

Realismo Visual e Cores



*Modelo de Sombreamento ou de
Iluminação*

Aula 13-16

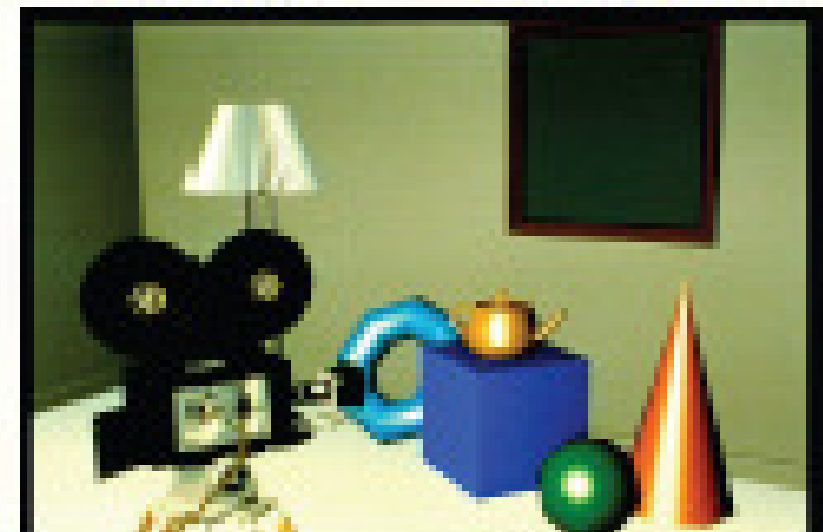
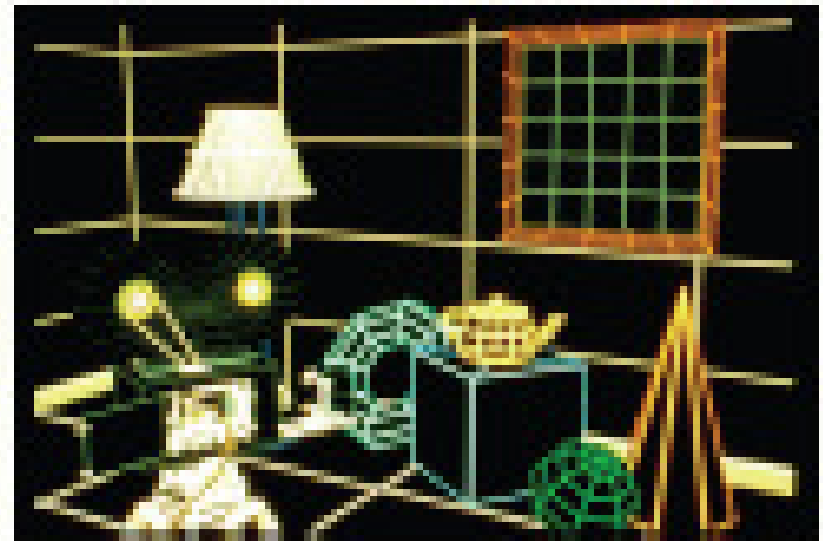
Capitulo 4 e 5- livro texto de **computação gráfica**

UFF – 2019 -2

Objetivo

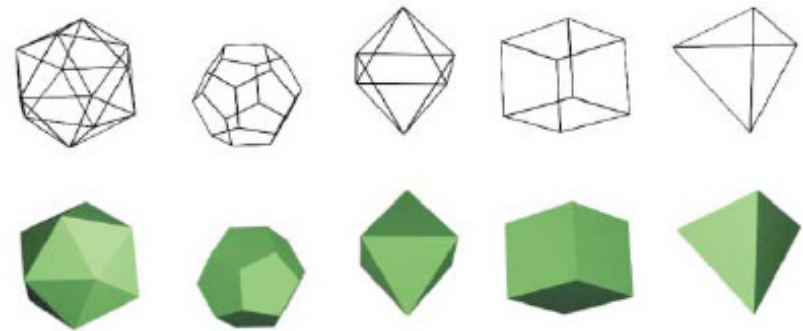
Melhorar o realismo e colorir adequadamente os objetos criados

(real time x perfeição física da cena)



Nível adequado do realismo

Sombreamento das diversas superfícies ou *Shading* :
reflexão difusa,
reflexão especular



Demais níveis de detalhes:

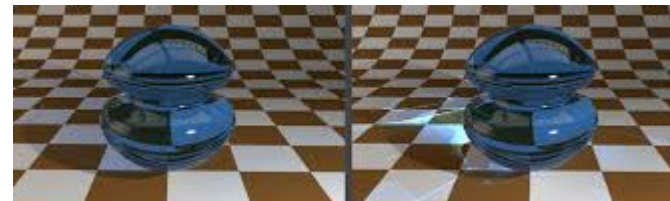
Sombras (*shadows*)

Reflexão,

Transparências,

Refração,

Texturas



Um *modelo de Sombreamento (Shading) ou Iluminação*

é a forma utilizada para **calcular a intensidade** de luz (*Shading*) observada em um ponto na superfície de um objeto.

Modelos :

Empíricos x Físicos

Locais x Globais

Sombreamento das diversas superfícies

Shading :

Shading se refere ao processo de alterar ou não a cor do objeto/superfícies/polígonos numa cena 3D, baseado em um modelo de iluminação para o criar um efeito realístico.

Modelos mais comuns:

Flat *Shading* ou Constant *Shading*,

intensidade variável,

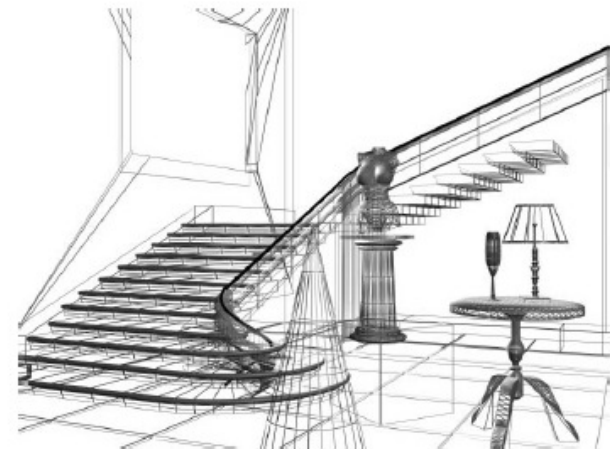
normais variáveis,

como funções de reflexão bidirecionais (BRDF), radiosidade.

Modelo de iluminação: empírico e local.

Quando se *renderiza* um objeto onde o **tom de um ponto** é determinado por:

- A descrição das fontes de luz disponíveis
- As superfícies dos objetos da cena
- A posição relativa entre as fontes de luz e as superfícies dos objetos



Descrição das fontes de luz disponíveis

Deve incluir detalhes como:

- Onde estão localizadas nas coordenadas da cena (em 3D da cena inteira)
- Intensidade, cor, número
- Tipo:

Ambiente – uniformemente distribuída em todas as direções da cena

Direcional, Pontuais ou

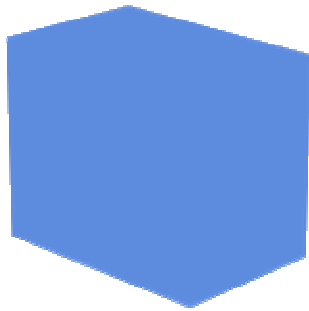
Com áreas de dimensões definidas

Shading com luz ambiente

Intensidade constante, cor constante → afeta igualmente todas as faces e objetos da cena:

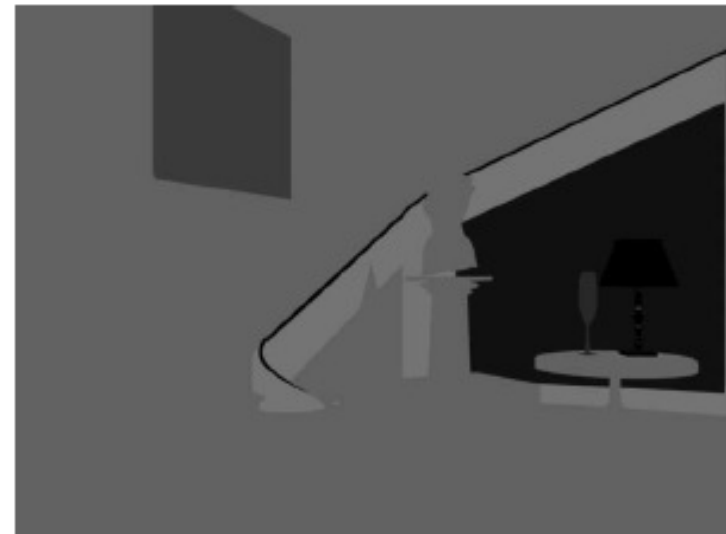
Difusa e non-directional lighting

Se I = intensidade da luz no ponto em estudo, I_a = intensidade da luz **ambiente** no ponto em estudo, r_a = coeficiente de reflexão entre 0 e 1



$$I = I_a r_a$$

Paralelepípedo e cena sob luz ambiente



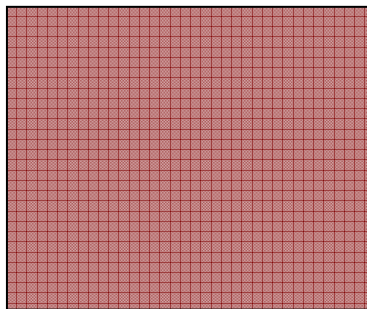
-

O número de tons entre os valores limites, branco e preto, (ou de RGB) que se pode representar em tons, depende de quantos bits são alocados na matriz de imagem para armazenar o tom de cada *pixel*.

Número de elementos na Escala de cinza		Tons de cinza limites	Números de Bits necessários para representação do <i>pixels</i>
2^1	2 valores	0,1	1
2^3	8 valores	0 a 7	3
2^4	16 valores	0 a 15	4
2^8	256 valores	0 a 255	8

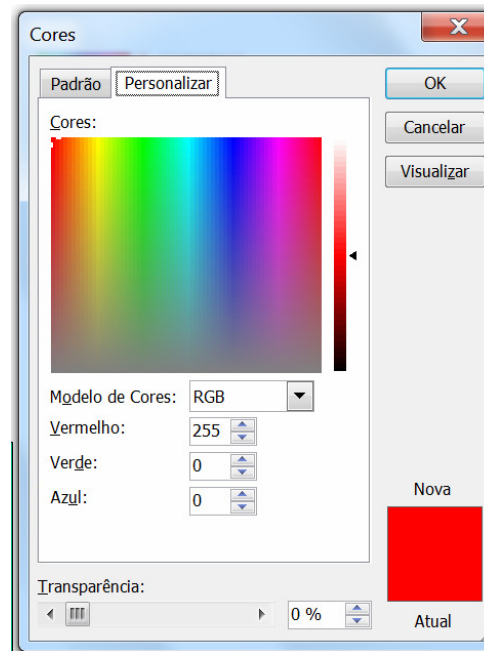
A intensidade de luz **máxima** de um ponto seria ele estar na Cor Branca= (1,1,1)

Vermelho mais intenso
=(1 , 0 , 0)



Vermelho menos intenso
=(0.5 , 0 , 0)

Se cada cor com 1 byte:
Branco= (255,255,255)



Vermelho máximo:
= (255,0,0)

Vermelho 50% :=
(127,0,0)

**No RGB = sistemas de cores aditivos -> 3 cores
Combinadas ao maximo = BRANCO !**

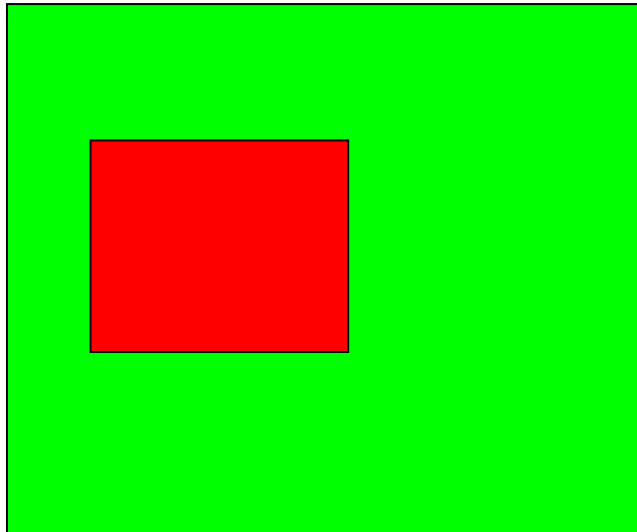
Shading é feito com variações do tom da cor !

sistemas de cores aditivos - 2

cores combinadas

RGB = 3 cores primarias:

vermelho, **verde** e o **azul**.



vermelho=(0,5, 0 , 0),

Branco = (0,5, 0,5 , 0,5),

Com porcentagens de branco ,

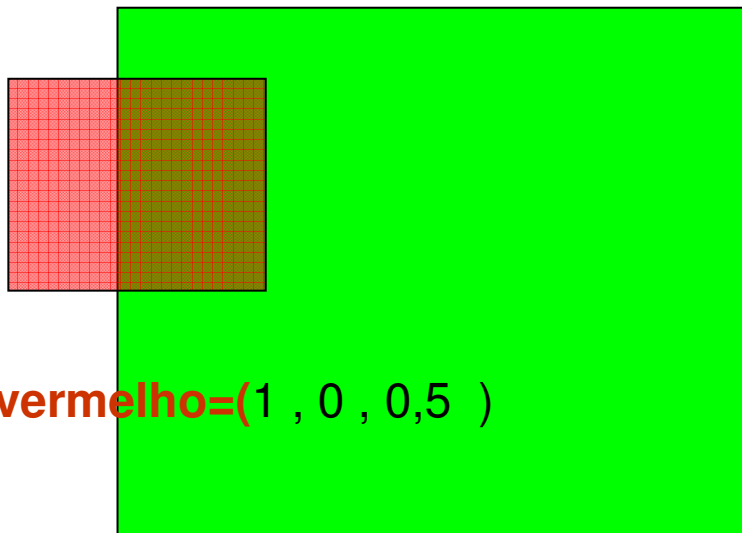
Tons de vermelho

vermelho=(1 , 0 , 0),

Com porcentagens de verde,

verde = (0, 0,5 , 0)

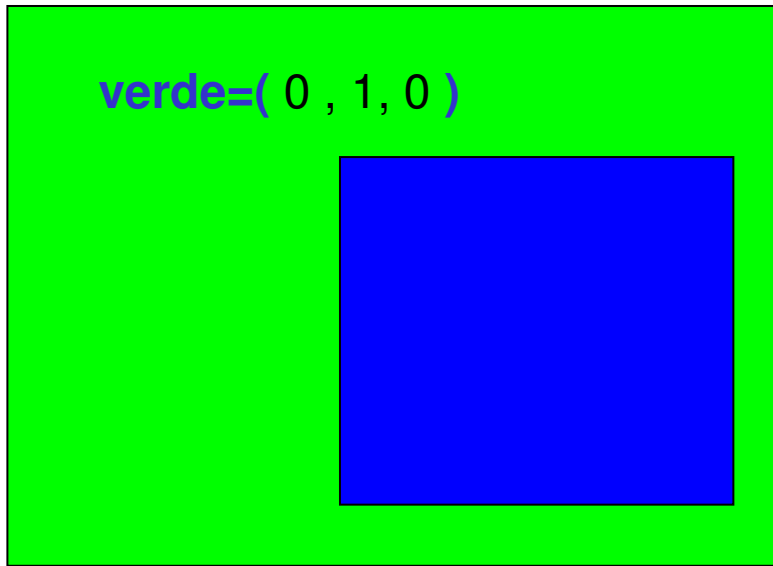
Tons de amarelos ou marrons



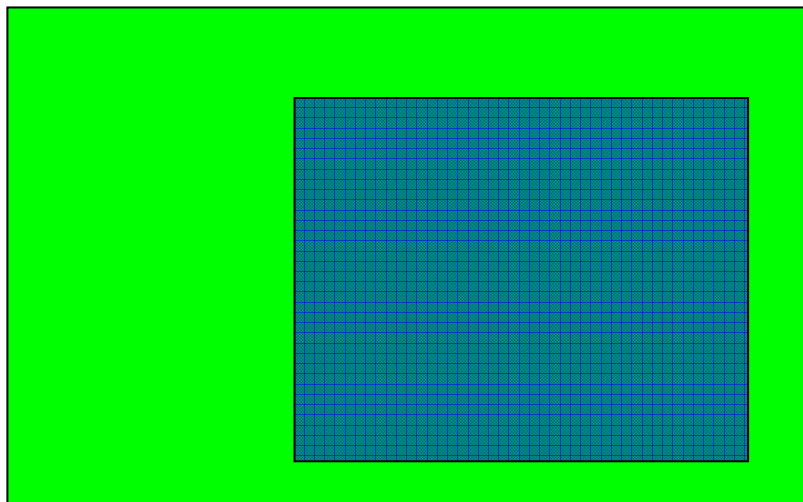
vermelho=(1 , 0 , 0,5)

rosa=(1 , 0.5 , 0,5),

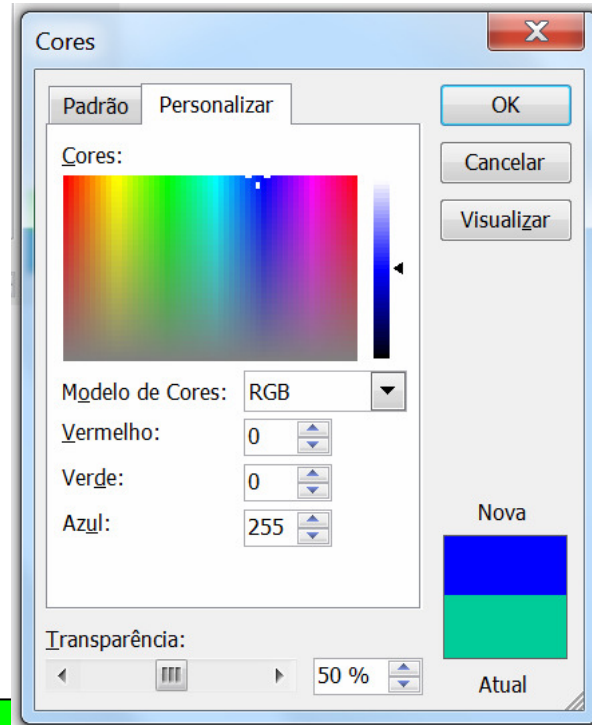
Shading é feito com variações da cor !



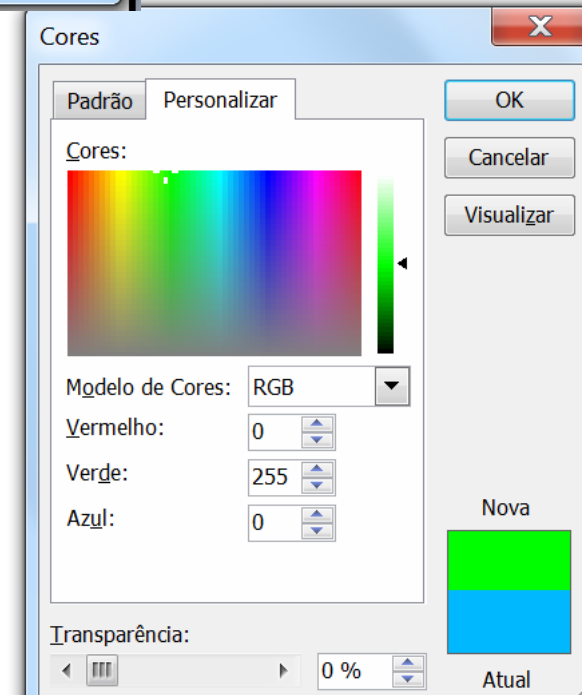
$\text{azul}=(0, 0, 1)$

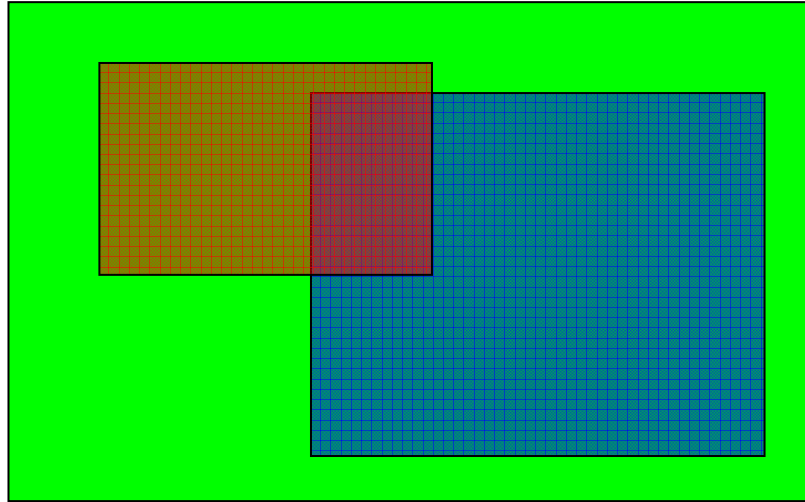


$\text{azul}=(0, 1, 0.5)$ combinado com o verde



Shading é feito com variações da cor !





Combinando com o branco ou com o preto se tem os diversos tons dos superfícies das faces de um objeto),

Vermelho mais escuro : (127, 0 , 0)

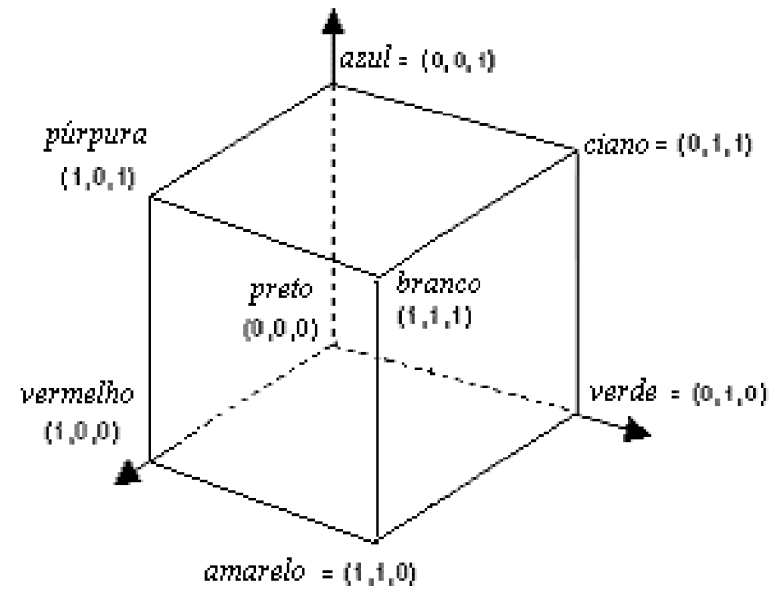
Idem para o Verde (0 , 1 , 0) em porcentagem ou








na forma de 1 byte por canal de cor = (0, 255,0)

E para o azul

Com essas combinações nos sistemas de cores aditivos se tem o shanding dos objetos !!!

Preto? Branco? Magenta? Ciano?



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	



(a) Imagem Colorida



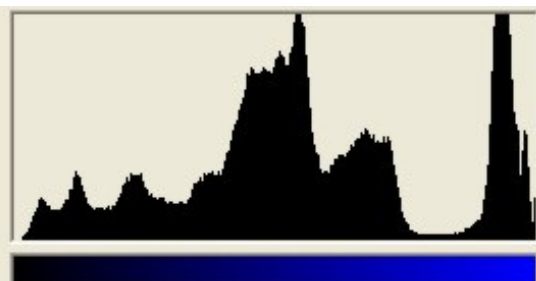
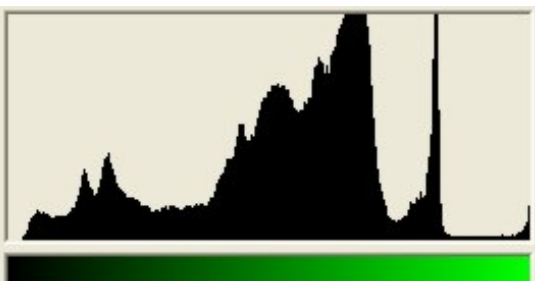
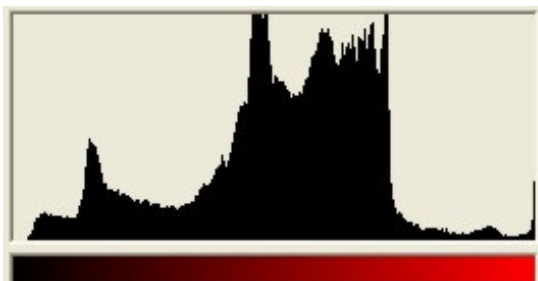
(b) Banda Vermelha (Red)



(c) Banda Verde (Green)



(d) Banda Azul (Blue)



Histograma de Imagens Coloridas

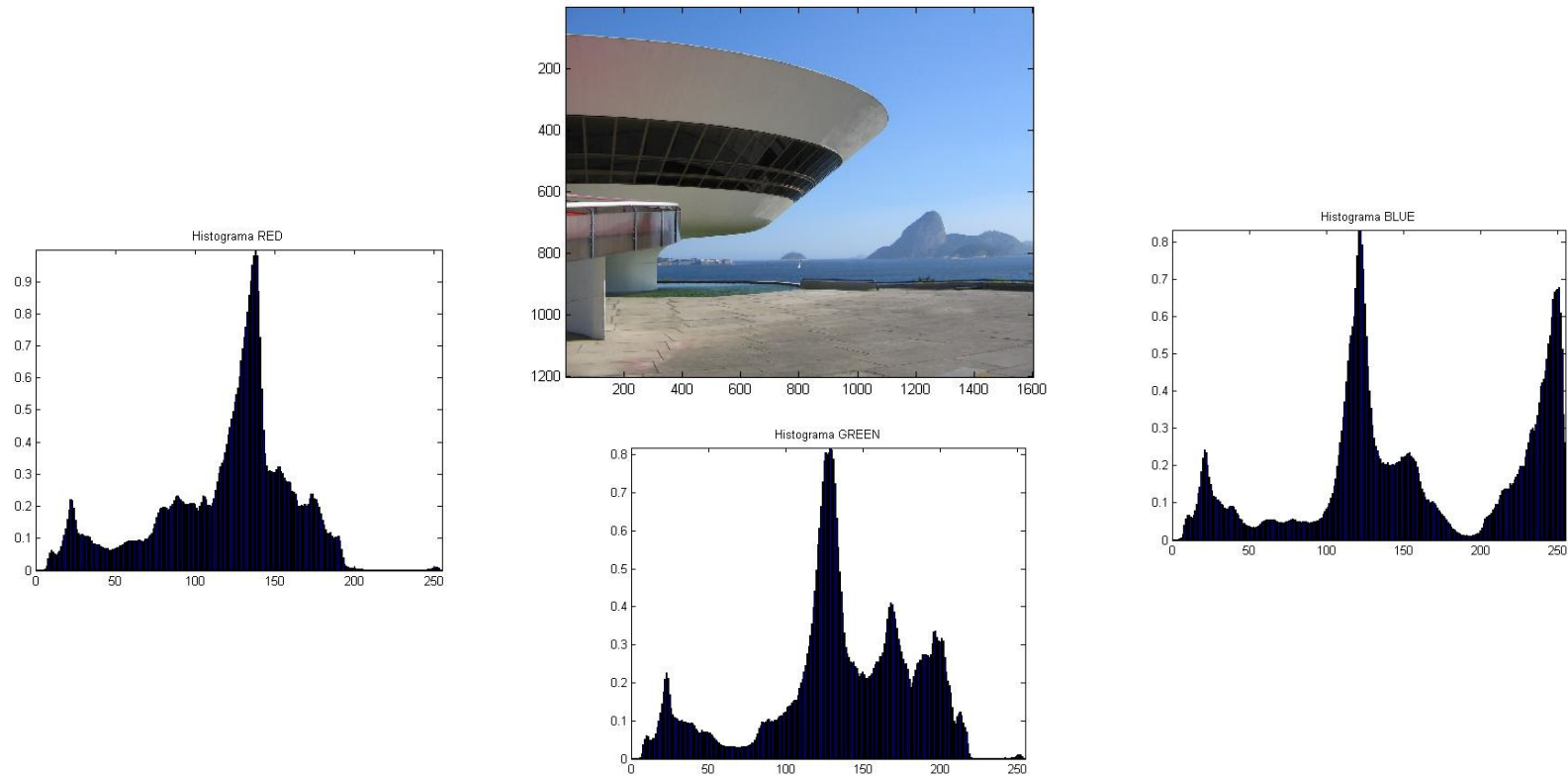


Imagem original e seus histogramas normalizados

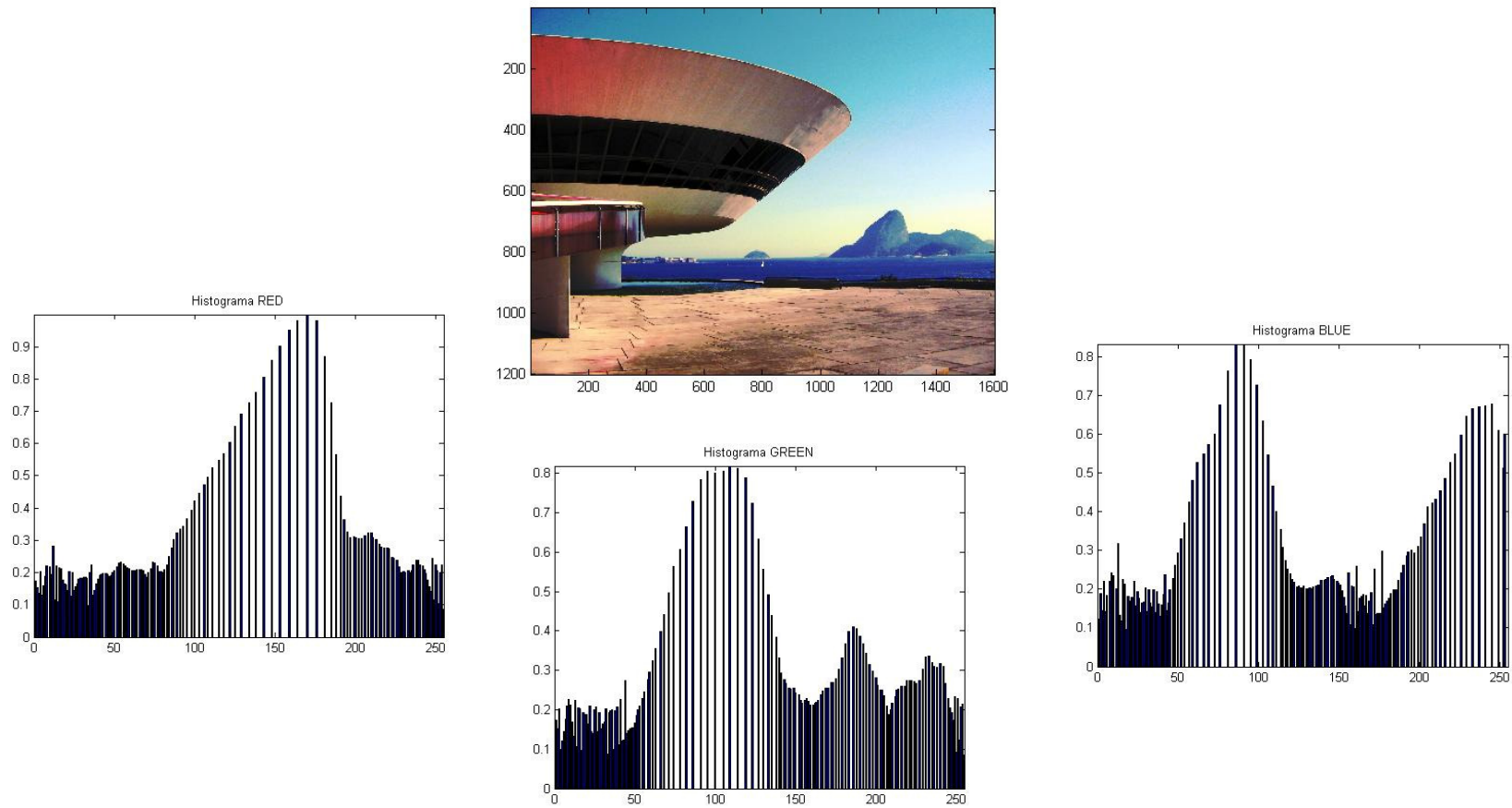
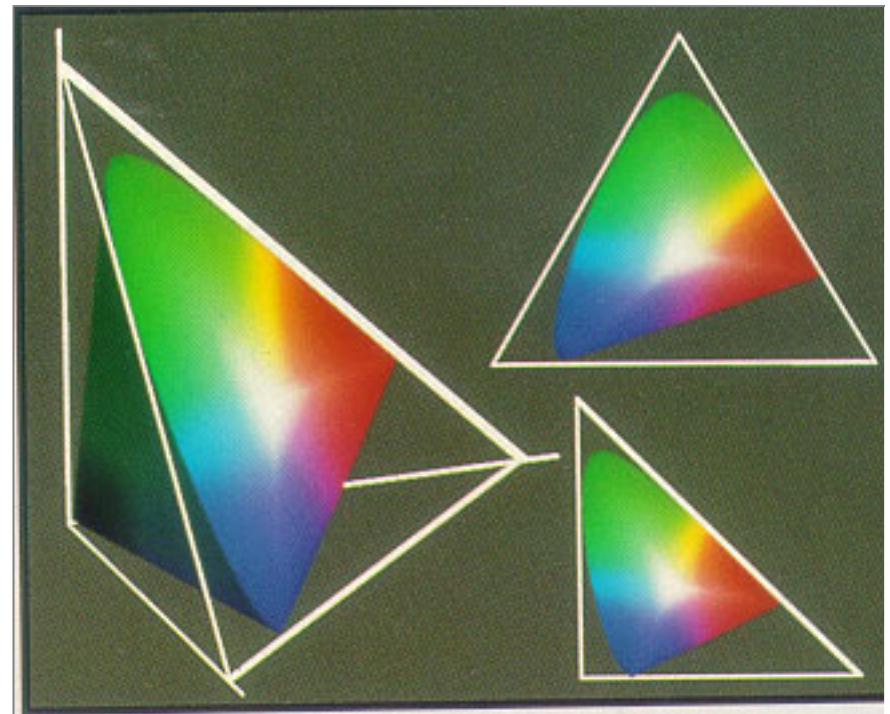


Imagem modificada por equalização e seus histogramas equalizados normalizados .

Mas existem diversas combinações

Que produzem a mesma cor aos nossos olhos

São chamadas cores análogas



Color Analoga :

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

Existem diversos tipos de modelos,
são eles :

Fisiológico.

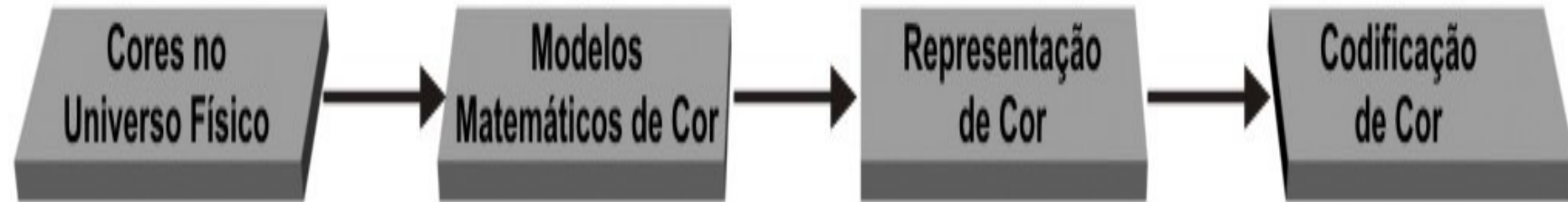
Sensações Oponentes.

Baseado em Medidas Físicas.

Adequados a determinado equipamento.

Psicofísico.

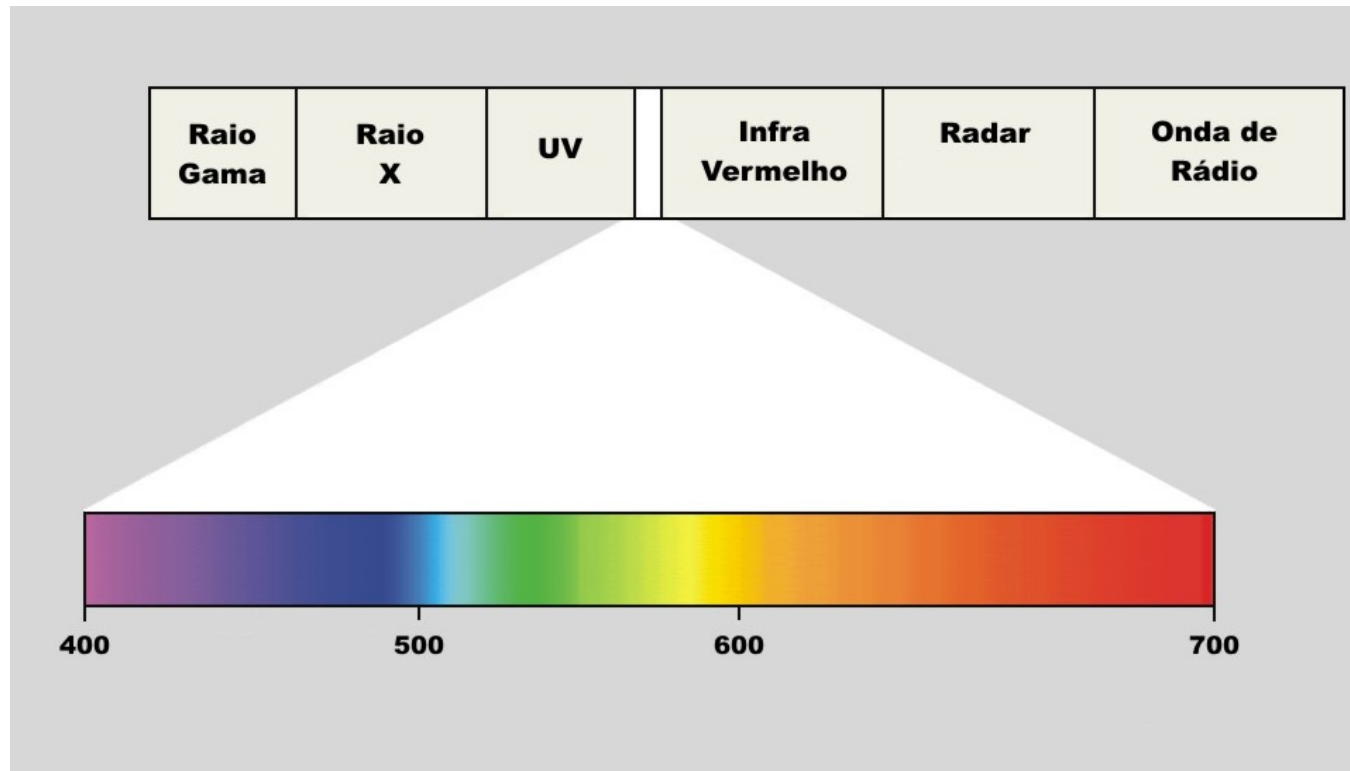
Modelos de Cores



Níveis de abstração de cores.

Características ópticas da luz

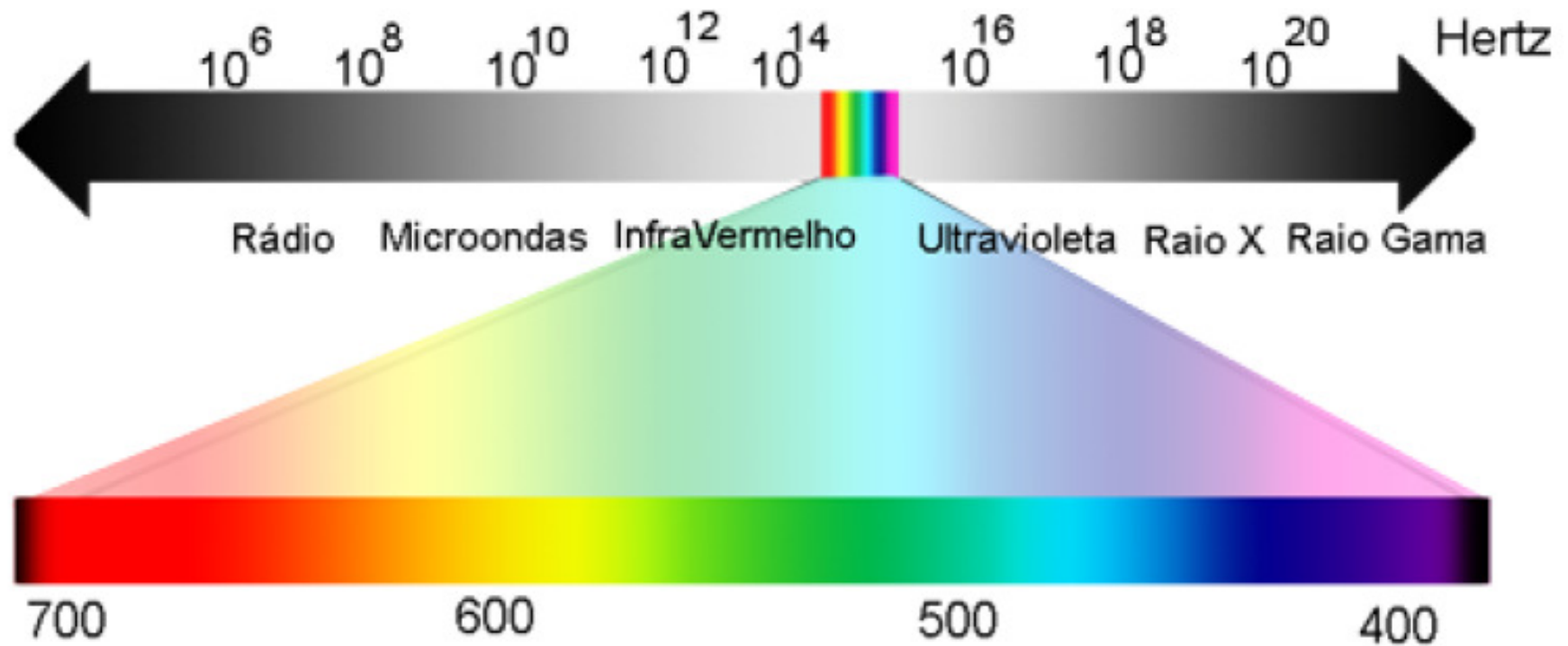
Radiação Eletromagnética



Espectro eletromagnético e comprimentos de onda

(em nano metros – nm) .

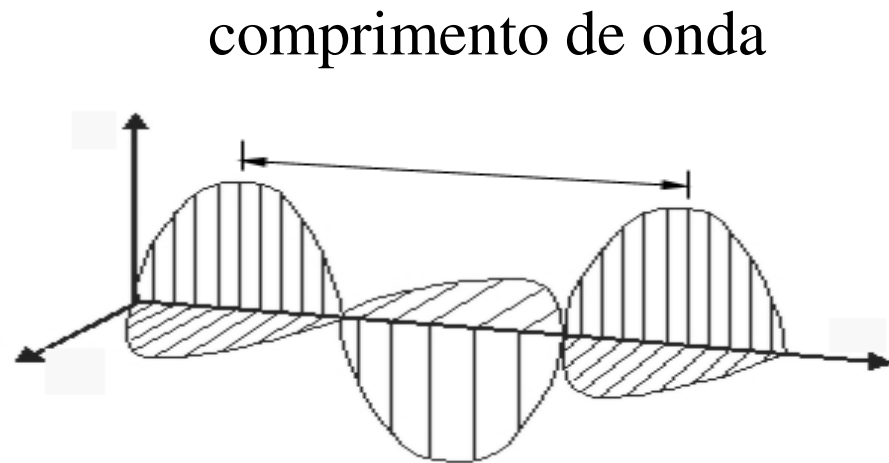
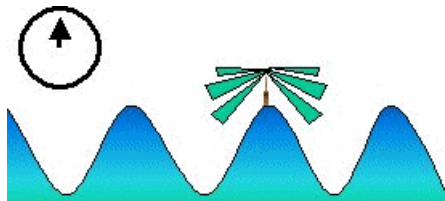
Freqüência ou comprimento de onda da luz visível



Características ópticas da luz

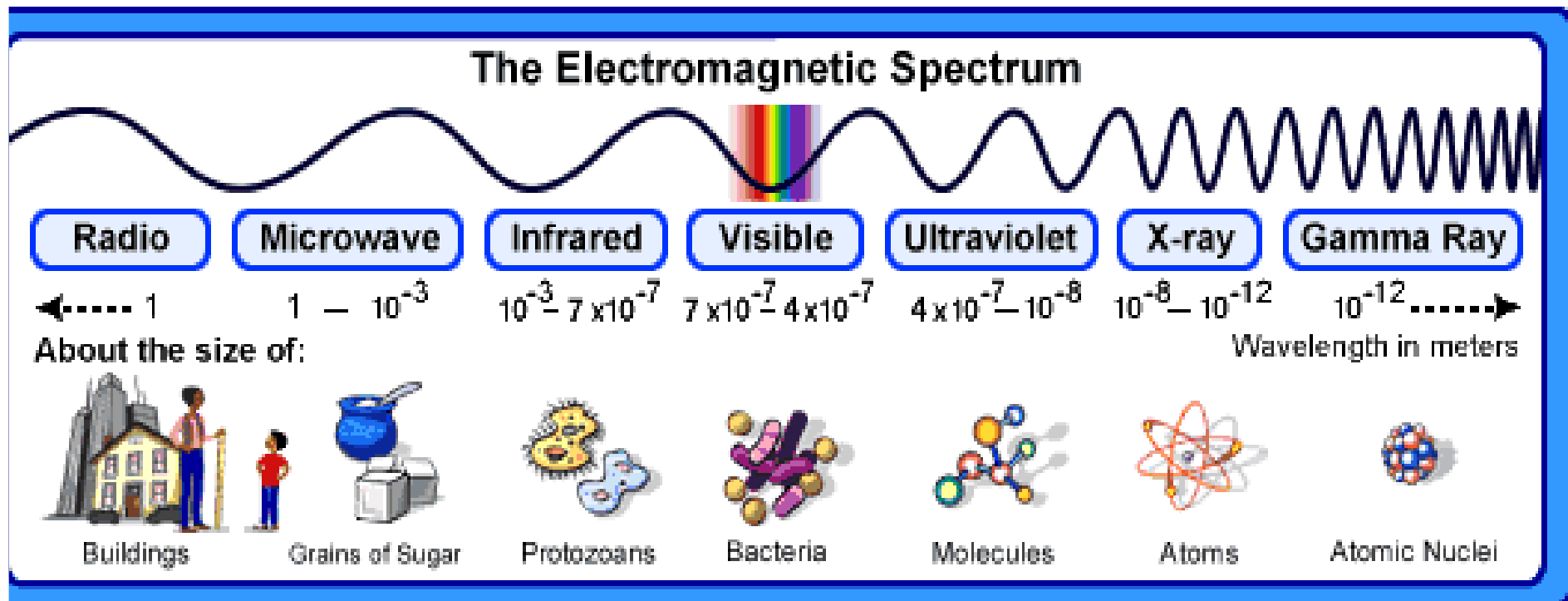
A luz é uma radiação eletromagnética que interage com as superfícies por:

- reflexão
- absorção
- transmissão



Espectro eletromagnético

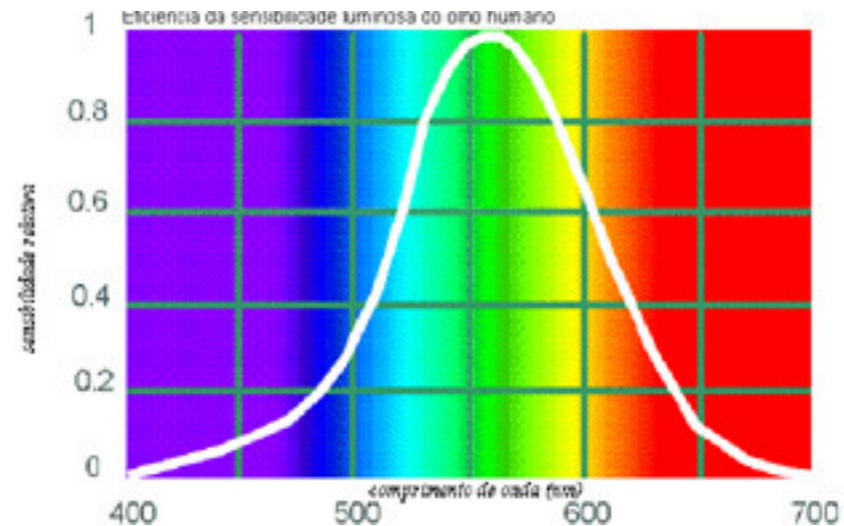
E comprimentos de onda



Características ópticas da luz

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

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

Características ópticas da luz

Imagem Térmica

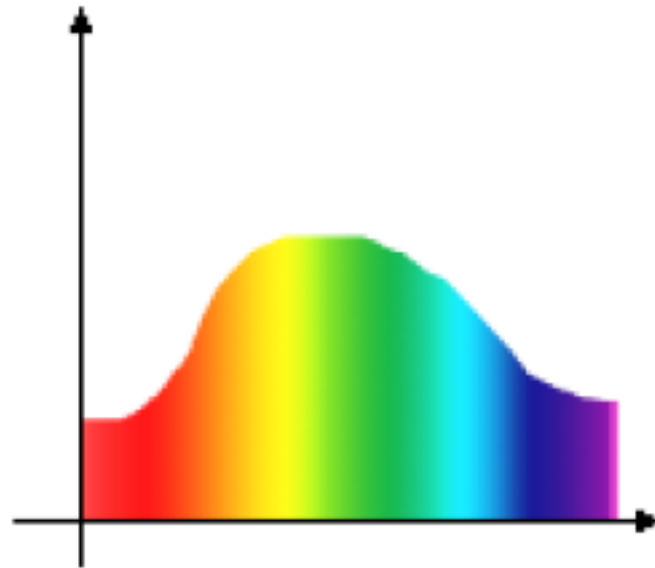
O que é *false color*?



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*)

Cor pura x cor em mistura

Indistinto aos olhos humanos



Como funciona a visão?

A luz **emitida** ou **refletida** chega em seus olhos, a **córnea** a **refrata**, ela penetra pela **pupila**, sendo **focada pelo cristalino** (lentes) na segunda parte do olho, e encontra a **retina**.

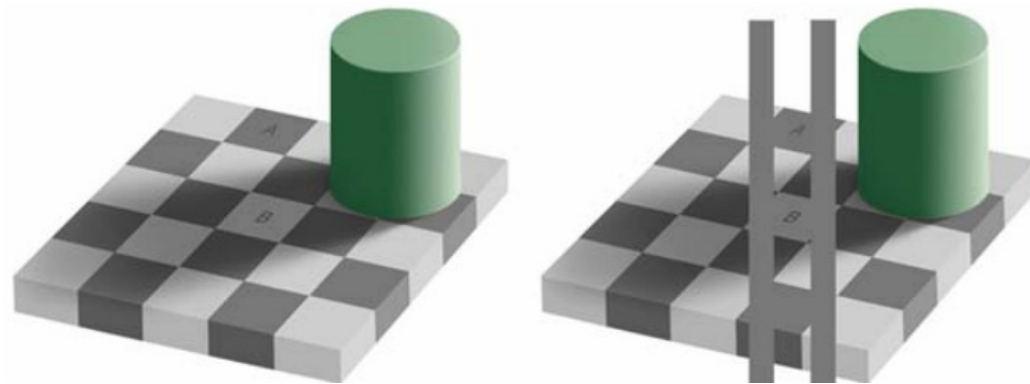
Onde células fotossensíveis **iniciam** sua transformação em **sinais elétricos** que a transformam em visão.

Algumas Características da Visão Humana

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

Vizinhança e cor

Claro e escuro é relativo!



Sensação e reconhecimento da 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 cornea a refrata e ela penetra passando pela pupila e sendo focada pelo cristalino (lentes) na segunda parte do olho, onde encontra a retina.

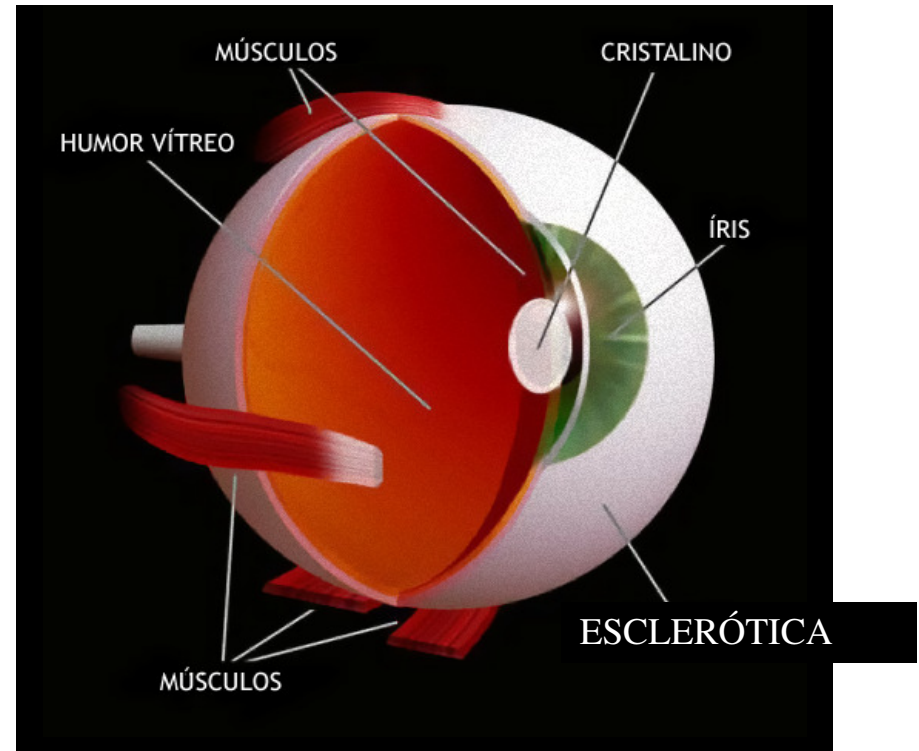
Onde células fotosensíveis **i**niciam sua transformação em sinais elétricos que a transformarão em visão.

Sistema de Visão Humana

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

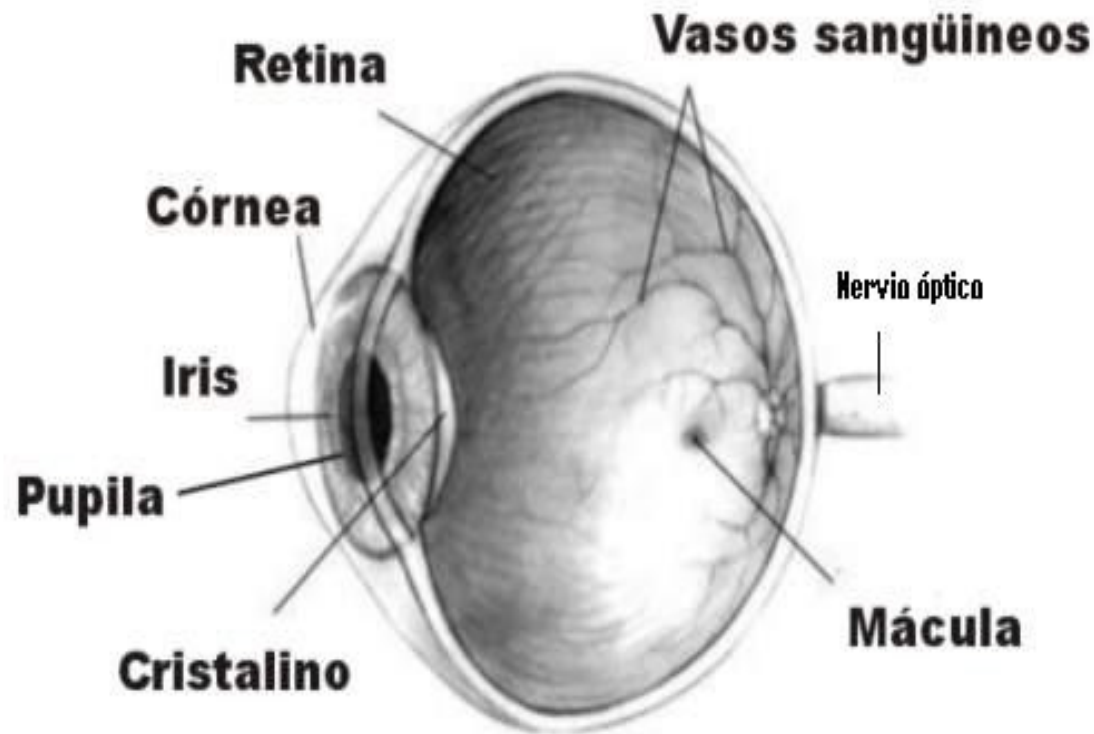
Córnea - atua como uma lente simples, captando e concentrando a luz.

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



Principais elementos do olho humano.

Sistema de Visão Humana



Elementos do olho em corte.

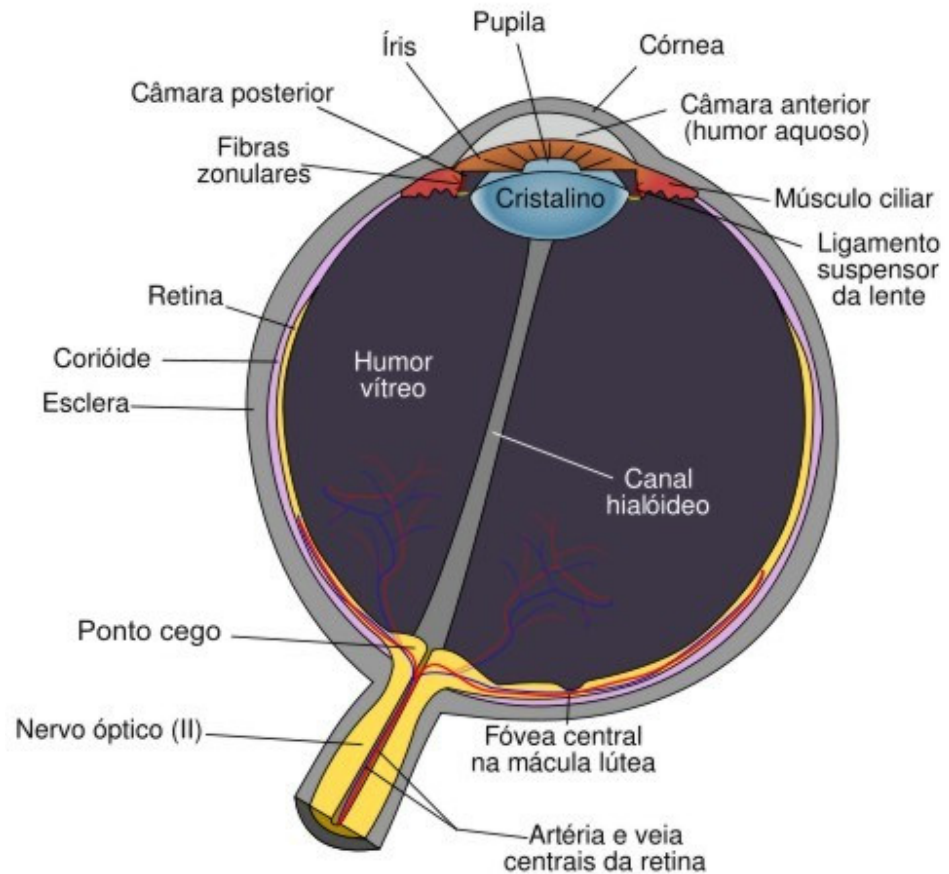
Cristalino - parte da visão humana responsável pelo foco, sendo **também chamado de lente**.

Humor vítreo – substância gelatinosa localizada atrás do cristalino.

Sistema de Visão Humana

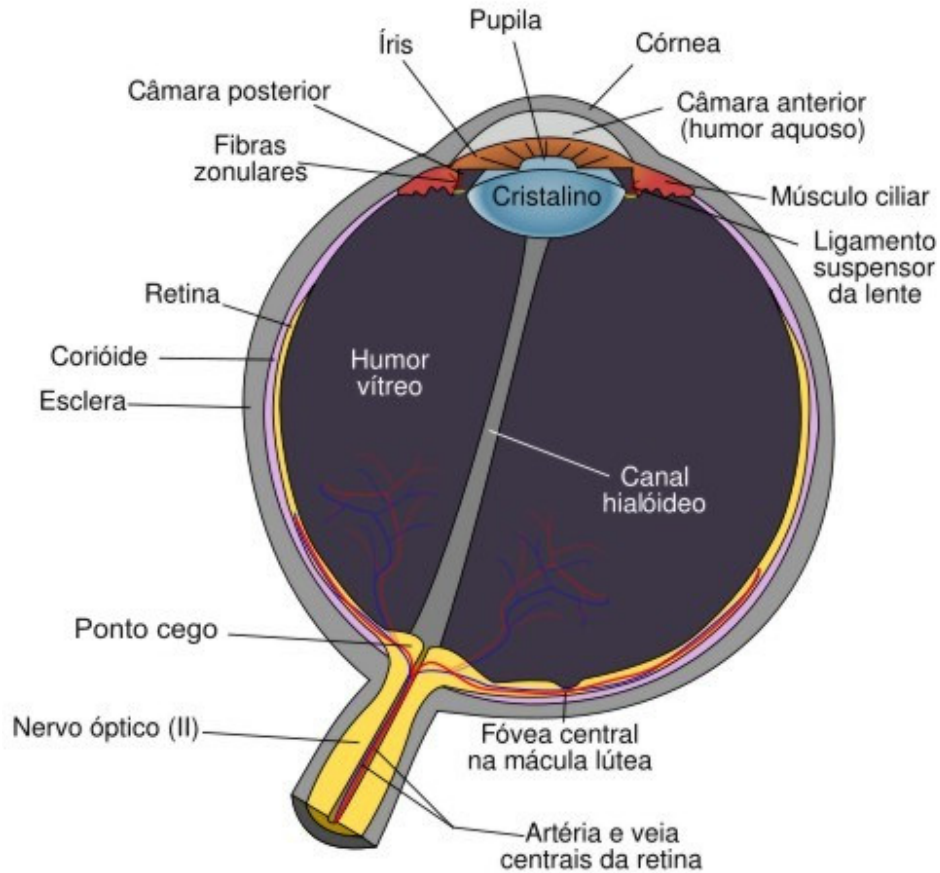
Humor aquoso – encontra-se atrás da córnea em uma pequena câmara preenchida (fluido gelatinoso).

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



Principais elementos em 2D.

Sistema de Visão Humana

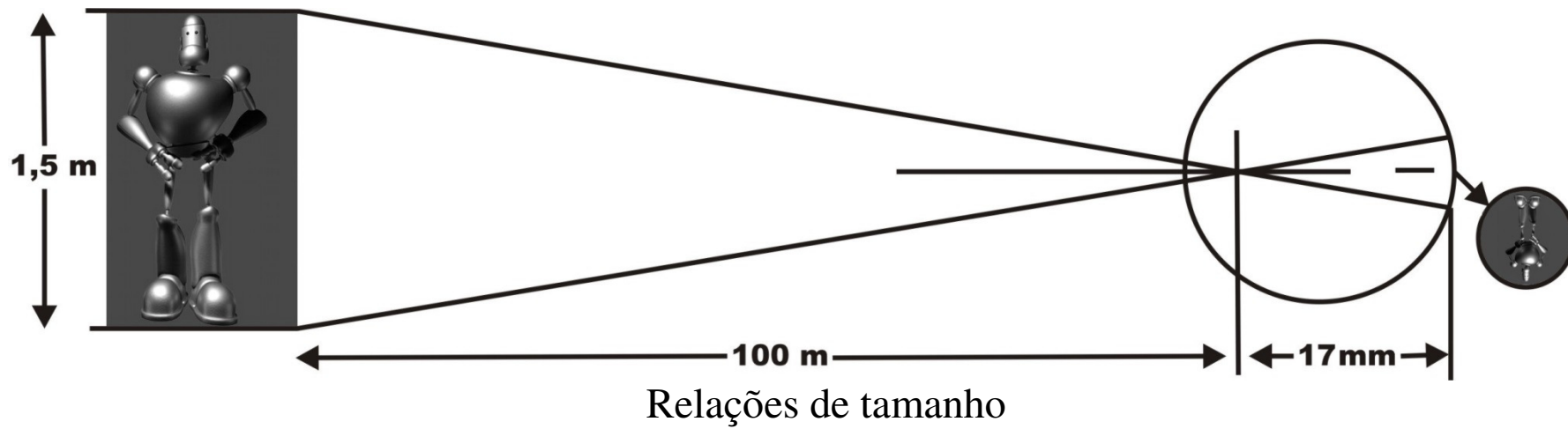
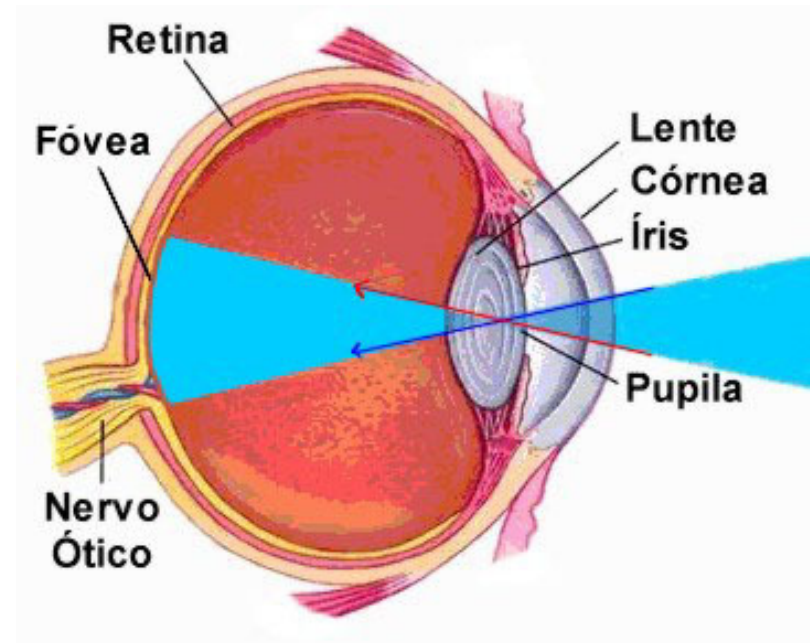


Retina – em média composta de cerca de 120 milhões de bastonetes e 6 milhões de cones (sensores), converte o estímulo luminoso em sinais elétricos.

Nervo óptico - transmite para o cérebro os sinais.

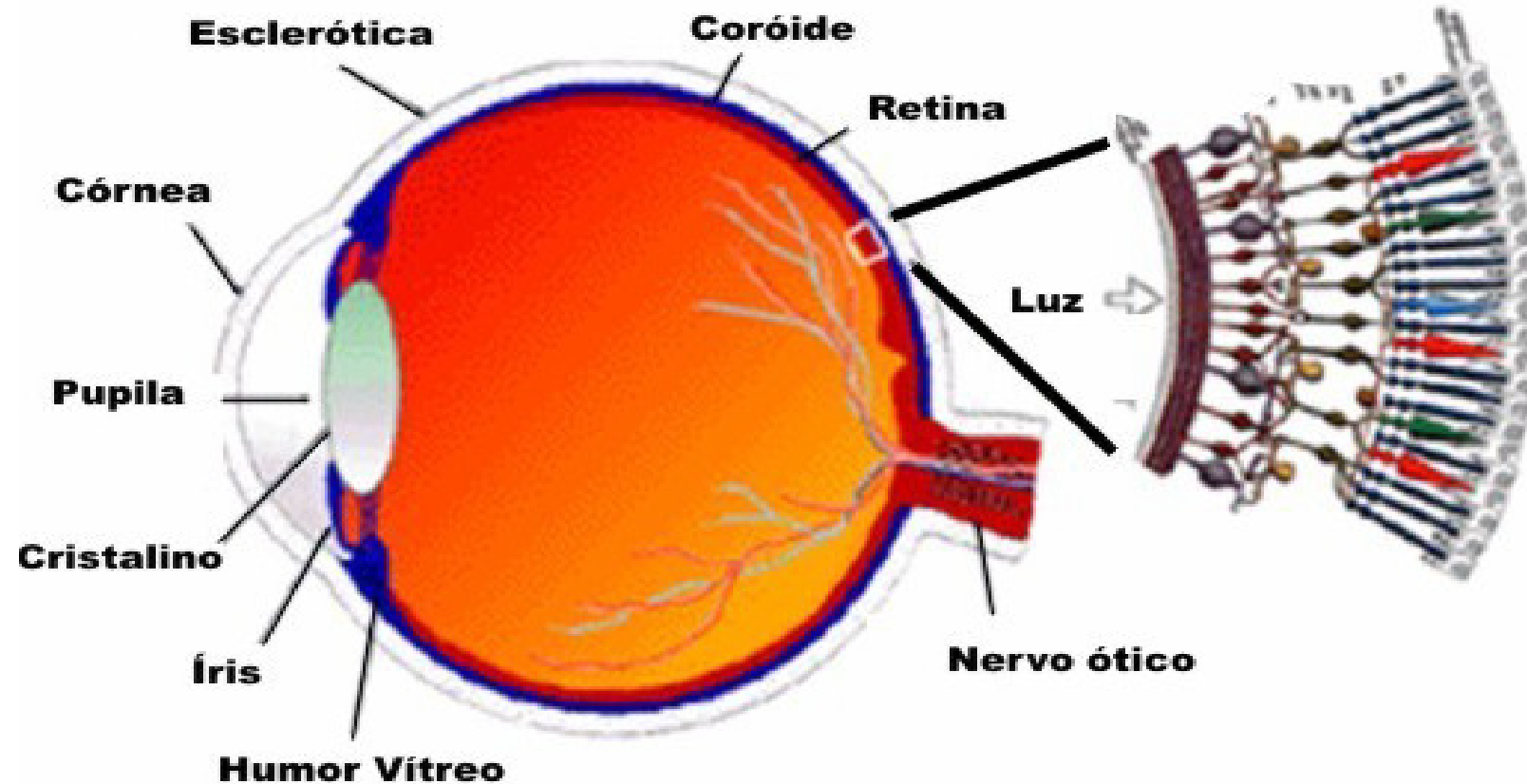
Esquema dos principais elementos do olho humano.

Sistema de Visão Humana



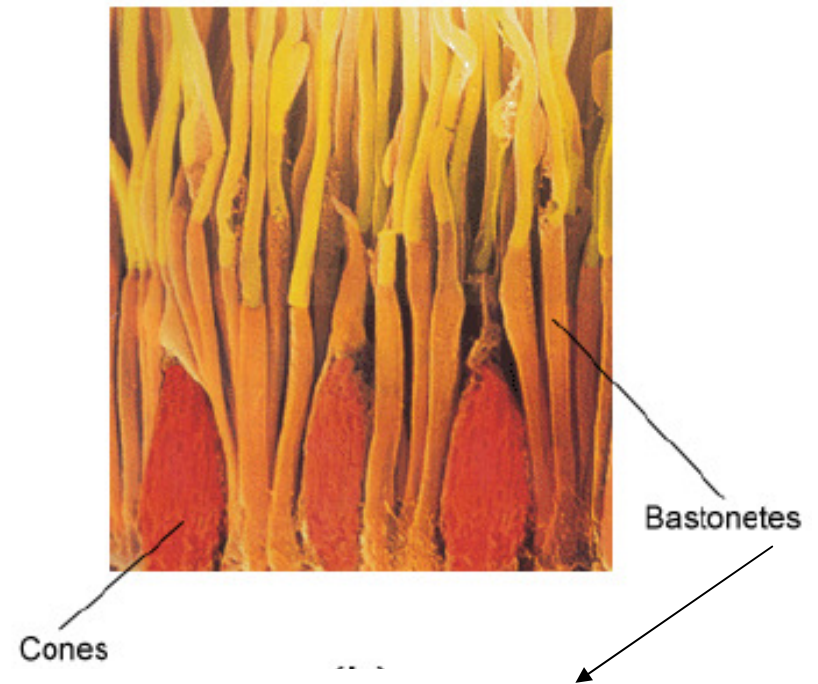
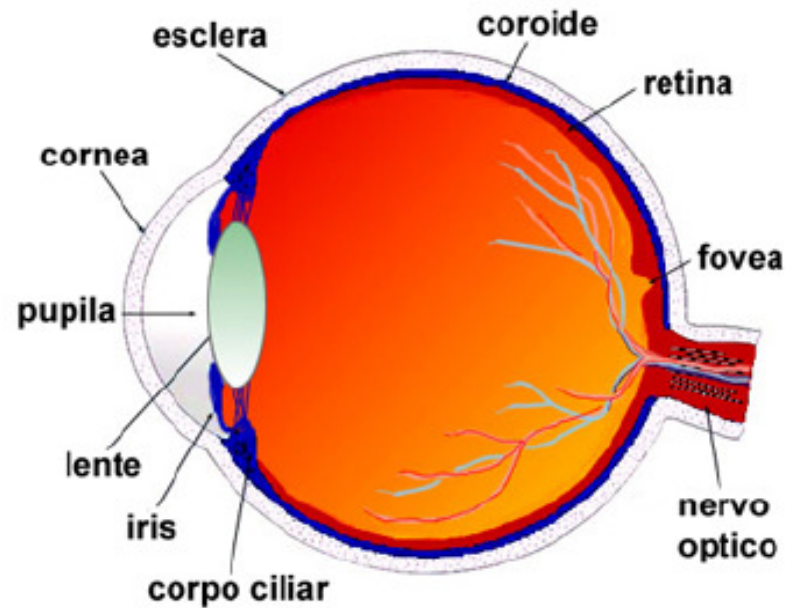
Sistema de Visão Humana

Células Cones e Bastonetes



Olho humano e células da retina

Os cones são cerca de 7 milhões,



cerca de 125 milhões

Bastonetes

Visão monocromática:

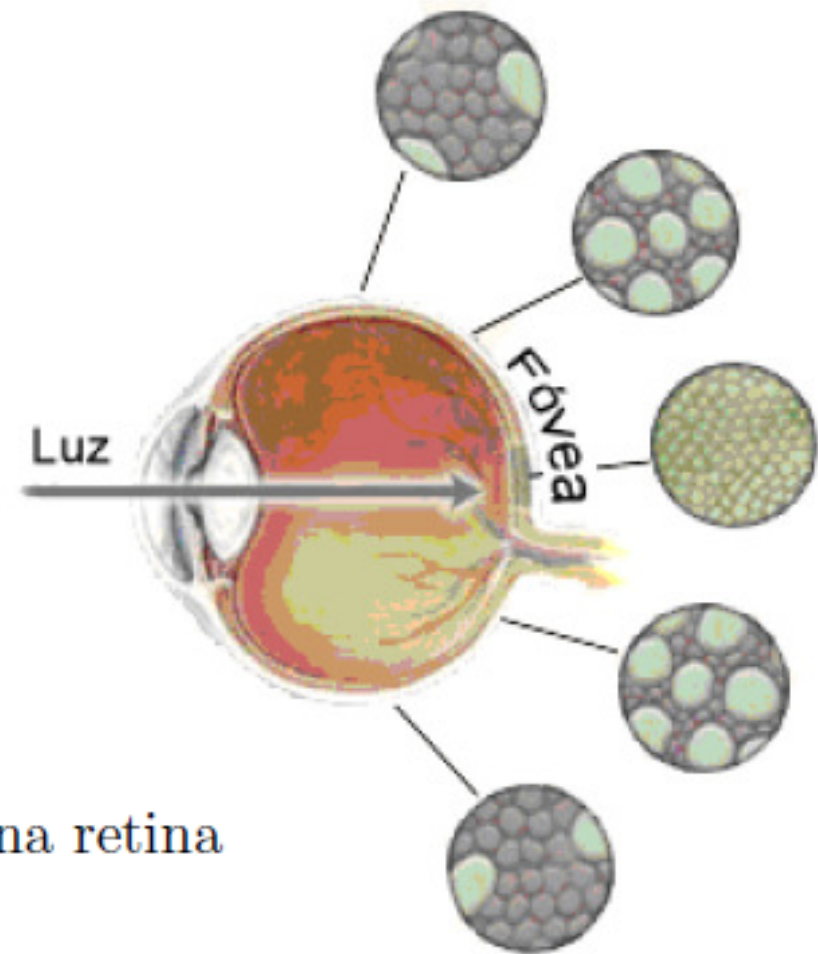
A substância química responsável pela sensibilidade dos bastonetes à luz é a **rodopsina**, quando a luz incide sobre uma molécula de rodopsina, esta gera um sinal elétrico que é transmitido às células nervosas presentes na retina.

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



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

XYZ

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**.

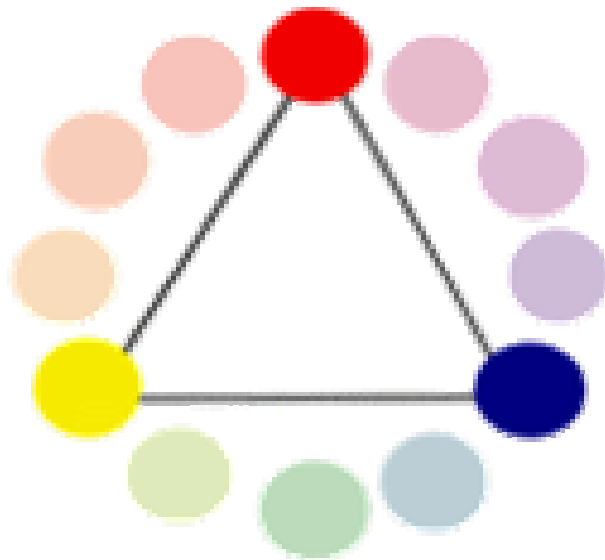
Subtrativos > para as **tintas** por exemplo: >
magenta, **amarelo** e **ciano**



Cores aditiva obtidas pela combinação de luzes RGB

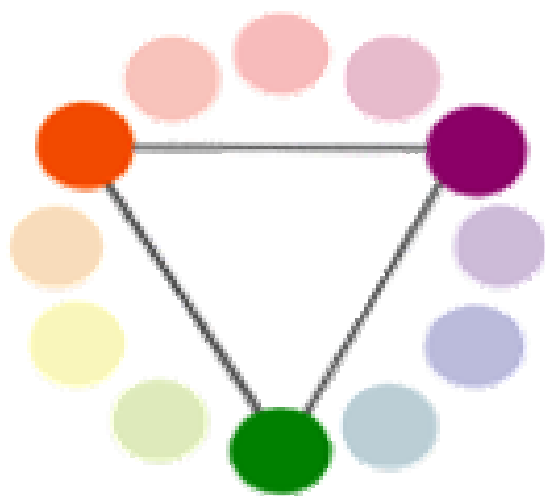
Primary Colors:

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



Secondary Colors:

Obtidas da mistura de 2 primarias.



Tertiary Colors:

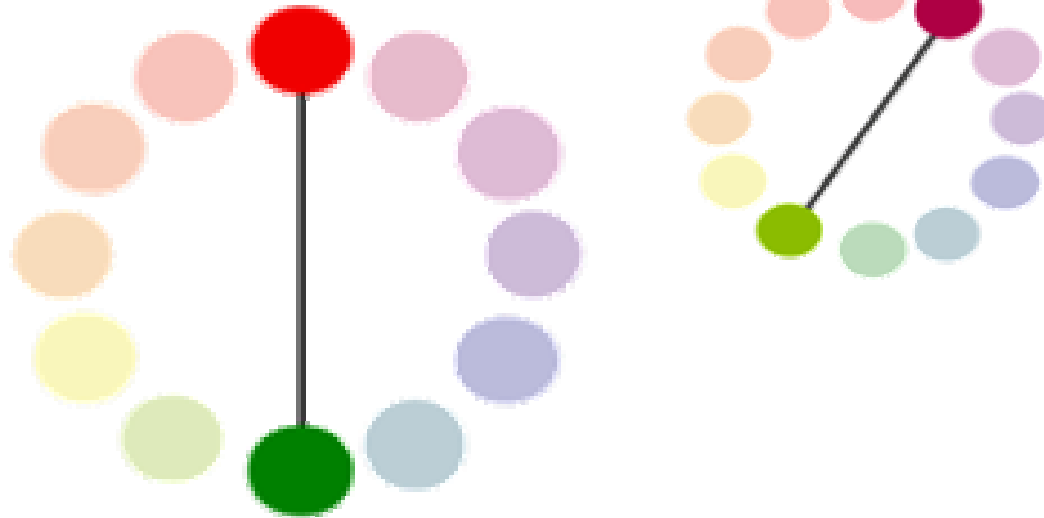
Obtidas da mistura de primarias (hues) e secundarias (hues).



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.



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

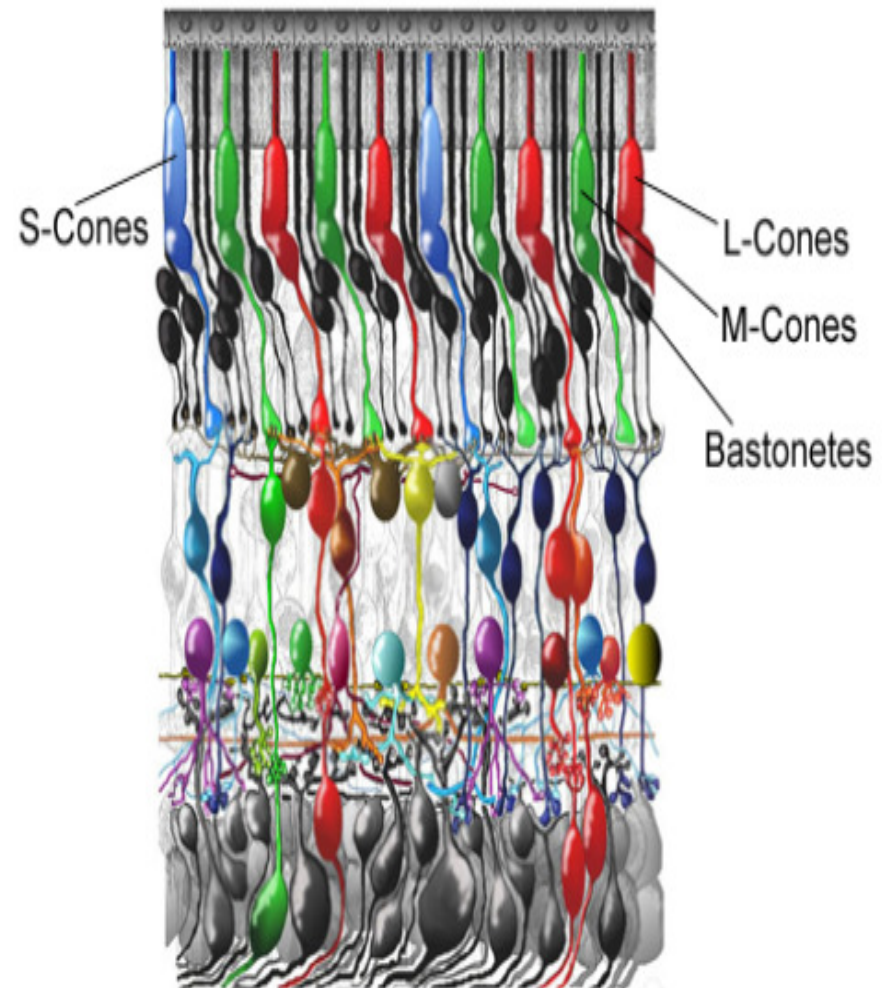
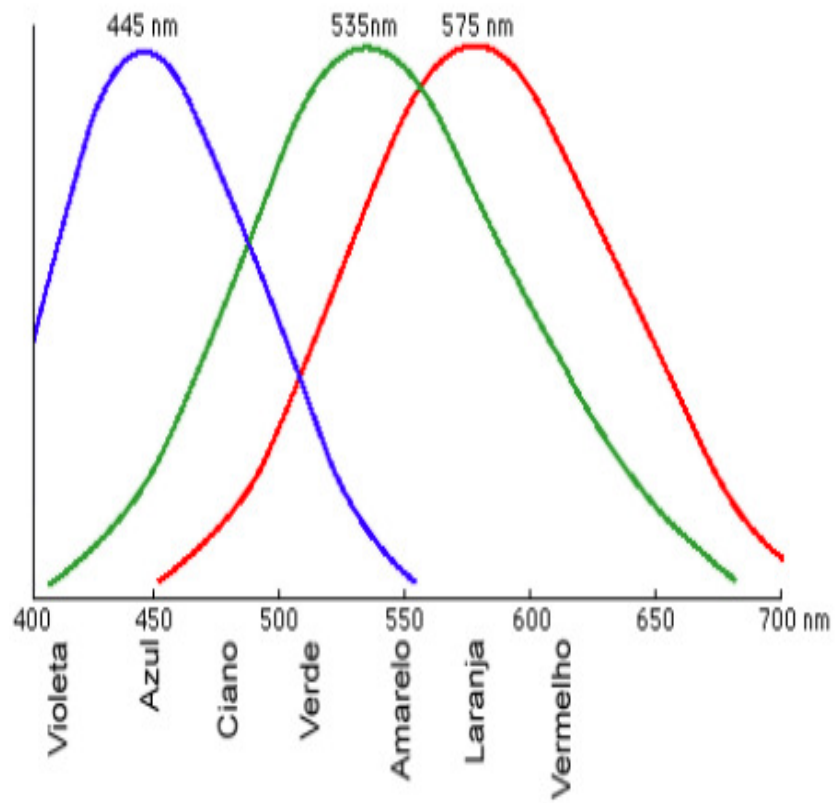
Os três cones existentes na retina são sensíveis respectivamente ao vermelho (*R*), ao verde (*G*) e ao azul (*B*), chamadas *cores primárias de luz*.

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



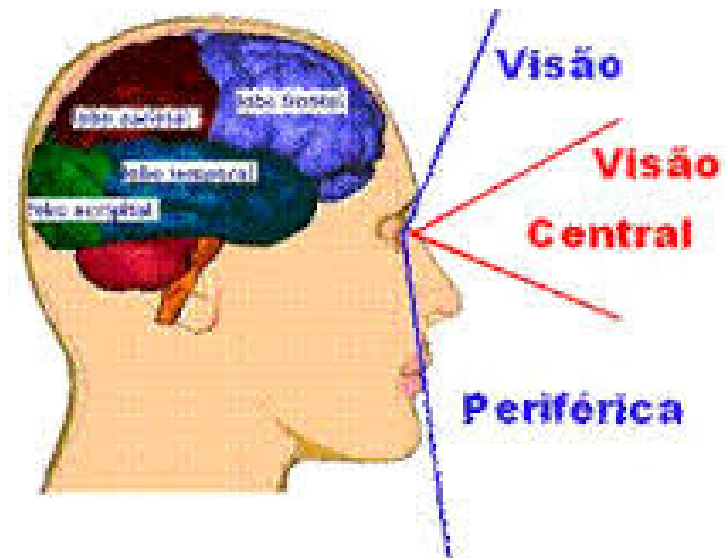
Não somos fotômetros!

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

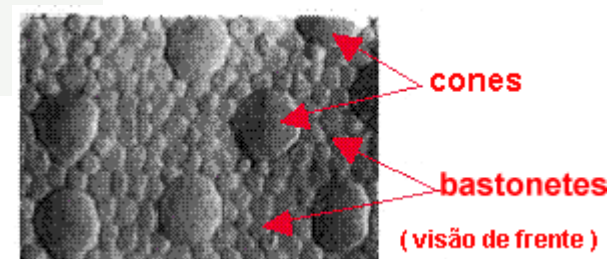
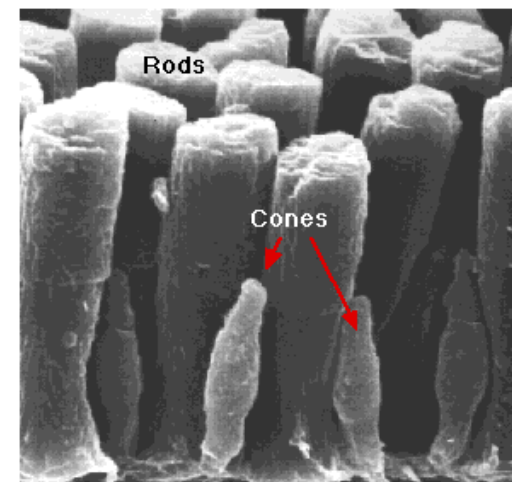
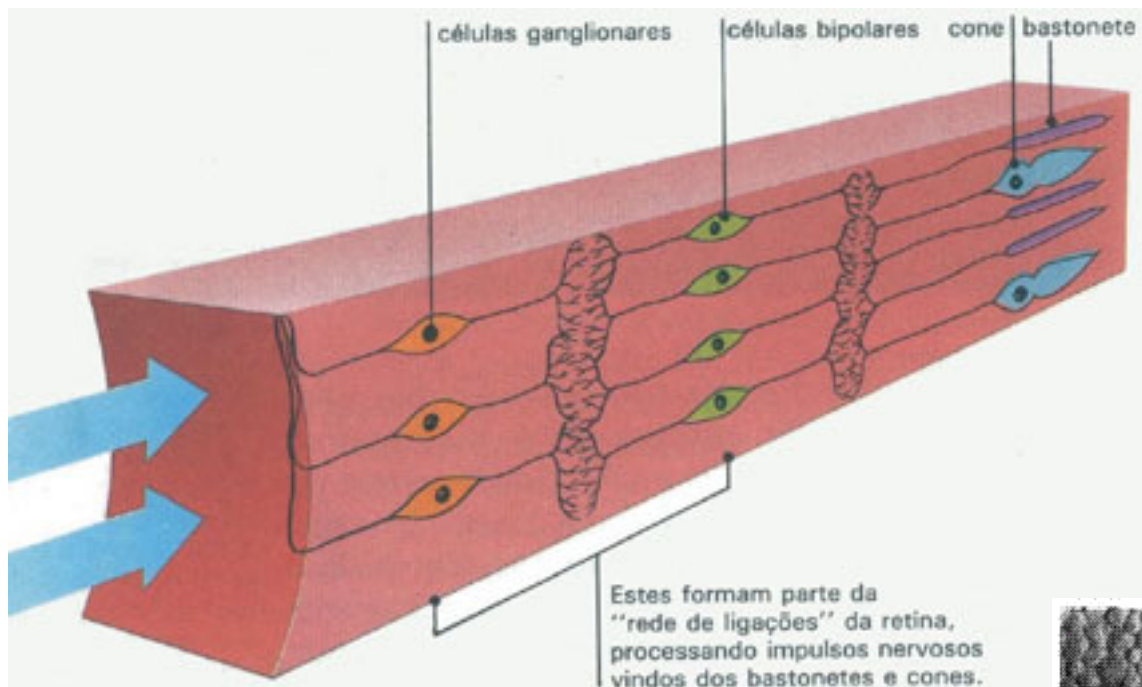
Cores -> visão central

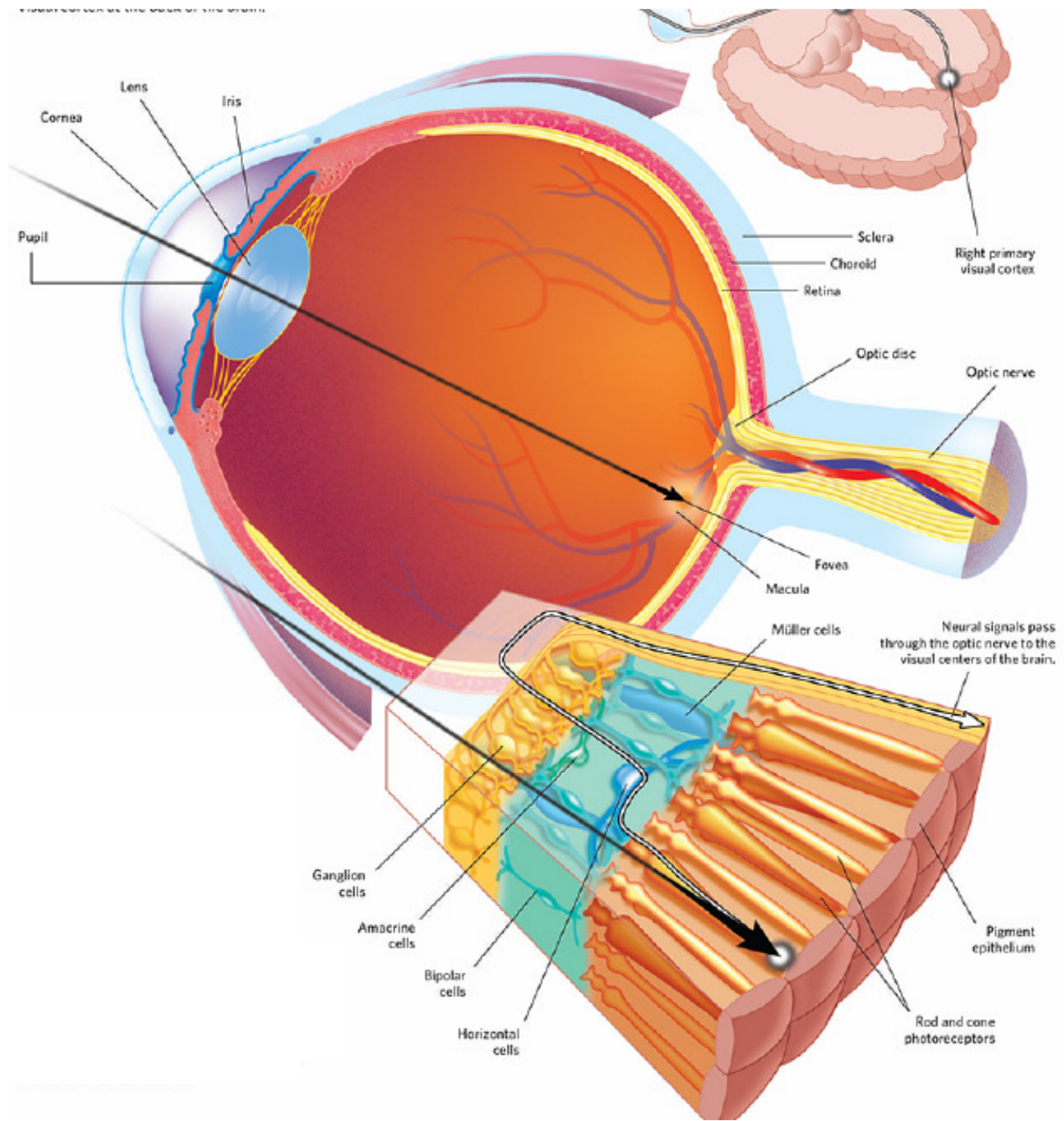
Intensidade - > Visão periférica



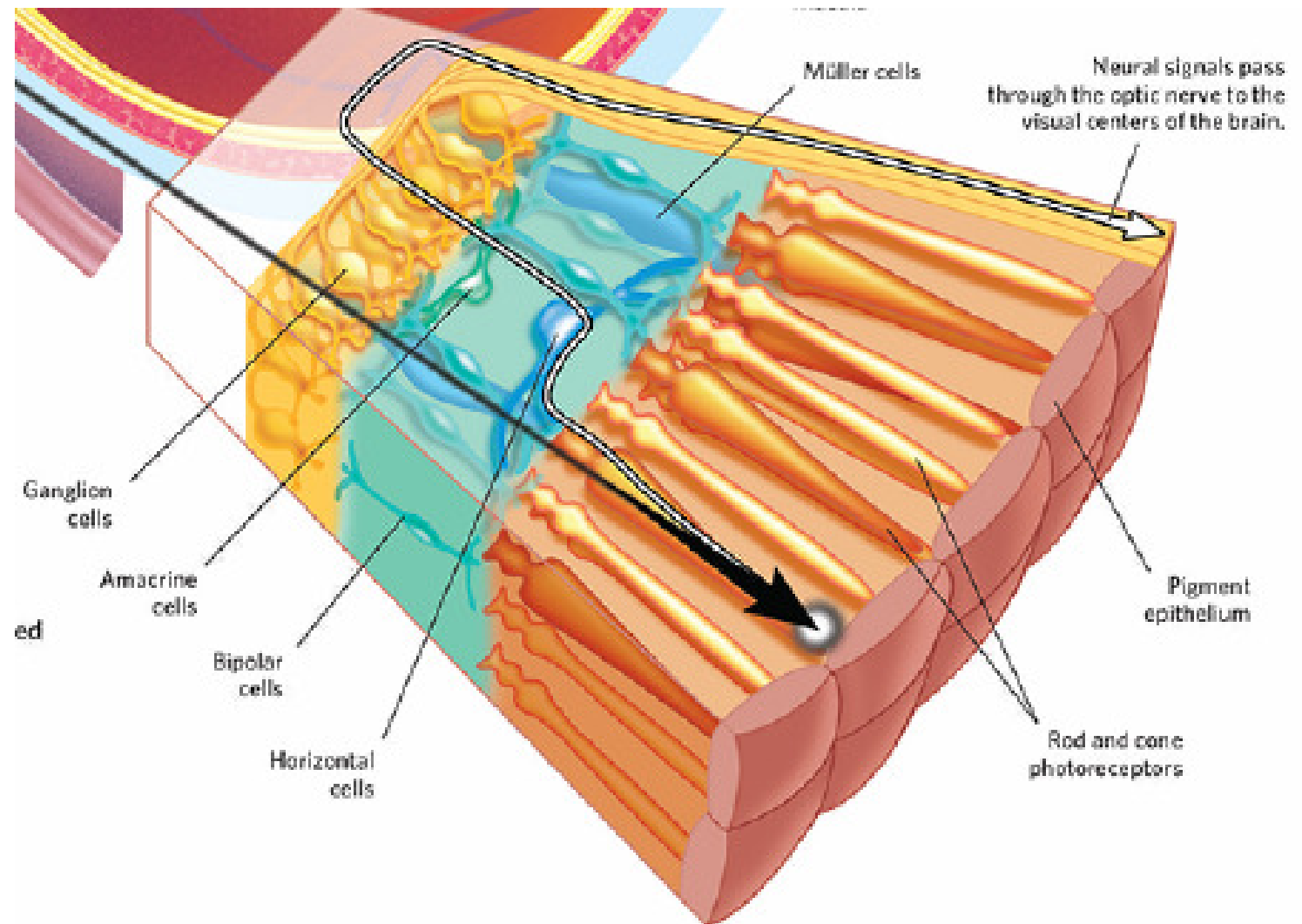
Sistema de Visão Humana

Esquema x real





Para alcançar os fotorreceptores no final da retina a luz deve atravessar outras camadas de células

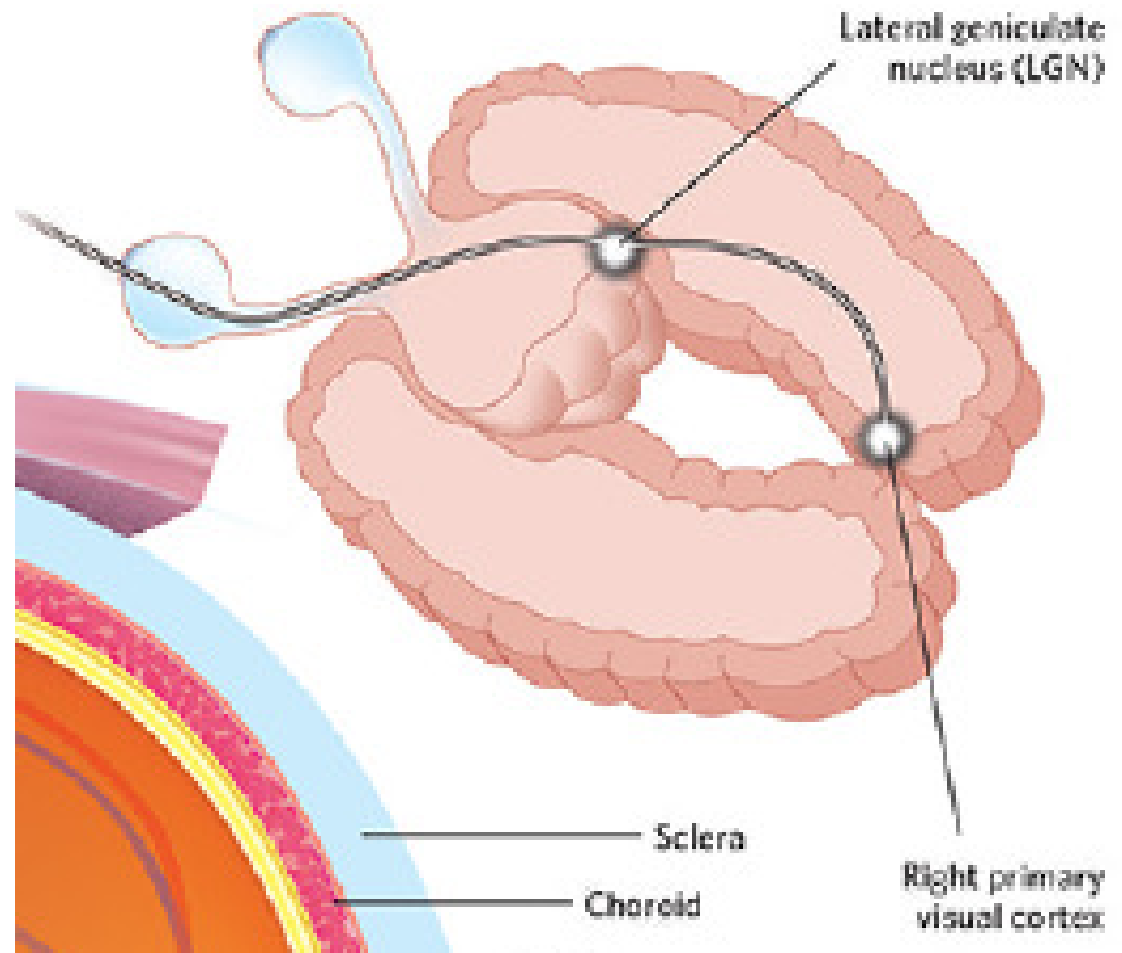


Em seguida o sinal segue para o cérebro onde se direciona a áreas específicas para o tratamento de cor e iluminação.

Esta divisão é responsável por diferentes percepções independentes.

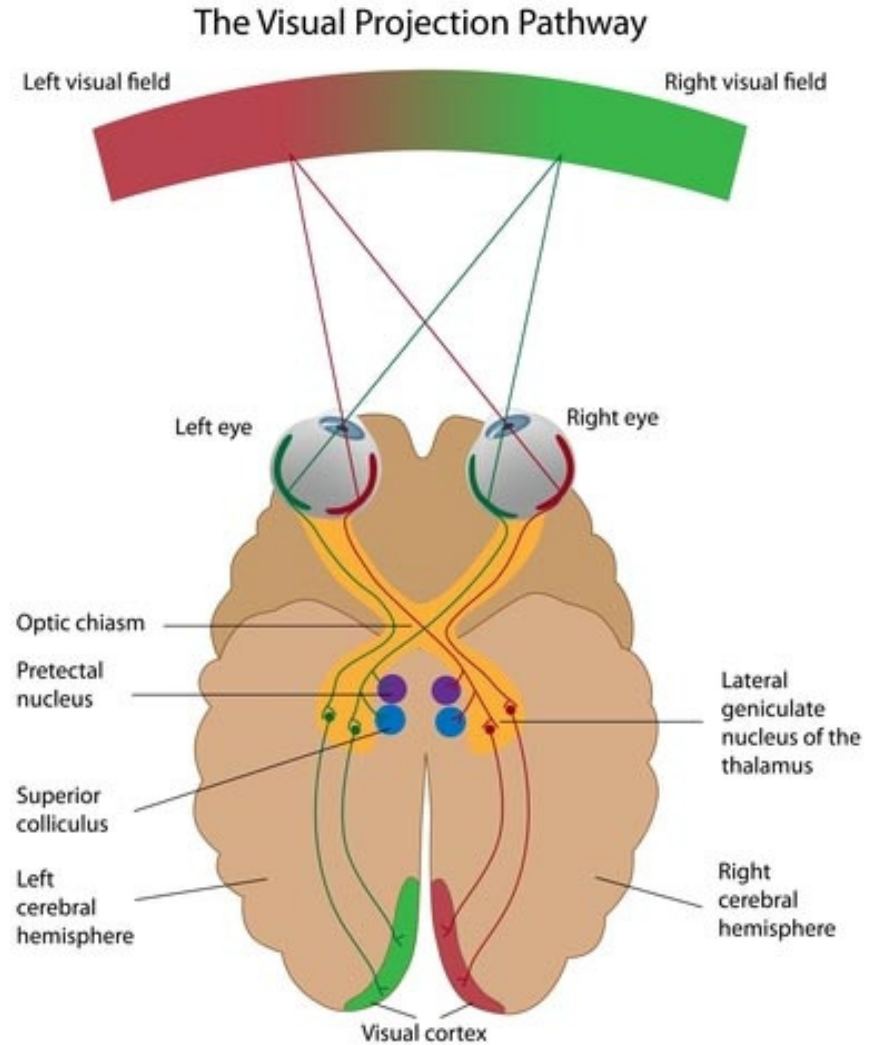
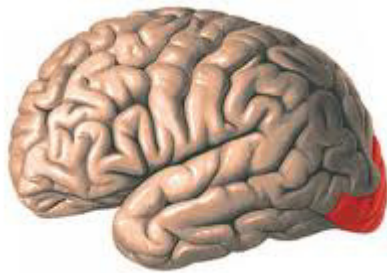
O nervo ótico leva os sinais visuais a diversas regiões do cérebro e aos 2 hemisférios, neste caminho passam pelo Núcleos Laterais Geniculares (LGN) até o cortex visual

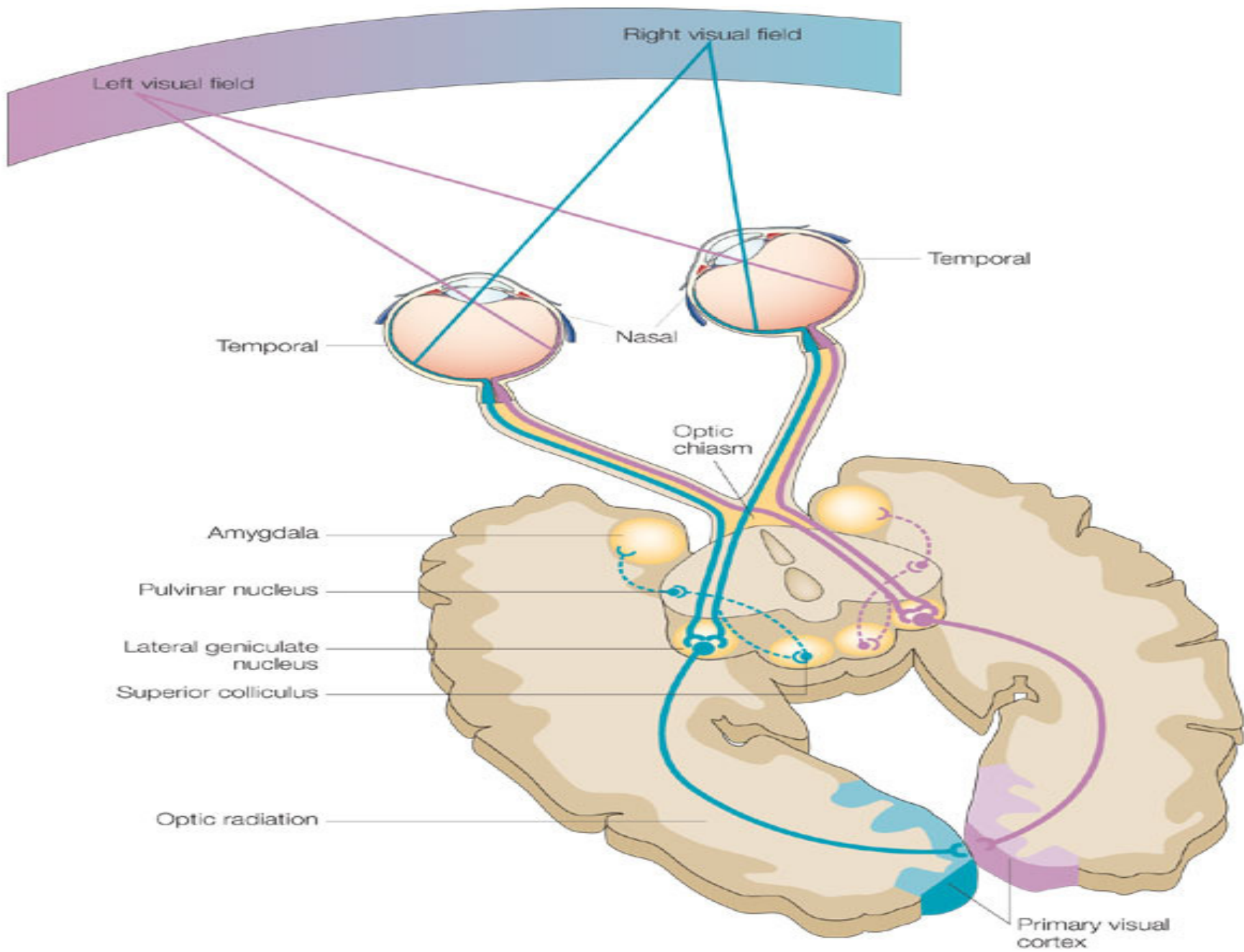
Núcleos Laterais Geniculares (LGN)
Campos visuais do mesmo lado de cada olho



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

córtex visual





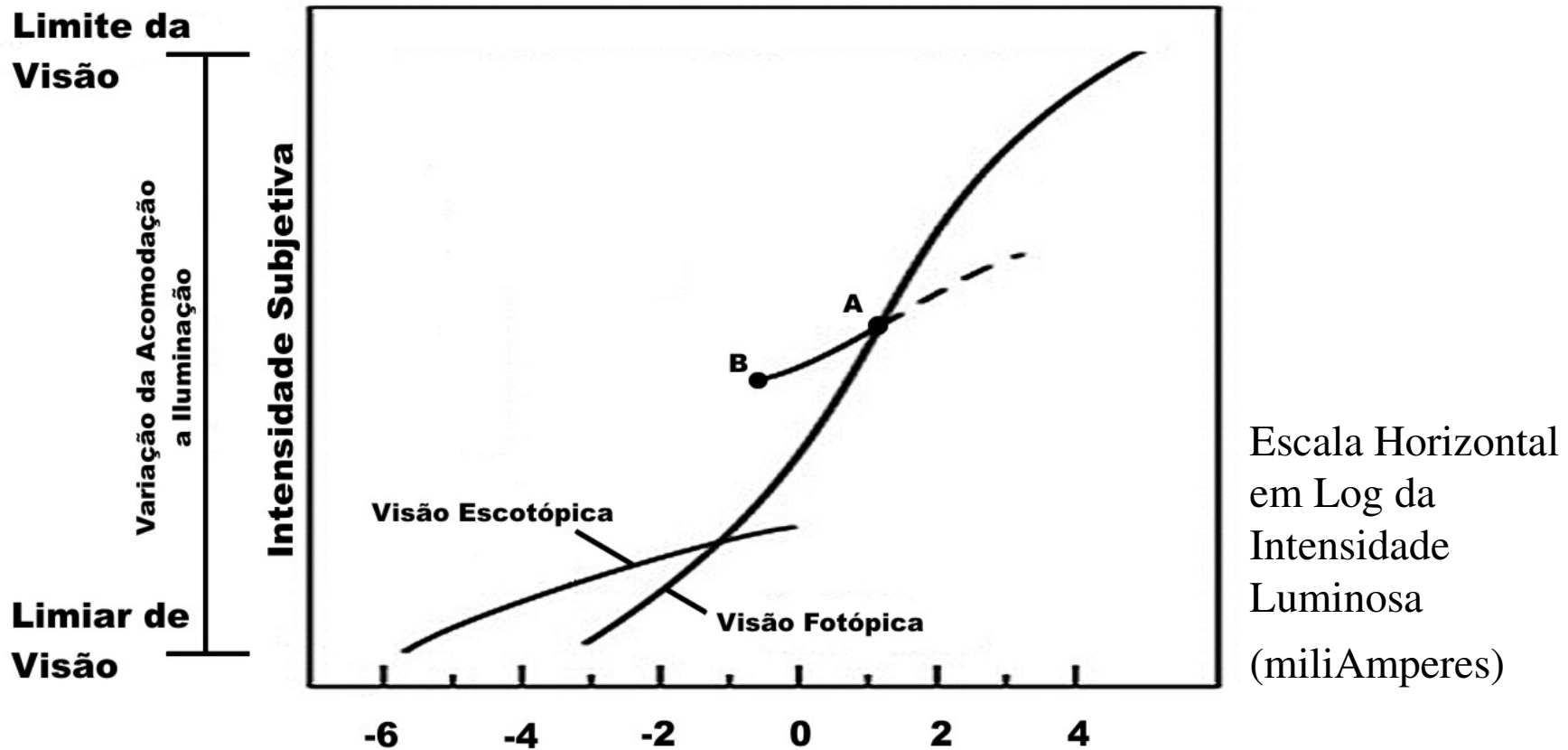
Sistema de Visão Humana

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

Modelo Psico físico

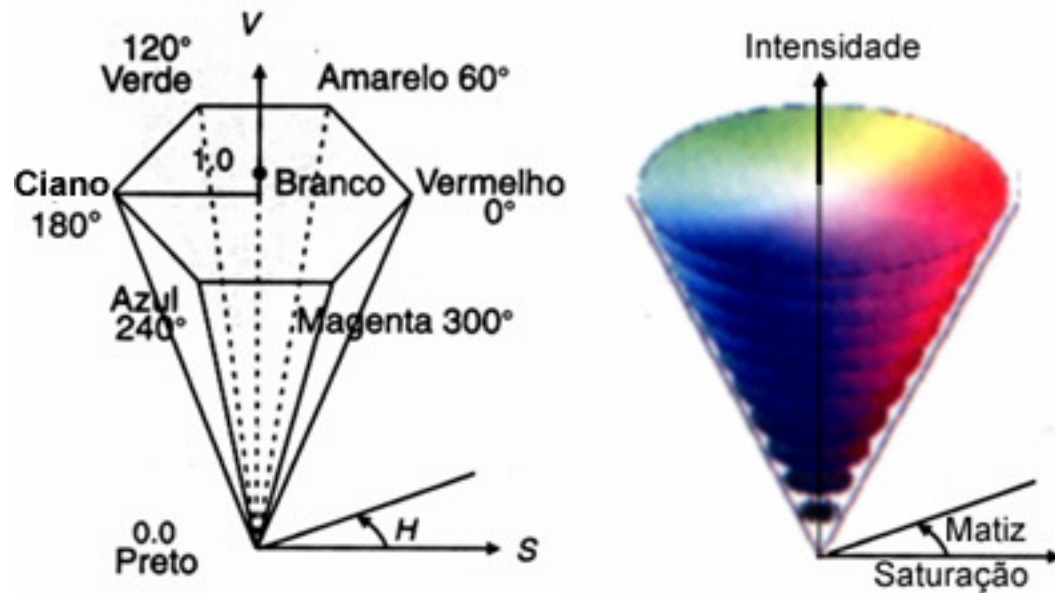
Estes tipos de espaços são baseados na percepção subjetiva da cor pelo ser humano, ou seja, como a cor e a iluminação são tratadas de formas distintas pelo sistema perceptivo, a componente de intensidade (ou brilho) nestes tipos de espaços fica desacoplada da informação cromática (matiz + saturação).

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

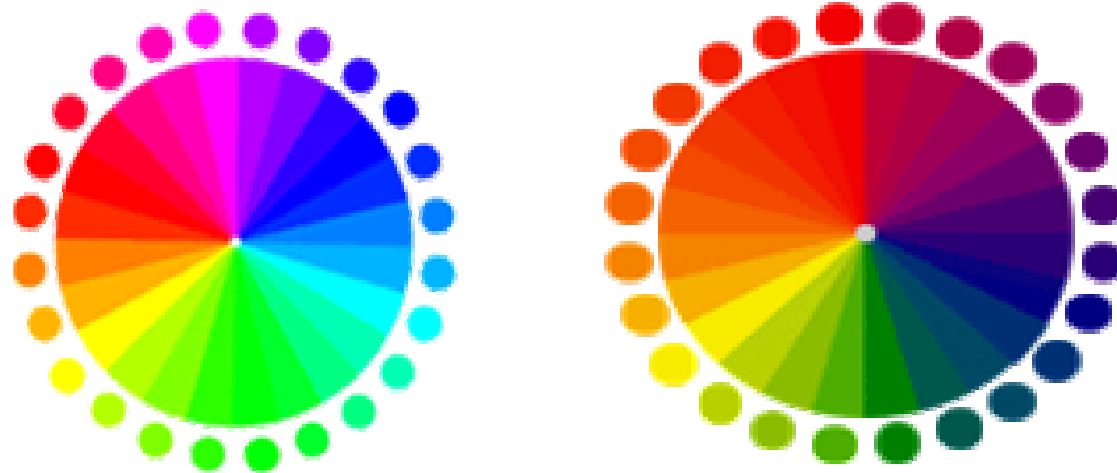
Outro exemplo é o espaço *HSV*, com as componentes Matiz (*Hue*), saturação (*Saturation*) e intensidade (*Value*).

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 de cor

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

- matiz;
- saturação;
- intensidade.

(a) Mudança de Matiz



(b) Mudança de Saturação



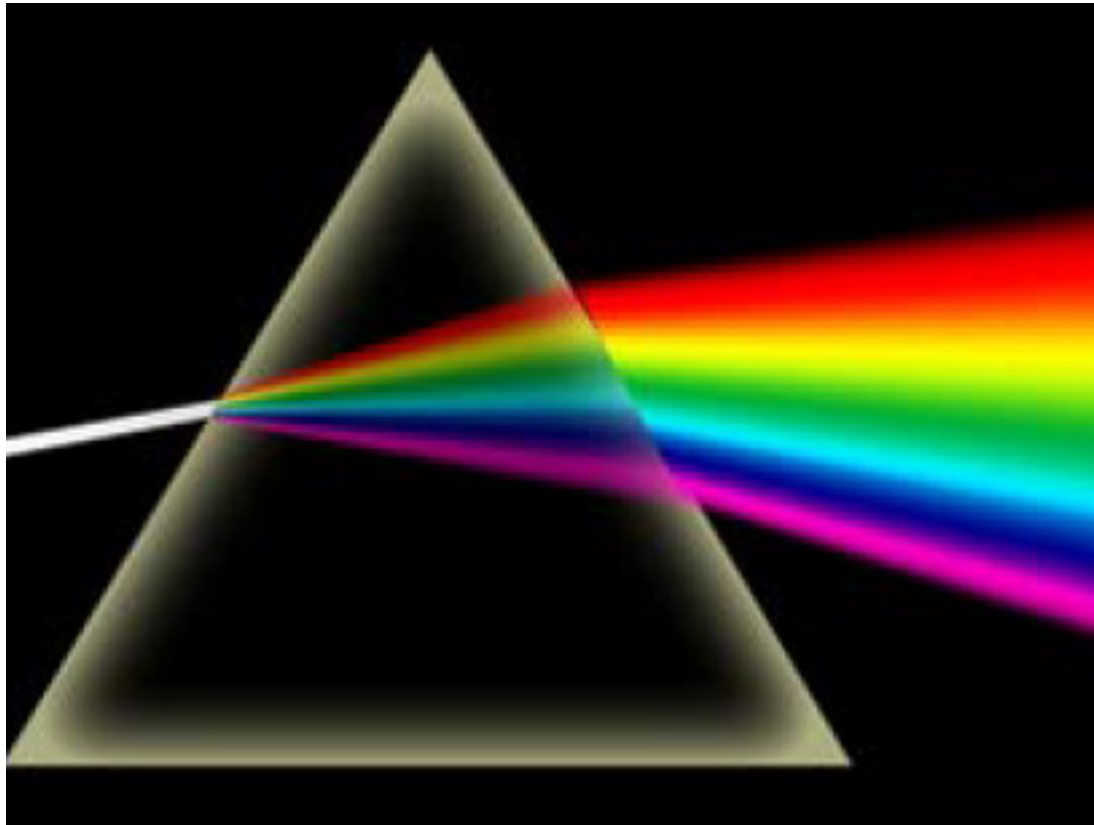
(c) Mudança de Intensidade



Variações no matiz, saturação e intensidade.

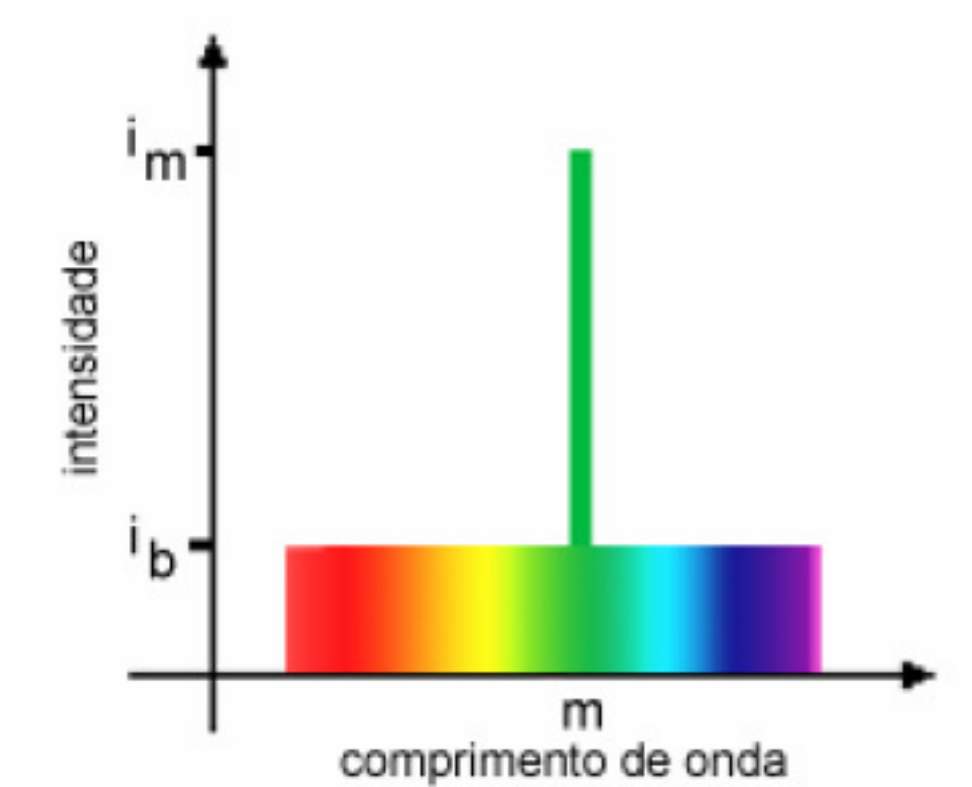
Luz branca:

Todos os comprimentos de onda misturados



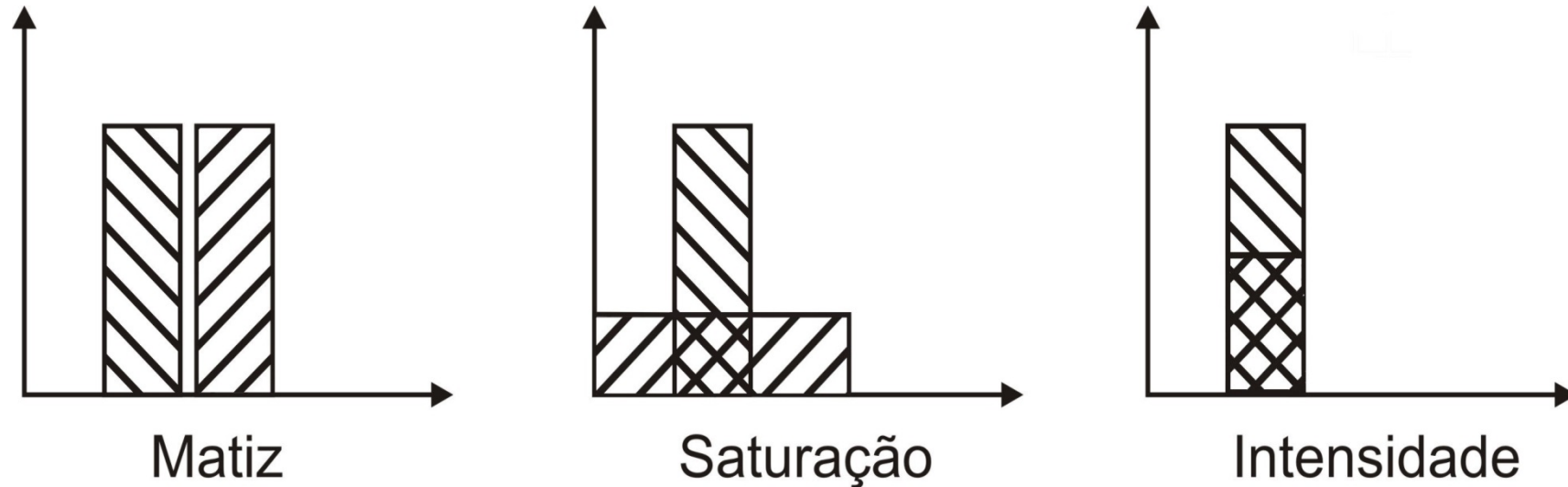
Matiz (Hue), Saturação

Intensidade = energia luminosa



Modelos de cor

Matiz, saturação e intensidade



Conceitos de matiz, saturação e intensidade.

**Modelos mais próximos a dispositivos ou
hardwares**

2 cores e Intensidade (transmissão TV) : YIQ

3 luzes primárias (aditivos) : por exemplo RGB

3 tintas primárias (subtrativos) : por exemplo
CYM

X

**Modelos mais próximos a efeitos e percepção
por exemplo HSV , Lab, etc**

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**.



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 **TRITANÓPISICOS** (sem fotopigmento Azul)

3. MONOCROMATAS OU ACROMATAS

Teste de Daltonismo

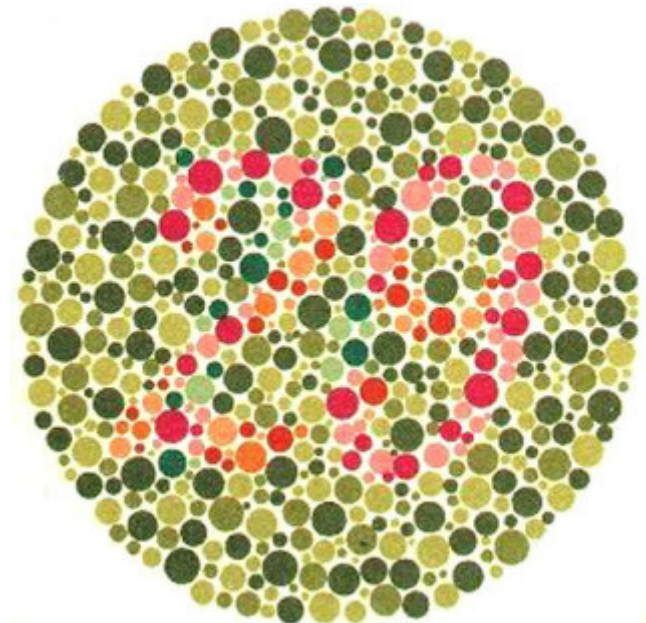
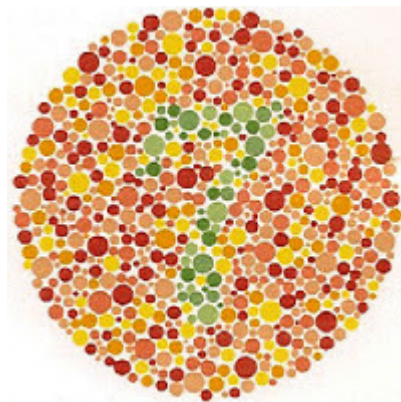
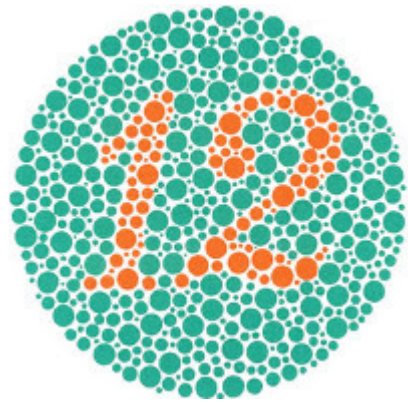
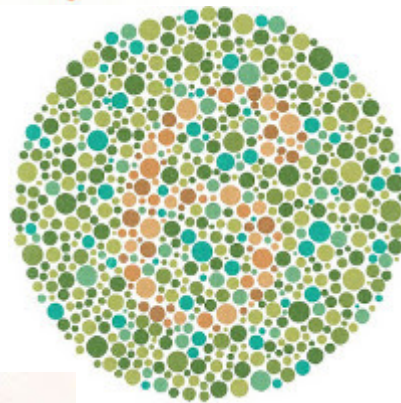
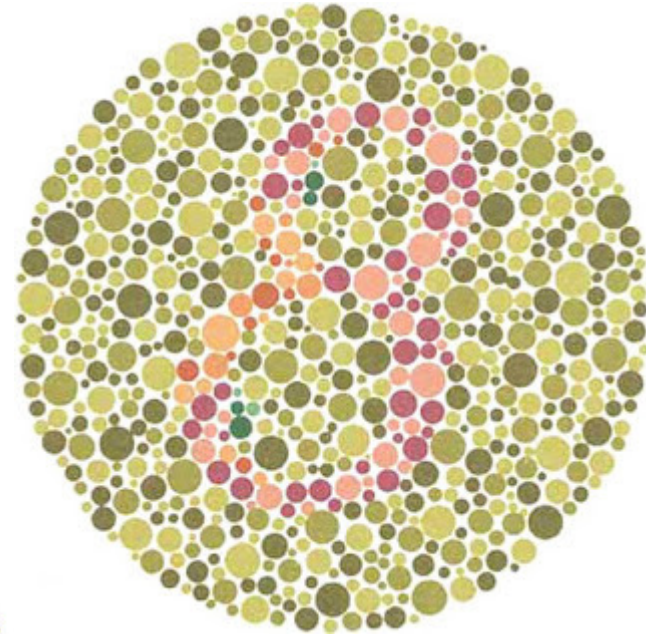
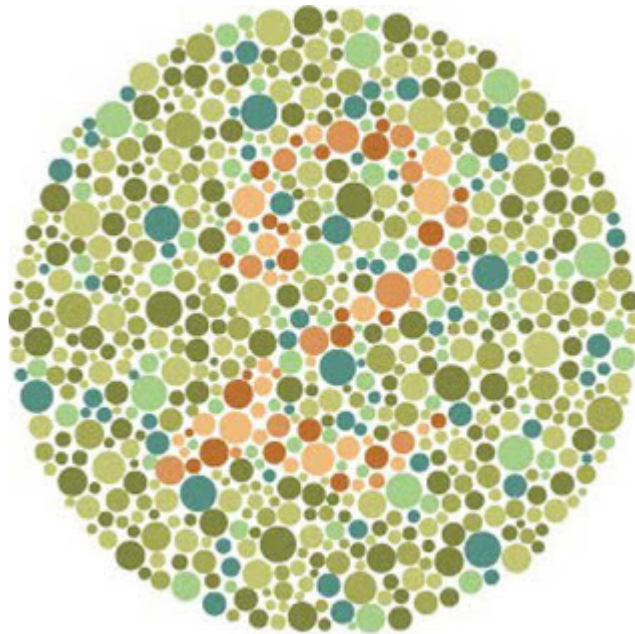
Na maioria das vezes o daltônico leva anos para perceber sua deficiência: Como sentir falta de algo que nunca se viu?

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

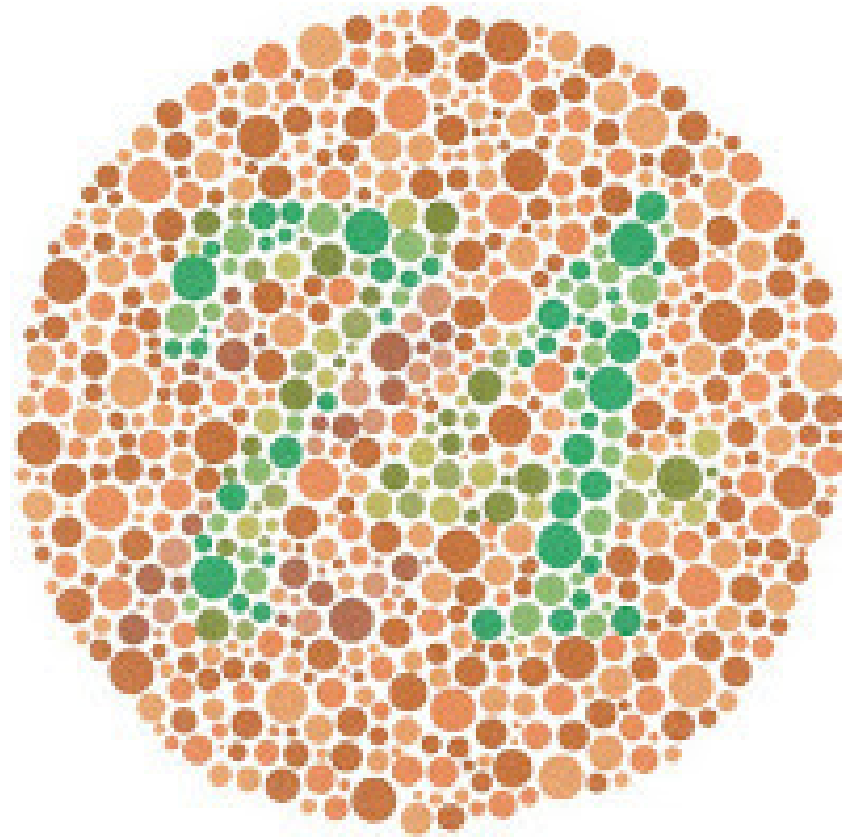
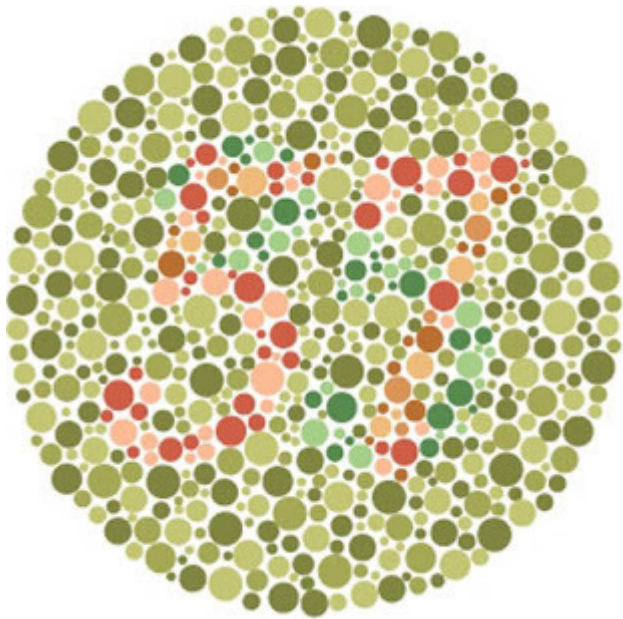
Teste resumido de daltonismo utilizando figuras de Ishihara.

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

peças com daltonismo não enxergam os números 2 ,12, 3,6, 7,8 e 29



**peessoas 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.

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 primarias e r , g e b os coeficientes da mistura

Em geral define-se em três como o número de cores primarias 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 primarias.

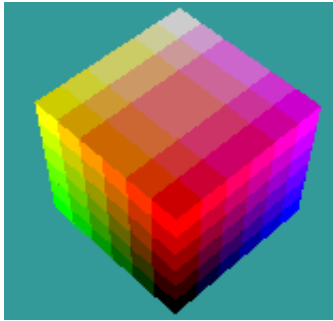
Mesmo em um espaço com uma base, nem sempre essa base será formada por **comprimentos de onda visíveis**.

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**

Modelos de cor

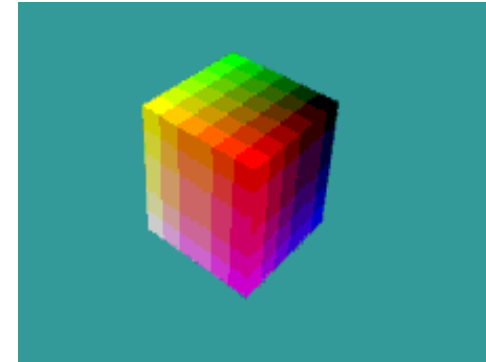
RGB

- 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

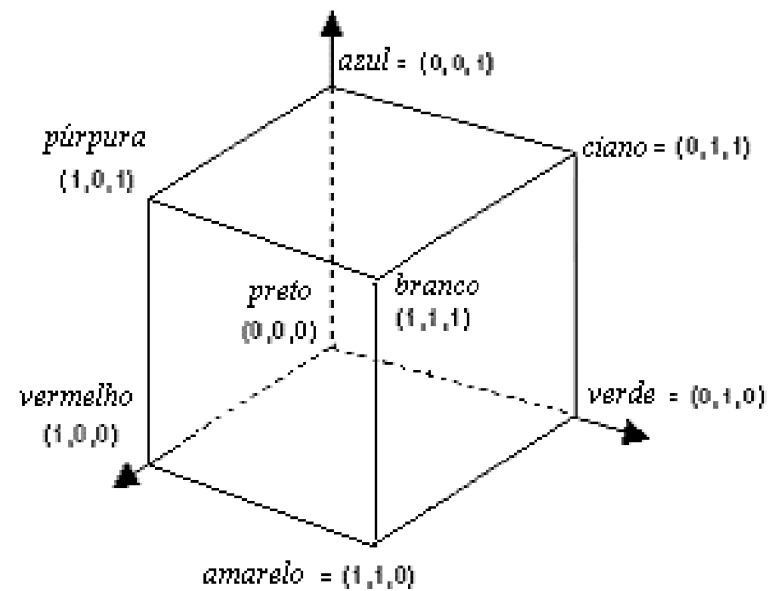


Modelos de cor

Sistema RGB



Normalizado entre 0 e 1



O Sistema CIE XYZ

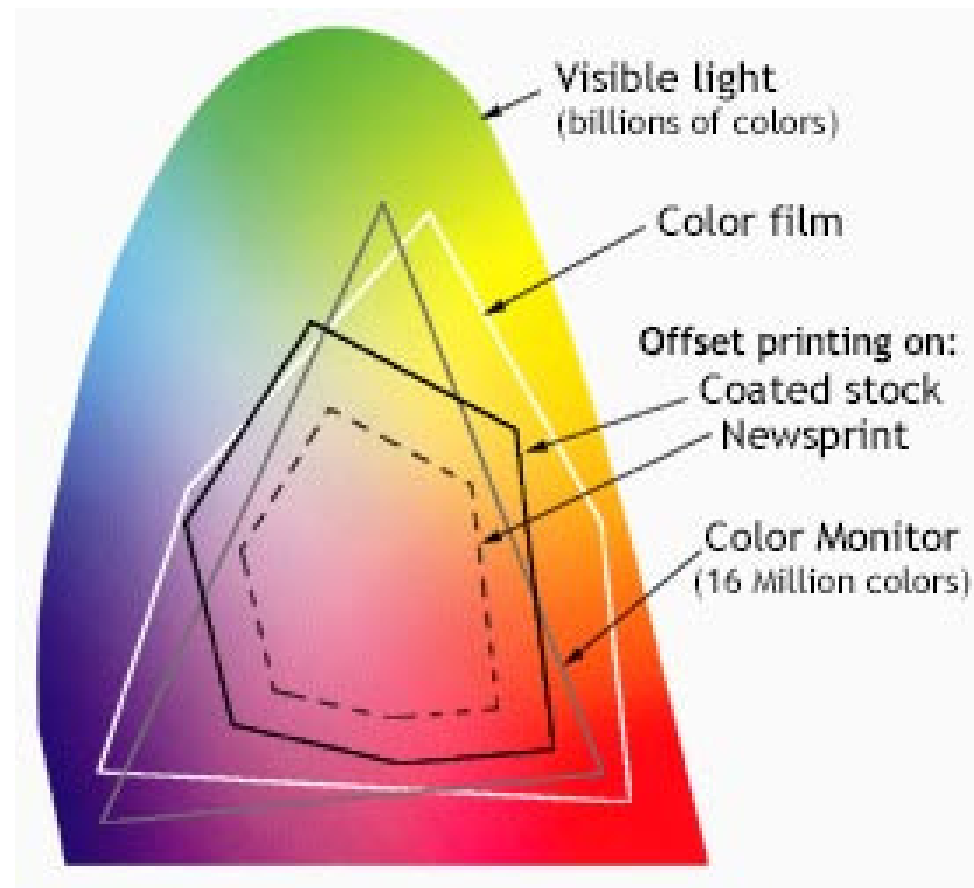
- Os fotos receptores cones dos olhos humanos tem picos de sensibilidade as ondas **curtas** (S: 420–440 nm), **médias** (M: 530–540 nm), e **longas** (L: 560–580 nm).
- Assim em principio 3 parâmetros são suficientes para descrever a sensação de cor humana.
- Essas são as consideradas cores primárias 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).

Porque fisicamente os dispositivos são limitados quanto as cores

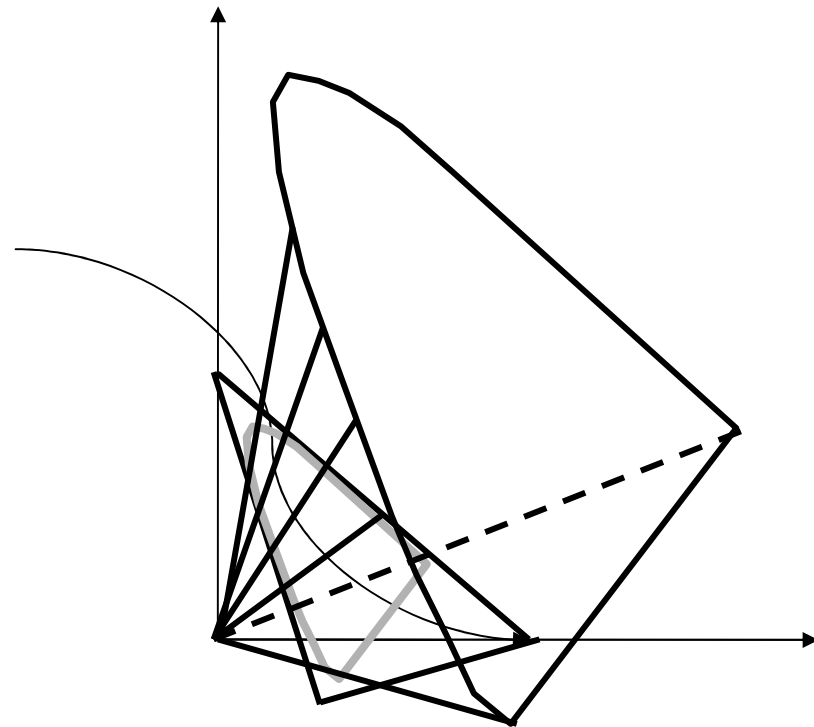
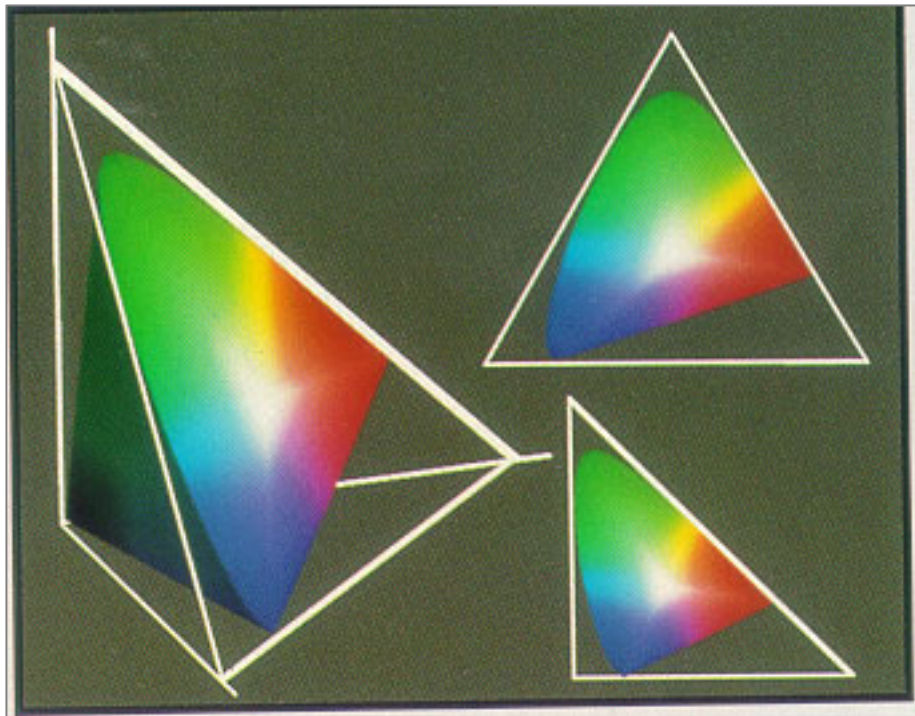
**Separando a intensidade
intensidade luminosa
Da cromacidade,
pode-se ter um plano
de cores**



Modelos de cor

Sólidos de cores visíveis e diagramas de cromaticidade

Plano $X+Y+Z=1$



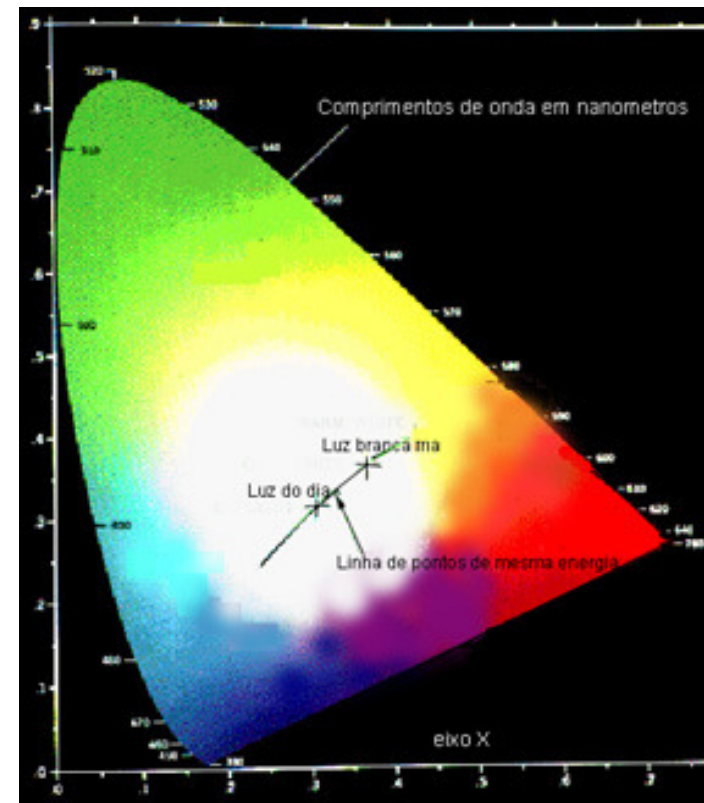
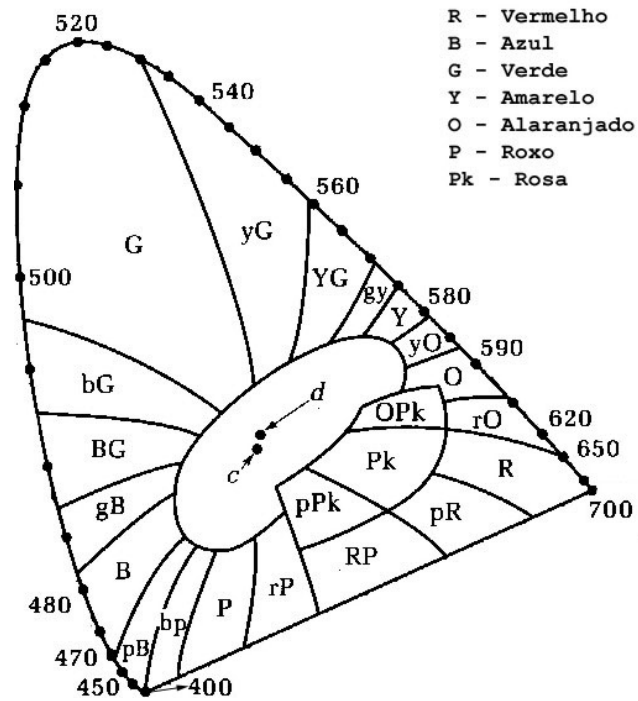
A cromacidade define a cor em si

- 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

Cores visíveis

- Diagrama de Cromacidade CIE



Coeficientes negativos

Na geração da cor

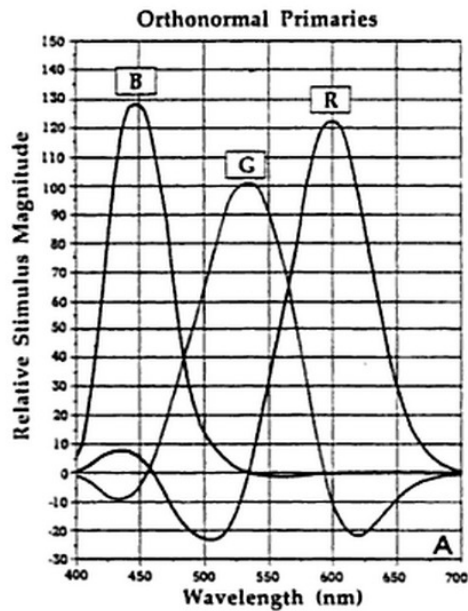


Figure 32. Interesting properties of a particular orthonormal matrix. Continued next page.

Resultado 39 de 87 neste livro para color matching functions - < Anterior Próximo > - Ver tudo [Limpe](#)

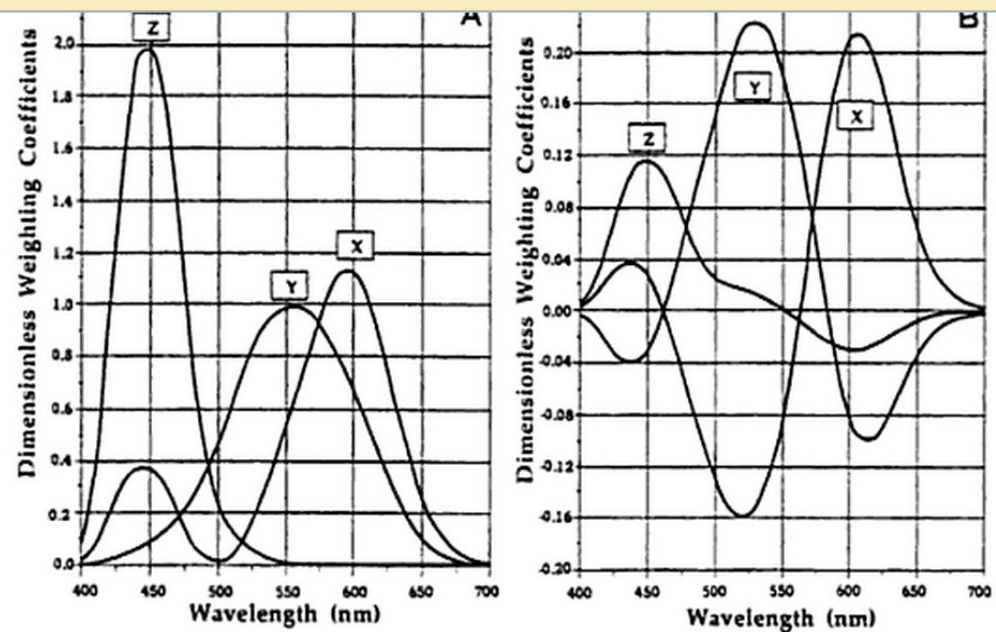


Figure 33. The marked difference between color matching functions and fundamen

Modelos de cor

Sistema XYZ

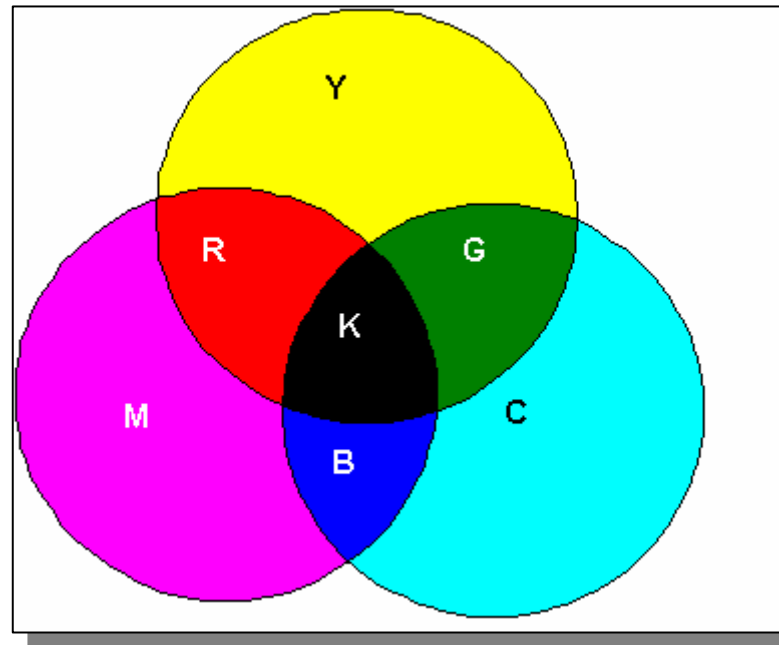
conversão entre os sistemas CIE-RGB e CIE-XYZ

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

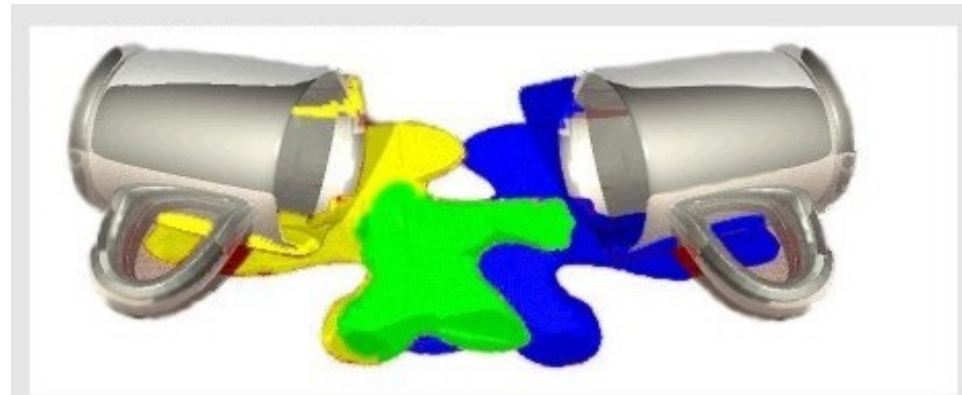
CIE (Comissão Internationale de l'Éclairage)

Modelos de cor

Sistemas de cores subtrativos CMY

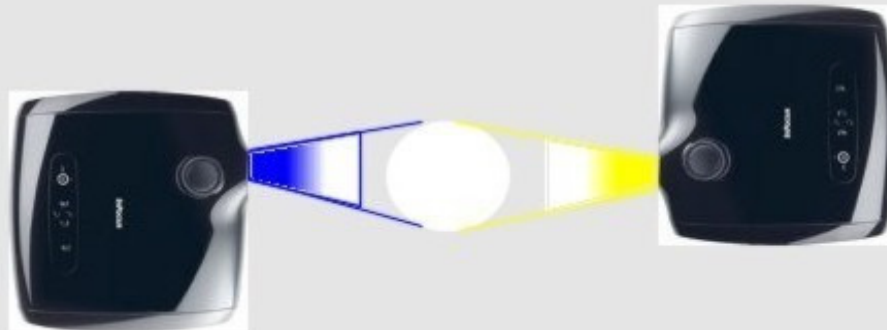


Modelos de cor: noção de primárias, secundárias e terciárias



Tinta amarela misturada com tinta azul cria uma tinta verde.

Cores complementares



Luz amarela com luz azul cria uma luz branca.

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

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.

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**.

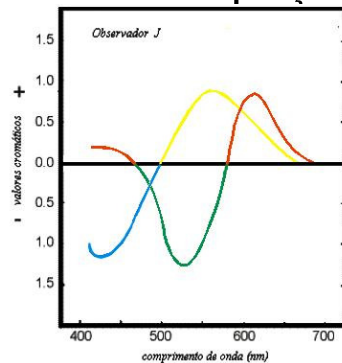
Este espaço consegue explicar vários fenômenos visuais que não são adequadamente explicados pelas outras teorias.

Percepção de Cor

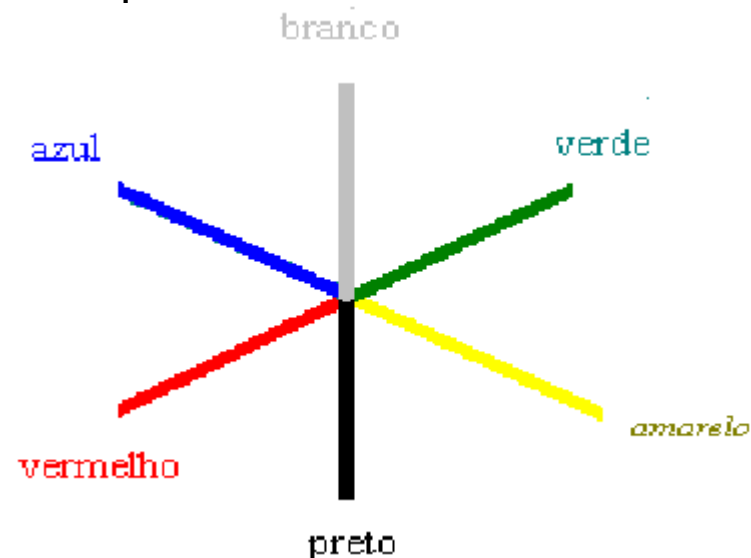
Mais sobre as deficiências cromáticas em:

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.

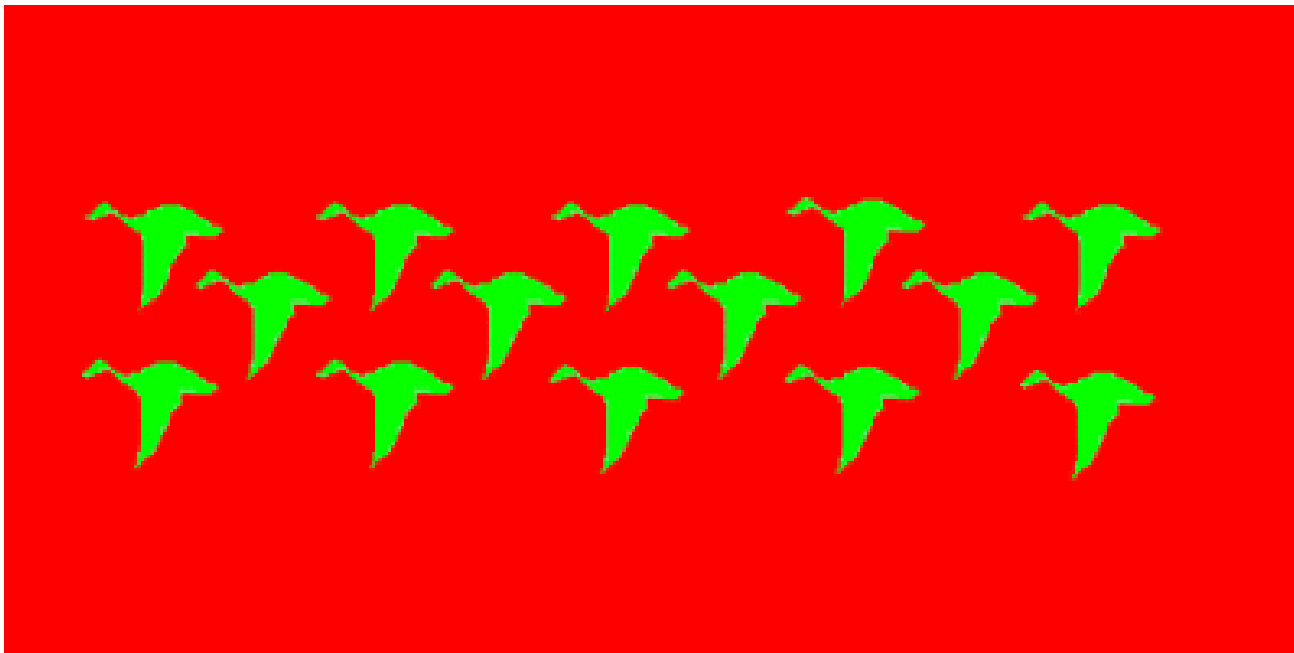


Sistemas de cores oponentes

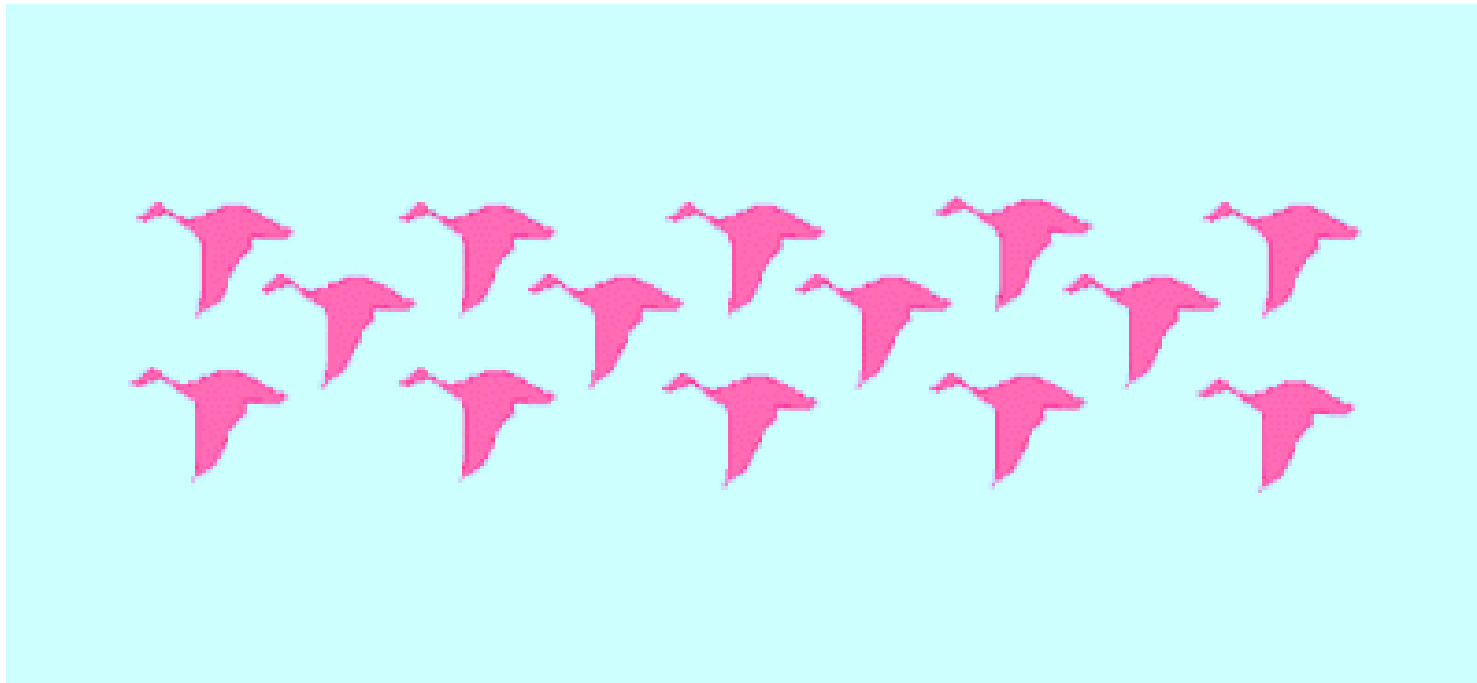


Cores oponentes explicam coisas como: as AFTER IMAGES

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



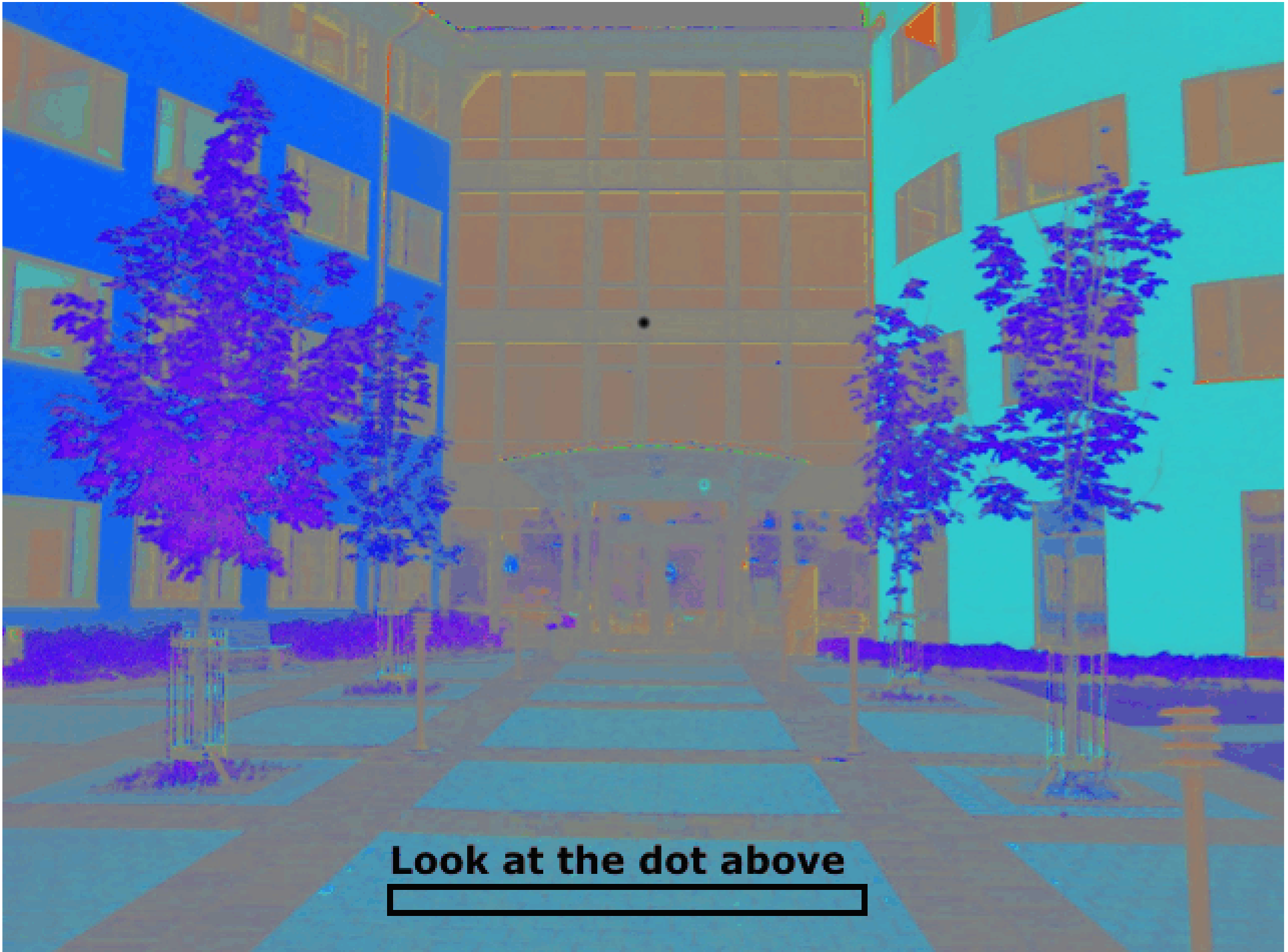
AFTER IMAGES



After Images

São outro exemplo de como o sinal resultante da luz tem **tratamento de cor e contraste diferentes**.

E esta divisão é responsável por **percepções independentes**.



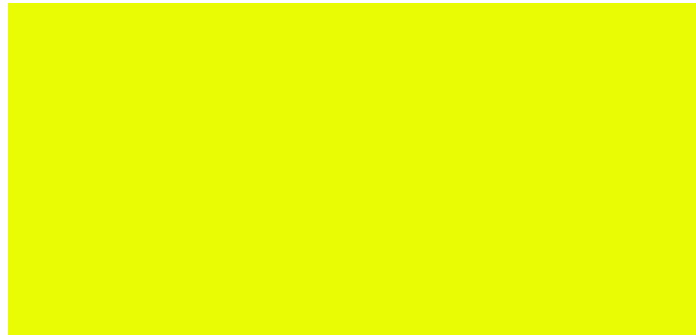
Look at the dot above

Depois de olhar isso por 30 s.













E olhar algo branco, você **só vê mesmo branco?**

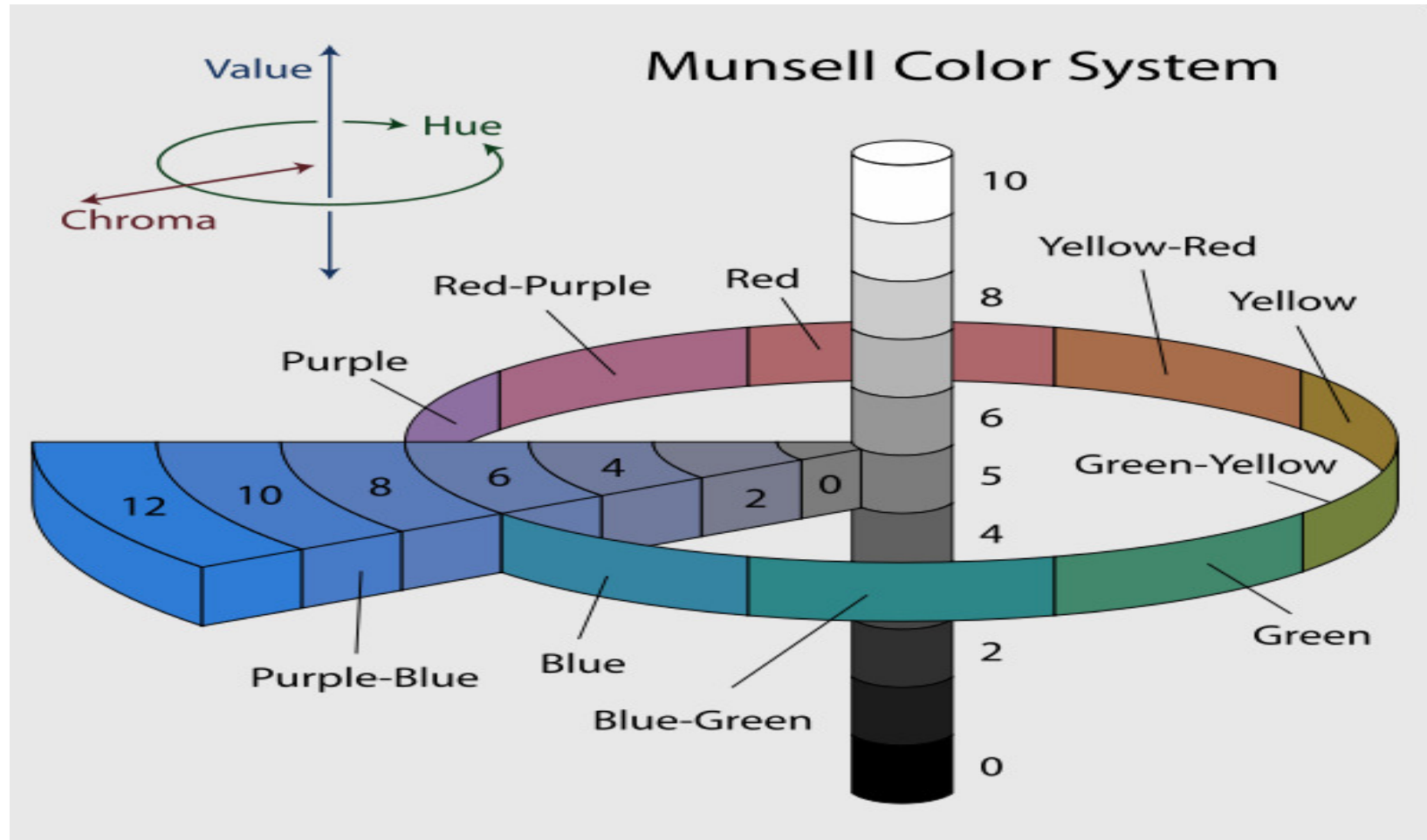
Ou vê o abaixo. Há muitos outros exemplo em:
<http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/light/complementary-colours.htm>



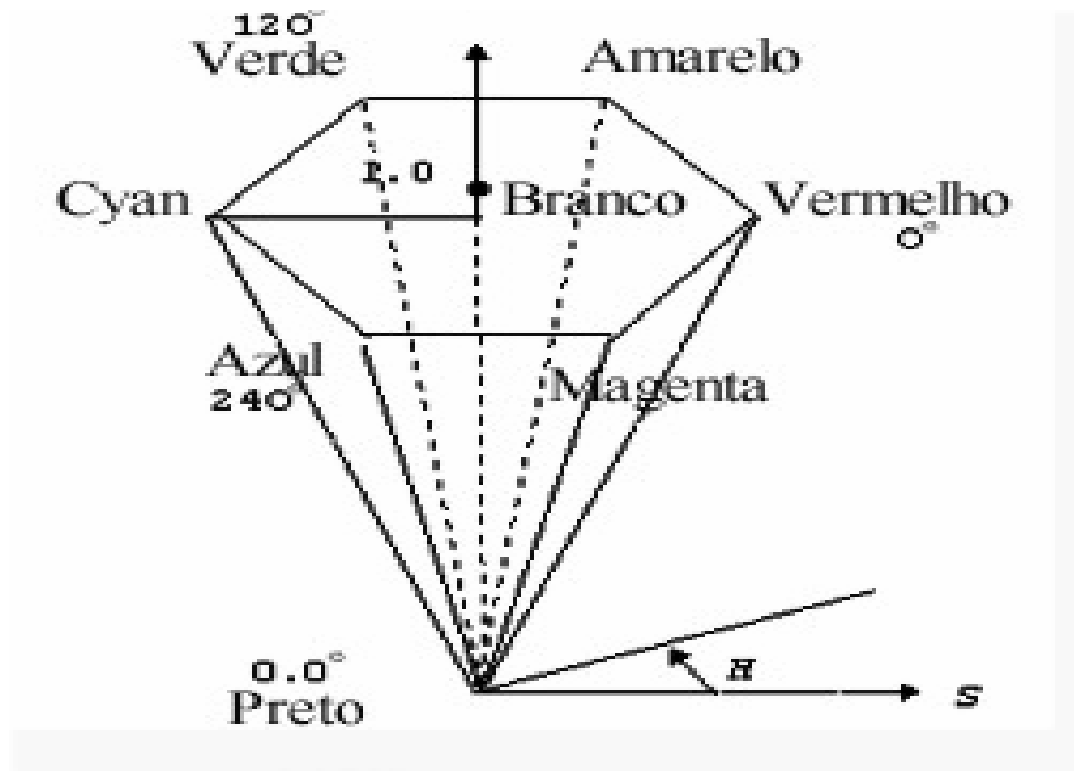
exemplo

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

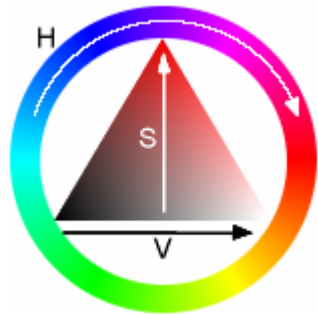


HSV

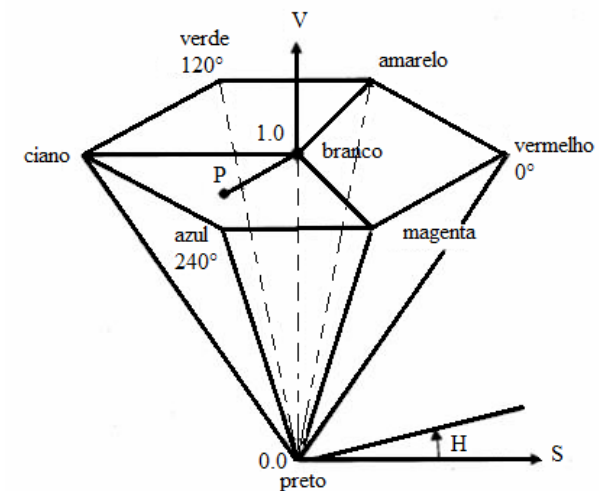


O algoritmo de RGB para HSV

- 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:
- $\max = \text{máximo}(R,G,B)$, $\min = \text{mínimo}(R,G,B)$
- //depois os valores de saturação e brilho:
- $V = \max$, $S = (\max - \min) / \max$
- //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
- $R1 = (R - \min) / (\max - \min)$
- $G1 = (G - \min) / (\max - \min)$
- $B1 = (B - \min) / (\max - \min)$
- if $R1 = \max$, $H = G1 - B1$
- else if $G1 = \max$, $H = 2 + B1 - R1$
- else if $B1 = \max$, $H = 4 + R1 - G1$
- //(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.

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 ⊗ O :: HTML FC88C4	 PANTONE % R 89 G 90 B 82 7485 C R 227 G 230 B 209 ⊗ O :: HTML E3E8D1	 PANTONE % R 78 G 85 B 90 290 C R 199 G 217 B 230 ⊗ O :: HTML C7D9E6	 PANTONE % R 78 G 90 B 89 317 C R 199 G 230 B 227 ⊗ O :: HTML C7E8E3	 PANTONE % R 87 G 75 B 85 356 C R 222 G 191 B 217 ⊗ O :: HTML DEBFD9	 PANTONE % R 95 G 93 B 81 100 C R 242 G 237 B 130 ⊗ O :: HTML F2ED82	 PANTONE % R 95 G 81 B 89 719 C R 242 G 207 B 176 ⊗ O :: 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 ⊗ O :: HTML FC3CA1	 PANTONE % R 77 G 89 B 83 7486 C R 196 G 227 B 181 ⊗ O :: HTML C4E3A1	 PANTONE % R 68 G 81 B 90 281 C R 173 G 207 B 230 ⊗ O :: HTML ADCFE6	 PANTONE % R 60 G 86 B 87 318 C R 153 G 219 B 222 ⊗ O :: HTML 990BDE	 PANTONE % R 82 G 84 B 80 101 C R 209 G 163 B 204 ⊗ O :: HTML D1A3CC	 PANTONE % R 96 G 93 B 35 102 C R 245 G 237 B 89 ⊗ O :: HTML F5ED59	 PANTONE % R 94 G 77 B 92 729 C R 240 G 196 B 198 ⊗ O :: 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 ⊗ O :: HTML F75C76	 PANTONE % R 58 G 87 B 43 7487 C R 148 G 222 B 110 ⊗ O :: HTML 94DE6E	 PANTONE % R 47 G 70 B 88 292 C R 120 G 179 B 224 ⊗ O :: HTML 7833E0	 PANTONE % R 29 G 80 B 83 319 C R 74 G 204 B 212 ⊗ O :: HTML A4CCD4	 PANTONE % R 50 G 27 B 58 258 C R 150 G 89 B 148 ⊗ O :: HTML 964594	 PANTONE % R 96 G 01 B 8 102 C R 245 G 237 B 20 ⊗ O :: HTML F5EB14	 PANTONE % R 90 G 59 B 50 722 C R 214 G 143 B 128 ⊗ O :: HTML E6B880
 PANTONE % R 53 G 53 B 52 Cool Gray 9 C R 135 G 135 B 133 ⊗ O :: HTML 878785	 PANTONE % R 90 G 5 B 18 185 C R 230 G 13 B 46 ⊗ O :: HTML E60D2E	 PANTONE % R 40 G 83 B 24 7488 C R 102 G 212 B 61 ⊗ O :: HTML 66D43D	 PANTONE % R 0 G 28 B 73 293 C R 0 G 71 B 186 ⊗ O :: HTML 0047BA	 PANTONE % R 0 G 61 B 64 320 C R 0 G 156 B 163 ⊗ O :: HTML 009CA3	 PANTONE % R 44 G 7 B 42 PANTONE % R 112 G 18 B 107 ⊗ O :: HTML 701268	 PANTONE % R 97 G 88 B 9 Yellow C R 247 G 224 B 23 ⊗ O :: HTML F7E017	 PANTONE % R 84 G 56 B 33 723 C R 214 G 143 B 84 ⊗ O :: HTML D69F54
 PANTONE % R 45 G 45 B 45 Cool Gray 10 C R 115 G 115 B 115 ⊗ O :: HTML 737373	 PANTONE % R 81 G 5 B 17 186 C R 207 G 20 B 43 ⊗ O :: HTML CF142B	 PANTONE % R 42 G 87 B 30 7489 C R 107 G 171 B 77 ⊗ O :: HTML 6BAB4D	 PANTONE % R 0 G 22 B 51 294 C R 0 G 56 B 130 ⊗ O :: HTML 003882	 PANTONE % R 0 G 52 B 54 321 C R 0 G 133 B 138 ⊗ O :: HTML 00858A	 PANTONE % R 38 G 9 B 35 260 C R 97 G 23 B 89 ⊗ O :: HTML 611759	 PANTONE % R 77 G 88 B 6 103 C R 196 G 173 B 15 ⊗ O :: HTML CAAD0F	 PANTONE % R 75 G 45 B 16 724 C R 191 G 115 B 41 ⊗ O :: HTML 0F7329
 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 18 187 C R 176 G 28 B 46 ⊗ O :: HTML B01C2E	 PANTONE % R 38 G 57 B 24 7490 C R 97 G 145 B 61 ⊗ O :: HTML 61913D	 PANTONE % R 0 G 18 B 39 295 C R 0 G 46 B 99 ⊗ O :: HTML 002E63	 PANTONE % R 0 G 44 B 45 322 C R 0 G 112 B 115 ⊗ O :: HTML 007073	 PANTONE % R 36 G 11 B 31 261 C R 92 G 28 B 79 ⊗ O :: HTML 5C1C4F	 PANTONE % R 68 G 59 B 4 104 C R 168 G 150 B 10 ⊗ O :: HTML A8960A	 PANTONE % R 58 G 30 B 1 725 C R 148 G 77 B 3 ⊗ O :: HTML 944D03
Refer to page 1 for Icon Definitions C = Coated Paper 52.4 C	 PANTONE % R 49 G 13 B 17 188 C R 125 G 33 B 43 ⊗ O :: HTML 70212B	 PANTONE % R 43 G 51 B 20 7491 C R 110 G 130 B 51 ⊗ O :: HTML 6E8233	 PANTONE % R 0 G 16 B 25 296 C R 0 G 41 B 64 ⊗ O :: HTML 00294D	 PANTONE % R 0 G 38 B 39 323 C R 0 G 97 B 99 ⊗ O :: HTML 009163	 PANTONE % R 32 G 13 B 27 262 C R 82 G 33 B 69 ⊗ O :: HTML 522146	 PANTONE % R 50 G 45 B 6 105 C R 128 G 115 B 15 ⊗ O :: HTML 80730F	 PANTONE % R 50 G 24 B 1 726 C R 128 G 61 B 3 ⊗ O :: HTML 803D03

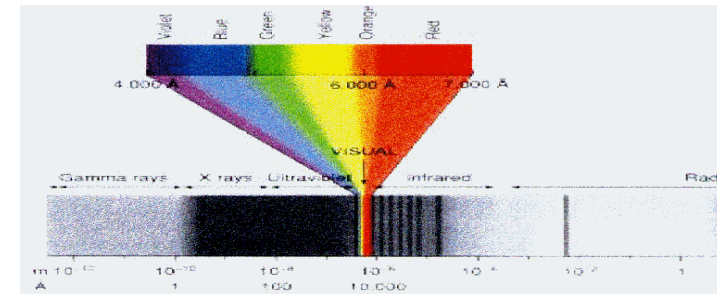
Nos sistemas subtrativos

Ou na renderização de cenas há outro elemento muito importante:

A luz que ilumina os objetos e a CENA

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

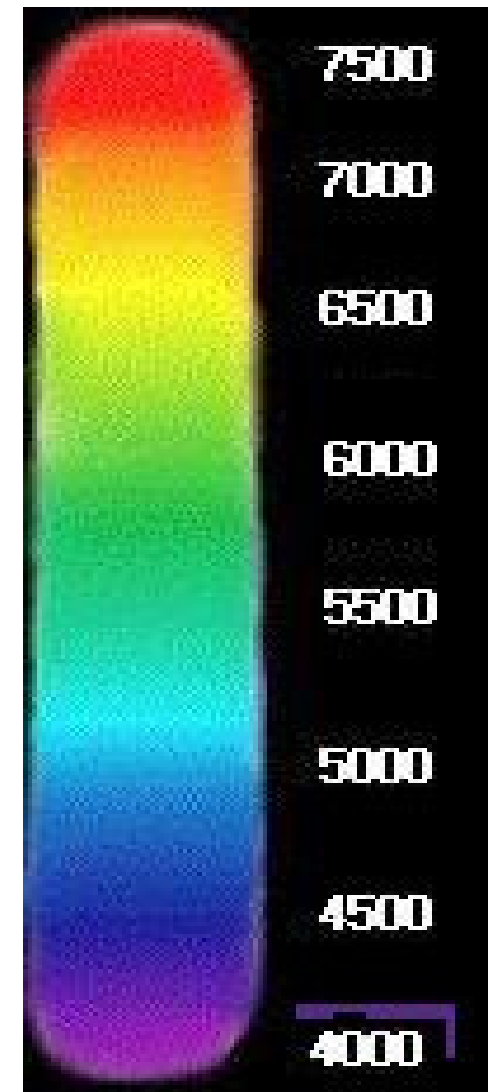
O espectro da luz do Sol, dita "branca", é um contínuo com todas as cores visíveis.

Hoje sabemos que essas componentes têm comprimentos de onda que vão desde:

4000 Ångstroms (violeta)

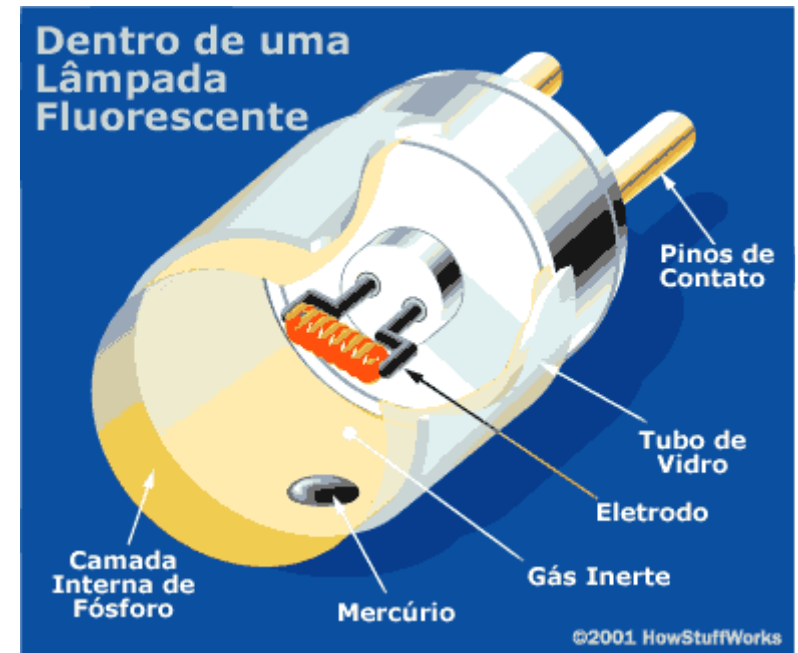
até

7500 Ångstroms (vermelho).



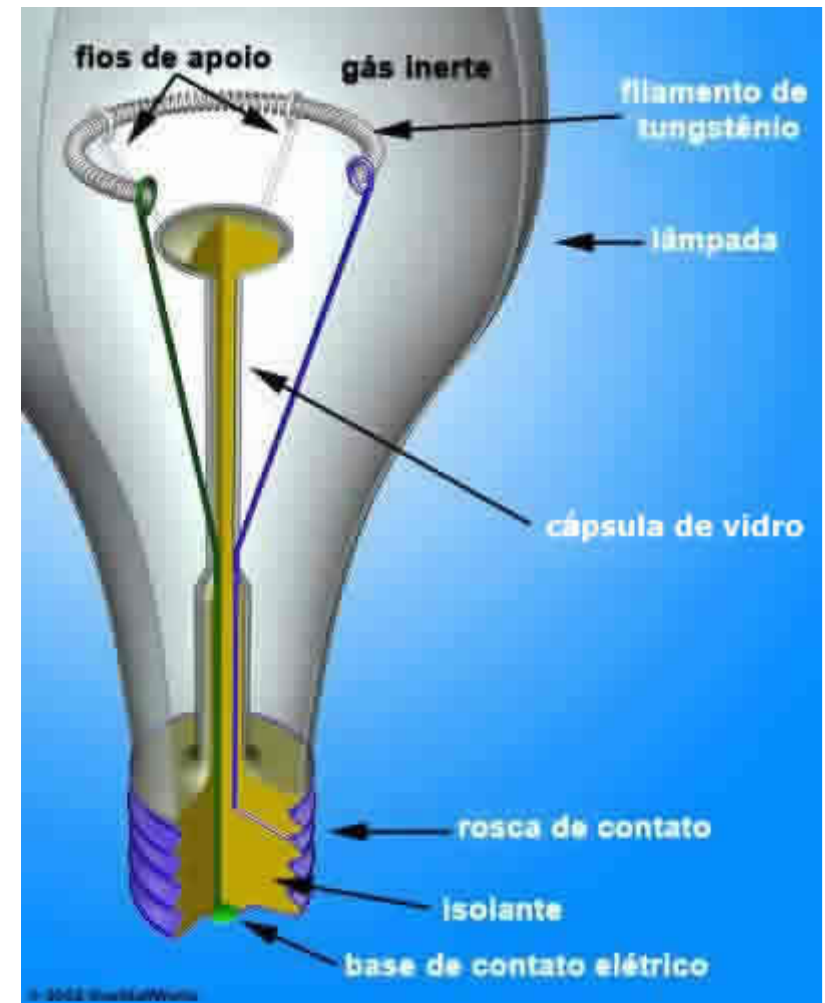
Lâmpadas

- 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.

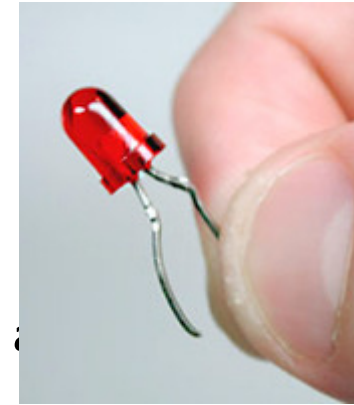


Lâmpadas incandescentes

- 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 conectam 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 pass

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 **fosforos externos** exatamente do mesmo modo que a luz UV dentro de uma lâmpada fluorescente reage com o revestimento de fósforo.
- Os fosforos externos brilham enquanto a luz UV está brilhando sobre eles.
- Há uma grande quantidade de fosforos 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).

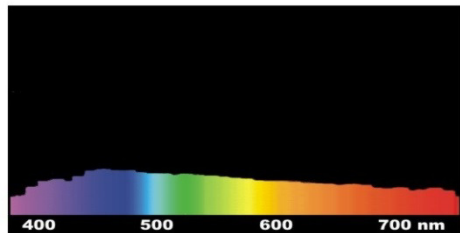
Associação entre temperatura e aparência de cor de uma lâmpada

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

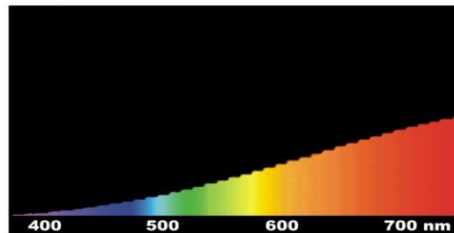
Fontes de Iluminação

Gráficos intensidade x comprimento de onda de diversas luzes

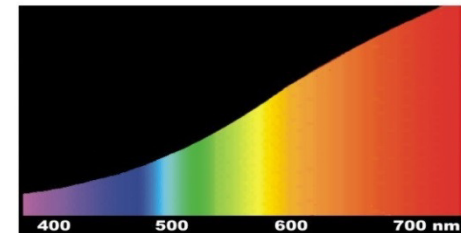
IRC=Índice de Reprodução de Cores



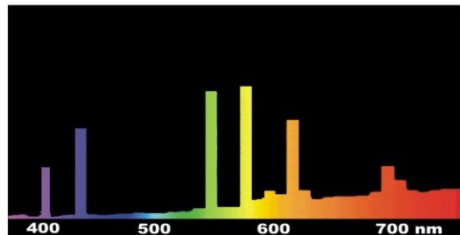
Radiação Solar



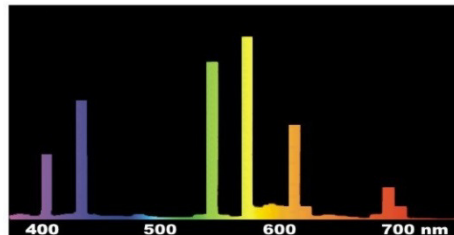
Lâmpada Incandescente



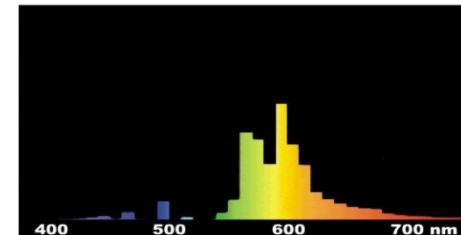
Lâmpada Halógena



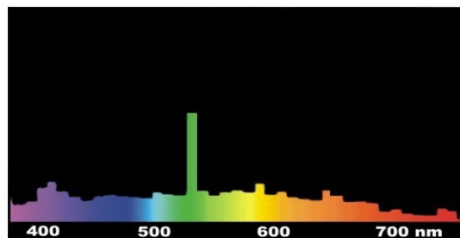
HWL Luz Mista



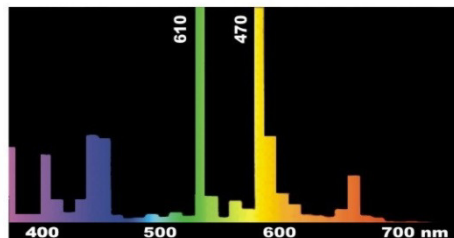
HQL Vapor de Mercúrio



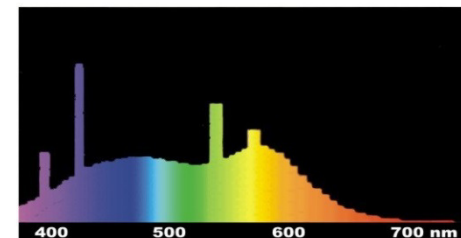
NAV Vapor de Sódio



HQL.../D Multivapores Metálicos



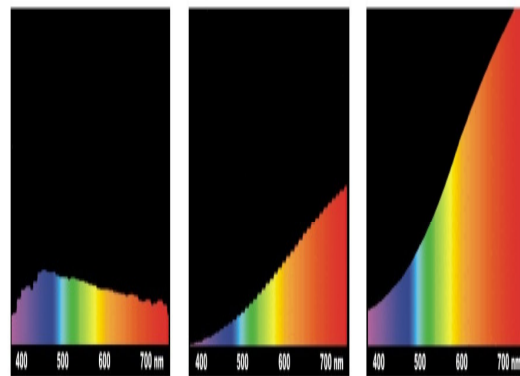
HQL.../N Multivapores Metálicos



Fluorescente Luz do Dia Especial

Exemplo de luz branca:

- Luz do dia: emissão em todas as frequências

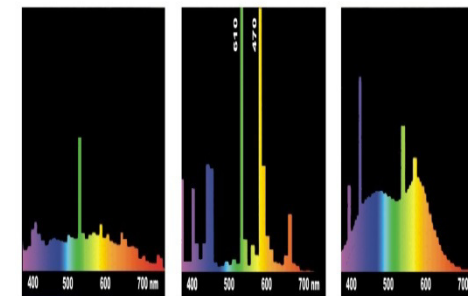


Radiação Solar

Lâmpada Incandescente

Lâmpada Halógena

Em oposição a emissão em uma frequência predominante



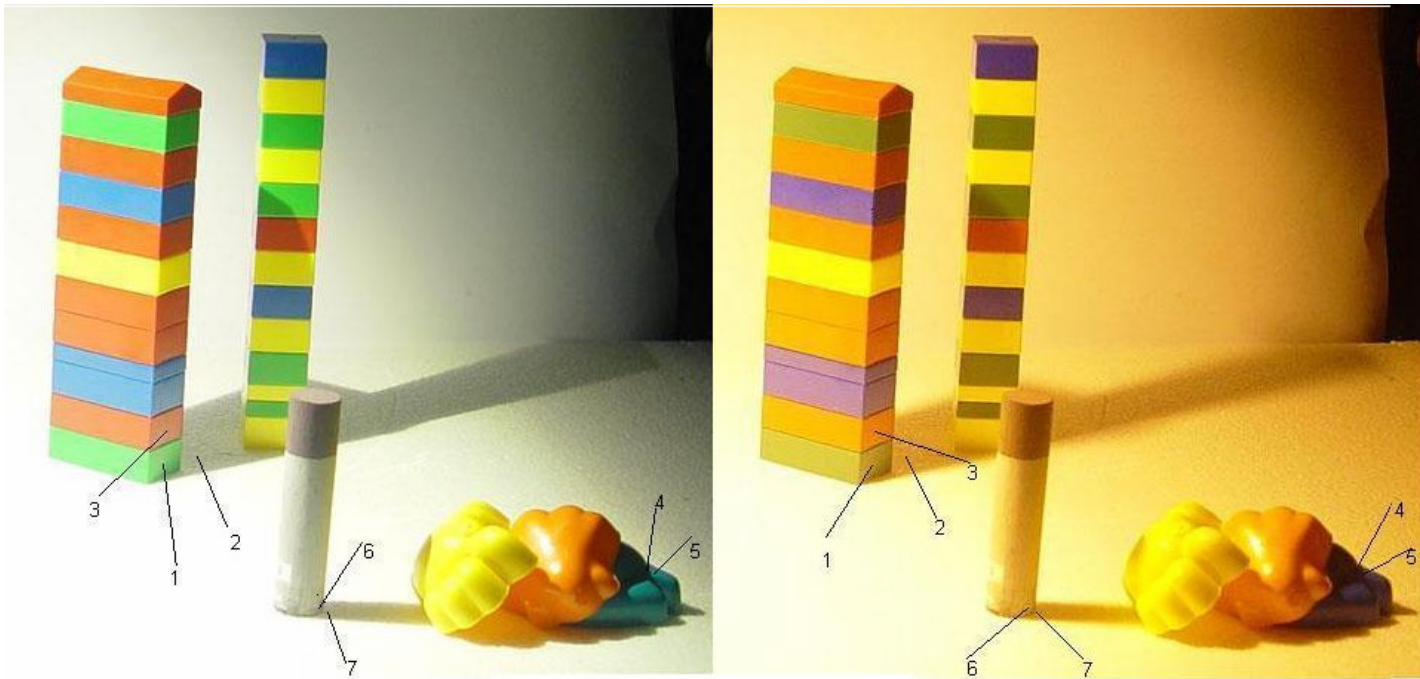
HQI...D Multipares Metálicos

HQI...N Multipares Metálicos

Fluorescente Luz do Dia Especial

Fontes de Iluminação

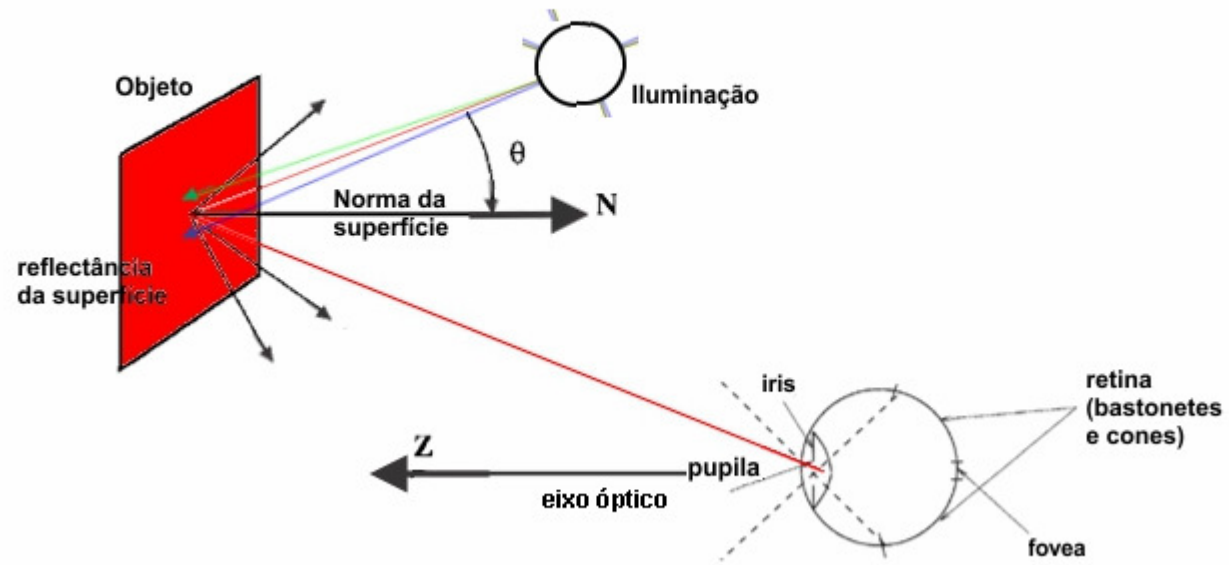
Diferença da reprodução de cor em função do iluminante



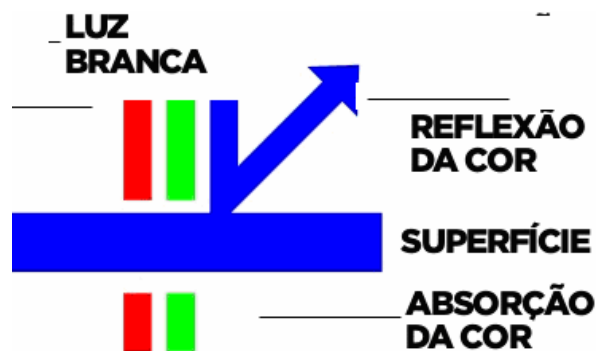
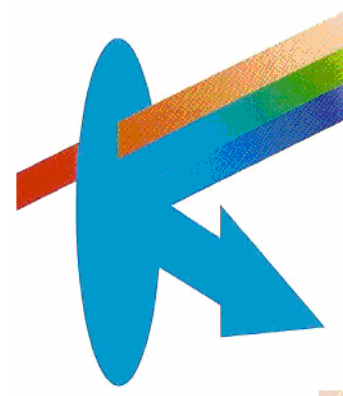
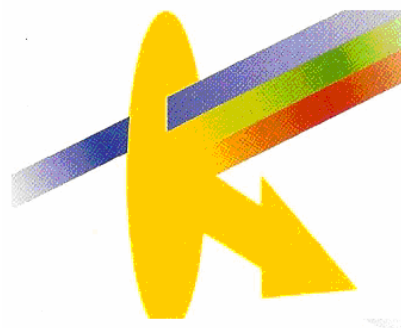
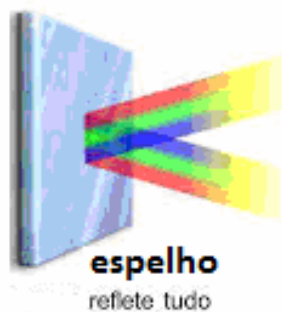
Objetos iluminados com **MVM** (multi vapor metálico) de **IRC=75**
e **VS** (Vapor de Sódio) **IRC=22**.

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

Subtração de energia



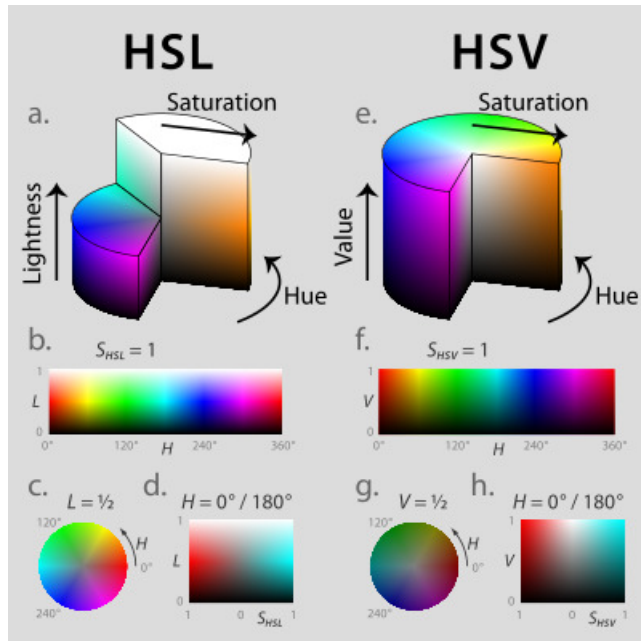
Subtração de energia



Representação da cor

- **Objetos Refletivos** - não emitem energia luminosa, utilizam de luz proveniente de uma outra fonte e a REFLETEM produzindo a informação de cor (modelo de cor subtrativo) .
- **Emissivos** - são **fontes** de energia radiante que produzem diretamente a informação de cor (modelo de cor aditivo) .

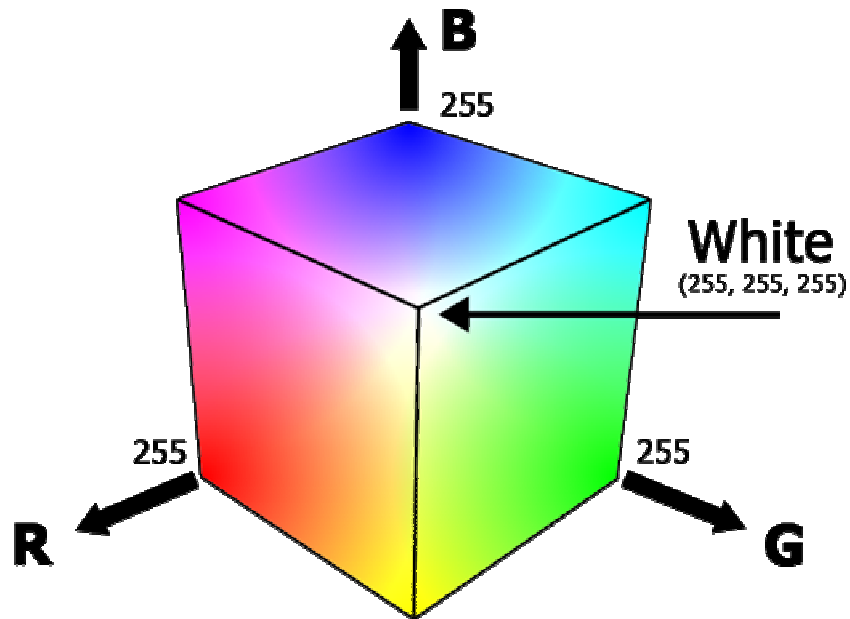
Formas cilíndricas e cônicas



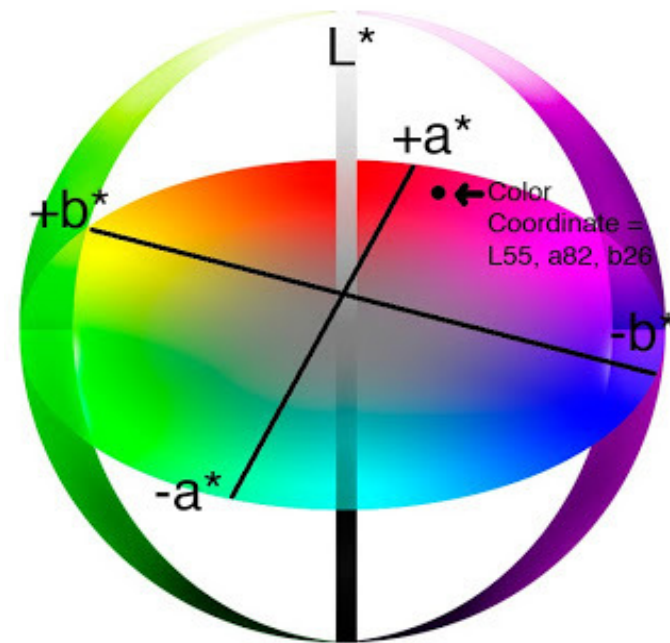
Outros sistemas

- CIE: XYZ · $L^*a^*b^*$ · $L^*u^*v^*$ ·
- Yuuv · $U^*V^*W^*$ YUV
- YDbDr (SECAM) · YIQ (NTSC) · YCbCr ·
YPbPr · xvYCC
- LMS · HSL, HSV · CMYK · CcMmYK ·
Hexachrome · RYB · Munsell ·
- Pantone · RAL
OSA-UCS · RG ·
- Ostwald · DIN · PCCS · ABC · DCA

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**

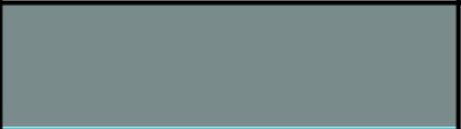





YCbCr

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

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

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	

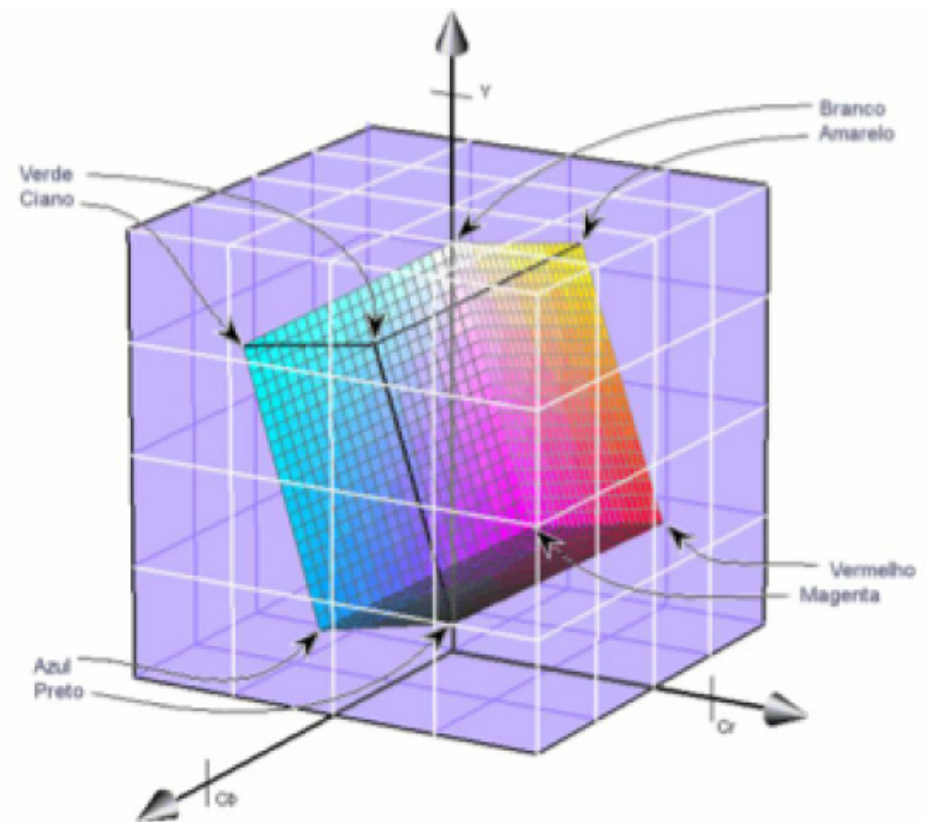
Y Cr Cb - > RGB

$$r = ((y - 16)) * 255 / 219 + 1.575 * ((cr - 128) * 255) / 224;$$

$$g = ((y - 16)) * 255 / 219 - 0.187 * ((cb - 128) * 255) / 224 - 0.4678 * ((cr - 128) * 255) / 224;$$

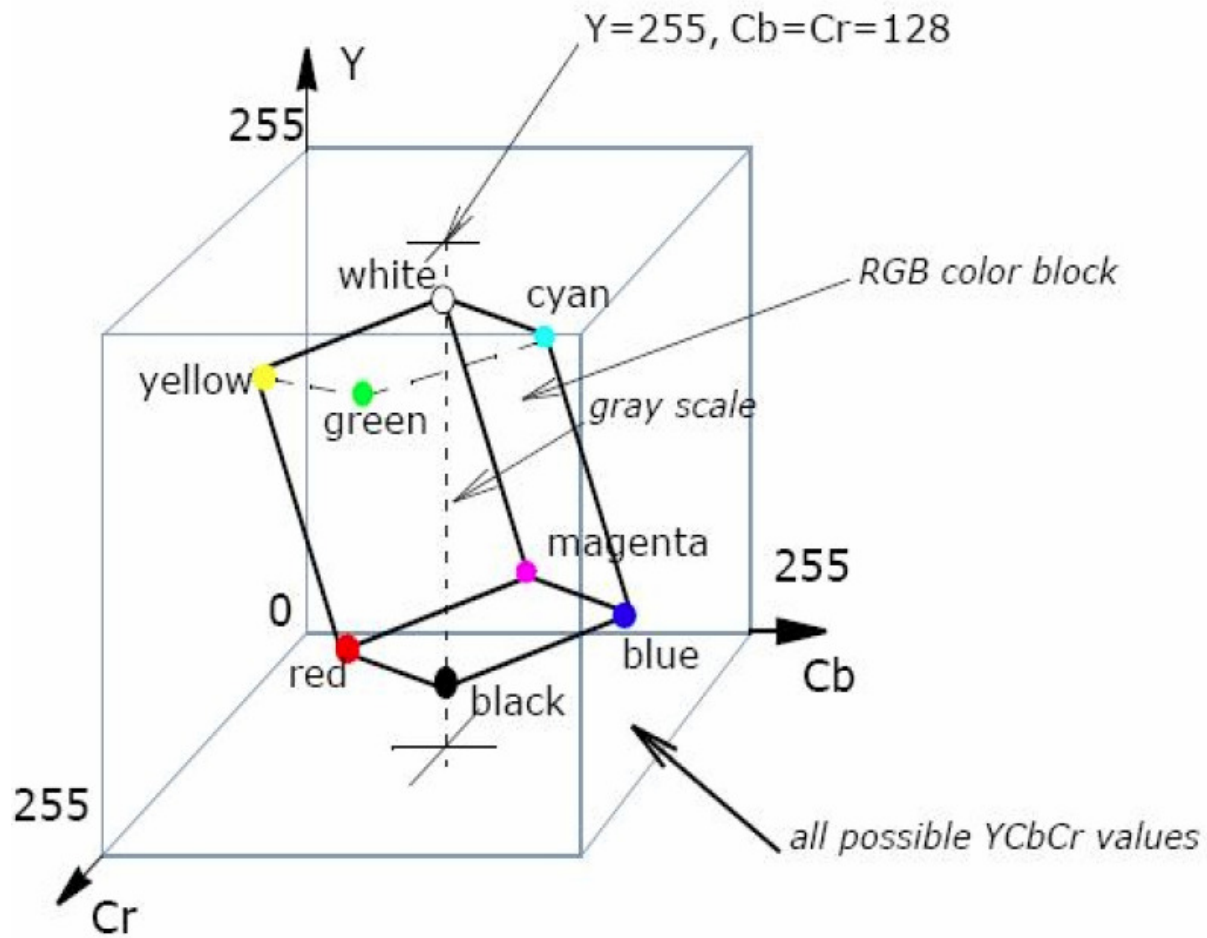
$$b = ((y - 16)) * 255 / 219 + 1.8508 * ((cb - 128) * 255) / 224;$$

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.



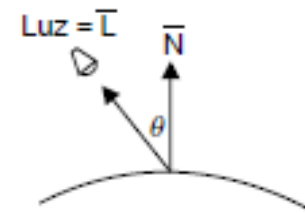
RGB representado nos eixos YCbCr.

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.



Luz pontual

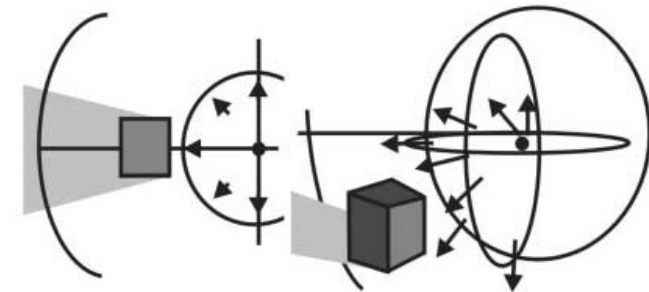
A luz é distribuída a partir de um ponto igualmente em todas as direções.



$$I = I_d r_d \cos \theta$$

Pode deixar as superfícies e as sombras com os limites muito intensos

$$I = I_a r_a + I_d r_d \cos \theta$$



Boa aproximação quando:

- 1) A fonte está suficientemente distante da cena.
- 2) A fonte tem dimensões pequenas comparadas aos demais objetos.

Caso o ângulo varie ponto a ponto:

$$I = I_d r_d (\overline{\vec{u}_e \cdot \vec{u}_n})$$

O espaço de cor *RGB*

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

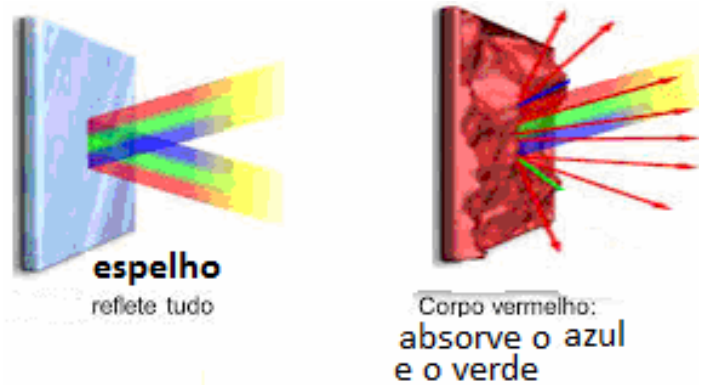
onde \mathbf{R} , \mathbf{G} e \mathbf{B} são as cores primárias e r , g e b os coeficientes da mistura

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.

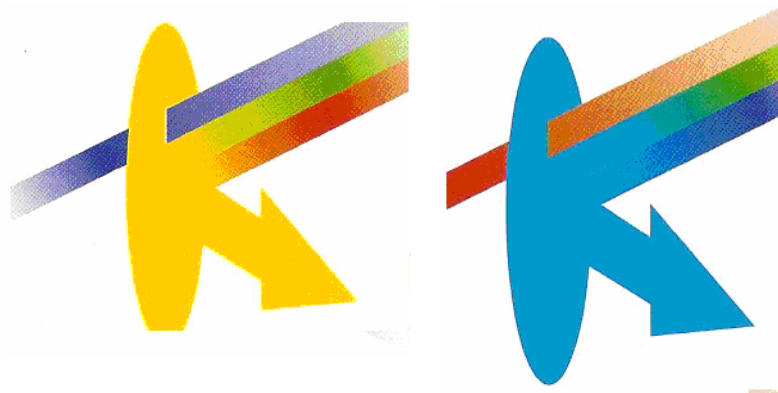
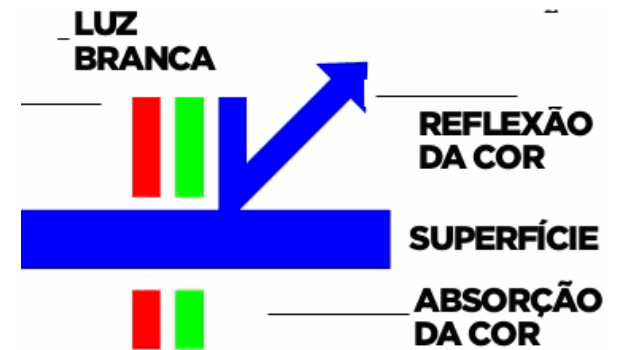
Nem todos os espaços de cor possuem uma base com cores primárias,
nos elementos de sua base, nem sempre essa base será formada por
comprimentos de onda visíveis.

Os elementos I_a , I_d , r_a e r_d devem levar em conta como se dá a Subtração de energia no espaço de cores que se esta usando no momento para representar as superfícies dos objetos. Por exemplo se for direto o RGB deve precisar conseguir fazer meio tons de uma cor especifica utilizando cada um deles 3 componentes: R,G, B de modo que na realidade serão:

I_{aR} , I_{aG} , I_{aB} , I_{dR} , I_{dG} , I_{dB} , r_{aR} , r_{aG} , r_{aB} e r_{dR} , r_{dG} e r_{dB}

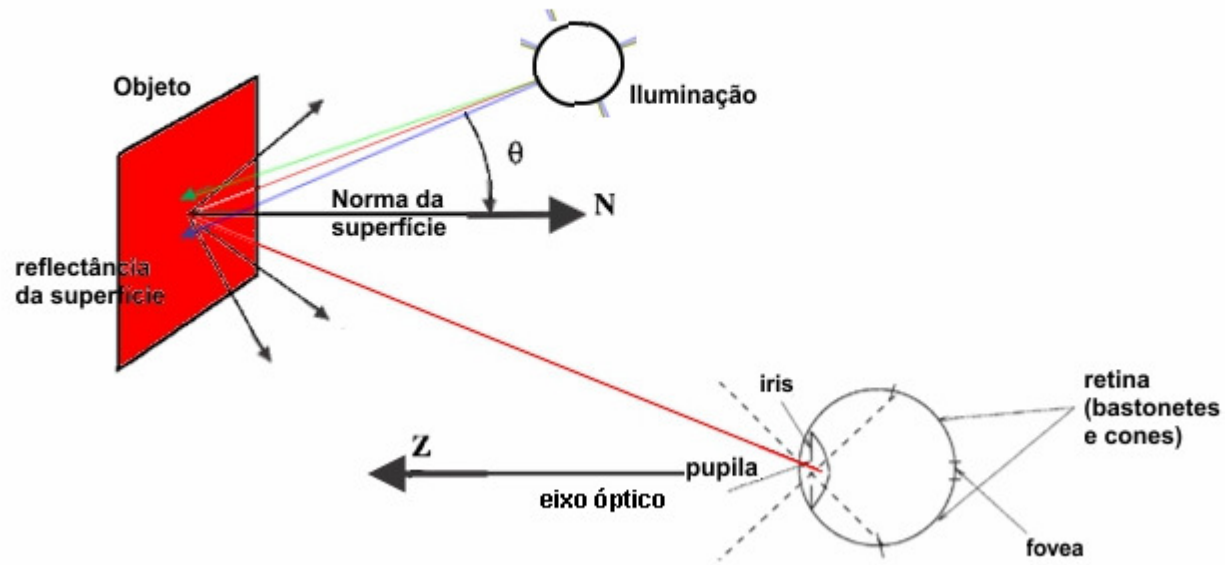


tons de uma das cores primarias não é muito difícil!

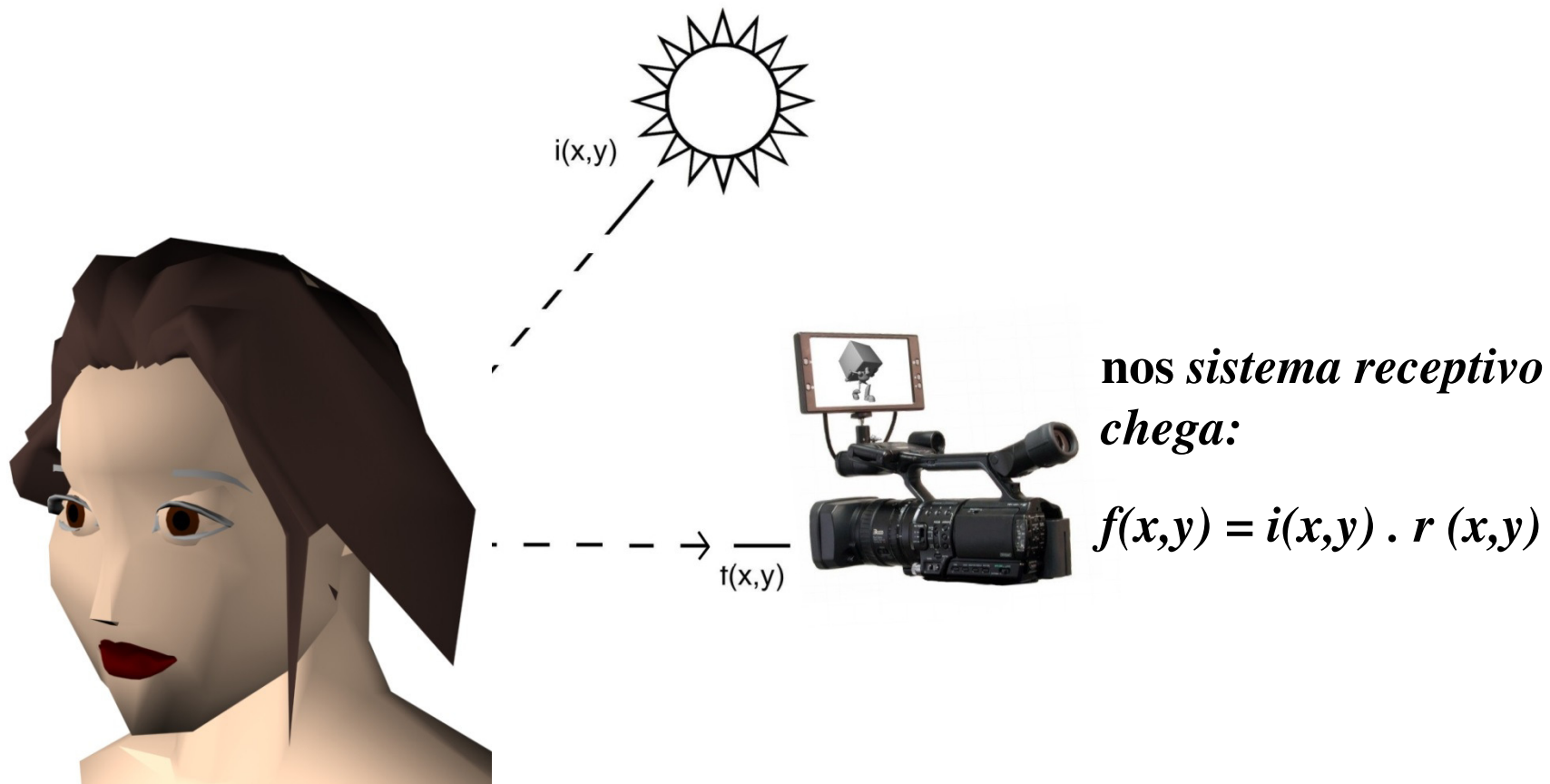


tons de 2 cores primarias também não, Mas quando envolve variações das 3 Pode resultar muito trabalho e o melhor é usar espaços de cores que separam Os matizes dos demais elementos

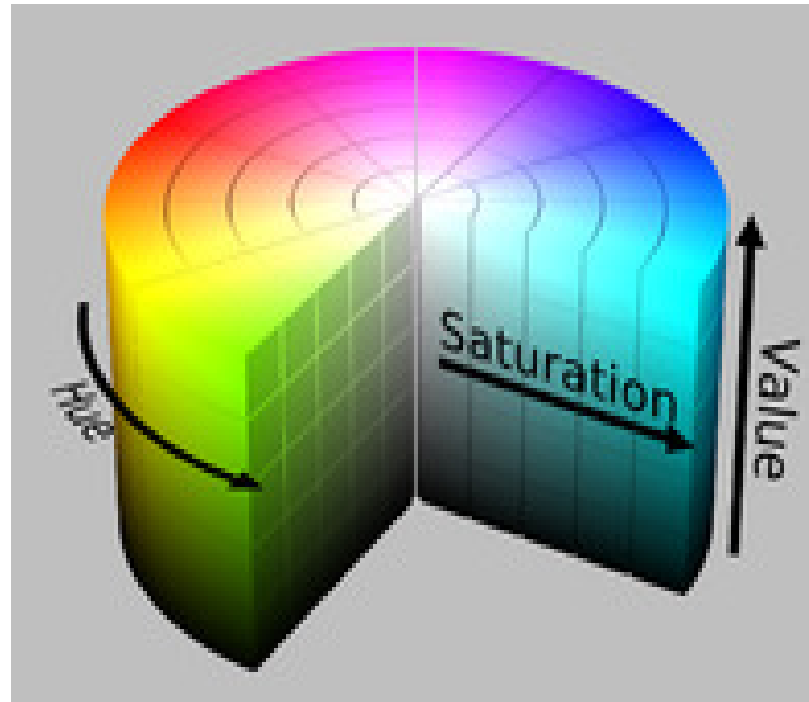
Subtração de energia



Imagens de objeto **eminentes** ou **iluminados**



Em aplicações usuais de CG

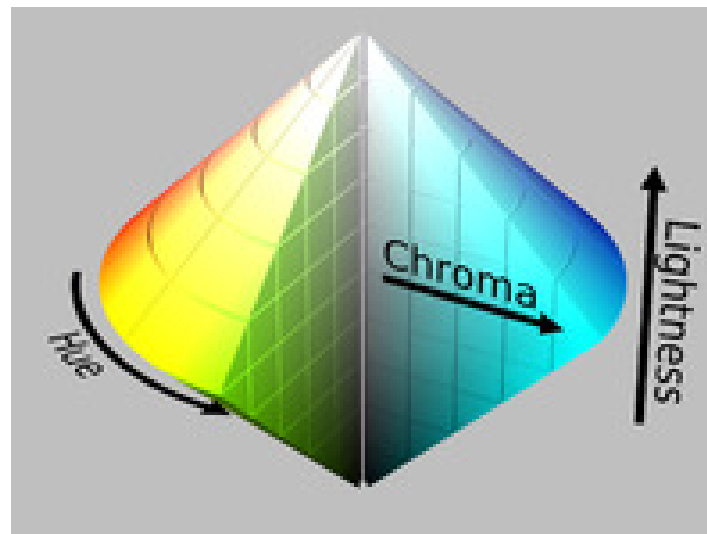
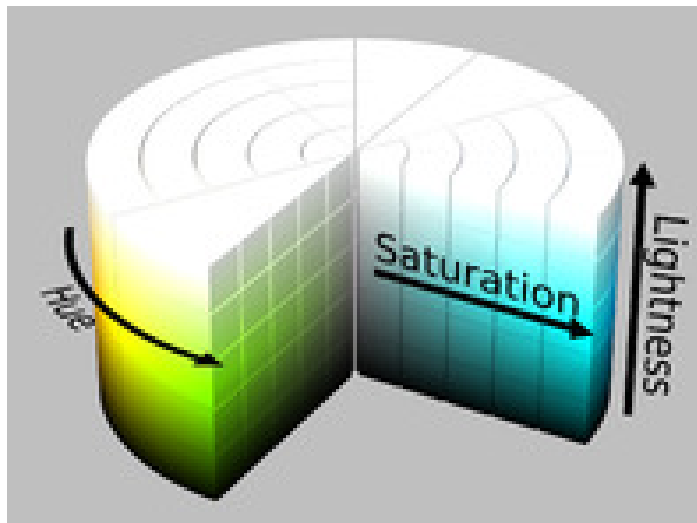
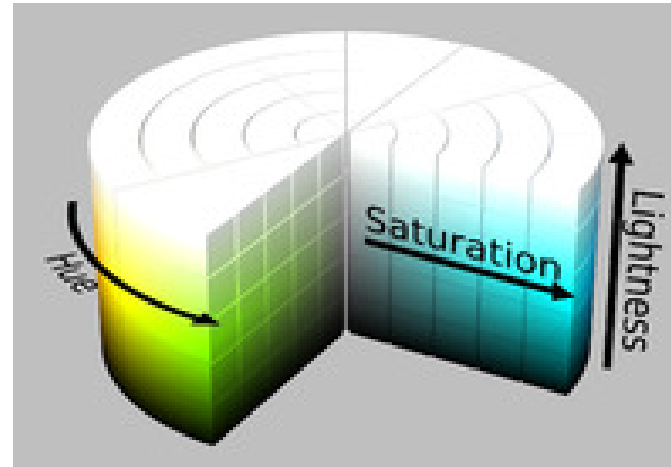
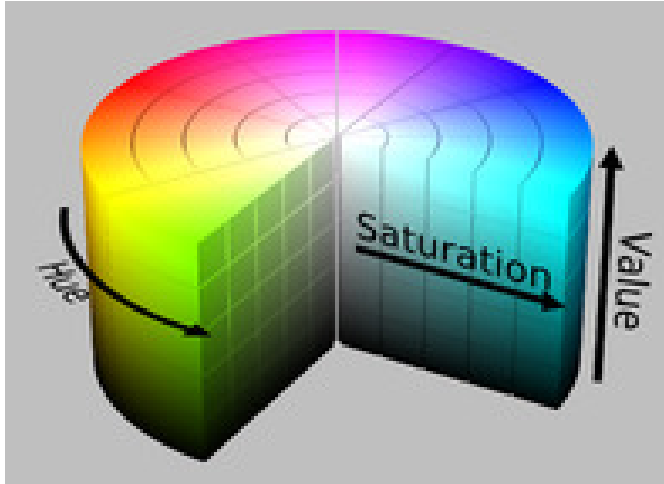


O espaço *HSV* foi desenvolvido em 1978 por *Alvey Ray Smith*,

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

cuidados

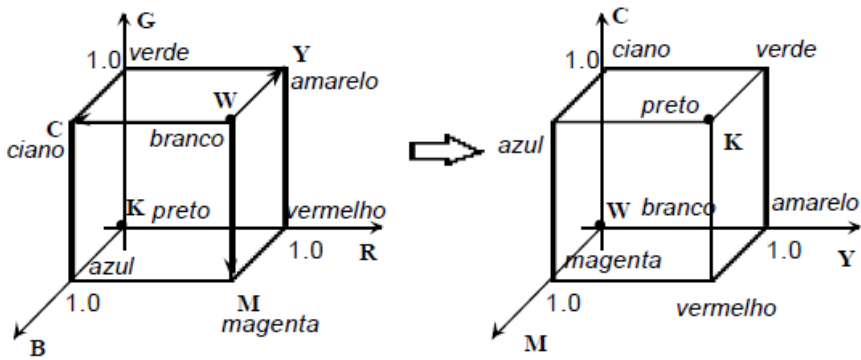


Modelo Psico físico

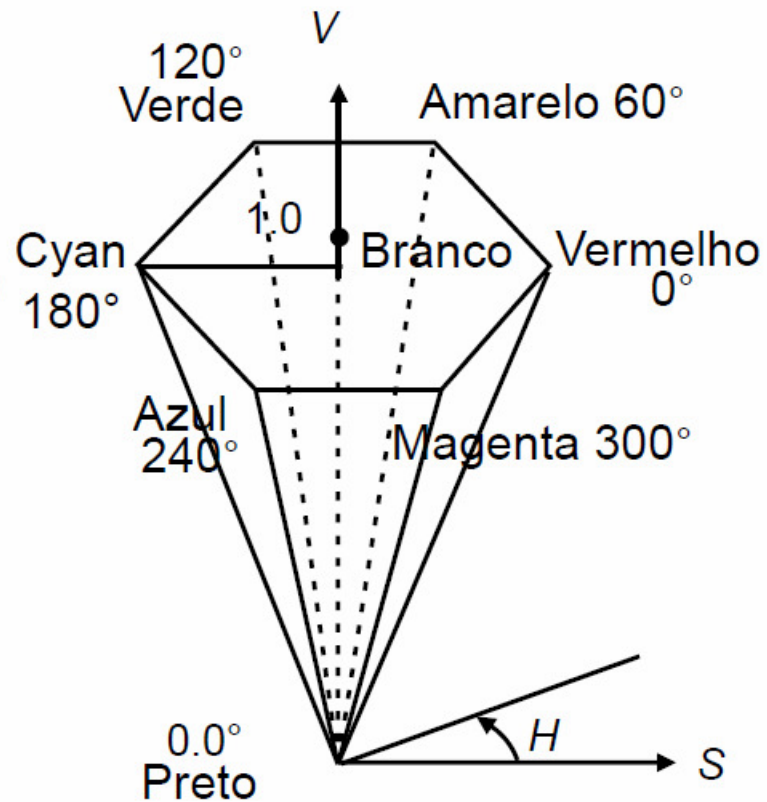
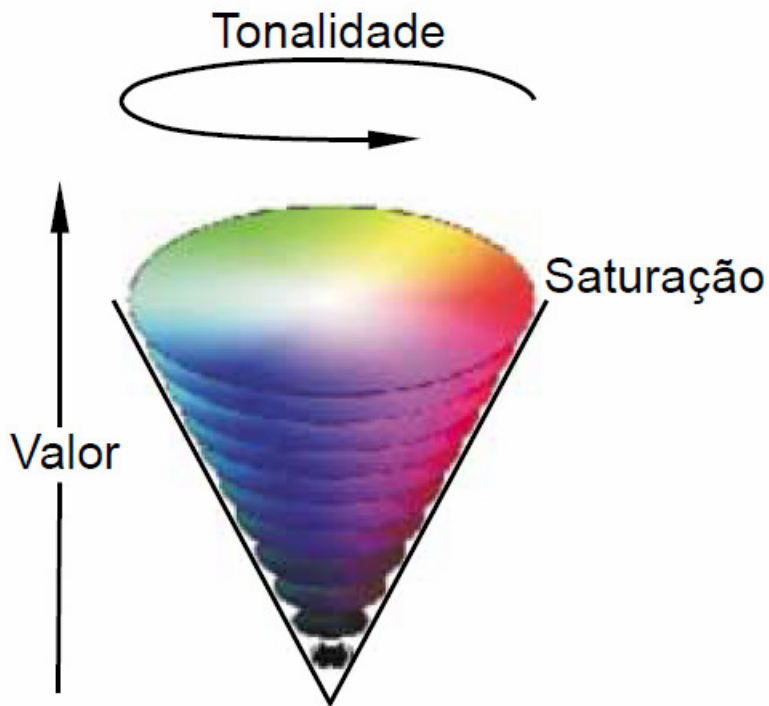
Estes tipos de espaços são baseados na percepção subjetiva da cor pelo ser humano, ou seja, como a cor e a iluminação são tratadas de formas distintas pelo sistema perceptivo, a componente de intensidade (ou brilho) nestes tipos de espaços fica desacoplada da informação cromática (matiz + saturação).

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

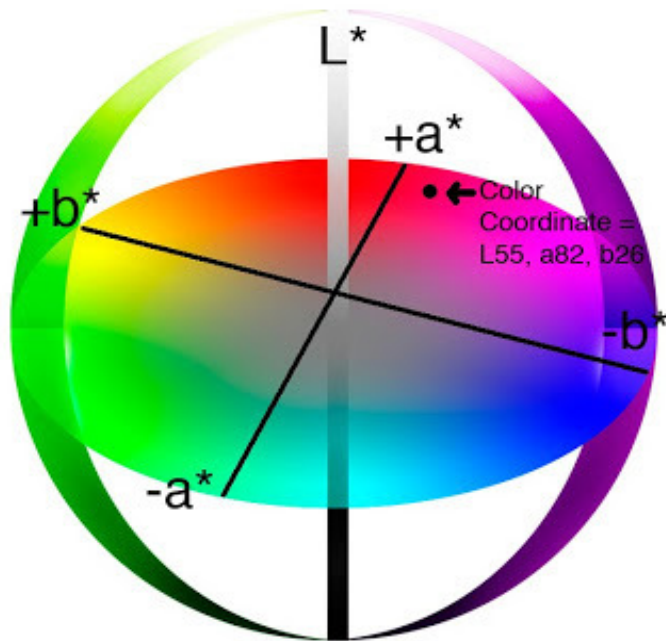
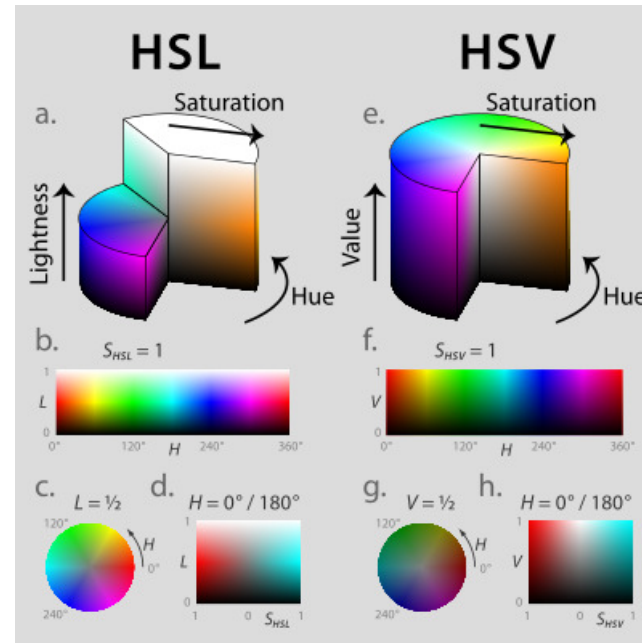
Outro exemplo é o espaço *HSV*, com as componentes Matiz (*Hue*), saturação (*Saturation*) e intensidade (*Value*).



Olhe o RGB ou o CMY pela diagonal principal



Mantém o H constante e varia o S e L



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.

Mantém o a e b constantes e varia só L

Modelo de Sensações Oponentes

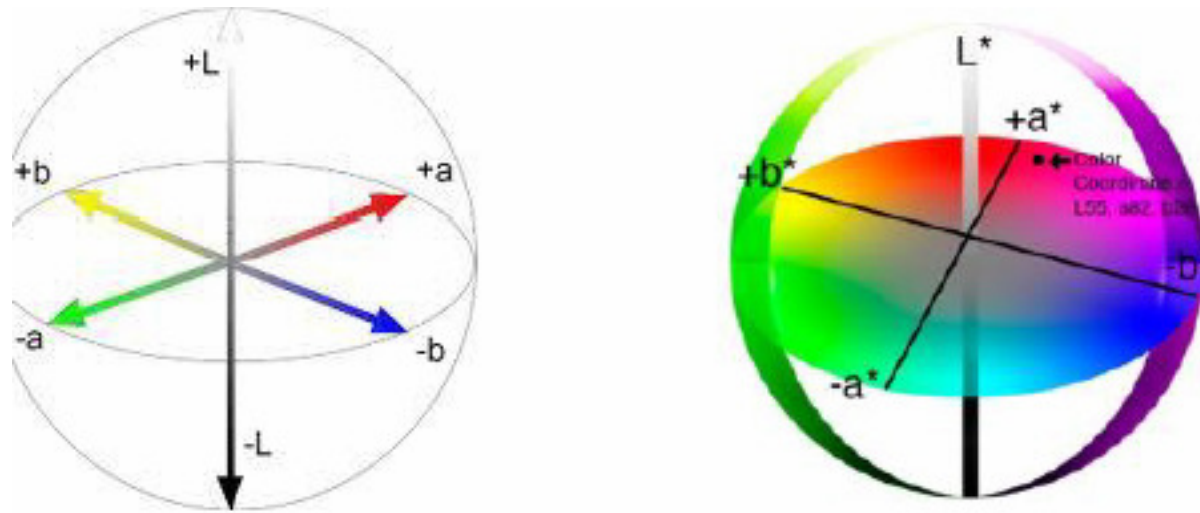
ESPAÇO DE CORES CIELAB

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:

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**

Lab













CONVERSÃO RGB -> Lab (se tiver definido como RGB)

Faz o calculo do shading

CONVERSÃO Lab -> RGB (para mostrar no video)

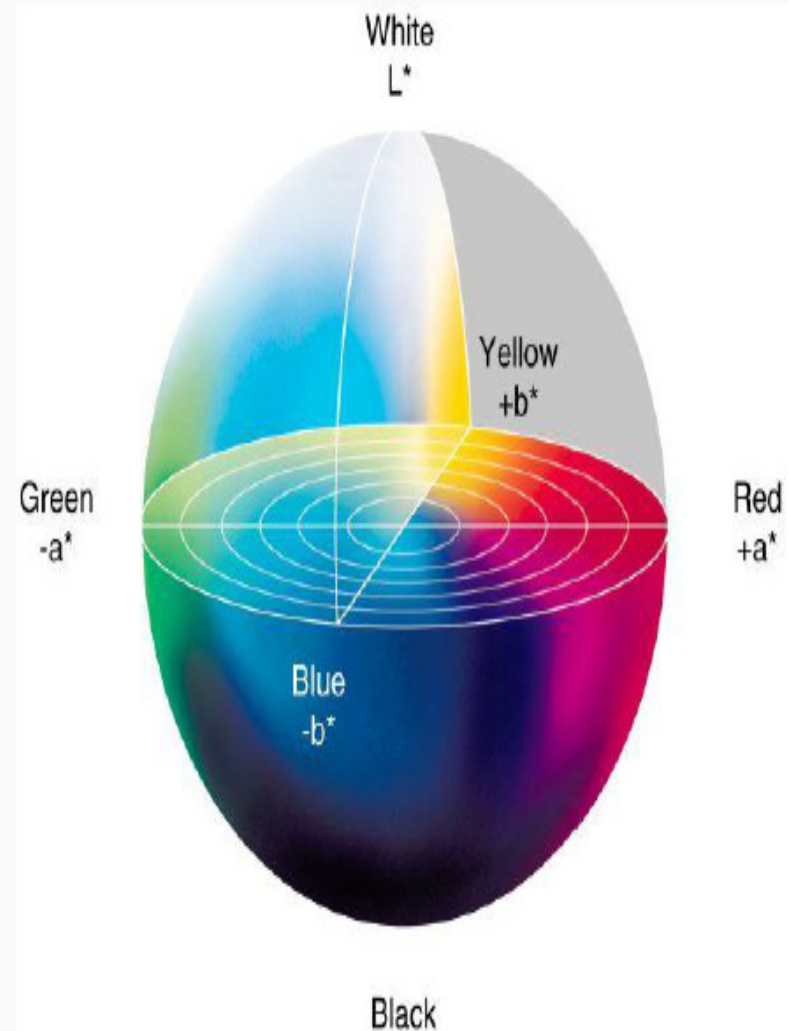
Exemplo de como transformar e então variar no shading só o canal L*

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

CIELAB

Criado pela *Commission International de l'Eclairage*. Utiliza como o LUV um canal de luminância(L) e dois de cromaticidade.(AB) e também é considerado como um sistema de cores subtrativo

As cores são definidas por coordenadas no espaço tridimensional da cor. Muito utilizado em materiais não emissores de luz, como tecidos, plásticos e tintas.



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**.

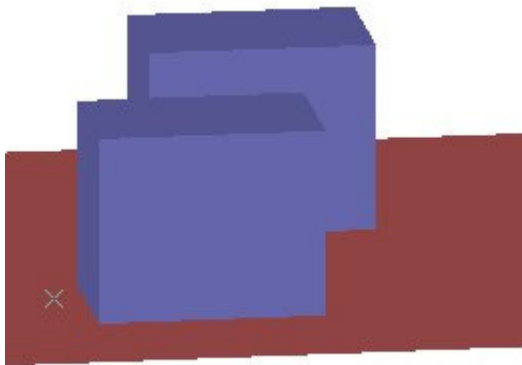
Este espaço consegue explicar vários fenômenos visuais que não são adequadamente explicados pelas outras teorias.

Luz direcional

A **direção da iluminação** é considerada, mas áreas mais distantes e mais próximas com mesmo ângulo em relação a luz são iluminadas igualmente.

Isso **não é muito realístico** pois se espera que áreas mais distantes da luz fiquem mais escuras!

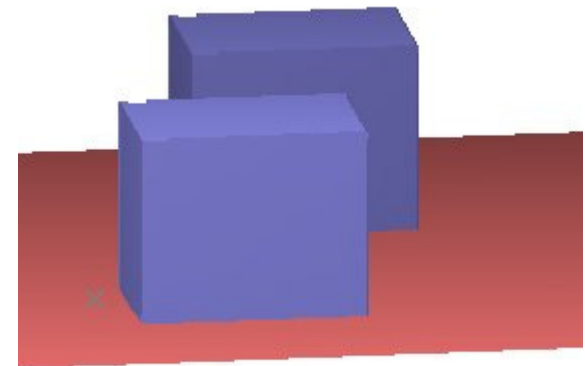
A **atenuação com a distância** pode ser de diversas maneiras: linear, quadrática, com fator de atenuação, associada ou não a constantes, etc.



$$I = I_a \cdot r_a + I_d r_d \cos \theta / (d+k)$$

$$I = I_a \cdot r_a + I_d r_d \cos \theta / (d+k)^2$$

$$I = I_a \cdot r_a + f_{at} I_d r_d \cos \theta$$



Superfícies dos objetos da cena

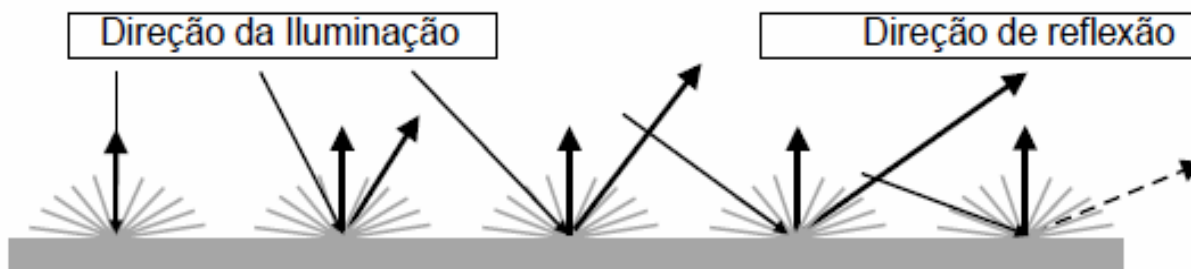
Forma como a luz é refletida pela superfícies:

- **Reflexão difusa** (superfícies foscas, sem lustro ou brilho) – aparece com mesma intensidade em todas as direções (dull, matte)
- **Reflexão especular** – tem um efeito de ter algum brilho , como se fosse de metal, envernizada, polida, plastificada ou encerada.

As superfícies dos objetos da cena

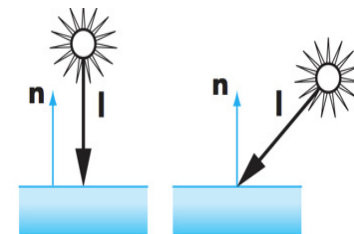
Modelo **Lambertiano** ou de objeto foscos

A intensidade da luz é independente do posição do visualizador da cena. **Iluminação isotrópica**. A intensidade luminosa obedece a **lei dos cossenos de Lambert**



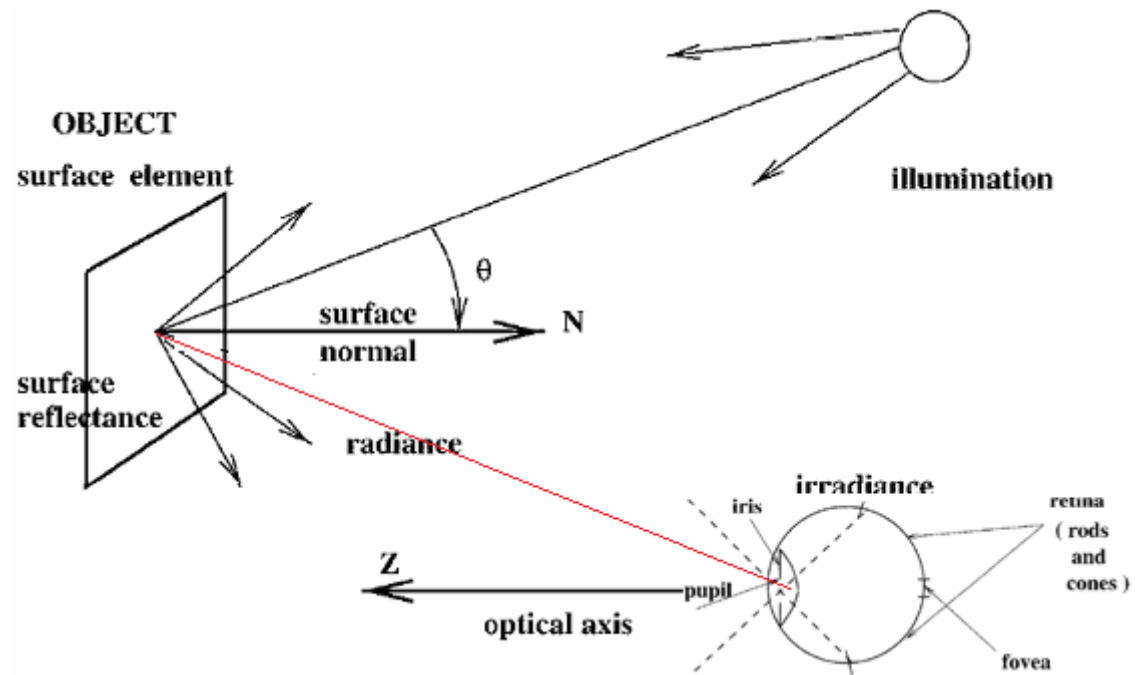
$$I_d = k_d(\mathbf{l} \cdot \mathbf{n})L_d.$$

$$\cos \theta = \mathbf{l} \cdot \mathbf{n}.$$



Principais “atores” do processo de iluminação colorida

Superfícies interagindo com os comprimentos de ondas da luz branca: a reflexão e a absorção influenciam a cor que a superfície aparenta ter.



Johann Heinrich Lambert (1728-1777)

Físico, matemático, astrônomo e filósofo suíço. Foi um dos criadores da fotometria e autor de trabalhos inovadores sobre as geometrias não euclidianas. Provou que o π é irracional.

Em 1760, ele publicou o livro : Photometria. Considerando que a luz viaja em linha reta, mostrou que a iluminação é proporcional à intensidade da fonte, inversamente proporcional ao quadrado da distância da superfície iluminada e ao ângulo de inclinação da direção da luz com a superfície. Estes resultados foram apoiados por observações e experiências.

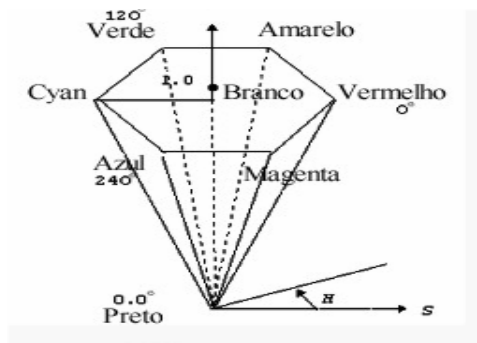
Em Photometria Lambert também formulou a lei da absorção da luz e introduziu o termo albedo. A unidade fotométrica Lambert é em reconhecimento ao seu trabalho.

Lambert também foi pioneiro no desenvolvimento de modelos de cores tridimensionais combinando pigmentos vermelhos, amarelos e azuis, e com branco.

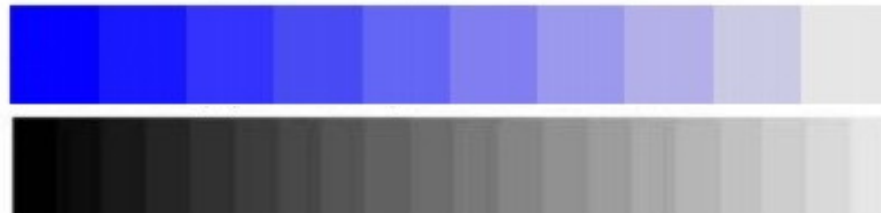
3 cores primarias: vermelho, amarelo e o azul.

Função das cores dos objetos

Dependendo da forma de representação se usam as expressões anteriores separadamente para cada canal **RGB**, ou **HSV**, ou seja considerado I=cada canal da imagem:



$$I_l = I_{al} \cdot r_{al} + f_{at} I_{dl} (r_{dl} \cos \theta) + f_{at} I_d r_s \cos^n \alpha$$



$$C = r R + g G + b B$$

onde **R**, **G** e **B** são as cores primárias e *r*, *g* e *b* os coeficientes da mistura

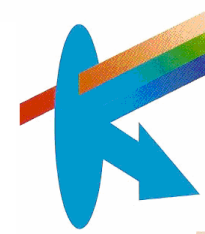
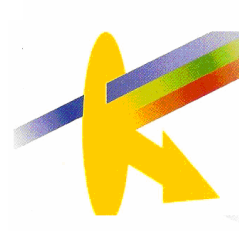
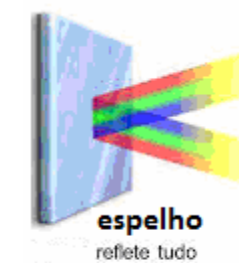
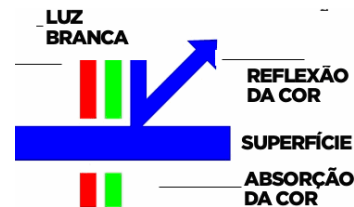
Reflexão especular

Em algumas superfícies funcionam como “espelhos” onde os **fótons não interagem com os pigmentos**, refletindo toda a cor original que nelas chega.

Modelos:

Cook-Torrance

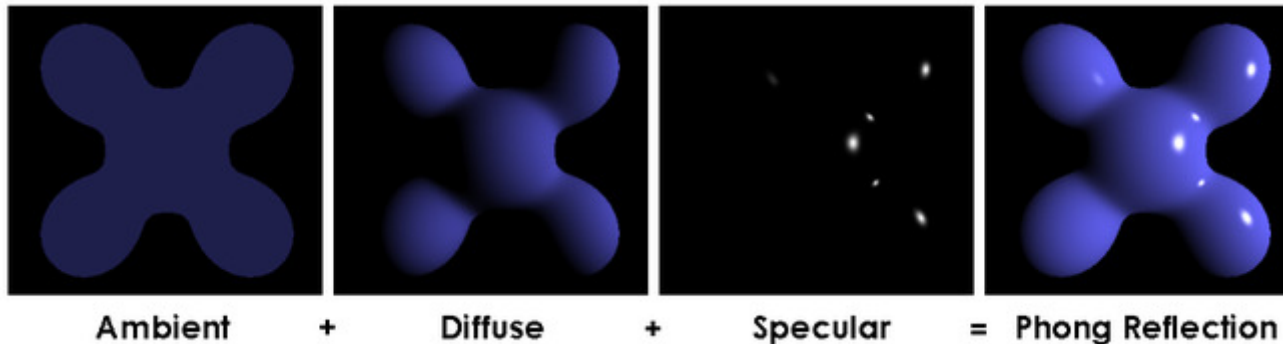
Phong



Phong reflection model

Empírico e local.

Combina luz difusa (superfícies foscas) e especular (superfícies com brilho)



Luz branca e objeto azul

Bui Tuong Phong (1942- 1975)

Vietnamita, nascido em Hanoi, (Bui é o sobrenome e Phong seu nome, no Vietnam como o Brasil se considera muito o primeiro nome). Se formou como engenheiro em Toulouse, e entrou para o IRIA (*Institut de Recherche en Informatique et en Automatique*) em 1968. Ph.D. na University of Utah em 1973. Professor da Universidade de Stanford até morrer de leucemia.

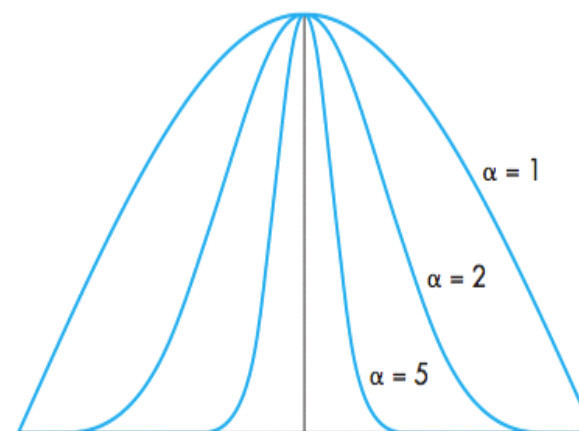
No modelo de Phong a **intensidade luminosa** é proporcional ao ângulo entre o observador e a direção de reflexão

Usando parâmetros **R** entre zero e um:

$$I = I_a + I_d + I_s = L_a R_a + L_d R_d + L_s R_s$$

$$I_s = k_s L_s \cos^\alpha \phi.$$

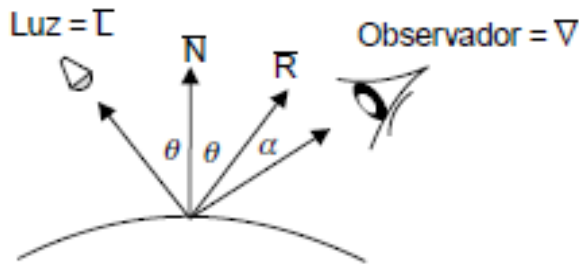
$$\cos \phi = \mathbf{r} \cdot \mathbf{v}$$



Phong reflection model

Aparece mais um ângulo na expressão!

$$I = I_a \cdot r_a + f_{at} I_d (r_d \cos \theta + r_s \cos^n \alpha)$$



$$I = I_a \cdot r_a + f_{at} I_d (r_d (u_e \cdot u_n) + r_s (u_r \cdot u_v)^n)$$

Múltiplas fonte:

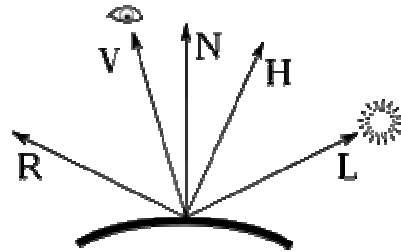
$$I = I_a \cdot r_a + \sum_{j=1}^J I_{dj} (r_d (u_{ej} \cdot u_n) + r_s (u_{rj} \cdot u_v)^n) / (d_j + k_j)$$

ou

$$I = I_a \cdot r_a + \sum_{j=1}^J f_{atj} I_{dj} (r_d (u_{ej} \cdot u_n) + r_s (u_{rj} \cdot u_v)^n)$$

Outros:

ângulo entre o observador e a direção de reflexão é substituído pelo metade do ângulo que a luz refletida faz com a normal



Uma alternativa ao modelo de luz especular de Phong é o uso do vetor de *intensidade de luz especular máxima* ou *vetor de caminho médio*, H, esse vetor é definido usando a direção da fonte de luz, L, e de visualização, V, como:

$$\bar{H} = \frac{\bar{L} + \bar{V}}{|\bar{L} + \bar{V}|} \text{ ou } \bar{H} = (\bar{L} + \bar{V})/2 \text{ se } |\bar{L}| = |\bar{V}| = 1$$

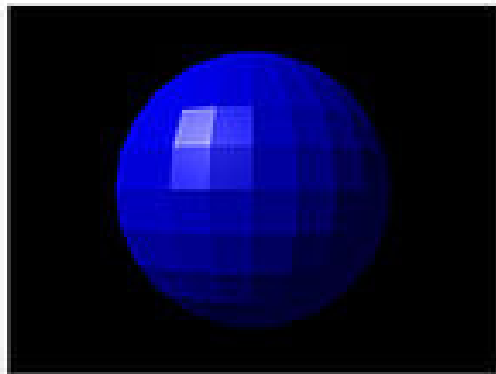
Flat shading

Produz bons resultados apenas se o objeto for mesmo de faces planas.

Cada polígono que compõem o objeto tem seu tom baseado no ângulo de sua normal com a direção da luz, sua cor e a cor da fonte de luz.

De modo que toda a face tem um tom constante.

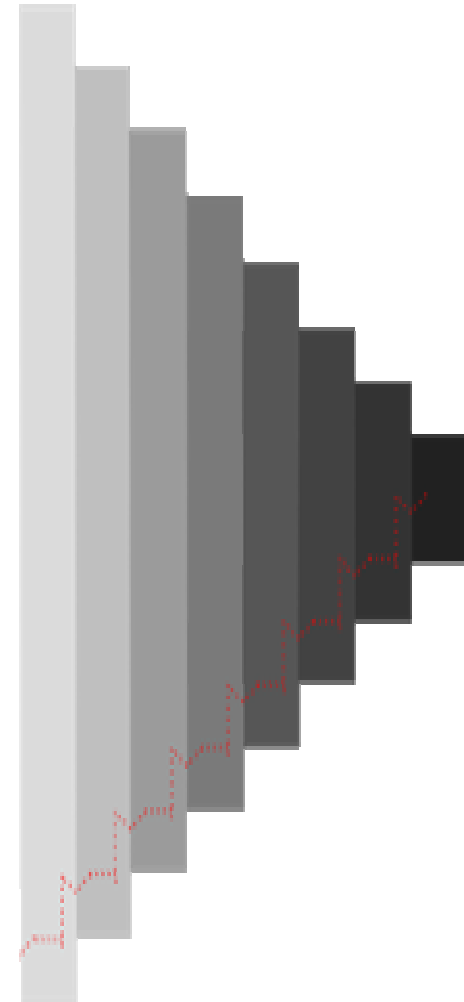
Efeito de bandas de Mach



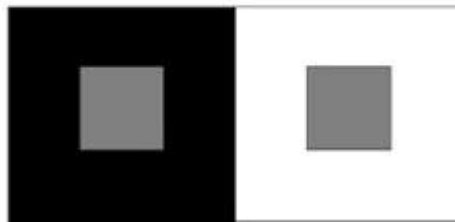
FLAT SHADING

As bandas de Mach

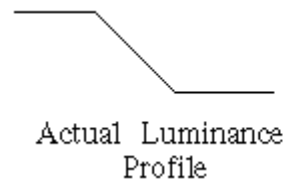
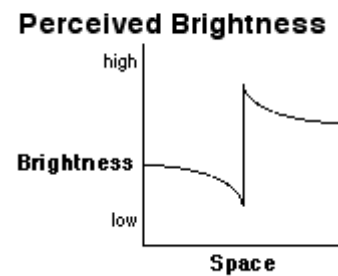
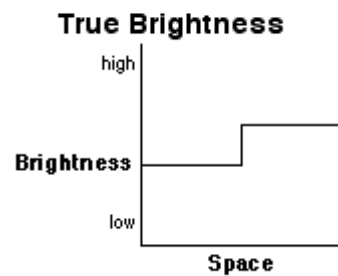
são efeitos de intensificação de contraste observados pelo olho humano: diferente gradiente de luminosidade tem sua fronteira com contraste amplificado. O nome desta ilusão é uma referência a Ernst Mach.



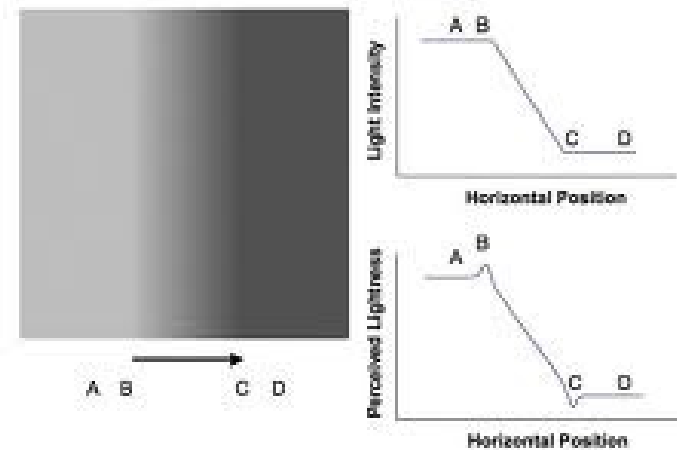
Bandas de Mach, intensidades constantes ou variações de intensidade constantes



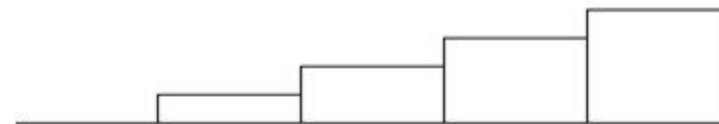
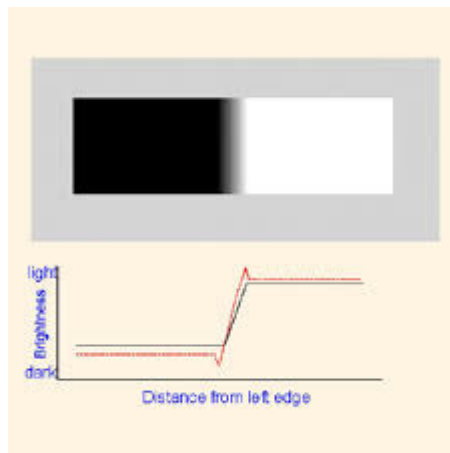
How the eye works



Mach bands



Mach Bands:
Perceived changes in luminance near the edges of a luminance gradient.



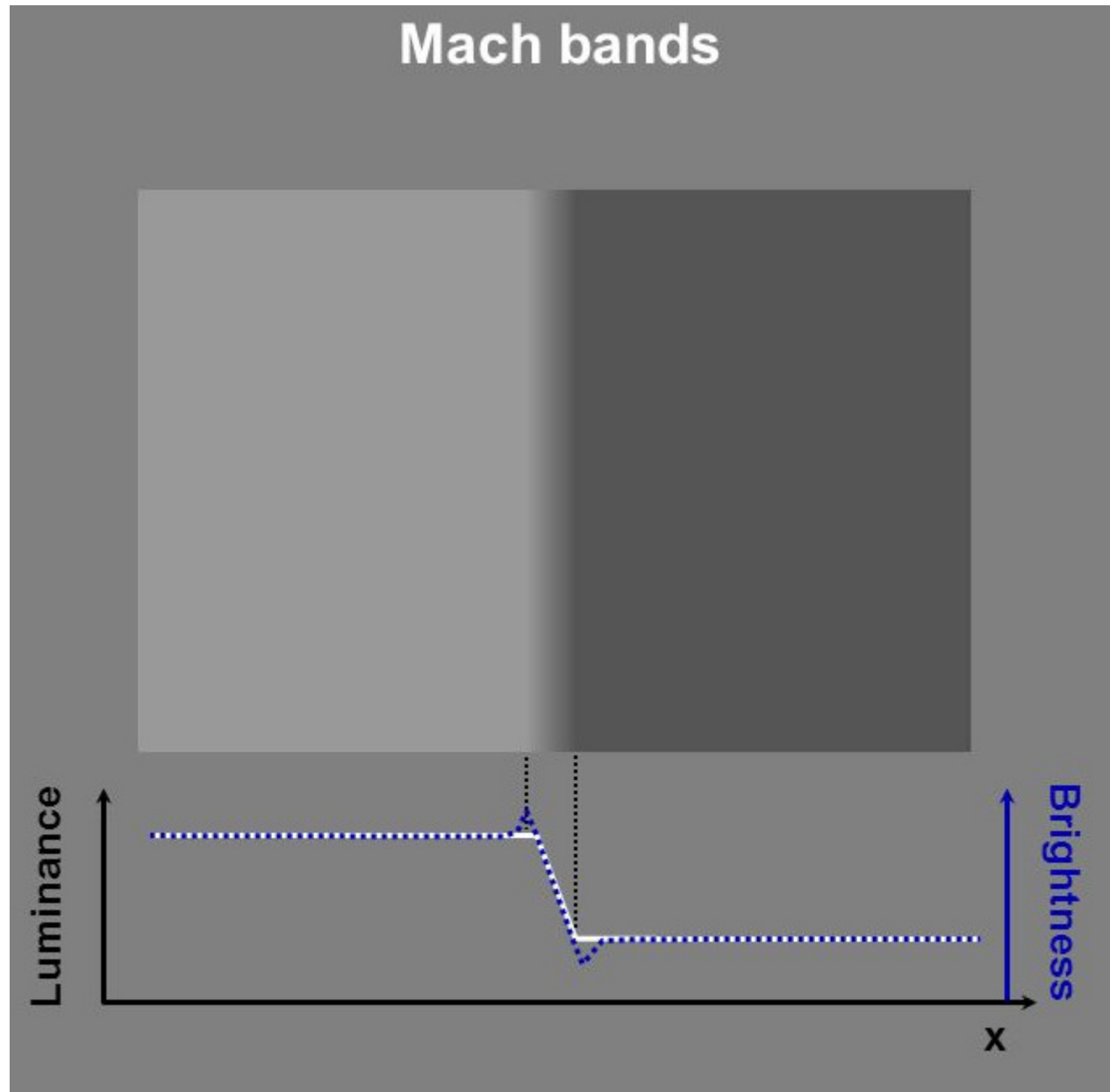
signal original



signal avec Mach bands

Bandas de Mach, intensidades constantes ou variações de intensidade constantes

Bandas de Mach,
intensidades constantes
ou variações de
intensidade constantes



Ernst Waldfried Josef Wenzel Mach

(Brno, 1838 — Vaterstetten, 1916) foi um físico e filósofo austríaco. austríaco.2

Foi professor de matemática em Graz.

Depois de física em Praga, quando opôs-se à introdução da língua tcheca como idioma oficial na mesma universidade, alinhando-se entre os partidários da dominação alemã na região.

Superfícies curvas

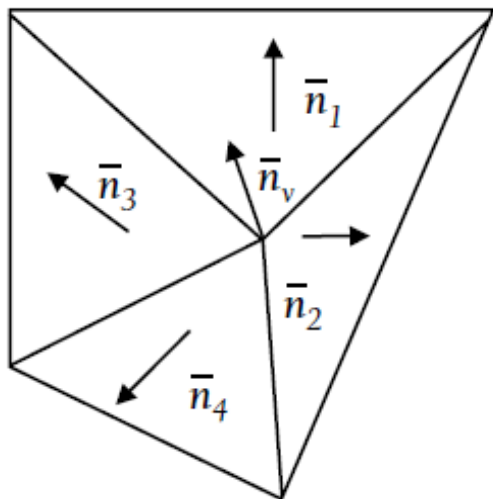


Smooth shading

O sombreamento varia de pixel para pixel:

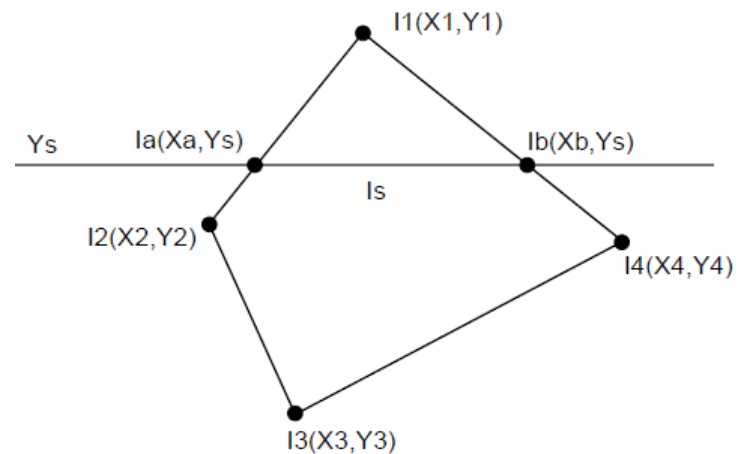
Gouraud shading – calcula a iluminação dos vértices e faz interpolação linear no interior.

Supõem a normal nos vértices como média das normais das faces que chegam ao vértice.



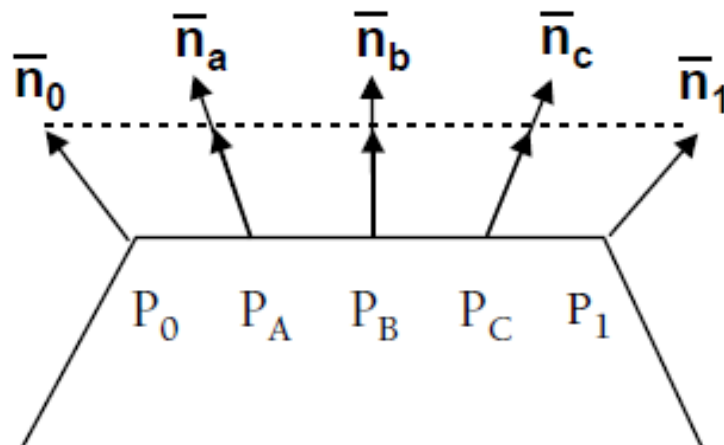
$$\bar{n}_i = \frac{n_i}{|n_x| + |n_y| + |n_z|}$$

$$n_v = \sum_{i=1}^k \frac{\bar{n}_i}{k}$$



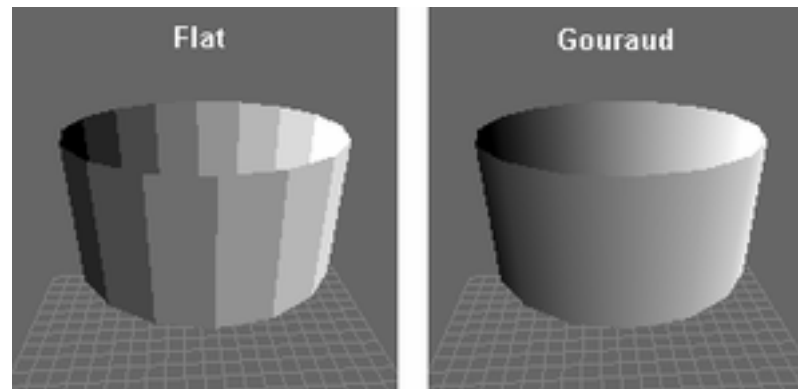
Smooth shading

Phong shading – faz a interpolação das normais dos polígonos já rasterizados para daí calcular o tom do ponto da superfície



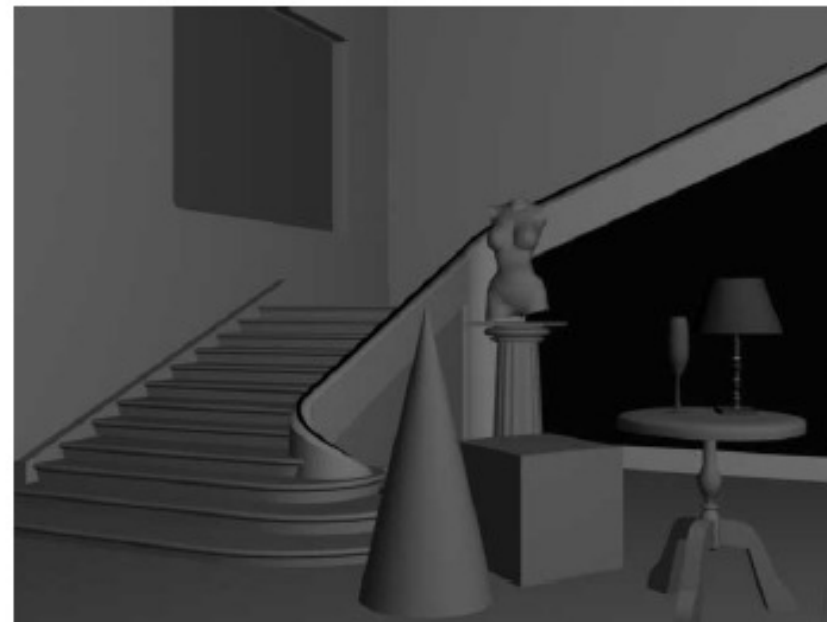
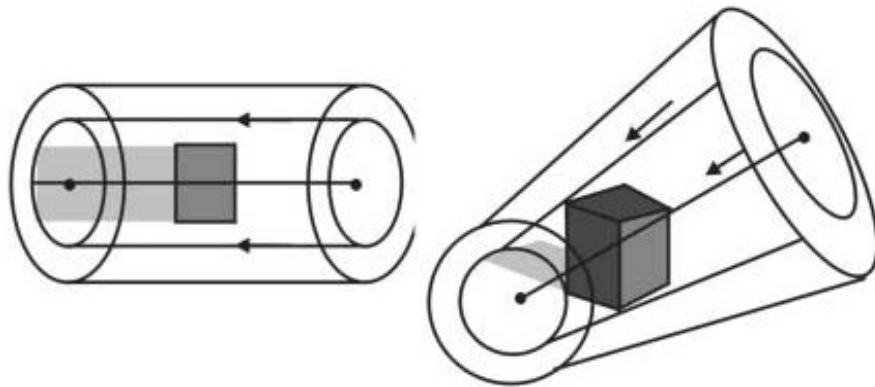
Henri Gouraud (1944- ...)

Francês, estudo de 1964–1967 na Escola Central de Paris, em 1971 recebeu seu Ph.D. pela Universidade de Utah pelo trabalho de título: **Computer display of curved surfaces**



Luz direcional

A direção da iluminação é considerada, mas áreas mais distantes e mais próximas com mesmo ângulo em relação a luz são iluminadas igualmente



Tratamento de Iluminação especular

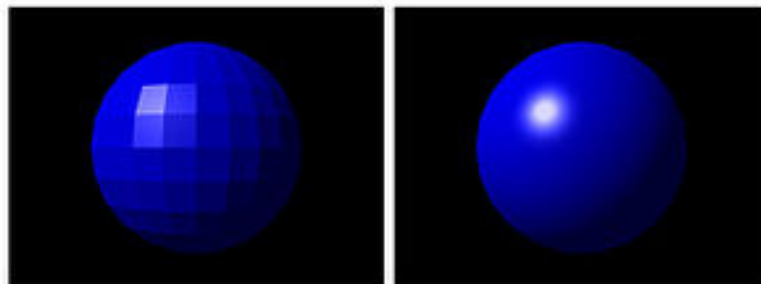
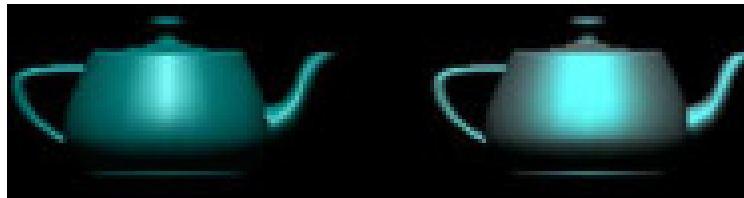
Shininess Coefficient

Ou coeficiente de brilho da luz especular:

Metais entre 100 e 200

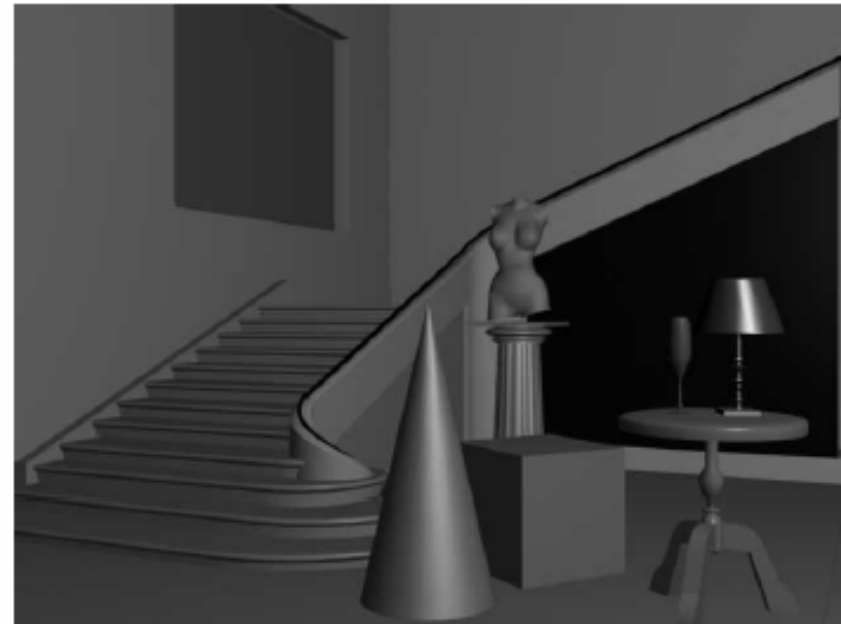
Plástico entre 5 e 10

Única diferença é o coeficiente de brilho da luz especular



FLAT SHADING

PHONG SHADING



Bibliografia:

E. Azevedo, A. Conci, *Computação Gráfica: teoria e prática*, Campus ; - Rio de Janeiro, 2003

J.D.Foley,A.van Dam,S.K.Feiner,J.F.Hughes. *Computer Graphics- Principles and Practice*, Addison-Wesley, Reading, 1990.

H. Watt, F. Policarpo - *The Computer* , Addison-Wesley Pub Co (Net); 1998

http://en.wikipedia.org/wiki/Shadow_mapping

https://noppa.oulu.fi/noppa/kurssi/521493s/luennot/521493S_3-d_graphics_vi.pdf

<http://graphics.stanford.edu/papers/rad/>