

CCI-36 – Computação Gráfica

Cores e Sistema Visual

Instituto Tecnológico de Aeronáutica

Prof. Carlos Henrique Q. Forster

forster@ita.br

ramal 5981 - Sala 121 IEC

Tópicos da aula

- Olho humano
- Teoria de cor
- Ajustes de pixel

Livros para acompanhar essa aula

Ware

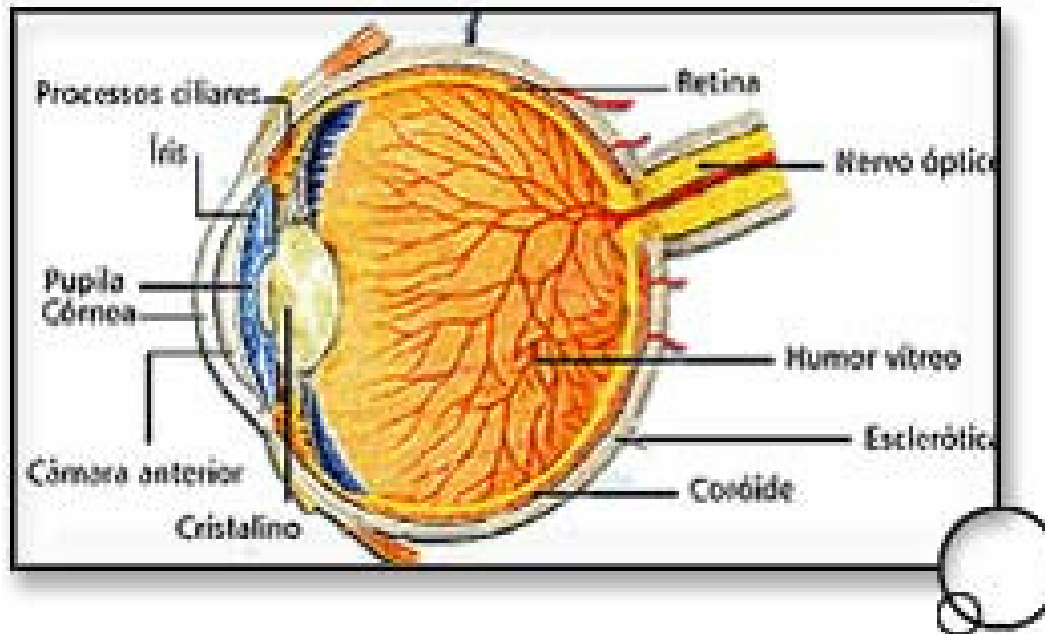
Foley

Fisiologia do olho humano

- Canal visual é o mais importante com faixa-de-passagem de ordens de magnitude maior que os demais canais.
- O olho humano é muito sensível a qualquer erro nas imagens apresentadas ao usuário, mas possui grande capacidade de adaptar-se.
- Suporte
 - Par de cavidades ósseas chamadas órbitas
 - Forradas com tecido adiposo
 - 6 músculos extra-oculares dão suporte e movimento
 - Movimentos 50 graus esquerda-direita
 - 40 graus acima e 60 abaixo
 - Torção (menos de 6 graus)
- Proteção
 - Pálpebra limpa e umedece. Protege contra luz forte e objetos.
 - Lubrificação por óleos produzidos por glândulas sob a pálpebra reduz atrito e permite remoção de partículas estranhas.

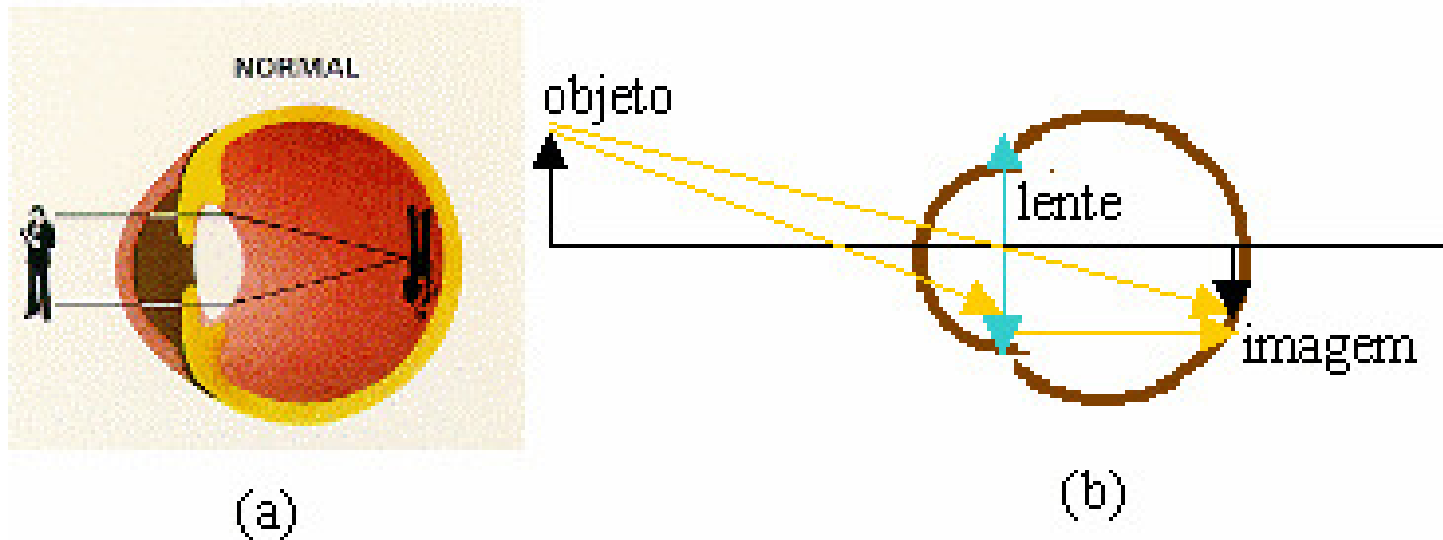
- Superfícies ópticas

- Córnea – camada transparente (8mm horiz, 6mm vert raio)
- Câmara de humor aquoso
- Íris: membrana + pupila, que é o centro da íris. A pupila dilata conforme a quantidade de luz incidente de 2mm a 8mm de diâmetro.
- Cristalino: lente de foco variável para focalizar a imagem no fundo do olho.
- Humor vítreo: mantém a forma do olho e absorve calor.



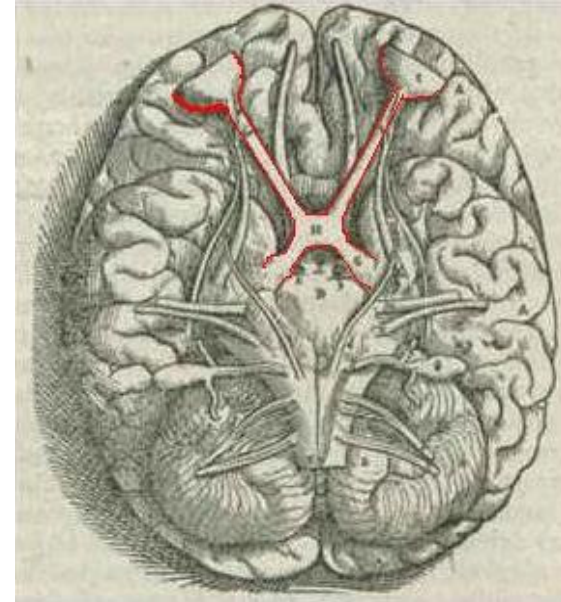
- Retina

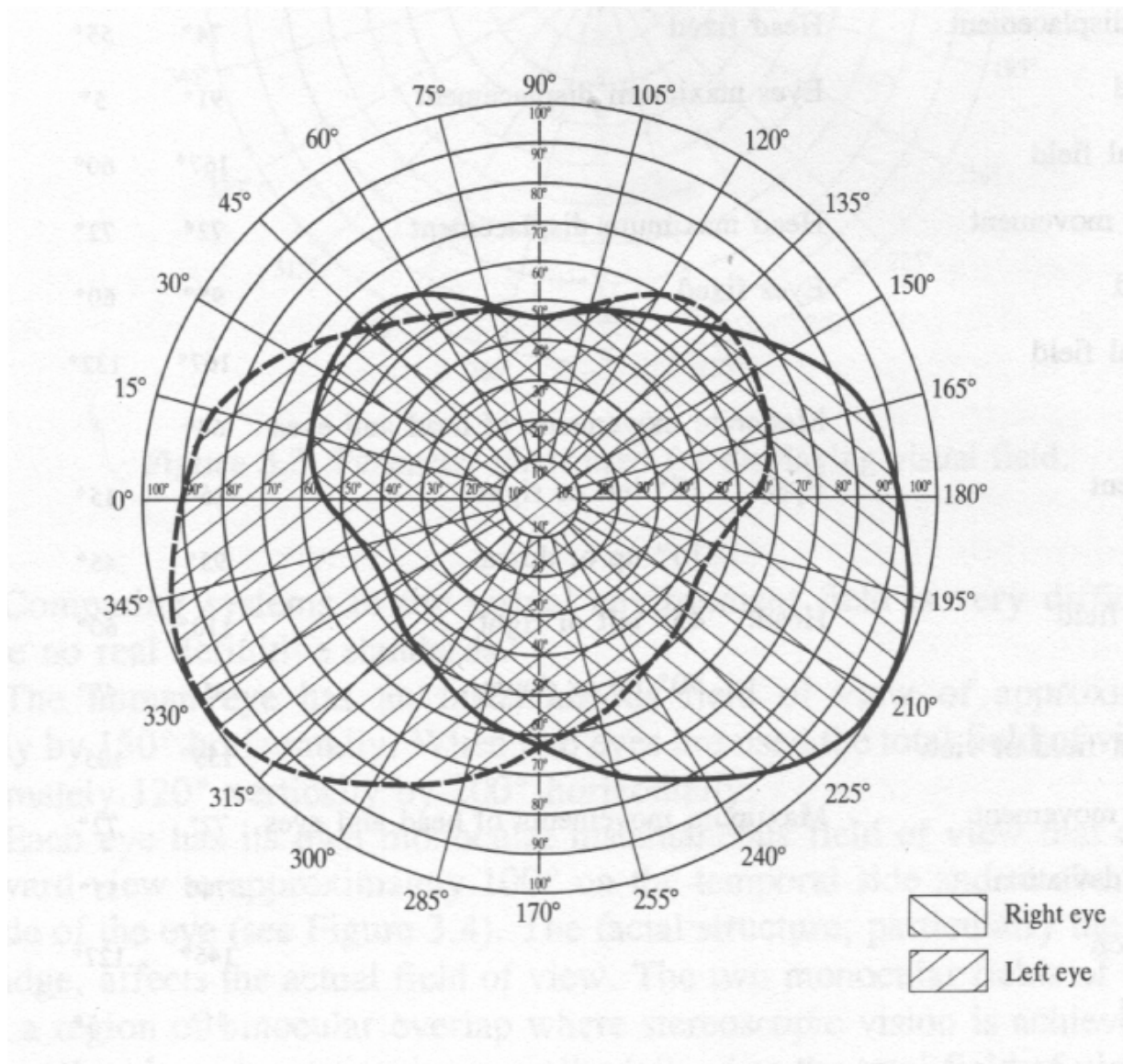
- Estrutura complexa com células nervosas, vasos e tecido conectivo
- Localizada no fundo do olho
- Converte radiação eletromagnética no espectro visível em impulsos nervosos
- Por toda retina existem receptores fotossensitivos, duas camadas de conexões neurais e uma fibra neural.



- Sensores ópticos
 - Bastonetes (rods)
 - Distribuição: são ausentes na fóvea (1° do ângulo visual)
 - Crescente até 18 a 20° da fóvea chegando a $170.000/\text{mm}^2$ ligados por uma ou duas células nervosas.
 - Funcionam com intensidade de luz baixa.
 - Rodopsina: material fotossensível que quebra com baixas intensidades.
 - Com intensidade mais alta a concentração de rodopsina cai, tornando os bastonetes menos sensíveis.
 - Com 35 minutos de adaptação ao escuro, os bastonetes atingem a sensibilidade máxima.
 - Cones
 - Respondem à luz intensa, colorida e acuidade visual.
 - Concentração máxima na fóvea de $147.000/\text{mm}^2$
 - Decai até $16.300/\text{mm}^2$ na borda da retina
 - Ligados a apenas uma célula nervosa e diretamente ao cérebro.

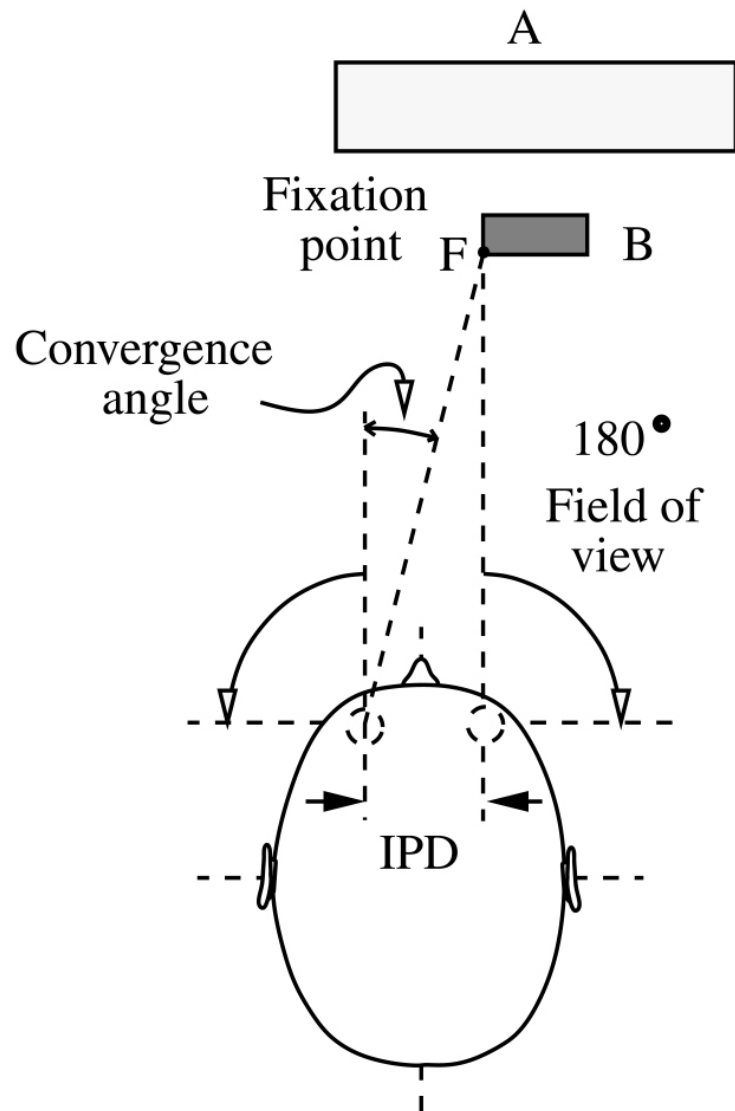
- Disco óptico
 - Ponto cego na retina, sem receptores, de onde sai o nervo óptico (15° da fóvea, área de 7° por 5°)
- Adaptação
 - Variações de intensidade de até 10^{13}
 - Capaz de detectar de 1 fóton até uma intensidade capaz de queimar a retina
- Acomodação
 - Alterar o sistema óptico através do cristalino
 - Em repouso: 6m – infinito (depende do diâmetro da pupila)
- Campo Visual
 - Reduzido por óculos, tamanho da tela, ...
 - Total binocular: 120° vertical, 200° horizontal
 - Distância retina ao foco 17mm infinito, 14mm objetos próximos





Estereopse

- Uma imagem apresentada a cada olho
- As duas imagens podem ser apresentadas simultaneamente num display (HMD);
- Podem ser apresentadas sequencialmente no tempo (active glasses);
- Podem ser apresentadas sequencialmente no espaço (auto-stereoscopic).



Left Eye Image

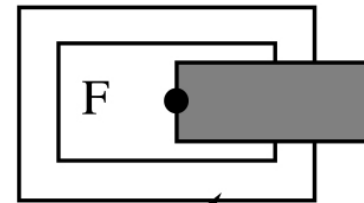
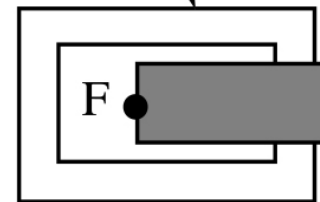


Image Parallax



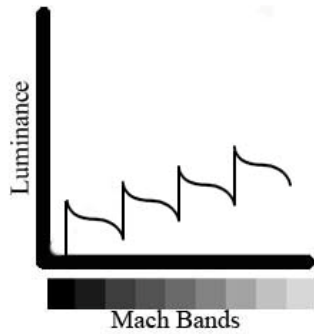
Right Eye Image

Ilusões de óptica

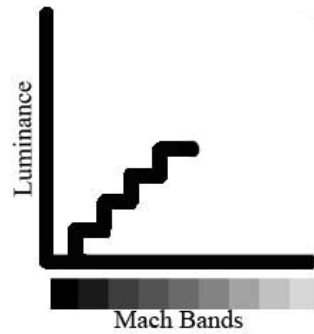
- Hipótese que o sistema visual humano é otimizado para situações usuais e acaba por explicar situações estranhas por situações comuns parecidas



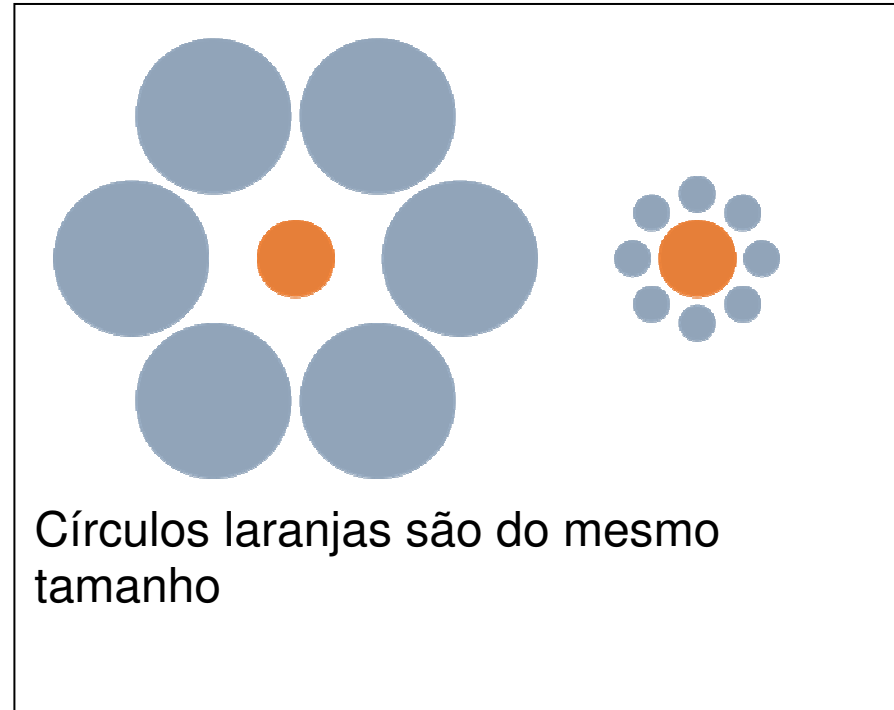
Mach bands



Perceived



Actual



Este está mais longe

Este está mais perto

Este está mais longe

Este está mais perto

Este está mais longe

Este está mais perto

Este está mais perto

Este está mais longe

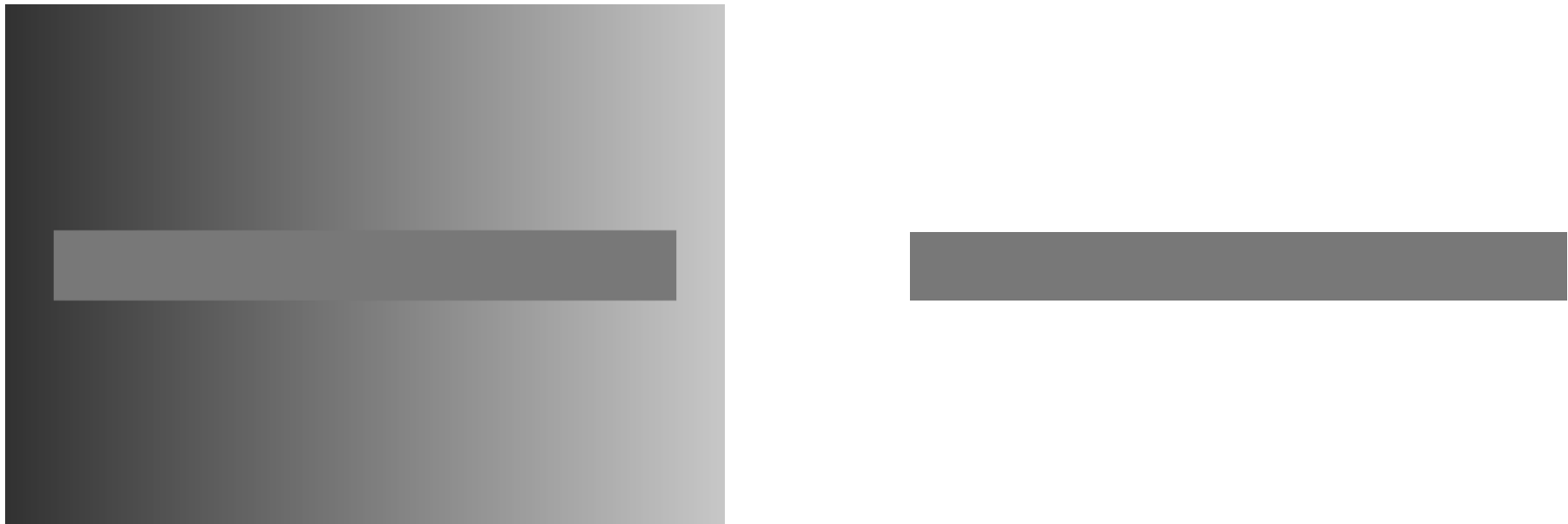
Este está mais perto

Este está mais longe

Este está mais perto

Este está mais longe

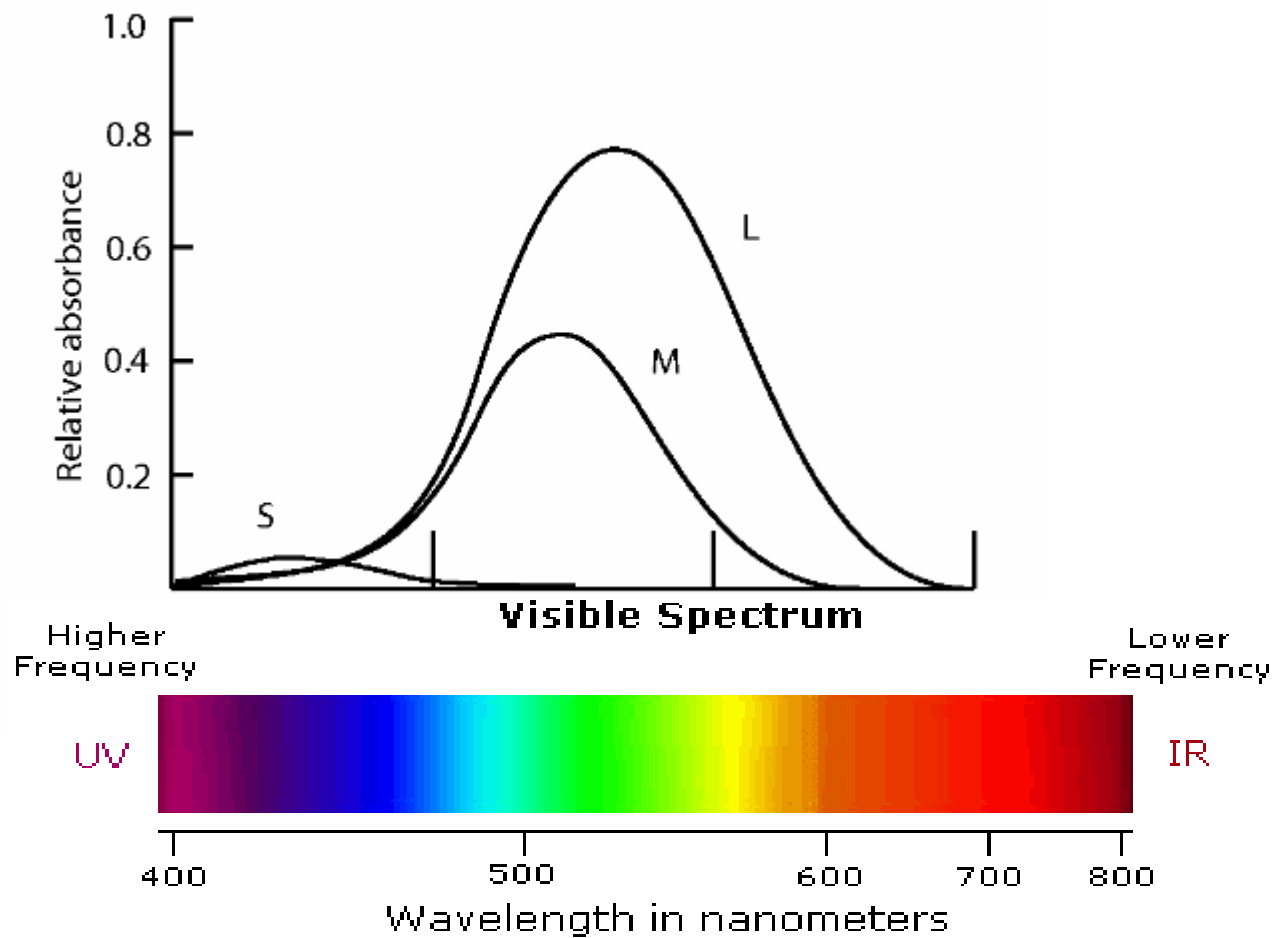
Constância cromática (ou de contraste)

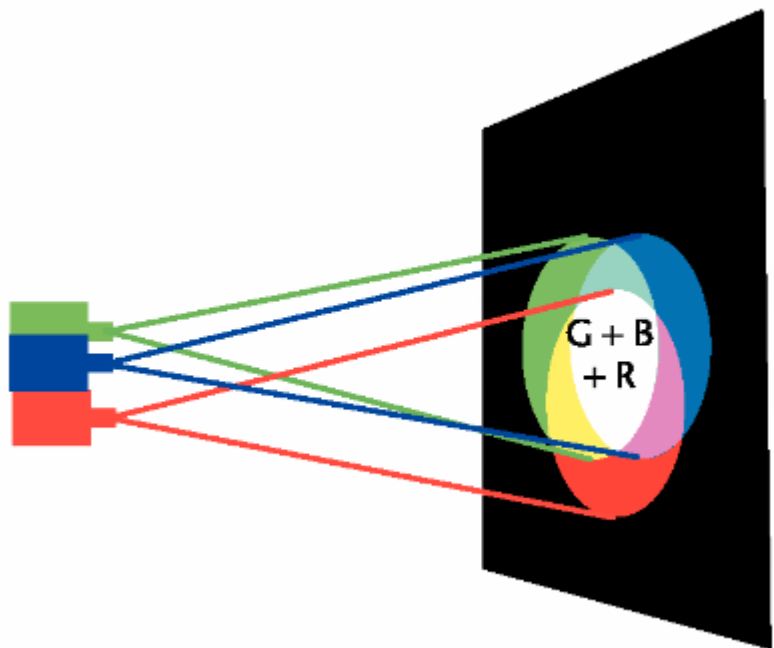


Brilho: a percepção é logarítmica e a diferença de 1% é perceptível em relação a um ponto de brilho mais alto

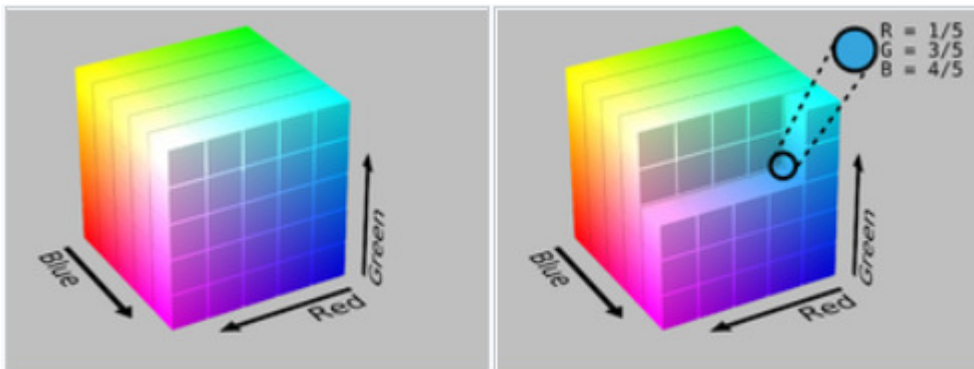
Pixel: pode-se distinguir dois pontos separados por 1 minuto de grau.

Percepção cromática
Teoria tricromática





$$C \equiv rR + gG + bB$$



$$\int_{400 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} I(\lambda) f(\lambda) d\lambda.$$

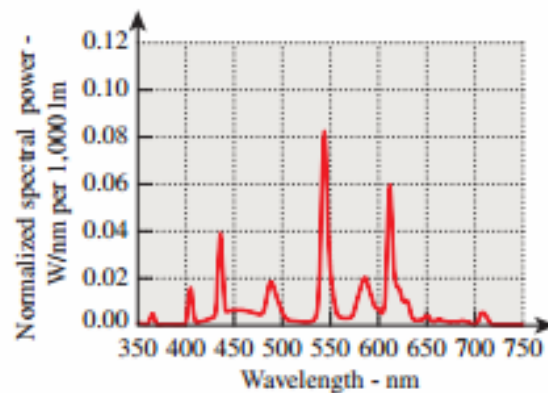


Figure 28.1: The spectral power distribution of a fluorescent lamp. The power emitted at each wavelength varies fairly smoothly across the spectrum, with a few high peaks. Figure provided courtesy of Osram Sylvania, Inc.

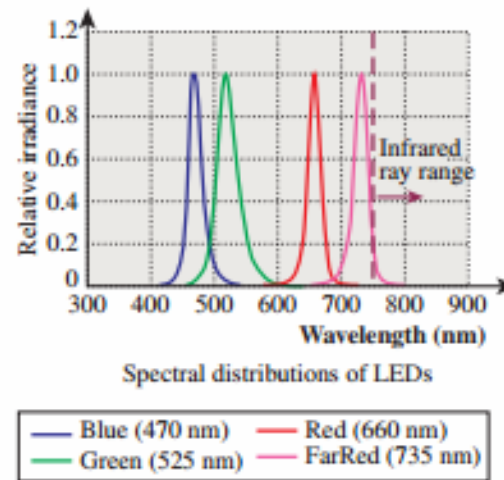
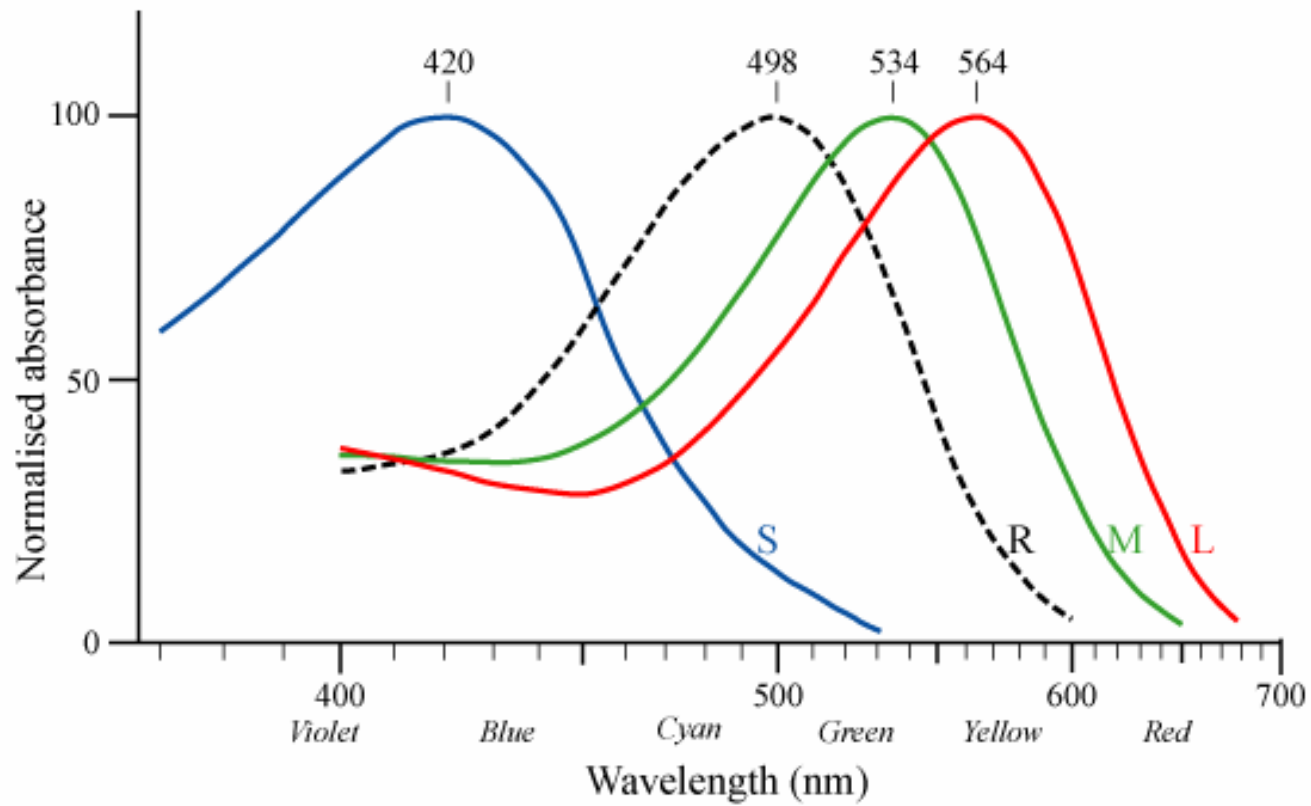
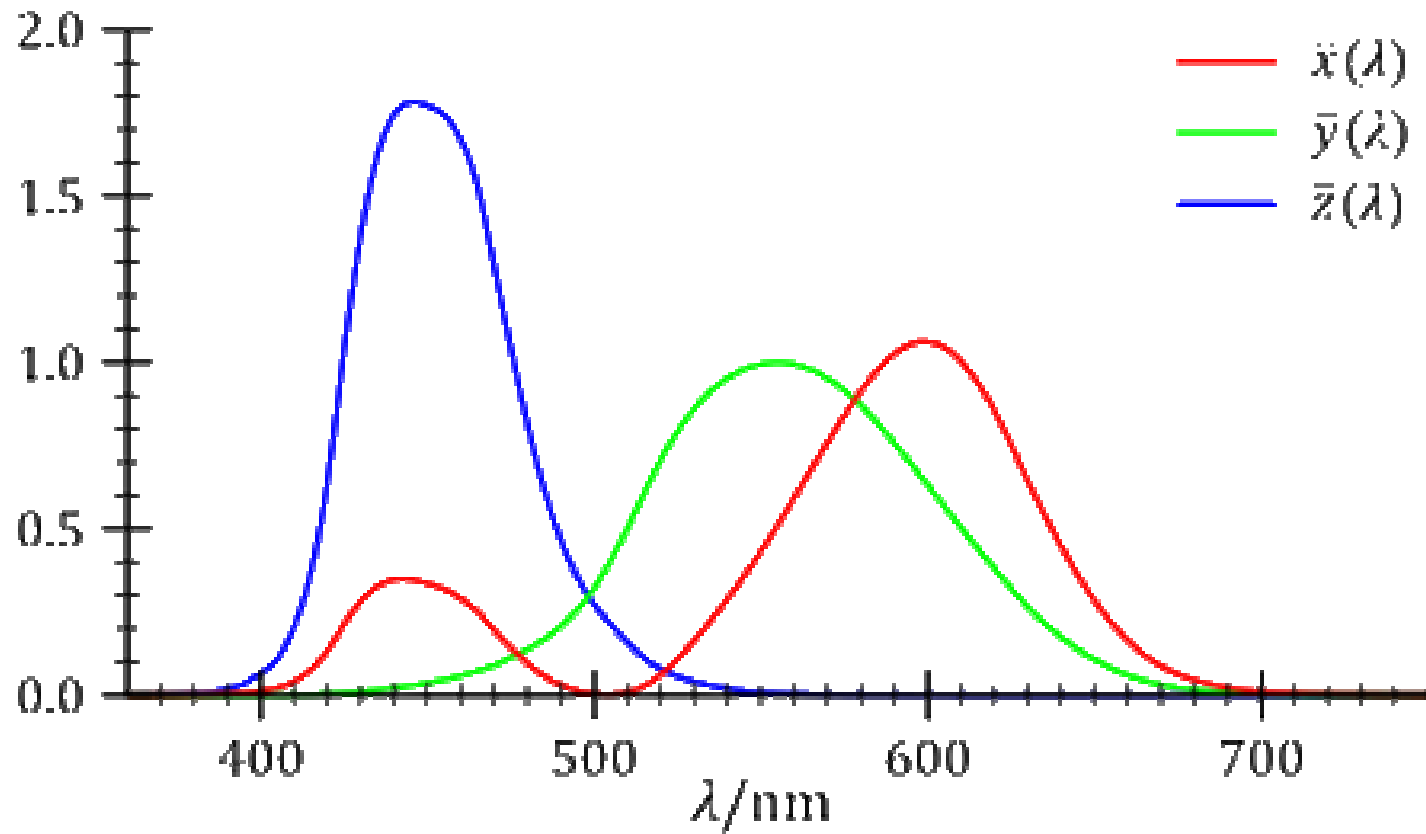


Figure 28.2: The spectral power distributions of several LEDs. The light is concentrated at or near a single wavelength for each kind of LED; an ideal monospectral source would have all energy at a single wavelength.



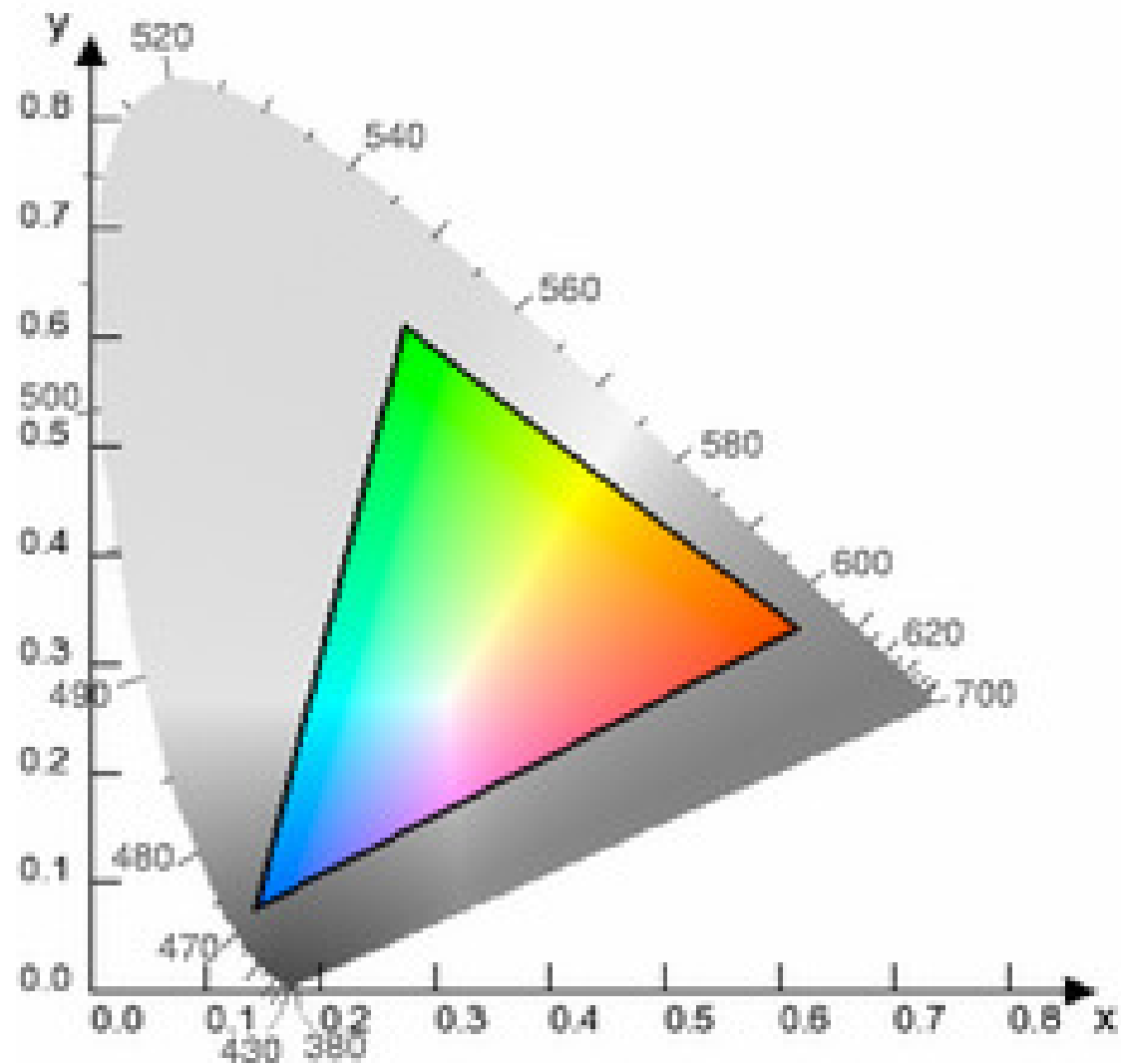


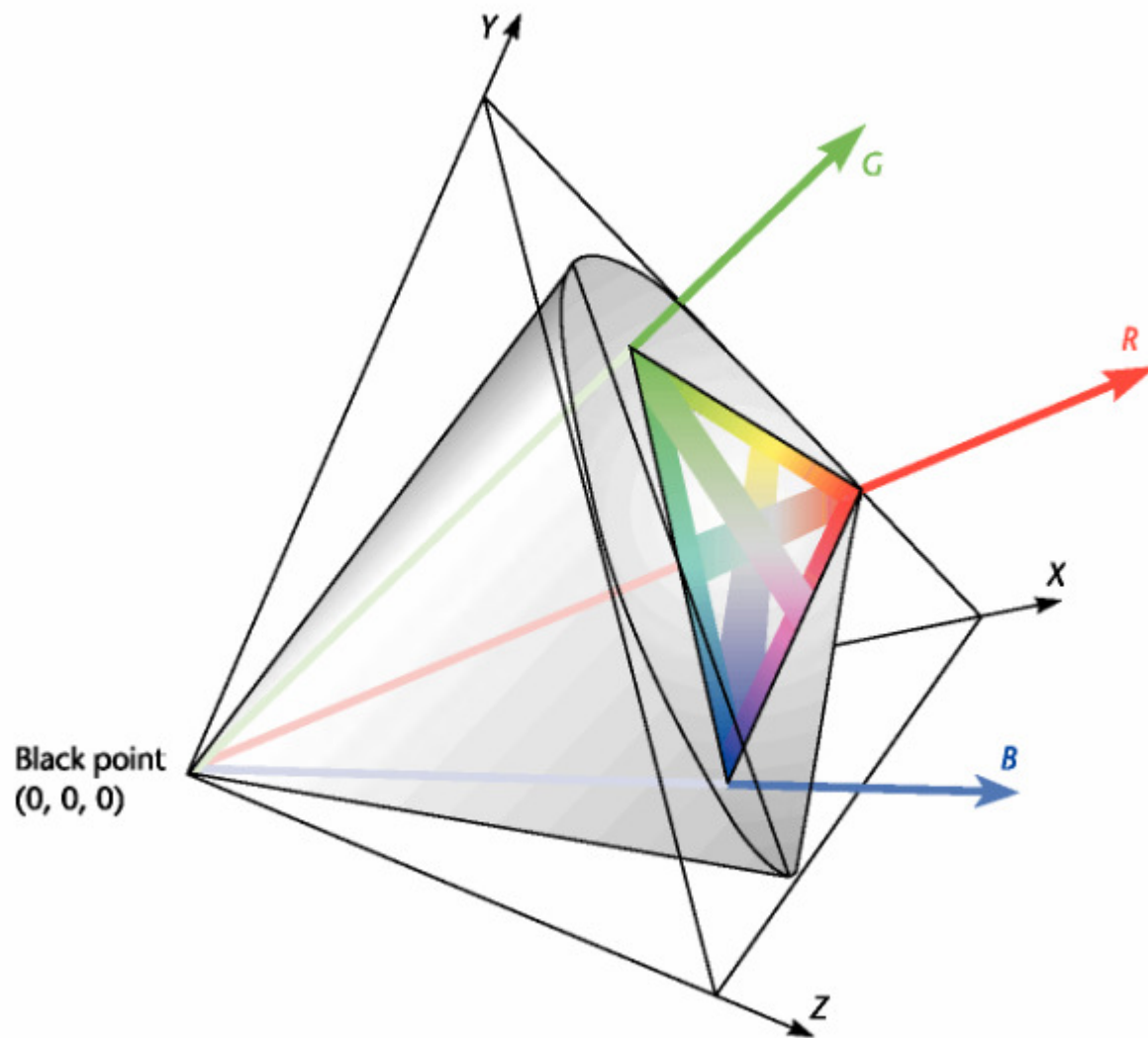
CIE XYZ

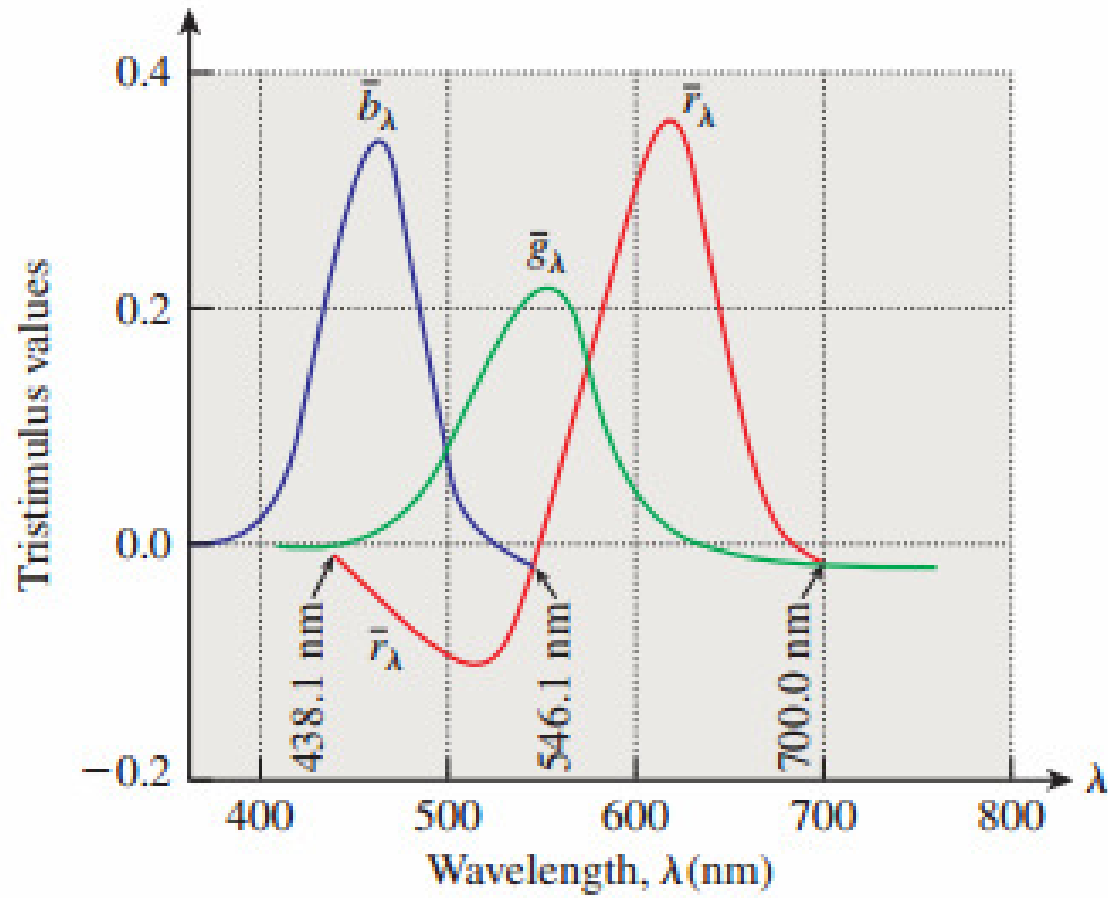
Gamute

CIE xyY

Representa no plano
todas as cores
percebidas pelo
olho humano







Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) – anos 1930

CIE XYZ – tristimulus – linear em relação ao RGB

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{b_{21}} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \frac{1}{0.176,97} \begin{bmatrix} 0.490\ 00 & 0.310\ 00 & 0.200\ 00 \\ 0.176\ 97 & 0.812\ 40 & 0.010\ 630 \\ 0.000\ 0 & 0.010\ 000 & 0.990\ 00 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.418\ 47 & -0.158\ 66 & -0.082\ 835 \\ -0.091\ 169 & 0.252\ 43 & 0.015\ 708 \\ 0.000\ 920\ 90 & -0.002\ 549\ 8 & 0.178\ 60 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Notar que Y é uma combinação de RGB (não na mesma proporção)

CIE xyY: transformação não linear para representar o gamute no plano xy:

$$\begin{aligned} x &= X/(X+Y+Z) & X &= Yx/y \\ y &= Y/(X+Y+Z) & Y &= Y \\ z &= Z/(X+Y+Z) & Z &= (1-x-y)Y/y \end{aligned}$$

CIE LUV

Objetivo é que a distância no espaço seja semelhante à distância percebida

$$\Delta E_{uv}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2}$$

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \quad u'_n = \frac{4X_n}{X_n + 15Y_n + 3Z_n}$$

$$v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z} \quad v'_n = \frac{9Y_n}{X_n + 15Y_n + 3Z_n}$$

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$u^* = 13L^*(u' - u'_n)$$

$$v^* = 13L^*(v' - v'_n)$$

Onde o índice “n” corresponde às medidas de uma cor branca de referência

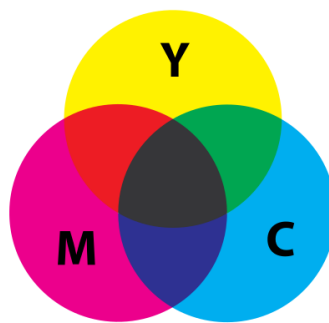
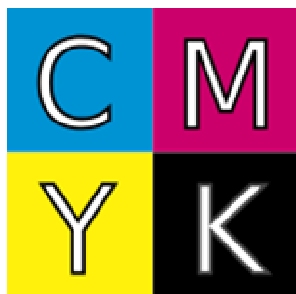
CIE LAB

$$a^* = 500 \left[(X/X_w)^{\frac{1}{3}} - (Y/Y_w)^{\frac{1}{3}} \right] \text{ and}$$

$$b^* = 500 \left[(Y/X_w)^{\frac{1}{3}} - (Z/Z_w)^{\frac{1}{3}} \right],$$

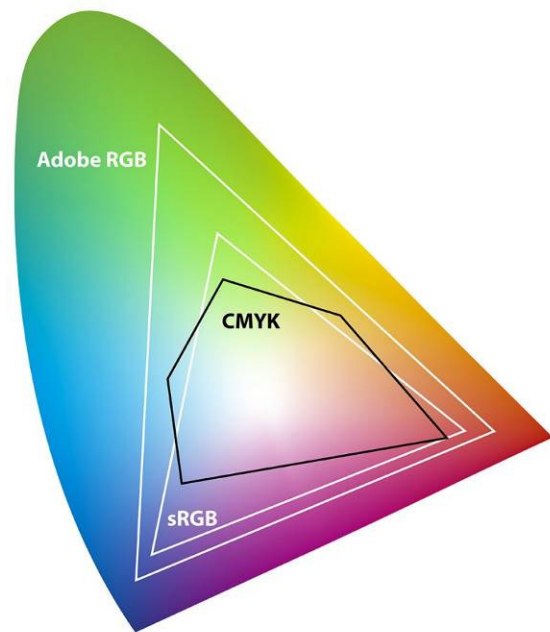
Mais espaços de cor

- CMY e CMYK (K for key = black)

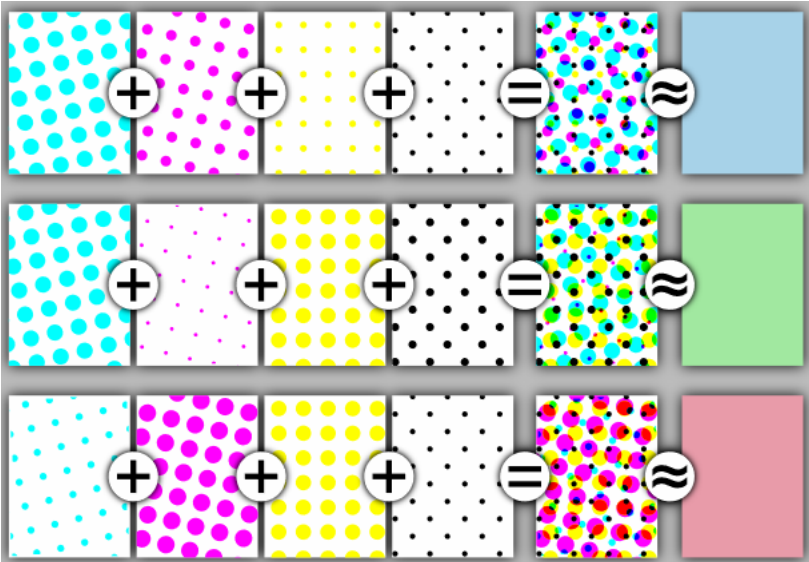


Combinação convexa



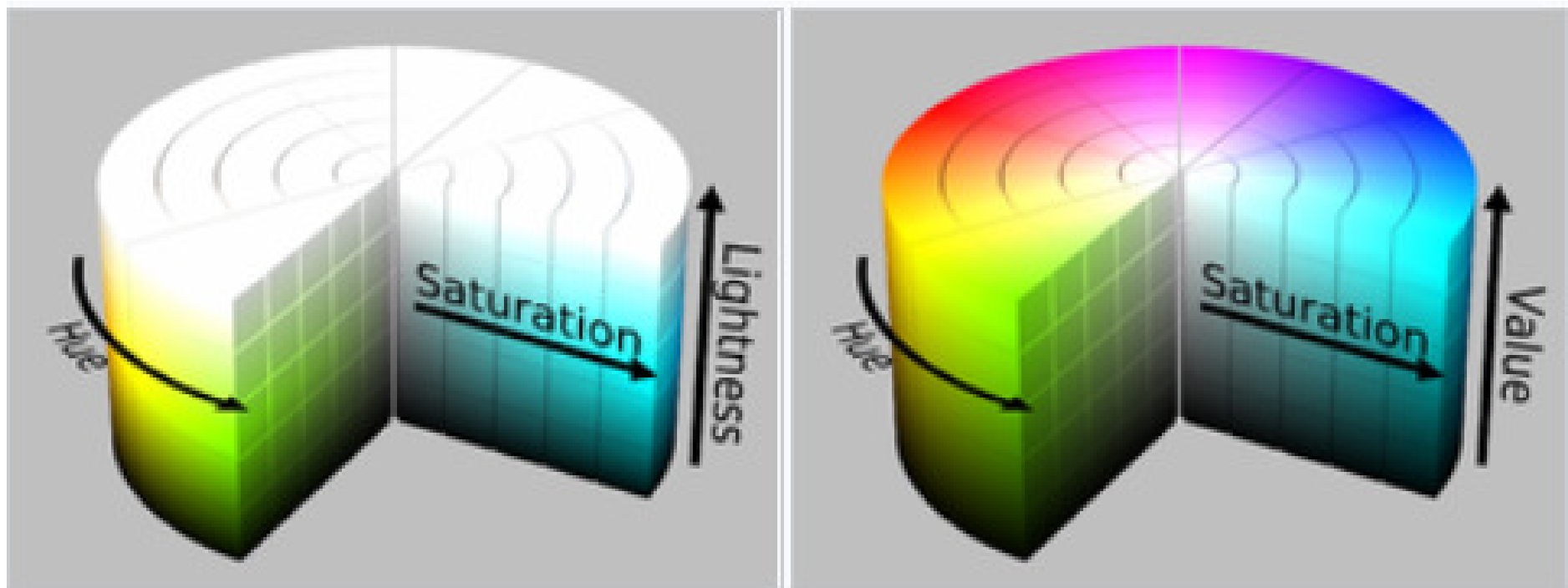


Halftoning

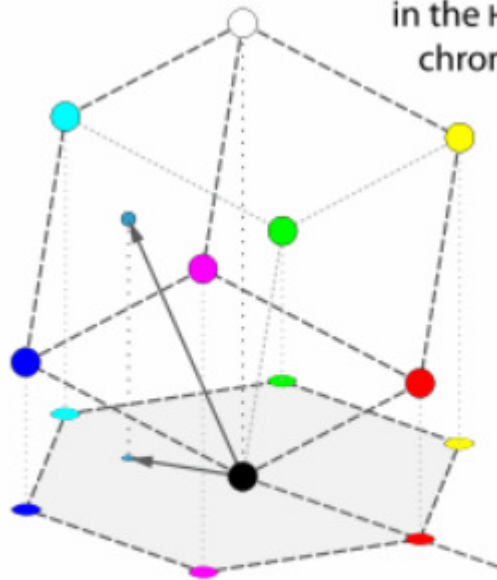


<https://www.flickr.com/photos/hardluck-hotel/6089703025>

HSL e HSV (e HSI)



Hue and chroma
in the HSL/HSV
chromaticity
plane



$$C = \frac{OP}{OP'} = B - R = \frac{4}{5} - \frac{1}{5} = \frac{3}{5} = .6$$

$$R = \frac{1}{5}$$

$$G = \frac{3}{5}$$

$$B = \frac{4}{5}$$

$$H = 60^\circ \times \left(4 + \frac{R-G}{C}\right) = 60^\circ \times \left(4 - \frac{2}{5}\right) = 200^\circ$$

$$M = \max(R, G, B)$$

$$m = \min(R, G, B)$$

$$C = M - m$$

$$V = M$$

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B)$$

$$Y'_{601} = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$H' = \begin{cases} \text{undefined,} & \text{if } C = 0 \\ \frac{G-B}{C} \bmod 6, & \text{if } M = R \\ \frac{B-R}{C} + 2, & \text{if } M = G \\ \frac{R-G}{C} + 4, & \text{if } M = B \end{cases}$$

$$H = 60^\circ \times H'$$

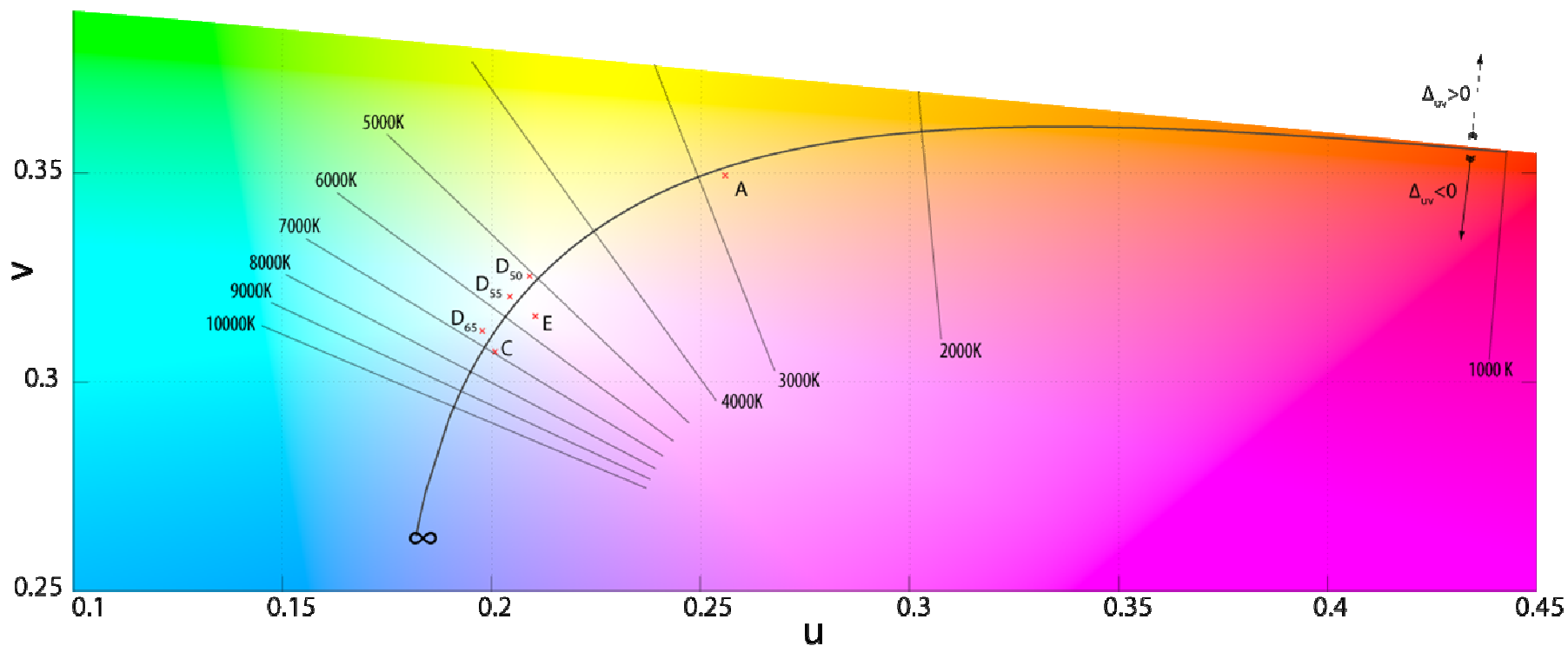
$$S_{HSV} = \begin{cases} 0, & \text{if } V = 0 \\ \frac{C}{V}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$S_{HSL} = \begin{cases} 0, & \text{if } L = 1 \\ \frac{C}{1-|2L-1|}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$S_{HSI} = \begin{cases} 0, & \text{if } I = 0 \\ 1 - \frac{m}{I}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad L = \frac{1}{2}(M + m)$$

Temperatura de cor

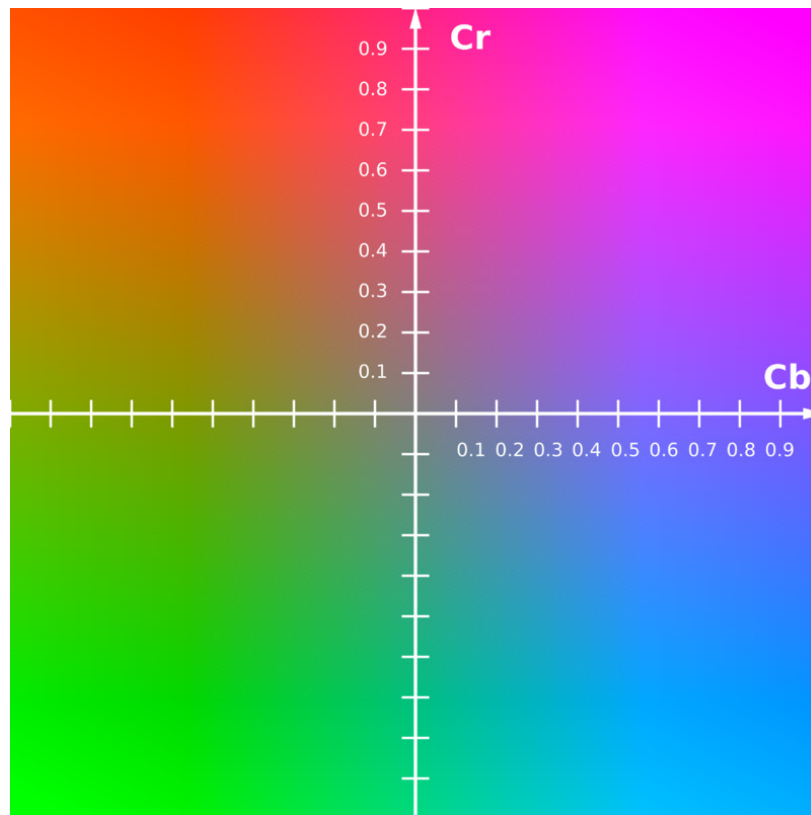
0.4



Y'CBCR

(JPEG, KODAK, padrões ITU para HDTV)

Utiliza cores primárias como referência



$$\begin{aligned}
Y' &= 16 + (65.481 \cdot R' + 128.553 \cdot G' + 24.966 \cdot B') \\
C_B &= 128 + (-37.797 \cdot R' - 74.203 \cdot G' + 112.0 \cdot B') \\
C_R &= 128 + (112.0 \cdot R' - 93.786 \cdot G' - 18.214 \cdot B')
\end{aligned}$$

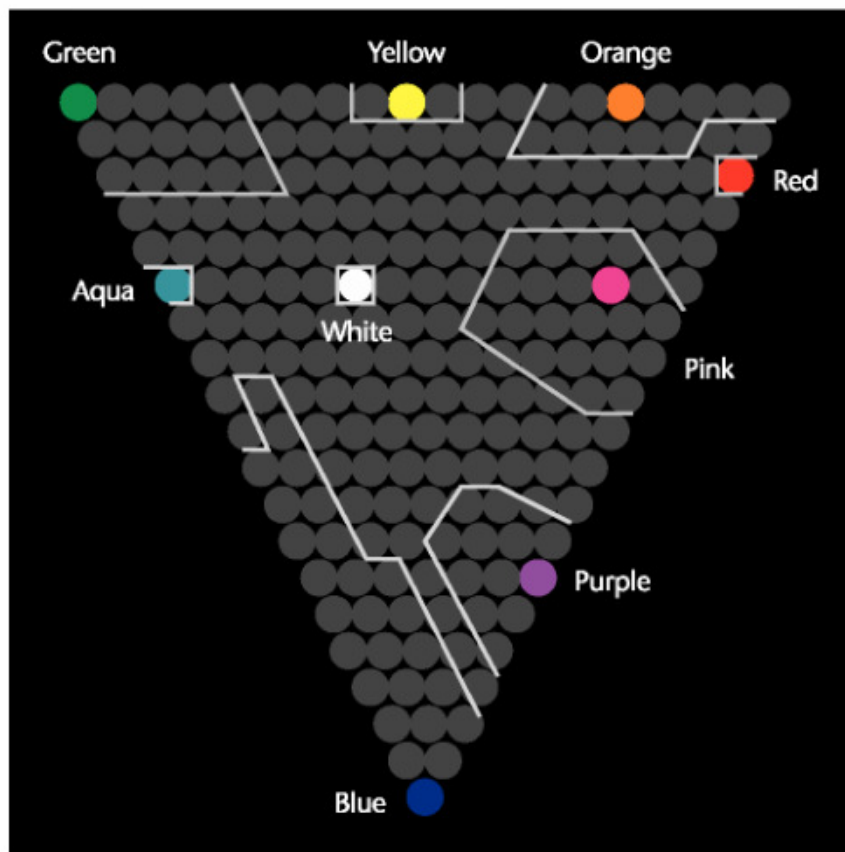
YUV – separa luminância e crominância e é linear em relação ao RGB

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} Y' \\ U \\ V \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.14713 & -0.28886 & 0.436 \\ 0.615 & -0.51499 & -0.10001 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \\
\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1.13983 \\ 1 & -0.39465 & -0.58060 \\ 1 & 2.03211 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y' \\ U \\ V \end{bmatrix}.
\end{aligned}$$

O sinal de TV colorida era compatível com o sinal de TV preto-e-branco.

Y era codificada em baixa frequência e UV em alta frequência, não sendo notada pelo aparelho de TV preto-e-branco.

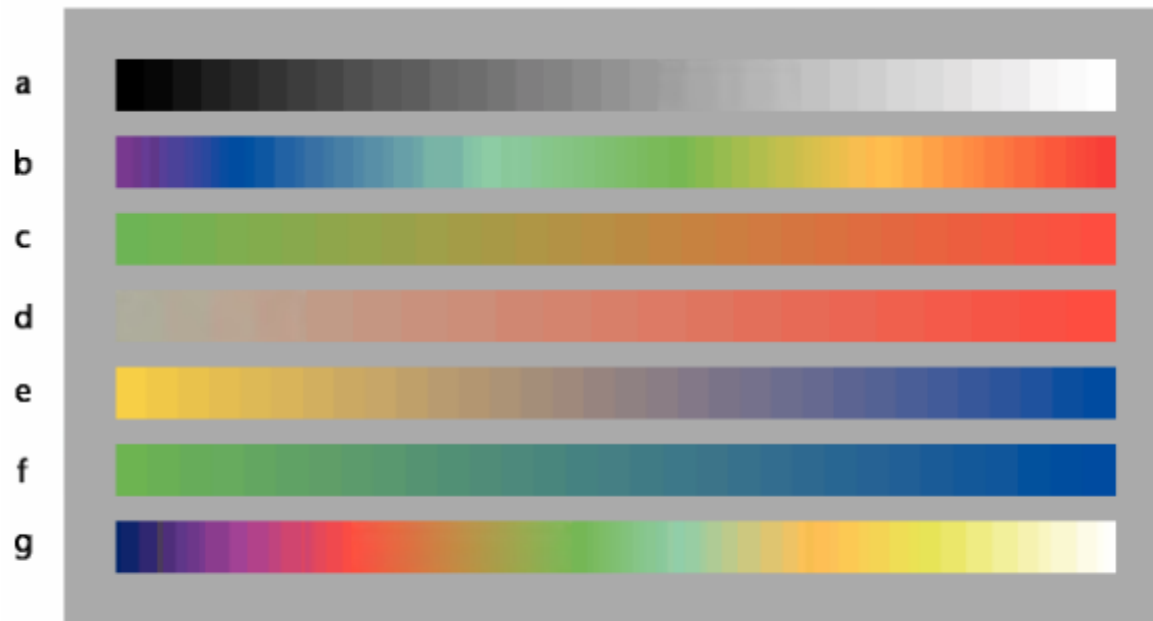
Color names



Muito subjetivo, depende da linguagem, da cultura, do ambiente etc



Pseudocolor sequences



Seven different color sequences: (a) Gray scale. (b) Spectrum approximation. (c) Red–green. (d) Saturation. (e) and (f) Two sequences that will be perceived by people suffering from the most common forms of color blindness. (g) A sequence of colors in which each color is lighter than the previous one.