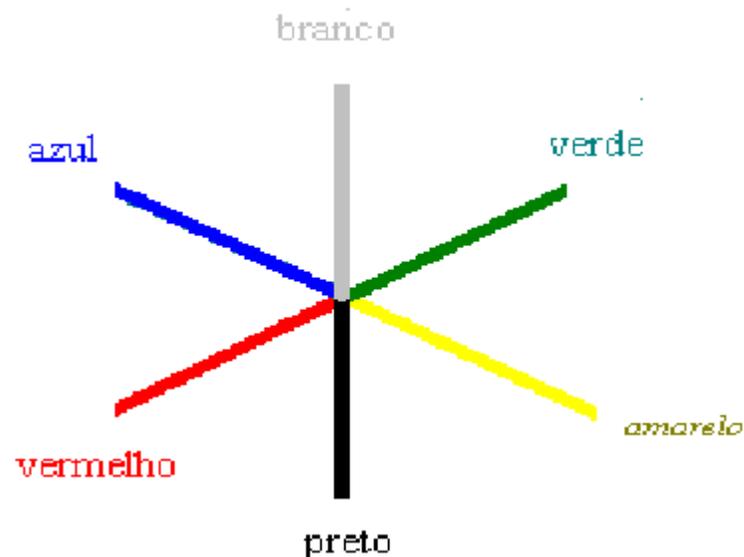
Mais sobre as deficiências cromáticas em:

http://en.wikipedia.org/wiki/Color_blindness#Clinical_forms_of_color_blindness

A complexidade da forma de descrição da percepção fazem surgir os diversos modelos e espaços de cores como os oponentes.

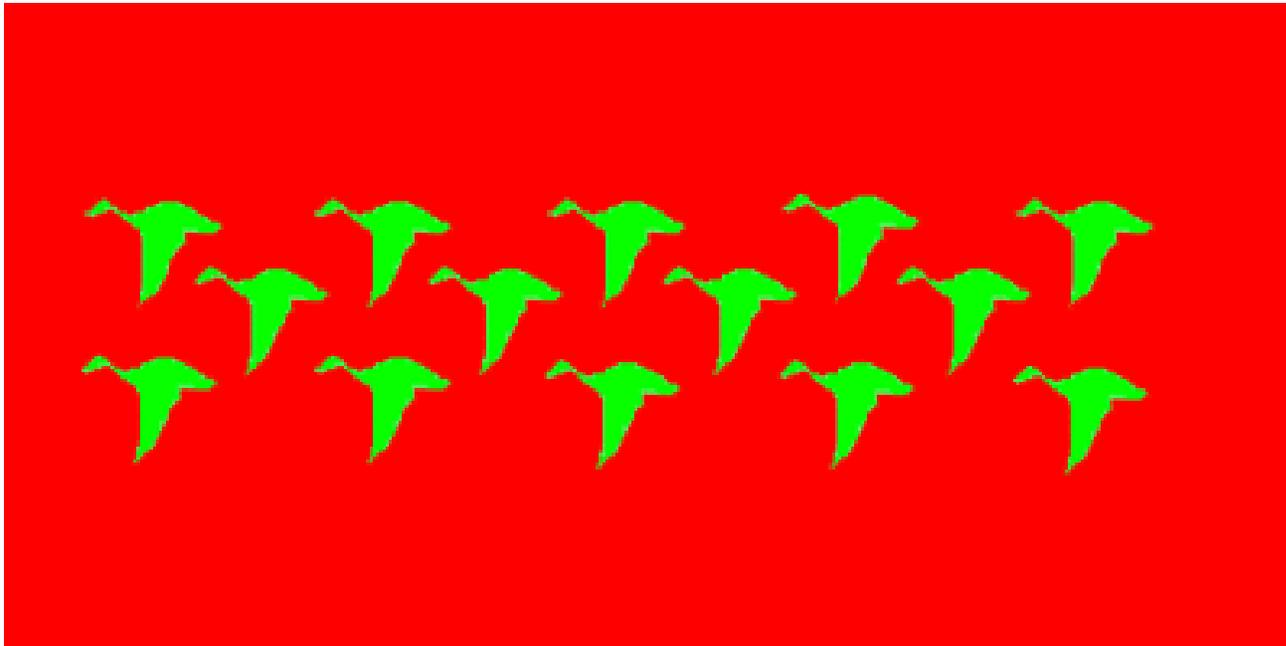


Sistemas de cores oponentes

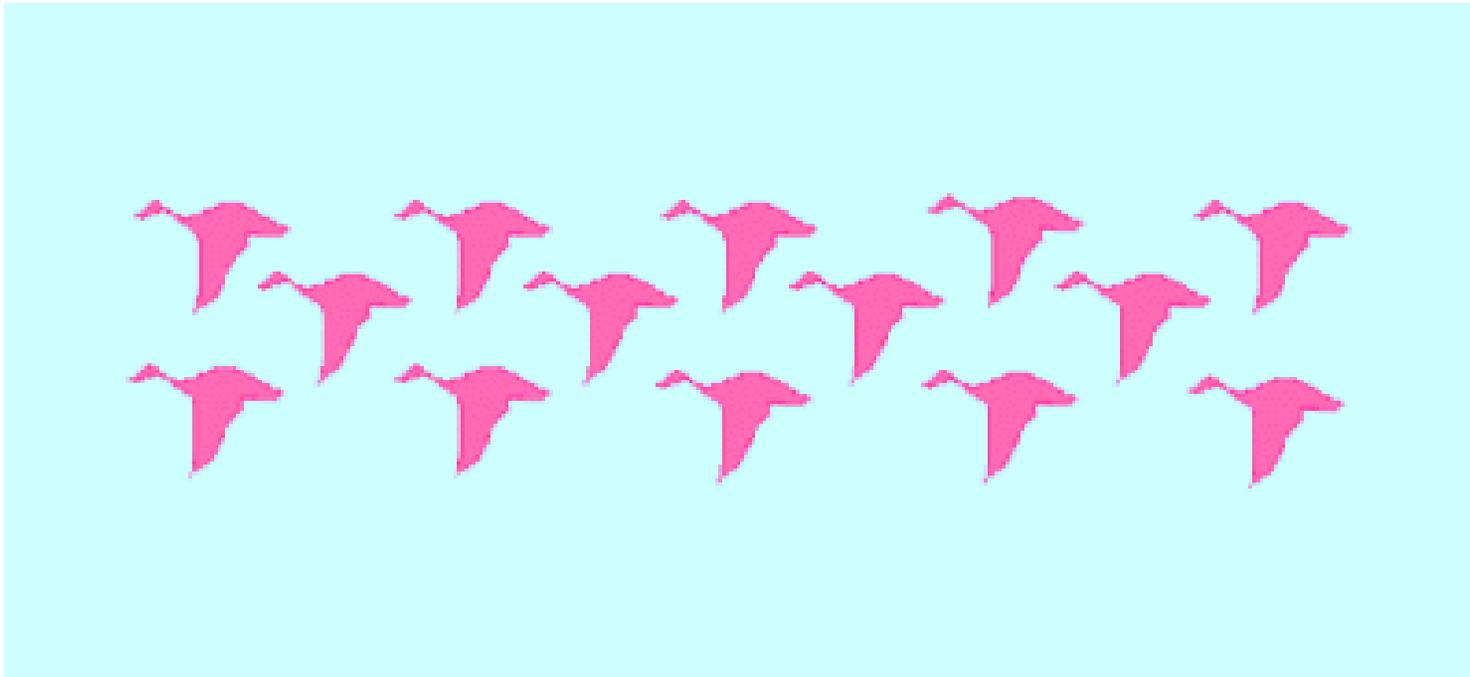


Cores oponentes explicam coisas como: as AFTER IMAGES

Fixe nesta imagem por pelo menos 20 segundos, depois olhe para uma parede branca que cores você vê?



AFTER IMAGES



Modelo Psico físico

Estes tipos de espaços são baseados na percepção subjetiva da cor pelo ser humano, ou seja, como a cor e a iluminação são tratadas de formas distintas pelo sistema perceptivo , a componente de intensidade (ou brilho) nestes tipos de espaços fica desacoplada da informação cromática (matiz + saturação).

Um das primeiras tentativas de organizar a percepção das cores em um espaço se atribui a **Munsell e Ostwald** (em 1915).

Outro exemplo é o espaço *HSV* , com as componentes Matiz (*Hue*), saturação (*Saturation*) e intensidade (*Value*).

Modelos de cor

Elementos que descrevem a cor mais próximos a **intuição humana**:

- matiz;
- saturação;
- intensidade.

(a) Mudança de Matiz



(b) Mudança de Saturação

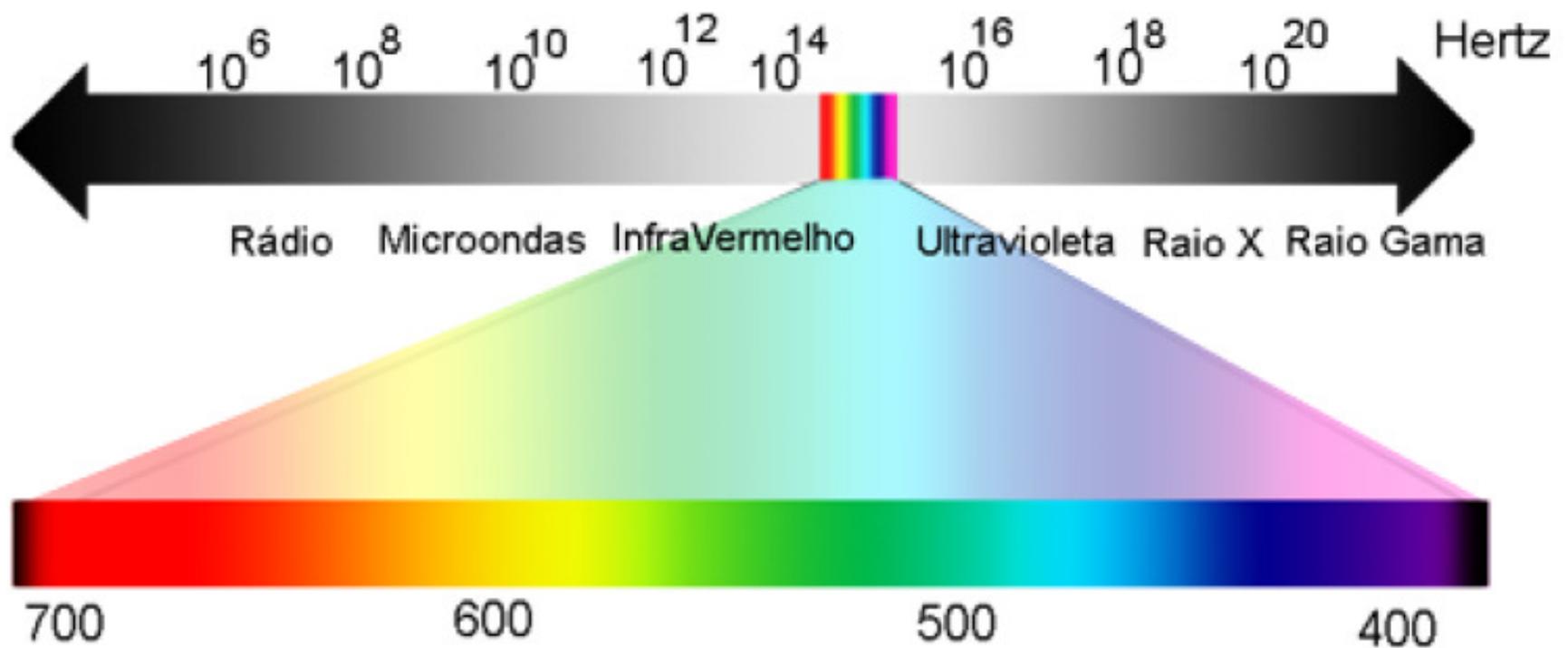


(c) Mudança de Intensidade



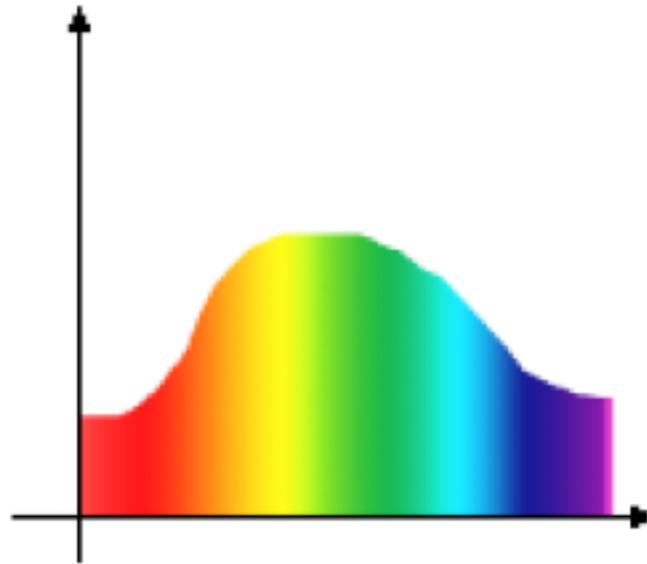
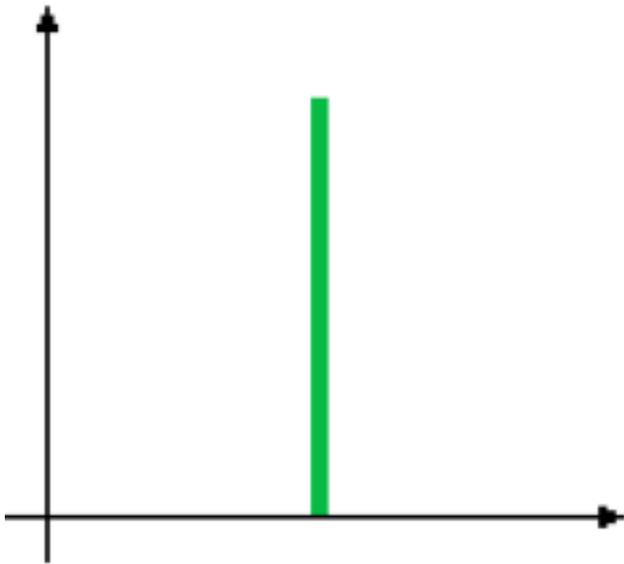
Variações no matiz, saturação e intensidade.

Frequência ou comprimento de onda da luz visível



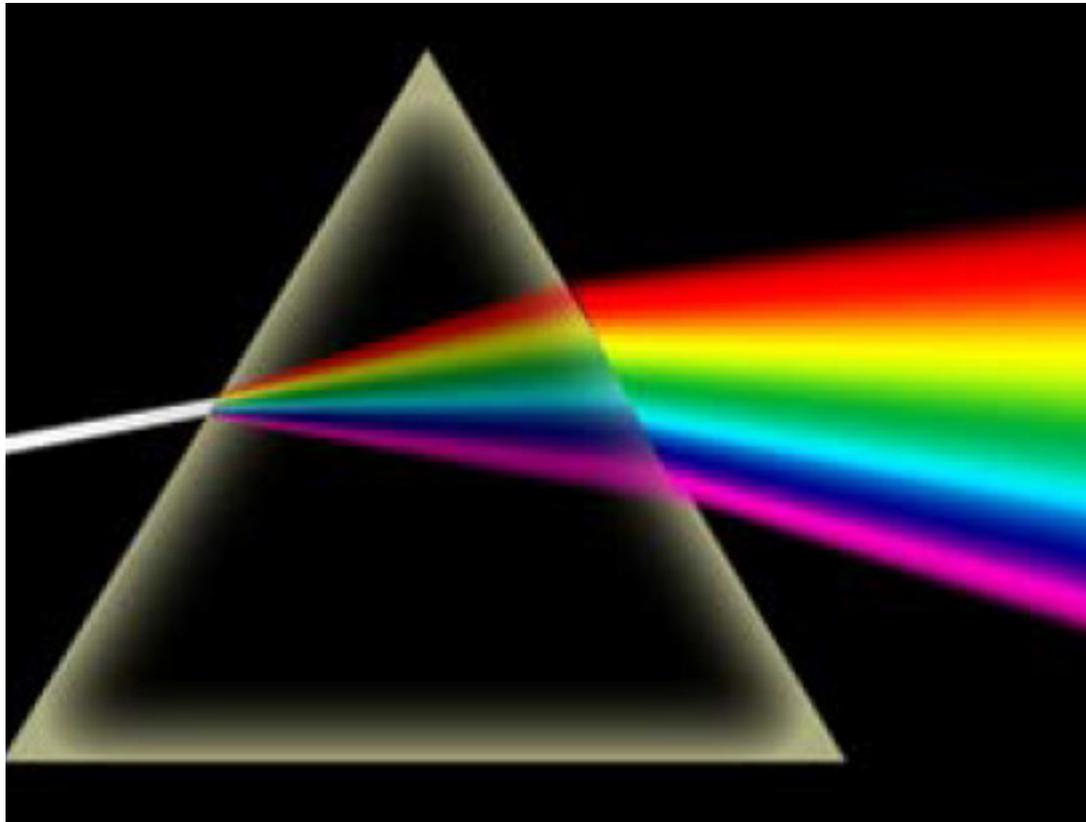
Cor pura x cor em mistura

Indistinto aos olhos humanos



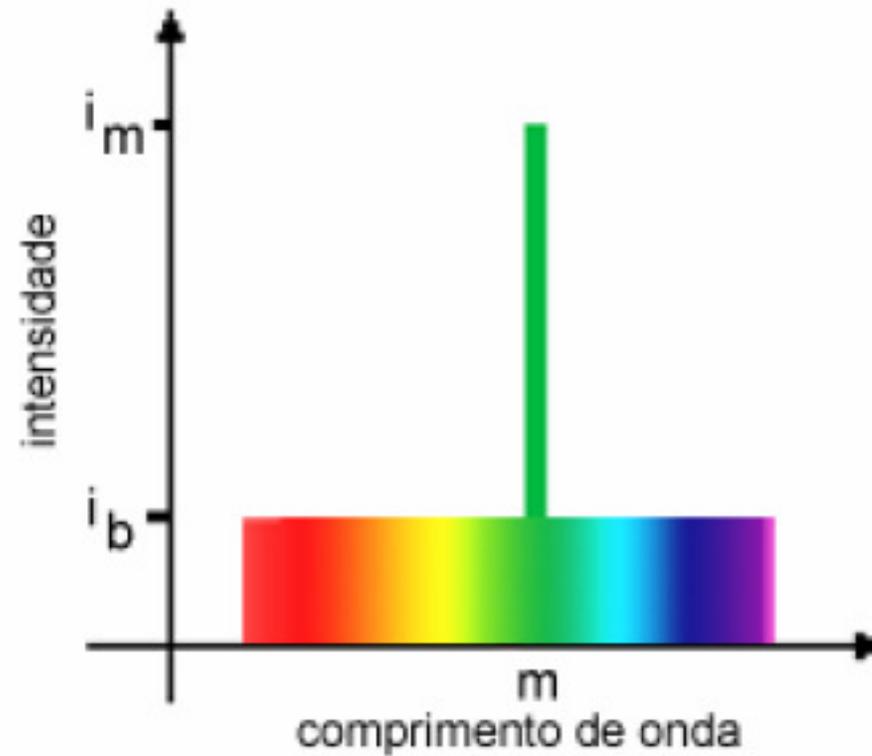
Luz branca:

Todos os comprimentos de onda misturados



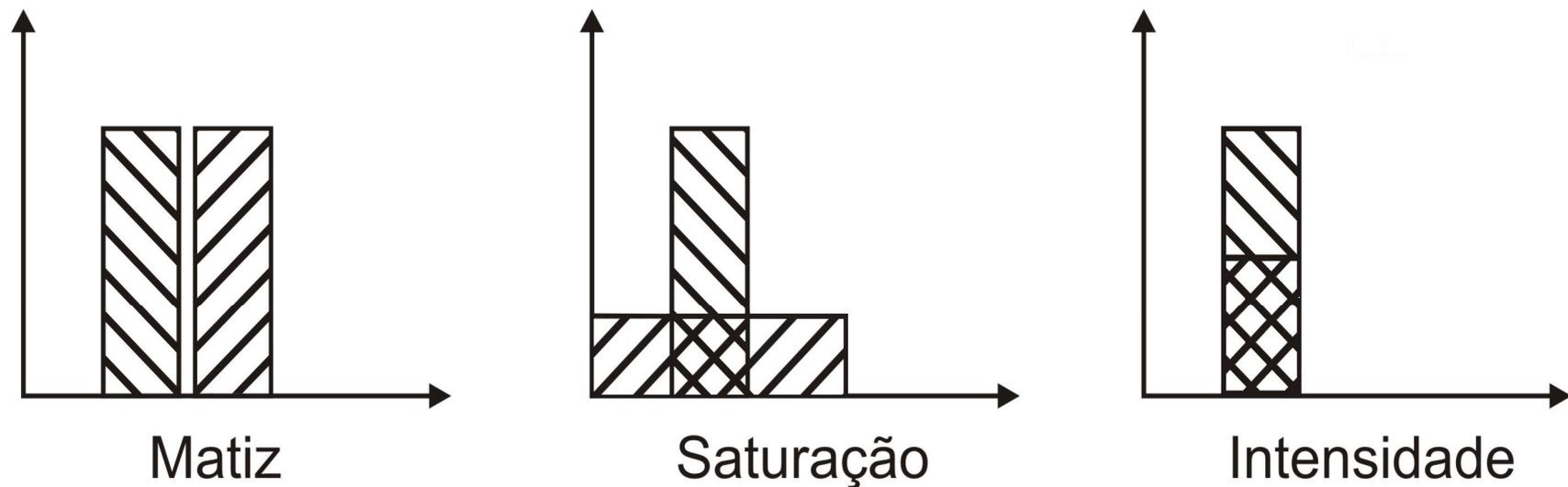
Matiz (Hue), Saturação

Intensidade = energia luminosa



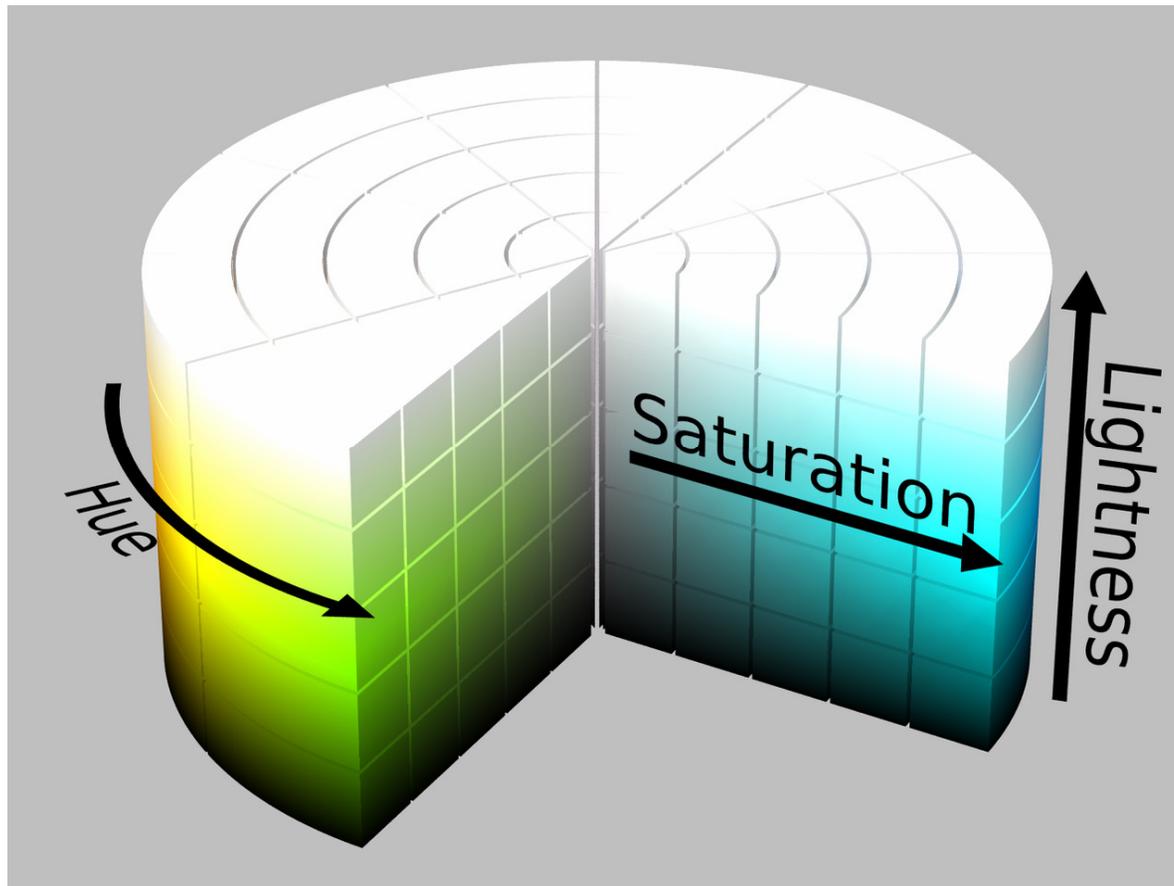
Modelos de cor

Matiz, saturação e intensidade

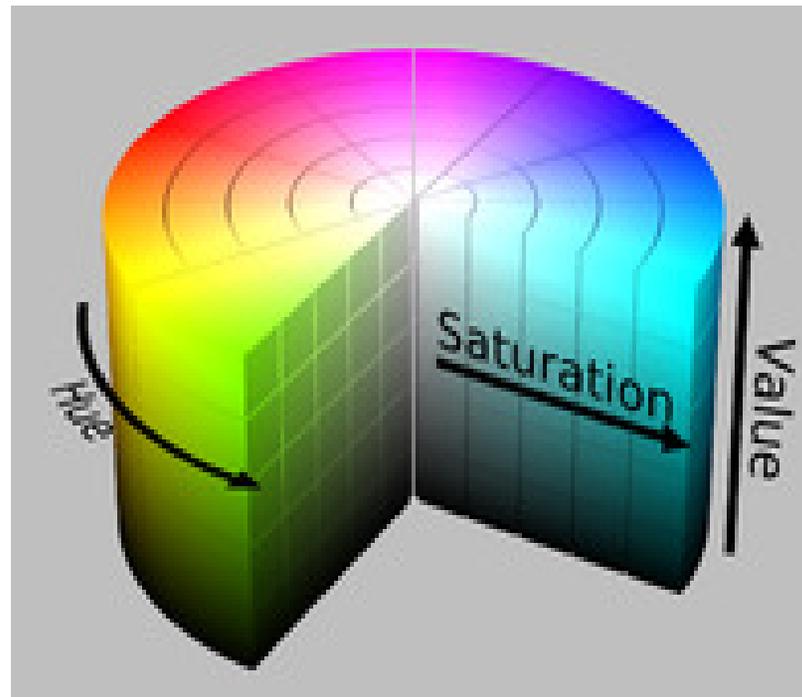


Conceitos de matiz, saturação e intensidade.

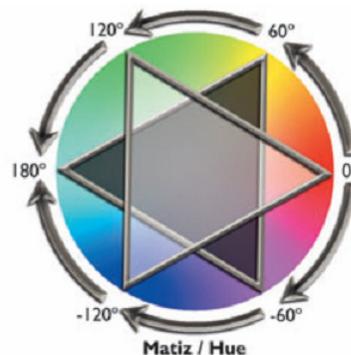
Para CG:



Em aplicações usuais de CG



Independientemente de estarem mais gastas, novas ou apagadas, o que caracteriza em termo das cores essas imagens?



Ao fazer a animação de uma fruta verde ficar madura:

no RGB seria

0 , 100% , 0 - > 100% , 0 , 100%
(verde) - > (magenta)

Se feito em 3 interpolações de tons teríamos:

25% , 75% , 25% (verde mais claro)

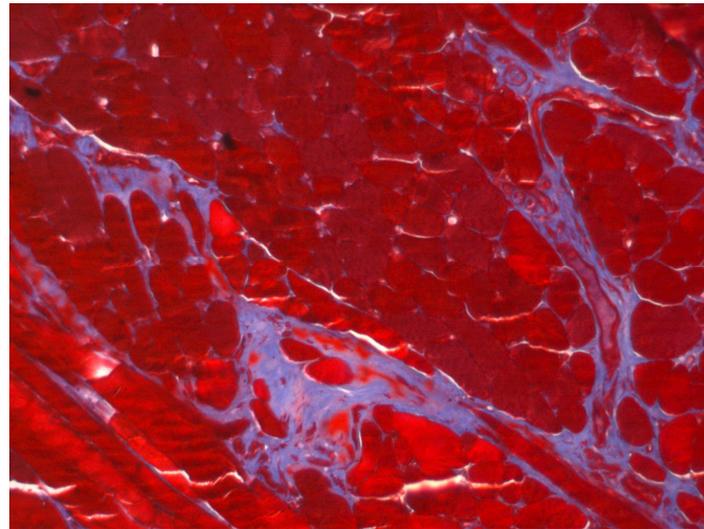
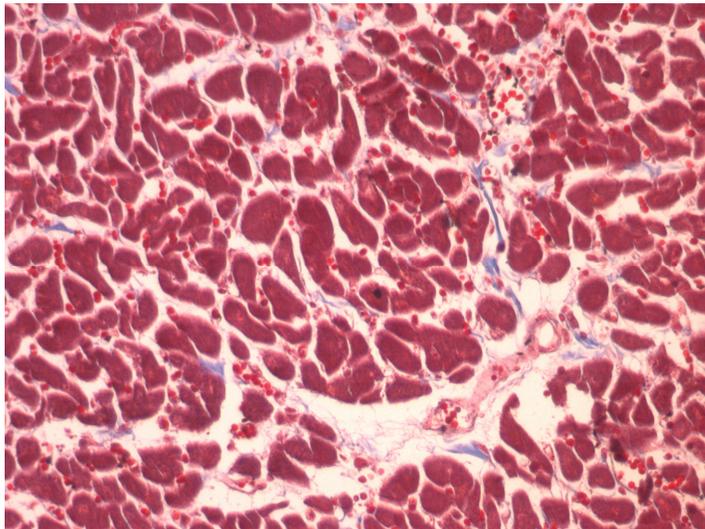
50 % , 50 % , 50% - > **cinza!!!! Isso é o esperado?**

75 % , 25% , 75% (magenta claro)

100 % , 0 % , 100% (magenta)

Identificar a área de um agente reativo: em ciano

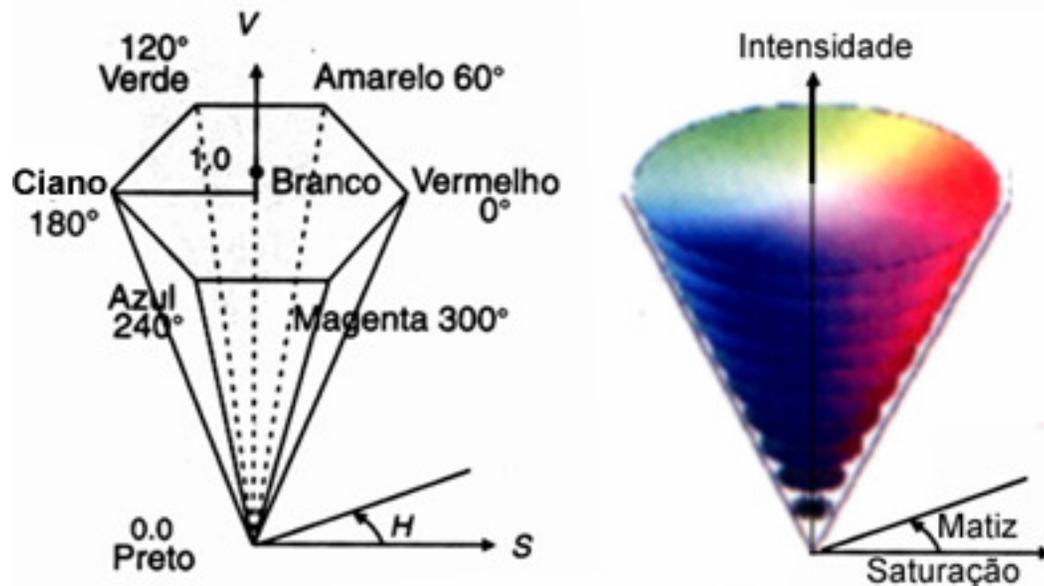
Identificar um matiz e pequenas variações em
torno dele:



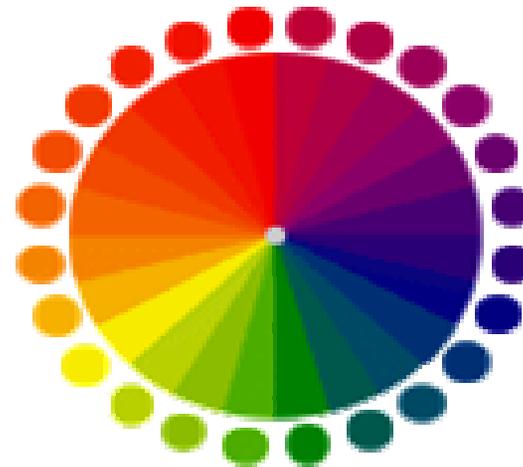
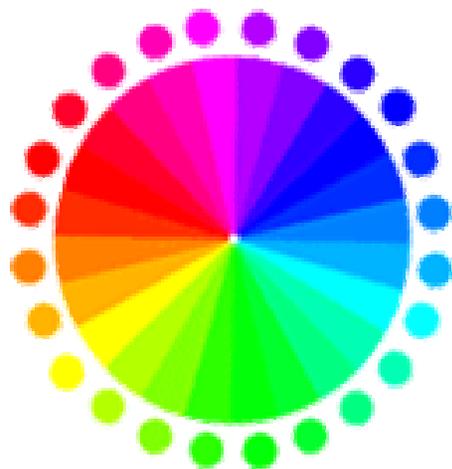
O espaço *HSV* foi desenvolvido em 1978 por *Alvey Ray Smith*,

baseando-se em como um artista plástico descreve as misturas de cores.

As cores principais (vermelho, amarelo, verde, ciano, azul e magenta) ocupam os vértices da base de uma pirâmide hexagonal invertida



Hue = matiz
(diferencia as cores tanto na forma
aditiva quando na subtrativa)
representação em espaços do tipo HVS,
HLS, Pantone, Munsell, etc...

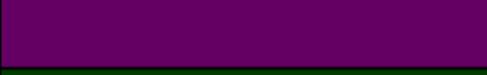


Modelos mais próximos a dispositivos ou hardwares

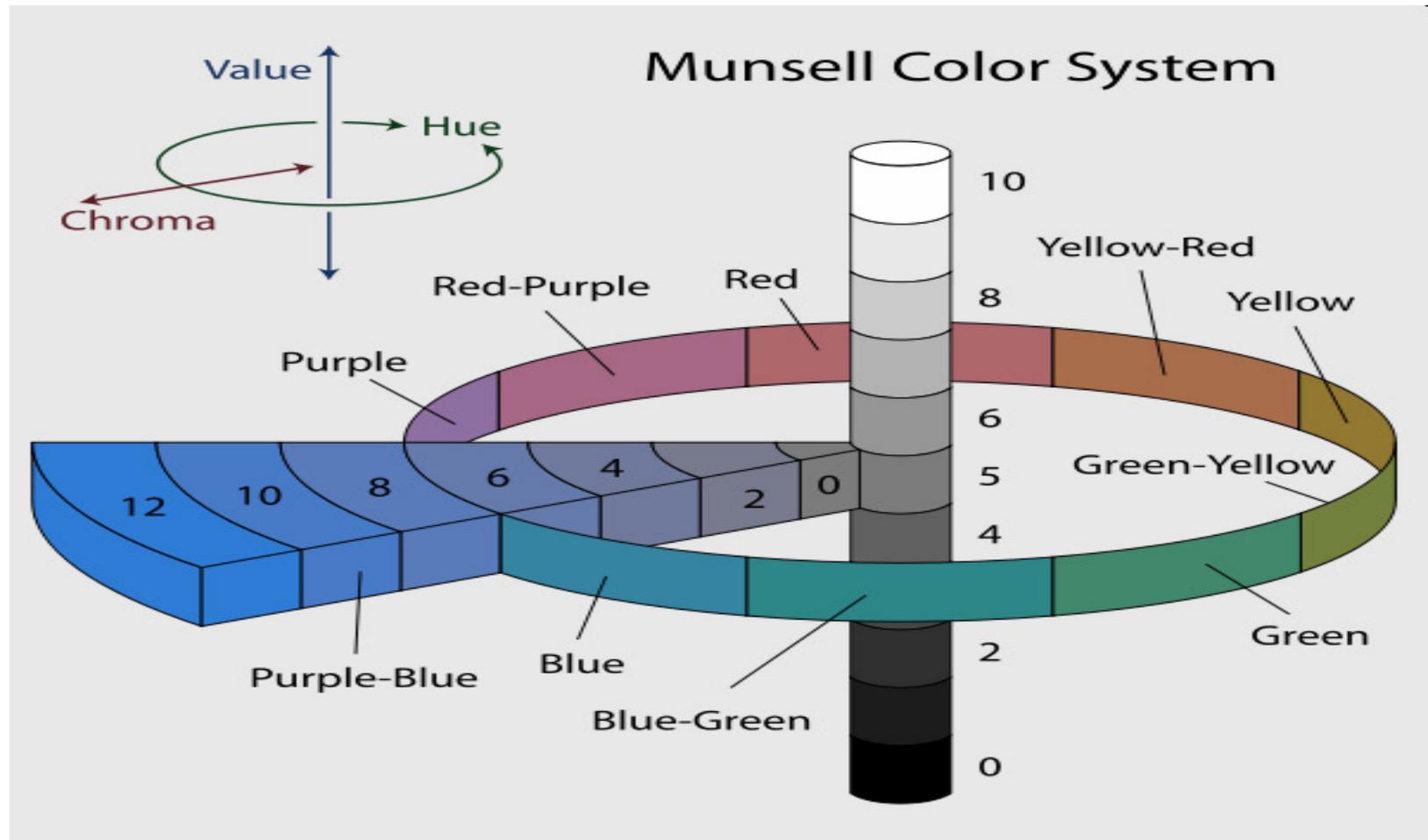
3 luzes primárias (aditivos)

3 tintas primárias (subtrativos)

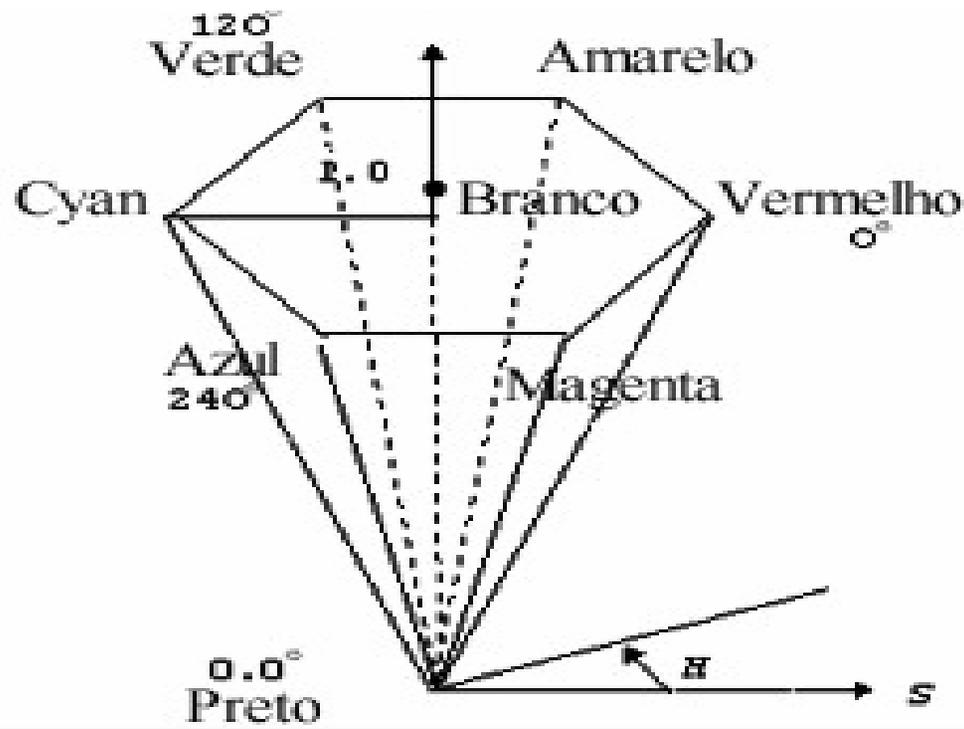
exemplo

COR	CIELAB	RGB
	$L^* = 53.233; a^* = 80.423; b^* = 66.966$	R = 255, G = 0, B = 0
	$L^* = 87.737; a^* = -85.885; b^* = 82.714$	R = 0; G = 255; B = 0
	$L^* = 32.303; a^* = 79.435; b^* = -108.797$	R = 0; G = 0; B = 255
	$L^* = 97.138; a^* = -21.169; b^* = 93.992$	R = 255, G = 255, B = 0
	$L^* = 60.320; a^* = 98.608; b^* = -61.782$	R = 255, G = 0, B = 255
	$L^* = 61.976; a^* = 56.208; b^* = 70.851$	R = 255, G = 100, B = 0
	$L^* = 42.375; a^* = 0.211; b^* = -0.497$	R = 100, G = 100, B = 100
	$L^* = 22.406; a^* = 49.623; b^* = -31.091$	R = 100, G = 0, B = 100
	$L^* = 20.949; a^* = -30.591; b^* = 28.301$	R = 0, G = 60, B = 0
	$L^* = 36.932; a^* = 65.416; b^* = -101.071$	R = 0, G = 50, B = 255

Alguns sistemas usam características **mais intuitivas** para descrever as cores

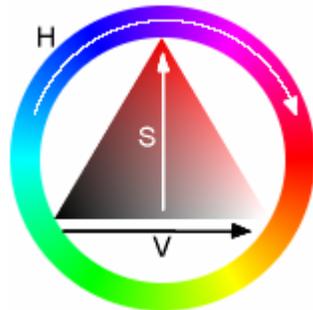


HSV



O algoritmo de RGB para HSV

- Para fazer a transformação os valores RGB devem ser normalizados, isto é, devem estar entre o valor mínimo **zero** e máximo de **um**



- //Primeiro identifique os valores máximos e mínimos:
- $\text{max} = \text{máximo}(R,G,B)$, $\text{min} = \text{mínimo}(R,G,B)$
- //depois os valores de saturação e brilho:
- $V = \text{max}$, $S = (\text{max} - \text{min}) / \text{max}$
- //ai passe a calcular as cores ou H:
- if $S = 0$ /* H passa a ser irrelevante, a cor no HSV será : $(0,0,V)$ */
- else
- $R1 = (R - \text{min}) / (\text{max} - \text{min})$
- $G1 = (G - \text{min}) / (\text{max} - \text{min})$
- $B1 = (B - \text{min}) / (\text{max} - \text{min})$
- if $R1 = \text{max}$, $H = G1 - B1$
- else if $G1 = \text{max}$, $H = 2 + B1 - R1$
- else if $B1 = \text{max}$, $H = 4 + R1 - G1$
- //(converte-se H em graus)
- $H = H * 60$
- //usa-se H variando de 0 a 360° , S e V variando entre 0 e 1
- if $H < 0$, $H = H + 360$
- // a cor no HSV será : (H,S,V) */

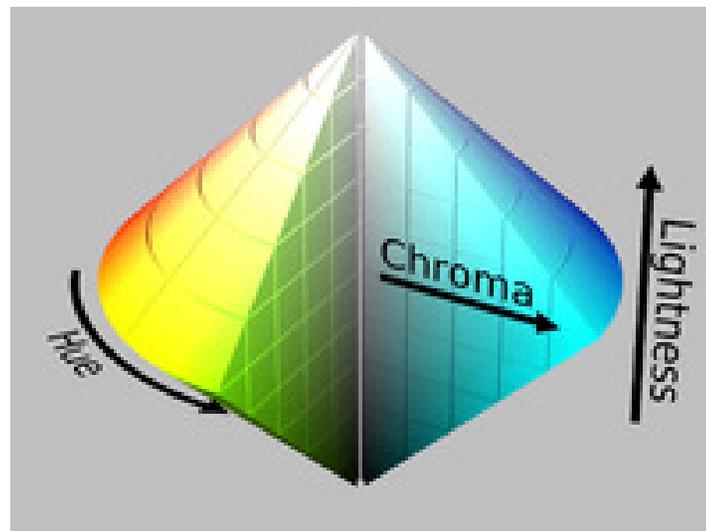
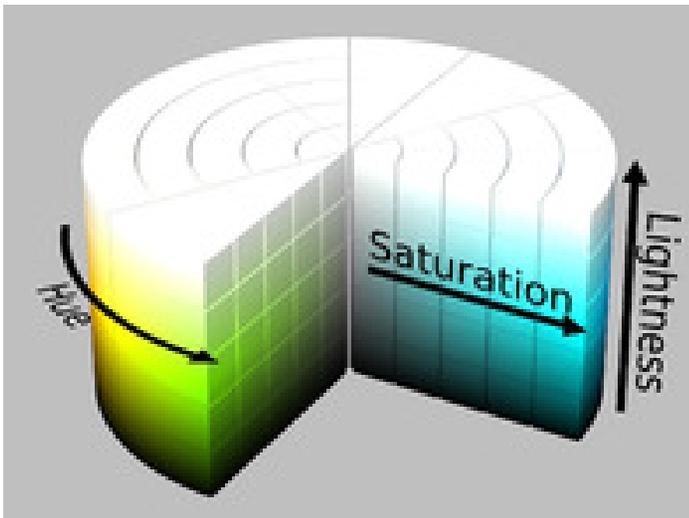
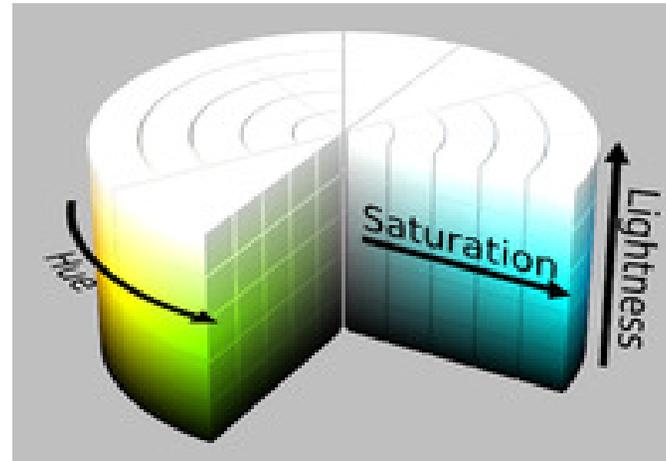
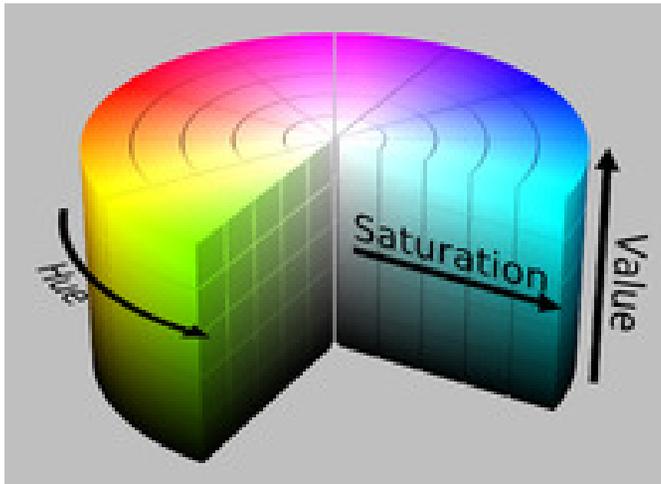
Ou para valores em graus e sendo MAX e MIN os valores máximo e mínimo, respectivamente, dos valores (R, G, B):

$$H = \begin{cases} 60 \times \frac{G - B}{MAX - MIN} + 0, & \text{se } MAX = R \text{ e } G \geq B \\ 60 \times \frac{G - B}{MAX - MIN} + 360, & \text{se } MAX = R \text{ e } G < B \\ 60 \times \frac{B - R}{MAX - MIN} + 120, & \text{se } MAX = G \\ 60 \times \frac{R - G}{MAX - MIN} + 240, & \text{se } MAX = B \end{cases}$$

HLS

- **HLS** é um sistema usado na área de agronomia e pedologia.
- Utiliza os conceitos de **matiz** (hue), **pureza de cor** (saturação) e **luminosidade** (L).
- O Sistema presta uma descrição muito precisa da cor, dando suporte à comunicação de cor.

cuidados



Sistema Pantone

- **O Pantone é uma empresa.**

Fundada em 1962 em New Jersey, Estados Unidos, a Pantone Inc. é famosa pela (“*Pantone Matching System*” ou PMS), um sistema de cor utilizado em varias indústrias especialmente a indústria gráfica, além da indústria têxtil, de tintas e plásticos.

As cores Pantone são descritas pelo seu número.

Exemplo:

PANTONE*	PANTONE*	PANTONE*	PANTONE*	PANTONE*	PANTONE*	PANTONE*	PANTONE*
PANTONE % R 71 G 69 B 68 Cool Gray 8 C R 181 G 178 B 173 Ⓢ O :: HTML B5B0AD	PANTONE % R 99 G 72 B 77 182 C R 252 G 184 B 196 Ⓢ HTML FC8BC4	PANTONE % R 89 G 90 B 82 7485 C R 227 G 230 B 209 Ⓢ HTML E3E8D1	PANTONE % R 78 G 85 B 90 290 C R 199 G 217 B 230 Ⓢ HTML C7D9E6	PANTONE % R 78 G 90 B 89 317 C R 199 G 230 B 227 Ⓢ HTML C7E9E3	PANTONE % R 87 G 75 B 85 286 C R 222 G 191 B 217 Ⓢ HTML DEBFD9	PANTONE % R 95 G 93 B 51 100 C R 242 G 237 B 130 Ⓢ HTML F2ED82	PANTONE % R 95 G 81 B 69 719 C R 242 G 207 B 176 Ⓢ HTML F2CF80
PANTONE % R 64 G 63 B 62 Cool Gray 7 C R 163 G 161 B 158 Ⓢ O :: HTML A3A19E	PANTONE % R 99 G 55 B 63 183 C R 252 G 140 B 161 Ⓢ HTML FC8CA1	PANTONE % R 77 G 89 B 63 7486 C R 196 G 227 B 161 Ⓢ HTML C4E5A1	PANTONE % R 68 G 81 B 90 291 C R 173 G 207 B 230 Ⓢ HTML ADCFE6	PANTONE % R 60 G 86 B 87 318 C R 153 G 219 B 222 Ⓢ HTML 99D8DE	PANTONE % R 82 G 84 B 80 297 C R 209 G 163 B 204 Ⓢ HTML D1A3CC	PANTONE % R 96 G 93 B 35 101 C R 245 G 237 B 89 Ⓢ HTML F5ED59	PANTONE % R 84 G 77 B 62 720 C R 240 G 196 B 198 Ⓢ HTML F0C49E
PANTONE % R 59 G 58 B 57 Cool Gray 8 C R 150 G 148 B 145 Ⓢ O :: HTML 969491	PANTONE % R 97 G 36 B 46 184 C R 247 G 92 B 117 Ⓢ HTML F75C76	PANTONE % R 58 G 67 B 43 7487 C R 148 G 212 B 110 Ⓢ HTML 94DE6E	PANTONE % R 47 G 70 B 88 292 C R 120 G 179 B 224 Ⓢ HTML 7893E0	PANTONE % R 29 G 80 B 83 319 C R 74 G 204 B 212 Ⓢ HTML AACC04	PANTONE % R 59 G 27 B 58 258 C R 150 G 69 B 148 Ⓢ HTML 944594	PANTONE % R 96 G 91 B 8 102 C R 245 G 233 B 30 Ⓢ HTML F5E814	PANTONE % R 90 G 69 B 50 721 C R 230 G 176 B 128 Ⓢ HTML E6B080
PANTONE % R 83 G 53 B 52 Cool Gray 9 C R 135 G 135 B 133 Ⓢ O :: HTML 878786	PANTONE % R 90 G 5 B 18 185 C R 230 G 13 B 46 Ⓢ HTML E60D2E	PANTONE % R 40 G 83 B 24 7488 C R 102 G 212 B 61 Ⓢ HTML 66D43D	PANTONE % R 0 G 28 B 73 293 C R 0 G 71 B 186 Ⓢ HTML 00478A	PANTONE % R 0 G 61 B 64 320 C R 0 G 156 B 163 Ⓢ HTML 009CA3	PANTONE % R 44 G 7 B 42 259 C R 112 G 18 B 107 Ⓢ HTML 701268	PANTONE % R 97 G 88 B 9 Yellow C R 247 G 224 B 23 Ⓢ HTML F7E017	PANTONE % R 84 G 56 B 33 722 C R 214 G 143 B 84 Ⓢ HTML D68F54
PANTONE % R 45 G 45 B 45 Cool Gray 10 C R 115 G 115 B 115 Ⓢ O :: HTML 737373	PANTONE % R 81 G 9 B 17 186 C R 207 G 13 B 43 Ⓢ HTML CF142B	PANTONE % R 42 G 67 B 30 7489 C R 107 G 171 B 77 Ⓢ HTML 6BA84D	PANTONE % R 0 G 22 B 81 294 C R 0 G 56 B 130 Ⓢ HTML 003882	PANTONE % R 0 G 52 B 54 321 C R 0 G 133 B 138 Ⓢ HTML 00856A	PANTONE % R 38 G 9 B 35 280 C R 97 G 23 B 89 Ⓢ HTML 611759	PANTONE % R 77 G 68 B 6 103 C R 196 G 173 B 15 Ⓢ HTML CAAD0F	PANTONE % R 75 G 45 B 16 723 C R 191 G 115 B 41 Ⓢ HTML B87329
PANTONE % R 40 G 39 B 40 Cool Gray 11 C R 102 G 99 B 102 Ⓢ O :: HTML 666366	PANTONE % R 69 G 11 B 18 188 C R 125 G 33 B 46 Ⓢ HTML B01C2E	PANTONE % R 38 G 57 B 24 7490 C R 97 G 145 B 61 Ⓢ HTML 61913D	PANTONE % R 0 G 18 B 39 295 C R 0 G 46 B 99 Ⓢ HTML 002E63	PANTONE % R 0 G 44 B 45 322 C R 0 G 112 B 115 Ⓢ HTML 007073	PANTONE % R 35 G 11 B 31 281 C R 92 G 28 B 79 Ⓢ HTML 5C1C4F	PANTONE % R 66 G 59 B 4 104 C R 168 G 150 B 10 Ⓢ HTML A8960A	PANTONE % R 58 G 30 B 1 724 C R 148 G 77 B 3 Ⓢ HTML 944D03
PANTONE % R 49 G 13 B 17 189 C R 125 G 33 B 46 Ⓢ O :: HTML 7D212B	PANTONE % R 43 G 51 B 20 7491 C R 110 G 130 B 51 Ⓢ HTML 6E8233	PANTONE % R 0 G 16 B 25 296 C R 0 G 41 B 64 Ⓢ HTML 002940	PANTONE % R 0 G 38 B 39 323 C R 0 G 97 B 99 Ⓢ HTML 006163	PANTONE % R 32 G 13 B 27 282 C R 82 G 33 B 69 Ⓢ HTML 522145	PANTONE % R 50 G 45 B 6 105 C R 128 G 115 B 15 Ⓢ HTML 80730F	PANTONE % R 50 G 24 B 1 725 C R 128 G 81 B 3 Ⓢ HTML 803003	
Refer to page i for Icon Definitions C = Coated Paper 52.4 G	Refer to page i for Icon Definitions C = Coated Paper 14 C	Refer to page i for Icon Definitions C = Coated Paper 104 C	Refer to page i for Icon Definitions C = Coated Paper 30 C	Refer to page i for Icon Definitions C = Coated Paper 34 C	Refer to page i for Icon Definitions C = Coated Paper 25 C	Refer to page i for Icon Definitions C = Coated Paper 2 C	Refer to page i for Icon Definitions C = Coated Paper 90 C

Imagens Coloridas

Imagens multibandas são imagens digitais onde cada *pixel* possui n bandas espectrais.

Quando uma imagem é representada pela composição das três bandas visíveis (RGB) tem-se uma imagem colorida aos olhos humanos.



(a) Imagem Colorida



(b) Banda Vermelha (Red)



(c) Banda Verde (Green)



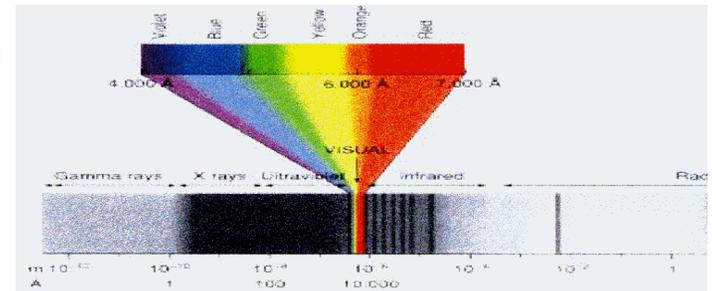
(d) Banda Azul (Blue)

Imagem colorida e cada uma de suas bandas RGB.

Iluminação

Fontes (aditivas) : - naturais (sol, fogo, estrelas)

- artificiais (vídeo, TV, lâmpadas).

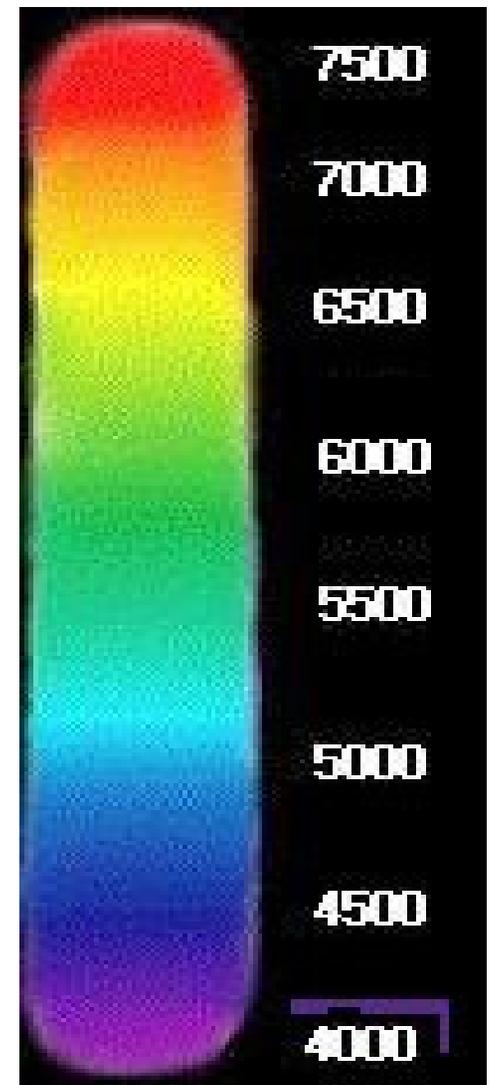


Classificação Geral	Tipos Especiais	Modelos
Incandescentes	Refletores	Vidro prensado
		Vidro soprado
Com refletor na parte esférica		
	Halógenas	-
Descarga	Baixa pressão (fluorescentes)	Com starter
		Sem starter
	De alta pressão	Vapor de Mercúrio
		Vapor metálico
		Luz mista
	Vapor de sódio	

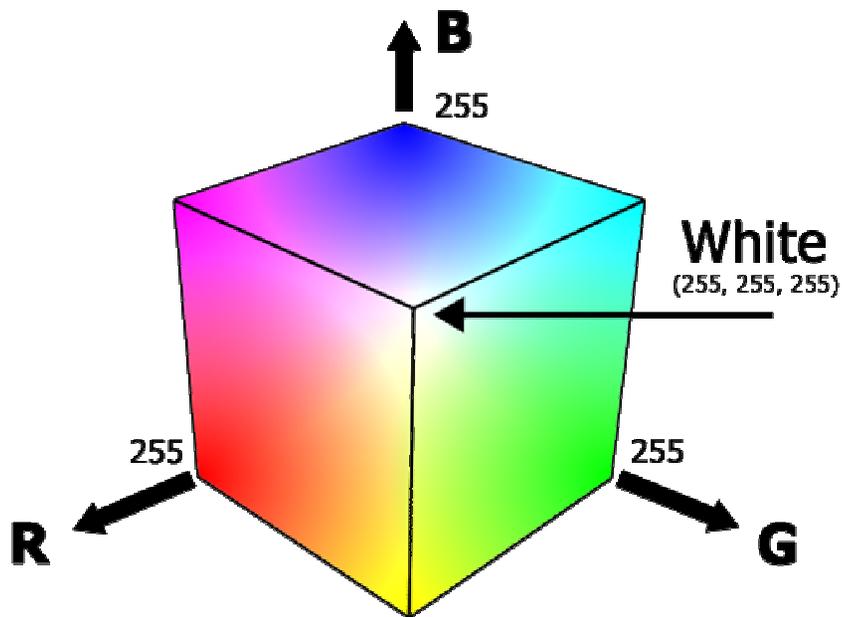
Classificação das lâmpadas

O espectro da luz do Sol, dita "branca", é um contínuo com todas as cores visíveis.

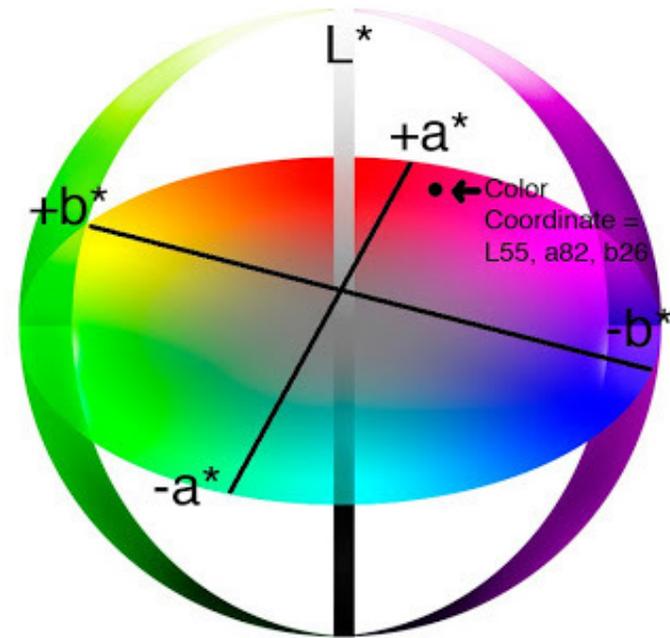
Hoje sabemos que essas componentes têm comprimentos de onda que vão desde:
4000 Ångstroms (violeta)
até
7500 Ångstroms (vermelho).



VISUALIZAÇÃO GEOMÉTRICA



RGB: visualização pelo formato de um cubo, onde não existem posições negativas, e estas variam de 0 até 255 para cada cor primária (R, G ou B).



CIELAB: visualização pelo formato de uma esfera, existem valores negativos de cor que variam do -120 até 120, sua luminosidade varia de 0 até 100.

HISTÓRICO

- **Modelo CIE/xyY (1931)** - modelo colorimétrico xyY, que representa as cores de acordo com a sua cromaticidade (eixos x e y) e a sua luminância (eixo y)
- **Modelo CIE/Luv (1960)** – é um modelo que traça no diagrama cromático um polígono que tem todas as cores capazes de reprodução, todavia , este modelo de representação não leva em conta fatores físicos de percepção da cor pelo olho humano.
- **Modelo CIE/Lab (1976)** - finalmente, o modelo colorimétrico **L a*b*** (também conhecido sob o nome de CIELAB), supre essa deficiência dos anteriores,

ESPAÇO DE CORES CIELAB

- No espaço de cores CIELAB, a intensidade luminosa é descrita pela luminosidade (L^*), e as cores por duas coordenadas, que variam de -120 a 120:

ESPAÇO DE CORES CIELAB

- A coordenada a^* contém o espectro de cores que variam entre **vermelho** e **verde** e;
A coordenada b^* , por sua vez possui o espectro de cores variantes entre as cores **amarelo** e **azul**

YCbCr

YCbCr é a versão digital do vídeo componente (a versão analógica do vídeo componente, que é a mais usada, é chamada YPbPr). Estes dois padrões são também conhecidos como YUV. “Y” é a informação de luminância (a imagem em preto-e-branco), Cb é a diferença entre o azul e a luminância (B-Y) e o Cr é a diferença entre o vermelho e a luminância (R-Y). Os três números representam as taxas de amostragem usadas para codificar os sinais Y, Cb e Cr, respectivamente.

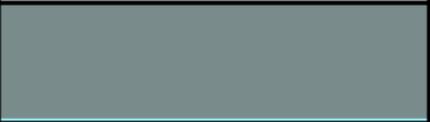
RGB - > Y Cr Cb

$$\begin{aligned}y &= 16 + (0.2125 * r + 0.7154 * g + 0.0721 * b) * 219 / 256; \\cb &= 128 + ((-0.115) * r - 0.386 * g + 0.5000 * b) * 224 / 256; \\cr &= 128 + (0.5000 * r - 0.454 * g - 0.046 * b) * 224 / 256;\end{aligned}$$

Y Cr Cb - > RGB

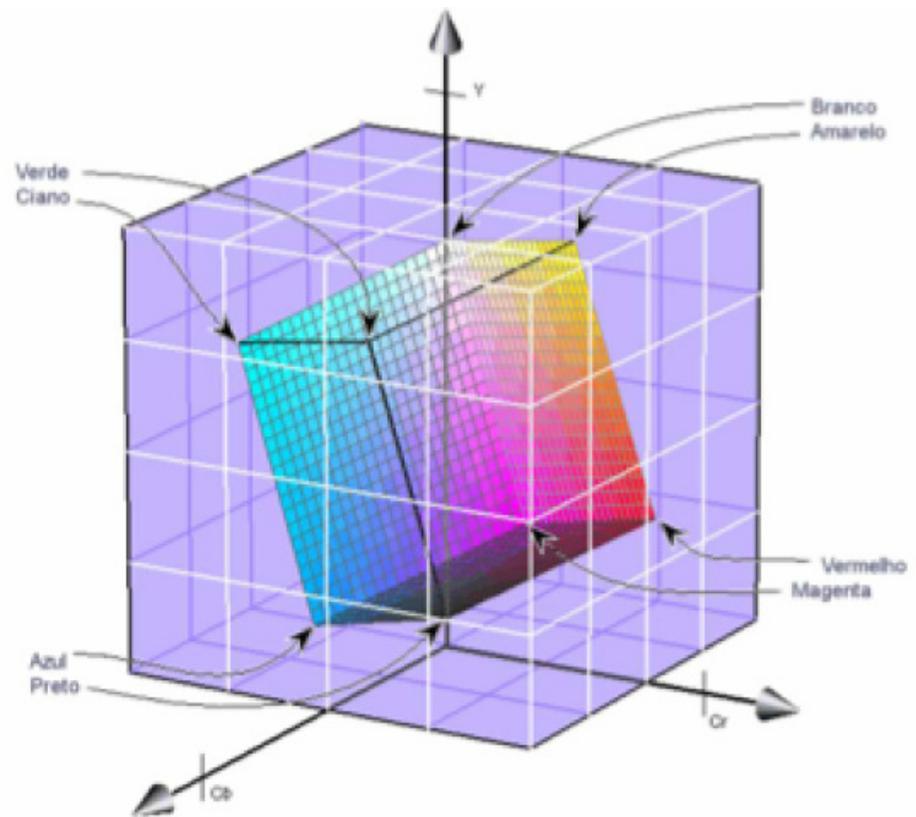
```
r = ((y - 16)) * 255 / 219 + 1.575 * ((cr - 128) * 255) / 224;  
g = ((y - 16)) * 255 / 219 - 0.187 * ((cb - 128) * 255) / 224 - 0.4678 * ((cr - 128) * 255) / 224;  
b = ((y - 16)) * 255 / 219 + 1.8508 * ((cb - 128) * 255) / 224;
```

Cores análogas

RGB	YCbCr	Cor
122 139 139	132 130 121	
52 245 255	209 142 87	
71 60 139	74 161 130	
255 0 255	78 214 229	
218 112 214	137 162 170	
255 140 0	148 55 184	

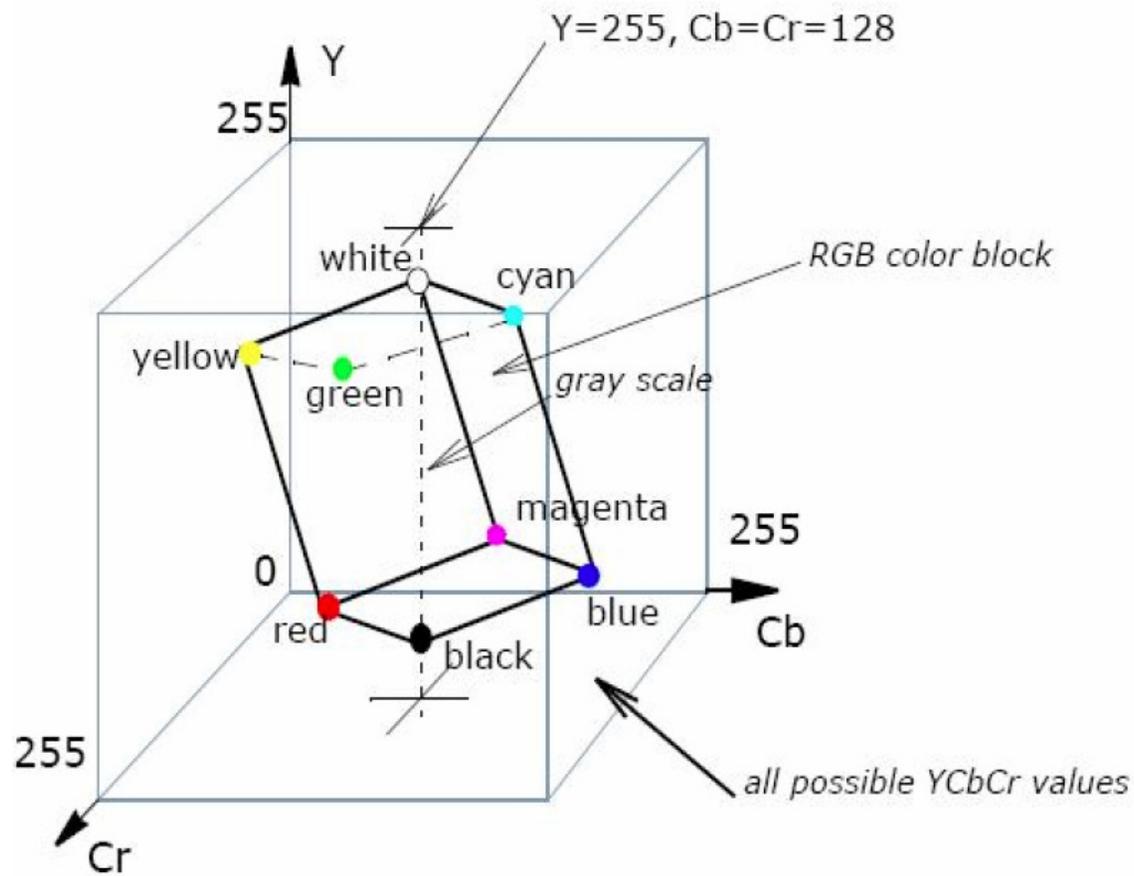
O YCbCr não é um espaço de cores absoluto e sim uma forma de codificação das informações digitais RGB. Esta codificação está definida na recomendação ITU-T 601-4 e é dependente do dispositivo. A compressão MPEG (formato de vídeo H264) usada em DVDs, blu-rays, projetores LCD, televisores digitais de alta definição e câmeras digitais produzem vídeo codificado usando YCbCr.

Um espaço equivalente ao YCbCr utilizado em aplicações analógicas é o YPbPr.



RGB representado nos eixos YCbCr.

Cores possíveis RGB ocupam apenas parte do espaço de cor YCbCr limitado pelas faixas nominais, portanto, há muitas combinações YCbCr que resultam em valores inválidos RGB.



Modelo Baseado em Medidas Físicas

Ou modelos calorimétricos.

Estes consideram um observador padrão médio e medidas fotométricas obtidas de experimentos para a composição de cores, realizadas por órgãos como a *Comission Internationale de l'Eclairage - CIE*

Outros sistemas

CIE XYZ $L^*a^*b^*$ $L^*u^*v^*$

Y_{uv} $U^*V^*W^*$ YUV

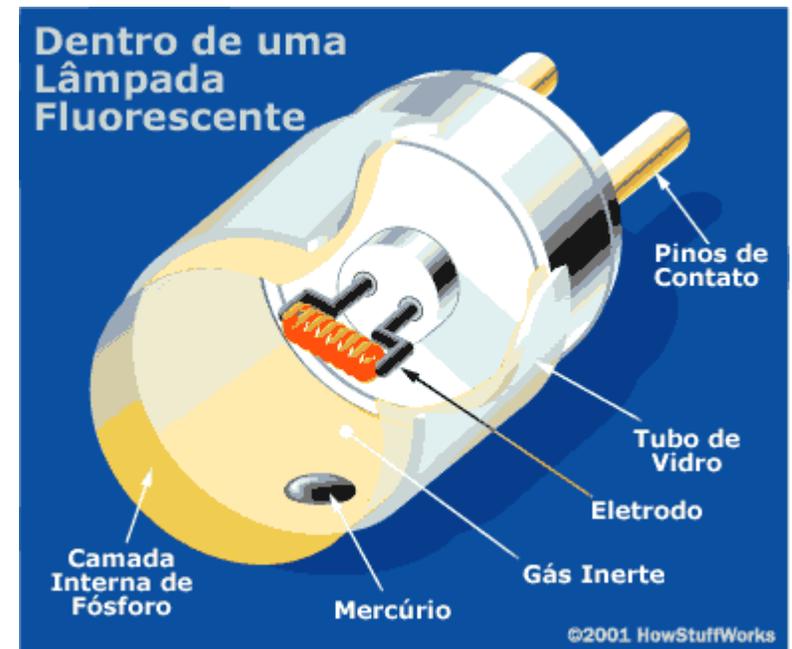
YDbDr SECAM YIQ NTSC YCbCr

YPbPr xvYCC

LMS

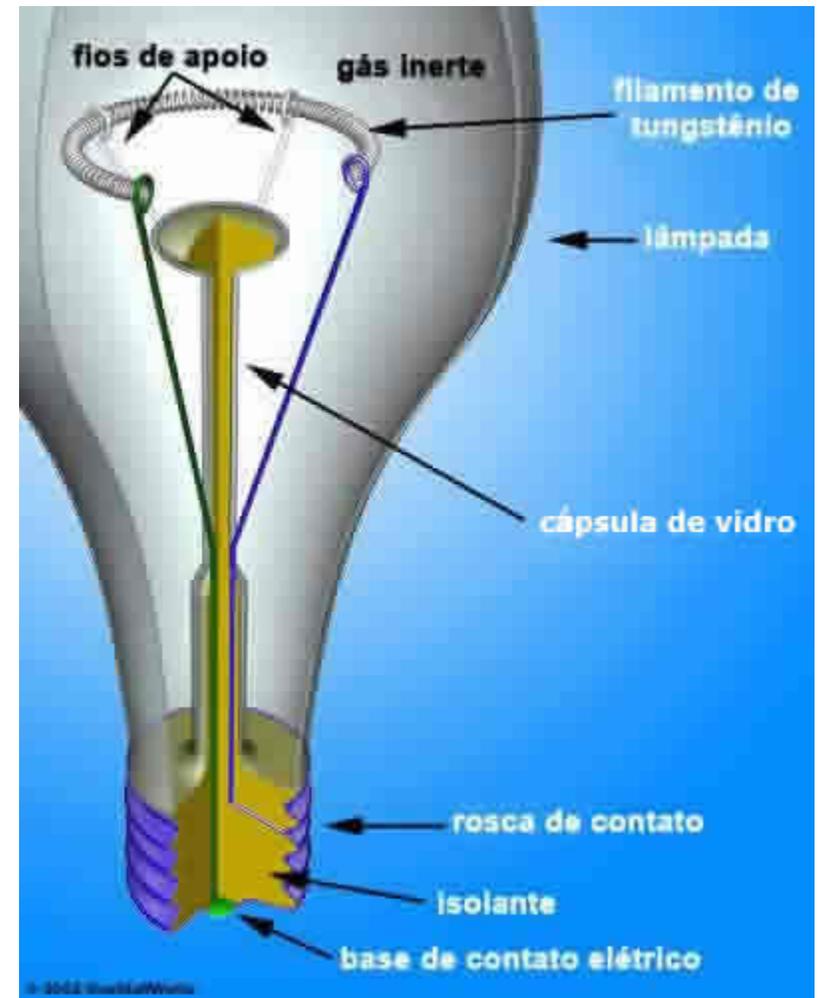
Lâmpadas

- As lâmpadas fluorescentes geram luz pela passagem da eletricidade através de um tubo cheio de gás inerte e uma pequena quantidade de **mercúrio**.
- Quando **energizado o mercúrio emitem luz visível e UV** que são completamente invisíveis. Mas o **revestimento de fósforo do tubo converte** a energia UV em luz visível.
- Os fosforos são substâncias que emitem luz ou **florescem** quando expostos à energia elétrica.
- Na lâmpada fluorescente, **a luz emitida está toda no espectro visível - o fósforo emite a luz branca que podemos ver.** Os fabricantes podem variar a cor da luz usando combinações de fosforos diferentes.

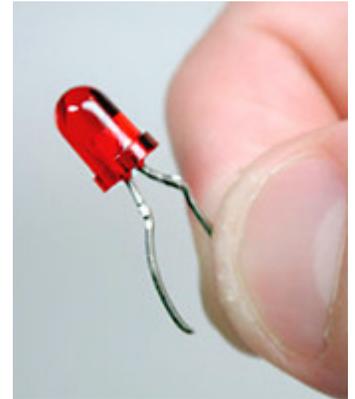


Lâmpadas incandescentes

- Lâmpadas incandescentes liberam a maior parte de sua energia no infravermelho (carregados de calor).
- Apenas cerca de 10% da luz produzida alcança o espectro visível.
- Isso desperdiça muita eletricidade.



Diodos emissores de luz ou LEDs



- Basicamente, os LEDs são lâmpadas pequenas que se ajustam facilmente em um circuito elétrico.
- Mas diferentes de lâmpadas incandescentes comuns eles não têm filamentos que se queimam e não ficam muito quentes.
- Além disso eles são iluminados somente pelo movimento de elétrons em um semicondutores e duram tanto quanto um transistor padrão.

Luz negra

Há dois tipos diferentes de luz negra, mas ambas funcionam basicamente do mesmo modo, parecido /. O filtro negro bloqueia parte da luz visível.

Uma luz negra tubular é uma lâmpada fluorescente com um tipo diferente de revestimento de fósforo. Esse revestimento absorve as ondas curtas UV-B e UV-C nocivas e emite UV-A, do mesmo modo que o fósforo em uma lâmpada fluorescente absorve a luz UV e emite luz visível. O próprio tubo de vidro "negro" bloqueia a maior parte de luz visível, de modo que somente a luz UV-A e alguma luz visível azul e violeta passam por ele.

Uma lâmpada de luz negra incandescente é similar a uma incandescente normal, **mas usa filtros de luz negra para absorver a luz do filamento aquecido.** Eles absorvem tudo exceto a luz infravermelha e UV-A, além de um pouco da luz visível.



Porque do brilho dos brancos, dentes e outras coisas

- a luz UV emitida pela LUZ NEGRA reage com vários **fosforosos externos** exatamente do mesmo modo que a luz UV dentro de uma lâmpada fluorescente reage com o revestimento de fósforo.
- Os fosforosos externos brilham enquanto a luz UV está brilhando sobre eles.
- Há uma grande quantidade de fosforosos naturais nos dentes e unhas. Há também muitos fósforo em algumas tintas, tecidos e plásticos.
- Algumas peças de suas roupas brancas brilham. Isso acontece por que a maioria dos sabões em pó contém fósforo para fazer o branco parecer mais branco à luz do sol. A luz do sol contém luz UV que faz o branco brilhar "mais claro do que o branco".
- As roupas escuras não brilham porque os pigmentos escuros absorvem a luz UV.

Fontes de Iluminação

A iluminação e as cores

As características da cor de uma lâmpada são definidas por:

- sua aparência de cor (atributo da temperatura de cor);
- sua capacidade de reprodução de cor (atributo que afeta a aparência de cor dos objetos iluminados).

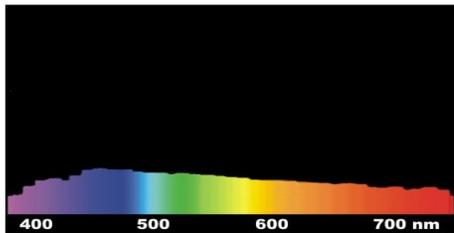
Associação entre temperatura e aparência de cor de uma lâmpada

Temperatura de cor (K)	Aparência de cor
$T > 5000$	Fria (branca- azulada)
$3300 < T < 5000$	Intermediária (branca)
$T < 3300$	Quente (branca – avermelhada)

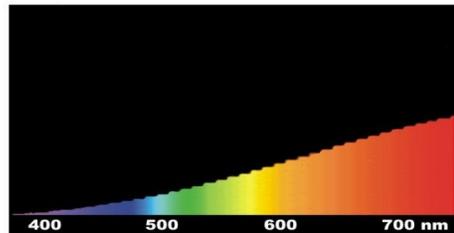
Fontes de Iluminação

Gráficos intensidade x comprimento de onda
de diversas luzes

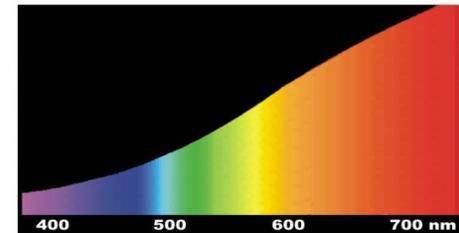
IRC=Índice de Reprodução de Cores



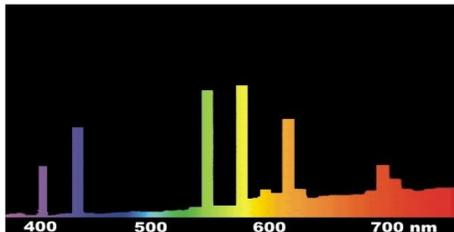
Radiação Solar



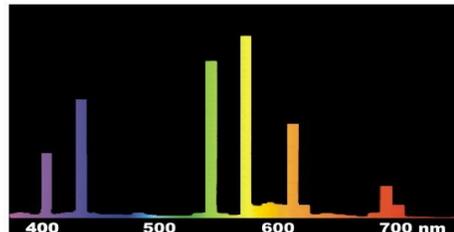
Lâmpada Incandescente



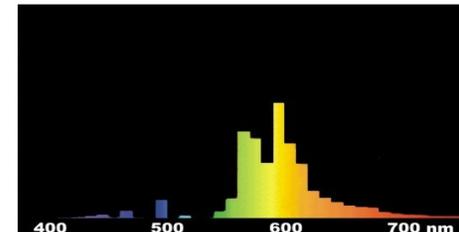
Lâmpada Halógena



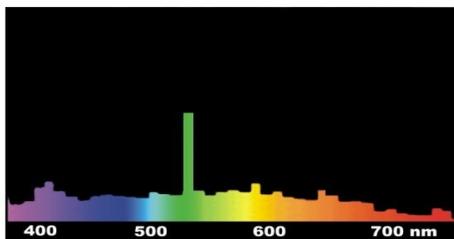
HWL Luz Mista



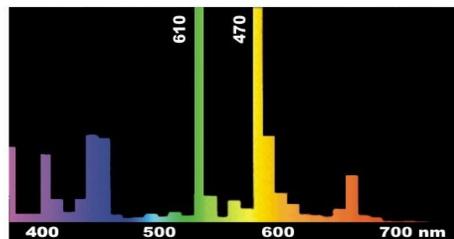
HQL Vapor de Mercúrio



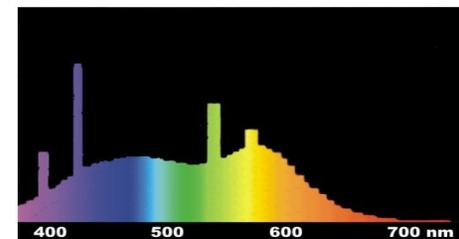
NAV Vapor de Sódio



HQI.../D Multivapores Metálicos



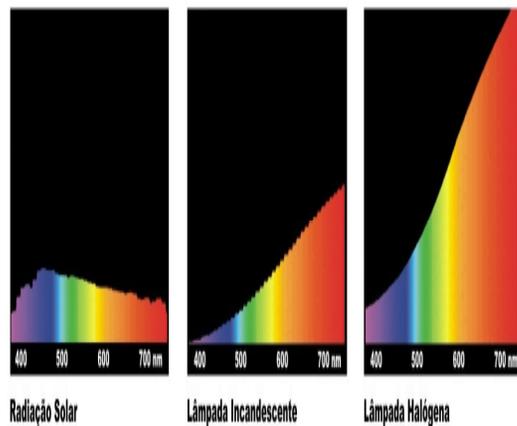
HQI.../N Multivapores Metálicos



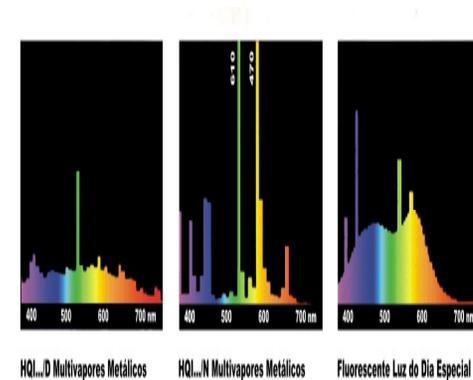
Fluorescente Luz do Dia Especial

Exemplo de luz branca:

- Luz do dia: emissão em todas as frequências

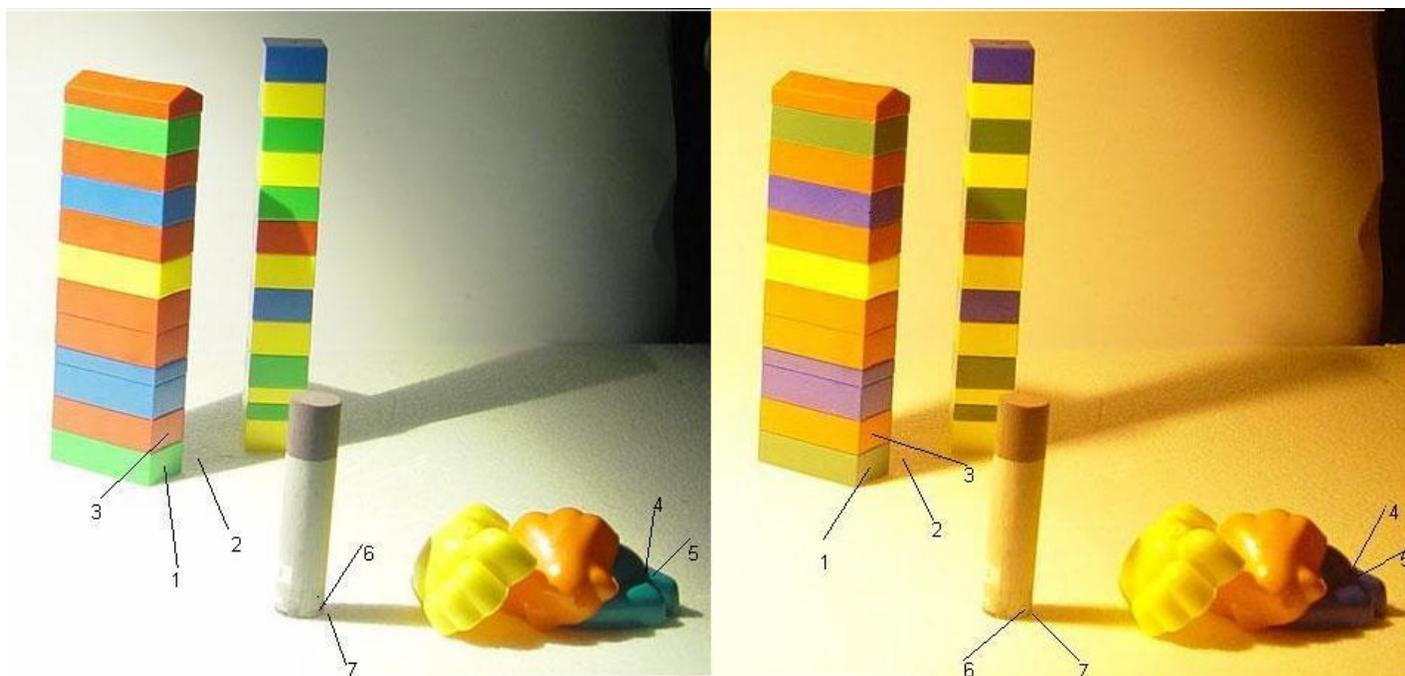


Em oposição a emissão em
uma frequências predominante



Fontes de Iluminação

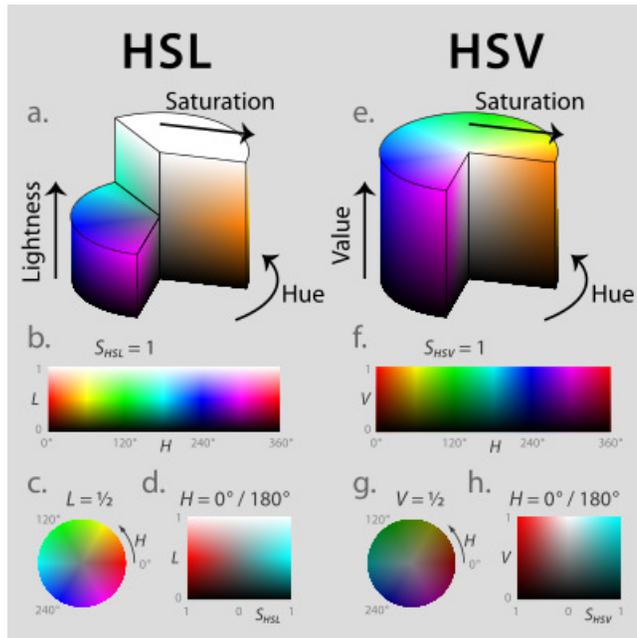
Diferença da reprodução de cor em função do iluminante



Objetos iluminados com **MVM** (multi vapor metálico) de **IRC=75**
e **VS** (Vapor de Sódio) **IRC=22**.

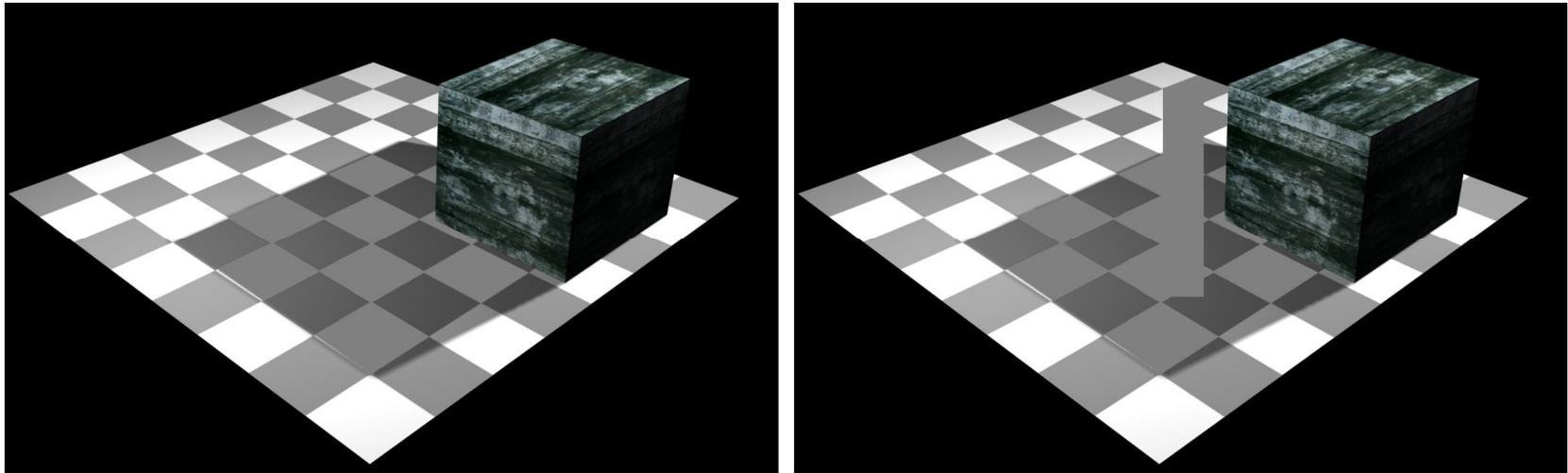
Repare especialmente nas cores com mesmo número em ambas as
fotos.

Formas cilíndricas e cônicas



Outras Características das Cores

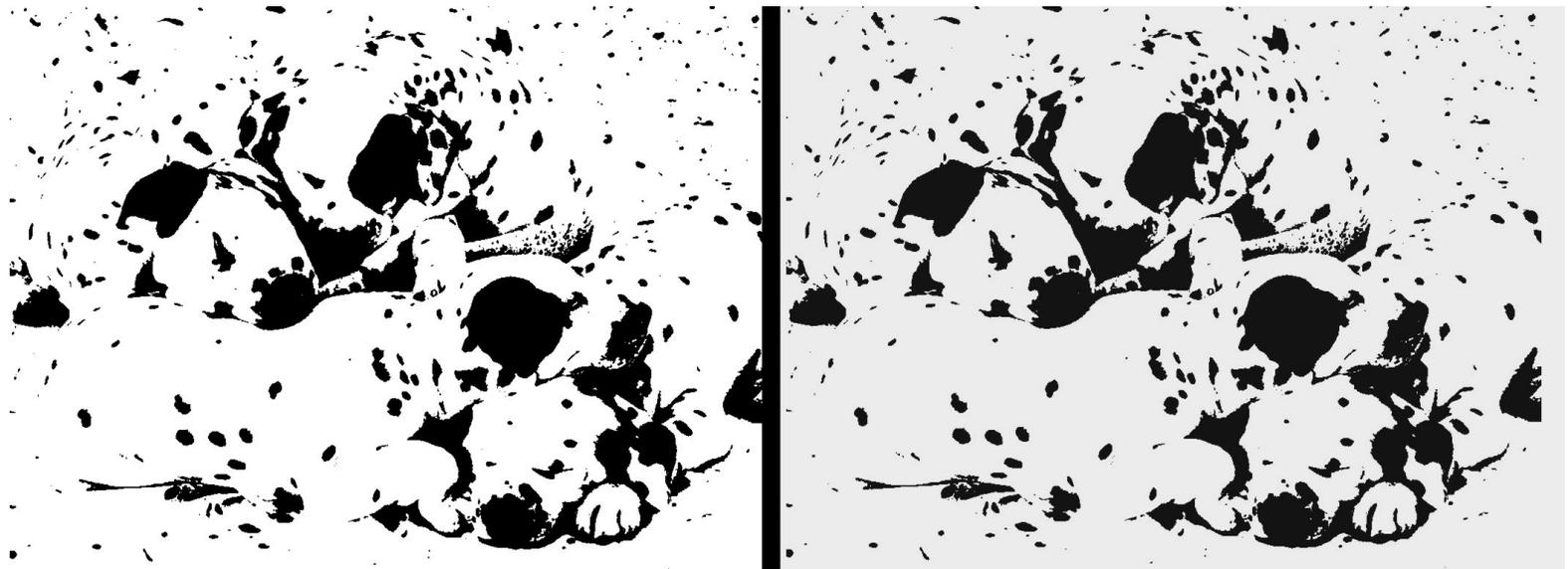
Contraste Simultâneo



Exemplo do efeito de contraste simultâneo.

Outras Características das Cores

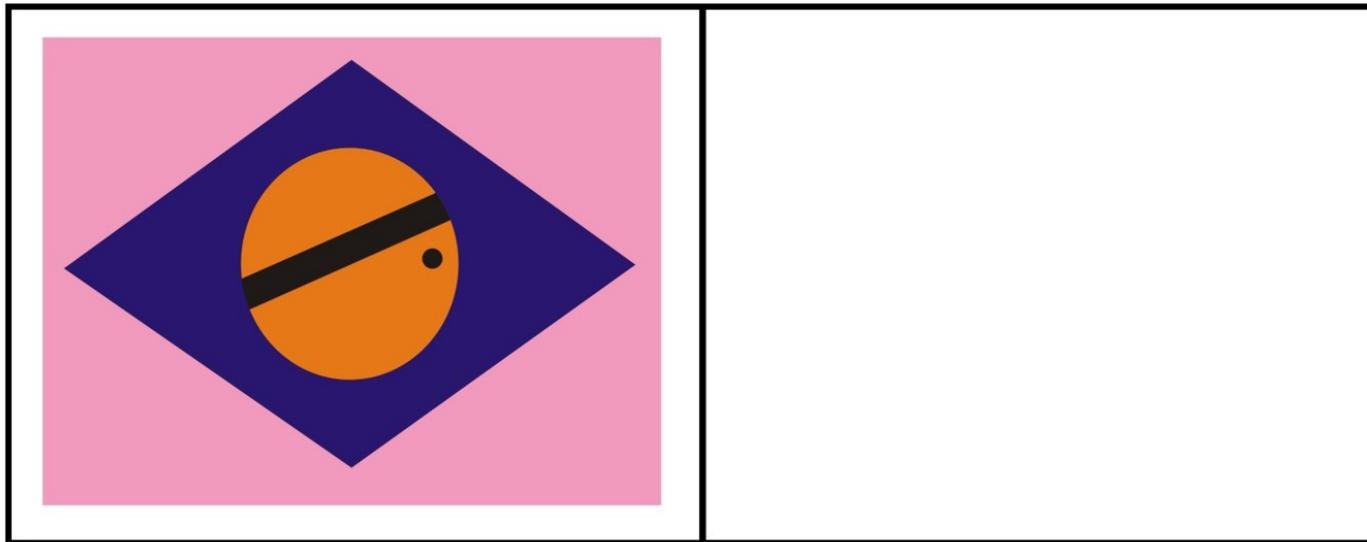
Contraste Excessivo



Contraste excessivo em A e redução de contraste em B

Outras Características das Cores

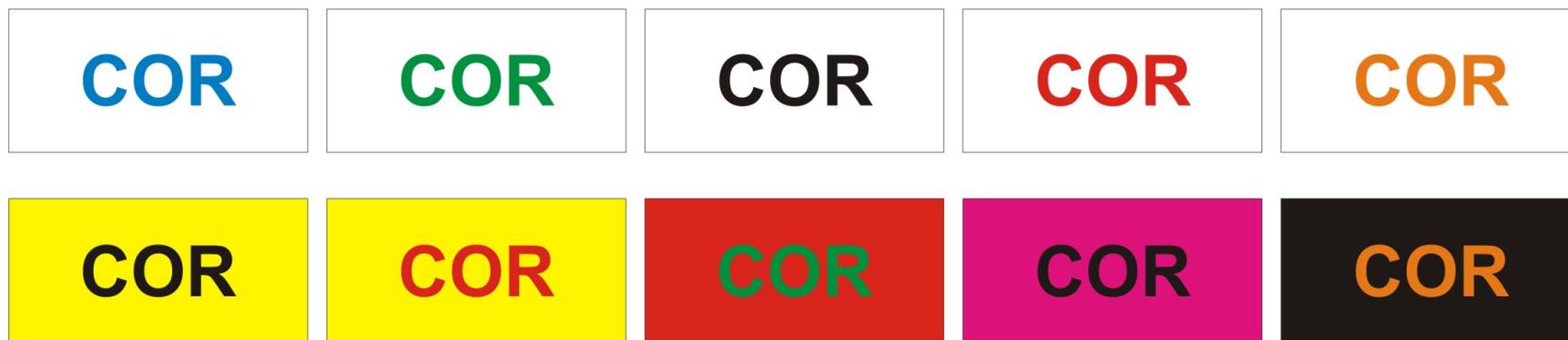
Contraste Sucessivo



Saturação na percepção de cores.

Outras Características das Cores

Contraste fundo-letra



Contrastes ideais de cores

Outras Características das Cores

Invariância perceptiva de cor

ZUL ROXO AZUL VERDE AMARELO
SA PRETO LARANJA ROSA VERM
MARELO VERMELHO MARROM A
ZUL VERDE PRETO LARANJA RO

Invariância perceptiva da cor associada a palavras.

Percepção e Cognição

- Processo Informativo
- Detecção
- Reconhecimento
- Discriminação



Ilusão.

Bibliografia Complementar

- Kaiser, PeterK. *The Joy of Visual Perception: A Web Book*, York University, <http://www.yorku.ca/eye/>
- Smal, James; Hilbert, D.S. (1997). *Readings on Color, Volume 2: The Science of Color*, 2nd ed., Cambridge, Massachusetts: MIT Press. ISBN 0-262-52231-4.
- Kaiser, Peter K.; Boynton, R.M. (1996). *Human Color Vision*, 2nd ed., Washington, DC: Optical Society of America. ISBN 1-55752-461-0.
- Wyszecki, Günther; Stiles, W.S. (2000). *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*, 2nd edition, places: Wiley-Interscience. ISBN 0-471-39918-3.
- McIntyre, Donald (2002). *Colour Blindness: Causes and Effects*. UK: Dalton Publishing. ISBN 0-9541886-0-8.
- Shevell, Steven K. (2003). *The Science of Color*, 2nd ed., Oxford, UK: Optical Society of America, 350. ISBN 0-444-512-519.
- Color Theory and Modeling for Computer Graphics, Visualization, and Multimedia Application, editado por Haim Levkowitz, 1997.