

**Processamento de Imagem ( API / PSIFM )**

**2020 / 2021, 2º Semestre**



**Capítulo 4**

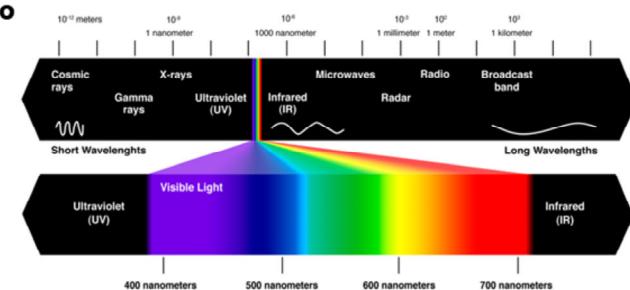
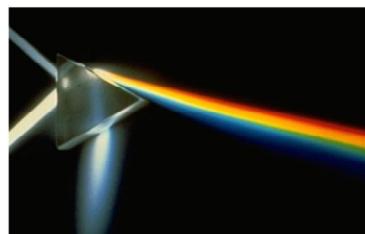
**Imagens de Cor**

**Processamento de Imagem ( API / PSIFM )**

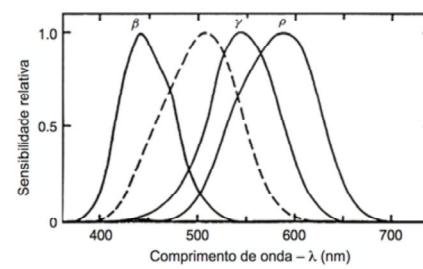
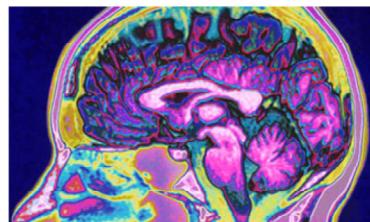
André Marçal, DM / FCUP

## 4.1 Introdução

### Espectro Electromagnético



**A percepção de Cor é subjetiva**



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Espectro Electromagnético

**A percepção de Cor é subjetiva**

(Figuras: Microsoft, 2017; NakedScience, 2012; Widen, 2008; Hunt, 2011)

## 4.1 Introdução

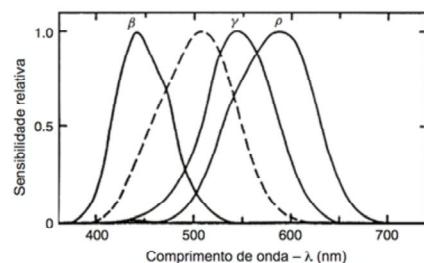
### Padrão CIE (definido em 1931)

- A representação de todas as cores visíveis envolve o uso de 3 variáveis independentes (modelo tri-dimensional).
- No modelo CIE XYZ as variáveis X, Y e Z representam as intensidades associadas às respostas espetrais dos cones  $\beta$  ( $\bar{x}$ ),  $\gamma$  ( $\bar{y}$ ), e  $\rho$  ( $\bar{z}$ )
- $L(\lambda)$  é a radiação incidente

$$X = \int L(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int L(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int L(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

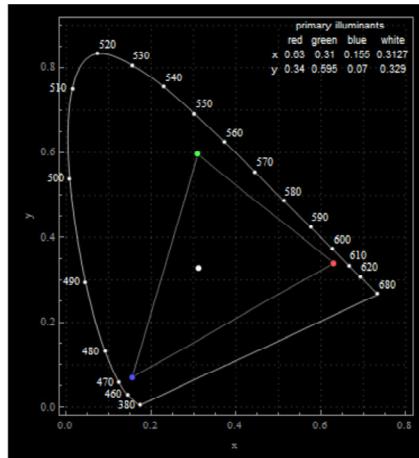


## Modelo CIE

## 4.1 Introdução

### Padrão CIE

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$



- Idealmente  
X=700.0 nm  
Y=546.1 nm  
Z=435 nm
- Na prática X≈red, Y≈green, Z≈blue
- O subespaço de cores representado no gráfico corresponde às cores que podem ser vistas pelo olho humano; e as que podem ser representadas pelo sistema de cor (aditivo).

Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### CDiagrama de cromaticidade CIE

The CIE chromaticity diagram represents a CIE XYZ color space projection to xyY and its approximated RGB color gamut defined by a working color space. The gamut boundary is based on CIE Standard Colorimetric Observer Data. Two sets of colorimetric data, CIE 1931 2° and 1964 10° observer data, are provided, from 360 to 830 nm, sampled at 5 nm.

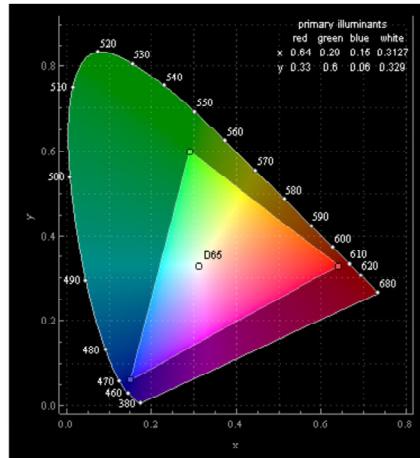
Each working color space defines the coordinate values of primary and white point illuminants. These values are used to construct the conversion matrix from xyz to RGB and apply it in order to approximate RGB colors.

The whole gamut represents all the colors that human eyes can perceive. The working color space defines the system gamut, which is usually much smaller.

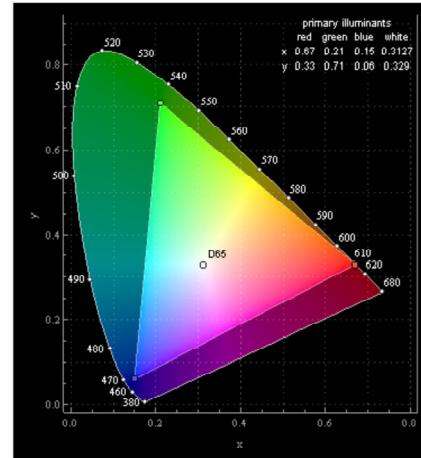
(Figura: Yu-Sung Chang, Wolfram Demonstation Project, 2012)

## 4.1 Introdução

**PAL /SECAM**



**HDTV** (CIE standard, 1931)



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Diagrama de cromaticidade CIE

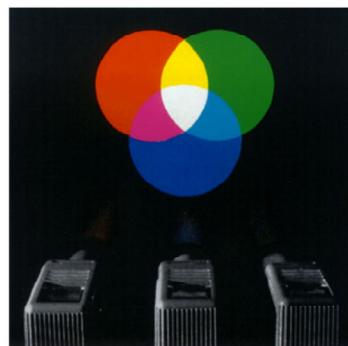
CIE 1931 2°, de 360 a 830 nm, com intervalos de 5 nm.

As cores apresentadas por um dado sistema (como os exemplos PAL/SECAM e HDTV) são em geral bastante menores do que a gama de cores que o olho humano pode captar.

(Figura: Yu-Sung Chang, Wolfram Demonstation Project, 2012)

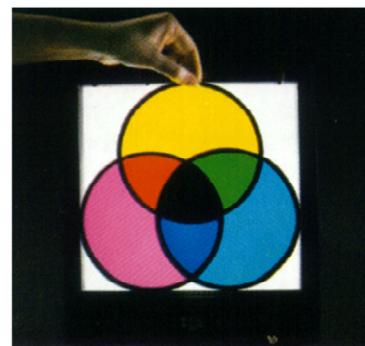
## 4.1 Introdução

**Modelo aditivo**



**RGB** – Red / Green /Blue  
(Cores Primárias)

**Modelo subtrativo**



**CMY** – Cyan / Magenta /Yellow  
(Cores Primárias)

Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

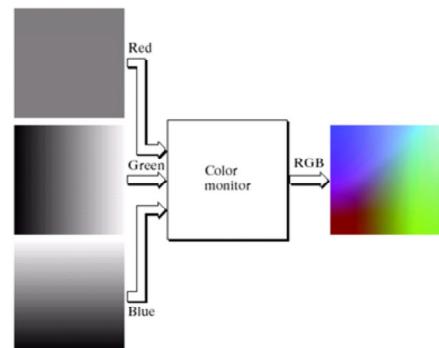
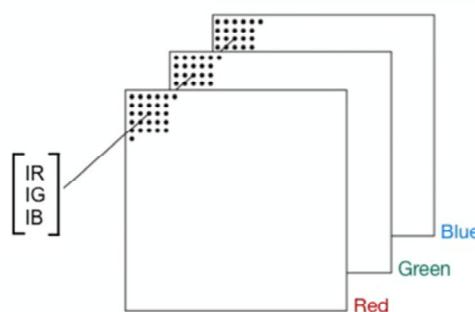
### Cores primárias e secundárias

Modelos de cor luz (aditivo) e pigmento (subtrativo)

(Figura: Lillesand & Kiefer, 2000)

## 4.2 Modelo RGB (Red Green Blue)

### Imagen RGB



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

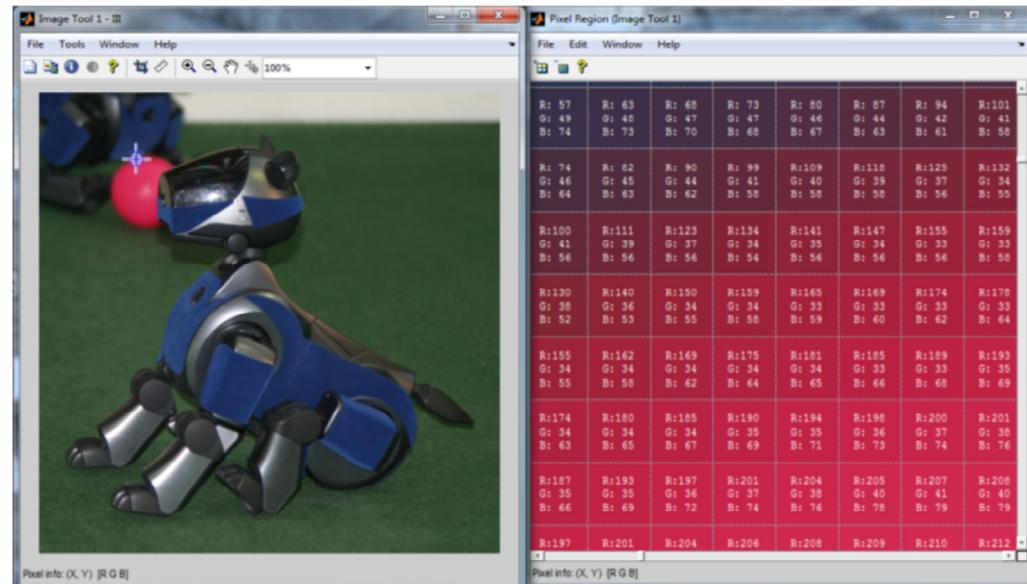
### Modelo RGB

Uma imagem RGB é composta por 3 canais, ou bandas. A cada pixel é associado um vector de dimensão 3, em vez de apenas um valor numérico.

(Figura: André R.S. Marçal)

(Figura: Gonzalez e Woods, 2002)

## 4.2 Modelo RGB (Red Green Blue)



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Componentes RGB

O uso de 8 bits para representar a intensidade de vermelho, verde e azul de uma cor implica que para cada pixel sejam utilizados 3 bytes. Desta forma é possível representar cerca de 16 milhões de cores diferentes ( $2^{24}$ ).

A imagem a cores da figura é composta por 3 imagens de 8 bits com a intensidade de: vermelho (R), verde (G), azul (B).

As 3 zonas assinaladas na imagem tem as seguintes componentes RGB:

A - (R:144, G:208, B:240)

B - (R:64, G:112, B:160)

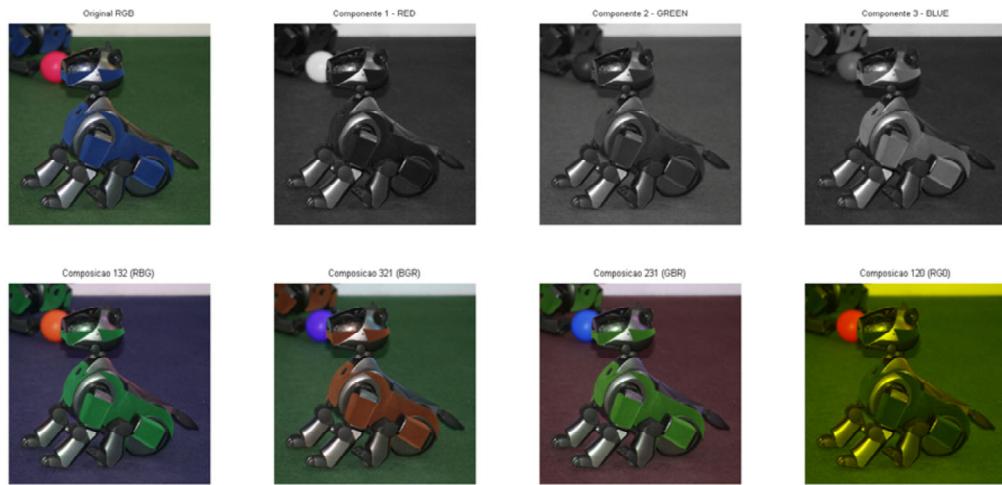
C - (R:128, G:192, B:128)

A composição RGB II é uma imagem de cor falsa, obtida com as mesmas 3 bandas.

(Figura: A.R.S. Marçal)

## 4.2 Modelo RGB (Red Green Blue)

### Componentes RGB e composições de cor RGB



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Componentes RGB

O uso de 8 bits para representar a intensidade de vermelho, verde e azul de uma cor implica que para cada pixel sejam utilizados 3 bytes. Desta forma é possível representar cerca de 16 milhões de cores diferentes ( $2^{24}$ ).

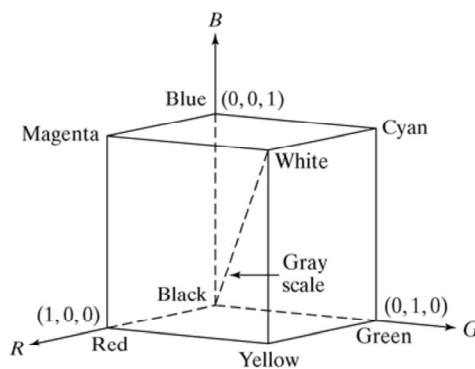
É possível criar composições de cor RGB, como os exemplos no slide, onde são apresentadas 3 bandas independentes em simultâneo (em geral com cor falsa).

(Figura: A.R.S. Marçal)

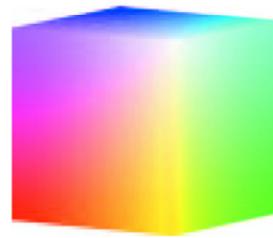
## 4.2 Modelo RGB (Red Green Blue)

no MATLAB:

### Cubo RGB



Long name	Short name	RGB values
Black	k	[0 0 0]
Blue	b	[0 0 1]
Green	g	[0 1 0]
Cyan	c	[0 1 1]
Red	r	[1 0 0]
Magenta	m	[1 0 1]
Yellow	y	[1 1 0]
White	w	[1 1 1]



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

## Modelo RGB

Espaço de representação de cor no Modelo RGB.

No cubo RGB as cores primárias e secundárias aparecem nos vértices.

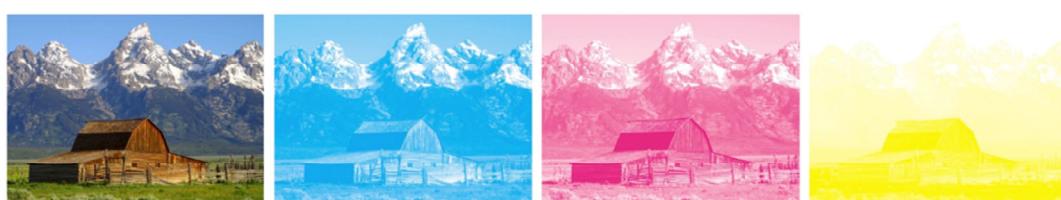
Os pontos ao longo da diagonal principal tem cor cinzenta, desde a origem (preto – 0,0,0) até ao ponto correspondente ao branco (0,0,0).

(Figura e Tabela: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

#### 4.3 Modelos CMY (Cyan, Magenta, Yellow) e CMYK

**CMY – Cyan, Magenta, Yellow**

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



**CMYK – CMY + K (Preto)**



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

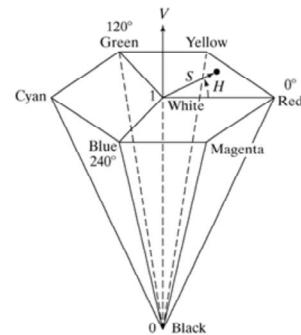
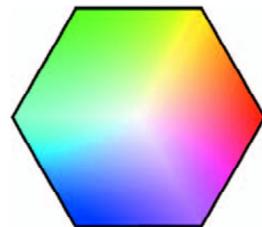
#### Modelos de cor CMY e CMYK

## 4.4 Modelo HSV / HSI (Hue Saturation Value/Intensity)

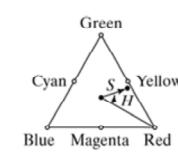
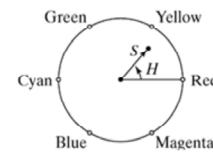
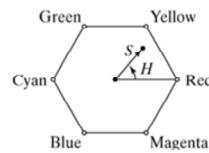
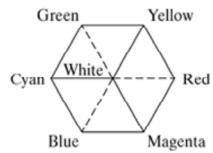
### Modelos HSV / HSI

Nestes modelos a componente cromática está desligada da intensidade.

H – Hue  
S – Saturation  
V/I – Value / Intensity



As componentes HS podem ser representadas de várias formas, por exemplo:



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Modelo de cor HSV

HSV – Hue, Saturation, Value.

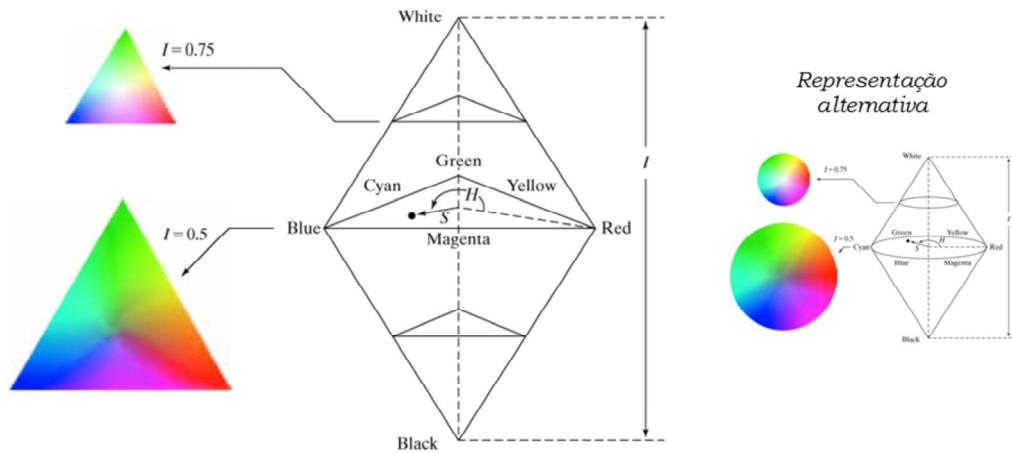
O slide mostra o hexágono e o cone hexagonal HSV

Esquema de representação de uma cor no modelo HSI. O ponto representa uma cor arbitrária. O ângulo do vector medido a partir da direcção do vermelho representa o H (Hue) e a sua dimensão o S (Saturation). O valor de I é constante no plano, sendo dado pela sua posição no eixo I.

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

## 4.4 Modelo HSV / HSI (Hue Saturation Value/Intensity)

**Modelo HSI**



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Modelo HSI – Hue Saturation Intensity

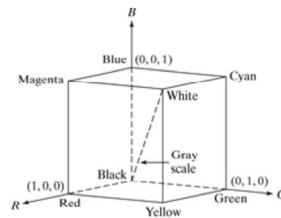
Esquema do modelo HSI baseado num plano de cor triangular e circular (figura menor). Estes planos são, em ambos os casos, perpendiculares ao eixo da intensidade ( $I$ ).

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

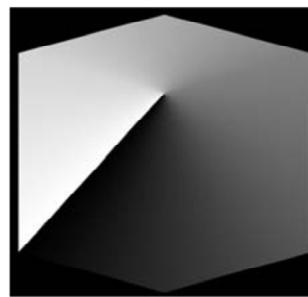
## 4.4 Modelo HSV / HSI (Hue Saturation Value/Intensity)

**Componentes HSI**

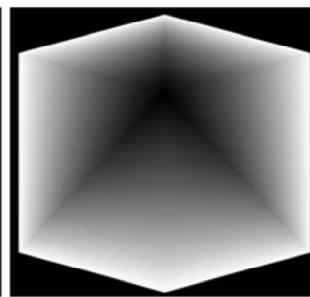
**do cubo RGB**



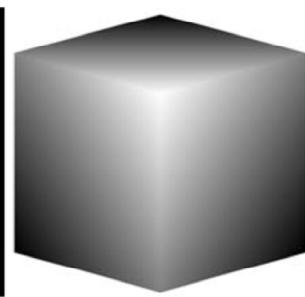
H (Hue)



S (Saturation)



I (Intensity)



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Componentes HSI do cubo RGB

H – Hue (esquerda)

S – Saturation (centro)

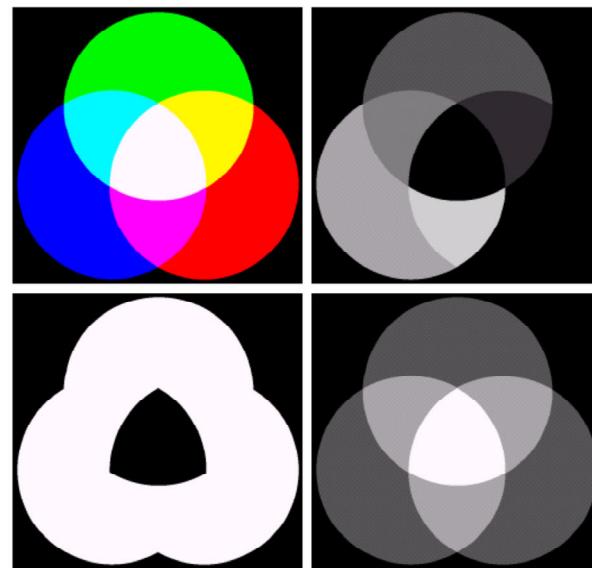
I – Intensity (direita)

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

#### 4.4 Modelo HSV / HSI (Hue Saturation Value/Intensity)

**Componentes HSI  
de uma imagem  
RGB**

RGB | H  
-----  
S | I



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

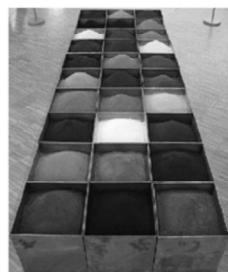
#### Componentes HSI de uma imagem RGB

(Figura: Gonzalez e Woods, 2002)

#### 4.4 Modelo HSV / HSI (Hue Saturation Value/Intensity)

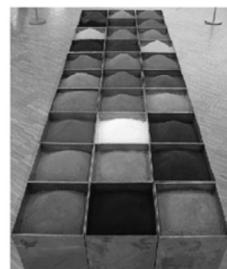
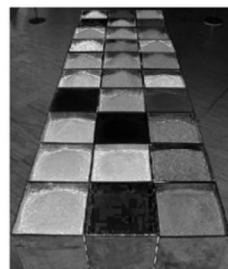
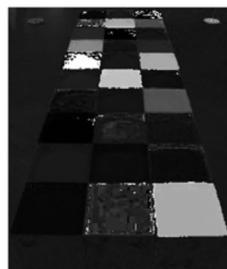


Original  
(RGB, 24 bits)



Componentes >>>

R | G | B  
-----  
H | S | I



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

#### Componentes HSI de uma imagem RGB

(Figura: A.R.S. Marçal)

## 4.5 Outros Modelos de Cor

**YIQ**      Y – Luminance, I – Hue, Q – Saturation

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.144 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.528 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

**YCbCr**    (diferenças em Cb – Blue, e Cr – Red)

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 65.481 & 128.533 & 24.966 \\ -37.797 & -74.203 & 112 \\ 112 & -93.786 & -18.214 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

**CIELAB ou L\*a\*b\***

cores opostas vermelho/verde ( $a^*$ ) e azul/amarelo ( $b^*$ )

Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

## Outros Modelos de cor

Há obvias vantagens de se utilizar um modelo de cor em que a informação cromática é independente do dispositivo de visualização (ecrã, ‘display’). Alguns modelos com essa pretensão são:

XYZ

xyY

uvL

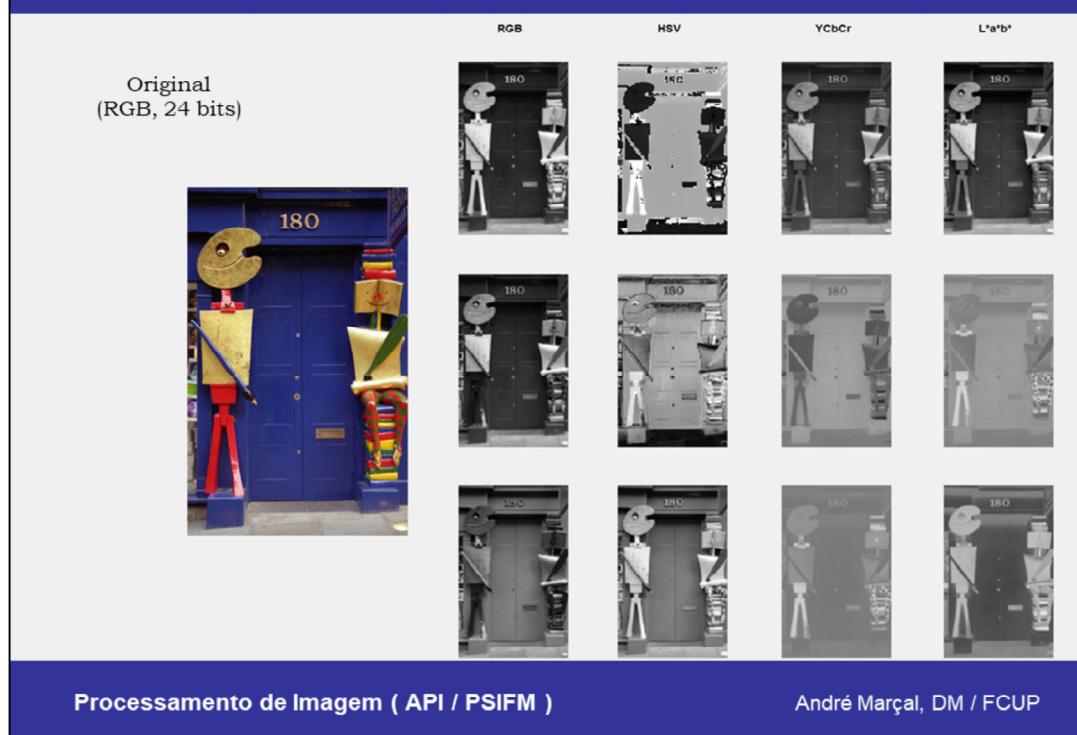
u'v'L

L\*a\*b\*

L\*ch

sRGB

## 4.5 Outros Modelos de Cor

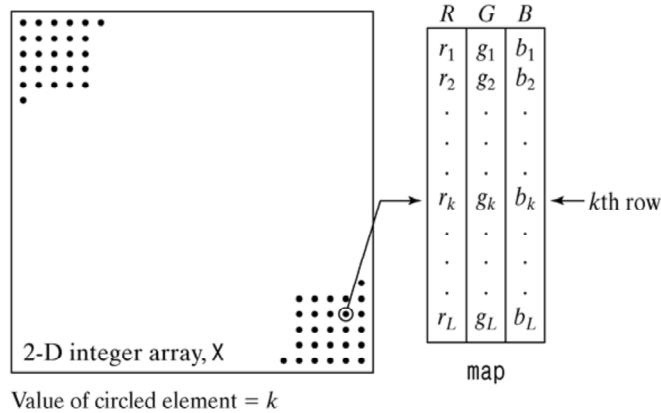


### Outros modelo de cor.

Exemplo de imagem colorida e suas componentes em vários modelos de cor.

(Figura: A.R.S. Marçal)

## 4.6 Imagens de cor indexada



### Tabela de Transformação de Cor

Actualmente os monitores de computador podem utilizar milhões de cores simultaneamente. No entanto, no passado era apenas possível utilizar um pequeno número de cores simultaneamente. Uma forma de se resolver este problema é a utilização de imagens indexadas, onde as cores são definidas numa Tabela de Transformação de Cor (LUT - 'Look Up Table').

A Tabela de Transformação de Cor estabelece as intensidades de vermelho, verde e azul associadas a cada nível da imagem digital. Por exemplo, o pixel assinalado na figura, tem valor  $k$ , indo ser representado pela cor RGB  $r_k/g_k/b_k$ .

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

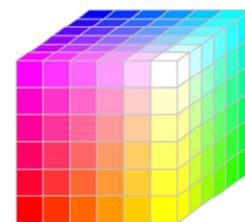
## 4.6 Imagens de cor indexada

### Conversão de imagens RGB para Imagens Indexadas

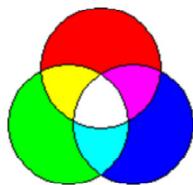
Normalmente envolve a redução do nº de cores da imagem RGB. Há vários processos para a escolha de cores na imagem indexada.

Por exemplo reduzindo a gama de valores para cada canal RGB, de 8 bits para um valor menor.

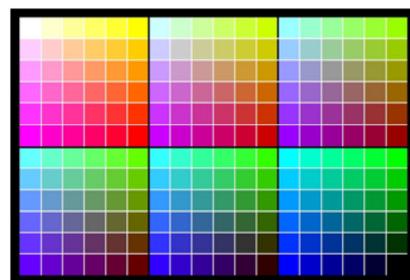
### Cores RGB com 6 níveis/canal



### Cores RGB com 1 bit/canal



■	red = max, green = 0, blue = 0
■	red = 0, green = max, blue = 0
■	red = 0, green = 0, blue = max
■	red = max, green = max, blue = 0
■	red = max, green = max, blue = max



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

## Tabela de Transformação de Cor

Reservando 1 bit para cada componente RGB, é possível representar 8 cores. Por exemplo o branco é obtido através dos níveis máximos de vermelho ('Red'), verde ('Green') e azul ('Blue'), 1/1/1 ou 255/255/255 numa imagem de 8 bits.

A tabela mostra os nomes usados pelo MATLAB IPT para representar estas 8 cores, e os valores RGB correspondentes.

Pode utilizar-se uma tabela de cores pré-definida, por exemplo a tabela "safe-color". Cada componente (R, G e B) pode tomar 6 valores, havendo por isso  $6 \times 6 \times 6 = 216$  cores nesta tabela. Esta tabela contém alguns níveis de cinzento adicionais (para além dos 6 contidos no cubo).

(Figura adaptada de: NLNRS, 1997)

(Figura: Gonzalez e Woods, 2002)

## 4.6 Imagens de cor indexada

### Conversão para Imagens Indexadas com e sem ‘dither’ (agitação)

Imagen original RGB (24 bits) com 147866 cores usadas – 8 bits indexada com 8 cores



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

## Redução do Número de Cores

A função `rgb2ind` do MATLAB IPT permite converter uma imagem RGB (24 bits) para uma imagem indexada. Uma das opções desta função é ‘dither’, que permite obter resultados mais satisfatórios, através da introdução de um certo grau de agitação / aleatoriedade no processo de redução do número de cores.

(Figura: A.R.S. Marçal)

## 4.6 Imagens de cor indexada

### Conversão para Imagens Indexadas com e sem ‘dither’ (agitação)

Imagen original RGB (24 bits) com 147866 cores usadas – 8 bits indexada com 32 cores



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

## Redução do Número de Cores

Nos exemplos destes slides reduziu-se o número de cores da imagem RGB de 147866 para apenas 8 cores (slide anterior) e para 32 cores.

(Figura: A.R.S. Marçal)

## 4.6 Imagens de cor indexada

Redução de níveis de cor/cinzeno com e sem ‘dither’ (agitação)

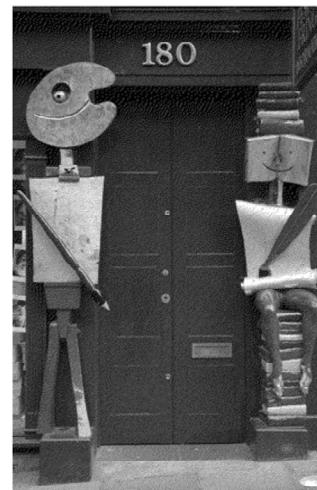
Original – 256 níveis cinzeno



Binária (normal)



Binária (com ‘dither’)



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Redução do Número de Cores / Níveis de cinzeno

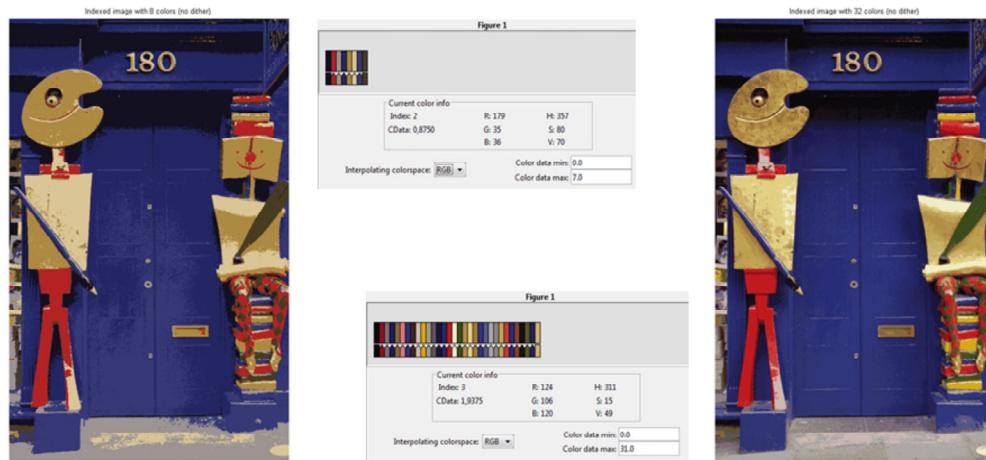
Nos exemplos destes slides reduziu-se o número de cores da imagem com 256 tons de cinzeno (8bits) para apenas 2 (1 bit) com e sem **dither**. As imagem tem 788x498 pixels.

(Figura: A.R.S. Marçal)

## 4.6 Imagens de cor indexada

### Tabelas de cor

Exemplo para imagens indexadas com 8 e 32 cores.



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### **Tabelas de cor**

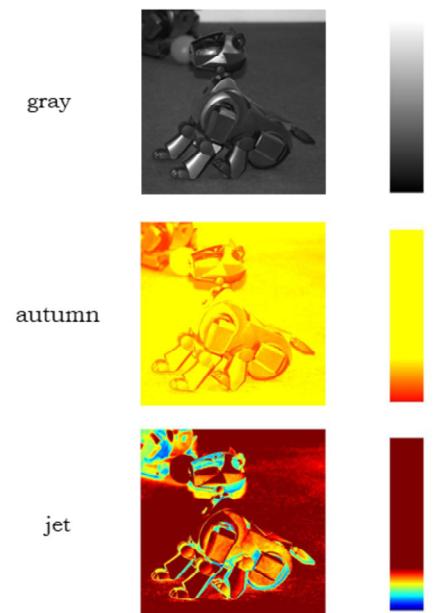
Tabelas de cor para as imagens indexadas obtidas de uma imagem RGB (versões com 8 e 32 cores).

(Figura: A.R.S. Marçal)

## 4.6 Imagens de cor indexada

Tabelas de cor no MATLAB

Name	Description
autumn	Varies smoothly from red, through orange, to yellow.
bone	A gray-scale colormap with a higher value for the blue component. This colormap is useful for adding an "electronic" look to gray-scale images.
colorcube	Contains as many regularly spaced colors in RGB color space as possible, while attempting to provide more steps of gray, pure red, pure green, and pure blue.
cool	Consists of colors that are shades of cyan and magenta. It varies smoothly from cyan to magenta.
copper	Varies smoothly from black to bright copper.
flag	Consists of the colors red, white, blue, and black. This colormap completely changes color with each index increment.
gray	Returns a linear gray-scale colormap.
hot	Varies smoothly from black, through shades of red, orange, and yellow, to white.
hsv	Varies the hue component of the hue-saturation-value color model. The colors begin with red, pass through yellow, green, cyan, blue, magenta, and return to red. The colormap is particularly appropriate for displaying periodic functions.
jet	Ranges from blue to red, and passes through the colors cyan, yellow, and orange.
lines	Produces a colormap of colors specified by the <code>ColorOrder</code> property and a shade of gray. Consult online help regarding function <code>ColorOrder</code> .
pink	Contains pastel shades of pink. The pink colormap provides sepia tone colorization of grayscale photographs.
prism	Repeats the six colors red, orange, yellow, green, blue, and violet.
spring	Consists of colors that are shades of magenta and yellow.
summer	Consists of colors that are shades of green and yellow.
white	This is an all white monochrome colormap.
winter	Consists of colors that are shades of blue and green.



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

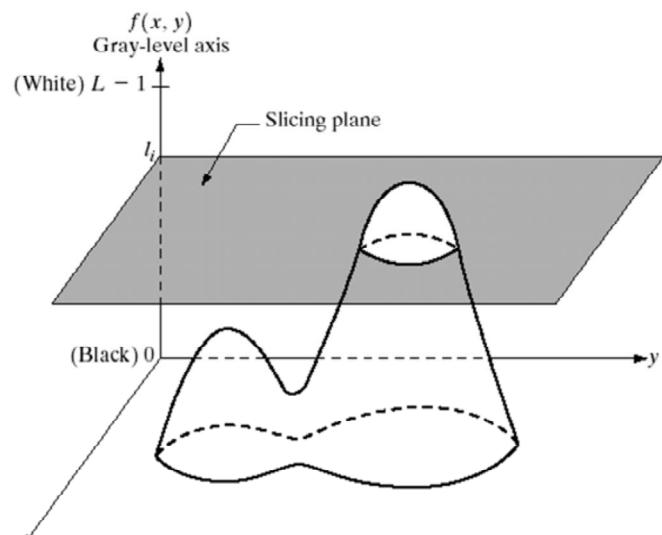
### Tabela de Cor

Algumas tabelas de cor pré-definidas no MATLAB IPT.

(Figura: A.R.S. Marçal)

(Tabela: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

## 4.6 Imagens de cor indexada – “Colour Density Slicing”



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### “Colour Density Slicing”

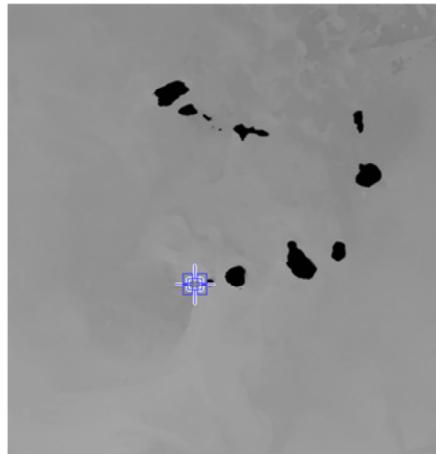
Esquema do processo “Colour Density Slicing”. A gama de intensidades (níveis de cinzento) é seccionada em zonas, atribuindo-se a cada zona uma cor.

(Figura: Gonzalez e Woods, 2002)

## 4.6 Imagens de cor indexada – “Colour Density Slicing”

### Exemplo de imagem de temperatura da superfície do mar (SST)

Arquipélago Cabo Verde



Os valores numéricos  $f(x,y)$  estão relacionados com valores de temperatura  $T(x,y)$  [em °C], da seguinte forma:

$$f(x,y) = 10 T(x,y)$$

149	150	153	154	156	157	158	158	158	158	158
146	148	149	150	150	150	156	159	150	150	158
142	145	145	144	159	159	150	159	158	150	158
141	142	142	140	158	157	143	158	158	150	158
140	131	142	140	158	157	141	157	157	158	159
140	140	141	141	158	157	139	154	159	150	159
140	140	141	140	140	140	143	149	157	158	159
140	140	140	140	140	141	143	156	158	159	159
140	140	140	140	140	141	152	158	159	159	159

Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### **Exemplo de imagem de temperatura da superfície do mar (SST)**

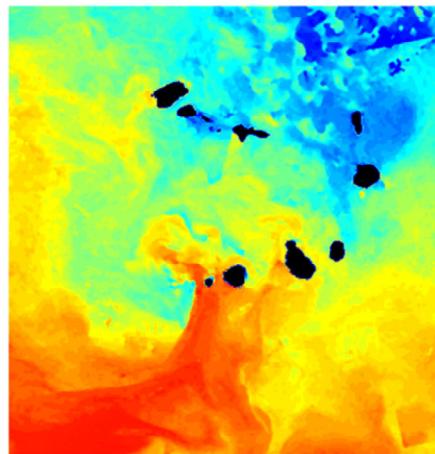
Os valores de temperatura estão representados numa imagem digital de 8 bits (0-255).

(Figura: A.R.S. Marçal)

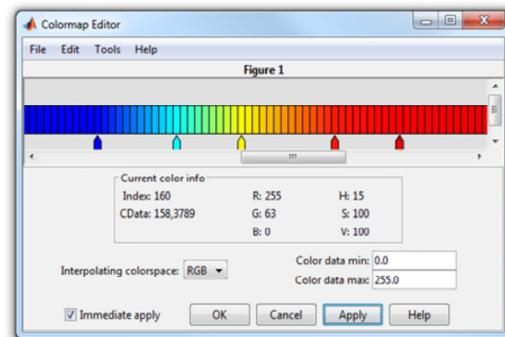
## 4.6 Imagens de cor indexada – “Colour Density Slicing”

Exemplo de imagem de temperatura da superfície do mar (SST)

Arquipélago Cabo Verde



A escolha de uma tabela de cor pode ajudar na interpretação visual da informação contida na imagem.



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

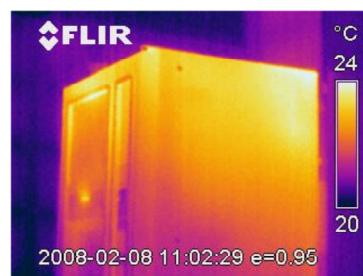
### Tabela de Transformação de Cor - Exemplo

Aplicando uma tabela de transformação de cor, escolhida de acordo com as características dos dados, permite uma mais fácil identificação visual de pequenas variações da intensidade dos valores numéricos na imagem.

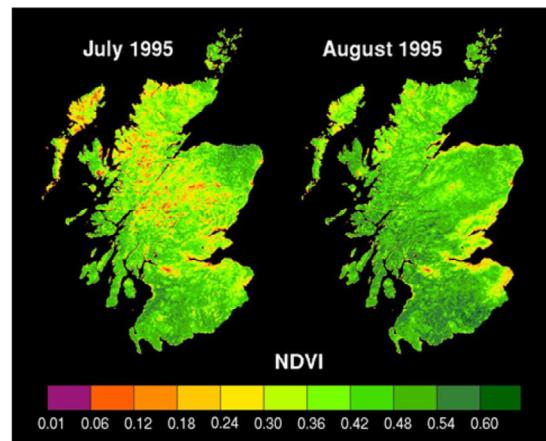
Neste caso foi usado o editor Colormap do MATLAB.

(Figura: A.R.S. Marçal)

## 4.6 Imagens de cor indexada – “Colour Density Slicing”



Outros Exemplos



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

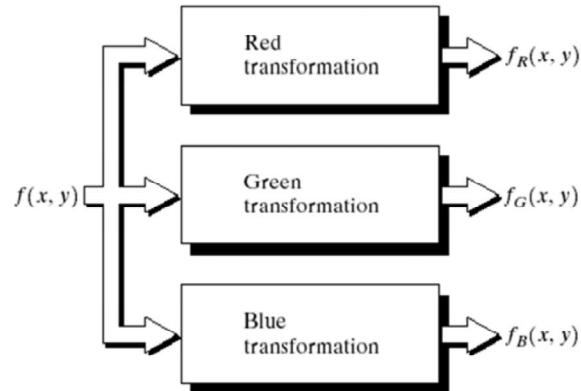
### Imagens de cor indexada

Exemplos de imagens de cor indexada, obtidas por uma câmara de infravermelho térmico (esquerda) e criadas a partir de imagens de satélite (direita).

(Figuras: A.R.S. Marçal)

## 4.7 Imagens de Pseudo-Cor

É possível criar uma imagem a cores (RGB) a partir de uma imagem em tons de cinzento, aplicando diferentes funções de transformação para as componentes RGB.

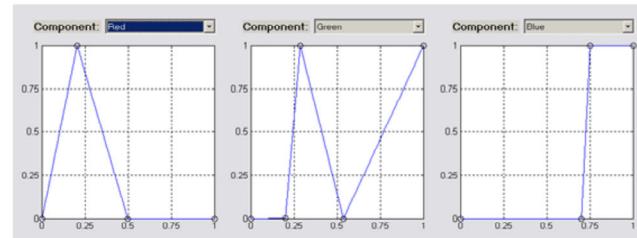
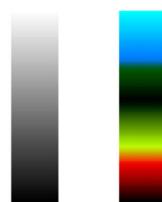


### Esquema para criação de uma imagens de Pseudo-Cor

Esquema para produção de imagens de Pseudo-Cor a partir de uma imagem monocromática. A partir da imagem original ( $f$ ) monocromática produzem-se componentes  $f_R$ ,  $f_G$  e  $f_B$  (respectivamente para RGB), utilizando funções de transformação.

(Figura: Gonzalez e Woods, 2002)

## 4.7 Imagens de Pseudo-Cor



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Exemplo de Imagem de Pseudo-Cor

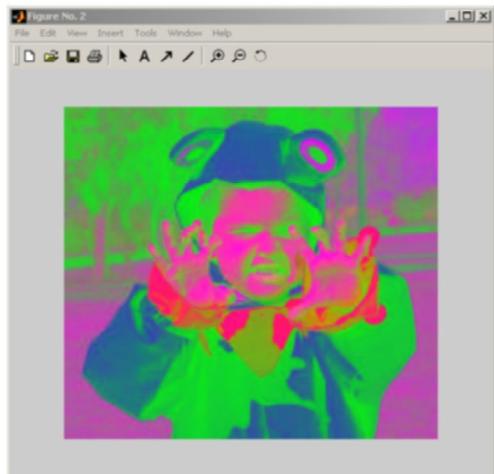
Exemplo de uma criação de uma imagem de pseudo-cor a partir de uma imagem monocromática (256 níveis de cinzento).

(Figura: A.R.S. Marçal)

## 4.7 Imagens de Pseudo-Cor

### Interactive Color Editor

```
>> f=imread('Sapo.bmp');  
>> g = ice('image', f);
```



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### **Interactive Color Editor**

Exemplo de criação de uma imagem de pseudo-cor, a partir de uma imagem RGB, usando o Interactive Color Editor (**ice**), desenvolvido por Gonzalez et al (2009).

Há alguns problemas de compatibilidade da versão disponibilizada com a 2<sup>a</sup> edição do livro “Digital Image Processing Using MATLAB” (Gonzalez, Woods, and Eddins, 2009) e as versões mais recentes do MATLAB.

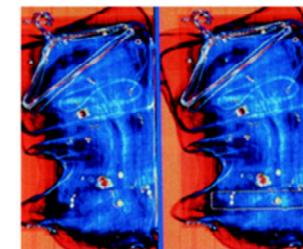
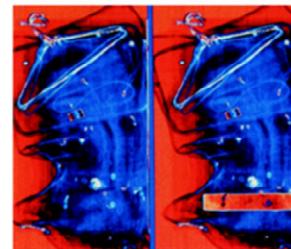
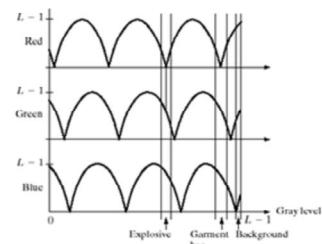
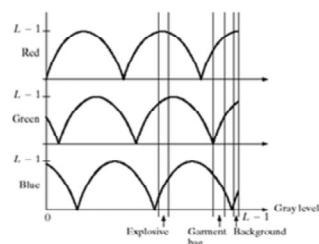
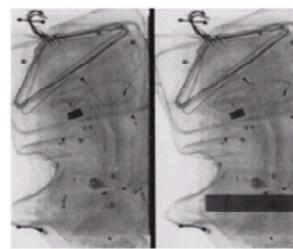
(Figura: A.R.S. Marçal)

## 4.7 Imagens de Pseudo-Cor

Exemplos de:

- Funções de transformação para as componentes RGB
- Imagens de pseudo-cor

Imagen Original  
(escala de cinzento)



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Exemplo de Imagem de Pseudo-Cor

Exemplo de produção de 2 imagens de Pseudo-Cor a partir de uma imagem original a preto e branco (níveis de cinzento).

(Figura: Gonzalez e Woods, 2002)

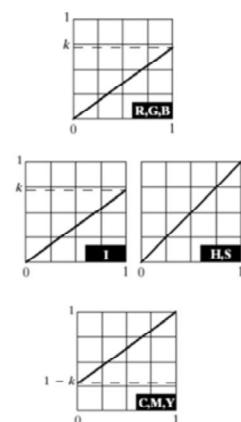
## 4.8 Operações Pontuais em Imagens a Cores

As operações pontuais (modificação de histograma) podem ser estendidas a imagens a cores.

A implementação destas transformações depende do modelo de cor que é usado.

Para certas operações há modelos de cor mais conveniente do que outros.

### Ex. Modificação de contraste (redução, $k=0.7$ )



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

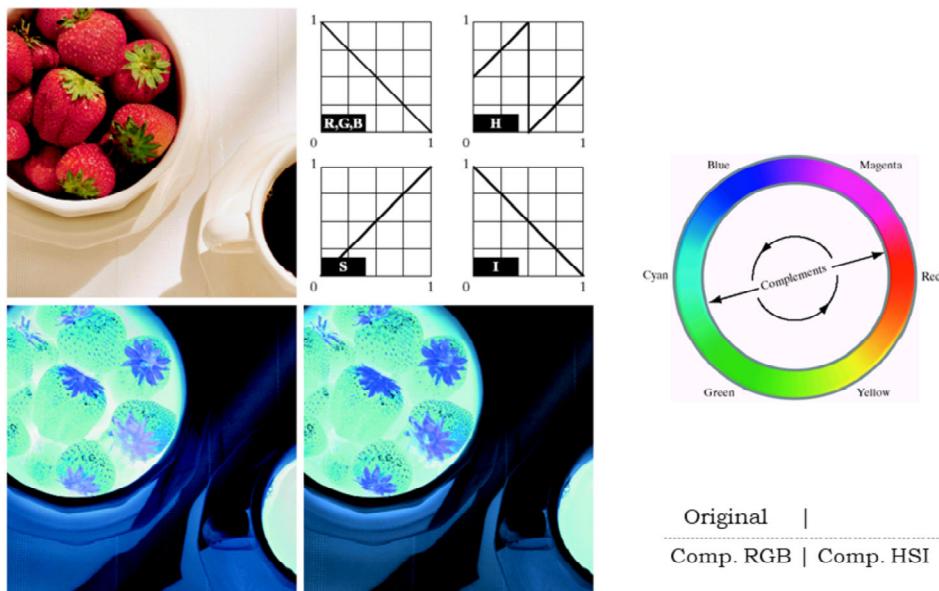
André Marçal, DM / FCUP

## Variação da Intensidade

Exemplo de alteração da intensidade de uma imagem colorida RGB. Imagem original (esquerda) e resultado da diminuição de 30% da intensidade. Em baixo estão representadas as funções de transformação que permitem reduzir em  $k$  a intensidade da imagem, no modelo RGB, CMY e HSI.

(Figura: Gonzalez e Woods, 2002)

## 4.8 Operações Pontuais – Cor complementar



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

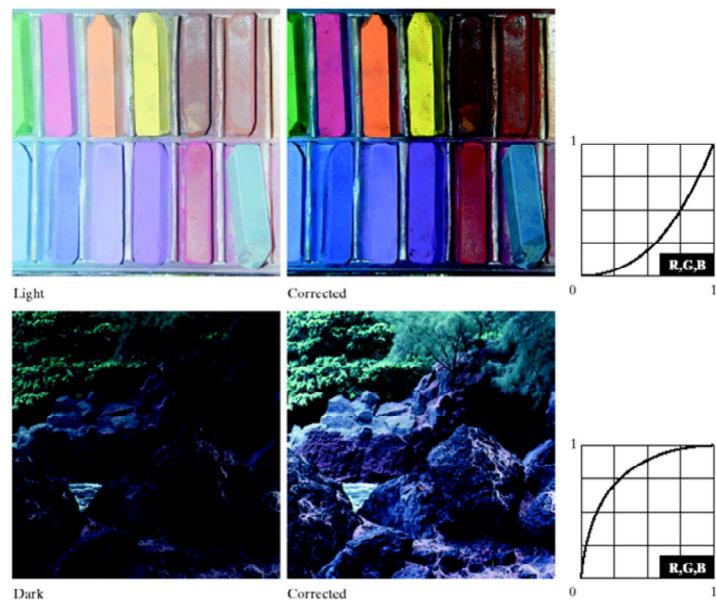
André Marçal, DM / FCUP

### Imagen Complementar de Cor

A obtenção de uma imagem complementar de cor é fácil no modelo RGB. É também possível efectuar essa operação no modelo HSI, mas de forma aproximada.

(Figura: Gonzalez e Woods, 2002)

## 4.8 Operações Pontuais – Transformação Gama



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

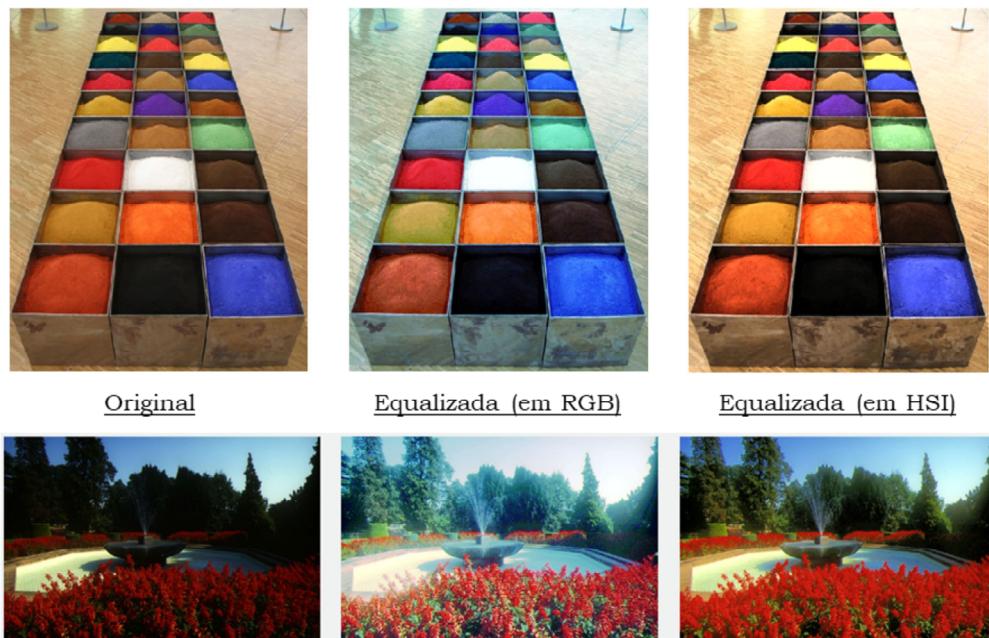
### Realce por Modificação do Histograma

Modificação de Histograma numa imagem RGB por Transformação Gama ( $>1$  em cima,  $<1$  em baixo). No modelo HSV/HSI apenas se deve aplicar a Transformação Gama à componente de intensidade (V/I).

(Figura: Gonzalez e Woods, 2002)

## 4.8 Operações Pontuais – Equalização de histograma

A Equalização da imagem no espaço de cor HSI consiste na equalização de apenas a componente I

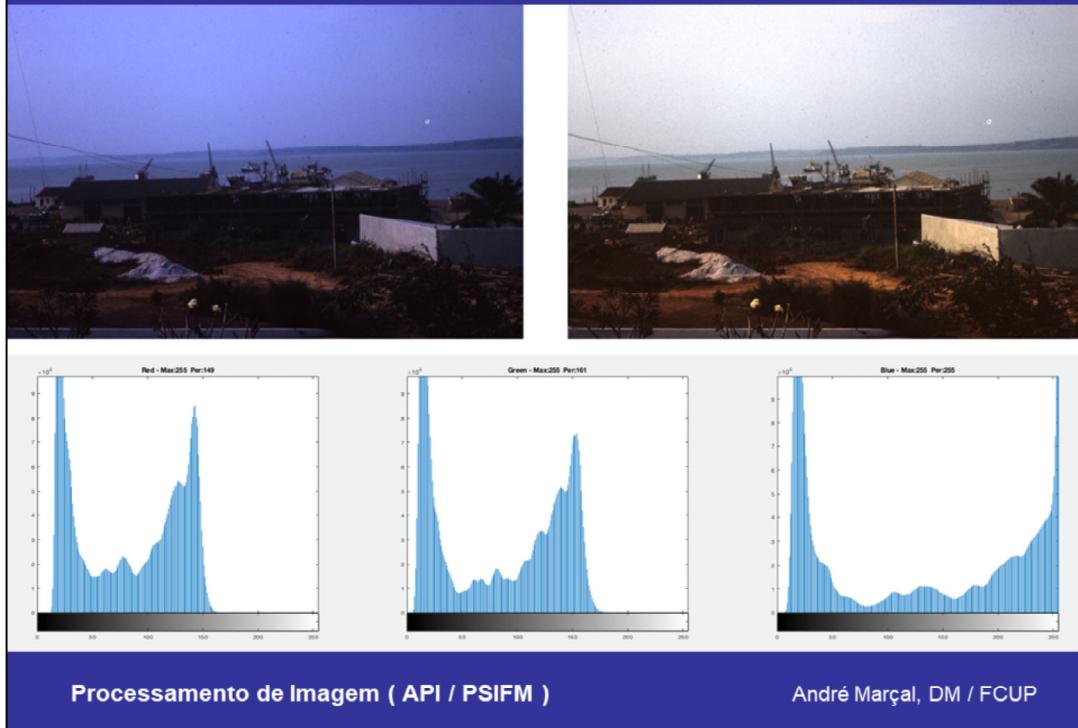


### Equalização de histograma

Exemplo de equalização de histograma de uma imagem a cores nos modelos RGB e HSI. A aplicação da equalização do histograma da componente intensidade (I) no modelo HSI resulta numa imagem equalizada (CIE) onde a componente cromática não é alterada.

(Figura: A.R.S. Marçal)

## 4.8 Operações Pontuais – Correção de Cor



### Correção de Cor

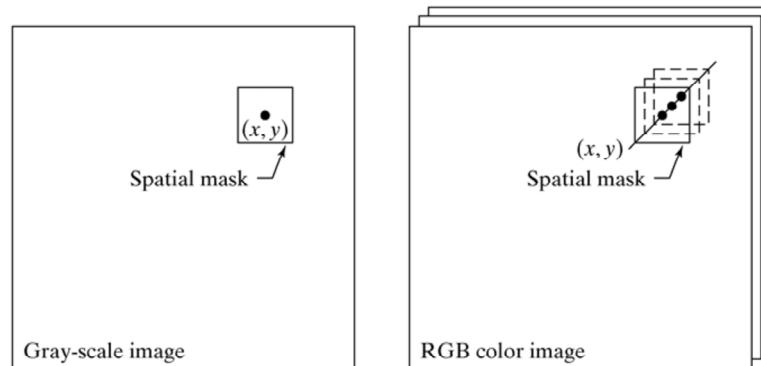
Em certos casos o objectivo não é preservar a cor mas sim alterá-la, para corrigir a cor da imagem original. Aplicam-se funções de transformação diferentes nas componentes RGB (ou de outro modelo de cor).

(Figura: A.R.S. Marçal)

## 4.9 Filtros Espaciais em Imagens a Cores

As operações com filtros espaciais também podem ser estendidas a imagens a cores.

Há no entanto alguns detalhes que é necessário considerar, uma vez que se passa a ter uma imagem multi-banda (ou multi-canal).



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Operações em Imagens a Cores

As operações usando matrizes espaciais em imagens digitais (monocromáticas, com escala de níveis de cinzento) podem ser extendidas a imagens coloridas (RGB).

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

## 4.9 Filtros Espaciais em Imagens a Cores

**Ex. de aplicação de filtro de média (5x5) a uma imagem RGB**

**MAL**

A. Imagem original



B. Aplicação do filtro  
a cada componente RGB



C. Aplicação do filtro  
a cada componente HSV



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Filtros espaciais em imagens a cores

Exemplo de aplicação de filtro espacial de média (5x5) a uma imagem a cores

- Imagen original (RGB)
- Aplicação do filtro diretamente à imagem RGB (a cada componente)
- Aplicação do filtro à representação HSV da imagem original (a cada componente), e posterior conversão de volta ao espaço RGB.

Neste último caso (C), o resultado não é aceitável, devido ao facto de Hue ser uma medida angular.

(Figura: A.R.S. Marçal)

## 4.9 Filtros Espaciais em Imagens a Cores

**Ex. de aplicação de filtro de média (5x5) a uma imagem RGB**

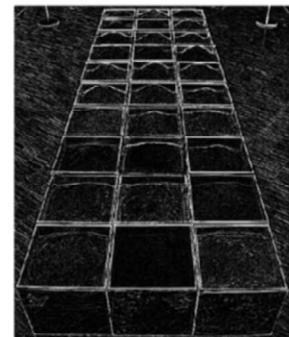
A. a cada componente RGB



B. só à componente V (HSV)



C. Diferença entre (A) e (B)



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Filtros espaciais em imagens a cores

Exemplo de aplicação de filtro espacial de média (5x5) a uma imagem a cores

- A. Aplicação diretamente na imagem RGB
- B. Aplicação apenas à componente V da representação HSV da imagem
- C. Diferença entre as duas imagens (A e B). Soma das diferenças em cada componente RGB (apresentado x4).

(Figura: A.R.S. Marçal)

## 4.9 Filtros Espaciais em Imagens a Cores

### Operação GRADIENTE em image ‘greyscale’ (tons de cinzento)

O termo gradiente é usado de forma “livre” nas áreas de Digital Image Processing / Computer Vision, uma vez que uma imagem digital é discreta.

$$\nabla \mathbf{f} = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$
$$\nabla f = \text{mag}(\nabla \mathbf{f}) = \left[ g_x^2 + g_y^2 \right]^{1/2} = \left[ (\partial f / \partial x)^2 + (\partial f / \partial y)^2 \right]^{1/2}$$
$$\nabla f \approx |g_x| + |g_y|$$

Uma aproximação das derivadas parciais em x (vertical) e y(horizontal) é dada por:

$$g_x = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)$$

$$g_y = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)$$

$z_1$	$z_2$	$z_3$
$z_4$	$z_5$	$z_6$
$z_7$	$z_8$	$z_9$

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Exemplo

Aplicação de filtro espacial passa-alto (gradiente) a uma imagem a cores.

A imagem colorida (RGB) foi obtida usando as 3 componentes de cima na figura (R-esquerda, G-centro, B-direita).

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

## 4.9 Filtros Espaciais em Imagens a Cores

Uma propriedade do vector gradiente é que tem a direcção de maior variação

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left[ \frac{g_y}{g_x} \right]$$

### Operação GRADIENTE directamente no espaço RGB

O gradiente pode ser calculado no espaço RGB (3D):

$$\mathbf{u} = \frac{\partial R}{\partial x} \mathbf{r} + \frac{\partial G}{\partial x} \mathbf{g} + \frac{\partial B}{\partial x} \mathbf{b}$$

$$g_{xx} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{u} = \mathbf{u}^T \mathbf{u} = \left| \frac{\partial R}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial G}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial B}{\partial x} \right|^2$$

$$\mathbf{v} = \frac{\partial R}{\partial y} \mathbf{r} + \frac{\partial G}{\partial y} \mathbf{g} + \frac{\partial B}{\partial y} \mathbf{b}$$

$$g_{yy} = \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{v}^T \mathbf{v} = \left| \frac{\partial R}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial G}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial B}{\partial y} \right|^2$$

$$g_{xy} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{u}^T \mathbf{v} = \frac{\partial R}{\partial x} \frac{\partial R}{\partial y} + \frac{\partial G}{\partial x} \frac{\partial G}{\partial y} + \frac{\partial B}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial y}$$

$$\theta(x, y) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[ \frac{2g_{xy}}{g_{xx} - g_{yy}} \right]$$

$$F_\theta(x, y) = \left\{ \frac{1}{2} \left[ (g_{xx} + g_{yy}) + (g_{xx} - g_{yy}) \cos 2\theta(x, y) + 2g_{xy} \sin 2\theta(x, y) \right] \right\}^{1/2}$$

Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Exemplo

Aplicação de filtro espacial passa-alto (gradiente) a uma imagem a cores.

A imagem colorida (RGB) foi obtida usando as 3 componentes de cima na figura (R-esquerda, G-centro, B-direita).

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

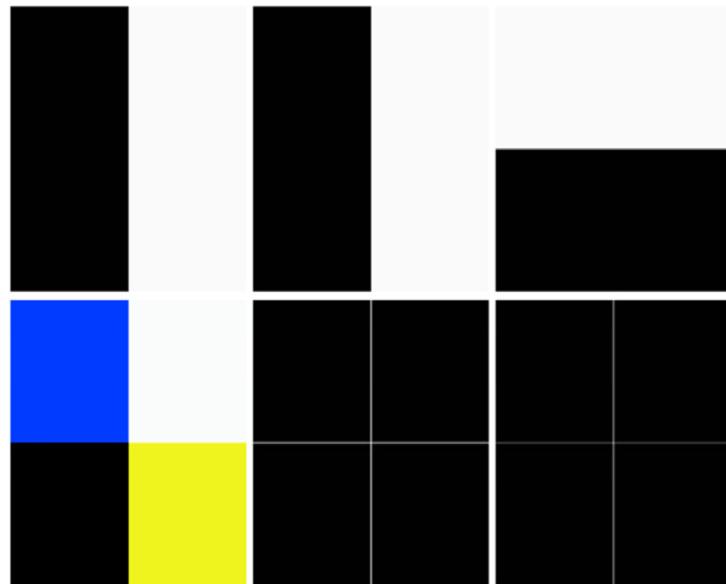
## 4.9 Filtros Espaciais em Imagens a Cores

**Exemplo de aplicação de filtro espacial gradiente a imagem RGB**

R | G | B  
---  
RGB | Gr.1 | Gr.2

1 – Aplicação do gradiente à imagem RGB no espaço 3D

2 – Aplicação do gradiente a cada componente RGB, com adição dos 3 resultados



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Exemplo

Aplicação de filtro espacial passa-alto (gradiente) a uma imagem a cores.

A imagem colorida (RGB) foi obtida usando as 3 componentes de cima na figura (R-esquerda, G-centro, B-direita).

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

## 4.9 Filtros Espaciais em Imagens a Cores

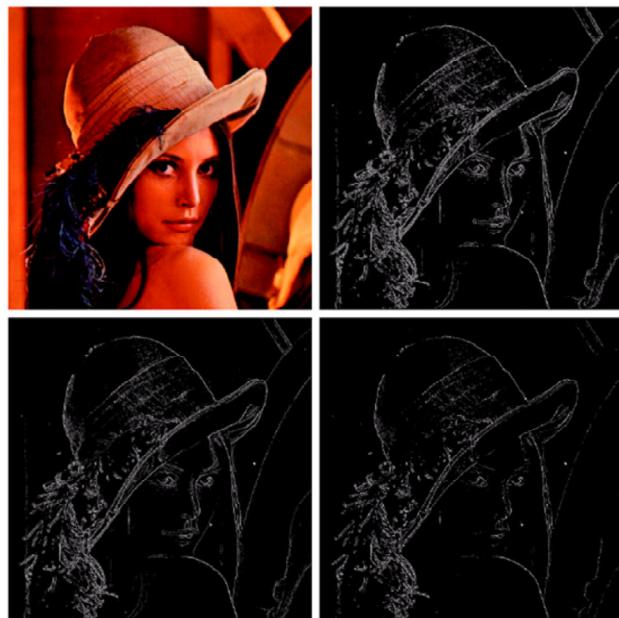
**Exemplo de aplicação  
de um filtro espacial  
gradiente a uma  
imagem RGB**

Original | Método 1

Método 2 | Dif. 1 e 2

1 – Aplicação do gradiente à  
imagem RGB no espaço 3D

2 – Aplicação do gradiente a  
cada componente RGB, com  
adição dos 3 resultados



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Exemplo

Aplicação de filtro espacial passa-alto (gradiente) a uma imagem a cores.

A histograma da diferença entre os resultados obtidos pelos 2 métodos foi alterado para corresponder à gama de valores [0,1].

(Figura: Gonzalez e Woods, 2002)

## 4.9 Filtros Espaciais em Imagens a Cores



Original



Suavizada  
3x3

As operações de realce de contornos podem ser igualmente aplicadas a imagens coloridas



Realce de  
contornos



Processamento de Imagem ( API / PSIFM )

André Marçal, DM / FCUP

### Realce de contornos por subtração de suavização

O slide mostra um exemplo deste método aplicado a uma imagem de satélite (Landsat TM – banda 7 e composição RGB das bandas 4, 5 e 7). Foi subtraída à imagem original uma imagem suavizada por um filtro passa-baixo de 3x3. Esta diferença foi adicionada à imagem original para se obter uma imagem com os contornos realçados.

(Figura adaptada de: Richards, 1999)