

Prof. Dr. Leandro Alves Neves

Bacharelado em Ciência da Computação



Aula 04

Processamento Digital de  
Imagens

# Sumário

## ■ Cor

- Modelos de Cores
- XYZ, RGB, HSI, CMY e CMYK

## ■ Processamento de Imagens em Pseudocores

- Fatiamento de Intensidades
- Transformações de Intensidades para Cores

## ■ Transformações de Cores

- Ajuste linear no contraste
- Processamento de Histogramas

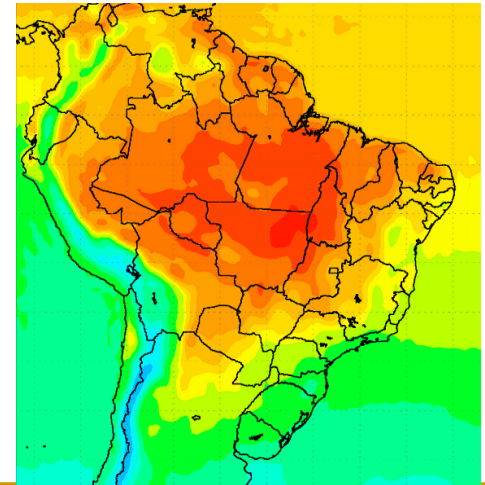
## ■ Filtragem: Suavização e Aguçamento

# Modelos de Cores

## ■ Cor

- ❑ Poderoso descritor para identificar elementos de interesse em uma imagem
- ❑ Sistema visual humano pode identificar e diferenciar **milhares de tons e intensidades de cores**
  - ❑ **Apenas** algumas dezenas de níveis de cinza

- ❑ Áreas:
  - ❑ Imagens Coloridas
  - ❑ Pseudocores



# Modelos de Cores

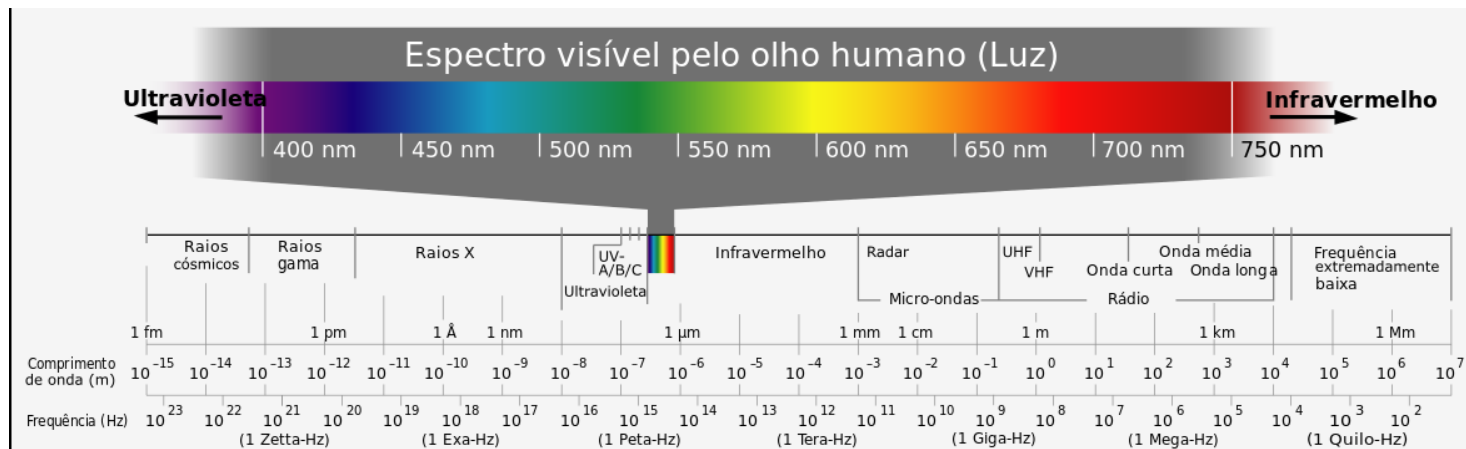
## ■ Cor

### □ Luz acromática

- Único atributo é a intensidade (ou quantidade)

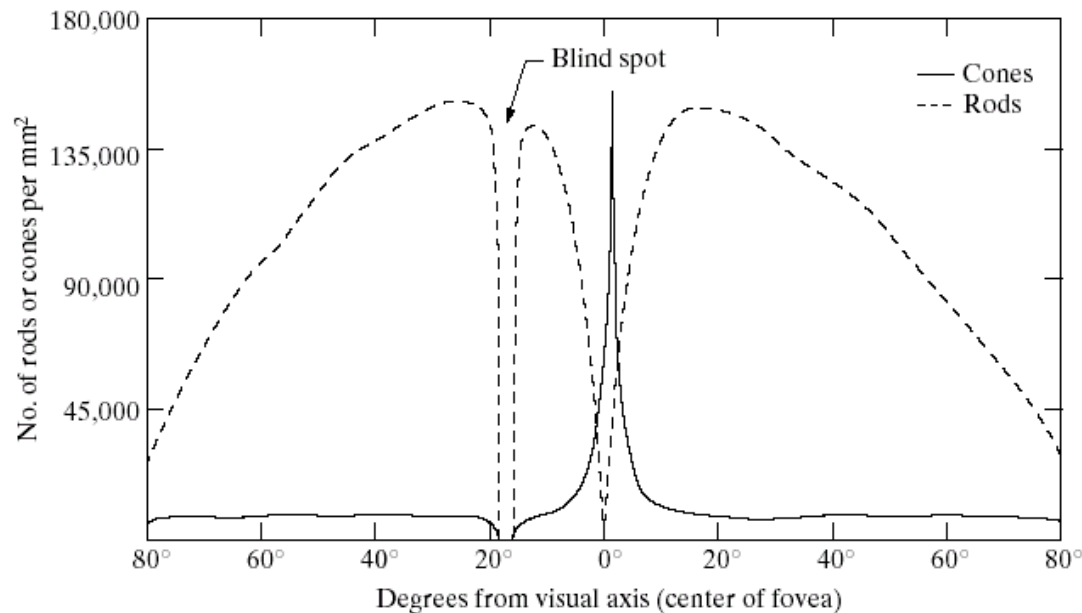
### □ Luz cromática

- Envolve o espectro de **energia eletromagnética visível**



# Modelos de Cores

## ■ Cor



**FIGURE 2.2**

Distribution of rods and cones in the retina.

- ❑ Cones (6 a 7 milhões, três principais categorias):
- ❑ **Sensíveis** ao **vermelho** (65%), **Verde** (33%) e **Azul** (2%).

**Cores primárias de luz**

- Combinação dos componentes primários: outras cores

# Modelos de Cores

## ■ Cor

### □ 1931

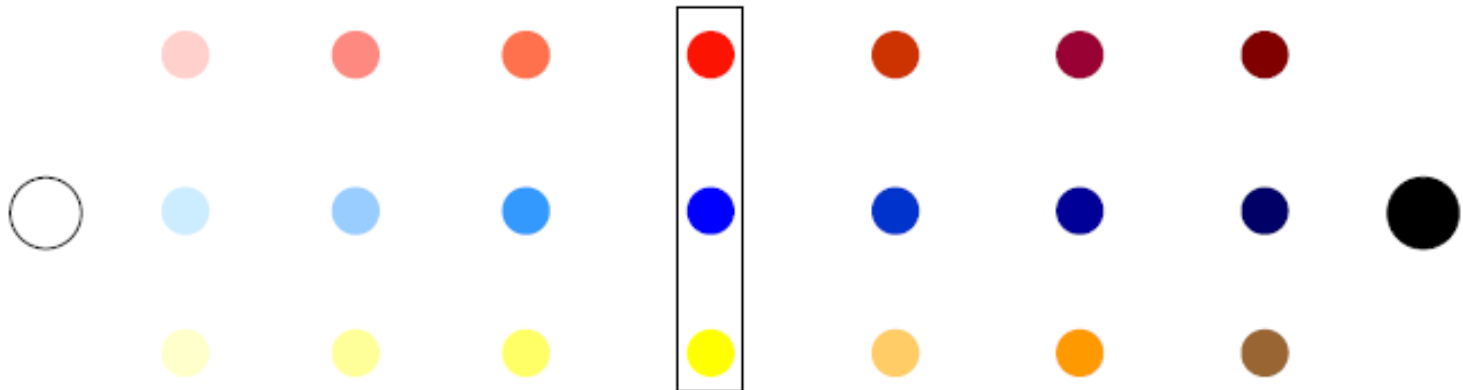
- **Comissão Internacional de Iluminação** (CIE, do francês Commission Internationale de l'Eclairage)
- **Padronização do Sistema** de representação do **espaço de cores – Cores primárias de luz**
- **Cores nas faixas** **vermelha**, **verde** e **azul** do espectro visível.
  - **Valores específicos como comprimentos de onda das três cores primárias**
    - **Azul: 380 nm**
    - **Verde: 540 nm**
    - **Vermelho: 780 nm**

# Modelos de Cores

## ■ Cor

### □ Distinção entre cores, considera:

- **Matiz (Hue):** comprimento de onda dominante (**Cor PURA**)
- **Saturação (Saturation):** pureza do matiz (**quantidade em que a cor pura é diluída na luz branca**)
- **Cromaticidade:** matiz e saturação tomadas juntas



# Modelos de Cores

Exemplos de Modelos de Cores



# Modelos de Cores



## ■ Cor

- Pode ser definida pela Cromaticidade e Brilho
- **Modelo de cores** desenvolvido pela CIE: **XYZ ou CIE**
  - Baseado na distribuição espectral de potência radiante (SPD)
    - Expressão numérica da potência relativa que esta fonte emite em cada comprimento de onda
  - Experimentos práticos com 20 indivíduos

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

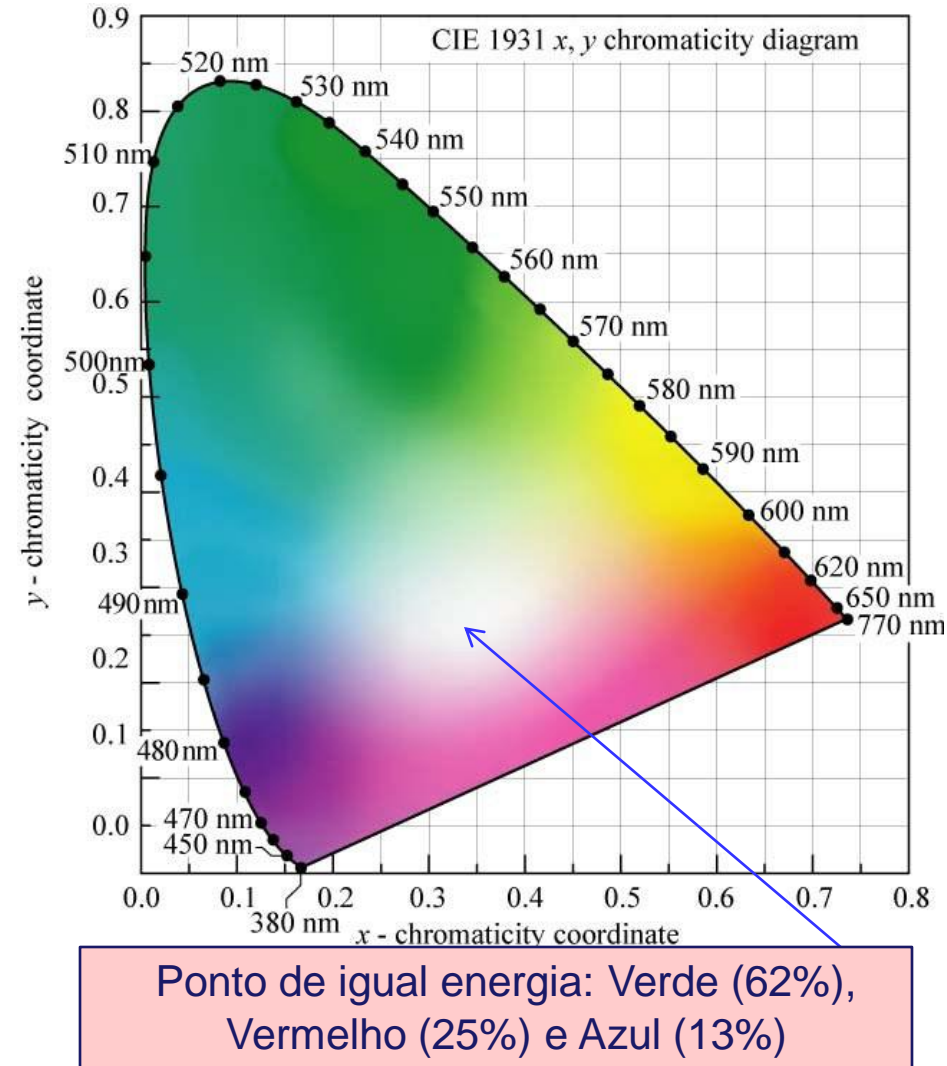
$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

- Cores obtidas pela combinação das cores primárias:
  - **X (vermelho), Y (verde) e Z (azul)**  **triestímulos**   $x + y + z = 1$
- Cor: especificada pelos coeficientes tricromáticos

# Modelos de Cores

## Diagrama de Cromaticidade

- Composição de Cores em função dos coeficientes  $x$  e  $y$
- Integração:
  - Distribuição espectral relativa de potência de iluminação
  - Funções do observador ( $x$ ,  $y$  e  $z$ )
  - Função espectral de radiância do objeto
- Resultado: Aproximação
  - Somatório do produto da SPD, dos valores do observador e dos fatores de refletância
  - Intervalo de medição de 5nm e faixa de comprimento de onda de 380nm a 780nm para



- Para qualquer valor de  $x$  e  $y$ , o valor de  $z$  (azul) é dado por:

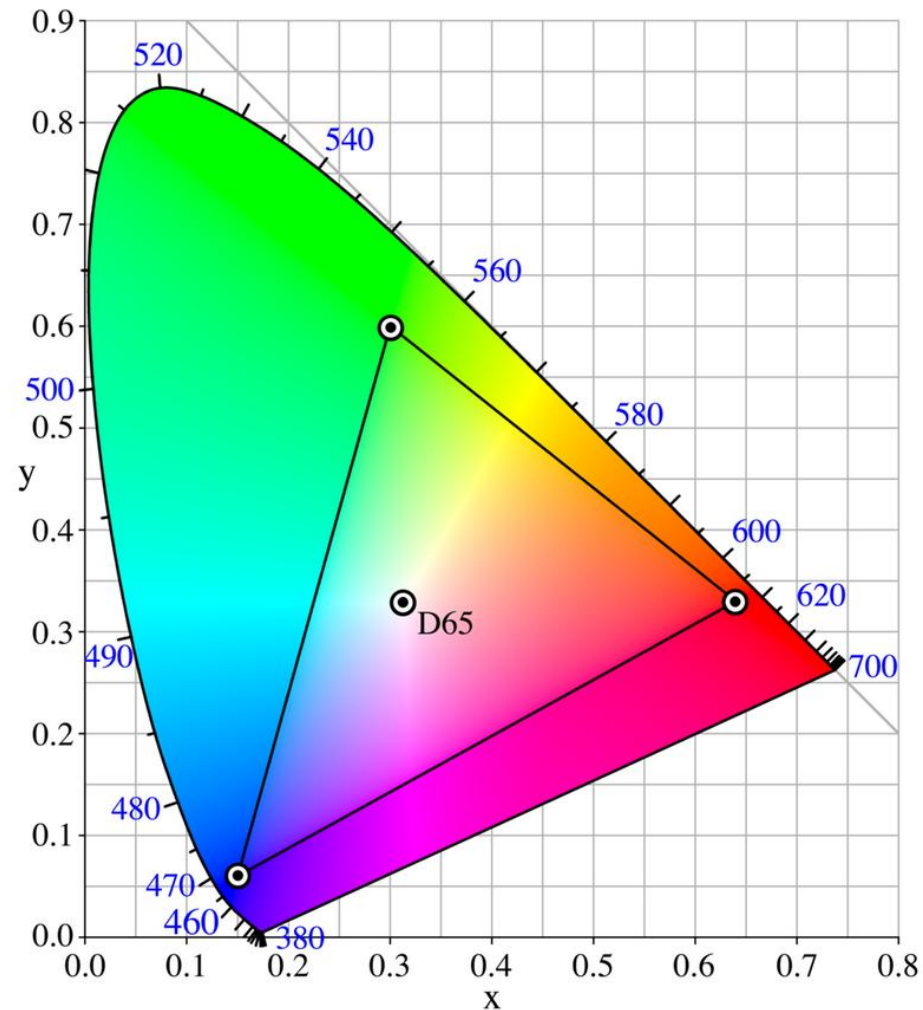
$$z = 1 - (x + y)$$

# Modelos de Cores

## Diagrama de Cromaticidade

### Gama de Cores (“Gamut”)

- Padrão sRGB gamut (standard RGB): criado pela HP e Microsoft
- Utilizado em dispositivos, monitores e impressores, por exemplo.



# Modelos de Cores

## ■ Modelos de Cores

### □ Aditivos e Subtrativos

### □ Diferentes modelos

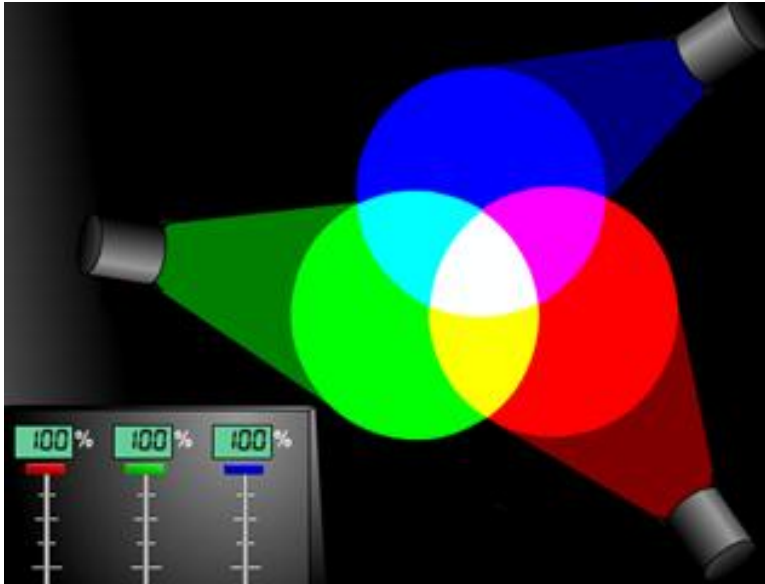
#### ■ A maioria é orientada ou em direção:

#### □ Hardware

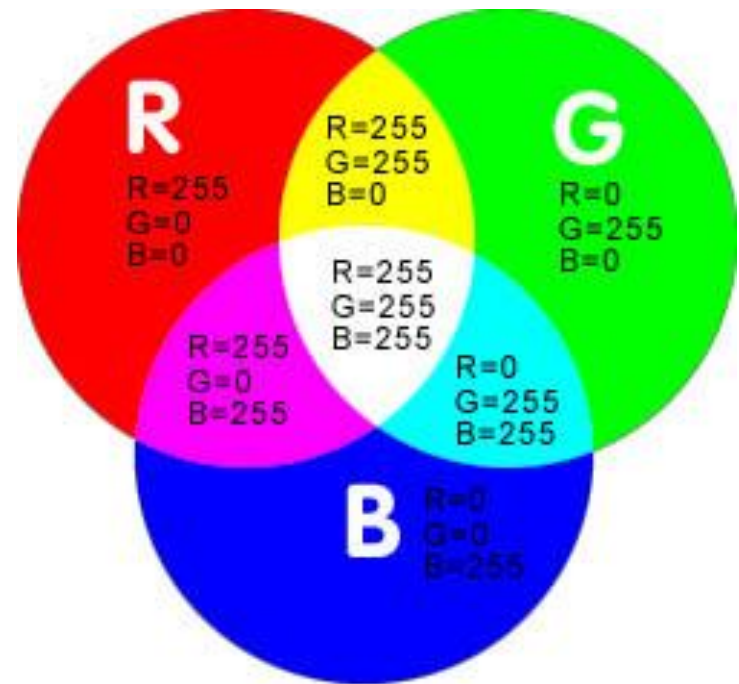
#### □ Aplicações envolvendo manipulação de cores

# Modelos de Cores

## ■ Modelos de Cores: Aditivos (Luz)



A adição de luz em diferentes comprimentos de onda gera a mistura



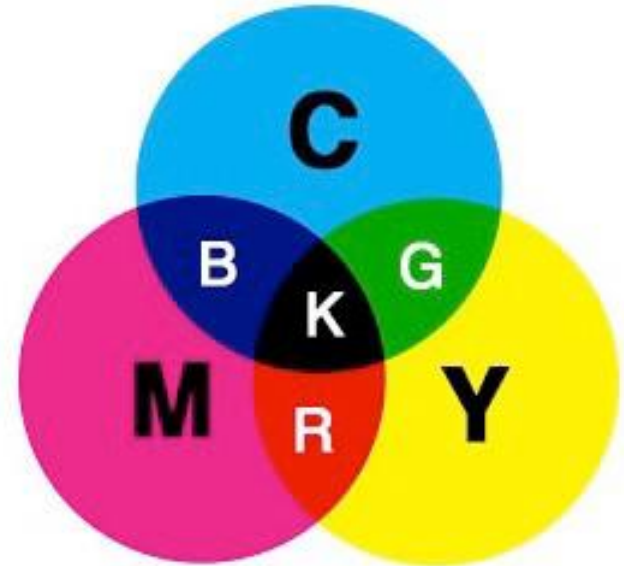
- Exemplos de modelos aditivos: XYZ, RGB, HSI
- Aplicações: monitores, projetores e TVs

# Modelos de Cores

## ■ Modelos de Cores: Subtrativos (Luz)



**Mistura gerada pela absorção da luz, em diferentes comprimentos de onda. Quanto mais pigmento, mais escura a cor.**



Cor branca produzida pela ausência dessas cores primárias

- ❑ Exemplos de modelos subtrativos: CMY e CMYK
- ❑ Aplicações: Dispositivos de impressão

# Modelos de Cores

## ■ Modelos de Cores: RGB

- É baseado em um sistema de coordenadas cartesianas



**Espaço de cores é um cubo**

### ■ Cores primárias

- R, G, B definem três vértices do cubo

### ■ Cores secundárias

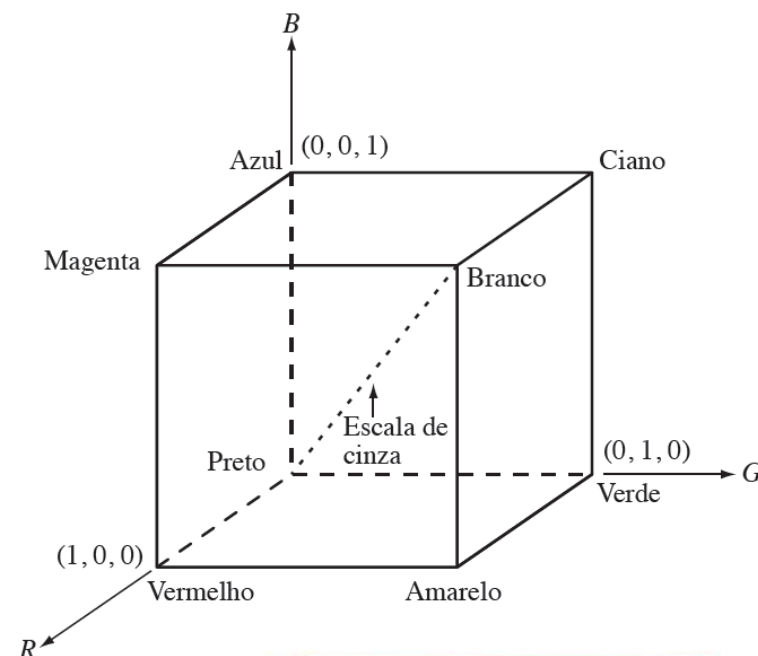
- Ciano, Magenta e Amarelo outros três vértices

### ■ Cor preta: origem do sistema

### ■ Cor branca: extremidade oposta

### ■ Escala de Cinza: diagonal entre origem e extremidade oposta

- Pontos são normalizados entre 0 e 1





# Modelos de Cores

## ■ Modelos de Cores: RGB



RGB

## ■ Imagem colorida RGB

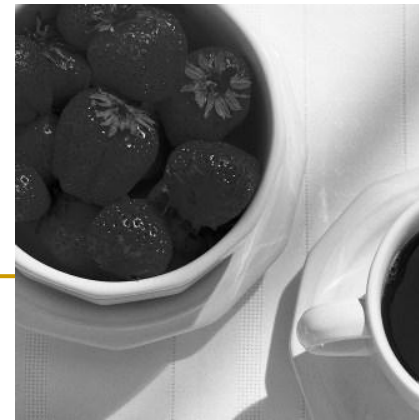
- Arranjo de  $M \times N \times 3$  pixels
- Cada ponto: tripla R,G,B em uma localização espacial



R



G



B



# Modelos de Cores

## ■ Modelos de Cores: HSI

- Definido pelos parâmetros: matiz (H, hue), Saturação (S, saturation), Intensidade (I, *Intensity*, refletância, intensidade em níveis de cinza)

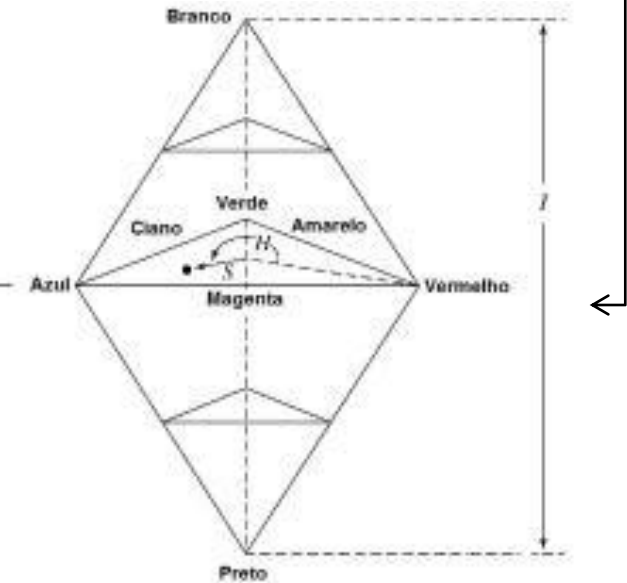
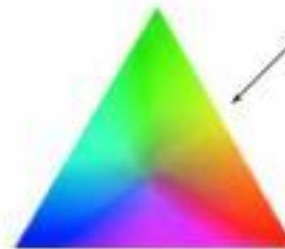
## ■ Representação gráfica do modelo HSI:

- Diferentes bases

- Bases são coincidentes

Escala de claridade para o cinza neutro

0	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------



# Modelos de Cores

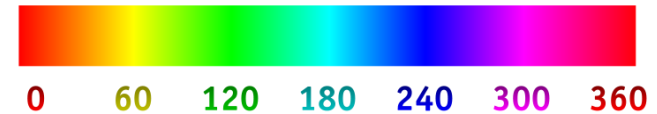
## ■ Modelos de Cores: HSI

- Planos de cores triangular ou circular

- Vértices: cores primárias RGB ou cores complementares (ciano, magenta e amarelo).

- Matiz H está entre 0 e  $360^\circ$

- Pontos no círculo ou no triângulo



- A saturação S está entre 0 e 1, distância da borda ao centro:

- 1: pureza máxima de um matiz
- 0: escala de cinza

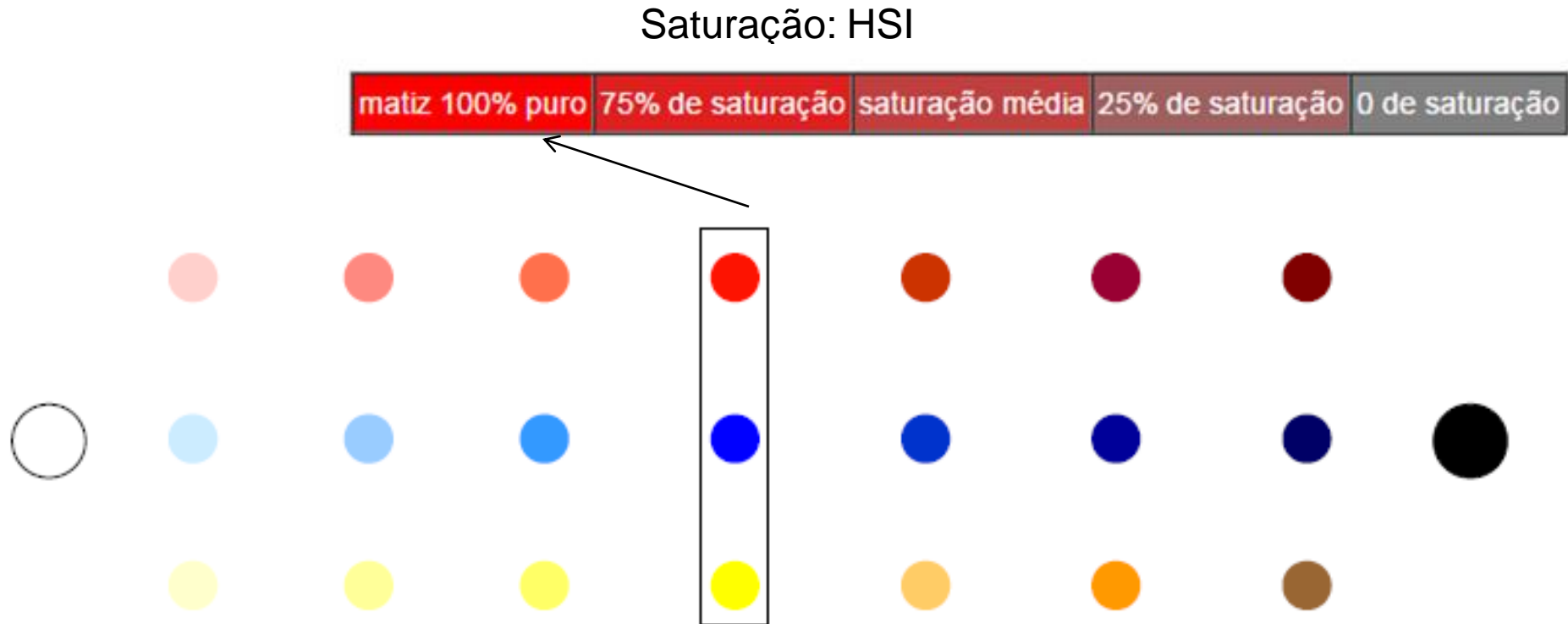
- A intensidade está entre 0 e 1:

- 1: pico da pirâmide, que representa a cor Branca
- 0: base, a intensidade da cor é preta

Os matizes puros:  $S=1$ ;  $I=0,5$

# Modelos de Cores

## ■ Modelos de Cores: HSV e HSI



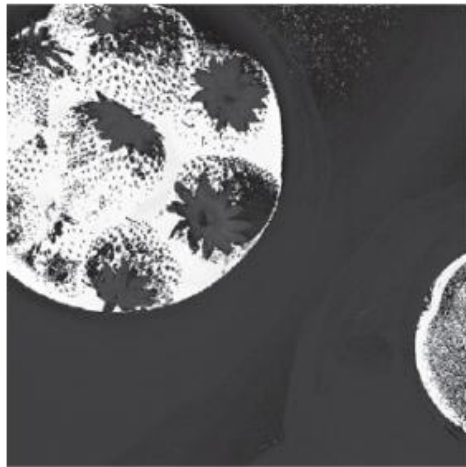
# Modelos de Cores

## ■ Modelos de Cores: HSI

Modelo de interesse em  
Visão Computacional



RGB



Matiz



Satura  o



Intensidade

# Modelos de Cores

## ■ Modelos de Cores: HSI

Modelo de interesse em  
Visão Computacional



Matiz



Saturação



Intensidade



# Modelos de Cores

## ■ Modelos de Cores: HSI

- Equalização do Histograma:
  - Aplicada sobre o componente  $I$  de uma imagem colorida



Não distorce as informações de Cromaticidade

# Modelos de Cores

## ■ Modelos de Cores: CMY e CMYK

- ❑ CMY: definida por 3 canais
  - ❑ **CYAN**, **MAGENTA**, **YELLOW**
- ❑ CMYK: definida por 4 canais
  - ❑ **CYAN**, **MAGENTA**, **YELLOW** e **BLACK**
  - ❑ **BLACK**: cor adicionada ao modelo pelas necessidades das indústrias de edição de documentos em papel

## ■ Modelos **subtrativos**

- ❑ **Baseia-se na forma como a natureza cria as suas cores, refletindo parte do espectro de luz e absorvendo outras**

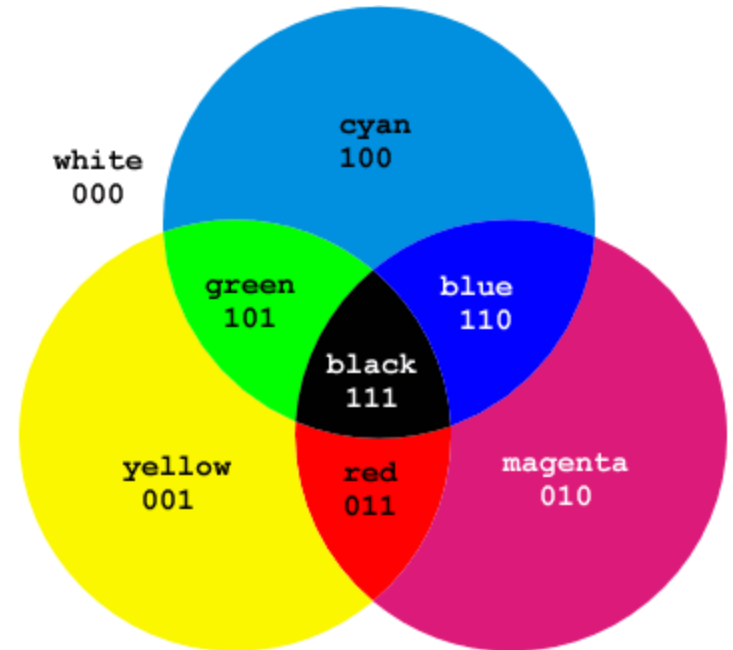
# Modelos de Cores

## ■ Modelos de Cores: CMY e CMYK

■ Modelo Obtido por: 
$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B \\ R \\ R \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G \\ B \\ G \end{bmatrix}$$

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

■ em que,  $0 \leq R, G, B \leq 1$ .



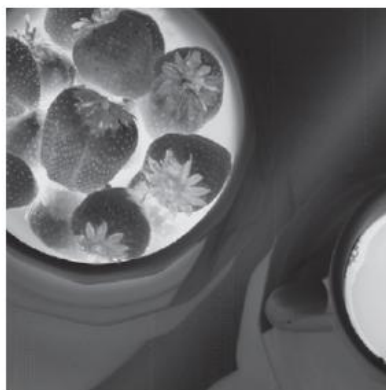


# Modelos de Cores

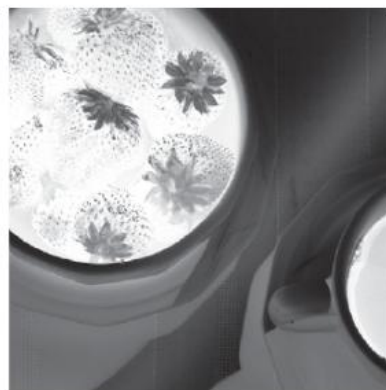
## ■ Modelos de Cores: CMY e CMYK



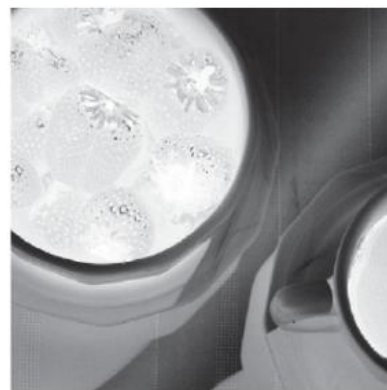
Colorida



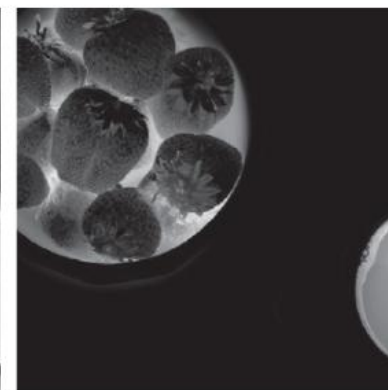
Ciano



Magenta



Amarelo



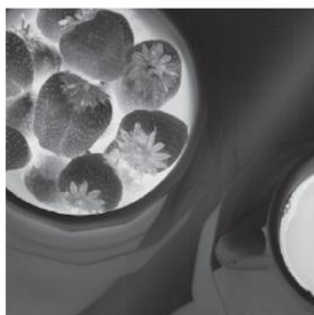
Preto

# Modelos de Cores

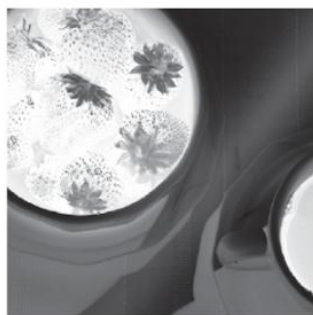
## ■ Modelos de Cores: RGB versus CMYK



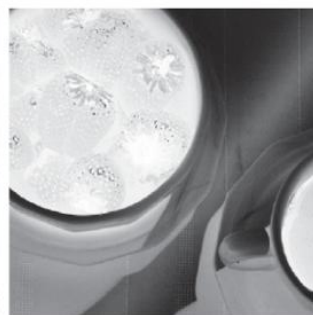
Colorida



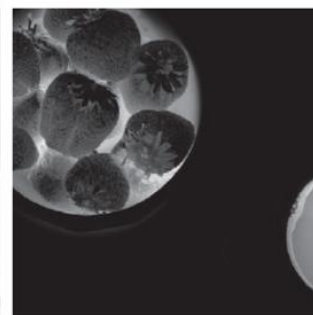
Ciano



Magenta



Amarelo



Preto



Vermelho



Verde



Azul

# Processamento de Imagens Coloridas

- **Pseudocores**
- **Transformações de Cores**
- **Suavização e Aguçamento**

# Processamento de Imagens em Pseudocores

## ■ **Pseudocores ou Falsas cores**

- Atribuir cores a valores de cinza
  - Necessidade de um critério
- **Função Principal:**
  - Facilitar a visualização e interpretação humana de eventos
- **Técnica: Fatiamiento por intensidades**

## Fatiamento por Intensidades

- A intervalo de intensidade é associado a uma cor:

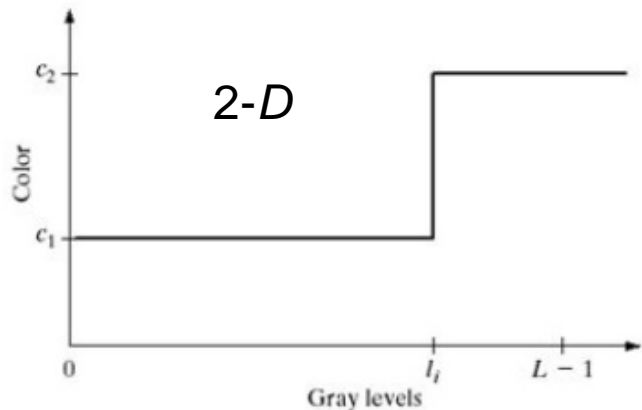
$[0, L-1]$ : escala de cinza

$l_0$ : preto  $\Rightarrow [f(x,y)=0]$

$l_{L-1}$ : branco  $\Rightarrow [f(x,y)=L-1]$

$0 < P < L-1 \Rightarrow P$ , planos perpendiculares que particionam a escala de cinza

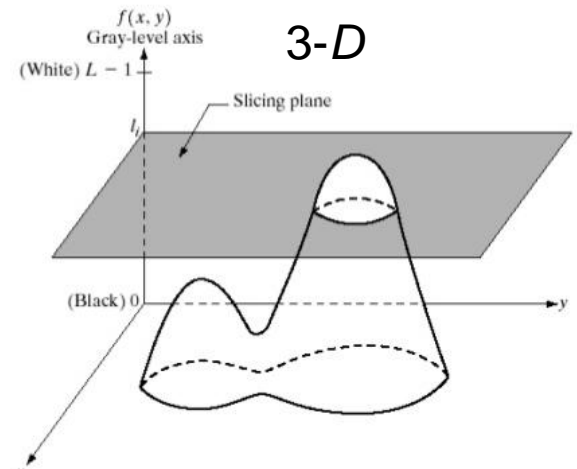
$V_k \Rightarrow$  intervalos particionados em função de  $P$



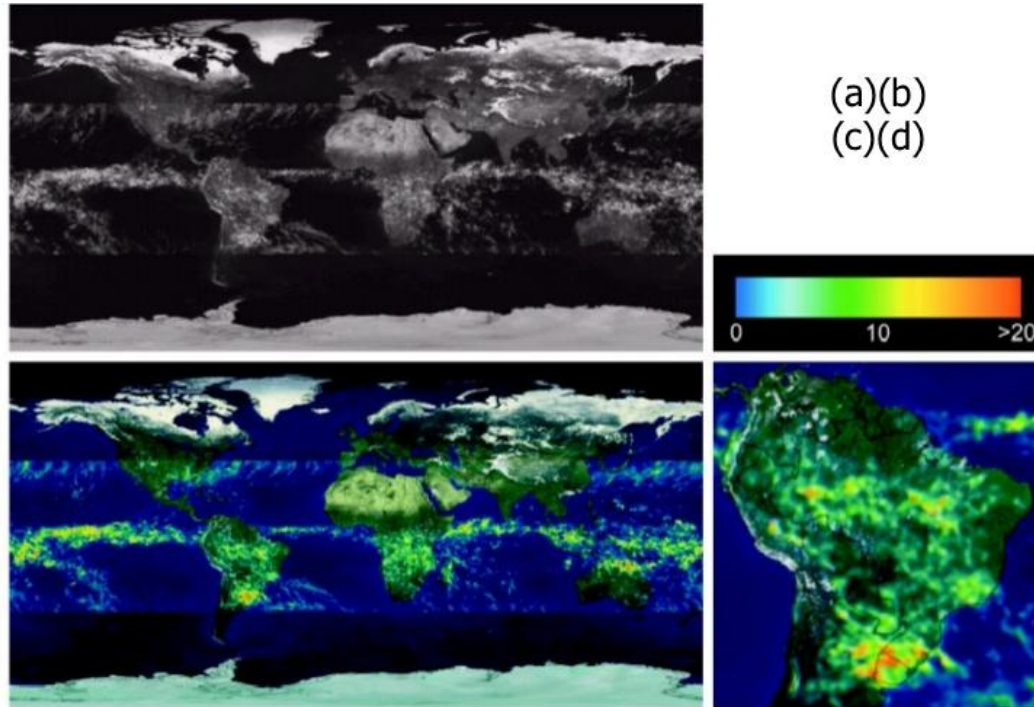
- Atribuições de cores:

$$f(x, y) = c_k \text{ se } f(x, y) \in V_k$$

- $c_k$ : cor associada ao  $K$ -ésimo intervalo  $V_k$

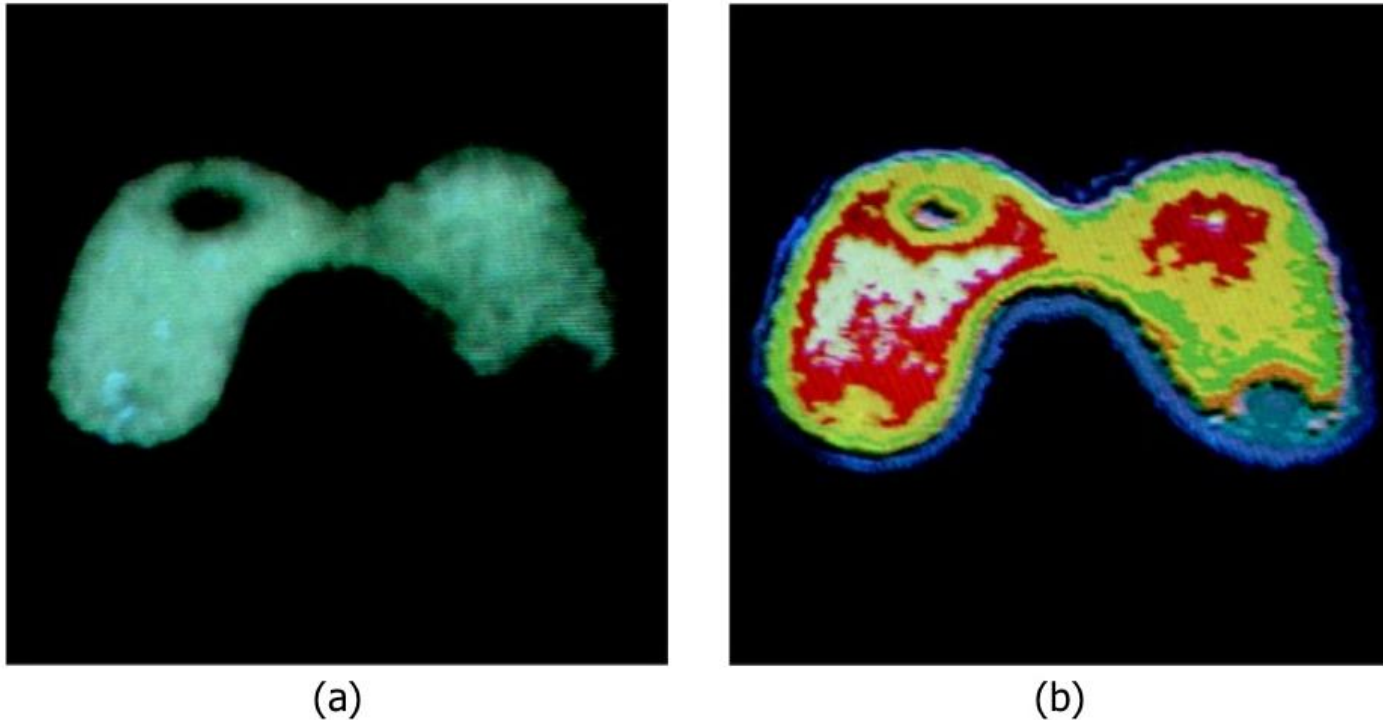


## ■ Fatiamento por Intensidades: Exemplos



**Figura** – (a) Imagem em nível de cinza em que a intensidade corresponde ao índice pluviométrico mensal médio. (b) Cores correspondentes aos valores de intensidade. (c) Imagem codificada em cores. (d) Zoom da região da América do Sul.

## ■ Fatiamento por Intensidades: Exemplos

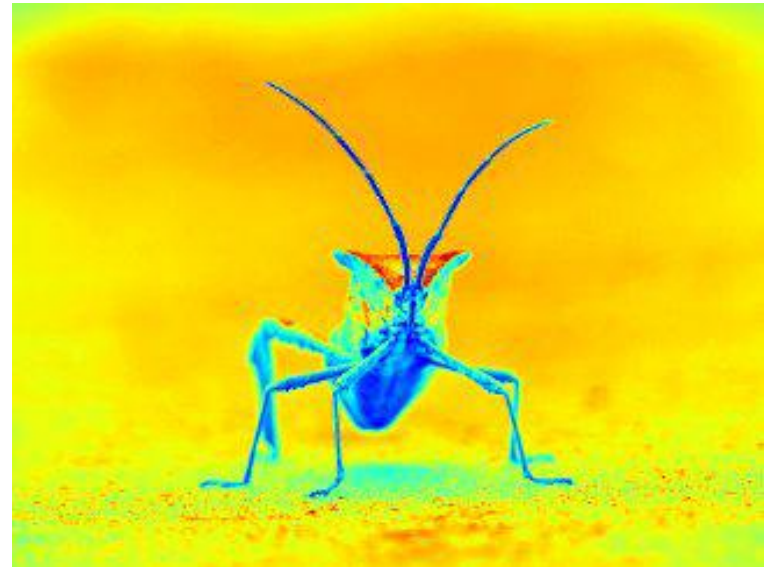


**Figura** – (a) Imagem monocromática do Fantasma de tireóide de Picker. (b) Fatiamento de intensidades da imagem em 8 (oito) intervalos de intensidades.



## ■ **Fatiamento por Intensidades: Exemplos**

- Diversas técnicas são aplicadas para atribuir pseudocores
  - Substituir cada intensidade por um matiz (Por exemplo, sistema HSV ou HSI)



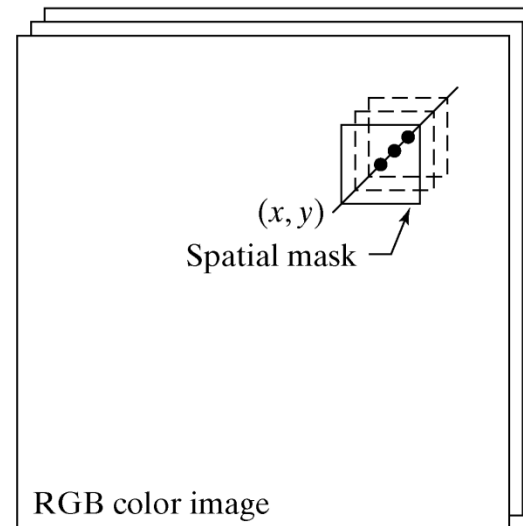
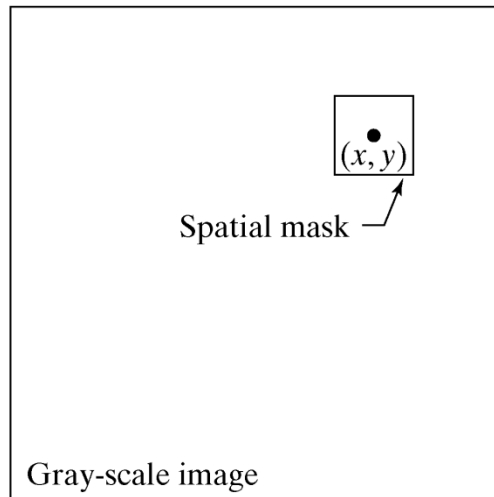


# Transformações de Cores

## ■ Transformações de Cores

□  $g(x,y)=T[f(x,y)]$

- em que:  $f(x,y)$  é uma imagem colorida dada como entrada;
- $g(x,y)$  é uma imagem colorida de saída
- $T$  é um operador em  $f$  definido em uma vizinhança do ponto  $f(x,y)$



**Se não há a necessidade de modificar as cores  $\Rightarrow$  aplicar a mesma técnica de processamento nos três canais RGB**

# Transformações de Cores

## ■ Transformações de Cores: Exemplos

- Ajuste linear no contraste:  $g(x,y)=kf(x,y)$ ,  $0 < k < 1$



Entrada



Ajuste em RGB



Ajuste em I

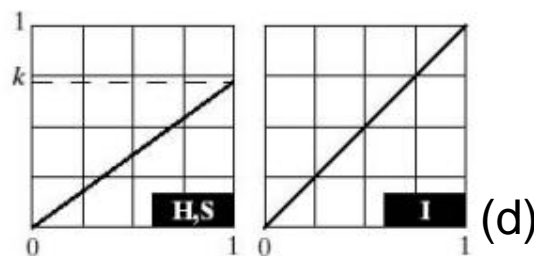
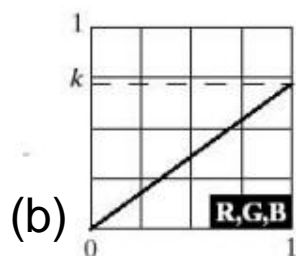
# Transformações de Cores

## ■ Transformações de Cores: Exemplos

- **Ajuste linear no contraste:**  $g(x,y)=kf(x,y)$ ,  $0 < k < 1$



Figura. Ajuste de Intensidade de uma imagem utilizando transformações de cores. (a) Imagem original. (b) Resultado da redução de intensidade em 30% ( $k=0,7$ ); (c) e (d) As funções de transformação RGB e HSI obtidas



# Transformações de Cores

- **Transformações de Cores: Exemplos**
  - **Equalização de Histograma: Modelo HSI**



Entrada

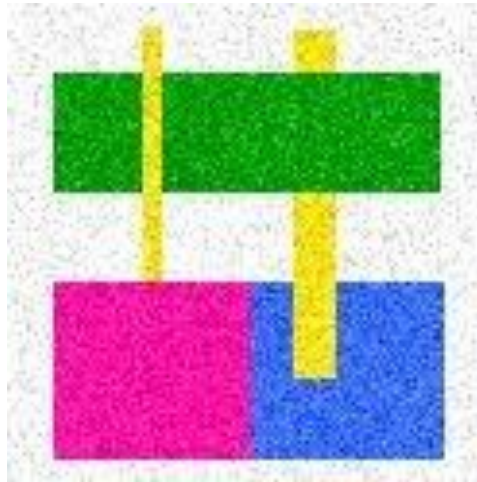


Equalizada: Ajuste em /



# Suavização e Aguçamento

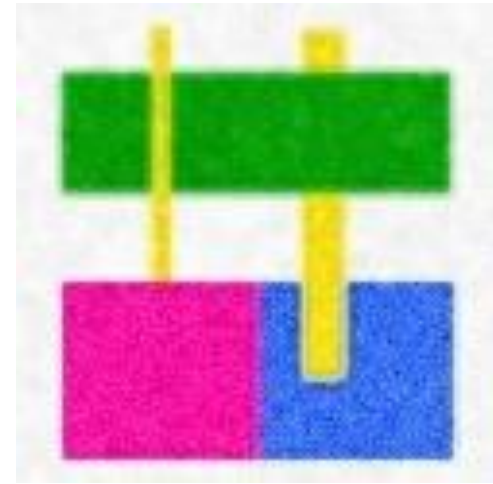
## ■ Suavização



Ruído Sal e pimenta



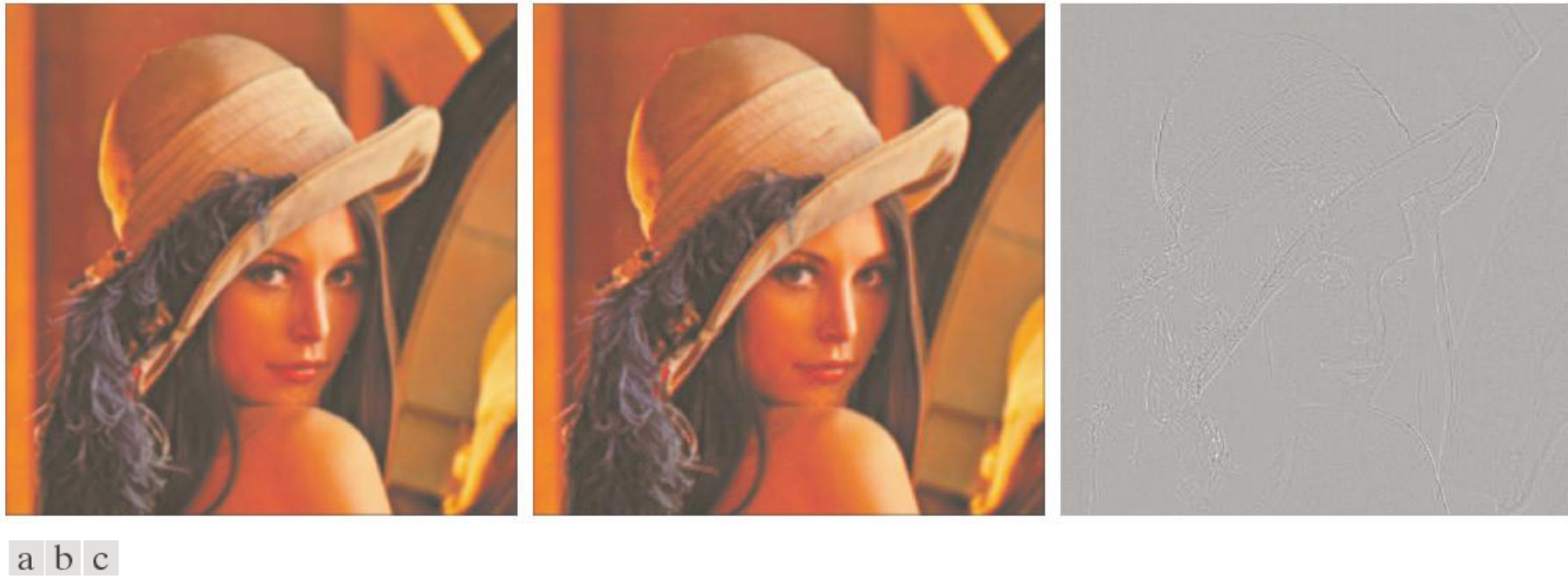
Ajuste em RGB



Ajuste em I

# Suavização e Aguçamento

## ■ Suavização



**FIGURE 6.40** Image smoothing with a  $5 \times 5$  averaging mask. (a) Result of processing each RGB component image. (b) Result of processing the intensity component of the HSI image and converting to RGB. (c) Difference between the two results.

# Suavização e Aguçamento

## ■ Suavização



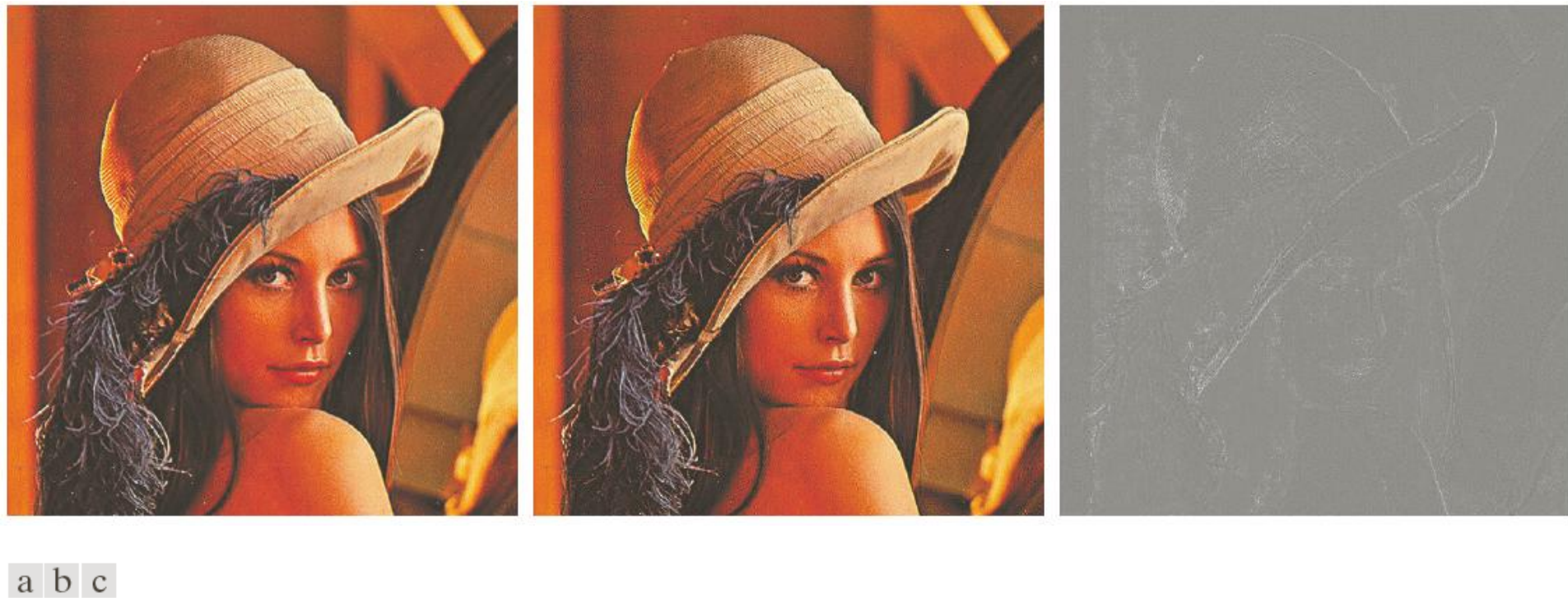
a b c

**FIGURE 6.21** (a) Smoothed RGB image obtained by smoothing the  $R$ ,  $G$ , and  $B$  image planes separately. (b) Result of smoothing only the intensity component of the HSI equivalent image. (c) Result of smoothing all three HSI components equally.



# Suavização e Aguçamento

## ■ Aguçamento

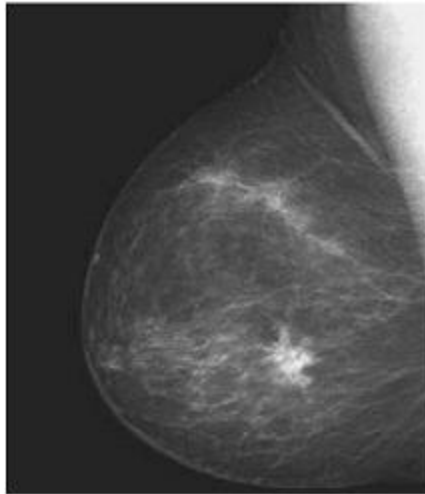


**FIGURE 6.41** Image sharpening with the Laplacian. (a) Result of processing each RGB channel. (b) Result of processing the HSI intensity component and converting to RGB. (c) Difference between the two results.



# Exercícios

1. Considere as imagens indicadas abaixo (Padronizadas em RGB) e aplique o processo de fatiamento por intensidades. Considere que as cores devem ser normalizadas em  $L_{max}=255$ .



# Exercícios

2. Escreva um programa que receba as imagens abaixo e aplique o processo de transformações de cores: equalização. Apresentar os histogramas equalizados.



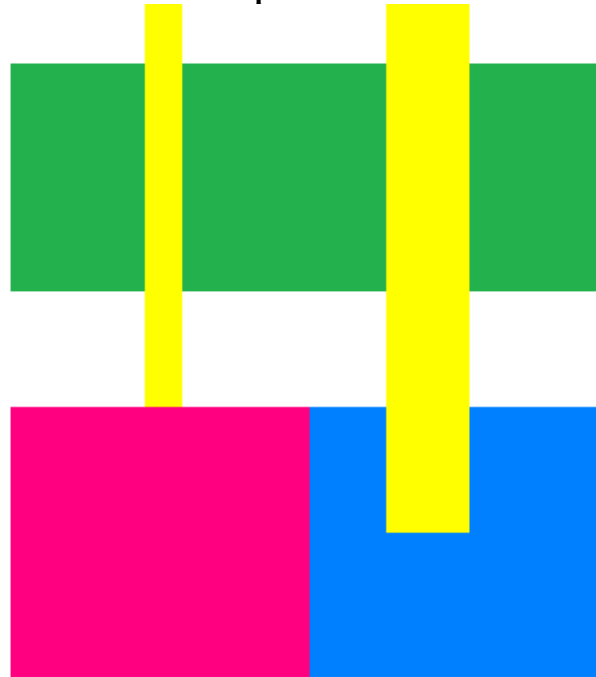
# Exercícios

3. Escreva um programa que receba as imagens abaixo, converta para o padrão HSI e aplique o processo de transformações de cores: equalização. Apresentar os histogramas equalizados. Observe os resultados dos exercícios 2 e 3. Indique, se possível, qual estratégia forneceu os melhores resultados e justifique sua resposta.



# Exercícios

4. Escreva um programa que receba a imagem abaixo (modelo RGB), adicione ruído sal e pimenta e realize a filtragem mediana, com máscaras 3x3 e 5x5. Apresentar o resultado de cada etapa e os histogramas. Em seguida, converta a imagem com ruído para o modelo HSI. Realize a filtragem com as máscaras indicadas. Observe os resultados e responda: os resultados são diferentes? Foram observados benefícios quando o processamento ocorreu a partir do modelo HSI?



# Exercícios

5. Considere a imagem indicada abaixo (Padronizada em RGB). Crie um programa para converter a imagem de RGB para HSI e, em seguida, aplique o processo de fatiamento por intensidades: cada intensidade deve estar associada a uma cromaticidade.





# Referências

1. Pedrini, H., Schwartz, W. R. Análise de Imagens Digitais: Princípios Algoritmos e Aplicações. São Paulo: Thomson Learning, 2008.
2. González, R. C., Woods, R. E. Processamento de Imagens Digitais. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2000.
3. Marques Filho, O., Vieira Neto, H. Processamento Digital de Imagens, Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

