



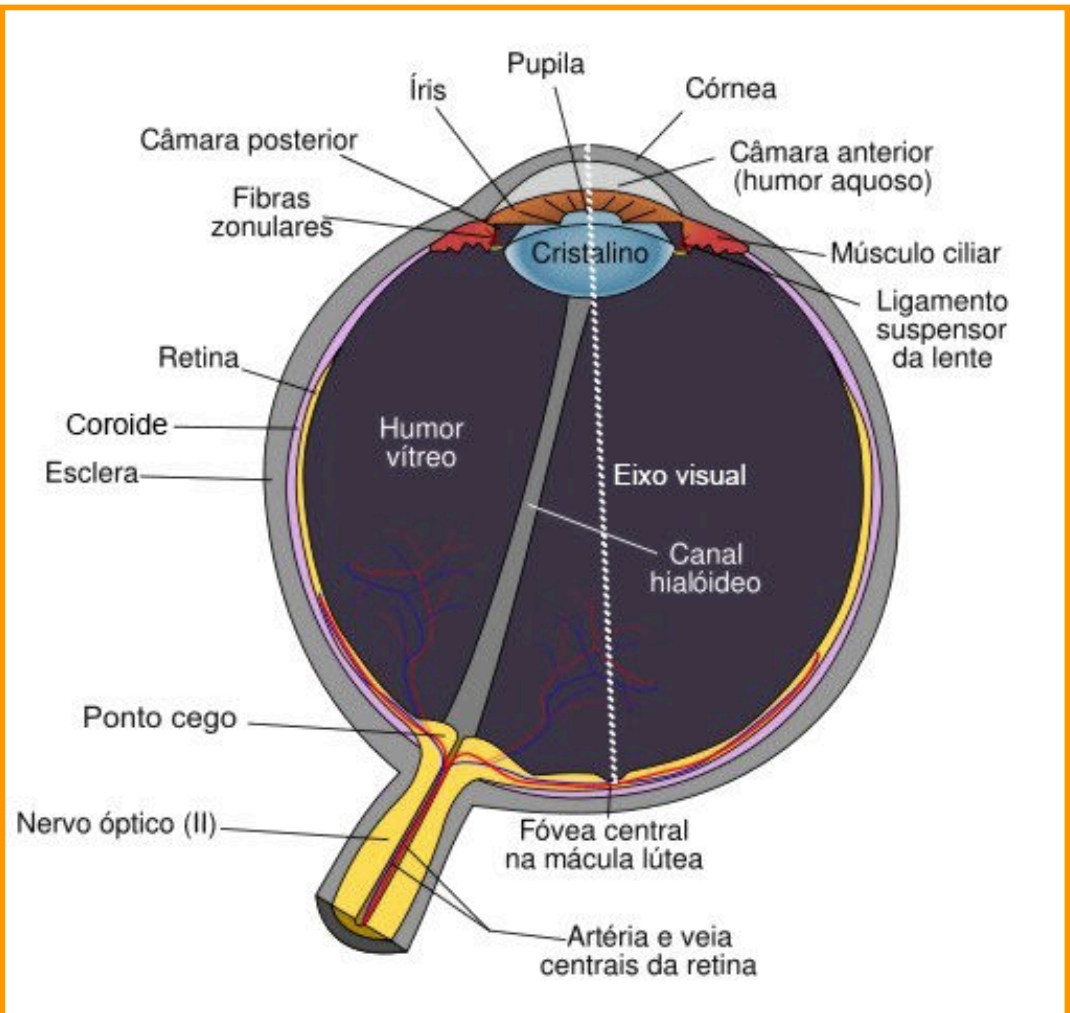
CORES E SISTEMAS DE CORES

Adair Santa Catarina
Curso de Ciência da Computação
Unioeste – Campus de Cascavel – PR

Jan/2021

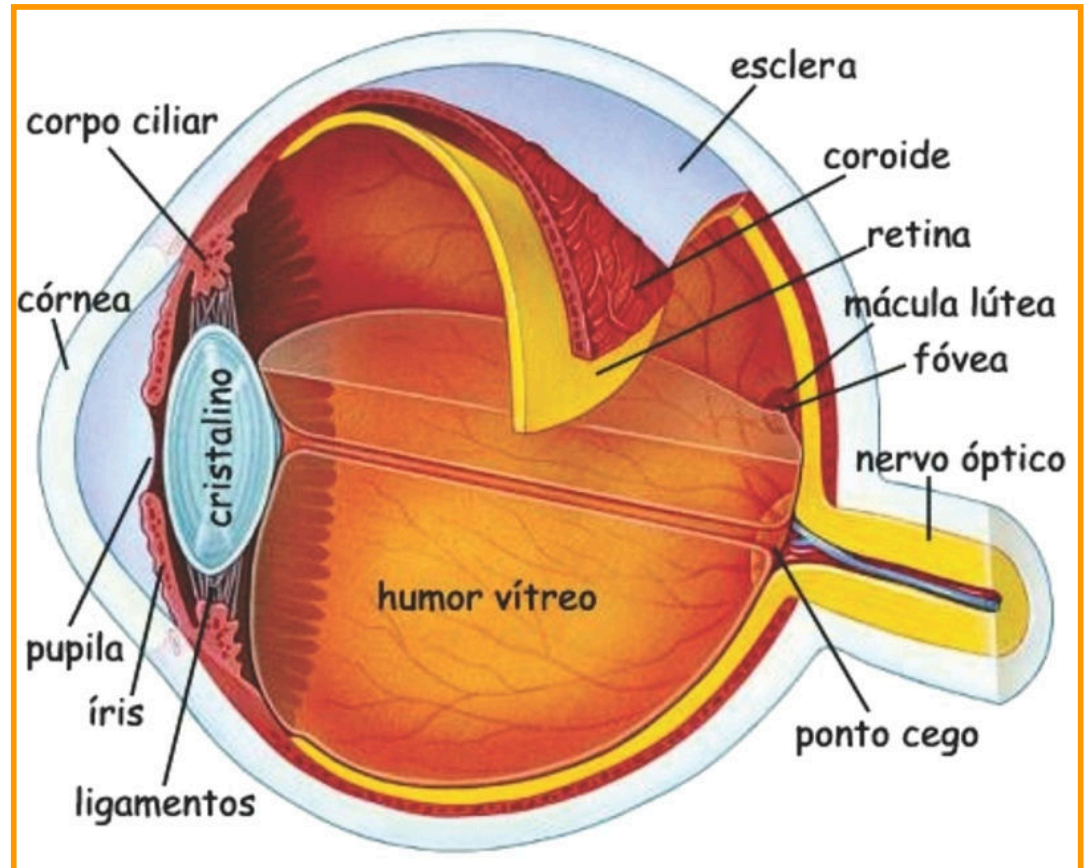
A Estrutura do Olho Humano

O olho humano é praticamente uma esfera com diâmetro médio de 20mm, revestida por 3 membranas: córnea+esclera, coroide e retina. A córnea e a esclera revestem o globo ocular.



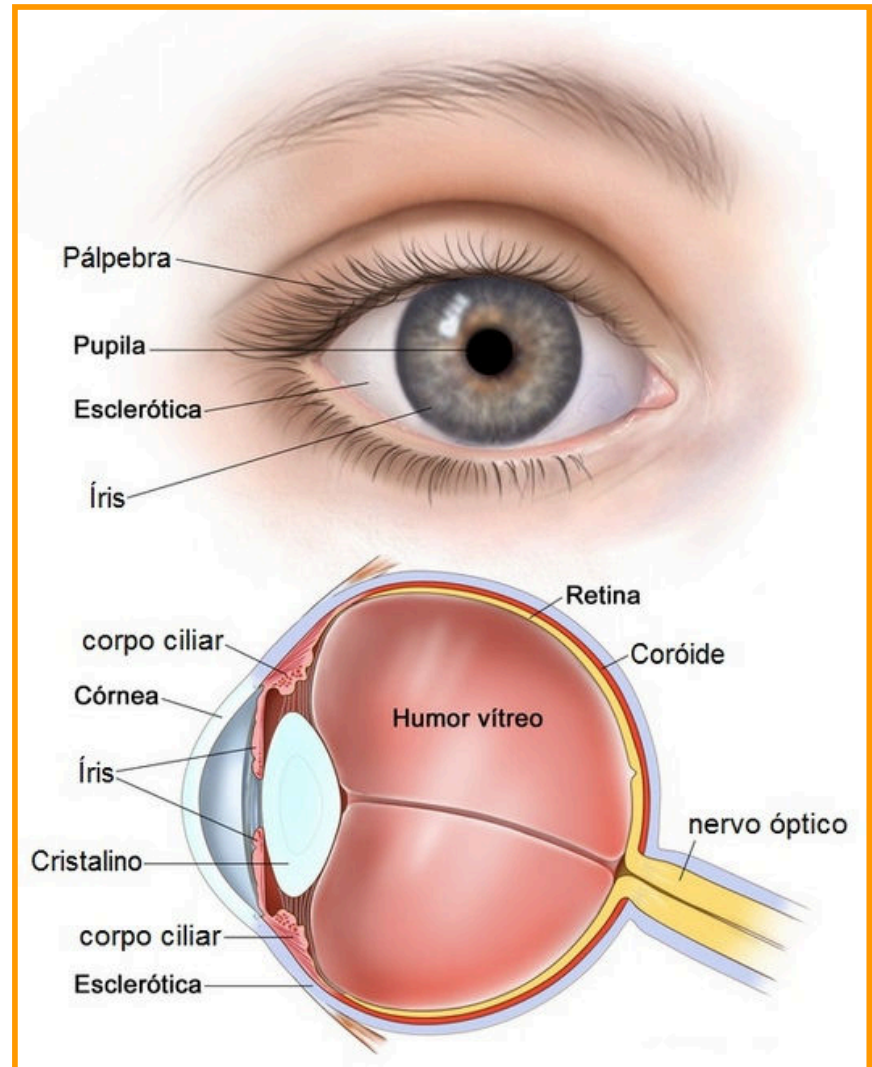
A Estrutura do Olho Humano

A coroide localiza-se diretamente abaixo da esclera e conta com uma rede de vasos sanguíneos que atuam na nutrição do olho.



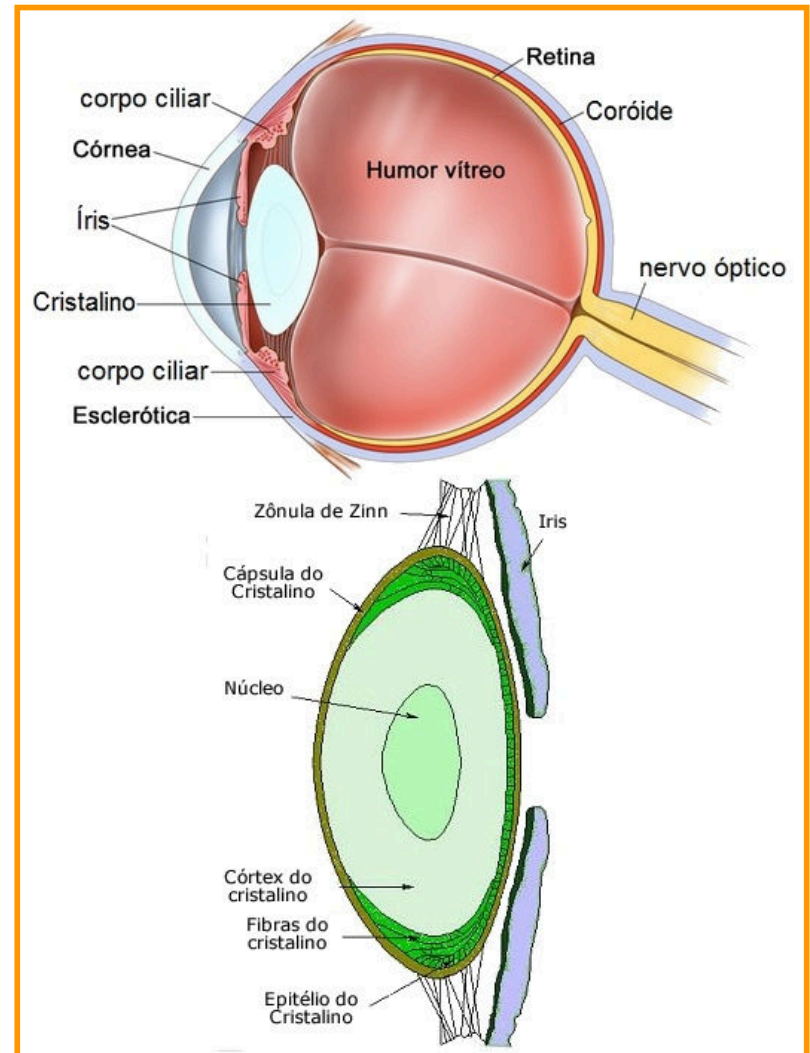
A Estrutura do Olho Humano

Na parte frontal a coróide divide-se em corpo ciliar e íris (porção colorida). A parte central da íris é a pupila, cujo abertura varia de 2 a 8 mm de diâmetro, regulando a quantidade de luz que entra no olho.



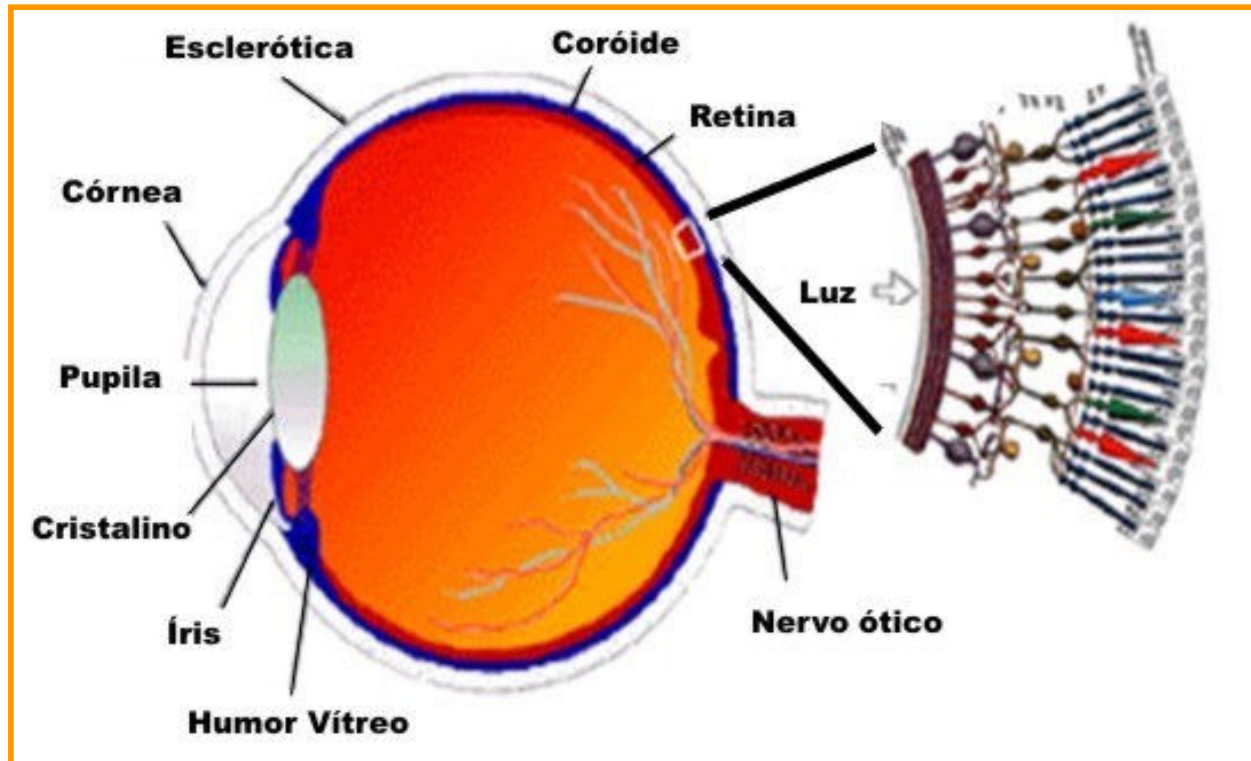
A Estrutura do Olho Humano

Atrás da íris fica o cristalino, uma lente biconvexa (lentilha) suspensa por fibras ligadas ao corpo ciliar. É ligeiramente amarelado e filtra principalmente a luz infravermelha e a ultravioleta.



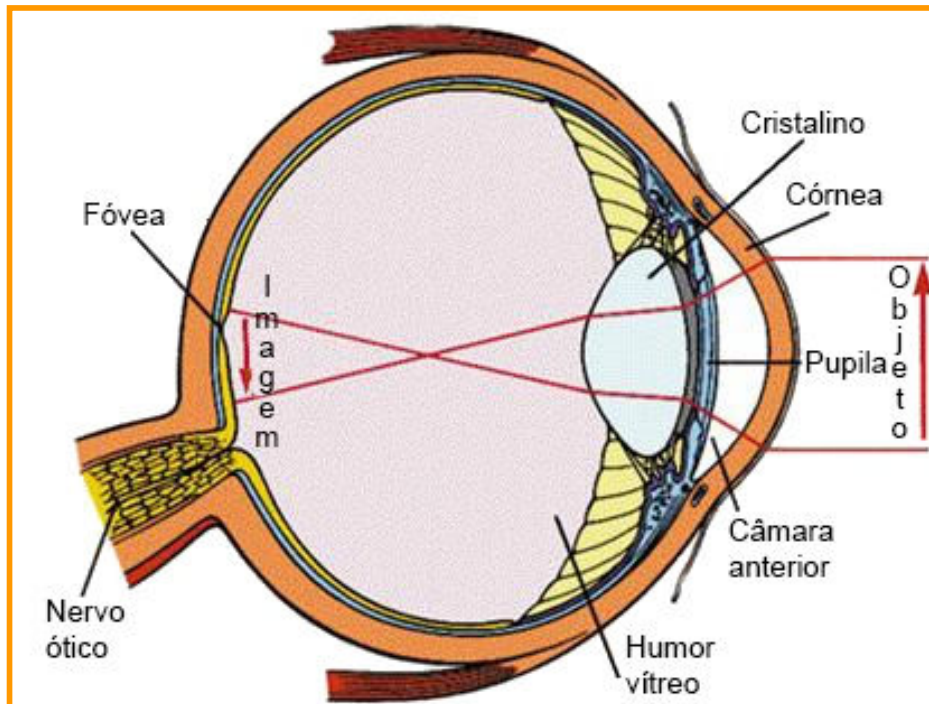
A Estrutura do Olho Humano

A membrana mais interna é a retina localizada na parede posterior do olho. Na retina ficam as células receptoras de luz: os cones e os bastonetes.



Os Cones

O olho possui cerca de 6 a 7 milhões de cones, concentrados na região central da retina, chamada de fóvea, e são muito sensíveis à cor. Cada cone está conectado à sua própria terminação nervosa.



Os músculos giram o globo ocular até que a imagem do objeto de interesse incida na fóvea.

A visão pelos cones é chamada visão **fotópica** ou visão de luz clara.



Os Bastonetes

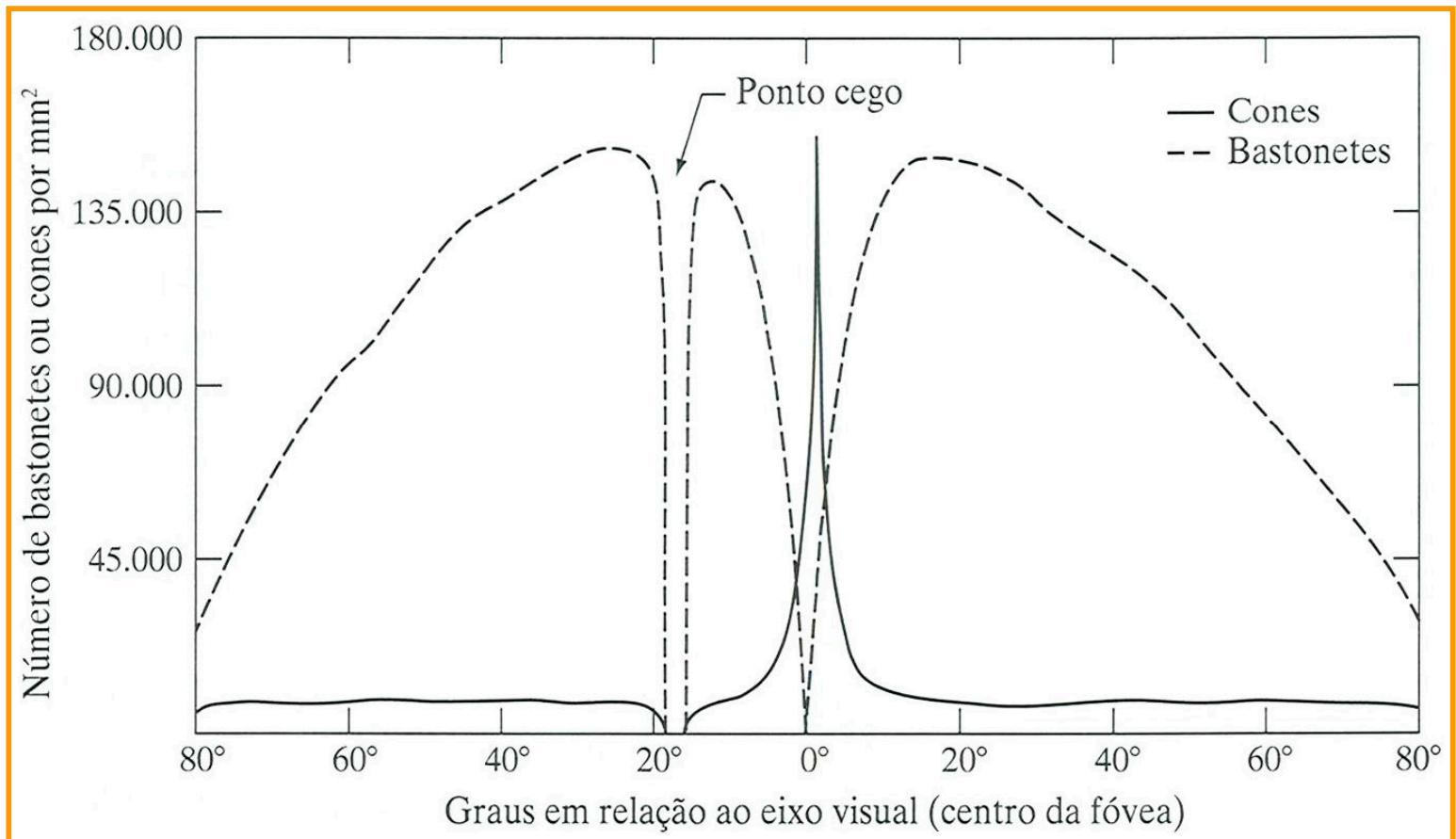
O número de bastonetes é de aproximadamente 125 milhões, distribuídos pela superfície da retina. A ampla distribuição e o fato dos bastonetes compartilharem terminações nervosas reduz a definição da imagem captada por estas células.

Os bastonetes fornecem uma imagem geral do campo de visão, sem cores. São 100 vezes mais sensíveis à luz que os cones.

Objetos coloridos aparecem descoloridos sob o luar, pois só os bastonetes são estimulados. A visão pelos bastonetes é conhecida como visão **escotópica** ou visão de luz escura.



A Distribuição dos Cones e Bastonetes



A Luz

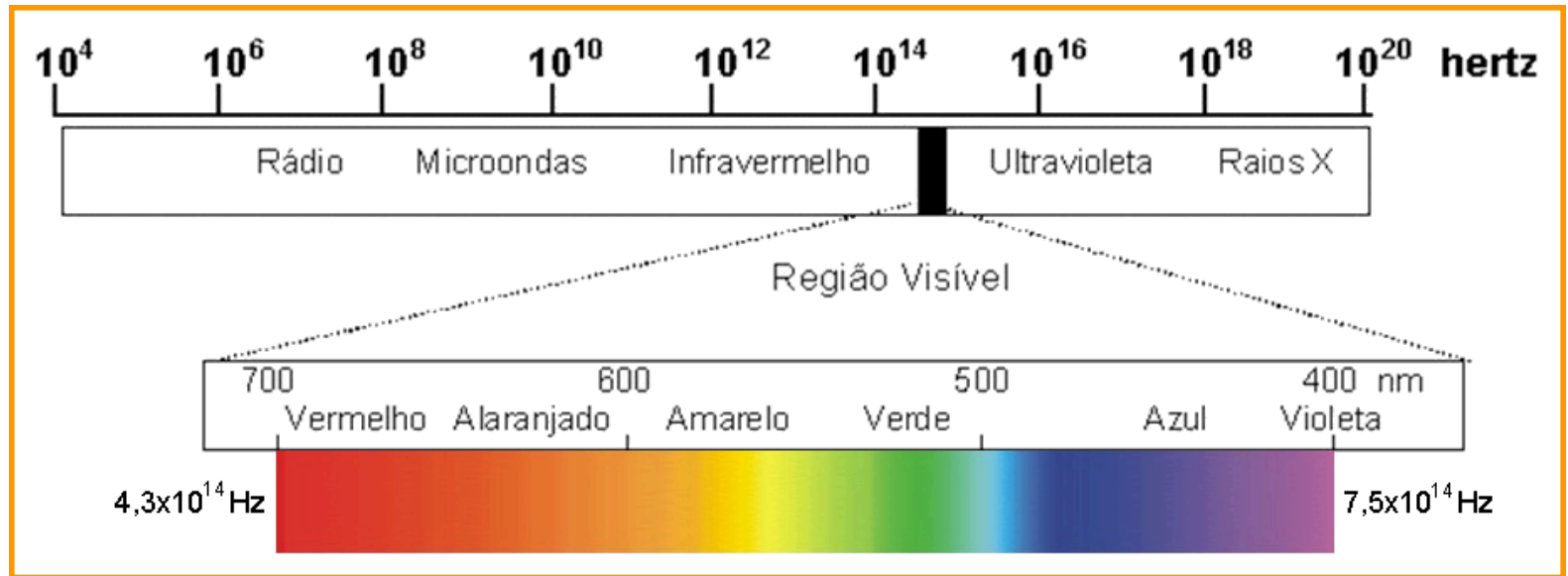
Em 1666, Sir Isaac Newton decompôs um feixe de luz solar usando um prisma de vidro.



A luz consiste em um espectro contínuo de cores, que varia do Vermelho em uma extremidade ao Violeta na outra.



O Espectro Eletromagnético



Dois modelos clássicos descrevem os fenômenos luminosos: Corpuscular (fótons) e Ondulatório. Atualmente o modelo mais aceito assume que a luz pode assumir os dois comportamentos:

Modelo onda-corpúsculo.

A Percepção da Cor

Em 1802, Thomas Young, propôs a **teoria tricromática**, afirmando que a percepção de cor dependia de 3 tipos de fotorreceptores presentes na retina.



Young mostrou que todas as cores do espectro visível podiam ser representadas pela soma de três cores primárias, em decorrência da composição do sistema visual humano.

Hermann von Helmholtz (1850) continuou os estudos de Young, e hoje a teoria tricromática é conhecida como teoria de **Young-Helmholtz**.



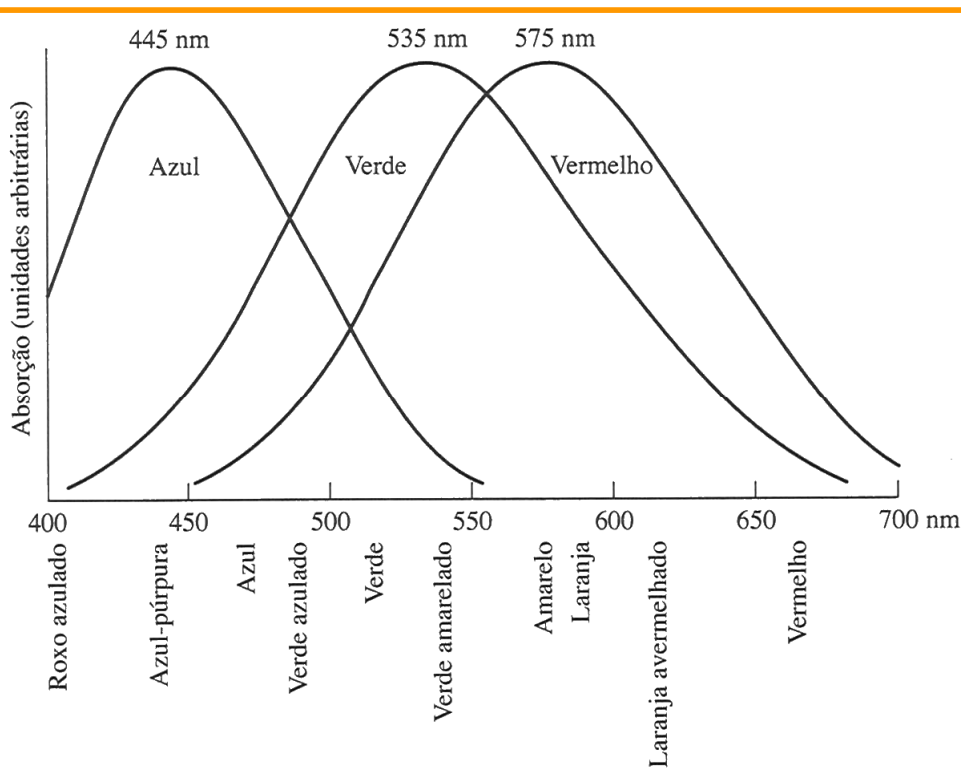
A Percepção da Cor

O olho contém 3 tipos de receptores (cones) que respondem mais fortemente aos comprimentos de onda Vermelho (R), Verde (G) e Azul (B).

O primeiro possui pico de resposta em 445nm (azul).

O segundo possui pico de resposta em 535nm (verde).

O terceiro possui pico de resposta em 575nm (vermelho).



A Percepção da Cor

Os cones podem ser divididos em: 65% sensíveis à luz vermelha, 33% sensíveis à luz verde e 2% sensíveis à luz azul (os mais sensíveis).

Helmholtz deduziu que os receptores são sensíveis à incidência luminosa, mas com diferentes pontos máximos. A 470nm a média de resposta R:G:B seria 1:5:9 (azul ciano). A 570nm a média seria 7:7:2 (amarelo).

Portanto, a percepção de cor é determinada pela **média das três respostas.**



Colorimetria

Conjunto de técnicas que permite definir e comparar cores. Estuda e quantifica como o sistema visual humano percebe a cor.

Tem como referência o observador padrão ou observador médio, determinado a partir de experimentos.

Baseia-se na premissa que qualquer cor pode sempre ser definida por três parâmetros: o **matiz**, a **saturação** e o **brilho**.



Colorimetria

O **matiz** caracteriza o comprimento de onda dominante da cor. Também é chamado de tonalidade cromática.

A **saturação** mede a pureza da cor; quanto maior o domínio de um comprimento de onda, maior é a sua saturação.

O **brilho** corresponde ao grau de luminância da superfície examinada. Também chamado de intensidade ou claridade.



Sistemas de Cores

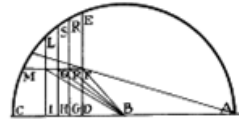
São sistemas que explicam as propriedades ou o comportamento das cores percebidas pelos seres humanos, num contexto particular.

Não existe um sistema que explique todos os aspectos relacionados às cores, o que motivou a definição de diversos sistemas.

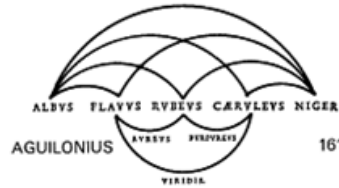
Como exemplo de sistemas de cores temos:
XYZ, RGB, CMYK, HSV, HLS, YIQ, YUV, YCbCr,
YPbPr, RYB, CIELAB.



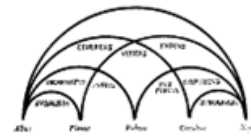
Sistemas de Cores



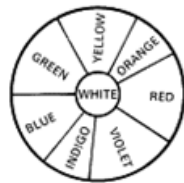
DELLA PORTA 1593



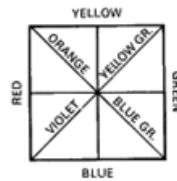
AGUILONIUS 1613



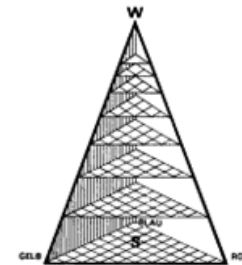
KIRCHER 1646



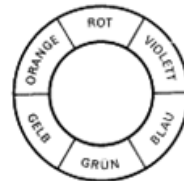
NEWTON 1660



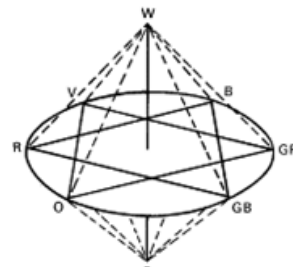
WALLER 1686



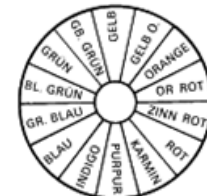
LAMBERT 1772



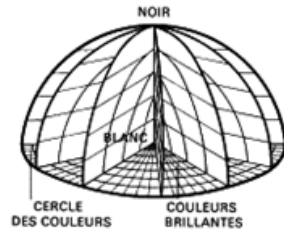
GOETHE 1793



RUNGE 1810



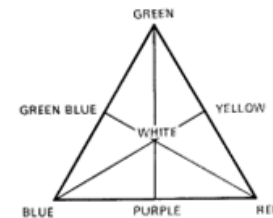
HERSCHEL 1817



CHEVREUL 1839



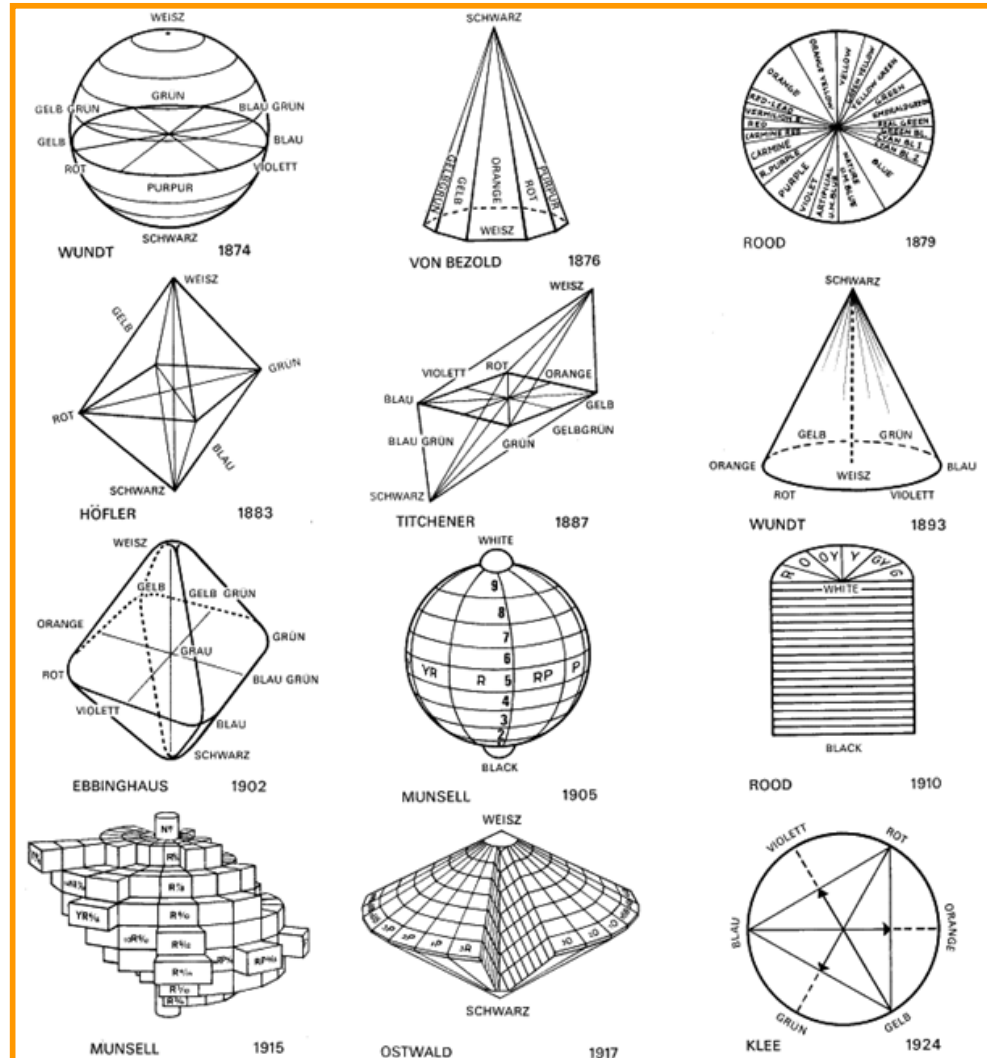
SCHREIBER 1840



MAXWELL 1857

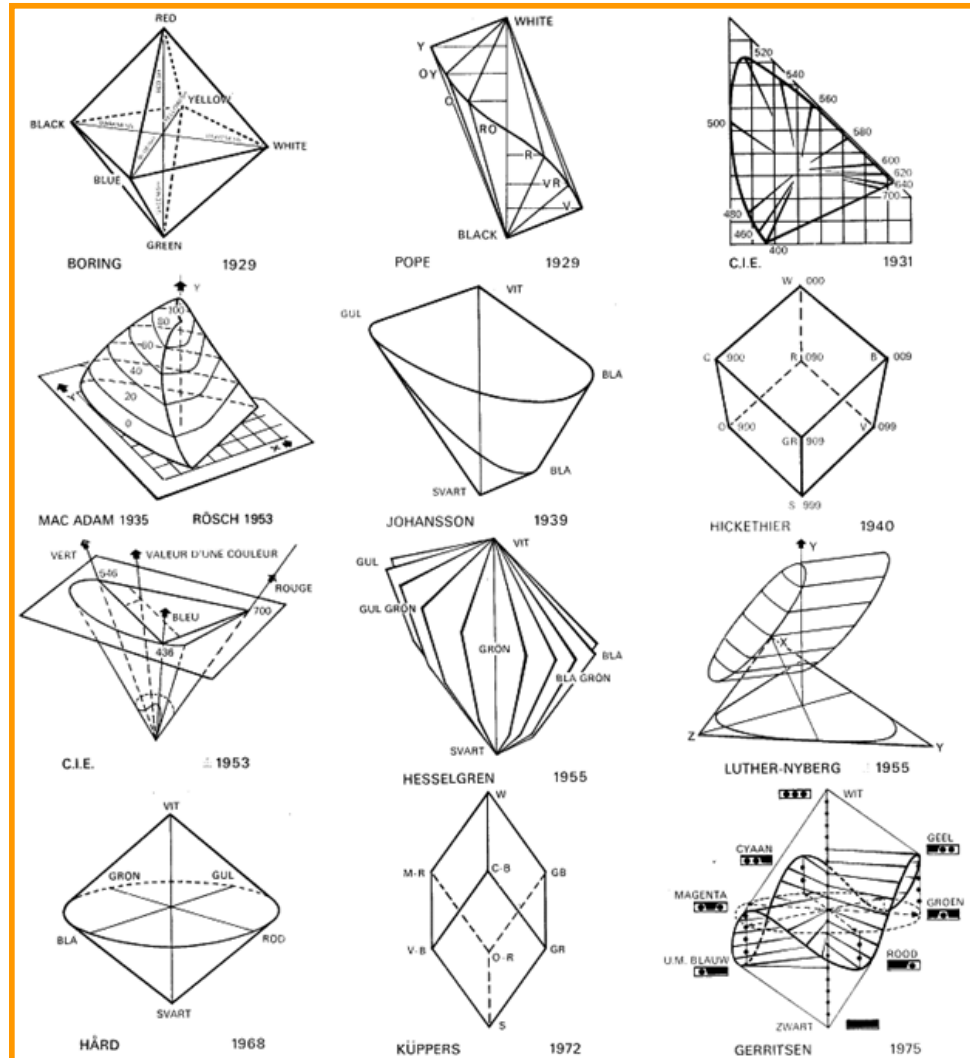


Sistemas de Cores





Sistemas de Cores





Sistemas de Cores Primárias

São sistemas que utilizam 2 ou 3 cores, chamadas de primárias, para produzir as demais.

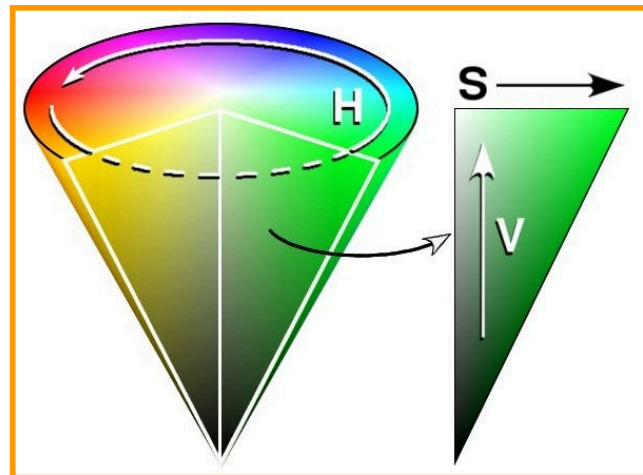
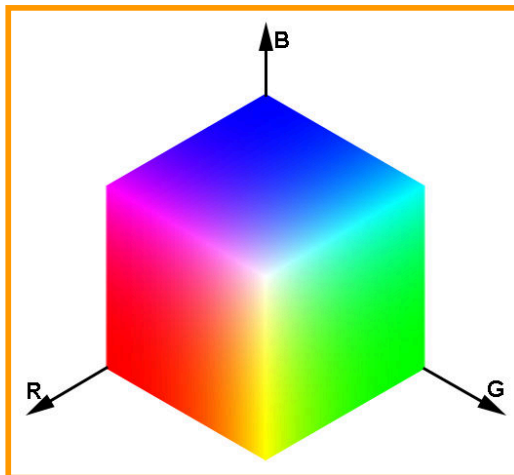
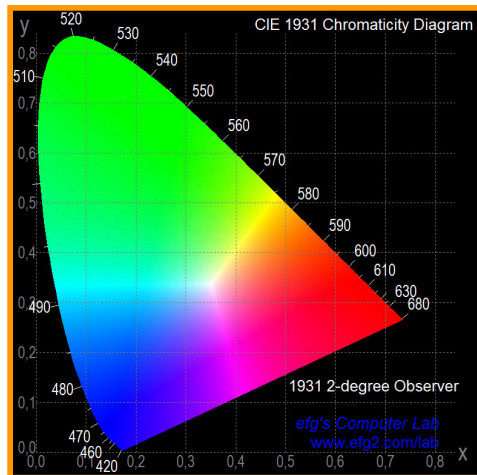
As demais cores são produzidas pela combinação das primárias ou a partir da composição de suas combinações.

Não existe um conjunto finito de cores primárias capaz de produzir todas as cores visíveis, mas sabe-se que uma grande quantidade pode ser produzida a partir de 3 primárias.

Sistemas de Cores Primárias

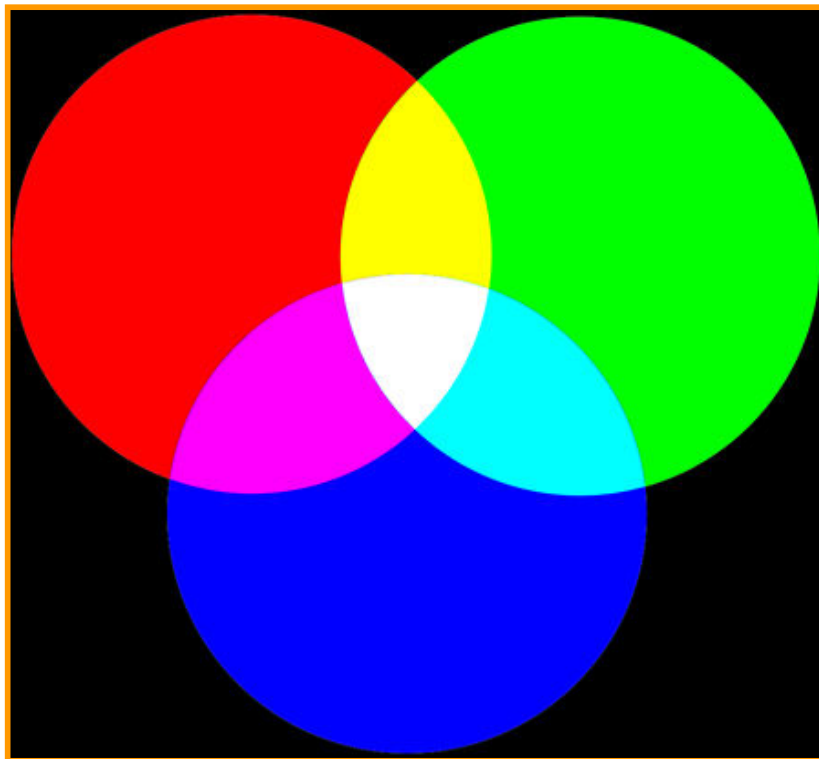
O universo das cores produzidas por um sistema é chamado de **espaço de cores** (*color gamut*).

A um sistema de cores pode estar associado uma representação visual, como o cubo RGB, o cone HSV, etc.



Sistemas de Cores Aditivos

Nos sistemas aditivos, por exemplo XYZ e RGB, as intensidades das cores primárias são adicionadas para produzir outras cores.



$$\text{Branco} = \max(R) + \max(G) + \max(B)$$

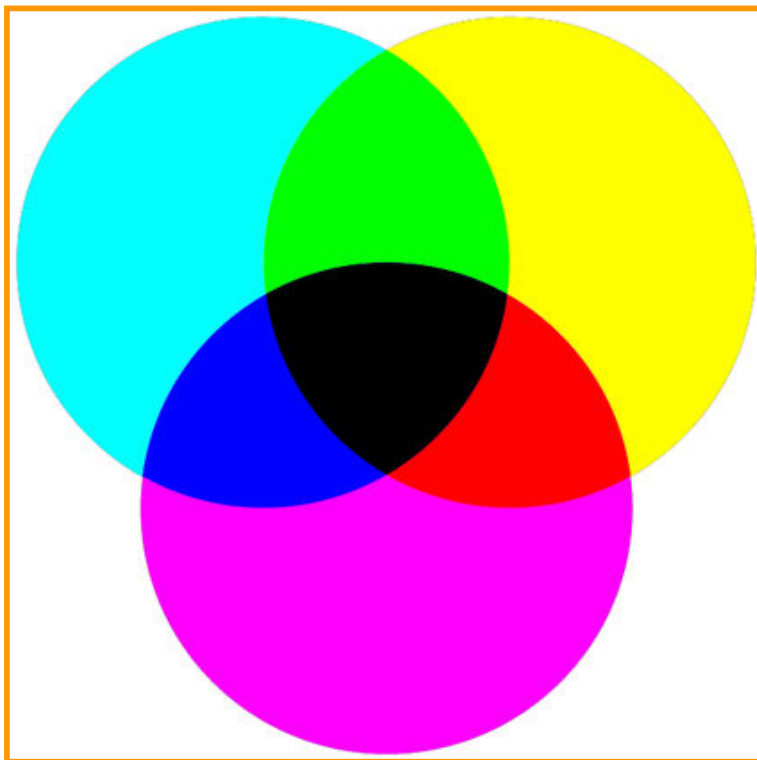
$$\text{Amarelo} = \max(R) + \max(G)$$

$$\text{Magenta} = \max(R) + \max(B)$$

$$\text{Ciano} = \max(G) + \max(B)$$

Sistemas de Cores Subtrativos

Nos sistemas subtrativos, por exemplo CMYK, as cores são definidas pela subtração do comprimento de onda dominante da luz branca (incidente). Portanto, a cor corresponde à luz que é refletida.



$$\textit{Preto} = \textit{Branco} - \max(C) - \max(M) - \max(Y)$$

$$\textit{Vermelho} = \textit{Branco} - \max(C)$$

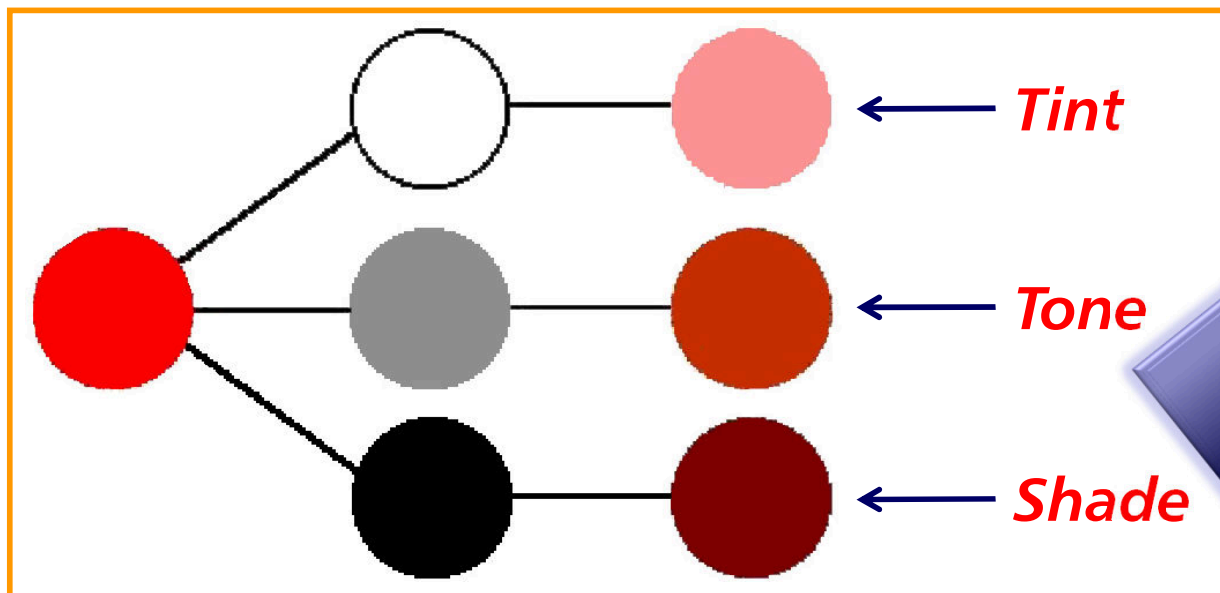
$$\textit{Verde} = \textit{Branco} - \max(M)$$

$$\textit{Azul} = \textit{Branco} - \max(Y)$$

Escala de Cores

Cores puras e saturadas não representam todas as cores possíveis.

Existem ainda os *tints*, *tones* e *shades* que correspondem, respectivamente, às cores obtidas pela adição de branco, cinza e preto às cores saturadas.



Escala
monocromática



O Sistema de Cores XYZ

O sistema XYZ foi definido pela Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), em 1931.

É um sistema aditivo que descreve as cores através de 3 estímulos (cores) virtuais **X**, **Y** e **Z**.

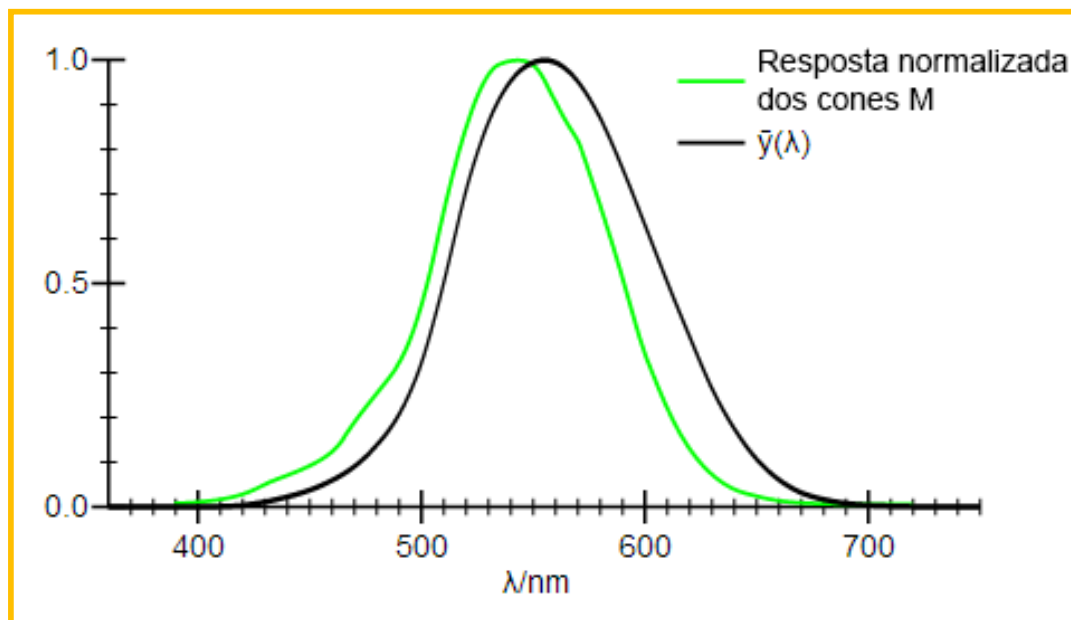
Este sistema foi criado devido à inexistência de um conjunto finito de cores primárias que produza todas as cores do espectro visível.

As cores C_λ podem ser expressas por:

$$C_\lambda = X\mathbf{X} + Y\mathbf{Y} + Z\mathbf{Z}$$

Compreendendo as cores XYZ

A visão humana percebe mais brilho nos tons verdes. Devido à similaridade entre o estímulo **Y** e a resposta espectral dos cones ao verde, **Y** está associado à luminância da cor.

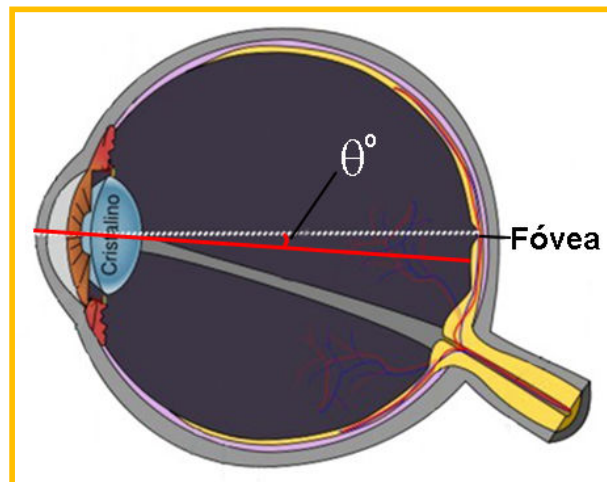


A crominância está associada aos estímulos **X** e **Z** da cor.

O Observador Padrão

A percepção das cores varia nos seres humanos. Por isso o CIE definiu uma função matemática (**observador padrão**) para o mapeamento de cores baseado na resposta cromática média dos humanos.

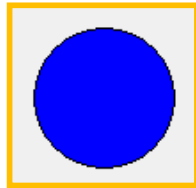
Há dois observadores padrão, diferenciados pelo arco angular em relação ao centro da fóvea, região onde concentram-se os cones: CIE 1931 2° e CIE 1964 10°.



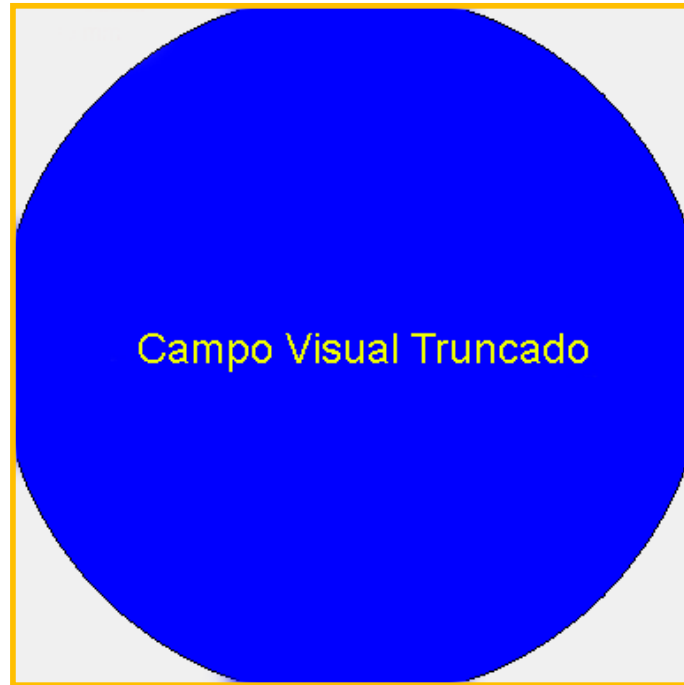


O Observador Padrão

Campo visual dos observadores padrão a uma distância de 450mm.



CIE 1931 2°
diâmetro = 15,7mm

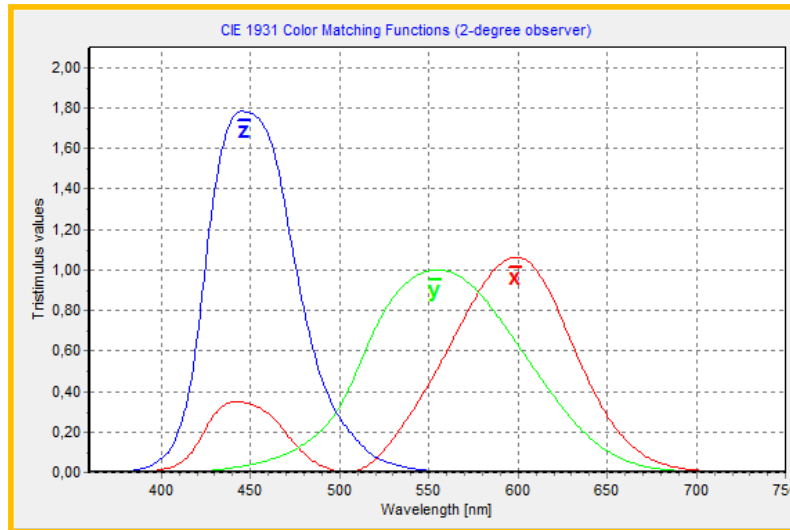


CIE 1964 10°
diâmetro = 78,3mm

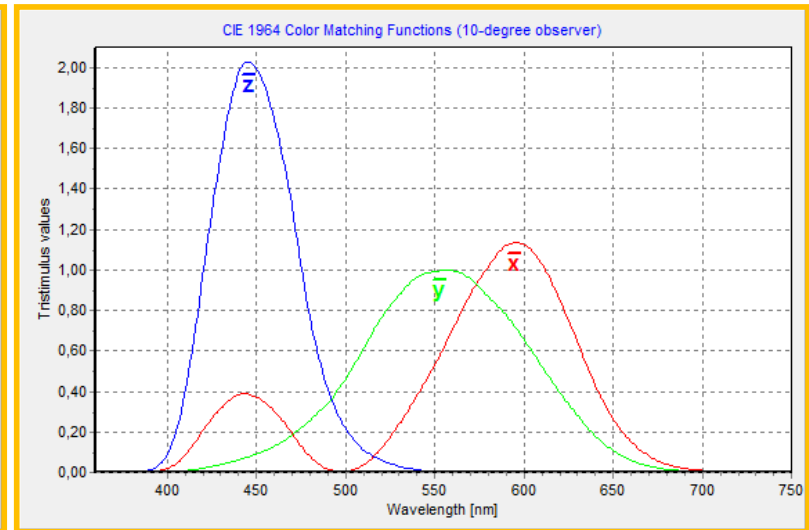


Funções de Mapeamento de Cores – XYZ

Os observadores padrão são caracterizados por três funções de mapeamento de cores, discretizadas em intervalos de 5nm nos comprimentos de onda entre 380nm e 780nm.



CIE 1931 2°



CIE 1964 10°

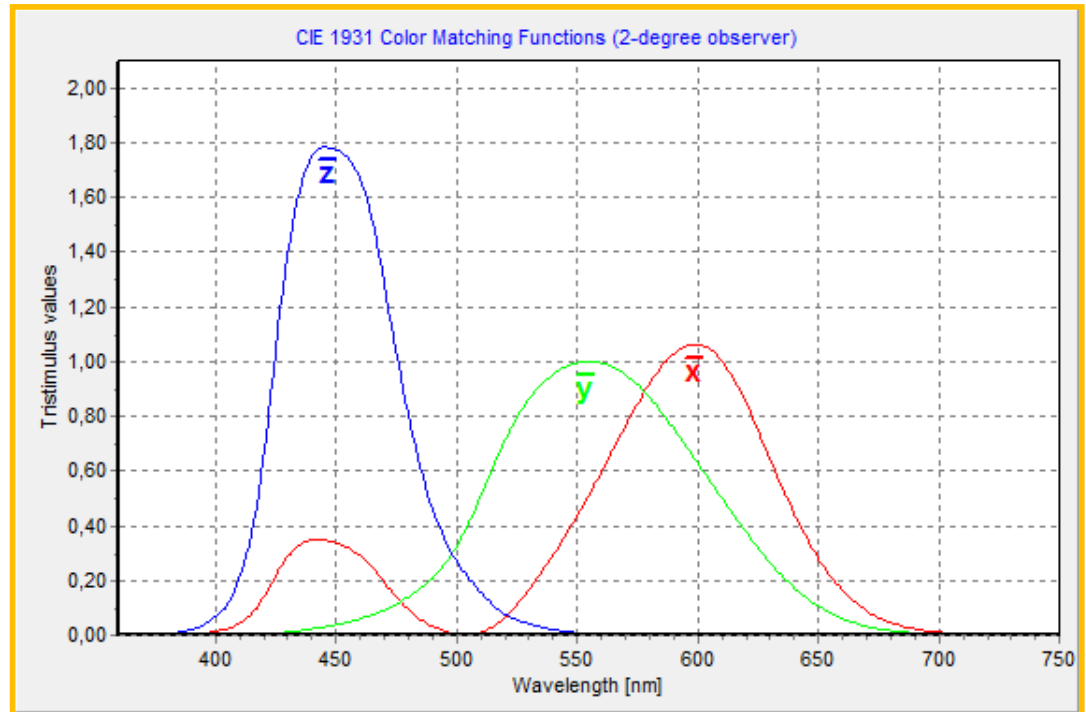
Funções de Mapeamento de Cores – XYZ

As intensidades (X , Y e Z) dos estímulos X , Y e Z para uma cor com distribuição de potência espectral $I(\lambda)$ são expressas por:

$$X = \int_{380}^{780} I(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_{380}^{780} I(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_{380}^{780} I(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$





Luminância e Crominância

Normalizando X , Y e Z , temos:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

com $x + y + z = 1$.

Os valores x e y , por dependerem apenas do matiz e da saturação, são chamados de **coordenadas de cromaticidade**.

Luminância e Crominância

Assim, uma cor pode ser descrita por x e y (cromaticidade) e a intensidade de um dos estímulos originais, normalmente Y (luminância).

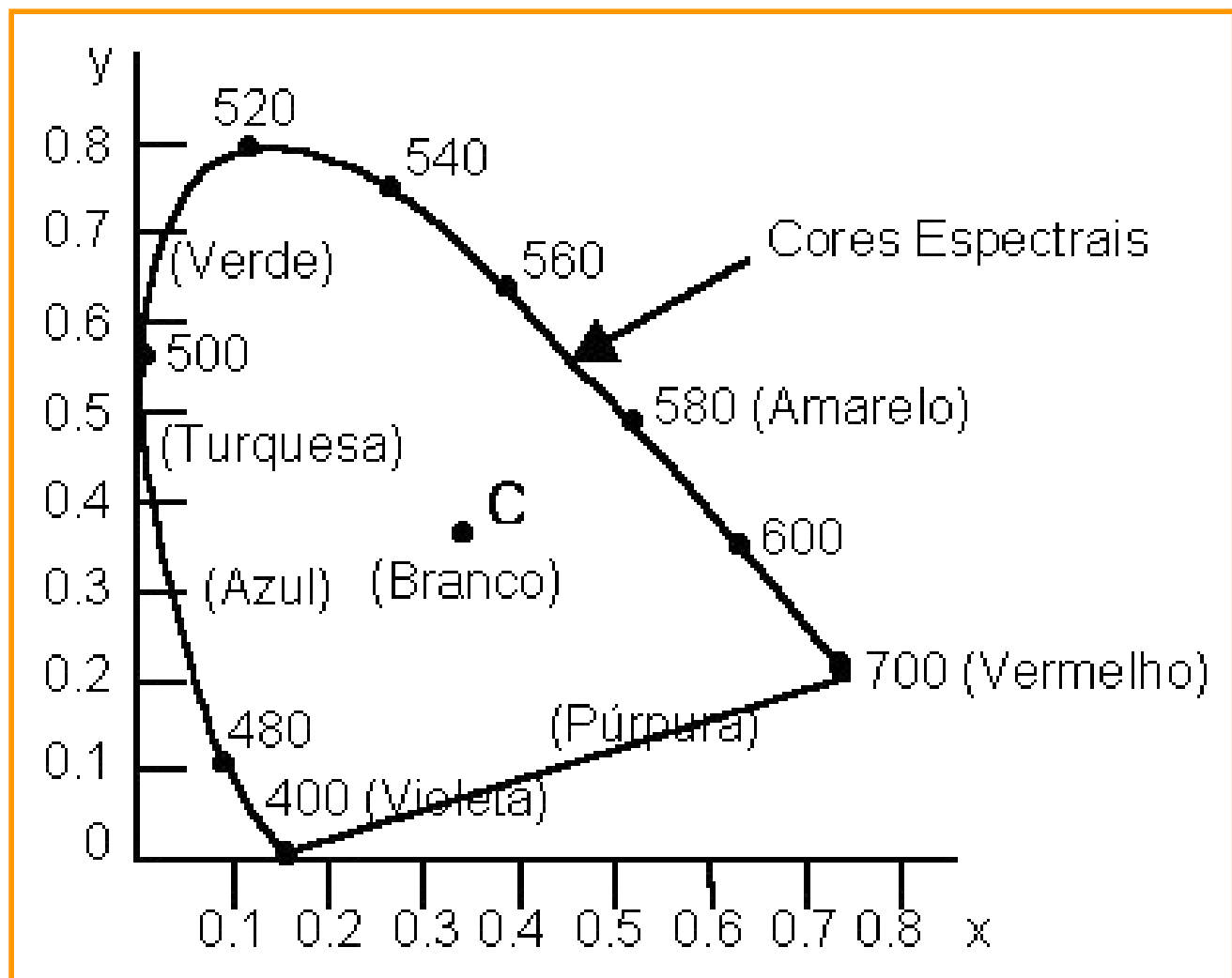
As intensidades X e Z podem ser recalculadas por:

$$X = \frac{x}{y} Y \quad \text{e} \quad Z = \frac{z}{y} Y, \text{ onde } z = 1 - x - y$$

Mantendo um valor fixo para Y e variando os valores de x e y , podemos construir o Diagrama de Cromaticidade CIE XYZ.

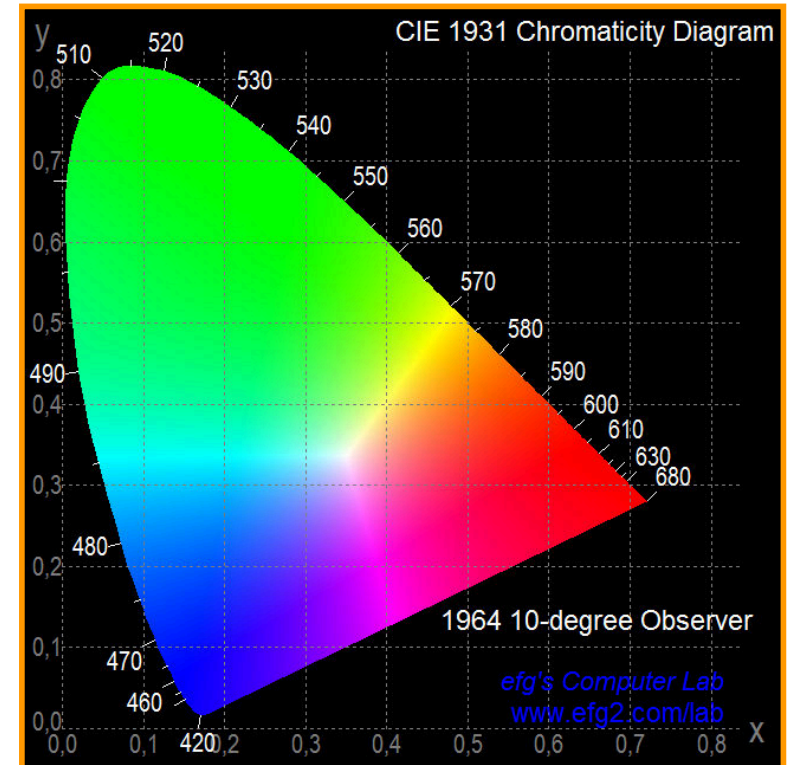
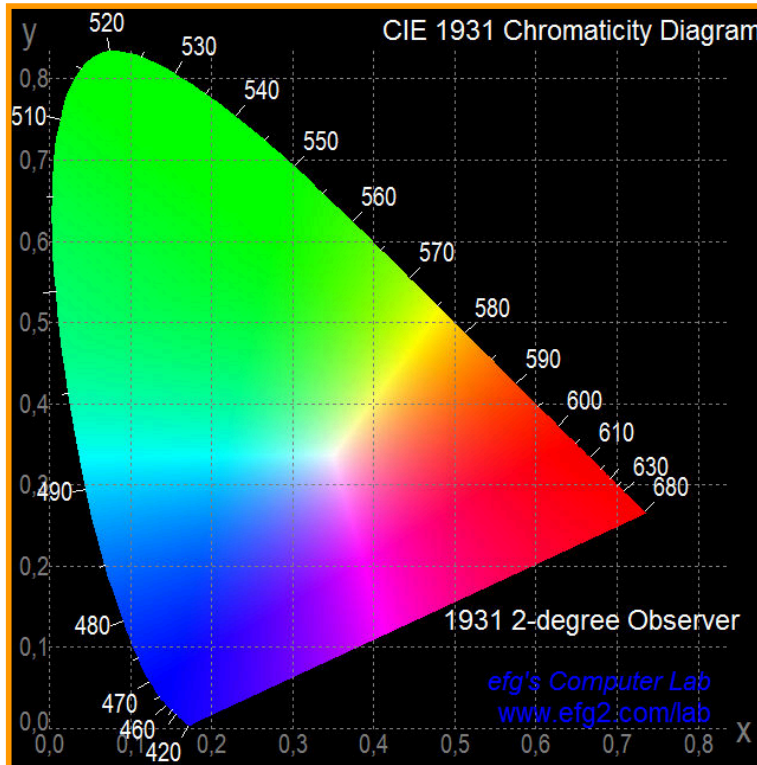


O Diagrama de Cromaticidade CIE XYZ





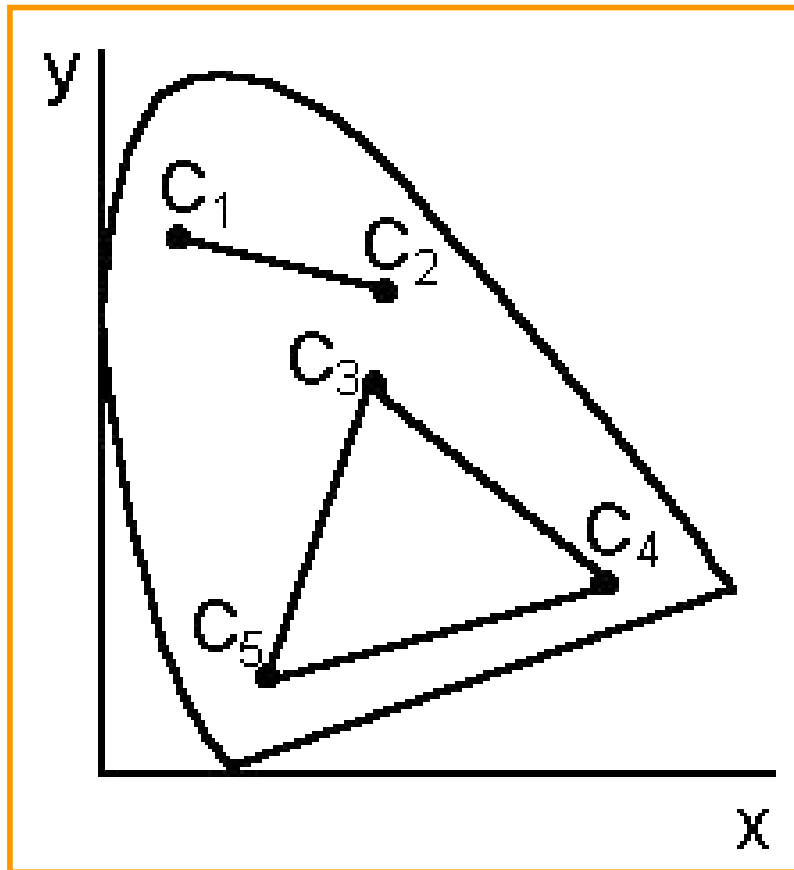
O Diagrama de Cromaticidade CIE XYZ



O diagrama de cromaticidade permite determinar e comparar espaços de cores com diferentes cores primárias, identificar cores complementares e determinar o comprimento de onda dominante de uma cor.



Escala e Espaço de Cores

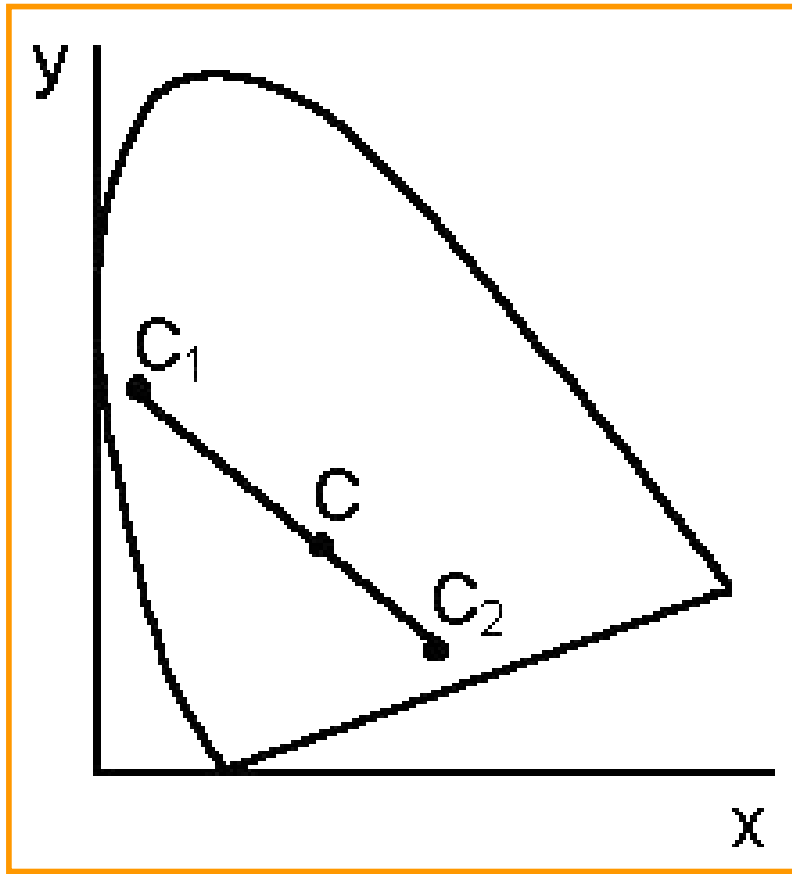


C_1 e C_2
Escala de Cores

C_3, C_4 e C_5
Espaço de Cores

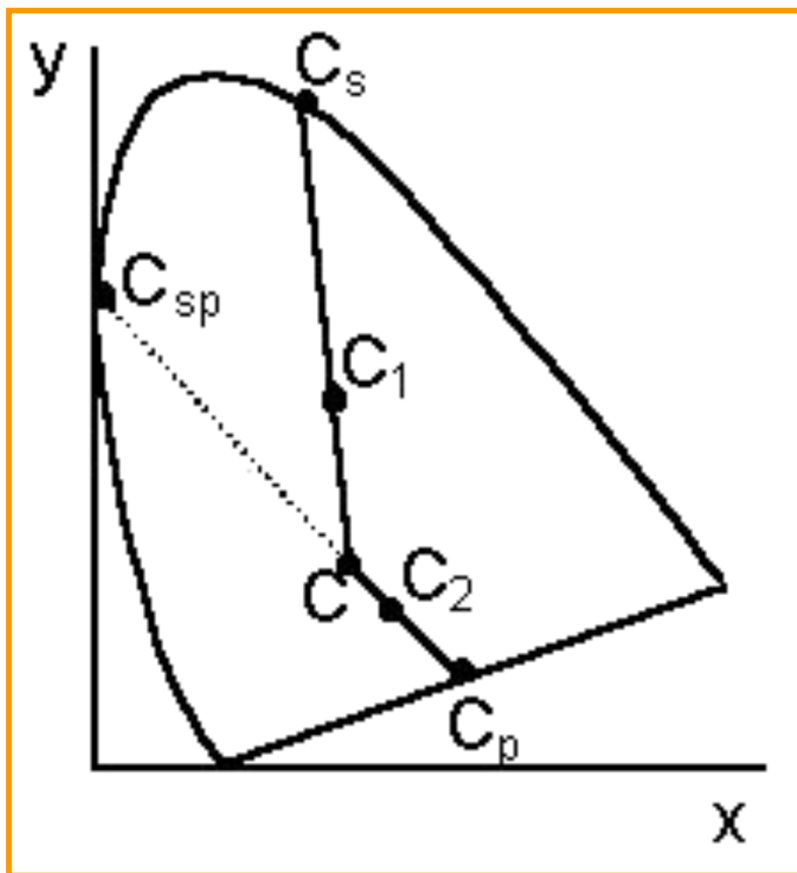


Cores Complementares



Cores complementares são identificadas por dois pontos localizados em lados opostos do ponto C e conectados por uma linha reta.

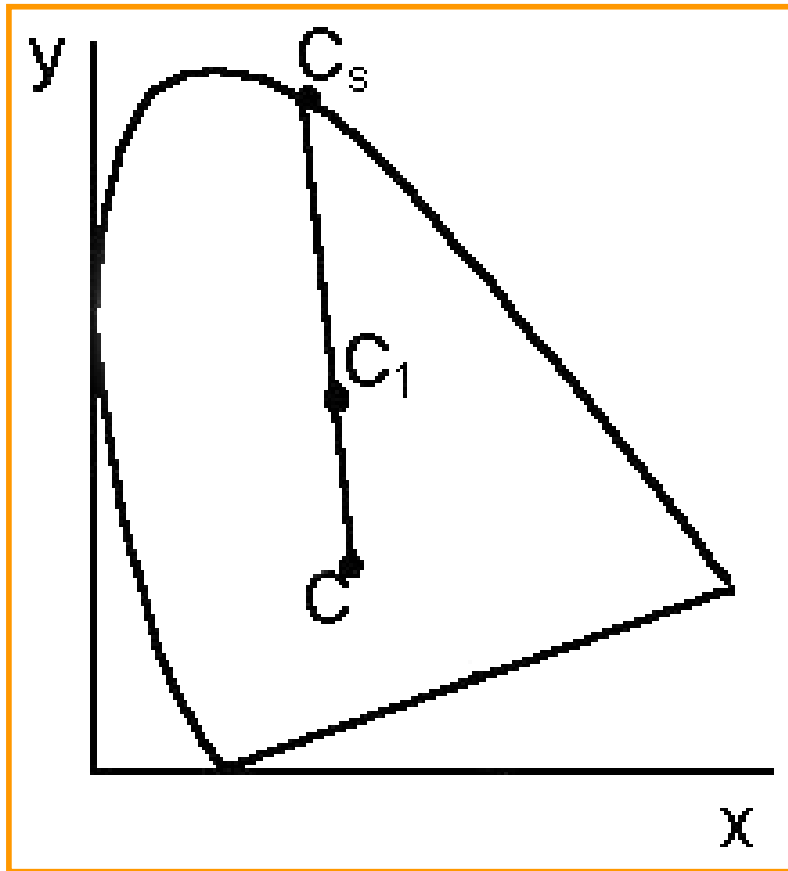
Comprimento de Onda Dominante



C_s é o comprimento de onda dominante de C_1 .

C_2 é uma cor não espectral, por isso determinamos o comprimento de onda dominante complementar C_{sp} .

Pureza da Cor



A pureza de uma cor C_1 é determinada por:

$$\text{Pureza} = \frac{d(C, C_1)}{d(C, C_s)}$$



O Sistema de Cores RGB

É um sistema aditivo baseado na teoria tricromática, também conhecida como teoria dos três estímulos, proposta por Young-Hemholtz.

O sistema RGB é *device-dependent*, pois as primitivas R, G e B podem ser detectadas ou produzidas em diferentes comprimentos de onda.

Visão humana: R=575nm, G=535nm e B=445nm.

CIE RGB: R=700nm, G=546,1nm, B=435,8nm.

sRGB é definido em relação ao CIE XYZ, com:

$$R \rightarrow x = 0,64; y = 0,33; Y = 0,2126$$

$$G \rightarrow x = 0.3; y = 0.6; Y = 0,7152$$

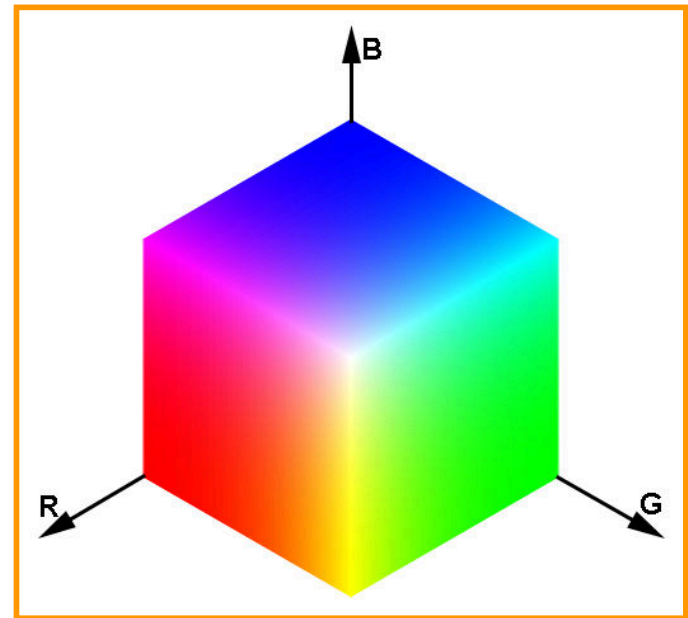
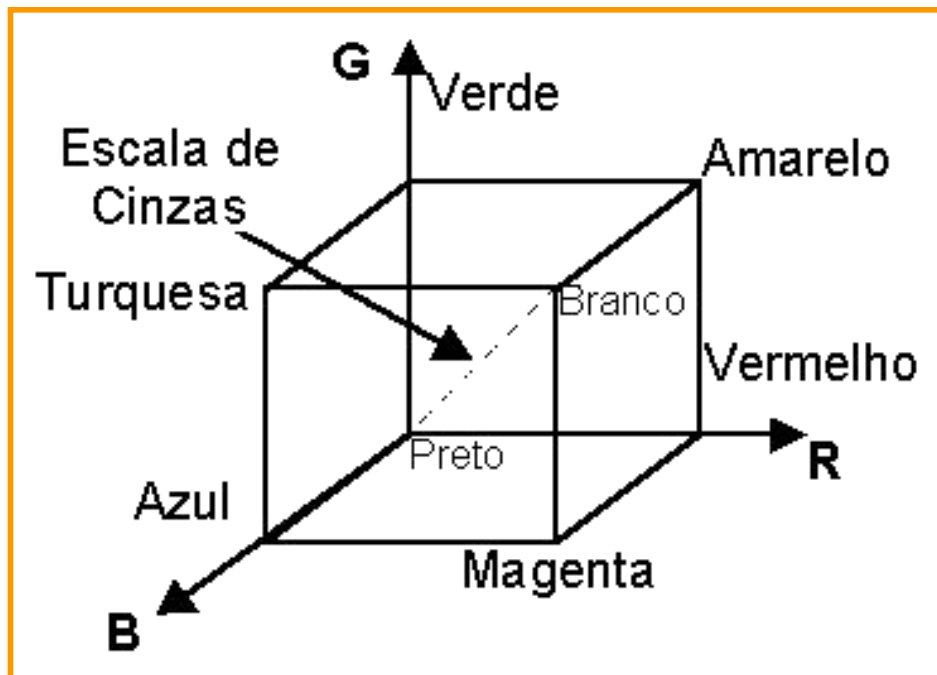
$$B \rightarrow x = 0,15; y = 0,329; Y = 0,0722$$



Limitações do Sistema RGB

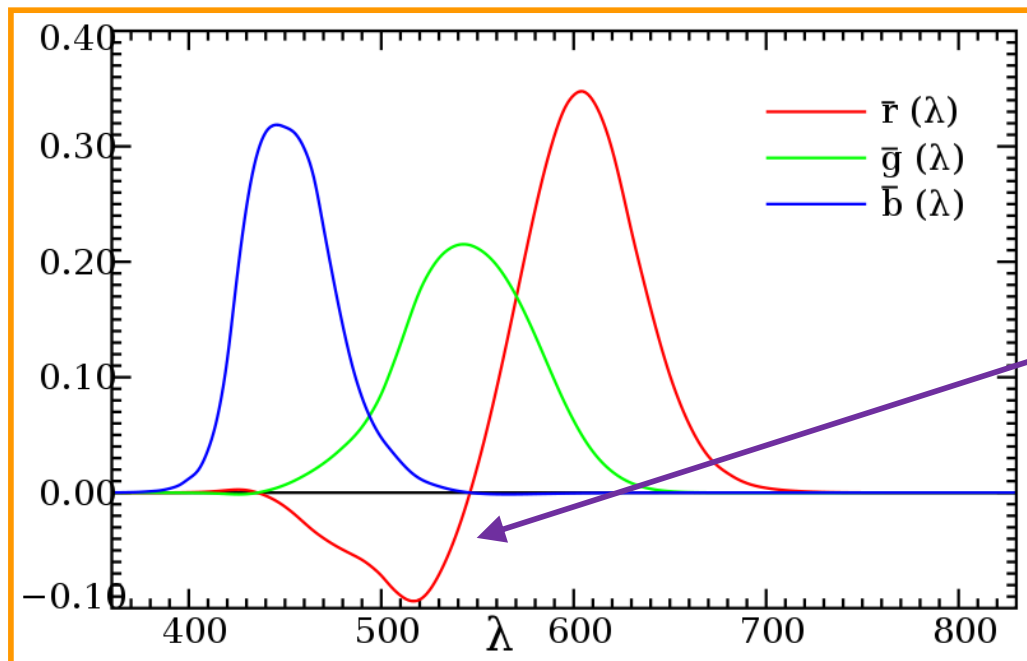
As cores C_λ podem ser expressas por:

$$C_\lambda = rR + gG + bB$$



Limitações do Sistema de Cores RGB

Nenhum sistema baseado em 3 cores primárias é capaz de gerar todas as cores do espectro eletromagnético.

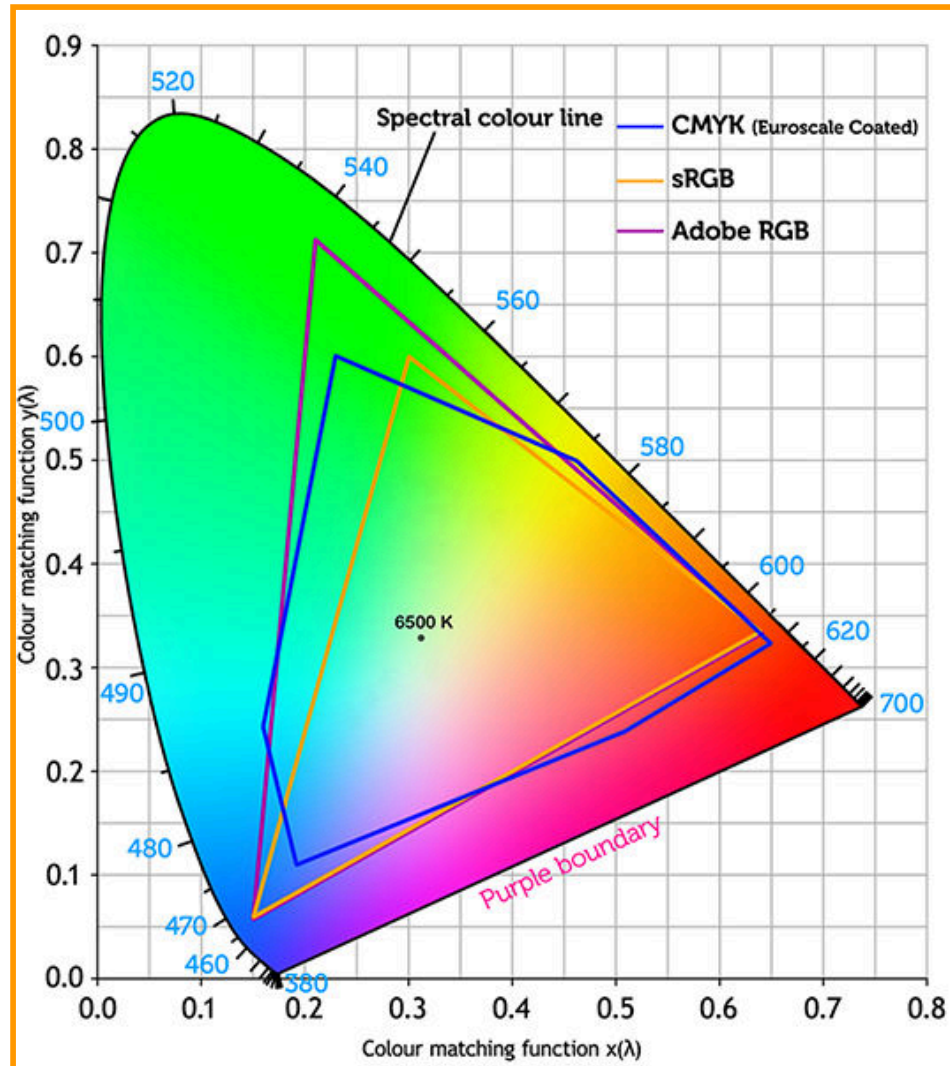


Funções de mapeamento de cores
CIE RGB 1931

Em um monitor não é possível adicionar uma componente de cor negativa.



Diferentes Sistemas de Cores

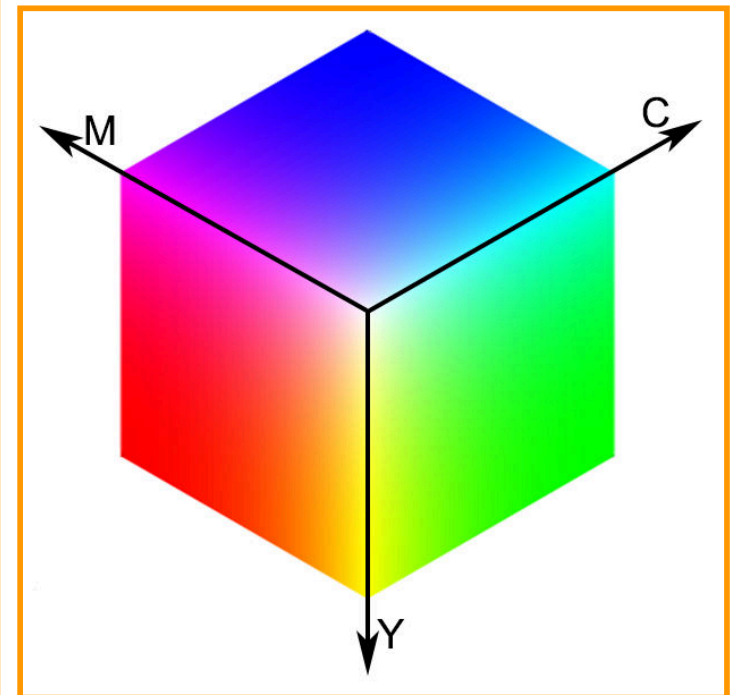
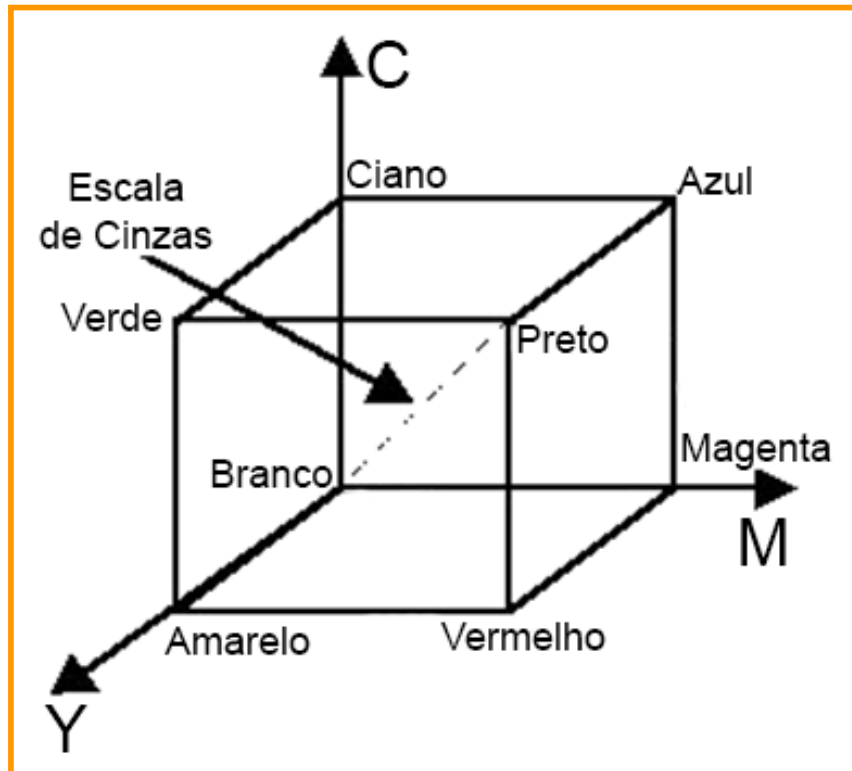




O Sistema de Cores CMY

CMY é um sistema de cores subtrativo, complementar ao RGB.

$$C = 1 - R; M = 1 - B; Y = 1 - G$$



CMY \rightarrow CMY + K

No modelo CMY, $K = 1 - C - M - Y$

Ou seja, a cada nova camada de tinta adicionada ao papel branco, deve-se manter o perfeito alinhamento do papel com o mecanismo de impressão, senão pequenos detalhes serão borrados.

Além disso, $K = 1 - C - M - Y$, não é completamente preto, pois as tintas não são perfeitamente ciano, magenta e amarelo.

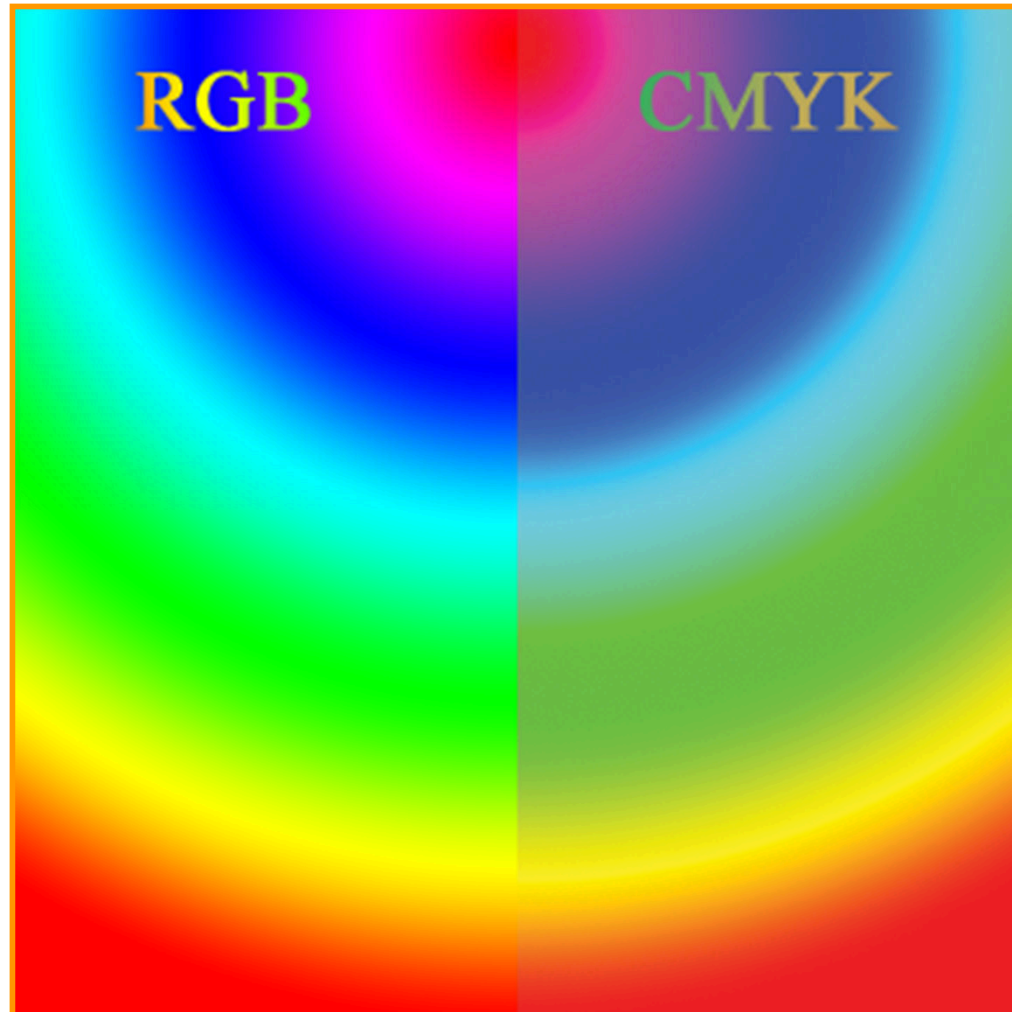
Usar 3 camadas de tinta torna a impressão muito mais cara e ainda pode encharcar o papel.

Solução

Adicionar
tinta Preta



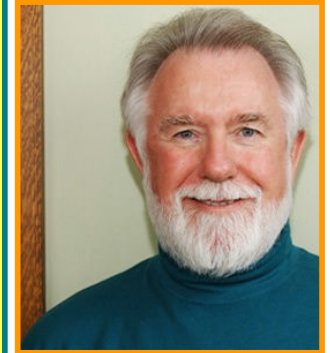
Monitor **X** Impressora





Os Sistemas de Cores HSV e HSL

São sistemas que descrevem as cores de modo mais intuitivo do que a combinação de um conjunto de cores primárias. Formalmente descritos por Alvy Ray Smith em 1978.



Assemelham-se ao processo utilizado pelos pintores para criar cores. Adição de preto e branco as cores básicas, criando *tints*, *tones* e *shades*.

HSV

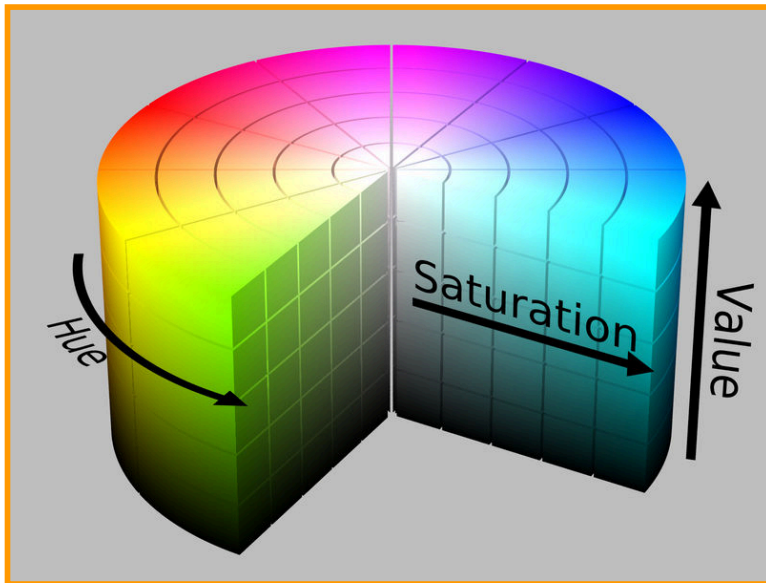
H = Hue (Matiz),
S = Saturation (Saturação)
V = Value (Brilho ou Luminância)

HSL

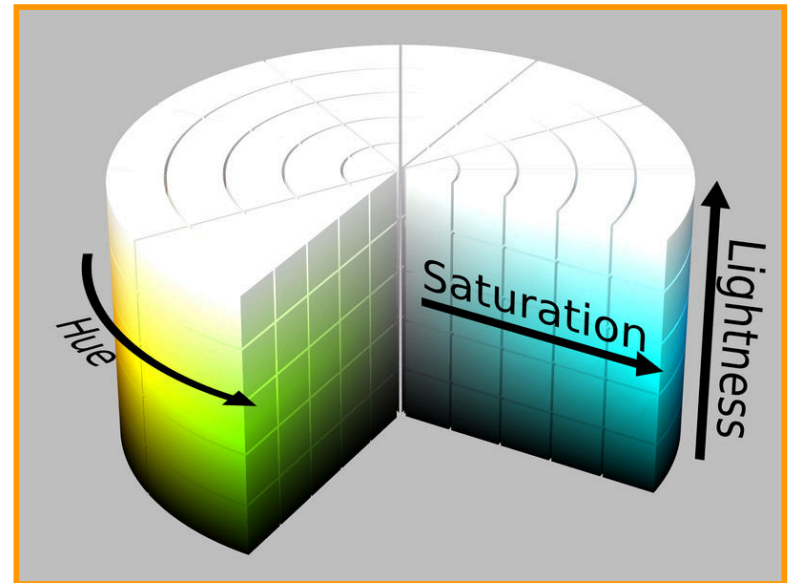
H = Hue (Matiz),
S = Saturation (Saturação)
L = Lightness (Luminosidade)

Os Sistemas de Cores HSV e HSL

Os sistemas HSV e HSL são representações das cores RGB em um sistema de coordenadas cilíndricas.



HSV

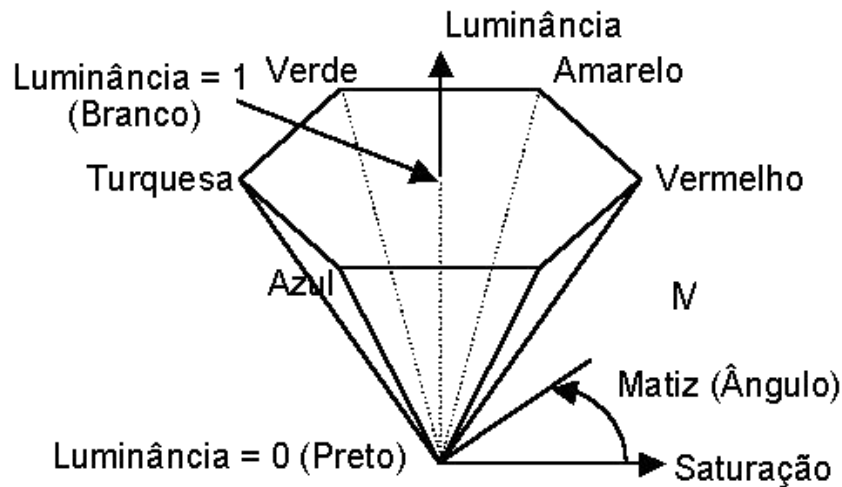


HSL

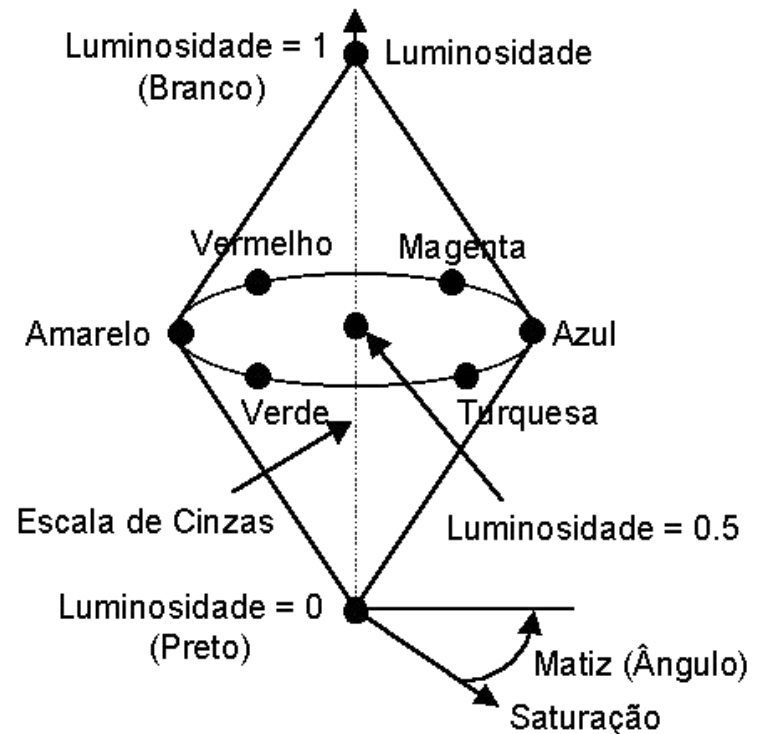
H = grandeza angular (0 a 360°).
S = 0 a 1; V ou L = 0 a 1.

Os cones HSV e HSL

Em programas gráficos é mais usual a representação dos sistemas HSV e HSL em cones.



HSV



HSL



Uso de Cores na Computação Gráfica

As cores são usadas para inúmeros fins: estéticos, representação de um aspecto ou humor, realismo, seleção de texto ou imagem e codificação.

Usuários tendem a gostar das cores, mesmo sem evidência quantitativa de aumento no rendimento.

KREBS e WOLF (1979) mostraram que o uso de cores insignificantes pode reduzir o rendimento do usuário em até 1/3.

Portanto, o uso decorativo das cores deve ser subserviente à funcionalidade.



Uso de Cores na Computação Gráfica

As cores não podem ser erroneamente interpretadas ou terem significados dúbios. Devem ser testadas com usuários reais.

O olho humano é mais sensível à variação na intensidade do que na cromaticidade, ou seja, textos, linhas e outros detalhes nas imagens devem diferenciar da cor de fundo em brilho e não somente em matiz.

Não utilize codificação em cores em objetos muito pequenos. O olho humano não é capaz de distinguir cores em objetos muito pequenos.



Uso de Cores na Computação Gráfica

A percepção da cor de uma região é afetada pelas cores na vizinhança, podendo trazer problemas quando as cores são utilizadas para codificar informações.

O uso de cores saturadas em grandes áreas não é recomendado pois gera "*imagem fantasma*".

Não usar tons amarelados em interfaces para idosos. Com o passar dos anos o cristalino amarela, reduzindo a percepção dessa cor.

Não use cores opostas no espectro eletromagnético. Causa fadiga visual e afeta a percepção de distância aos objetos (azul > vermelho).