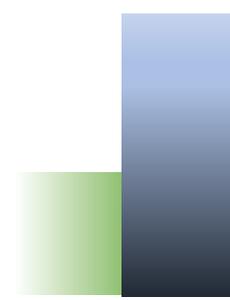


# Processamento digital de imagens

Transformações de cor

CPGCG/UFPR

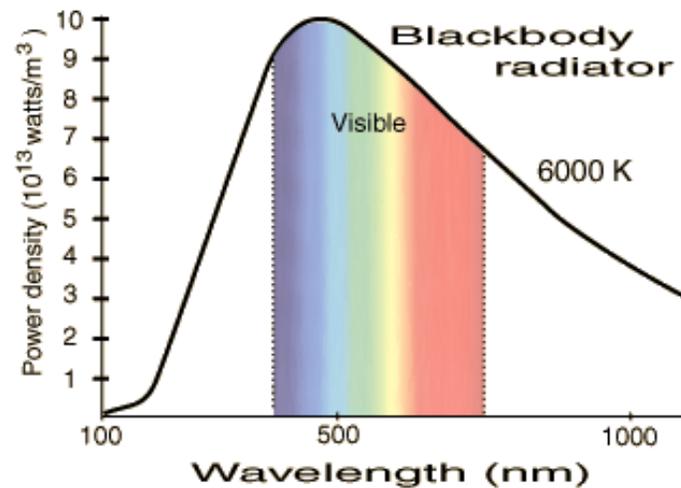
Prof. Dr. Jorge Centeno



# LUZ - COR

O que é cor?

Como descrever as cores?



Como descrever as cores?

- Azul? “Mais Azul”, azul marinho?  
Azul escuro? Azul mais escuro?



# Percepção da cor

Uma fotografia digital é registrada usando três matrizes que armazenam a radiação eletromagnética (Luz) em três cores básicas: Red, Green, Blue.

Porém, a variação de cor não é discreta, mas contínua.

A luz visível, conforme demonstrado por Newton, pode ser decomposta em uma grande gama de cores (o espectro visível).



Blue= 435,8nm

Green=546,1nm

Red= 700nm

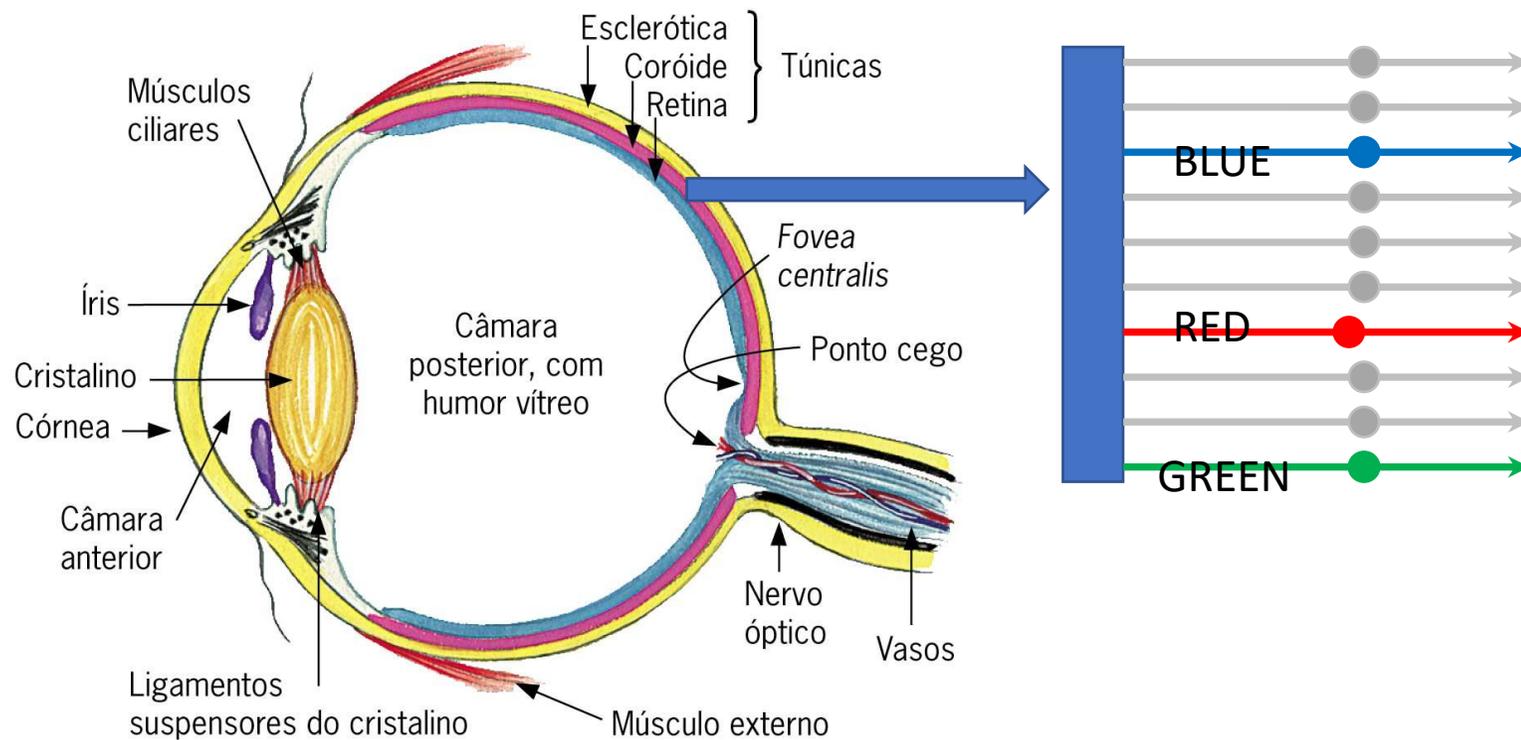
O espectro visível é definido dentro da faixa de 0,4 a 0,7 micras.

Entende-se que as cores básicas estão dentro desse “espectro”,

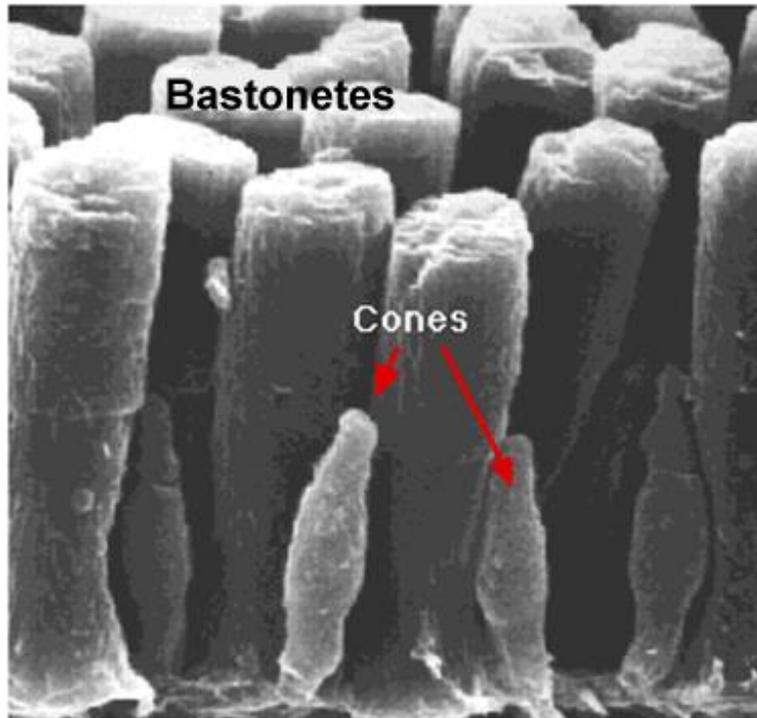
Como definido pela CIE – “Comission Internationalle d l’Eclairge” :

# A visão e a cor

## Olho humano em corte



# Cones e bastonetes

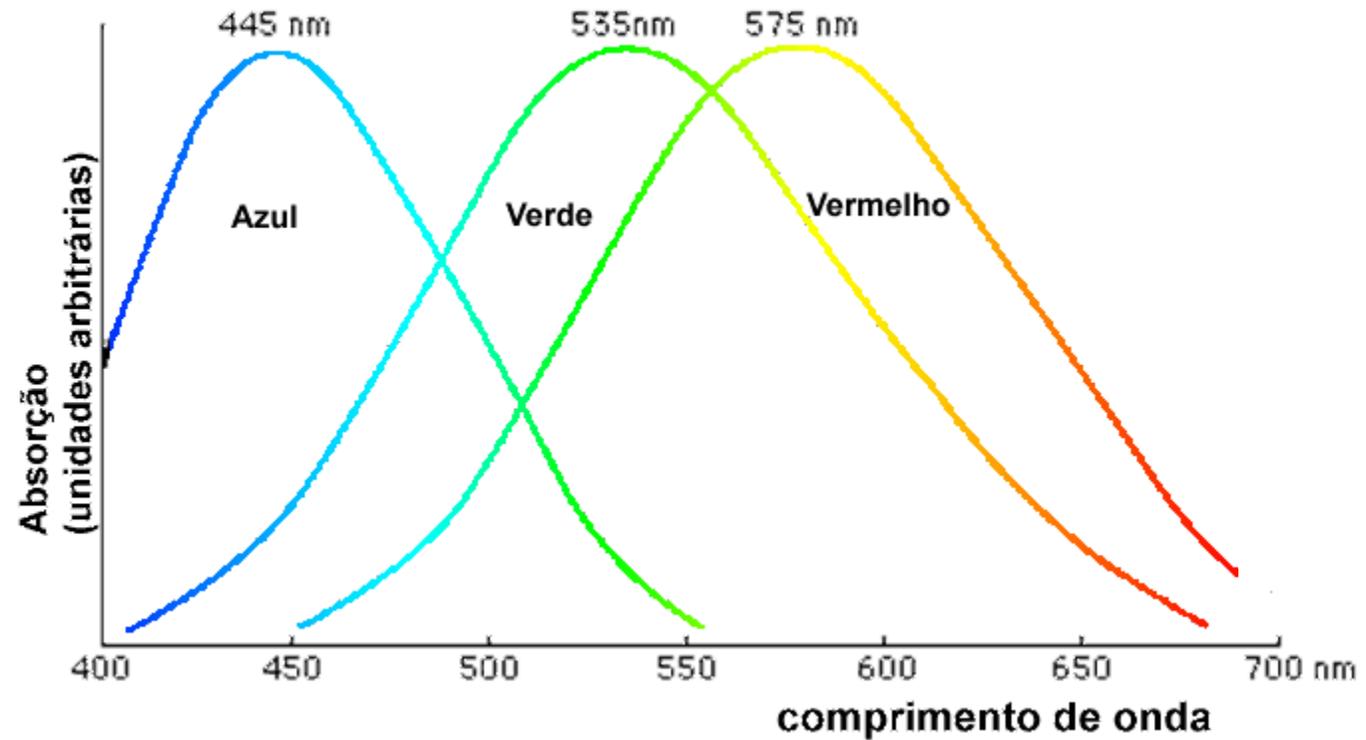


Existem aproximadamente 6 milhões em cada olho humano concentrados na região fóvea.

Os bastonetes (rods), percebem a luminosidade.

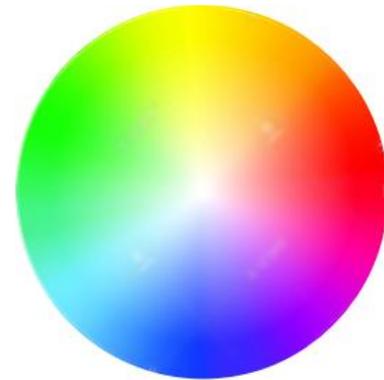
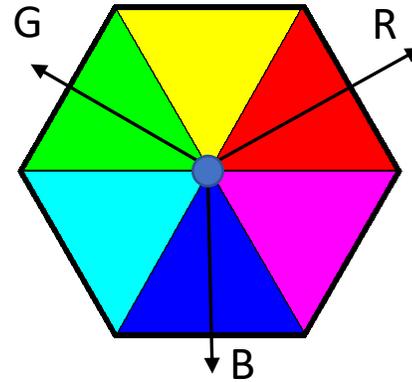
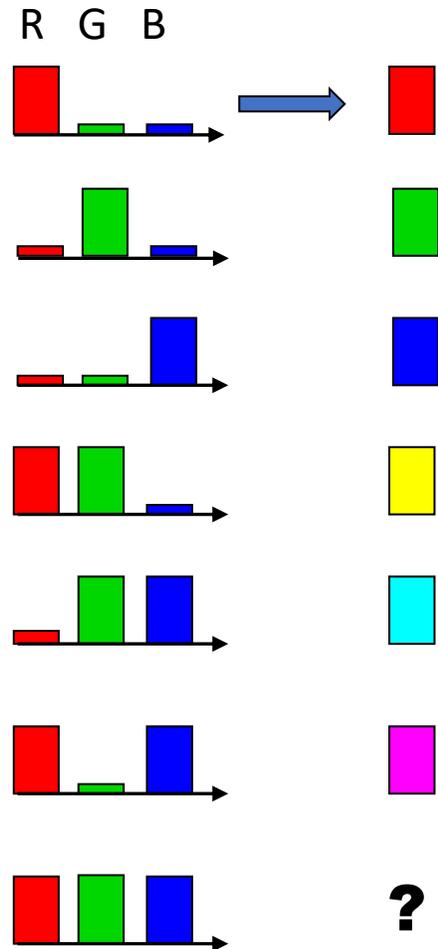
Os Cones são as células do olho humano capazes de reconhecer as cores.

# Sensibilidade de 3 tipos de cones



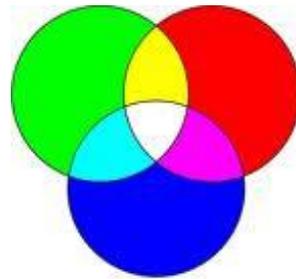
Podemos chamar de cones B,G e R?

# Combinando a sensação...

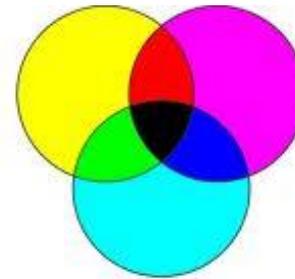


# Combinação aditiva de cores

Na tela do computador são combinadas luzes, logo se verifica a combinação aditiva das cores básicas R , G e B.



Cores Aditivas



Cores Subtrativas

Logo, cada cor pode ser descrita por uma combinação da intensidade de R,G e B

$$COR = I(R) + I(G) + I(B)$$

$$cor = \begin{bmatrix} I(R) \\ I(G) \\ I(B) \end{bmatrix}$$

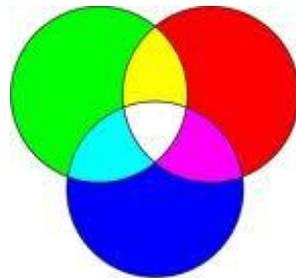
$$cor = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

# Transformação RGB CYM

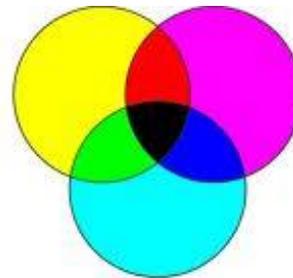
Para transformar do sistema RGB para o sistema CMY - Ciano, Magenta, Amarelo (yellow) :

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Ou seja, o ciano não pode ter componente vermelha. O magenta verde, e o amarelo azul. Pois estes pares são opostos



Cores Aditivas



Cores Subtrativas

# Sistema IHS

Intensidade

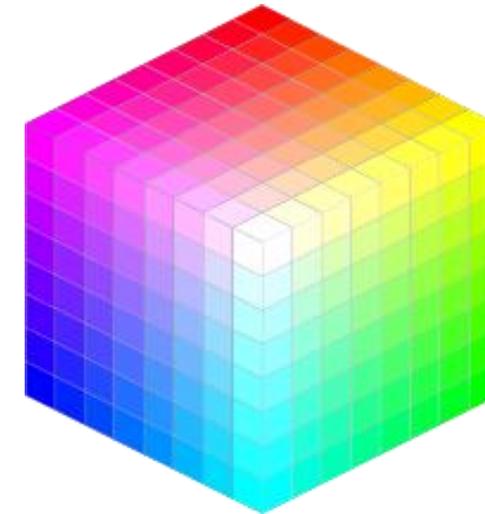
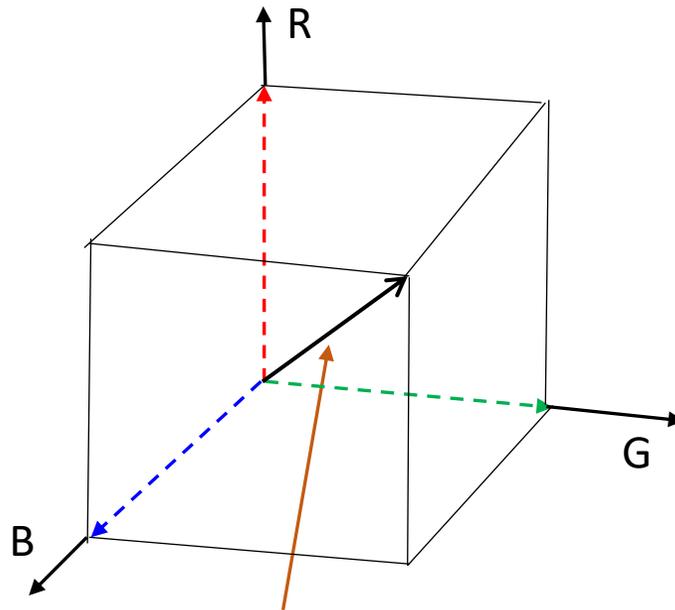
Hue (tonalidade)

Saturação

# CUBO RGB

As cores podem ser representadas pelo vetor  $(R,G,B)$  que varia entre 0-1, ou 0-255.

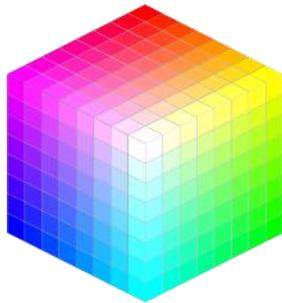
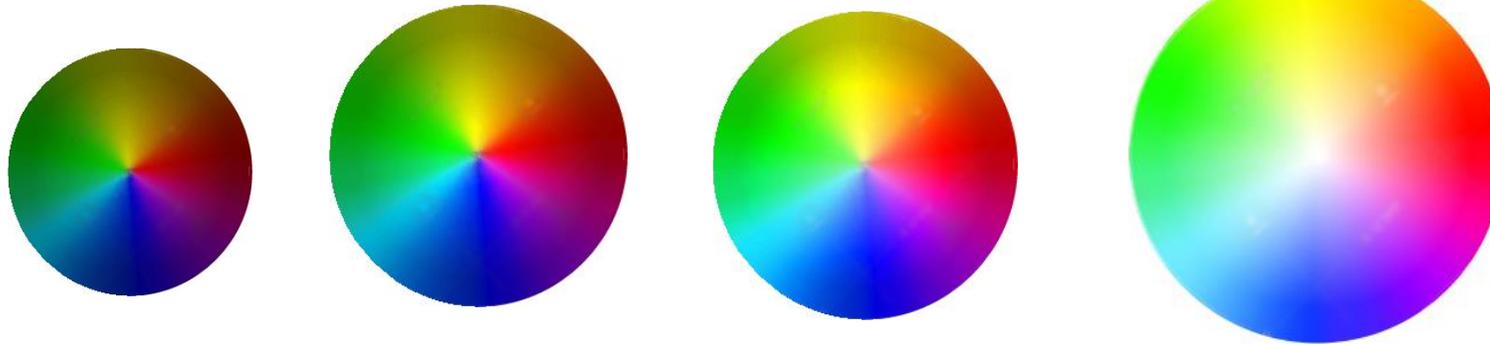
Em 8 bits, cada eixo varia entre 0-255, e as possíveis combinações definem um cubo (cubo de cores)



Linha de cinza:  
vai de  $(0,0,0)$  a  $(1,1,1)$ . Região de cores  
sem saturação. Branco, cinza, preto...

# Variação de intensidade

Mais claro, mais energia



De que cor é a combinação RGB:

$(0,1 \ 0,2 \ 0,1) =$

$(0,2 \ 0,4 \ 0,2) =$

$(0,3 \ 0,6 \ 0,3) =$

$(0,5 \ 1,0 \ 0,5) =$

Qual delas tem mais energia (intensidade)?

# Intensidade da cor

o total de intensidade da cor, ou seja a soma de todas as componentes:

$$I=R+G+B$$

Ou normalizando:  $I=(R+G+B)/3$

Se é a soma de todas as bandas do visível... Não lembra uma banda pancromática?



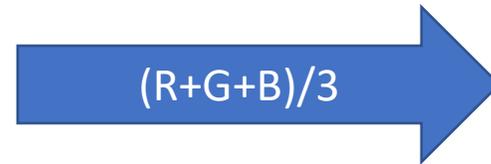
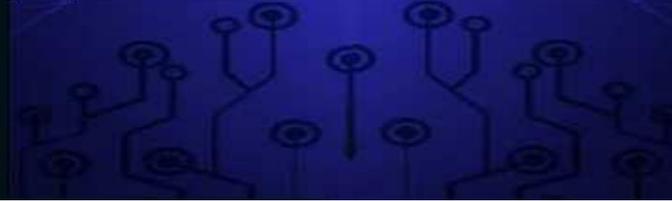
RGB



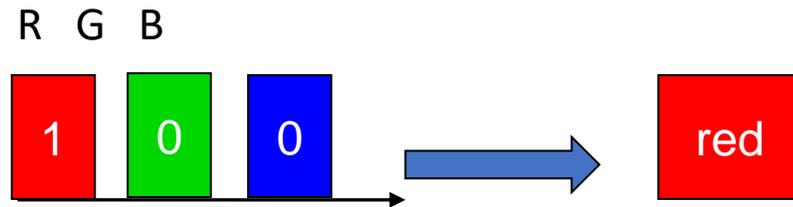
R



Intensidade



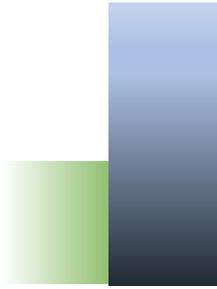
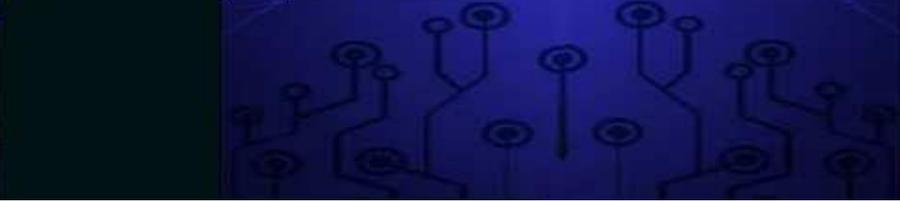
# Calcule a intensidade de ...



	cor	R	G	B	Intensidade
	1	1,0	0,0	0,0	
	2	0,0	0,0	1,0	
	3	1,0	1,0	0,0	
	4	1,0	0,0	0,1	
	5	0,0	0,9	0,1	
	6	1,0	1,0	1,0	
	7	0,0	0,0	0,0	

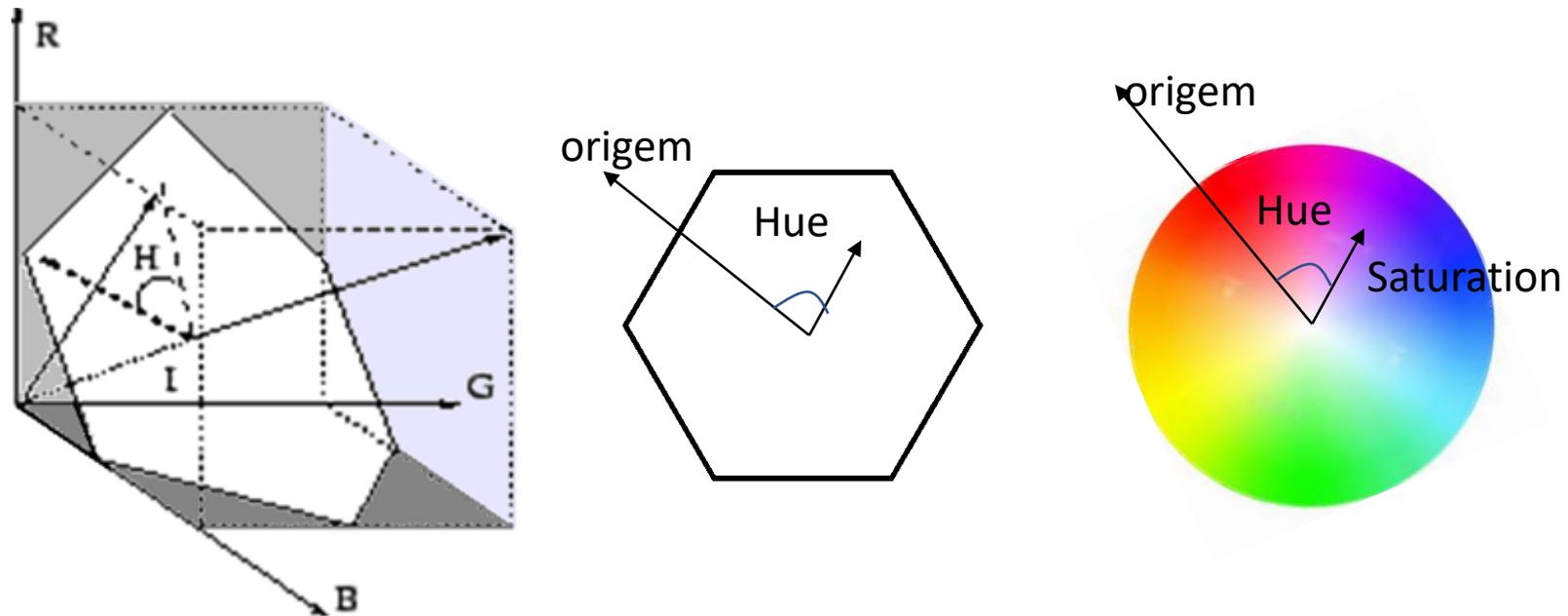


Como veria o jogo em uma TV preto e branco?



# Hue & Saturation

Fazendo um corte perpendicular à linha de cinzas podemos medir o afastamento da cor em relação à linha de cinzas (Saturação) e a direção deste afastamento (tonalidade=Hue)



- Somente falta definir uma origem...

# Definamos então:

Um sistema 3D (rotação de RGB)

Com as seguintes propriedades

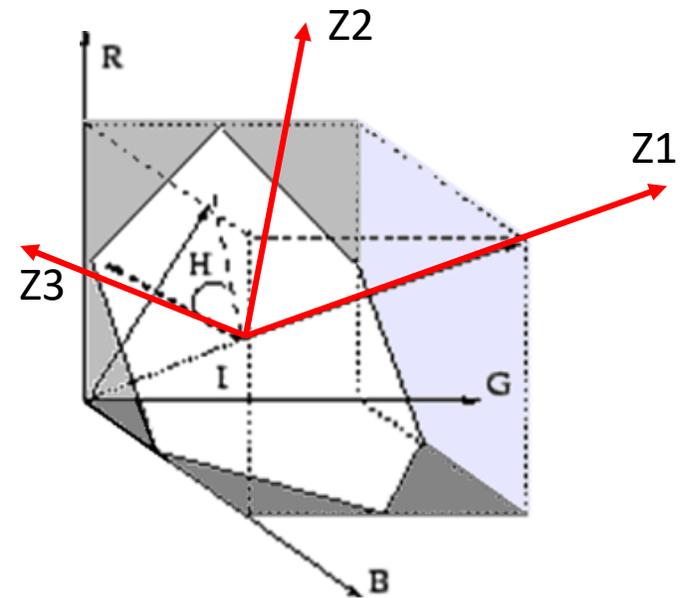
- a) Z1, Z2 e Z3 são perpendiculares;
- b) Um eixo é paralelo à linha de cinzas (Z1);
- c) Z2 e Z3 formam um plano perpendicular a Z1.

$Z1 = (1,1,1)$  ou um múltiplo

$$Z1 * Z2 = 0$$

$$Z1 * Z3 = 0$$

$$Z3 * Z2 = 0$$



Se  $Z1 = [1, 1, 1]$

$Z2$  pode ser  $[1, 0, -1]$ , por exemplo.

Ou  $(-\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2})$ , ou ...

Prova:

$$[1, 1, 1] * [1, 0, -1]' = 0$$

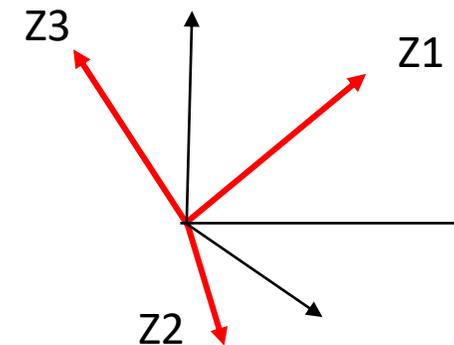
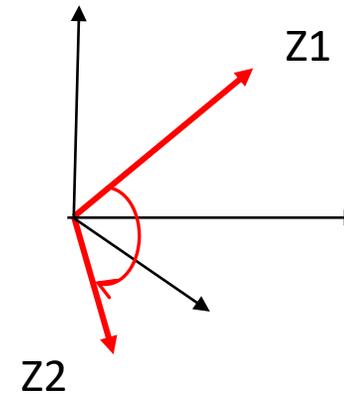
Se já temos  $Z1$  e  $Z2$ ,

$Z3$  perpendicular a  $Z1$       $Z3 * (1, 1, 1) = 0$

$Z3$  Perpendicular a  $Z2$       $Z3 * (1, 0, -1) = 0$

Uma solução é  $Z3 = (-1, 2, -1)$

Lembrando que  $Z2$  e  $Z3$  definem um plano perpendicular a  $Z1$ .



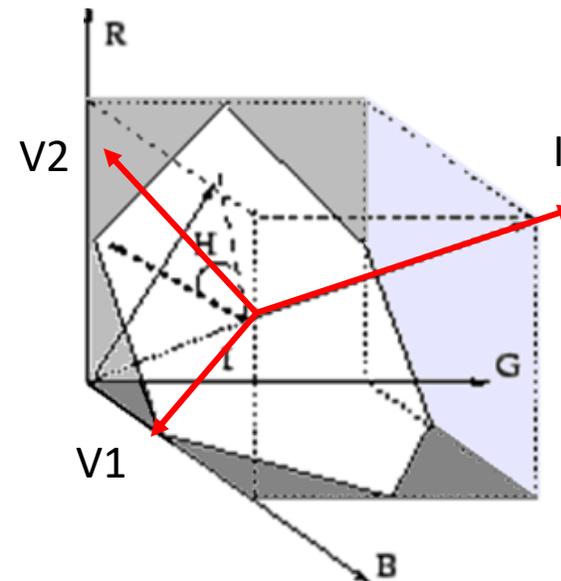
# Tranformação RGB-HSV

Chamando  $Z_1, Z_2, Z_3$  de  $(I, V_1, V_2)$

$$\begin{bmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \\ 2 & -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Ou normalizando ...

$$\begin{pmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{3}/3 & \sqrt{3}/3 & \sqrt{3}/3 \\ 0 & 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ 2/\sqrt{6} & -1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{6} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

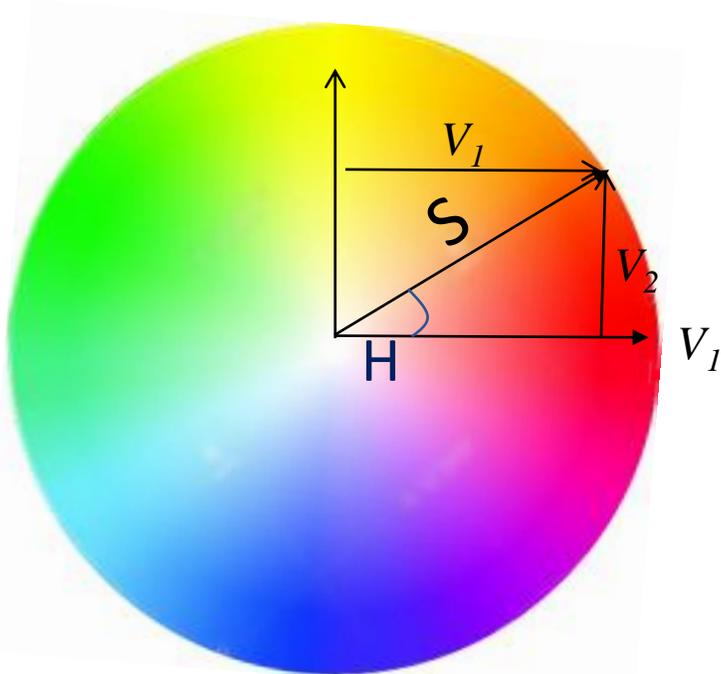


# Cálculo de H e S

$$H = \tan^{-1}\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$S = \sqrt{(V_1)^2 + (V_2)^2}$$

$$V = I$$



Pode-se calcular as componente  
Hue (matiz)

Saturação

E Intensidade

H: (Hue) cor predominante

S: saturação, ou quanto se  
afasta da linha central (cinzas)

I: Intensidade (soma de  
toda a energia das três cores)

# A inversa ... RGB-HSV

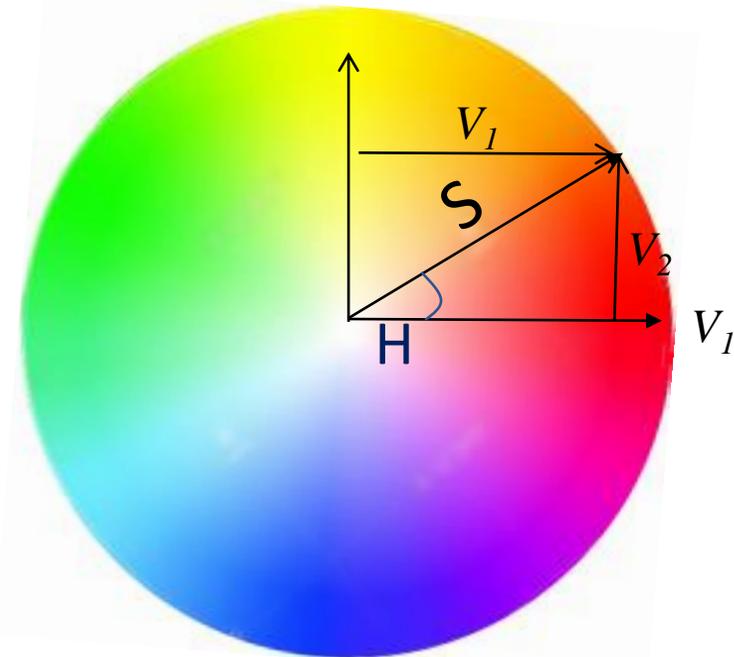
## Transformações HSV-RGB

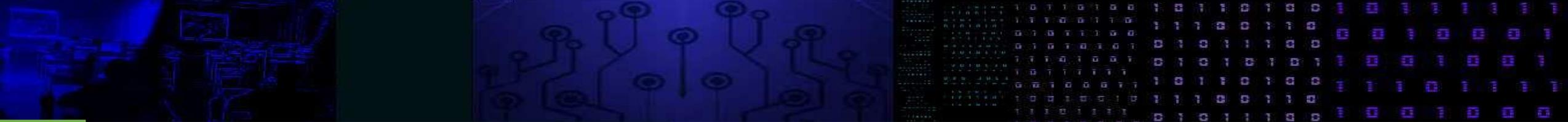
$$V_1 = S \cos H$$

$$V_2 = S \sin H$$

$$I = V$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{3}/3 & 0 & 2/\sqrt{6} \\ \sqrt{3}/3 & 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{6} \\ \sqrt{3}/3 & -1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{6} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$$





## Outros sistemas de cores

# Sistema YIQ

Com o surgimento da televisão, passou-se a transmitir imagens em preto e branco, logo foi necessário “resumir” o vetor colorido (RGB) para um único valor.

Assim, foi proposto usar apenas a “intensidade” total dos pixels, ou seja, a soma (muitas vezes ponderada) das componentes RGB.

Intensidade “*soma de R,G e B*”



Fonte: amazon.com

# Sistema YIQ

Com o surgimento da televisão colorida, foi necessário transmitir a cor de cada pixel. Para isto, foi proposta a transformação YIQ:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Um televisor colorido usaria todas as componentes, enquanto um receptor preto e branco apenas a Y (intensidade).

O par IQ armazena a cromaticidade e

Y a Luminância (Intensidade)

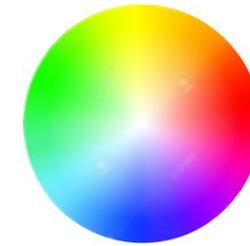
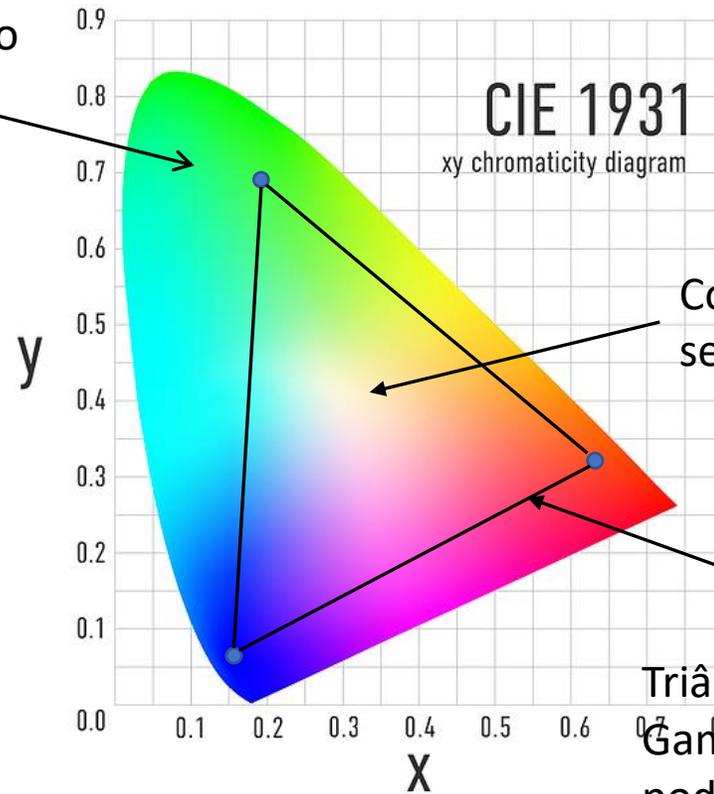
$$Y = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B$$

Uma soma ponderada de R,G e B.



# CIE Comissão Internacional de Iluminação (Commission internationale de l'éclairage)

Todas as cores percebidas pelo olho



Triângulo  
Gamut: todas as cores que  
podem ser representadas por  
adição de R G e B

Combinções  
sem saturação

# Sistema XYZ

Neste modelo:

X é uma aproximação da curva de sensibilidade do vermelho ao verde (cones L e M).

Y significa luminosidade (claridade),

Z é aproxima estímulo de azul (cones S)

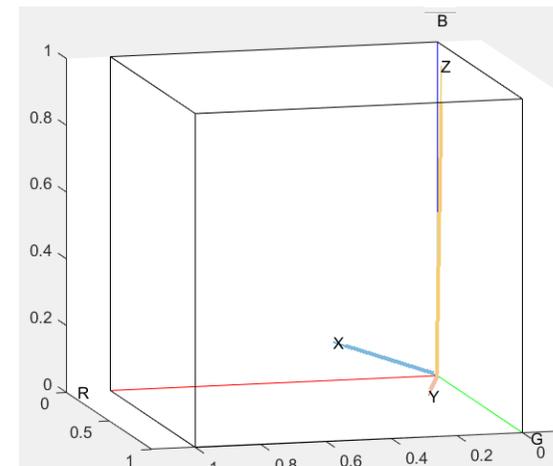
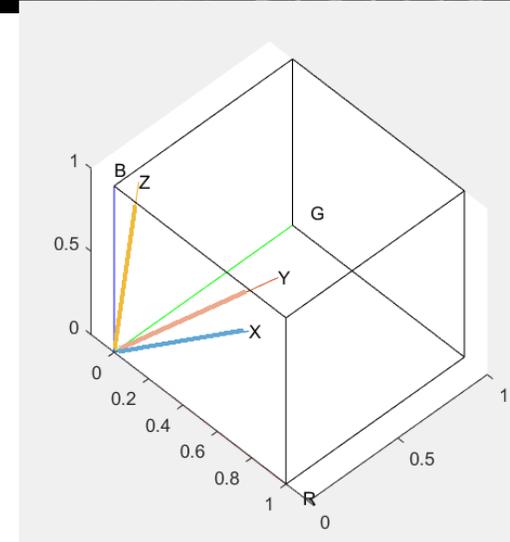
$$X = 0.412453 R + 0.35758 G + 0.180423 B$$

$$Y = 0.212671 R + 0.71516 G + 0.072169 B$$

$$Z = 0.019334 R + 0.119193 G + 0.950227 B$$

As componentes não são ortogonais

$$\text{GB2XYZ} = \begin{bmatrix} 0.412453 & 0.35758 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.71516 & 0.072169 \\ 0.019334 & 0.119193 & 0.950227 \end{bmatrix}$$



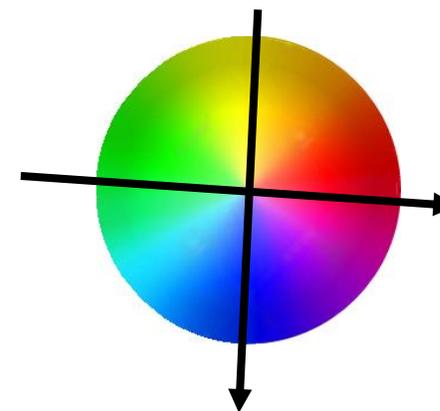
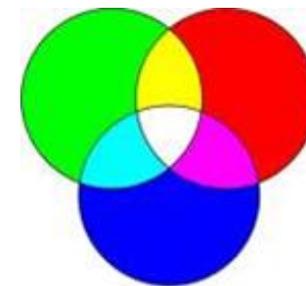
# $L^*a^*b^*$

Neste sistema, além da luminosidade, duas componentes armazenam a cor do pixel, sendo que elas representam o contraste entre vermelho e verde e o contraste entre azul e amarelo (cores opostas)

**$L^*$** =luminosidade

**$a^*$** = coordenadas vermelho/verde (+a indica vermelho, -a indica verde)

**$b^*$**  = coordenadas amarelo/azul (+b indica amarelo, -b indica azul)



$L^* a^* b^*$

Pode ser calculado a partir do sistema CIE-XYZ

$$L^* = 116 \left( \frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - 16 \quad \text{for } \frac{Y}{Y_0} > 0.008856$$

$$a^* = 500 \left( \left( \frac{X}{X_0} \right)^{1/3} - \left( \frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} \right) \quad \text{for } \frac{X}{X_0} > 0.008856$$

$$b^* = 200 \left( \left( \frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - \left( \frac{Z}{Z_0} \right)^{1/3} \right) \quad \text{for } \frac{Z}{Z_0} > 0.008856$$

X, Y, Z são as componentes do tristímulo XYZ da CIE.

X<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>, Z<sub>0</sub> descrevem uma situação de referência acromática (cinza).

Para o padrão CIE 1931 (2°), e considerando a cor branca Y = 100, estes valores são:

For Standard Illuminant D65:

X<sub>0</sub>=95.0489

Y<sub>0</sub>=100

Z<sub>0</sub>=108.8840