

Universidade Presbiteriana Mackenzie

Processamento de Imagens Coloridas
Processamento Digital de Imagens

Prof. Mário O. de Menezes

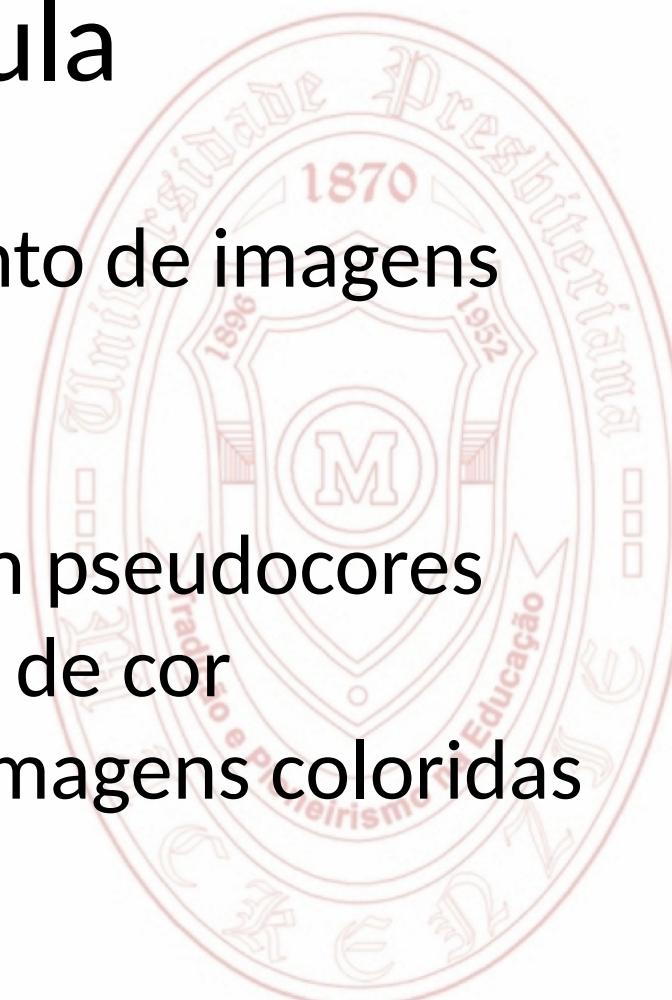
Slides cedidos pelo Prof. Laercio Cruvinel

Faculdade de Computação e Informática

São Paulo, Outubro de 2014

Tópicos da Aula

- Fundamentos do processamento de imagens coloridas
- Modelos e espaços de cores
- Processamento de imagens em pseudocores
- Transformações entre espaços de cor
- Suavização e aguçamento de imagens coloridas

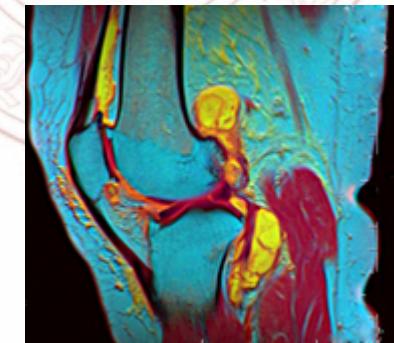
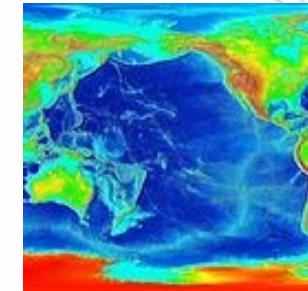
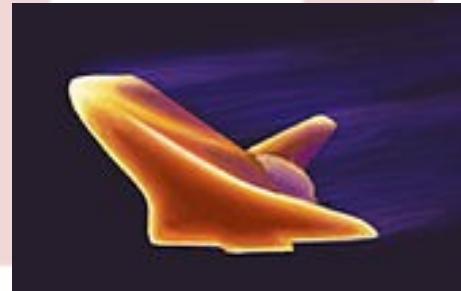
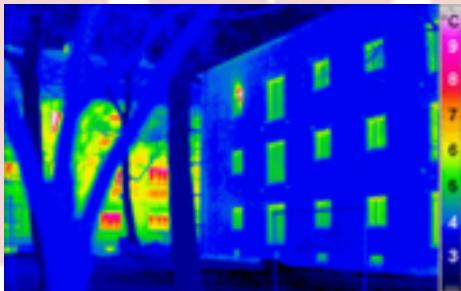


Fundamentos Teóricos

- A **utilização da cor** no processamento de imagens é **motivada** por dois fatores:
 - Na análise automática de imagens:**
 - A cor é um poderoso descritor utilizado na identificação de um objeto e na sua extração de uma cena
 - Na análise de imagens com intervenção humana:**
 - O olho humano é capaz de discernir milhares de tons e intensidades de cores, em comparação com apenas duas dúzias de tons de cinza

Fundamentos Teóricos

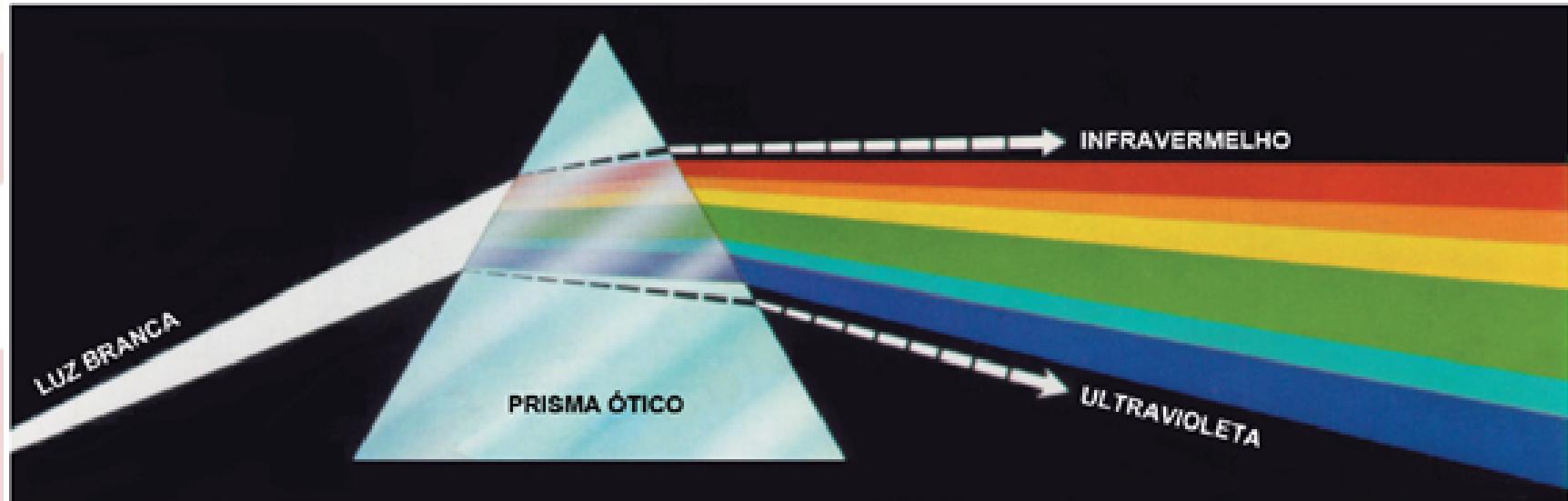
- O processamento de imagens coloridas é dividido em duas áreas principais, são elas:
 - **Full-Color**
 - As imagens processadas são adquiridas através de sensores de cores
 - **Pseudocores (não abordaremos pseudocores nestes slides)**
 - É o processo no qual são atribuídas cores distintas em regiões da escala de cinza de uma imagem digital



Fundamentos Teóricos

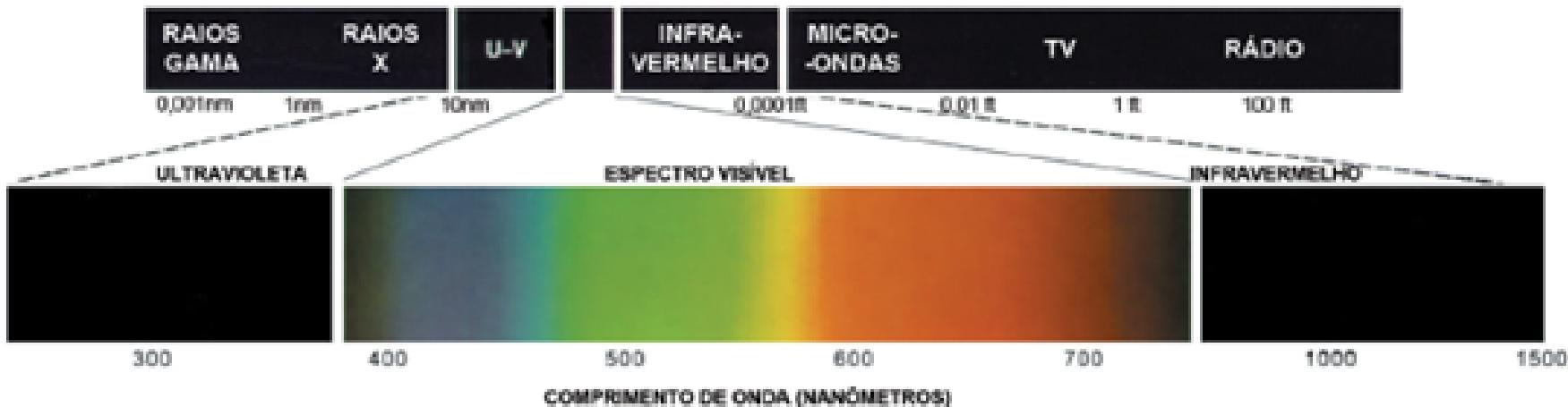
- Em 1666, Sir Isaac Newton descobriu que, quando um feixe de luz solar atravessa um prisma, o feixe de luz emergente não é branco
 - A luz é decomposta em um amplo **espectro de cores**, em uma **extremidade** temos a **cor violeta**, e na **outra extremidade** a **cor vermelha**
- O espectro de cores pode ser dividido em **seis amplas regiões**:
 - Violeta, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho

Fundamentos Teóricos



Espectro de cores visto pela passagem de luz branca através de um prisma.
(Imagen original: cortesia da General Electric Co., Lamp Business Division.)

Fundamentos Teóricos



Comprimentos de onda englobando a faixa visível do espectro eletromagnético.

(Imagem original: cortesia da General Electric Co., Lamp Business Division.)



Fundamentos Teóricos

- As **cores percebidas** pelos humanos em um objeto **são determinadas** pela natureza da **luz refletida** pelo objeto
 - Para a cor ser vista, é necessário que o olho seja atingido por **energia eletromagnética**
 - Se um objeto parece vermelho a luz do dia é porque, embora seja banhado pela luz branca do sol, ele **reflete somente** a parte **vermelha** da luz, **o restante** do espectro **é absorvido**

Fundamentos Teóricos

- As **cores percebidas** pelos humanos em um objeto **são determinadas** pela natureza da **luz refletida** pelo objeto
 - Um **objeto** que **reflete** a luz de forma **balanceada** em todos os comprimentos de onda visíveis é percebido como **branco** pelo observador
 - Já um **objeto** que **absorve** todos os espectros da luz em todos os comprimentos de onda visíveis é percebido como **preto** pelo observador

Fundamentos Teóricos

- A luz é caracterizada de duas formas distintas:
 - **Luz Acromática**
 - Caracteriza a luz sem cores
 - Seu único atributo é a sua intensidade (ou quantidade)
 - Se refere a uma medida escalar de intensidade que varia do preto, passando pelos cinza, até o branco
 - **Luz Cromática**
 - Caracteriza a luz com cores (de 400 a 700 nm)
 - Características que descrevem a qualidade de uma fonte de luz cromática: radiância, luminância e brilho

Fundamentos Teóricos

- Características da luz cromática

- **Radiância:**

- Quantidade total de energia que flui da fonte de luz

- **Luminância:**

- Quantidade de energia que um observador percebe de uma fonte de luz

- **Brilho:**

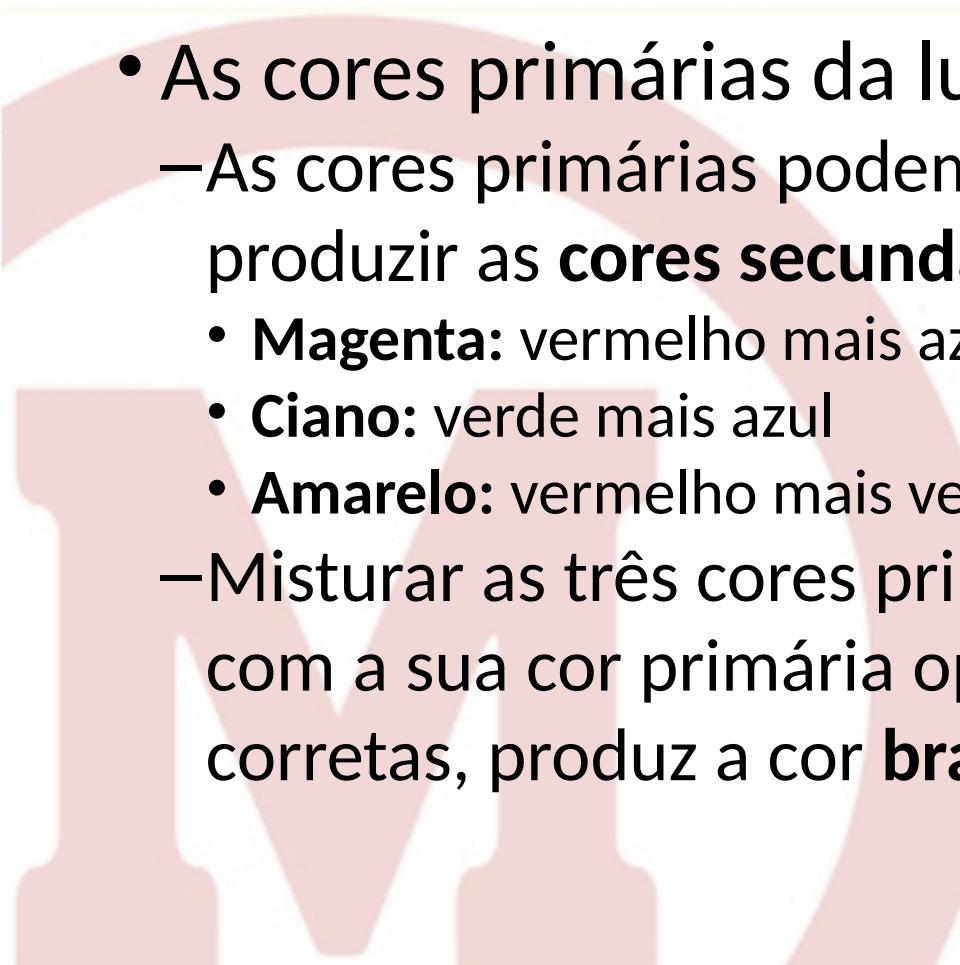
- Incorpora a noção acromática de intensidade e é um dos principais fatores na descrição da sensação de cores

Fundamentos Teóricos

- As cores primárias da luz
 - São denominadas como **cores primárias aditivas**
 - É possível obter qualquer outra cor a partir de uma combinação aditiva de uma ou mais delas
 - A CIE (Comissão Internacional de Iluminação) determinou em 1931 os valores abaixo como comprimento de onda das três cores primárias
 - Azul: 435,8 nm
 - Verde: 546,1 nm
 - Vermelho: 700,0 nm

Fundamentos Teóricos

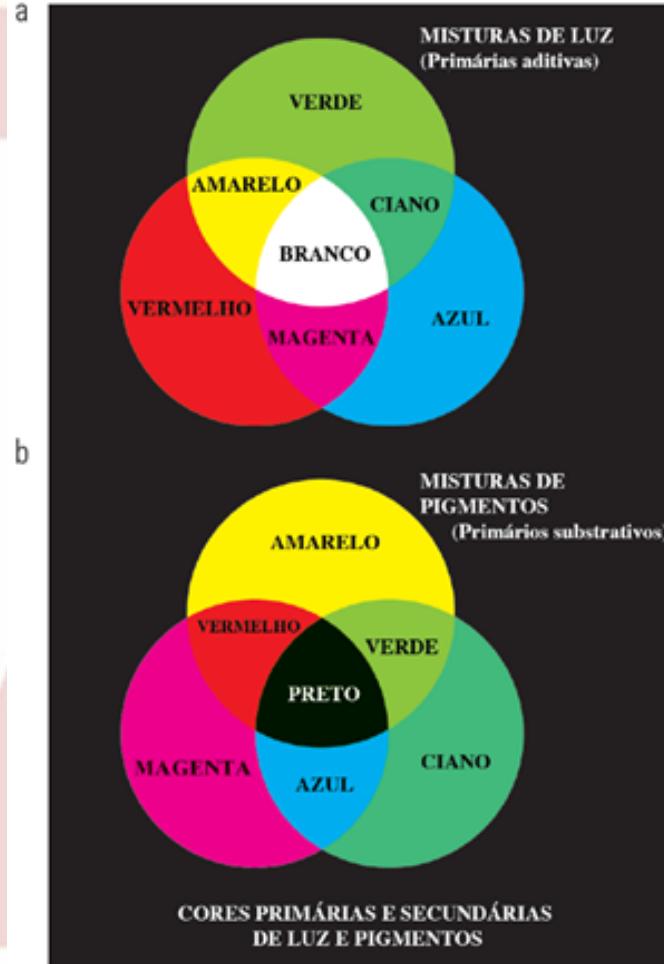
- As cores primárias da luz
 - As cores primárias podem ser adicionadas para produzir as **cores secundárias**
 - **Magenta**: vermelho mais azul
 - **Ciano**: verde mais azul
 - **Amarelo**: vermelho mais verde
 - Misturar as três cores primárias, ou uma secundária com a sua cor primária oposta, em intensidades corretas, produz a cor **branca**



Fundamentos Teóricos

- As cores primárias de pigmentos
 - Existe uma outra classe de combinação de cores, usada em impressoras coloridas
 - Nesse caso, as cores primárias estão associadas aos pigmentos: **Magenta, Ciano e Amarelo**
 - Combinados de **forma subtrativa**, produzem as cores secundárias: **Vermelho, Verde e Azul**
 - Cada pigmento ao ser depositado em um fundo branco, subtrai parte da luz branca incidente, refletindo apenas a cor correspondente ao pigmento

Fundamentos Teóricos



Cores primárias e secundárias de luz e pigmentos.
(Imagem original: cortesia da General Electric Co., Lamp Business Division.)

Fundamentos Teóricos

- Distinção entre cores
 - As características utilizadas para **distinguir** uma cor da outra são:
 - **Brilho (brightness)**: a noção da intensidade luminosa da radiação
 - **Matiz (hue)**: propriedade associada ao comprimento de onda predominante na combinação das várias ondas visíveis
 - **Saturação (saturation)**: o grau de mistura do matiz original com a cor branca (também chamado de pureza do matiz)

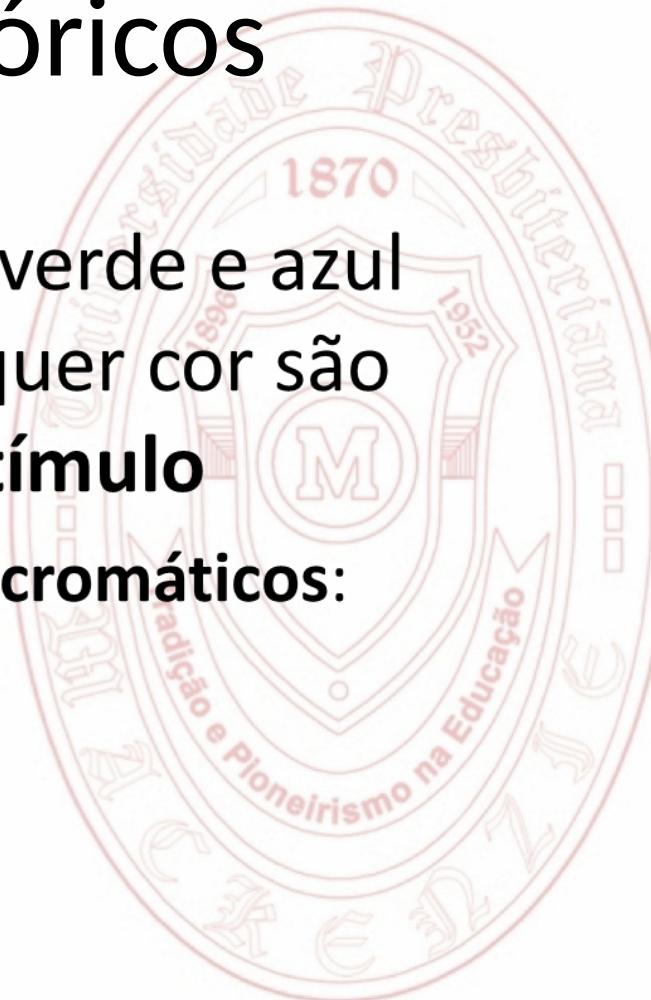
Fundamentos Teóricos

- As quantidades de vermelho, verde e azul necessárias para formar qualquer cor são chamadas de **valores de triestímulo**
 - Expressas pelos **coeficientes tricromáticos**:

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

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

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



Fundamentos Teóricos

- Onde:
 - R, G e B representam respectivamente a quantidade de luz vermelha, verde e azul
 - Esses valores são normalizados entre 0 e 1
 - A soma dos três coeficientes tricromáticos é:
$$x + y + z = 1$$
- O próximo *slide* ilustra como especificar cores em função de x (vermelho) e y (verde)
$$z = 1 - (x + y)$$

Fundamentos Teóricos

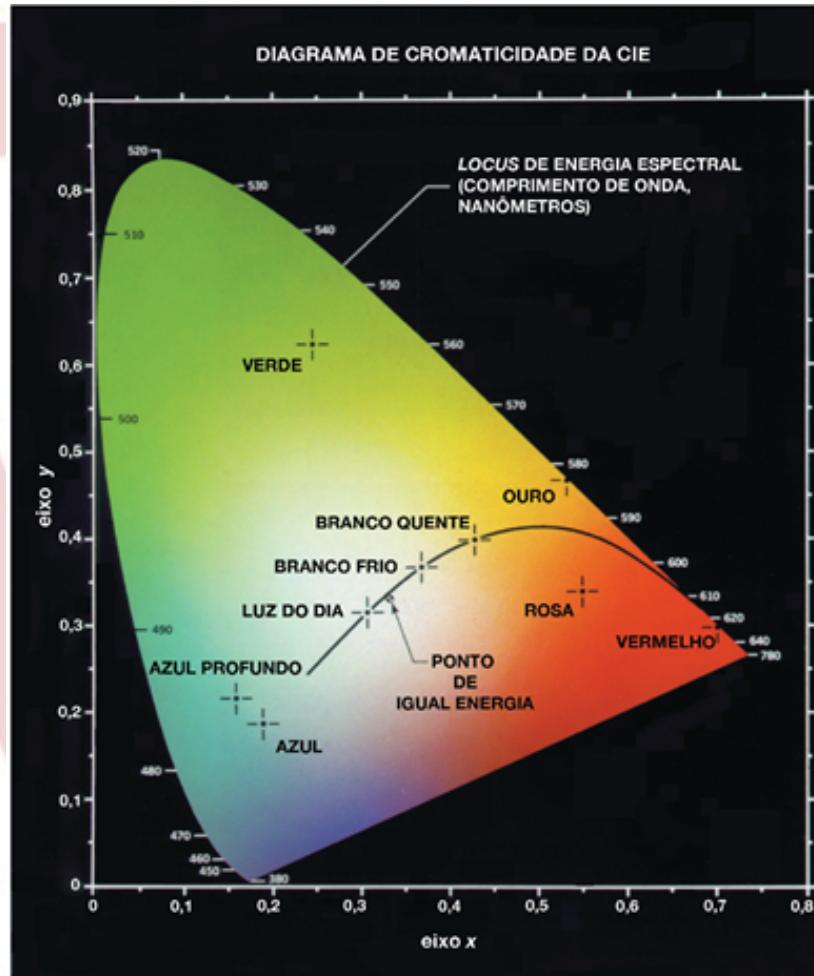


Diagrama de cromaticidade.

(Imagem original: cortesia da General Electric Co., Lamp Business Division.)

Modelos ou Espaços de Cores

- O objetivo de um **modelo de cores** é facilitar a especificação das cores de forma padronizada
 - Um modelo de cores é uma **representação tridimensional** na qual **cada cor** é representada por **um ponto** no sistema de coordenadas 3D
- A maioria dos modelos de cores é orientada:
 - **Ao hardware:** impressoras e monitores coloridos
 - **Ao software:** aplicações computacionais que utilizam manipulação de cores

Modelos ou Espaços de Cores

- Vamos estudar os seguintes espaços de cores:
 - **RGB** (*red, green e blue*)
 - **CMY** (*Cyan, magenta e yellow*)
 - **CMYK** (variante do modelo CMY, com o *black*)
 - **HSI** (*hue, saturation e intensity*) ou **HSV** (*...., ..., value*)
- Existem ainda outros modelos conhecidos:
 - **YCbCr** (utilizado na compressão de vídeos)
 - **YIQ** (utilizado no padrão NTSC de TV em cores)

Modelos ou Espaços de Cores

- **Modelo RGB**

- É um **modelo de cores orientado a hardware**, utilizado por componentes como: monitores coloridos e uma ampla classe de câmeras de vídeo
- Cada **cor é formada** a partir de seus **componentes espectrais primários**: vermelho, verde e azul
- Esse modelo é **baseado** em um **sistema de coordenadas cartesianas**, sendo representado por **um cubo de cores**

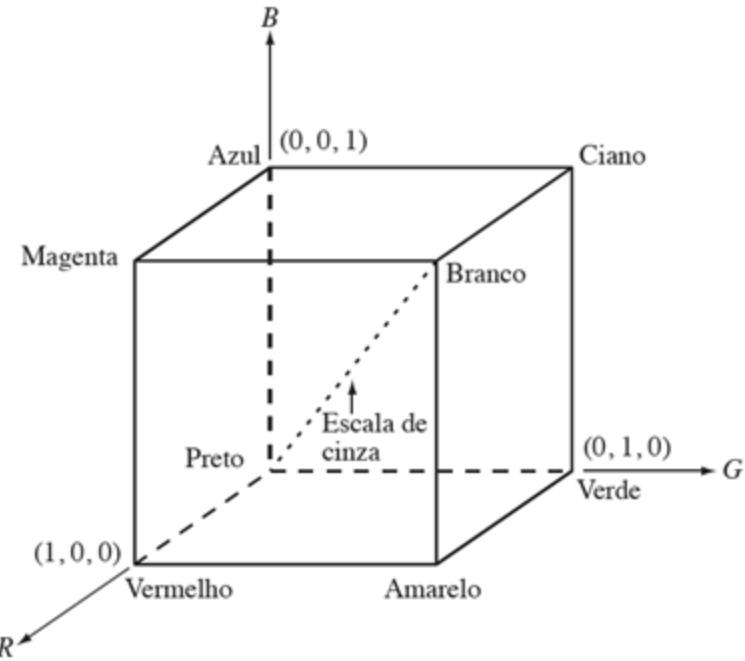
Modelos ou Espaços de Cores

- **Modelo RGB**

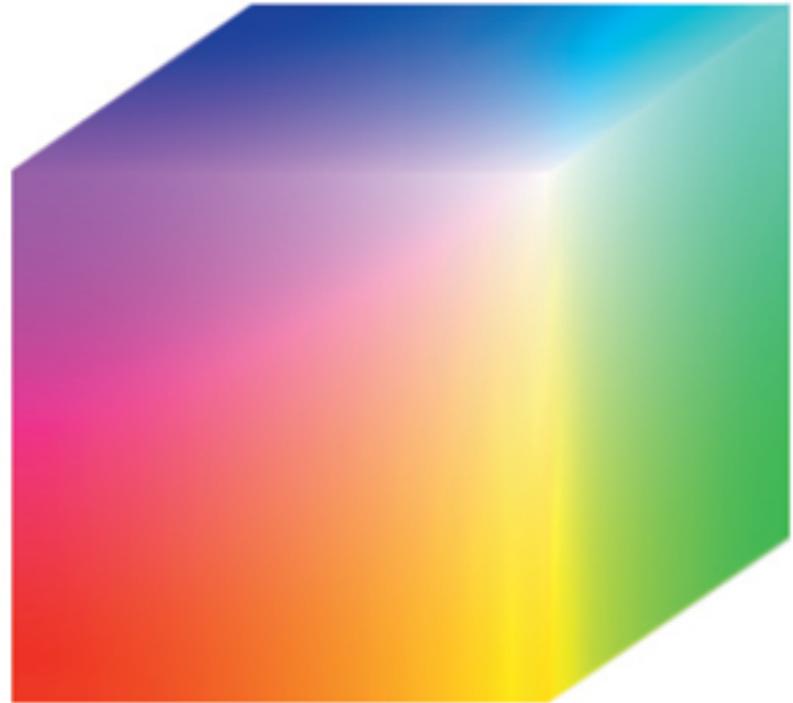
- **Características** do cubo de cores:

- Os **valores RGB primários** estão em três vértices
 - As **cores secundárias** (ciano, magenta e amarelo) estão em outros três vértices
 - O **preto** está na origem dos vértices primários
 - O **branco** está no vértice mais distante da origem dos vértices primários
 - A **escala de cinza** estende-se do preto até o branco ao longo de um segmento de reta que une esses 2 pontos
 - Pois representa pontos de valores RGB iguais

Modelos ou Espaços de Cores



Esquema do cubo de cores RGB. Os pontos ao longo da diagonal principal representam os valores de cinza, do preto na origem ao branco no ponto $(1, 1, 1)$.



Cubo de cores RGB de 24 bits.

Modelos ou Espaços de Cores

• Modelo RGB

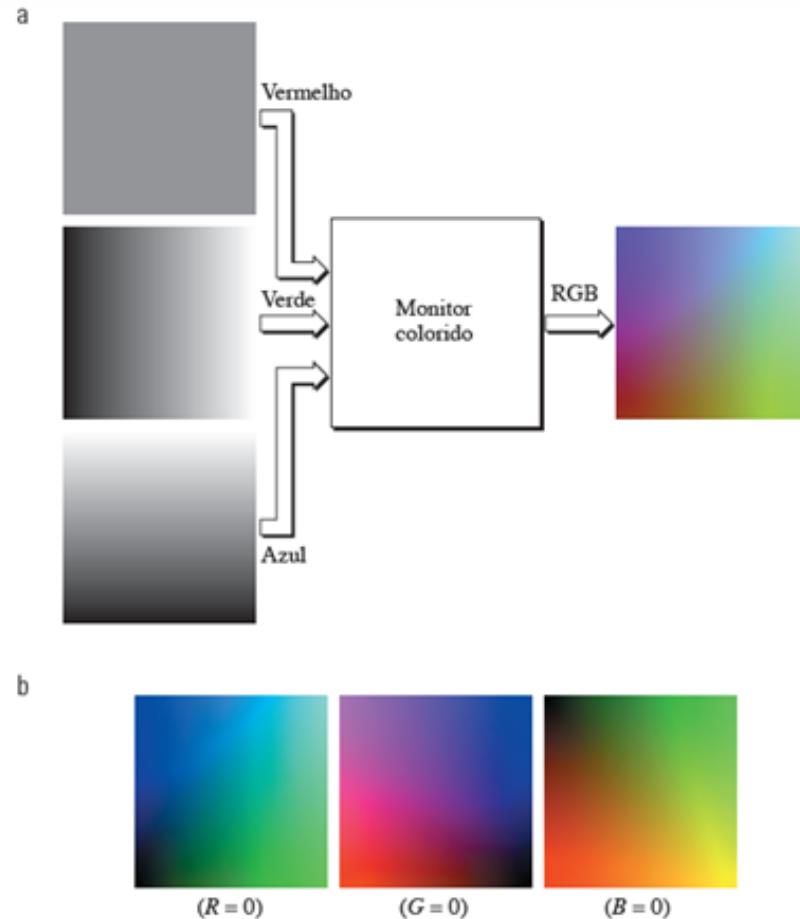
- A **profundidade de um pixel** é um termo utilizado para representar o número de *bits* utilizados por cada pixel em um espaço RGB
 - A imagem colorida é composta por 3 camadas de 8 *bits*
 - No total a imagem tem uma profundidade de 24 *bits*
 - O termo *full-color* é utilizado para expressar uma imagem de cores RGB de 24 *bits*
 - O número de cores em uma imagem RGB de 24 *bits* é:
$$(2^8)^3 = 16.777.216$$

Modelos ou Espaços de Cores

• Modelo RGB

- O **corte transversal do cubo** é uma técnica que fixa uma das três cores RGB e varia as outras duas
- Por exemplo:
 - Um plano de corte transversal que passa pelo centro do cubo, paralelo ao plano GB é ilustrado no próximo slide
 - O plano é representado por $(127, G, B)$
 - OBS: Utilizamos aqui os valores reais dos *pixels* em vez dos valores convenientemente normalizados no intervalo $[0, 1]$

Modelos ou Espaços de Cores



(a) Geração da imagem RGB do plano de cor de corte transversal (127, G, B). (b) Os três planos de superfície ocultos no cubo colorido

Modelos ou Espaços de Cores

- **Modelo RGB**

- Apesar dos atuais monitores e placas de vídeo representarem as cores de uma imagem de 24 bits, muitos sistemas são **limitados a 256 cores**
 - Para algumas aplicações não faz sentido utilizar mais do que algumas poucas centenas de cores (até menos)
 - Como as técnicas de *pseudocores* que veremos nesse tópico
 - Um subconjunto de cores pode ser mais facilmente reproduzido com uma **maior fidelidade** independente dos recursos de *hardware* do sistema de exibição

Modelos ou Espaços de Cores

- **Modelo RGB**

- Conjunto de cores seguras em todos os sistemas
 - Em aplicações WEB, elas são chamadas de **cores seguras da WEB**
 - Sabe-se que 40 dessas 256 cores são processadas de forma diferente por vários S.O.
 - Desse modo, sobram apenas 216 cores comuns
 - Cada uma das cores seguras do padrão RGB é formada pela combinação de 3 valores, e os valores a serem combinados só podem ser iguais a: **0, 51, 102, 153, 204 ou 255**

Modelos ou Espaços de Cores

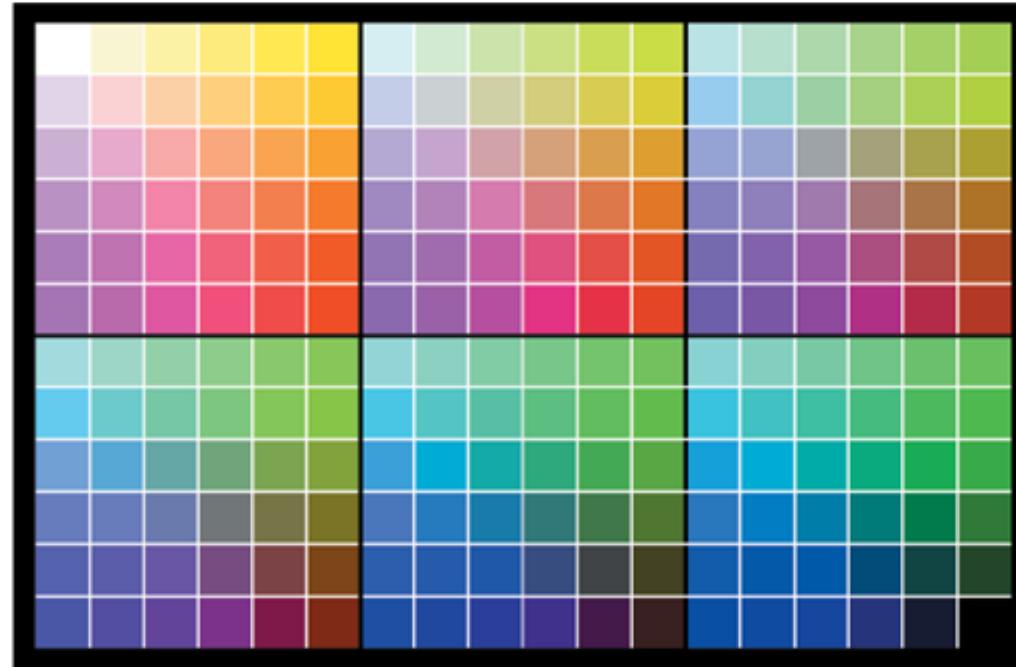
- **Modelo RGB**
 - Costuma-se a expressar esses valores no sistema numérico hexadecimal
 - Como são necessários três números para formar uma cor RGB, cada cor segura é formada a partir de três dos números hexadecimais ao lado

Valores válidos para cada componente RGB em uma cor segura.

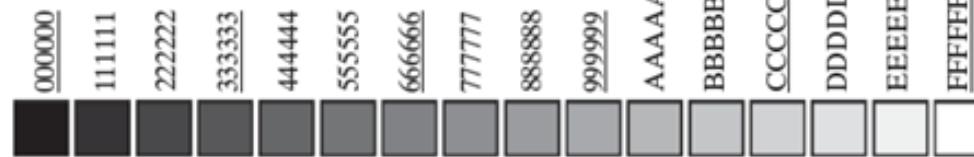
Sistema numéricico	Equivalentes em cores					
Hexadecimal	00	33	66	99	CC	FF
Decimal	0	51	102	153	204	255

Modelos ou Espaços de Cores

a

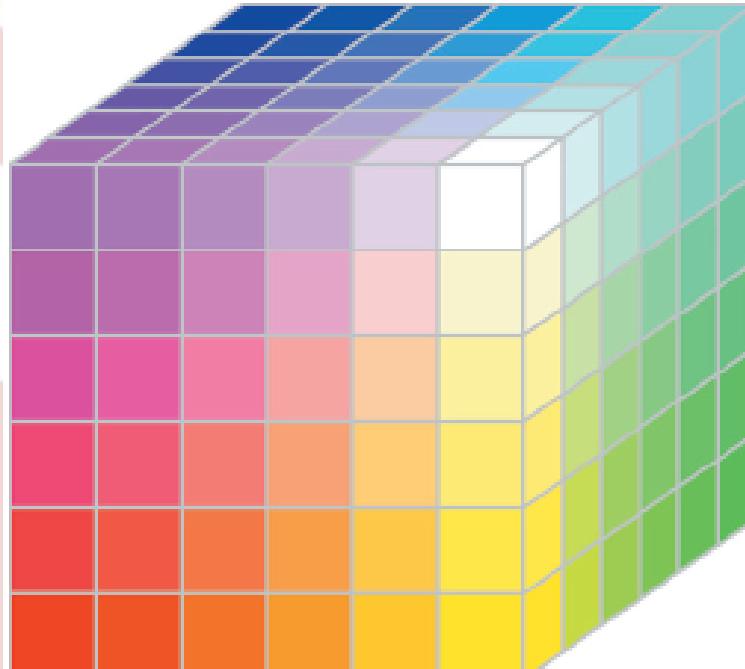


b



(a) As 216 cores seguras do padrão RGB. (b) Todos os tons de cinza no sistema de 256 cores RGB
 (os tons de cinza que fazem parte do grupo de cores seguras são mostrados sublinhados).

Modelos ou Espaços de Cores



Cubo de cores seguras RGB.



Modelos ou Espaços de Cores

- **Modelo HSI**
 - É o modelo mais adequado para **descrever cores** em termos práticos para a interpretação humana
 - Os seres humanos descrevem as cores de um objeto em termos de:
 - Matiz (*Hue*)
 - Saturação (*Saturation*)
 - Brilho ou Intensidade (*intensity*) ou Valor (*value*)
 - O modelo HSI separa o componente **intensidade** das informações de cores (matiz e saturação)

Modelos ou Espaços de Cores

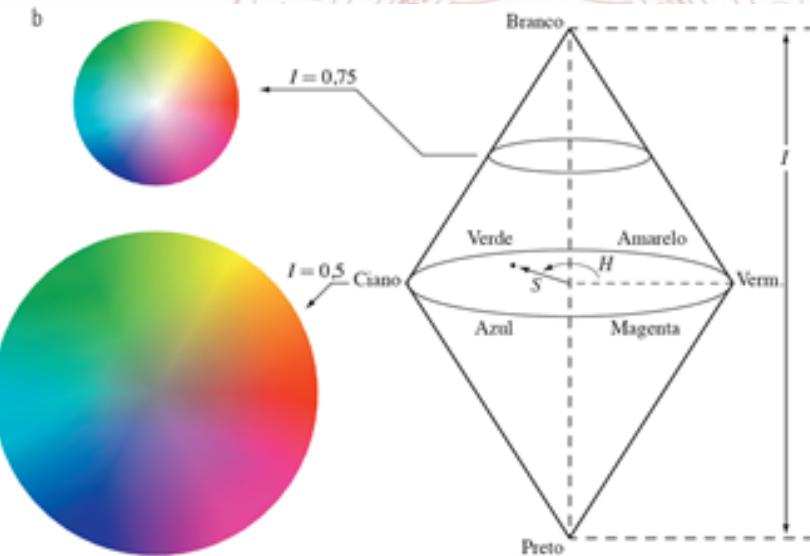
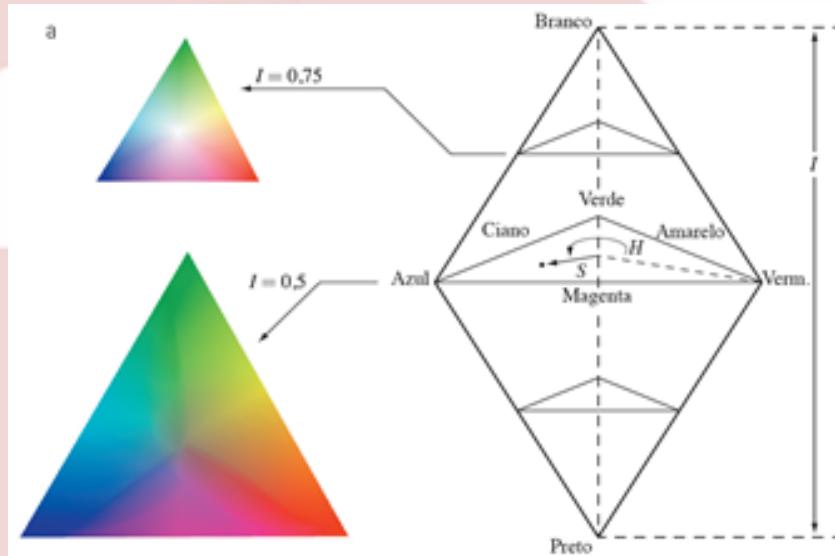
- **Modelo HSI**

- Em termos práticos, o modelo HSI é utilizado em sistemas que utilizam o **modelo de percepção de cor** pelo ser humano
- **Por exemplo:**
 - Um sistema automatizado de colheita de frutas
 - Esse tipo de sistema determina se a fruta está suficientemente madura para ser colhida
 - Essa determinação é efetivada a partir da análise da coloração externa da fruta

Modelos ou Espaços de Cores

- **Modelo HSI**
 - Geometricamente**, o modelo HSI pode ser visto como **um sólido**, cujos cortes horizontais produzem **triângulos**
 - Os vértices dos triângulos contêm as **cores primárias**
 - O **centro** corresponde à **combinação** destas cores em **iguais proporções**
 - A **altura do corte** define se a combinação está mais **próxima** do preto ou do branco

Modelos ou Espaços de Cores



O modelo de cores HSI baseado em planos de cores (a) triangular e (b) circular. Os triângulos e círculos são perpendiculares ao eixo de intensidade vertical.

Modelos ou Espaços de Cores

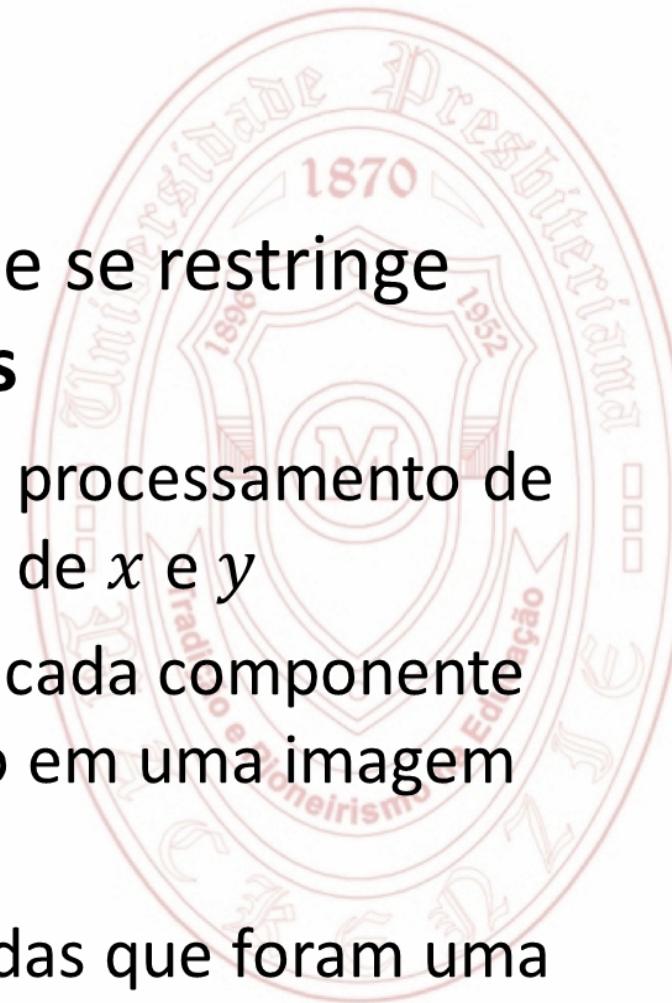
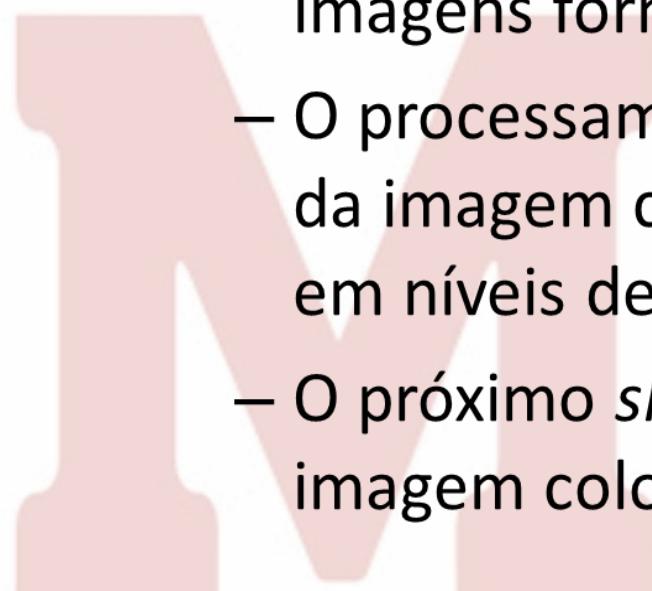
- **Modelo HSI**
 - A figura ilustrada no *slide* anterior mostra que o espaço HSI é representado por:
 - Um eixo de intensidade vertical
 - Conjuntos de pontos de cor localizados em planos perpendiculares a esse eixo
 - A medida que os planos se movem para cima e para baixo no eixo de intensidade, novos planos são apresentados nos formatos triangulares ou circulares

- Os métodos de processamento de imagens coloridas estão **divididas em duas categorias:**
 - Na **primeira categoria**, processamos individualmente cada componente da imagem e depois, a partir dos componentes individualmente processados, formamos a imagem colorida processada
 - Na **segunda categoria**, trabalhamos diretamente com os *pixels* coloridos

- As imagens coloridas têm pelo menos **três componentes**
 - Os *pixels* coloridos são **representados** na imagem **por um vetor** com informações dos componentes
 - Com c representando um vetor arbitrário no espaço de cores RGB, a equação abaixo define que c são componentes RGB de um ponto da imagem:

$$c = \begin{bmatrix} c_R \\ c_G \\ c_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

- Nesse tópico, o nosso interesse se restringe aos **processamentos espaciais**
 - O nosso foco são as técnicas de processamento de imagens formuladas em função de x e y
 - O processamento individual de cada componente da imagem colorida, é realizado em uma imagem em níveis de cinza
 - O próximo *slide* ilustra as camadas que foram uma imagem colorida no modelo de cores RGB



Processamento de Imagens Coloridas

a



Imagen em escala de cinza

b

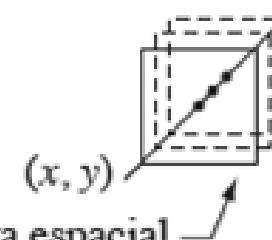


Imagen colorida RGB

Máscaras espaciais para imagens em escala de cinza e imagens coloridas no padrão RGB.

Transformações de Cores

• Formulação

- Da mesma forma das técnicas de transformação de intensidade, modelamos as transformações de cores **utilizando a equação:**

$$g(x, y) = T[f(x, y)]$$

- Onde:
 - $f(x, y)$ é a imagem colorida de entrada
 - $g(x, y)$ é a imagem colorida de saída já processada
 - T é um operador em f definido em uma vizinhança do ponto (x, y)

Transformações de Cores

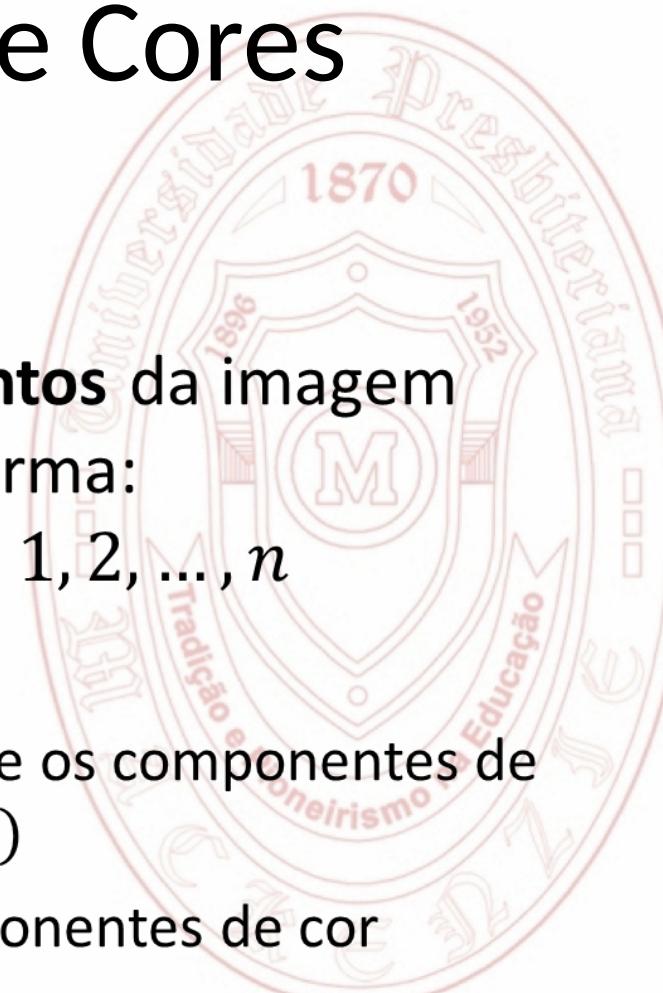
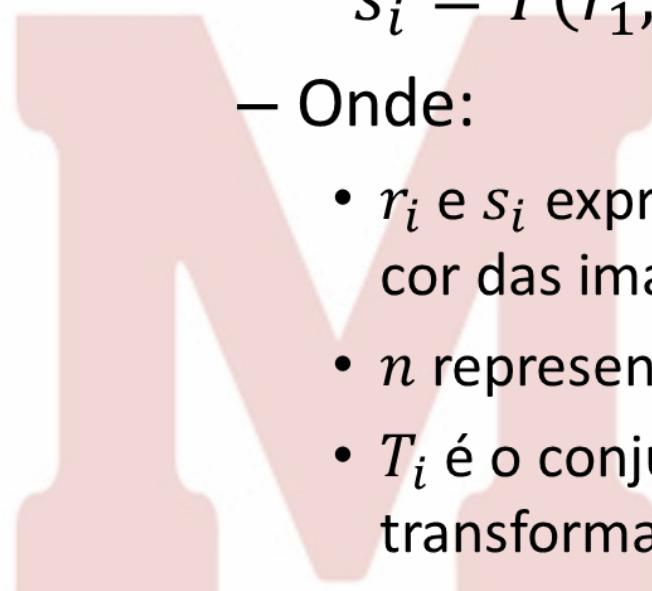
• Formulação

- As **transformações dos elementos** da imagem serão realizadas da seguinte forma:

$$s_i = T(r_1, r_2, \dots, r_n), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

- Onde:

- r_i e s_i expressam respectivamente os componentes de cor das imagens $f(x, y)$ e $g(x, y)$
- n representa o número de componentes de cor
- T_i é o conjunto de funções de mapeamento de cor ou transformações que operam em r_i para produzir s_i



Transformações de Cores

• Formulação

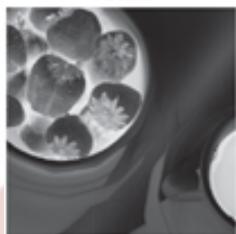
- A transformação de cores pode ser aplicada em **qualquer espaço de cores** escolhido para descrever os *pixels* de f e g
- A partir da imagem de entrada $f(x, y)$, podemos **extrair** vários **componentes** para diferentes espaços de cores
 - O próximo *slide* ilustra um exemplo da extração dos componentes CMYK, RGB e HSI de uma imagem colorida

Transformações de Cores

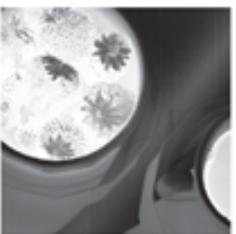


Uma imagem colorida e seus vários componentes para diferentes espaços de cores.
(Imagem original: cortesia da MedData Interactive.)

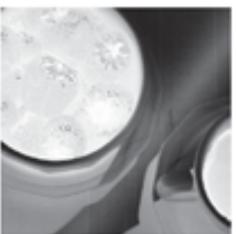
Colorida



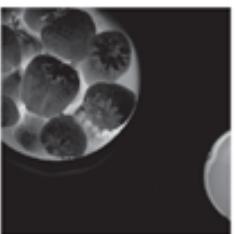
Ciano



Magenta



Amarelo



Preto



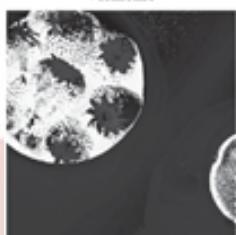
Vermelho



Verde



Azul



Matiz



Saturação



Intensidade

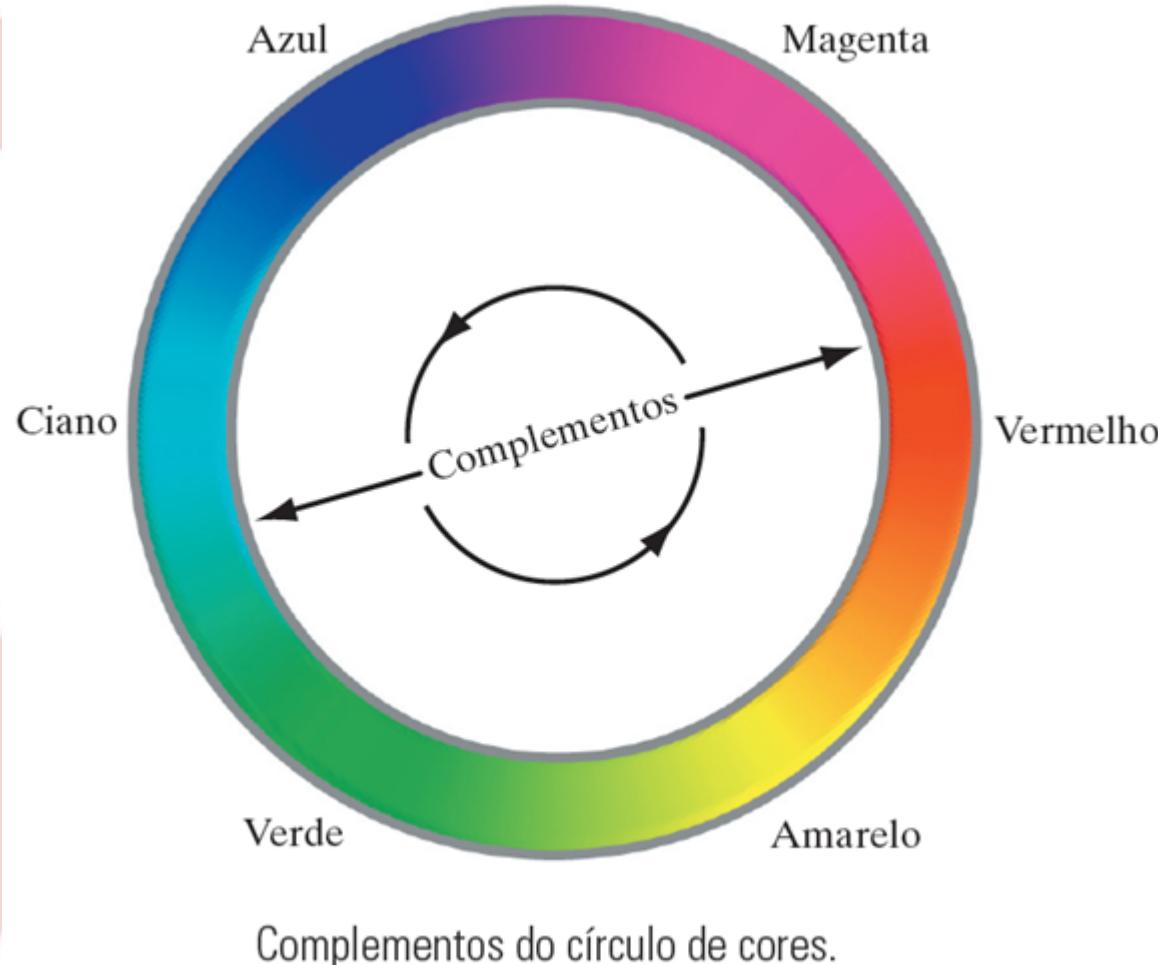


N

Transformações de Cores

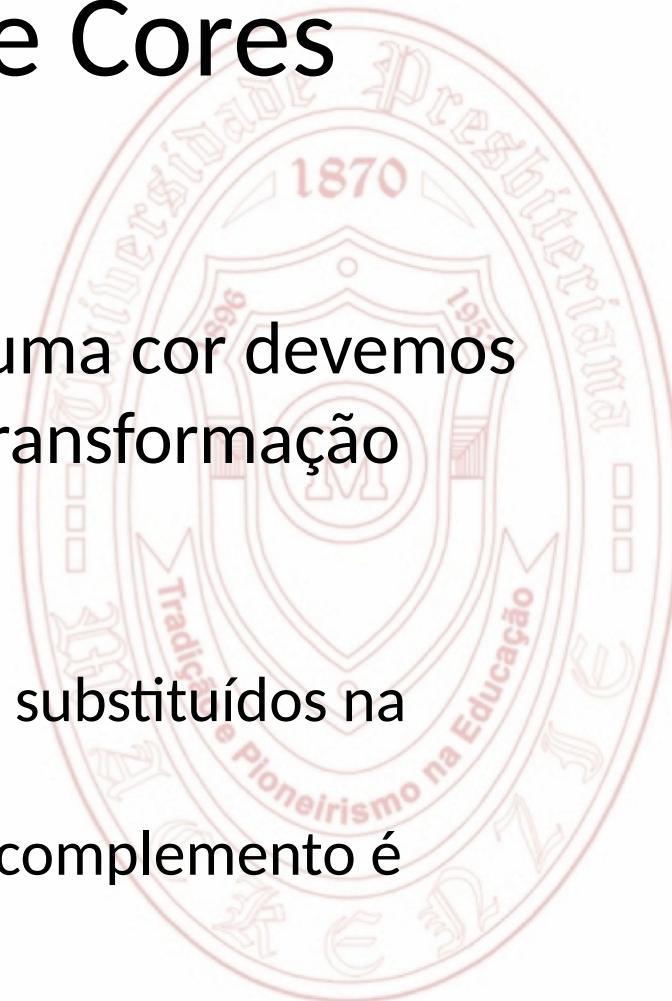
- Complementos de cor
 - O complemento de uma cor é representado pelo seu matiz oposto
 - O interesse pelos complementos de cores se deve ao fato de eles serem **análogos aos negativos** da escala de cinza
 - Isso significa que eles são úteis para realçar os detalhes presentes nas regiões escuras de uma imagem colorida
 - O próximo *slide* ilustra o círculo de cores utilizado para detectar o complemento de uma cor

Transformações de Cores

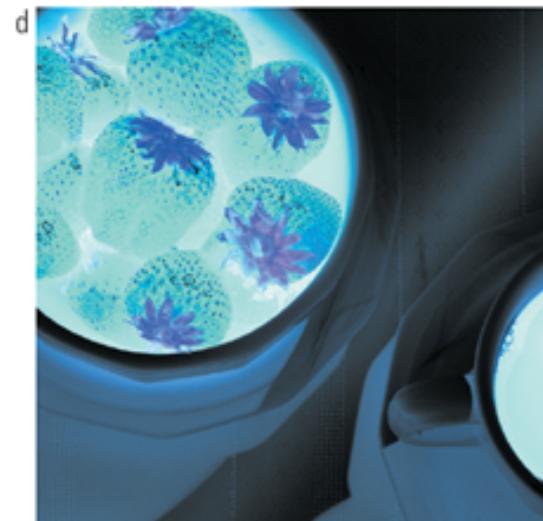
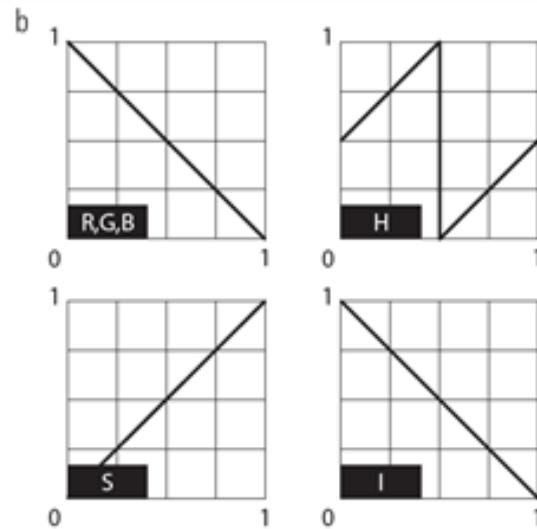


Transformações de Cores

- Complementos de cor
 - Para **calcular** o complemento de uma cor devemos utilizar os mesmos conceitos da transformação negativa de escala de cinza
 - **Por exemplo:**
 - Os vermelhos na imagem original são substituídos na imagem complemento pelo ciano
 - Quando a imagem original é preta, o complemento é branco
 - E assim por diante



Transformações de Cores



Transformações do complemento de cores.

- Imagen original.
- Funções de transformação do complemento.
- Complemento de (a) baseado nas funções de mapeamento RGB.
- Uma aproximação do complemento RGB utilizando transformações HSI.

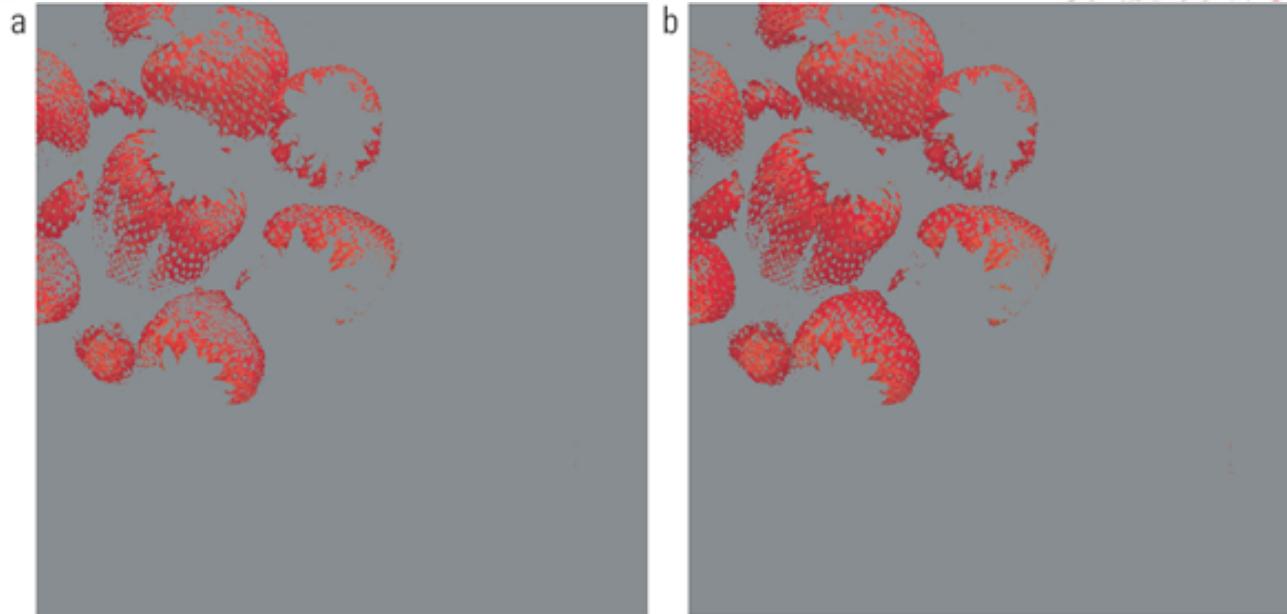
Transformações de Cores

- Fatiamento de cores
 - O **fatiamento de cores** é utilizado para **destacar uma variação específica** de cores em uma imagem
 - Com isso, podemos destacar algum objeto em relação aos seus vizinhos
 - A **ideia básica** dessa técnica é:
 - Exibir as cores de interesse de forma que elas se destaquem do plano de fundo
 - Utilizar a região definida pelas cores como uma máscara para processamento posterior

Transformações de Cores

- Fatiamento de cores
 - O objetivo é associar cores fora de algum intervalo de interesse a **uma cor neutra** não proeminente
 - O próximo *slide* ilustra **um exemplo** do processo de fatiamento de cores
 - Nesse caso, foi separada da imagem original a parte comestível dos morangos das xícaras, tigela, café e mesa ao fundo
 - Os *pixels* fora do intervalo delimitado foram substituídos pela cor (0.5, 0.5, 0.5)

Transformações de Cores



Transformações de fatiamento de cores que detectam (a) vermelhos em um cubo RGB de largura $W = 0,2549$ centralizado em $(0,6863, 0,1608, 0,1922)$ e (b) vermelhos em uma esfera RGB de raio $0,1765$, centralizada no mesmo ponto.

Os pixels fora do cubo e da esfera foram substituídos pela cor $(0,5, 0,5, 0,5)$.

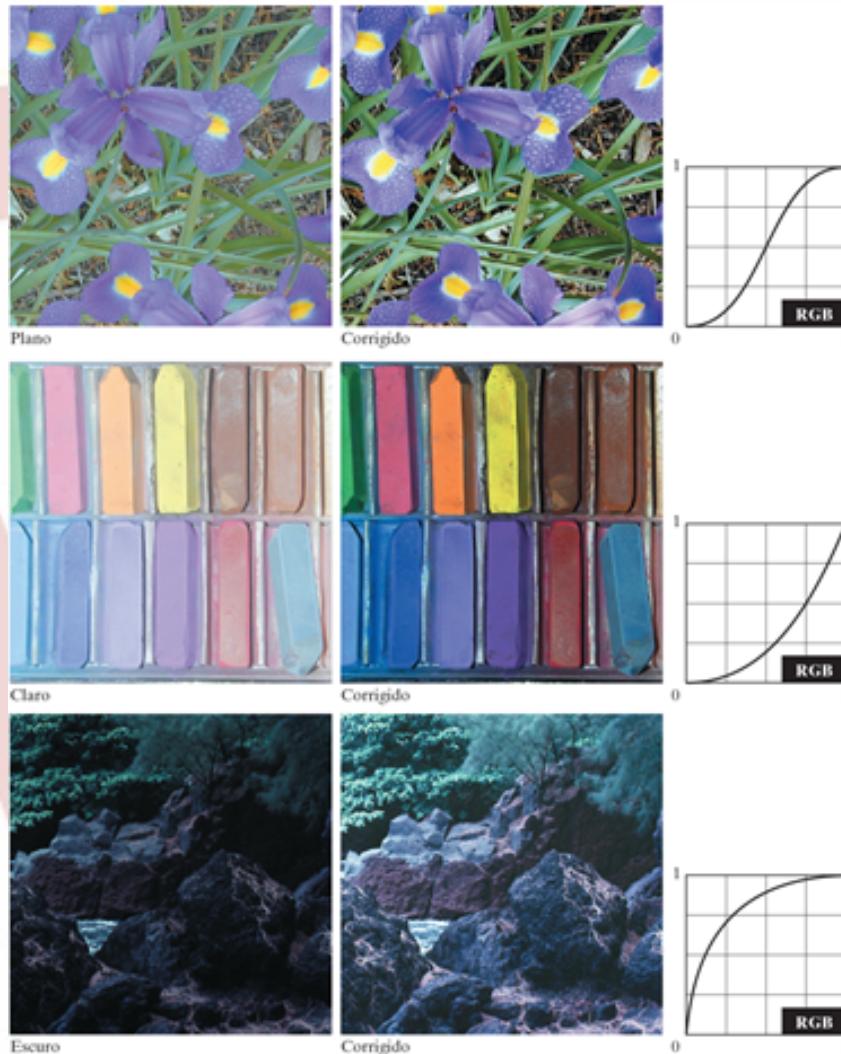
Transformações de Cores

- Correção de tonalidades e cores
 - Os **ajustes de tonalidades e correções de cores** são alguns dos principais recursos dos processos de realce de fotografias e reprodução de cores
 - O ideal é que as cores sejam ajustadas para manter um **alto nível** durante as etapas de **aquisição, exibição e impressão**
 - A melhor forma de fazer isso é **utilizar um modelo de cor** independente de dispositivos que relate a gama de cores

Transformações de Cores

- Correção de tonalidades e cores
 - Exemplo 01: Transformações de tonalidade
 - A ideia desse exemplo é **ajustar** experimentalmente **o brilho** e **o contraste** da imagem para resultar em um detalhamento máximo ao longo de um intervalo de intensidades apropriado
 - Nesse caso, **as cores em si não são alteradas**
 - Nos modelos RGB e CMY(K) são mapeados todos os componentes e no modelo HSI somente a intensidade
 - Essa técnica é utilizada para corrigir imagens com aspecto **uniforme, claro ou escuro**

Transformações de Cores



Correções de tonalidade em imagens coloridas com média tonalidade, alta tonalidade (clara) e baixa tonalidade (escura).

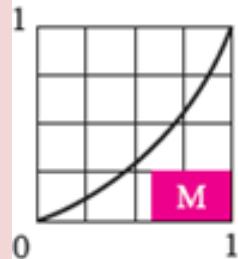
Ajustar igualmente os componentes vermelho, verde e azul nem sempre altera significativamente os matizes da imagem.



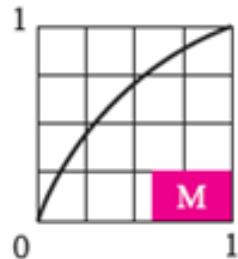
Transformações de Cores

- Correção de tonalidades e cores
 - Exemplo 02: Balanceamento de cores
 - A ideia desse exemplo é **ajustar** o desequilíbrio de cor de uma imagem digital colorida
 - O desequilíbrio de cor é analisado através de avaliações visuais da imagem
 - Ao ajustarmos os componentes de cor de uma imagem, toda ação **afeta** o **equilíbrio geral** de cores
 - Utilizamos o círculo de cores para calcular a proporção de qualquer cor que vamos aumentar através da redução da quantidade da cor oposta na imagem

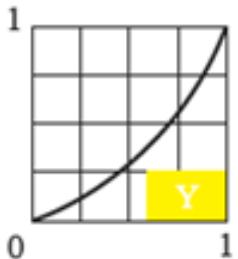
Transformações de Cores



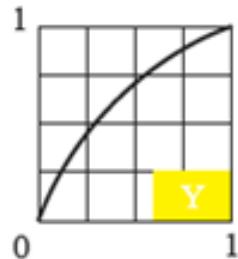
Muito
magenta



Pouco
magenta



Muito
amarelo



Pouco
amarelo

Correções de平衡amento de cores em imagens coloridas no padrão CMYK.

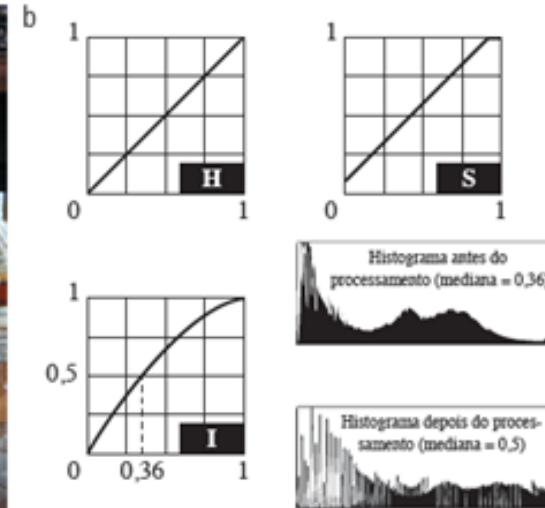
Transformações de Cores

- Processamento de histogramas
 - As transformações por **processamento de histogramas** no nível de cinza podem ser aplicadas a imagens coloridas de forma automática
 - Lembre-se que a manipulação de histogramas é utilizada para ajustar os valores da intensidade da imagem de forma uniforme
 - Como a imagem colorida é composta de múltiplos componentes, devemos **adaptar a técnica** da escala de cinza a mais de um componente

Transformações de Cores

- Processamento de histogramas
 - **Não é desejável** que o histograma **equalize os componentes RGB** de uma imagem colorida de **maneira independente**
 - Isso resulta em erros no arranjo das cores
 - O mais lógico nesse contexto é **ajustar apenas as intensidades** da imagem, deixando as cores em si inalterados
 - Desse modo, teoricamente o espaço de cores HSI é o mais indicado para essa técnica

Transformações de Cores



Equalização de histograma (seguido do ajuste de saturação) no espaço de cores HSI.

Suavização de Imagens Coloridas

- **Resumo do processo de suavização**
 - Esse processo realizar uma operação de filtragem espacial na qual os coeficientes da máscara de filtragem têm o mesmo valor
 - À medida que a máscara é deslocada pela imagem para ser suavizada, cada *pixel* é substituído pela média dos *pixels* na vizinhança da máscara
 - Esse conceito é facilmente estendido ao processamento de imagens coloridas, a diferença é que lidamos com vetores de componentes RGB da imagem de entrada

Suavização de Imagens Coloridas

- Considerando que S_{xy} expressa o **conjunto de coordenadas** de uma vizinhança centralizada em (x, y)
- A **média dos valores RGB** nessa vizinhança é:

$$\bar{c}(x, y) = \frac{1}{K} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} c(s, t)$$

Suavização de Imagens Coloridas

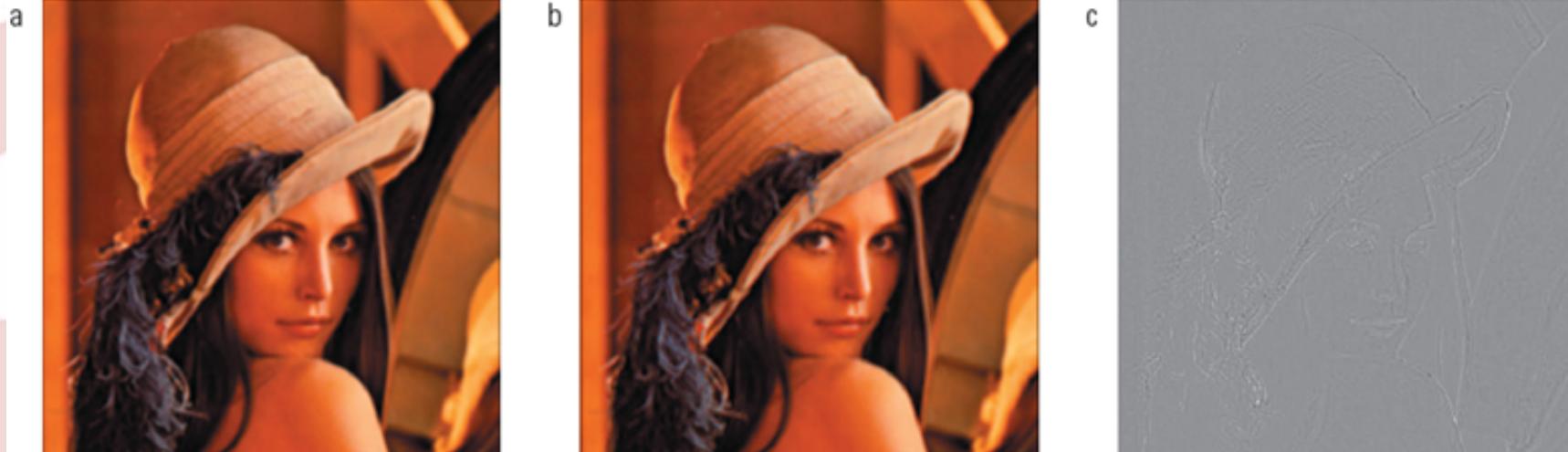
- A suavização de todos os componentes de uma imagem colorida é obtida com a equação

$$\bar{c}(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{1}{K} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} R(s, t) \\ \frac{1}{K} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} G(s, t) \\ \frac{1}{K} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} B(s, t) \end{bmatrix}$$

Suavização de Imagens Coloridas

- **Exemplo de suavização de imagens coloridas**
 - O processo de suavização é realizado individualmente em cada componente da imagem colorida
 - O próximo *slide* ilustra um exemplo de suavização de uma imagem RGB
 - Nesse caso, cada componente foi suavizado com um filtro de média de tamanho 5×5
 - Ao final do processo, os componentes suavizados são combinados para formar a imagem de saída

Suavização de Imagens Coloridas



Suavização de imagem com uma máscara de média 5×5 .

- (a) Resultado do processamento de cada componente de imagem RGB.
- (b) Resultado do processamento do componente de intensidade da imagem HSI e sua conversão para RGB.
- (c) Diferença entre os dois resultados.

Aguçamento de Imagens Coloridas

- O **aguçamento** de imagens coloridas é **similar** ao processo de imagens em **tons de cinza**
 - O principal objetivo é enfatizar as regiões com mudanças abruptas na imagem (ruídos e bordas)
 - Vamos analisar o filtro laplaciano, onde no sistema cores RGB o vetor c é definido pela equação:

$$\nabla^2[c(x, y)] = \begin{bmatrix} \nabla^2R(x, y) \\ \nabla^2G(x, y) \\ \nabla^2B(x, y) \end{bmatrix}$$

Aguçamento de Imagens Coloridas



Figura 6.41 Aguçamento de imagem utilizando o Laplaciano. (a) Resultado do processamento de cada canal RGB. (a) Resultado do processamento do componente de intensidade HSI e sua conversão para RGB. (c) Diferença entre os dois resultados.