

Processamento Digital de Imagens / Processamento de Imagens

Profa. Flávia Magalhães

PUC Minas

Unidade III - Fundamentos de Cor

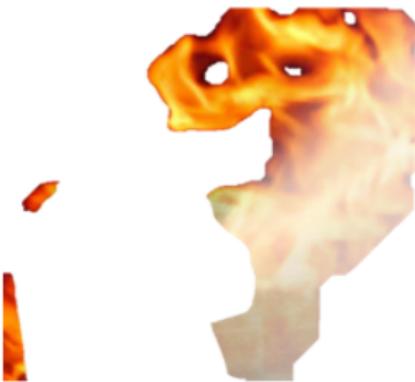
Agenda

- 1 Introdução
- 2 Atributos de Cor
- 3 Os 3 tipos de cones no SVH
- 4 Tri-estímulos
- 5 Cores Reproduzíveis
- 6 Coeficientes Tricromáticos ou Cromaticidades
- 7 Diagrama de Cromaticidades do Sistema RGB
- 8 Modelo (ou Sistemas / Espaços) de Cores
 - RGB
 - HSV
 - YCbCr
 - XYZ
 - Lab
 - CMY
- 9 Qual modelo utilizar?
- 10 Exemplos - MATLAB

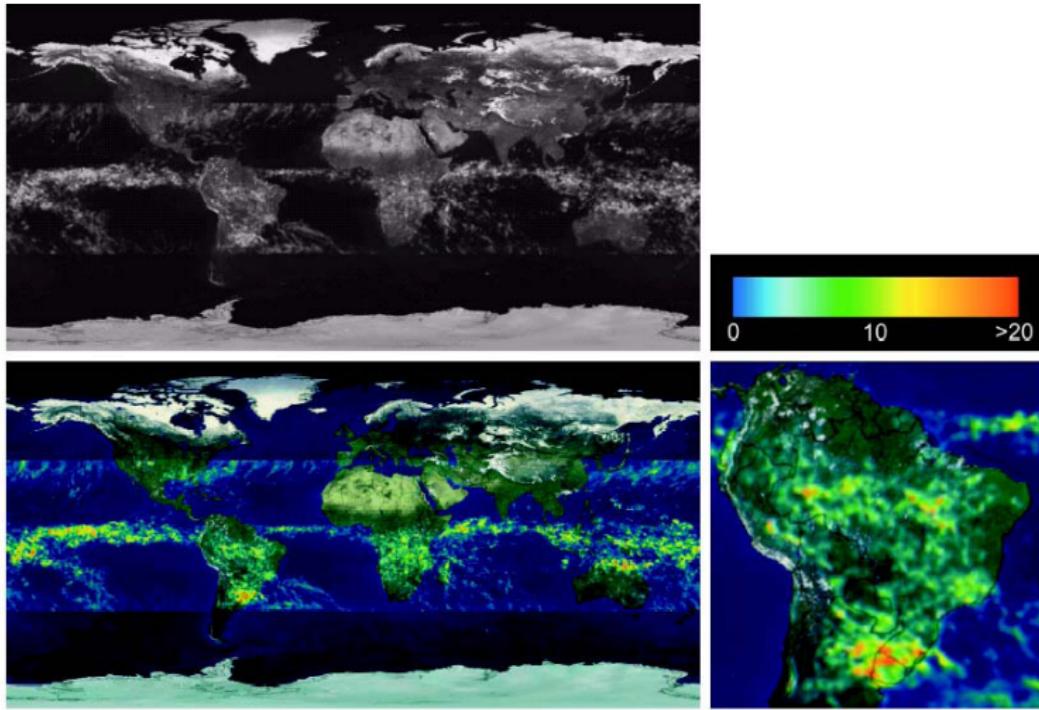
- Cor é uma **propriedade importante na análise de imagens** realizada pelos seres humanos, com ou sem o auxílio de computador.
- A identificação de objetos e a interpretação de uma cena podem, em geral, ser simplificadas com o uso de cor.
- Com base em experimentos realizados com o sistema visual humano, o olho humano pode discernir milhares de tons e intensidades de cores, comparado com apenas algumas dezenas de níveis de cinza.
- Motivação
 - **poderoso descriptor de característica**, que simplifica a identificação e extração de objetos da cena

- Duas áreas principais
 - **Cores reais:** Imagens adquiridas com um sensor de cores reais (câmeras digitais, scanner).
 - **Pseudo-cores:** Atribuição de um tom de cor para uma intensidade monocromática particular, ou atribuição de um mapa de cores para uma variação de intensidades.

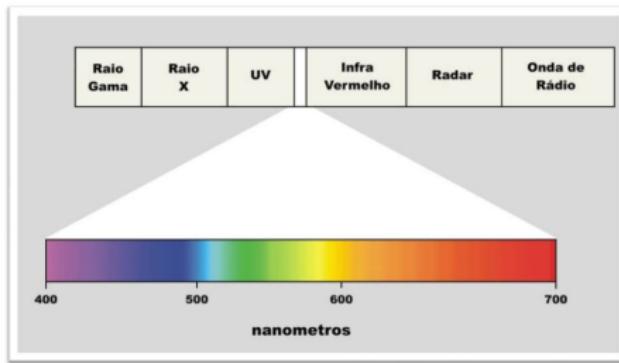
- Processamento de imagens em cores reais



- Processamento de imagens em pseudo-cor



- A compreensão da natureza da luz é essencial no estudo das cores: a **cor é uma manifestação perceptual da luz** que, por sua vez, é um sinal eletromagnético.
- Os olhos humanos são capazes de capturar luz em formas de ondas. **Estas ondas, para serem percebidas, devem estar entre 400 e 700 nanômetros (nm).**

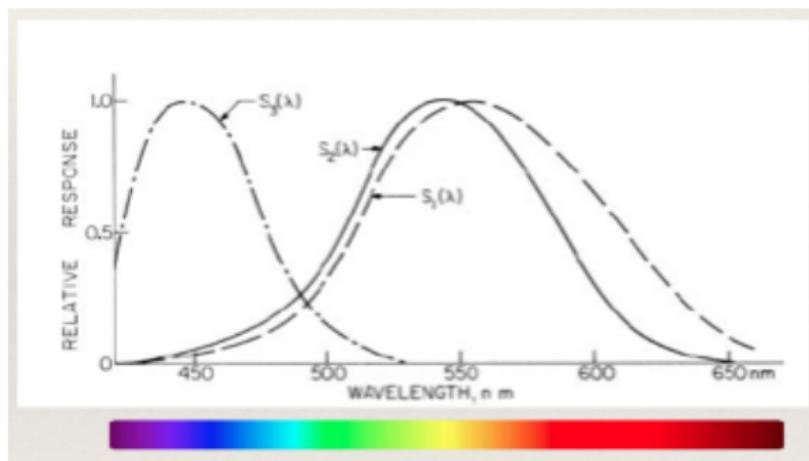


- O que é cor?
 - **Impressão variável que a luz refletida pelos corpos produz no órgão da visão;**
 - Sensação produzida pelos diferentes comprimentos de onda atingindo os olhos;
 - A cor de um objeto está relacionada à propriedade que o objeto tem de absorver ou refletir a luz;

- As características normalmente usadas para distinguir uma cor de outra são o brilho, o matiz e a saturação:
 - O **brilho**, ou a **luminância**, representa a noção de intensidade luminosa da radiação.
 - O **matiz** é uma propriedade associada ao comprimento de onda predominante na combinação de ondas de luz.
 - A **saturação** expressa a pureza do matiz ou, de modo similar, o grau de mistura do matiz original com a luz branca (as cores puras são completamente saturadas).
 - O **matiz** e a **saturação**, quando tomados juntos, são chamados de **crominância** e, portanto, **uma cor pode ser caracterizada pelo seu brilho e crominância**.
 - As cores preta, branca e cinzas possuem saturação uniforme em todos os comprimentos de onda (o que resulta em saturação resultante nula) e são diferenciadas apenas pelo brilho.

Os 3 tipos de cones no SVH

- Há 3 tipos de cones em uma retina humana normal, cujas características espectrais têm picos em: amarelo-esverdeado, verde, azul.



- Baseados no SVH, Thomas Young (1802) propôs que os **sistemas de representação de cor utilizassem três cores primárias para produzir outras cores.**
- As cores primárias $P_K(\lambda)$, $K = 1, 2, 3$, devem ser três fontes básicas de luz linearmente independentes, tais que

$$\int P_K(\lambda) d\lambda = 1$$

onde $P_K(\lambda)$ é a DEE (Densidade Espectral de Energia) da k-ésima cor primária.

- Assim, **uma cor com DEE $C(\lambda)$ é produzida a partir de uma combinação das cores primárias:**

$$C(\lambda) = \sum_{K=1}^3 \beta_K(C) P_K(\lambda)$$

- Em 1931, a Comissão Internacional de Iluminação (CIE, do francês Commission Internationale de l'Éclairage) adotou o **sistema RGB** de representação do espaço de cores, cuja base é constituída por três cores nas faixas vermelha (R-Red), verde (G-Green) e azul (B-Blue) do espectro visível.
- A cada uma dessas três cores, conhecidas como cores primarias, a CIE atribuiu os valores de comprimentos de onda 435.8 nm para azul, 546.1 nm para verde e 700 nm para vermelho.

$$P_1(\lambda) = \delta(\lambda - 435.8)$$

$$P_2(\lambda) = \delta(\lambda - 546.1)$$

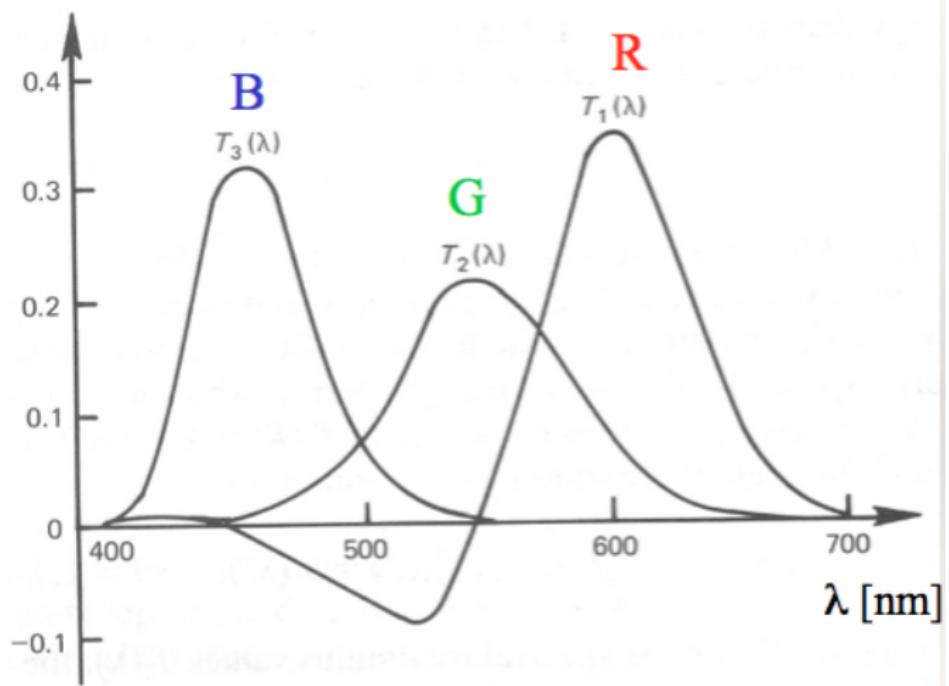
$$P_3(\lambda) = \delta(\lambda - 700)$$

- Os **tri-estímulos da cor** $C(\lambda)$ são:

$$T_K(C) = \frac{\beta_K(C)}{\beta_K(W)}$$

em que $\beta_K(W)$ é a quantidade da cor primária K para fazer o branco de referência W. Portanto, $T_K(W) = 1$ para todo K .

Tri-estímulos para o RGB



- O universo de cores que podem ser reproduzidas por um sistema é chamado de **Espaço de Cores** (*color space*) ou **Modelo de Cores**.
- **Nem todas as cores podem ser reproduzidas por um determinado Espaço de Cores** (as cores com algum tri-estímulo negativo não podem ser reproduzidas).

Cromaticidades:

$$t_K = \frac{T_K}{T_1 + T_2 + T_3}$$

Luz branca:

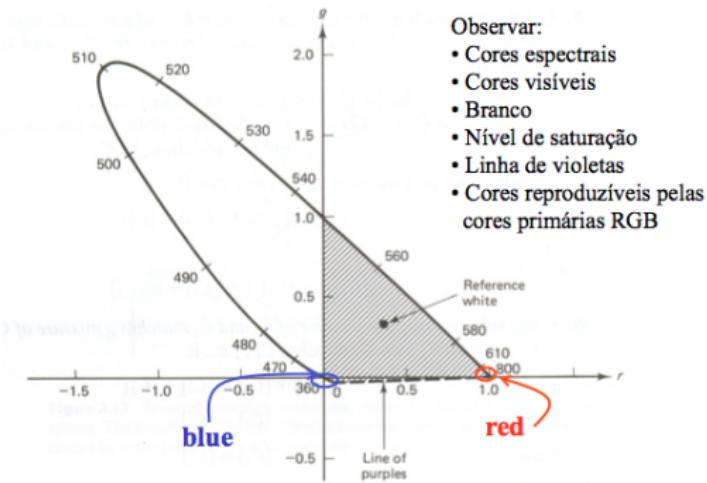
$$t_K = \frac{1}{3}, k = 1, 2, 3$$

$$t_3 = 1 - t_1 - t_2$$

t_1 e t_2 são capazes de representar as componentes de crominância (matiz e saturação). **O espaço completo de cores pode ser representado por (Y, t_1, t_2) , em que $Y=\text{constante representa um plano de crominância}.$**

Diagrama de Cromaticidades

- O diagrama de cromaticidades é uma representação bidimensional do espaço de cores e mostra a composição de cores como uma função de duas cromaticidades.
- Seja o diagrama de cromaticidades para o sistema de cores RGB:

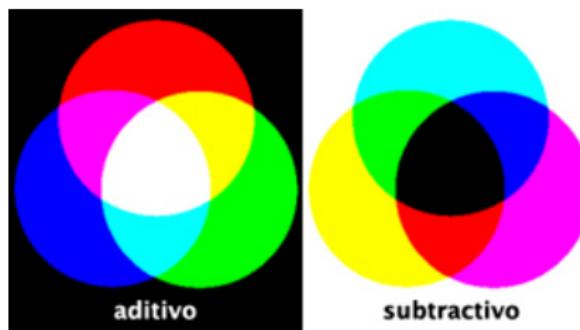


- Os modelos ou espaços de cores permitem a **especificação de cores em um formato padronizado para atender a diferentes dispositivos gráficos ou aplicações que requerem a manipulação de cores.**
- Um modelo de cor é essencialmente uma representação tridimensional na qual cada cor é especificada por um ponto no sistema de coordenadas tridimensionais.
- O universo de cores que podem ser reproduzidas por um modelo é chamado de espaço ou **gamut de cores**.
- Não há um modelo que descreva todos os aspectos referentes às cores, portanto, modelos diferentes são utilizados para especificar as características das cores.

- Os modelos de cores podem ser aditivos ou subtrativos.
- Nos **modelos aditivos**, a cor é gerada pela **sobreposição de vários comprimentos de onda** luminosa.
 - A cor branca é gerada pela adição das cores primárias verde, vermelha e azul.
 - A cor preta indica que nenhuma luz está sendo transmitida.
 - Exemplos de modelos aditivos incluem XYZ, RGB, HSV e HLS.

- Nos **modelos subtrativos**, a formação de cor ocorre quando a luz que os olhos recebem é proveniente de um material translúcido (filtro), corantes ou pigmentos, em que parte da energia luminosa incidente é absorvida e parte é refletida.
 - A cor preta é produzida pela combinação das **cores primárias ciano, magenta e amarelo**.
 - A cor branca corresponde à ausência dessas cores primárias.
 - Exemplos de modelos subtrativos incluem CMY e CMYK.

- Veja a combinação de cores nos modelos aditivos e subtrativo.

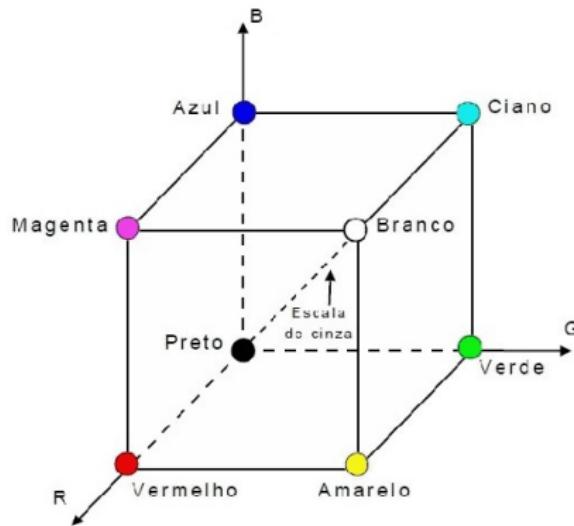


- A tela do seu computador soma as três cores primárias do RGB, também chamadas de cor-luz, para a construção de todos os milhões de cores que conseguimos ver no monitor.
- A sua impressora usa quatro cartuchos (cada um com um tipo de pigmento) para conseguir reproduzir menos cores que o monitor. O CMYK (cujas cores primárias são chamadas de cor-pigmento), funciona subtraindo a sensação de cor ao misturá-las.

- RGB é um sistema de cores formado pelo vermelho (Red), verde (Green) e azul (Blue)
- Baseia-se no modelo de sensibilidade do olho.
- As suas cores são misturadas para formar todas as outras
- Utiliza um processo aditivo de cores
 - ciano = azul + verde
 - amarelo = verde + vermelho
 - magenta = azul + vermelho
 - branco = vermelho + verde + azul
 - preto é a ausência de cor



- O modelo de cor RGB é um dos mais utilizados no processamento digital de imagens.
- Este modelo representa as cores como um sistema de coordenadas cartesianas, em que o **espaço de cor é um cubo de cores**.
- Neste modelo as **cores primárias estão em três vértices do cubo localizados sobre os eixos**.



- Uma cor no modelo RGB é determinada pela quantidade de vermelho, verde e azul que um *pixel* possui.
- Uma de suas principais representações é a escala de 0 a 255, para cada componente da cor, onde a intensidade da cor varia de acordo com o valor dessas três cores, onde o mais baixo RGB(0,0,0) representa o preto e o mais alto RGB(255,255,255) representa o branco. Por conveniência, pode-se assumir que os valores R, G e B estão normalizados entre 0 e 1.
- Este modelo é muito utilizado em dispositivos como **monitores** e **câmeras de vídeo**.

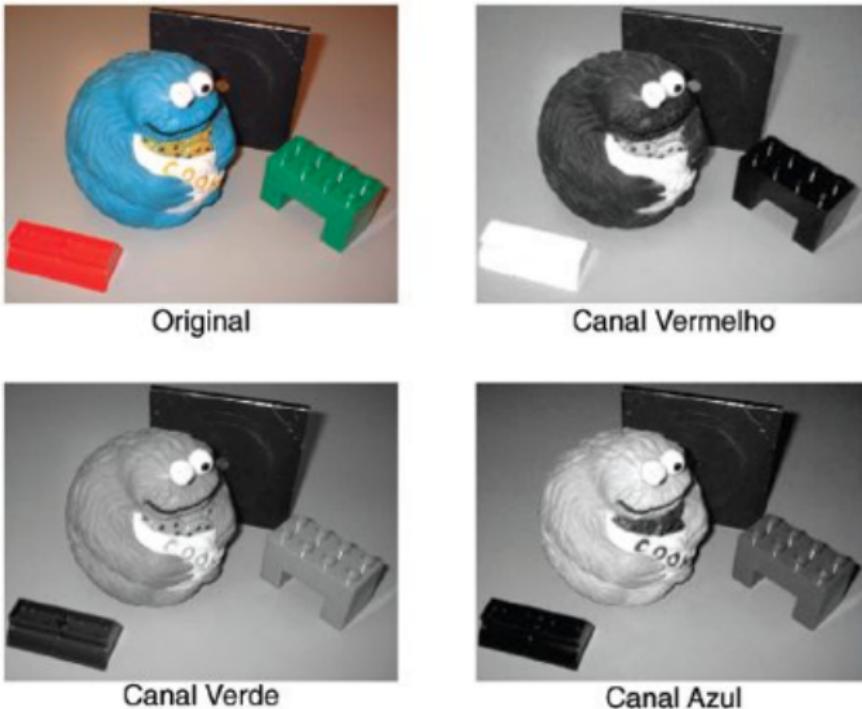


Figura 1.6 Imagem colorida RGB separada em seus canais de cor vermelho (R), verde (G) e azul (B).

- O modelo HSV é definido pelos parâmetros **matiz (H, hue)**, **saturação (S, saturation)** e **luminância (V, value)**.
- Os diferentes matizes estão representados na parte superior da pirâmide hexagonal, cujos **vértices são as cores primárias e secundárias do RGB**.
- O ângulo entre os vértices (R=vermelho, Y=amarelo, G=verde, C=ciano, B=azul e M=magenta) é de 60° (o vermelho é dado pelo ângulo 0° , o amarelo igual a 60° e assim por diante).

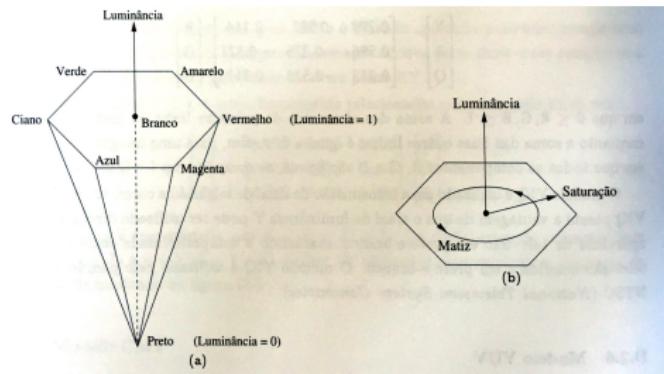


Figura D.7: Modelo HSV. (a) representação gráfica do modelo; (b) variação dos parâmetros no modelo HSV.

- O espaço HSV também pode ser representado por um cone.
- A **saturação é medida ao longo do raio** e a **luminância é medida ao longo do eixo vertical**, o qual passa pelo centro da pirâmide.

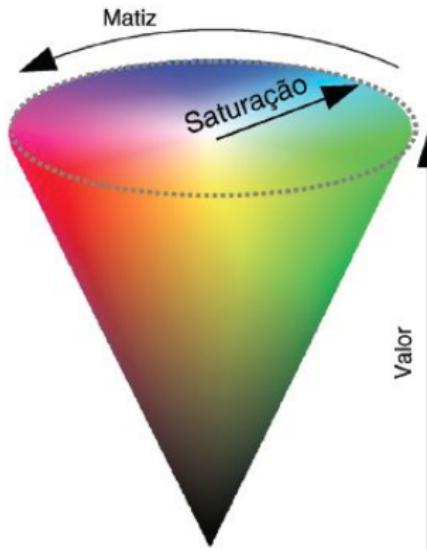


Figura 1.9 Espaço de cor HSV como um cone 3D.

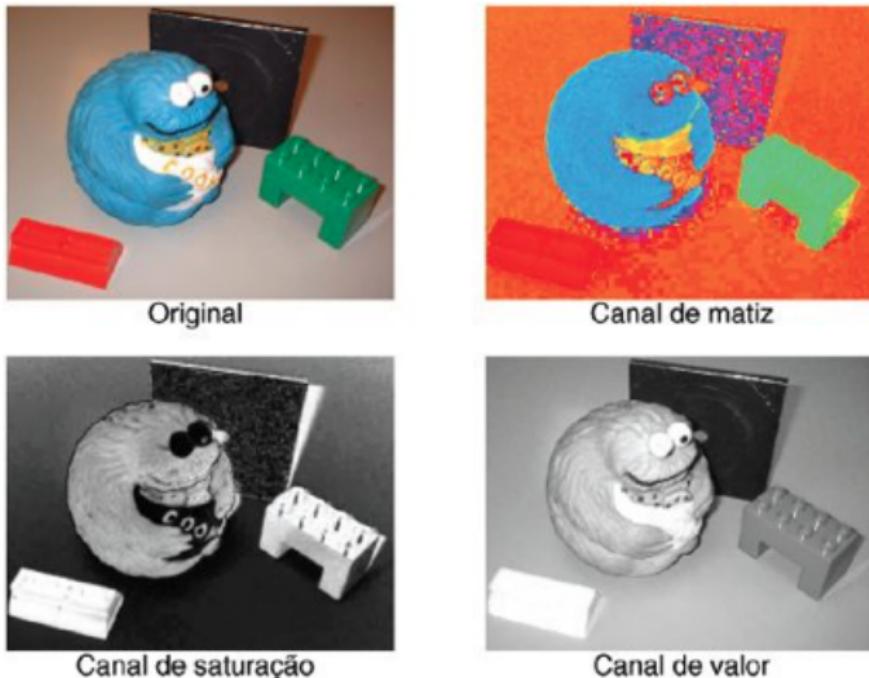
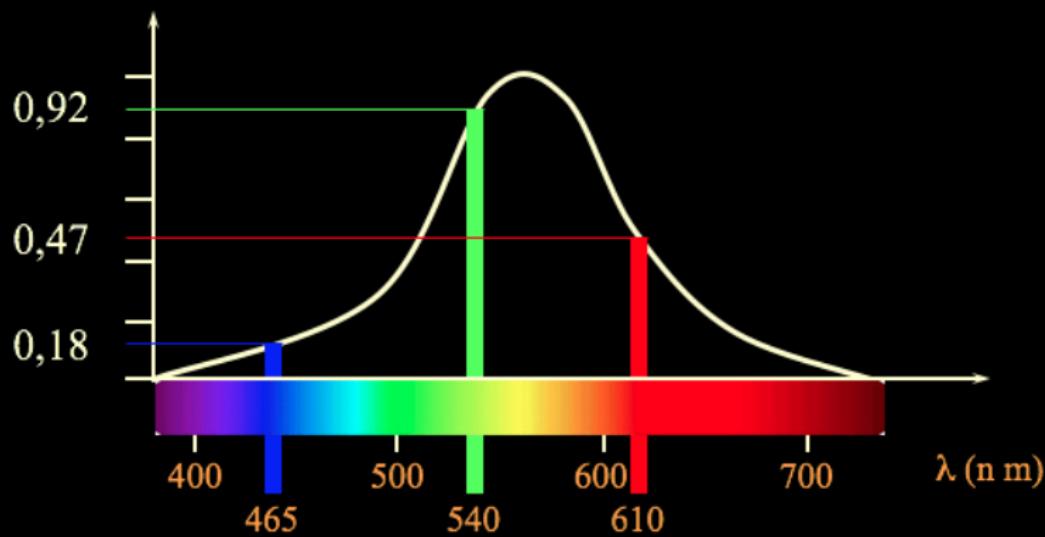


Figura 1.10 Imagem transformada e exibida no espaço HSV.

- O modelo YCbCr é muito utilizado em **vídeos digitais**.
- A luminância é representada pelo componente Y, enquanto a informação de crominância é armazenada nos componentes Cb e Cr.
- A conversão do modelo de cor RGB para o YCbCr é dada pela Equação:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ -0,169 & -0,331 & 0,5 \\ 0,5 & -0,419 & -0,081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Sensibilidade relativa do SVH à luminância



Matiz	λ	sensibilidade
Vermelho (R)	610 nm	0,47
Verde (G)	535 nm	0,92
Azul (B)	465 nm	0,18
		<hr/> 1,57

$$Y = \frac{0,47}{1,57} R + \frac{0,92}{1,57} G + \frac{0,17}{1,57} B$$

$$Y = 0,299 R + 0,587 G + 0,114 B$$

Conversão RGB para cinzas (Y)



Figura 1.8 Exemplo de conversão de imagem em cores RGB (esquerda) em escala de cinza (direita).

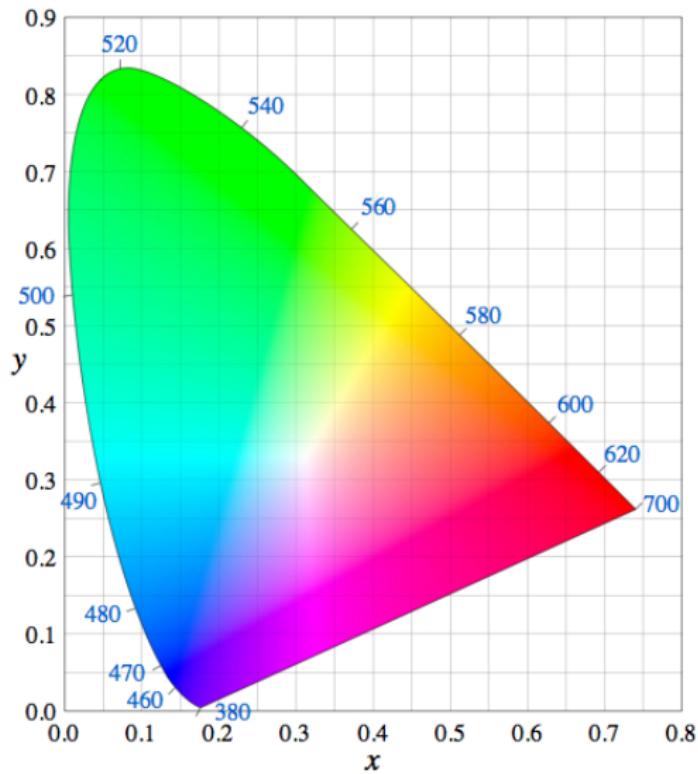
- O modelo de cores XYZ também foi proposto pela CIE e é baseado nas **cores primárias imaginárias X, Y e Z**.
- Neste modelo teórico, qualquer combinação aditiva entre duas cores sempre será localizada na reta que conecta estas duas cores no plano XY.
- As **cores primárias X, Y e Z são cores fictícias**, de forma que, a partir delas, pudesse ser reproduzida qualquer outra cor.

- As cores primárias X, Y e Z estão linearmente relacionadas com o modelo RGB por:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.490 & 0.310 & 0.200 \\ 0.177 & 0.813 & 0.010 \\ 0.000 & 0.010 & 0.990 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

- A cor branca é representada por $X = Y = Z = 1$ e é o mesmo branco do sistema RGB.
- Os coeficientes de cromaticidade $x = X/(X + Y + Z)$ e $y = Y/(X + Y + Z)$ podem ser utilizados para produzir o diagrama de cromaticidades mostrado a seguir.

Diagrama de Cromaticidades do Sistema XYZ



- O modelo de cor **Lab** é derivado do modelo **XYZ**, e **representa um modelo de cor uniforme**, onde distâncias iguais no diagrama de cromaticidade correspondem a diferenças perceptuais de mesma amplitude.
- Foi criado em 1931 pela Commission Internationale d'Eclairage (CIE) e **exibe as cores que o olho humano pode perceber**. Foi atualizado e refinado em 1976 para que o sistema de cores CIE Lab fosse criado.
- O modelo Lab consiste em 3 canais de cores. O primeiro canal é a Iluminação (**L**), que **apresenta um valor de 0 a 100**, sendo que o 0 significa preto e o 100 significa branco. Quanto maior o valor, mais vivas são as cores. **Os outros dois canais, a e b, representam faixas de cores.**

A conversão do modelo de cor XYZ para o Lab é dada por:

$$L = \begin{cases} 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16, & \text{se } \frac{Y}{Y_n} > 0,008856 \\ 903,3 \left(\frac{Y}{Y_n} \right), & \text{se } \frac{Y}{Y_n} \leq 0,008856 \end{cases}$$
$$a = 500 \left[f \left(\frac{X}{X_n} \right) - f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \right]$$
$$b = 500 \left[f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) - f \left(\frac{Z}{Z_n} \right) \right]$$

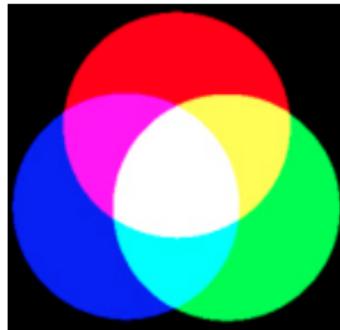
em que:

$$f(t) = t^{1/3} \text{ se } t > 0,008856 \text{ ou, caso contrário,}$$
$$f(t) = 7,787t + 16/116$$

e (X_n, Y_n, Z_n) são os tri-estímulos do branco de referência, de forma que o modelo Lab seja independente do dispositivo.

- Este modelo é baseado nas cores secundárias do RGB: ciano ($C, cyan$), magenta ($M, magenta$) e amarelo ($Y, yellow$), as quais podem ser obtidas como:

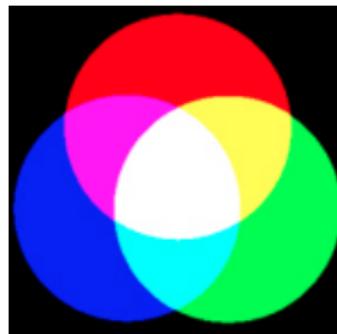
$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B \\ R \\ R \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G \\ B \\ G \end{bmatrix}$$



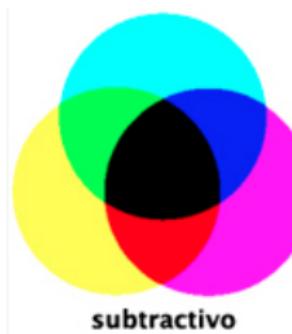
- Uma outra maneira de obter o modelo CMY é realizar a conversão subtraindo-se as cores primárias R, G e B da cor branca (W , *white*), representada por $W = (1, 1, 1)$. Assim

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

em que $0 \leq R, G, B \leq 1$.



- O modelo CMY é muito utilizado em dispositivos que depositam **pigmentos coloridos sobre papel**, como as **impressoras de jato de tinta** ou **fotocopiadoras coloridas**.
- Os pigmentos funcionam como filtros para algumas cores, tornando o **modelo CMY subtrativo**. Por exemplo:
 - um pigmento ciano reflete o azul e o verde, mas não o vermelho.
 - um pigmento magenta reflete o azul e o vermelho, mas não o verde.
 - Portanto, se sobreponermos os pigmentos ciano e magenta, apenas o azul será refletido.



- Algumas dificuldades surgem ao tentar reproduzir a cor preta a partir das três cores primárias CMY.
- A sobreposição dessas cores primárias para gerar a cor preta normalmente implica um consumo elevado de tinta, aumentando o custo da impressão e criando problemas de umidade no papel.
- Além disso, a combinação em iguais quantidades das cores CMY para produzir a cor preta tipicamente gera uma tonalidade próxima do marrom escuro.
- Devido a esses problemas, **normalmente adiciona-se o componente de cor preta ao modelo de cores CMY, obtendo-se assim o modelo CMYK.**

Qual modelo utilizar?

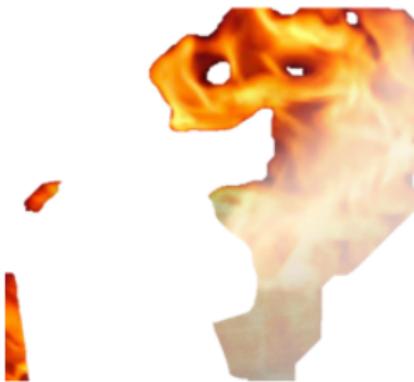
- **RGB**: tem o propósito de reproduzir as cores em dispositivos eletrônicos. Ex.: televisão, monitor, celular, tablet, projetor, etc.
- **CYMK**: tem o propósito de reproduzir cores em impressos, misturando os quatro pigmentos (tintas) sobre um substrato (papel, plásticos, etc). Ex.: Panfletos, Revistas, Folders, Flyers, Cartões, etc. Dentro do CMYK a cor branca não pode ser criada através da combinação dos pigmentos ciano, magenta, amarelo e preto e sim pela total ausência deles, logo o branco é definido pela cor do substrato. Ex.: No caso de uma impressão normal offset, o branco seria definido pela cor do papel. Papel azul, área branca azul. Papel amarelo, área branca amarela.

Qual modelo utilizar?

- Os dois modelos mais utilizados são o CMYK e o RGB.
Também é de conhecimento (quase) geral que o que você exibe no monitor em RGB não é tão fiel quanto impresso (CMYK). O modelo RGB depende e varia do dispositivo (monitor) e o CMYK depende e varia de acordo com a impressora, papel e qualidade das tintas.
- **Lab:** procura manter consistentes as características de cada cor, independente do dispositivo utilizado.
- Um dos principais benefícios que você vai notar quando trabalha com o Lab é que você trabalha com uma larga faixa de valores de cores. O modelo Lab atual inclui todas as cores que você pode criar com o CMYK e o RGB.
- Já que o modo Lab é independente do dispositivo, você pode usar pra editar qualquer imagem. E suas cores não vão sofrer mudanças mais bruscas quando convertidas para a saída final em CMYK. Essa é uma das razões para muitos usuários profissionais preferirem trabalhar com o modelo Lab.

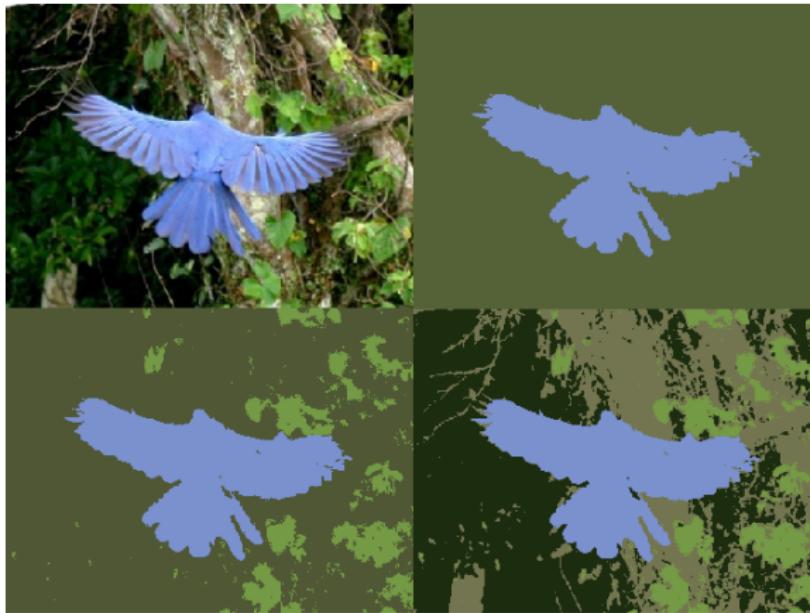
Exemplos de utilização da cor como atributo

- Identificar quais *pixels* da imagem estão associados a fogo.



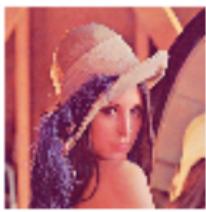
Exemplos de utilização da cor como atributo

- Identificação e rastreamento de objetos.



```
1 | RGB = imread('lena.bmp');
2 | R=RGB(:,:,1);
3 | G=RGB(:,:,2);
4 | B=RGB(:,:,3);
5 | subplot(1,4,1), imshow(RGB)
6 | title('RGB')
7 | subplot(1,4,2), imshow(R)
8 | title('R')
9 | subplot(1,4,3), imshow(G)
10 | title('G')
11 | subplot(1,4,4), imshow(B)
12 | title('B')
```

RGB



R



G



B



```
1 YCBCR = rgb2ycbcr(RGB);
2 Y=YCBCR(:,:,1);
3 CB=YCBCR(:,:,2);
4 CR=YCBCR(:,:,3);
5 subplot(1,4,1), imshow(YCBCR)
6 title('YCBCR')
7 subplot(1,4,2), imshow(Y)
8 title('Y')
9 subplot(1,4,3), imshow(CB)
10 title('CB')
11 subplot(1,4,4), imshow(CR)
12 title('CR')
```

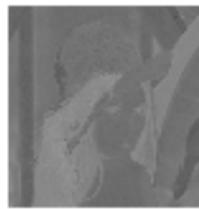
YCBCR



Y



CB



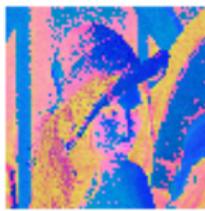
CR



HSV

```
1 HSV = rgb2HSV(RGB);
2 H=HSV(:,:,1);
3 S=HSV(:,:,2);
4 V=HSV(:,:,3);
5 subplot(1,4,1), imshow(HSV)
6 title('HSV')
7 subplot(1,4,2), imshow(H)
8 title('H')
9 subplot(1,4,3), imshow(S)
10 title('S')
11 subplot(1,4,4), imshow(V)
12 title('V')
```

HSV



H



S



V



makecform: Create a color transformation structure.

`C = makecform(TYPE)` creates the color transformation structure, `C`, that defines the color space conversion specified by `TYPE`. To perform the transformation, pass the color transformation structure as an argument to the `APPLYCFORM` function.

```
1 cform = makecform('srgb2xyz');
2 XYZ = applycform(RGB, cform);
3 X=XYZ(:,:,1);
4 Y=XYZ(:,:,2);
5 Z=XYZ(:,:,3);
6 subplot(1,4,1), imshow(XYZ)
7 title('XYZ')
8 subplot(1,4,2), imshow(X)
9 title('X')
10 subplot(1,4,3), imshow(Y)
11 title('Y')
12 subplot(1,4,4), imshow(Z)
13 title('Z')
```

XYZ



X



Y



Z



```
1 cform = makecform('srgb2lab');
2 LAB = applycform(RGB, cform);
3 L=LAB(:,:,1);
4 A=LAB(:,:,2);
5 B=LAB(:,:,3);
6 subplot(1,4,1), imshow(LAB)
7 title('LAB')
8 subplot(1,4,2), imshow(L)
9 title('L')
10 subplot(1,4,3), imshow(A)
11 title('A')
12 subplot(1,4,4), imshow(B)
13 title('B')
```

LAB



L



A



B

