

*Universidade Federal do Rio de Janeiro*

-

*IM/DCC & NCE*



*Fundamentos sobre  
Processamento de Imagens*

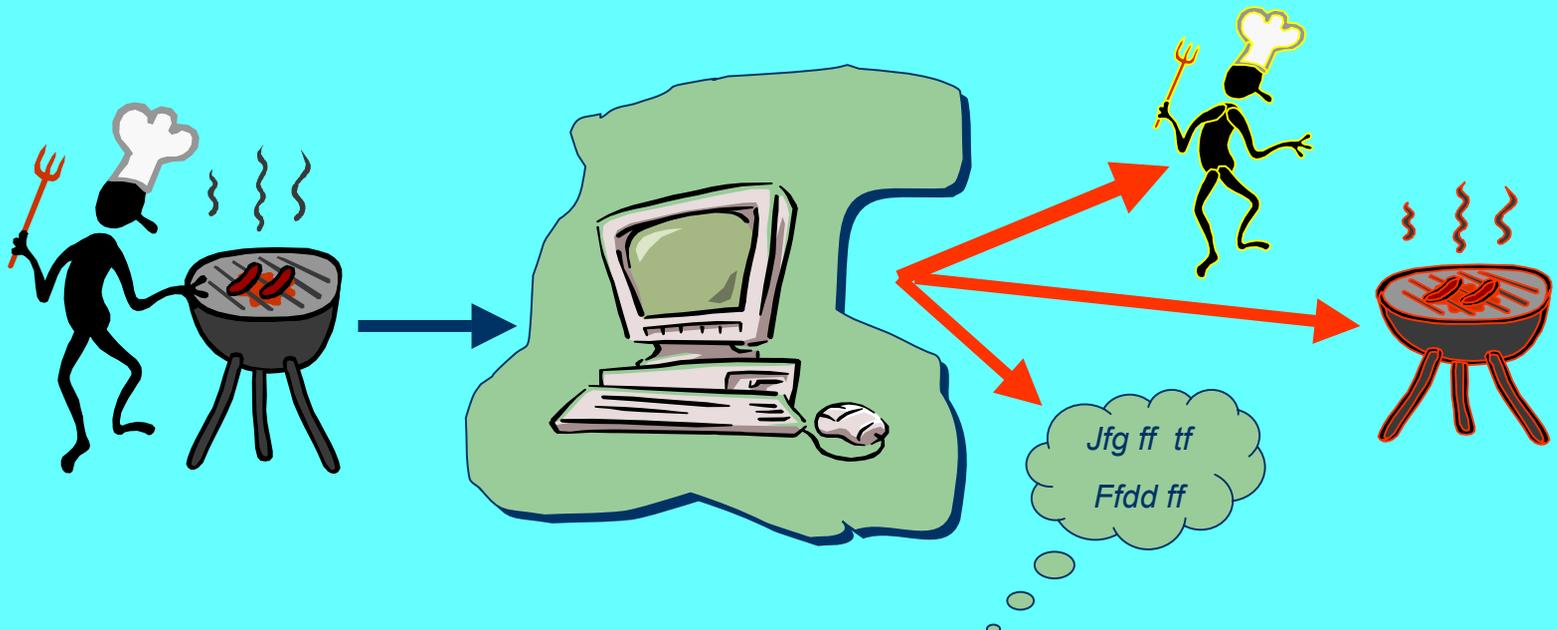
*Antonio G. Thomé  
thome@nce.ufrj.br  
Sala – AEP/1033*

# **INTRODUÇÃO**

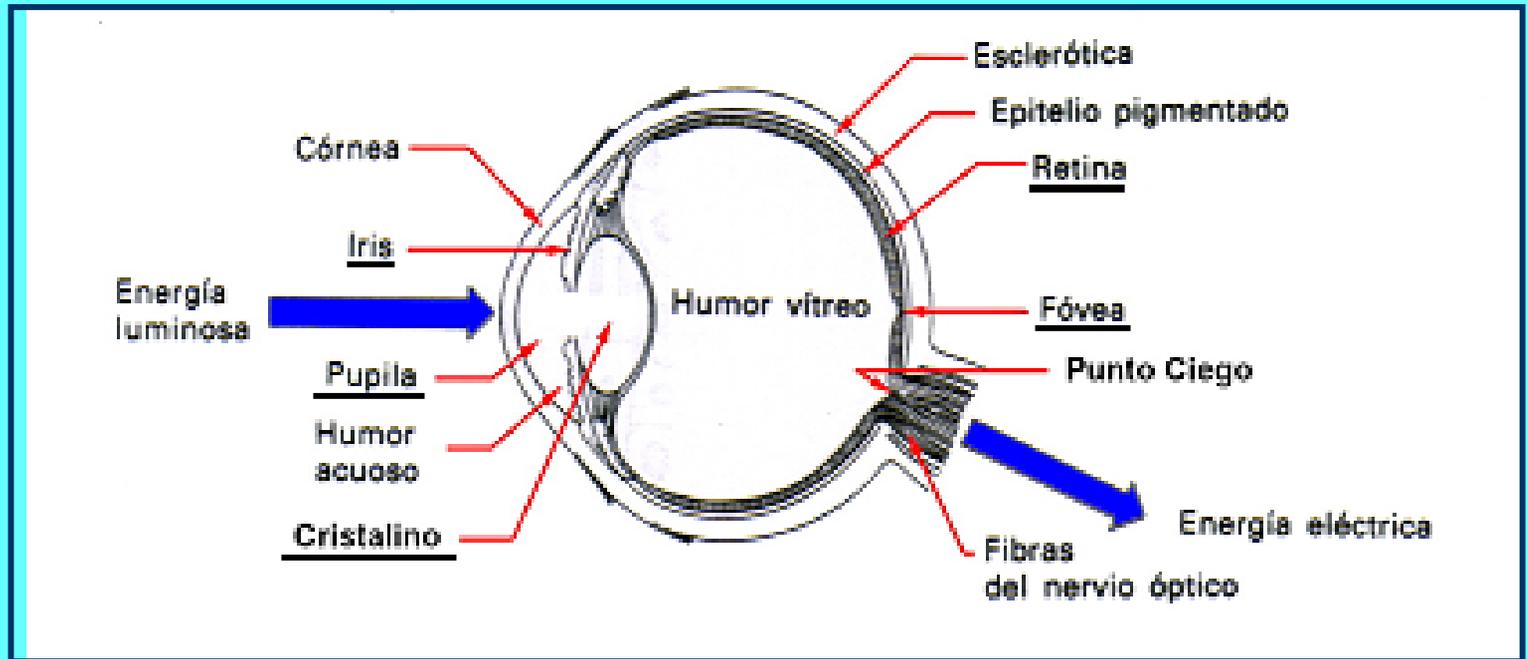
- ✓ **O Que é Processamento de Imagens**
- ✓ **A Visão Humana**
- ✓ **A Formação da Imagem**
- ✓ **O Espectro Eletromagnético**
- ✓ **Aplicações de Processamento de Imagens**

## Processamento Digital de Imagens

Consiste da manipulação de uma imagem através de algoritmos implementados em computador de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens ou informações extraídas da imagem.



## Visão Humana



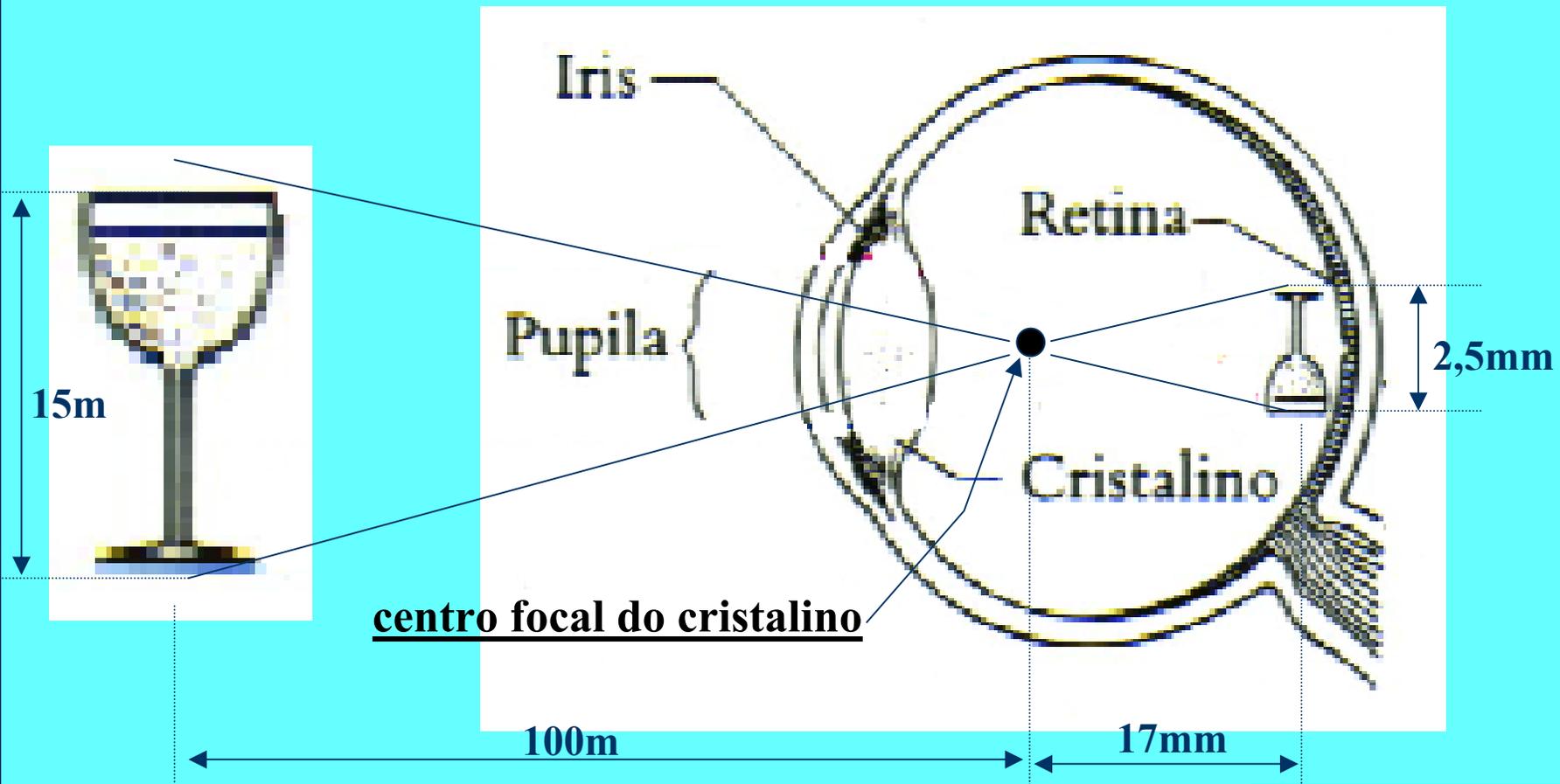
(\*) { cones – 6 a 7M  
bastonetes – 75 a 150M

***Sistema biológico que permite ao homem interpretar a variação da radiação eletromagnética dentro do espectro visível.***

## *A Visão e a Imagem*

- A **visão** é um processo biológico que possibilita diversas categorias de animais a perceberem o mundo a sua volta através da percepção e da interpretação de imagens.
- Através da **visão** o ser humano é capaz de processar e interpretar, em frações de segundos, inúmeros estímulos e imensa quantidade de informações.
- A **visão**, como dom da natureza, motiva e desafia o homem na busca de técnicas e de dispositivos capazes de ampliar ainda mais esta capacidade.
- A utilização da imagem na **forma digital** torna possível o seu processamento computacional e a melhoria da sua qualidade.

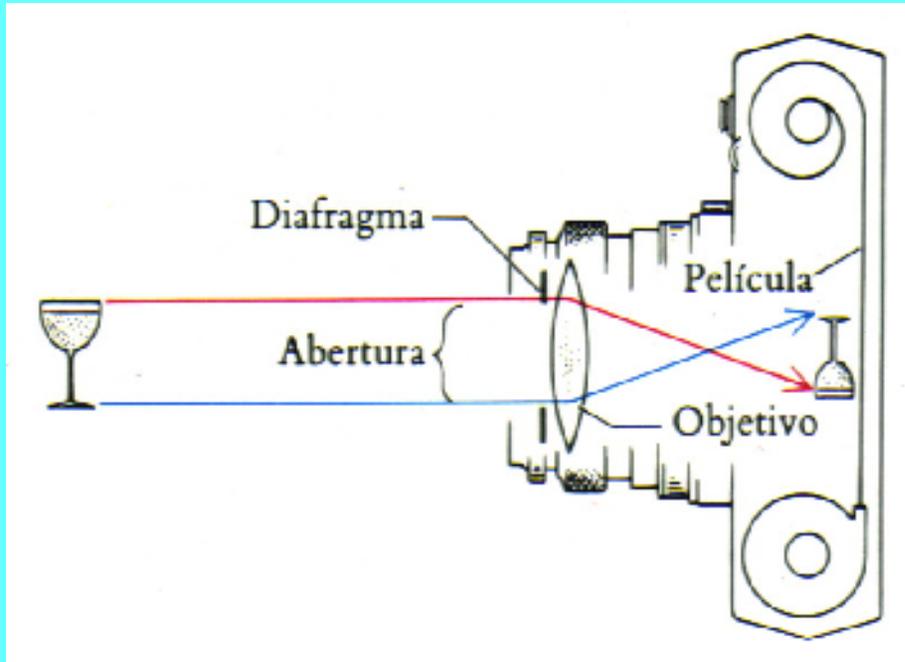
## Formação da Imagem no Olho Humano



centro focal do cristalino

$$\frac{15m}{100m} = \frac{x}{17mm}$$

## Formação da Imagem na Máquina Fotográfica



### ... na câmara fotográfica

As dimensões do diafragma definem a nitidez e o plano focal.

### ... no olho humano

a luz proveniente do exterior é projetada no plano da retina formando a imagem;

a projeção se dá através de uma lente (cristalino) que muda de dimensões para ajustar a distância focal;

depois de ter atravessado a córnea e a lente, o olho adapta a forma da lente para focar objetos mais distantes (lente mais plana) ou mais próximos (lente mais curva).

## Equipamentos para Captura da Imagem

- Máquinas Digitais

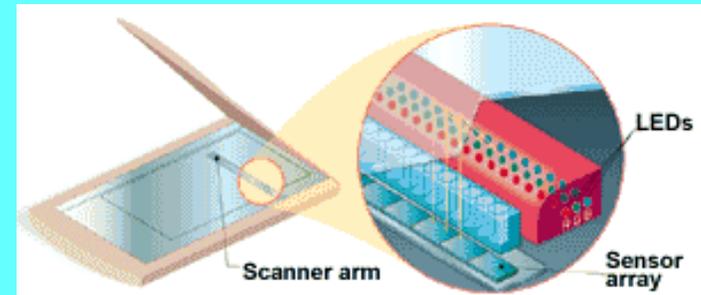
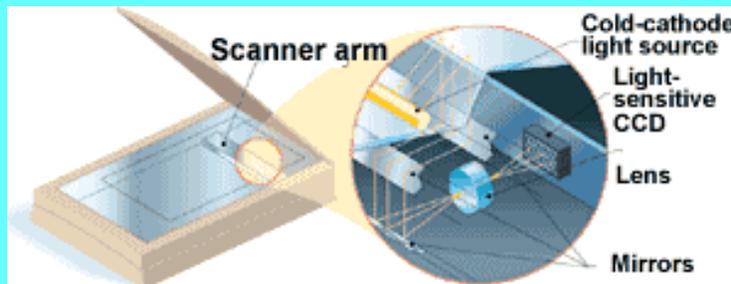
- ✓ Nas máquinas digitais, no lugar do filme, as imagens são capturadas por um CCD (Charge Coupled Device), um dispositivo ótico que detecta energia luminosa e codifica em impulsos eletrônicos correspondentes (da mesma forma que um scanner) e grava em cartões de memória. Depois, basta liga-se ao microcomputador e descarrega-se as imagens que podem ser visualizadas imediatamente



## Equipamentos para Captura da Imagem

- Scanners

- ✓ Atualmente são mais encontrados 2 padrões de tecnologia: CCD (charge coupled device) ou CIS (Contact Image Sensor). Basicamente CCD é a captura através de dispositivo ótico como as copiadoras, e CIS é através de elementos digitais, por led, como as câmeras digitais. Os scanners no padrão CCD são maiores, mais pesados, mais sensíveis, e os de padrão CIS são mais finos, leves e poucos elementos móveis. Em termos de qualidade normalmente os scanners que utilizam tecnologia CCD apresentam melhor qualidade de captura do que os que utilizam tecnologia CIS, porém são equipamentos mais pesados, maiores, mais caros e mais sensíveis.



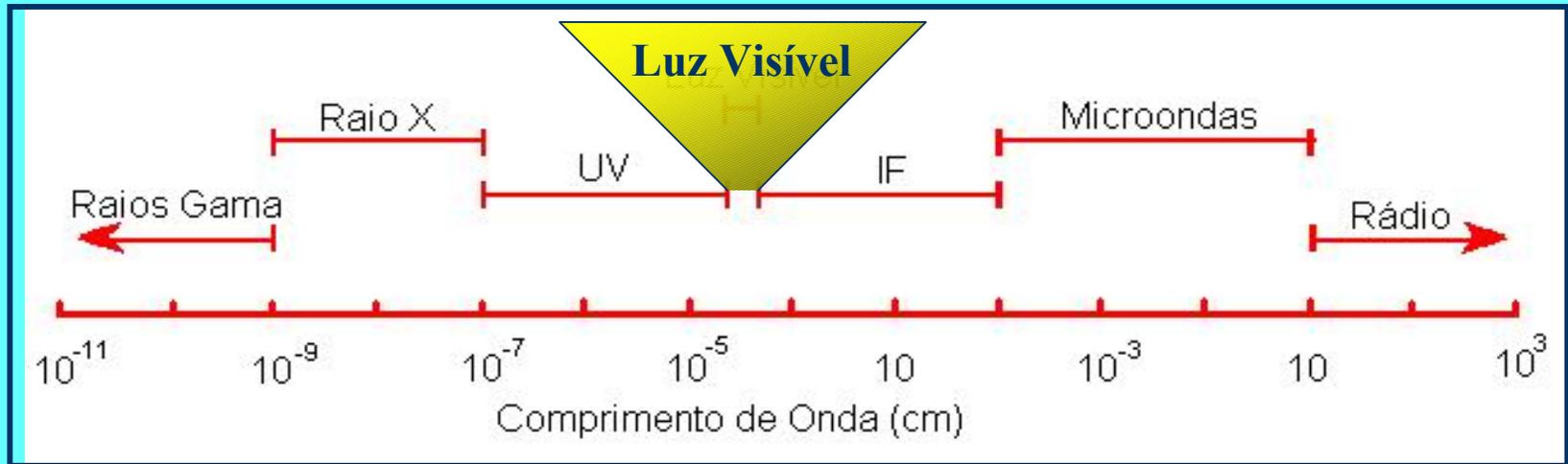
## Outros Equipamentos para Captura da Imagem

- Filmadora Digitais



- Equipamentos Médicos

## O Espectro Eletromagnético



- composto por ondas eletromagnéticas de diferentes comprimentos  $\lambda$ ;
- a luz visível é uma faixa ínfima do espectro;
- quanto menor o  $\lambda$ , mais retilínea a propagação da onda;
- as ondas vão desde muito longas (baixas frequências), que são as ondas de rádio, passando pelas ondas infravermelhas e de luz visível até chegar a comprimentos muito curtos (frequências muito altas) raios gama e raios X.

## Luz Visível - O Prisma de Cores



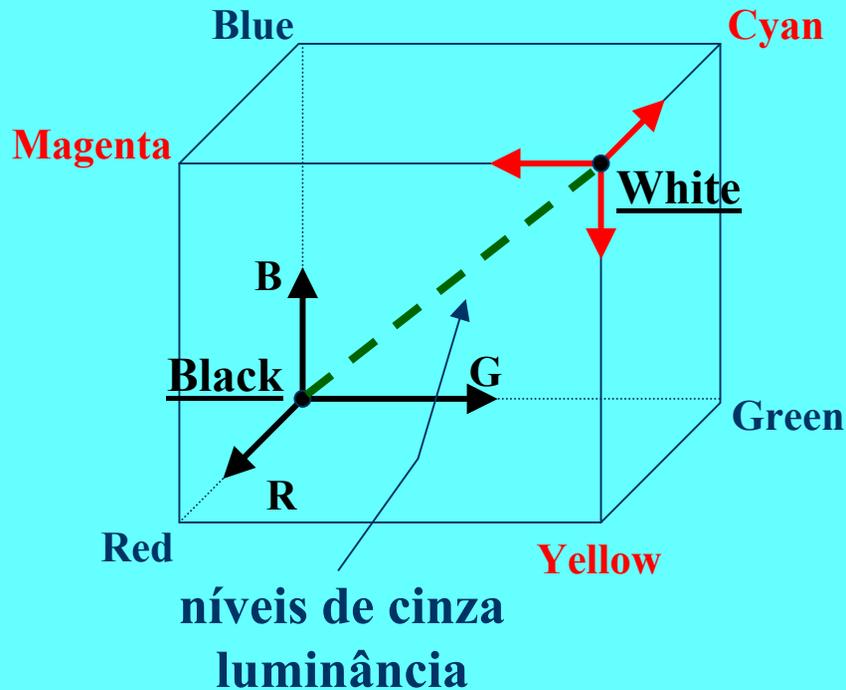
- O detector humano (olho-cérebro) percebe o branco como uma vasta mistura de frequências normalmente com energias semelhantes em cada intervalo de frequências.
- A Luz Branca é constituída pela combinação de todas as cores (frequências) do espectro visível.
- As frequências mais baixas (comprimentos de onda mais longos) produzem a cor vermelha enquanto que as frequências mais altas (comprimentos de onda mais curtos) produzem a cor violeta.

## Luz Visível

Cor	Comprimento de onda (nm)	Frequência ( $10^{12}$ Hz)
Vermelho	780 - 622	384 - 482
Laranja	622 - 597	482 - 503
Amarelo	597 - 577	503 - 520
Verde	577 - 492	520 - 610
Azul	492 - 455	610 - 659
Violeta	455 - 390	659 - 769

- A radiação visível vai aproximadamente de  $384 \times 10^{12}$  Hz (para o vermelho) até cerca de  $769 \times 10^{12}$  Hz (para o violeta).
- Os comprimentos de onda no intervalo da luz visível, transmitem uma sensação de cor associada com cada um deles.

## Espaços de Cores



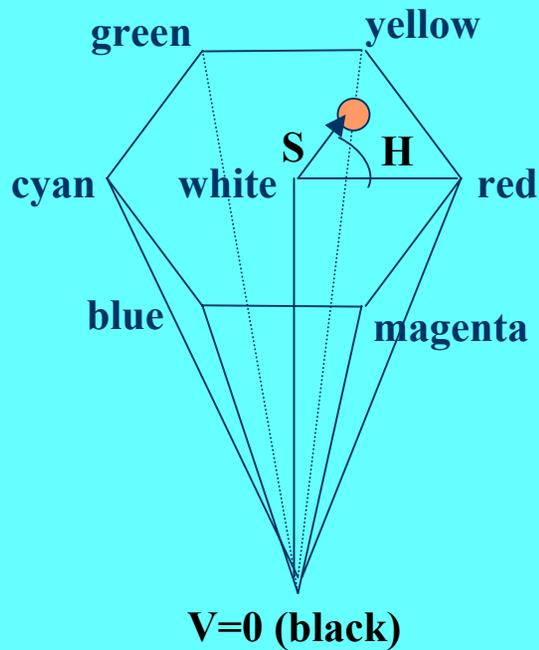
### Espaço RGB – mais comum

- origem a cor preta (ausência) (aditivo)

### Espaço CMY – complementar

- origem a cor branca (subtrativo)

## Espaços de Cores



### Espaço HSV

- H – hue (matiz)
- S – saturation (saturação)
- V – value (luminância)

## Espaços de Cores

Em vídeo digital os espaços mais usados são:

- RGB e YCbCr

$$Y = 0.257R + 0.504G + 0.098B + 16$$

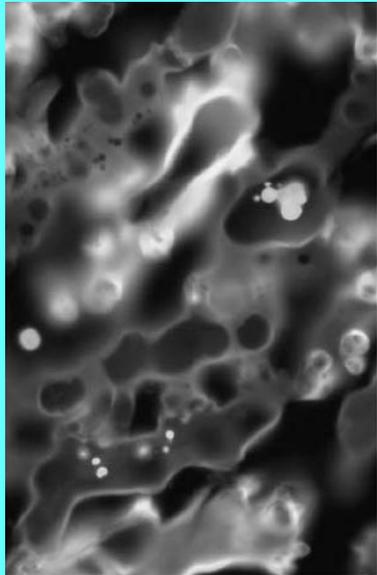
$$Cr = 0.439R - 0.368G - 0.071B + 128$$

$$Cb = -0.148R - 0.291G + 0.439B + 128$$

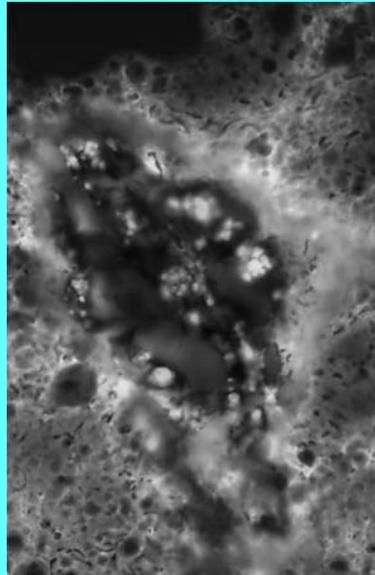
(\* ) *Cb e Cr – crominância (matiz e saturação)*

$$RGB \text{ p/ Cinza} \rightarrow Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B$$

## Raios Ultravioleta



Milho Normal



Milho com Fungo

- É a região do espectro eletromagnético que gera comprimentos de onda que variam de 91,2 a 350 nm.
- Está localizada entre a região visível e a dos raios X. (os fótons que compõem a luz ultravioleta são mais energéticos do que os fótons que formam a luz visível).
- Tem comprimento de onda mais curto do que a extremidade violeta do intervalo de luz visível.
- A atmosfera da Terra bloqueia a maior parte das radiações ultravioleta.
- Não é percebida pelo olho humano. A cor "bronzeada" obtida pelas pessoas após uma exposição ao Sol é resultado direto da interação entre os raios ultravioletas emitidos pelo Sol e uma substância chamada melanina que existe na pele.

## O Infravermelho ( $3 \times 10^{11}$ a $4 \times 10^{14}$ Hz)



- Emitido por dispositivos ou corpos aquecidos – radiação térmica.
- As moléculas de um corpo a uma temperatura superior à do zero absoluto ( $-273$  °Celsius) radiam no IV ainda que com intensidade reduzida.

## Infravermelho

- **Corpos quentes, tais como aquecedores elétricos e carvão em brasa emitem radiações infravermelhas de forma abundante.**
- **Como todos os animais de sangue quente, o ser humano irradia no infravermelho. Esta emissão é explorada por dispositivos de visão noturna, bem como por alguns animais, como os mosquitos, que conseguem detectar as radiações infravermelhas emitidas por suas presas, e algumas serpentes de hábitos noturnos.**
- **Cerca de metade da energia emitida pelo Sol é IV**
- **Uma lâmpada elétrica normal emite mais IV do que luz visível.**
- **Aplicações:**
  - ✓ **As radiações infravermelhas são utilizadas nos controles de aparelhos de televisão, de portas de automóveis, etc.**
  - ✓ **Existem certas películas que são sensíveis a estas radiações, sendo utilizadas para fotografar objetos no escuro. Alguns satélites em órbita da Terra, tiram fotografias em infravermelho do nosso planeta. Essas fotografias podem detectar movimentos de corpos, por exemplo: o lançamento de mísseis e o movimento de nuvens, o que representa uma ajuda preciosa para os meteorologistas.**
  - ✓ **Existem mísseis que se orientam em função da posição de fontes de calor e são guiados por IV, lasers de IV e telescópios de IV que procuram melhor conhecimento do cosmos.**
  - ✓ **Os raios infravermelhos são também utilizados no tratamento de doenças, devido ao seu elevado poder térmico.**

## Microondas ( $10^9$ a $3 \times 10^{11}$ Hz)

- **Fontes desta radiação:** além de circuitos eletrônicos podemos ter emissões deste tipo em transições atômicas desde que os níveis energéticos envolvidos estejam próximos.
- **Aplicações:**
  - ✓ Uma vez que os comprimentos de onda são capazes de penetrar na atmosfera terrestre (variam entre 1 cm e 30 metros), as micro-ondas têm interesse para a comunicação com veículos espaciais, bem como para a rádio astronomia.
  - ✓ Nos fornos de microondas: a energia destas ondas aumenta a agitação das moléculas de água que existem nos alimentos. Os alimentos absorvem a energia das ondas e se aquecem (quanto mais água tiver um alimento mais rapidamente ele aquece neste tipo de fornos).
  - ✓ Microondas são emitidas pela terra, carro, aviões e atmosfera, que podem ser detectadas para dar informação de temperatura dos objetos que emitem as ondas
  - ✓ A transmissão de conversas telefônicas e de televisão, a orientação de aviões, estudo da origem do Universo, aberturas de portas de garagem e estudo da superfície do planeta são algumas aplicações das micro-ondas.

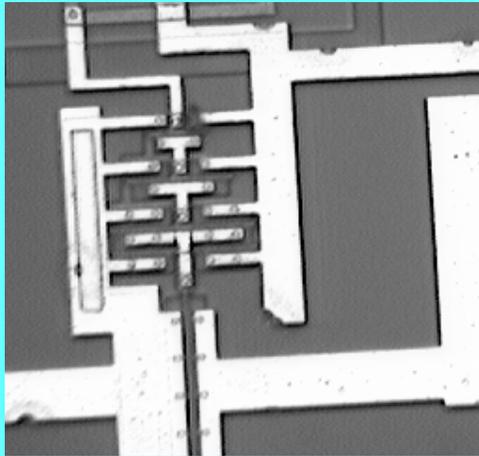
## Ondas de Rádio



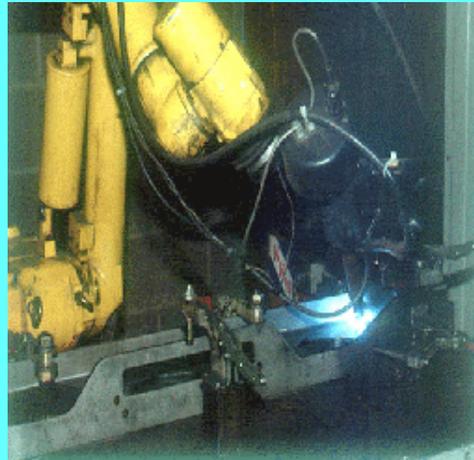
Imagem de Ressonância Magnética

- **Localização no espectro:** A região das ondas de rádio estende-se desde alguns hertz até aproximadamente  $10^9$  Hz (comprimento de onda - muitos quilômetros até mais ou menos 30 cm).
- Ondas de rádio com comprimentos de ondas de poucos centímetros podem ser transmitidas por um satélite ou antena de um avião.
- **Fontes desta radiação:** são habitualmente produzidas em circuitos eletrônicos.
- **Aplicações:** são utilizadas para emissões de rádio e televisão, radares e pela polícia, para medir a velocidade dos automóveis. São usadas para transmitir sinais de rádio e de TV.
- Podem ser usadas para criar imagens. As ondas refletidas podem ser usadas para gerar uma imagem da superfície da terra no escuro ou através de nuvens.

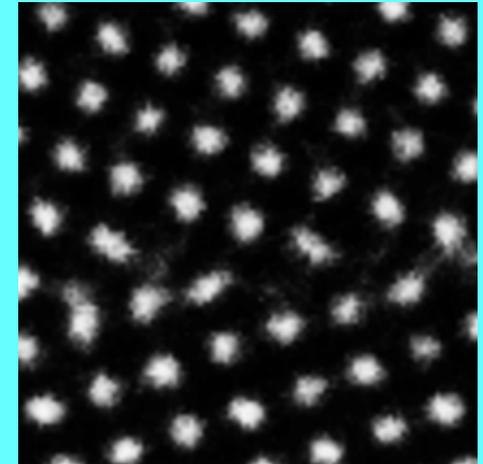
## Aplicações Industriais



*Sistemas de controle de qualidade por inspeção visual.*

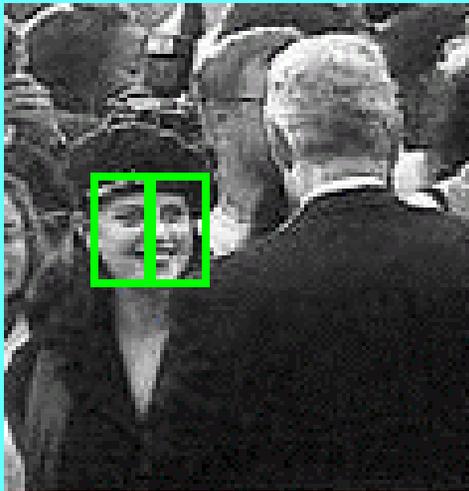


*Automação - Robos guiados por visão utilizados em linhas de montagem.*

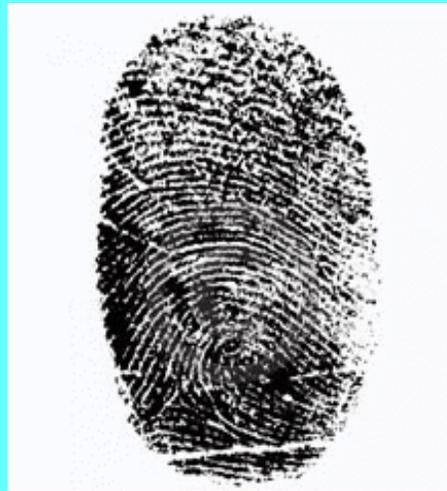


*Análise de características mecânicas de materiais por microscopia eletrônica de alta resolução*

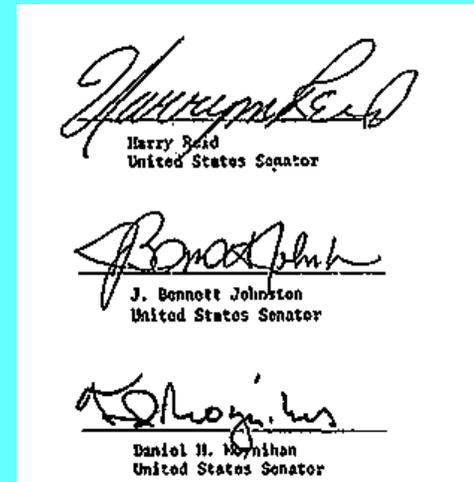
## Identificação/Segurança



*Reconhecimento  
de rosto*



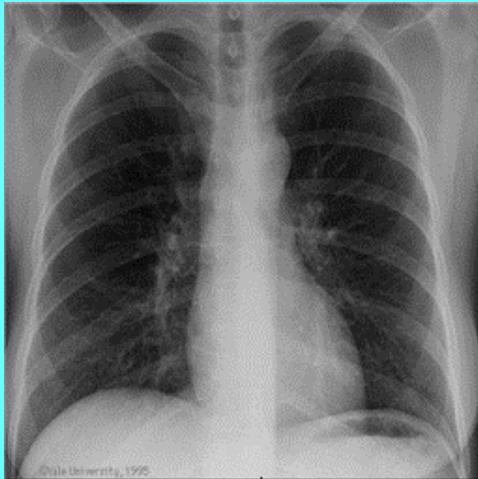
*Identificação por  
impressões digitais*



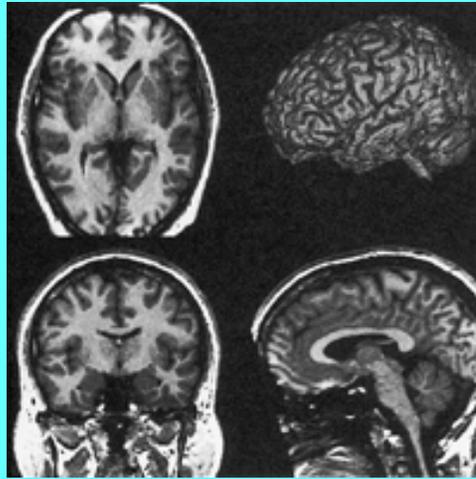
*Reconhecimento  
automático de  
assinaturas*

## Sistemas Biométricos

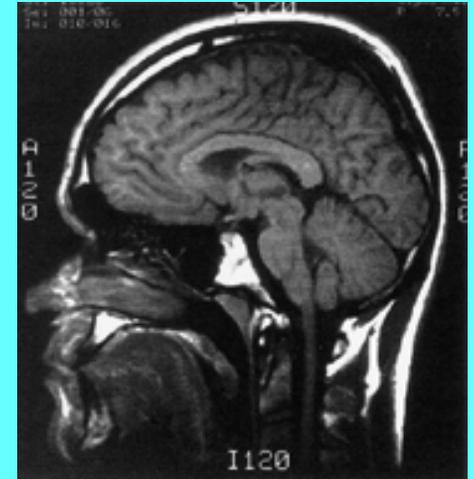
## Aplicações Médicas



*Diagnóstico a partir  
de radiografia*



*Diagnóstico a partir  
de tomografia  
computadorizada*

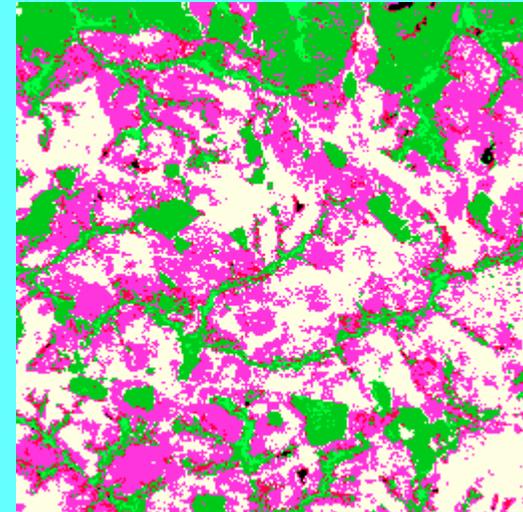


*Diagnóstico a  
partir de  
ressonância  
magnética*

## Sensoreamento Remoto



*Classificação*



*Imagem de Satélite de Água  
Limpa - Bandas 3, 4 e 5  
transformada em RGB*

*Imagem de Água Limpa -  
classificada automaticamente,  
segundo o tipo de cobertura  
do solo*

*etc . . .*

## Outras Áreas de Aplicação

- **Automação de escritório / banco / Biblioteca eletrônica**
  - ✓ **OCR**
  - ✓ **WEB**
  - ✓ **Base de dados multimídia**
  - ✓ **Transmissão**
  - ✓ **Armazenamento**
- **Arte / editoração**
  - ✓ **Fotografia (edição, composição de cenas, efeitos especiais, etc)**
  - ✓ **Edição de layout para impressão**
  - ✓ **Museus virtuais**
- **Vídeo digital**
  - ✓ **Composição de cenas**
  - ✓ **Efeitos especiais**
  - ✓ **Criação de cenas**
  - ✓ **Compressão**
  - ✓ **TV digital**

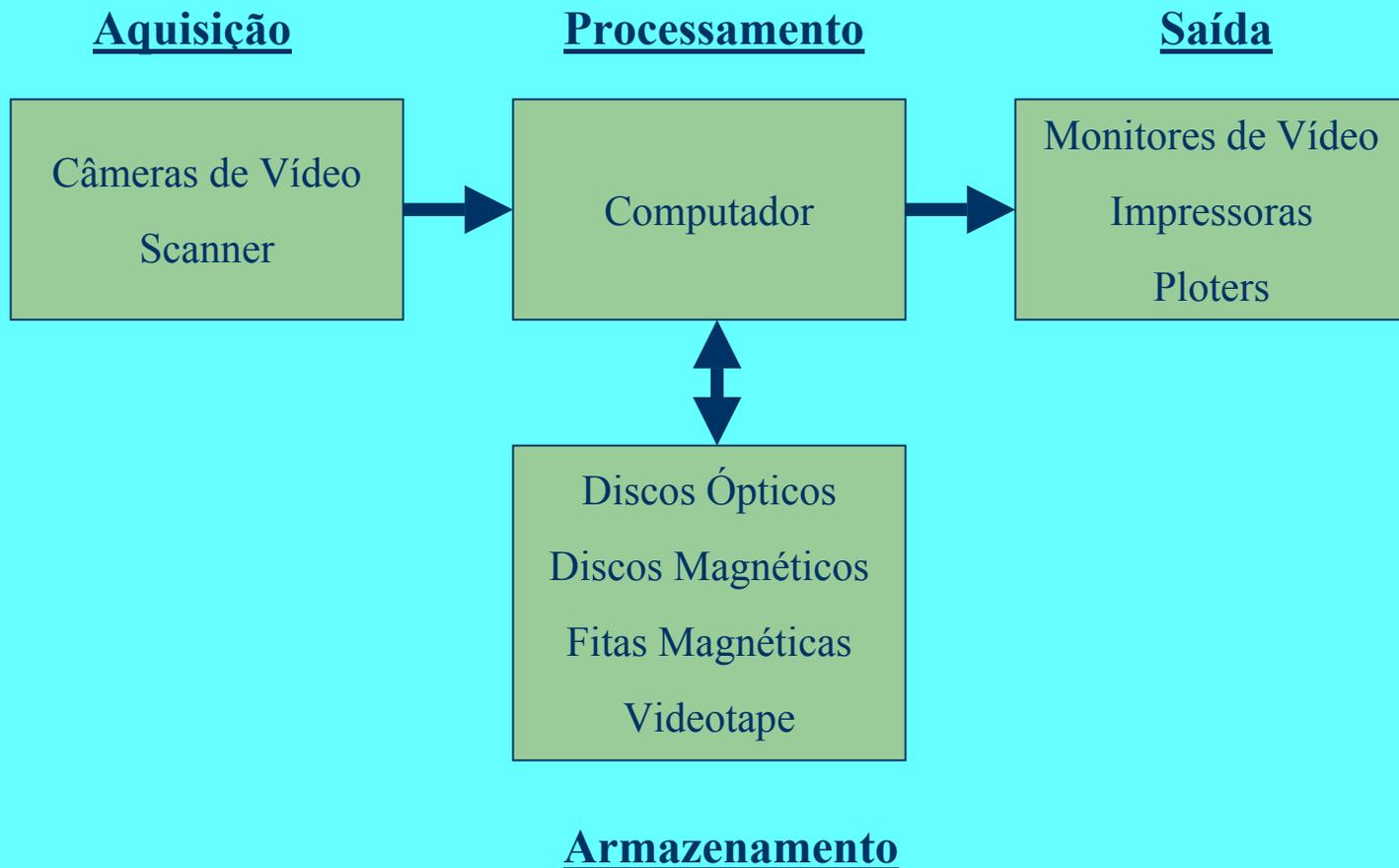
## Outras Áreas de Aplicação(continuação)

- **Biociências**
  - ✓ **Mamografia**
  - ✓ **Análise de imagens de microscopia**
  - ✓ **Pesquisa biológica (análise de células, tecidos e ossos, análise de DNA)**
  - ✓ **Reconstrução 3D**
  - ✓ **Diagnóstico médico (X-ray -- angiografia, tomografia -- CT, MRI, PET scanners)**
- **Justiça forense**
  - ✓ **Impressão digital**
  - ✓ **Análise de DNA**
  - ✓ **Reconhecimento de faces**
- **Defesa / Militar**
  - ✓ **Alvos em imagens de satélite**
  - ✓ **Tracking em tempo-real de alvos para lançamento de mísseis, etc**

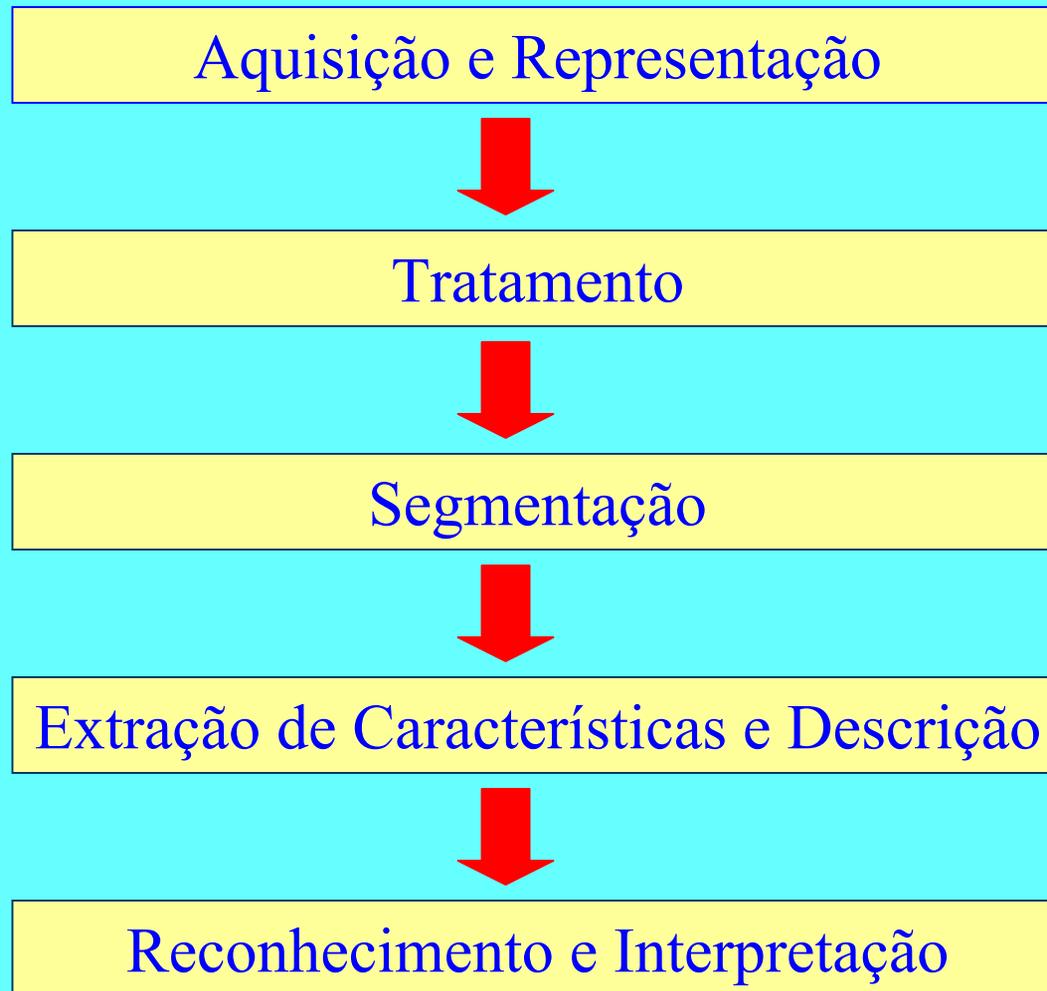
## Áreas onde Imagens são Utilizadas (continuação)

- **Ciência dos materiais**
  - ✓ **Análise de imagens de microscopia**
  - ✓ **Análise de estruturas (cristalografia, etc)**
  - ✓ **Análise de componentes, contagem e classificação de objetos**
- **Exploração espacial**
  - ✓ **Distorção, ruído, blurring**
  - ✓ **Atividade solar**
  - ✓ **Atividade cósmicas**
  - ✓ **Atividade de planetas**
- **Outros**
  - ✓ **Reconhecimento de placas de veículo**
  - ✓ **Cartografia**

## Elementos de um Sistema de Processamento de Imagens Digitais



## Estrutura de um Sistema de Reconhecimento e Interpretação



## O Reconhecimento de Padrões / Facial



Lena

Qual a aparência  
atual  
da Lena?

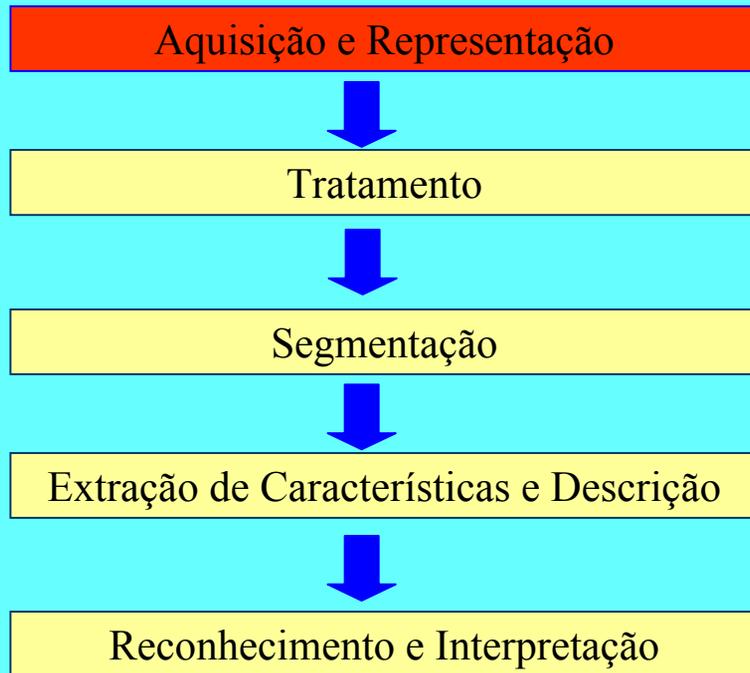


# Aquisição e Representação da Imagem Digital

## Sumário Detalhado

- Digitalização
  - ✓ Representação da Imagem
  - ✓ Quantização de uma Função
  - ✓ O Processo de Digitalização de uma Imagem
    - Amostragem
      - Resolução Espacial
    - Quantização
      - Profundidade
- Topologia Digital
- Imagem Multibanda
- Imagem Multidimensional
- Imagem Colorida
- Armazenamento
  - ✓ Compressão
  - ✓ Formatos de Arquivos

## Aquisição da Imagem



Captador



Cena

- A fase de aquisição de imagens consiste em obter uma representação da informação visual, esta deve ser a mais fiel possível e ao mesmo tempo ser processável por um computador.
- O usual é que tal representação seja construída a partir de alguma fonte de radiação, por exemplo calor, raios X, luz visível, microondas, etc..., captada por dispositivos sensíveis a tais radiações.

## Representação da Imagem Digital



- Uma imagem monocromática é uma função bidimensional da intensidade da luz  $f(x,y)$ , onde  $x$  e  $y$  denotam as coordenadas espaciais (largura e altura) e o valor  $f$  em qualquer ponto  $(x, y)$  é proporcional ao brilho (ou nível de cinza) da imagem naquele ponto.

A intensidade da luz pode ser modelada como:

$$f(x,y) = i(x,y) \cdot r(x,y)$$

$i$  – iluminação do ambiente:

$$0 < i(x,y) < \infty$$

$r$  – reflectância dos objetos:

$$0 \leq r(x,y) \leq 1$$

## Representação da Imagem Digital ...



- A representação em contexto digital requer a adoção de escalas, tanto para as coordenadas  $x$  e  $y$  da imagem, como para a intensidade da luz.

*Escalas de  $x$  e  $y$  geralmente são diferentes*

Processo de Digitalização

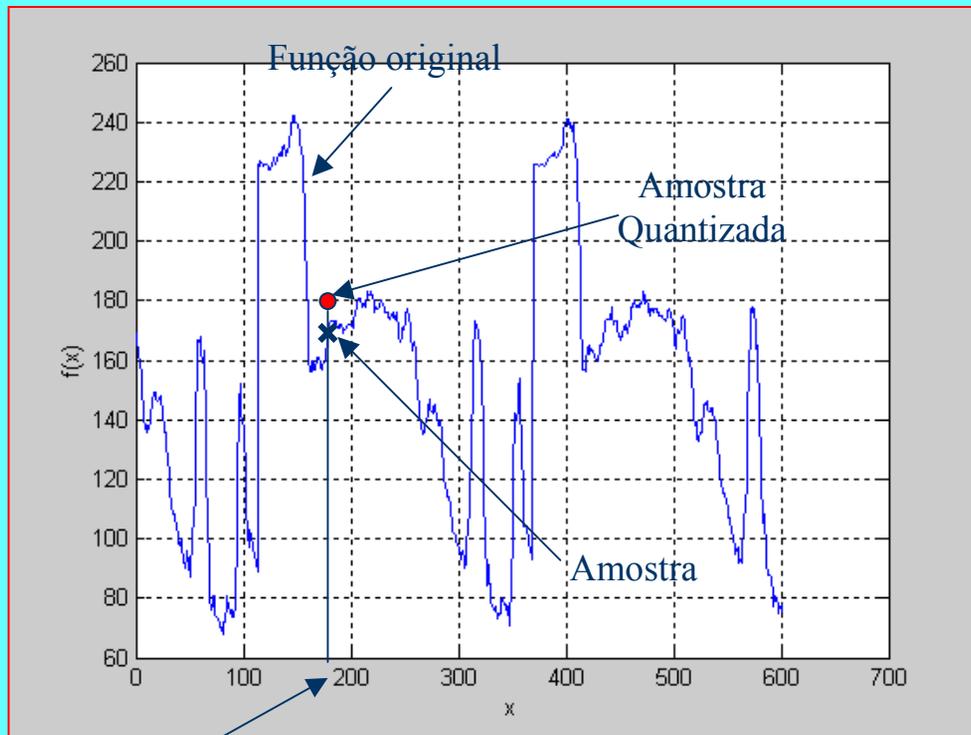
- escala das coordenadas

{ Amostragem

- escala da intensidade da luz

{ Discretização  
Quantização

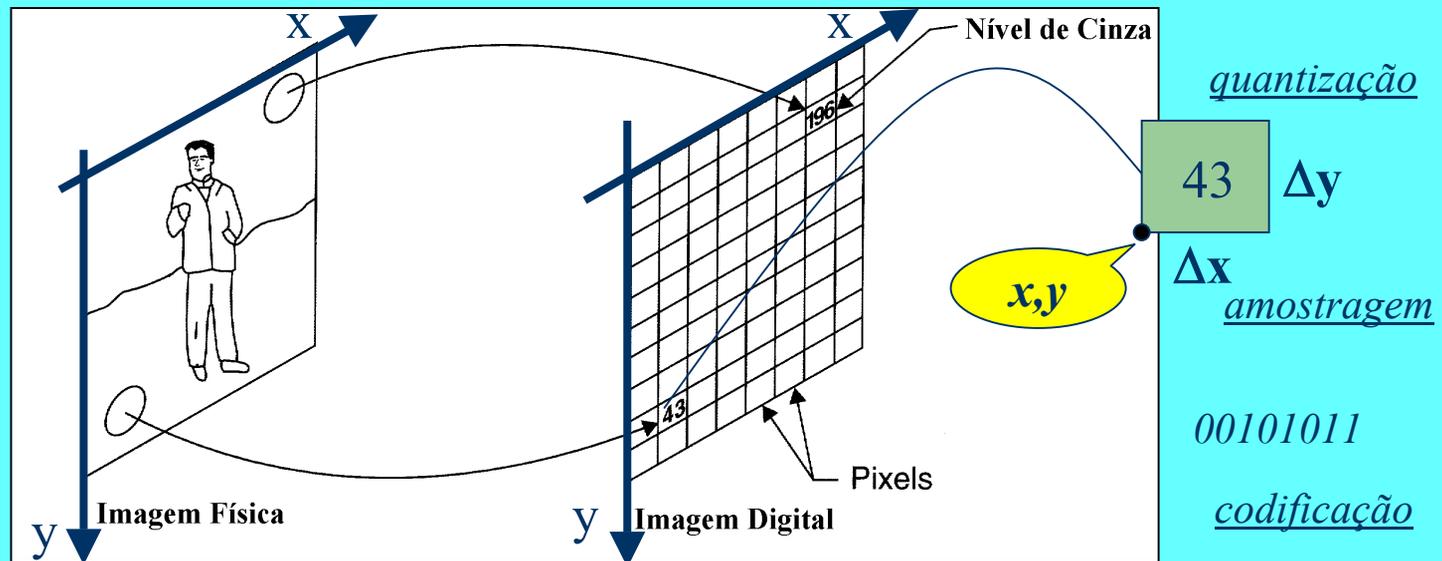
## Quantização de uma Função



Partições do eixo x (amostragens)

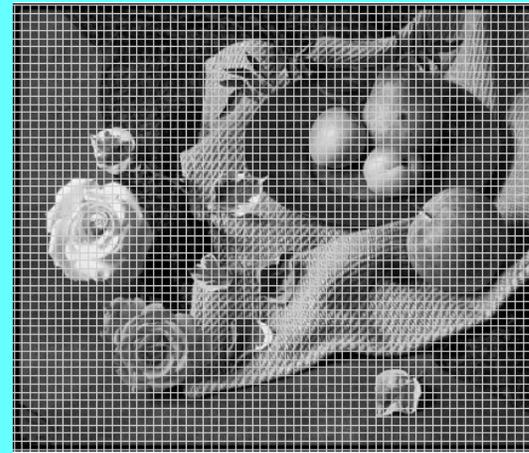
- A imagem capturada deve ser convertida em valores numéricos para poder ser analisada via computador, ou seja, é realizada a discretização (transformação de um espaço contínuo em um espaço discreto).
- O processo de quantização consiste em dividir e aproximar o valor da função para o nível de escala mais próximo.

## O Processo de Digitalização de uma Imagem



- **Consiste das etapas de:**
  - ✓ **Amostragem / espaçamentos horizontal e vertical – matriz de pixels**
  - ✓ **Quantização / níveis de representação da intensidade da luz**
  - ✓ **Codificação / representação binária da matriz de pixels**

## Amostragem

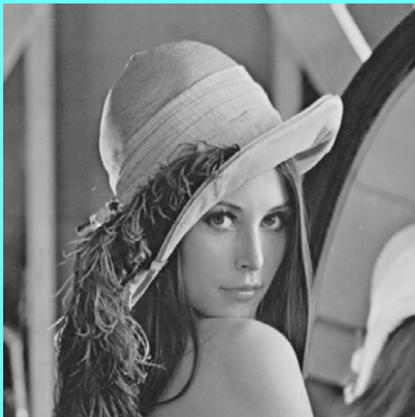


- Amostrar é realizar a medição (normalmente uniforme) dos níveis de cinza ao longo de uma imagem
- A amostragem terá como resultado uma matriz  $M \times N$  de amostras da imagem, onde cada elemento é chamado de pixel.
- A dimensão de um pixel ao longo do eixo  $x$ , ou do eixo  $y$ , está relacionada com o espaço físico entre as amostras.

## Resolução Espacial

- A resolução espacial é determinada pelo número de pixels por área da imagem, ou seja, pela dimensão do pixel na imagem
  - ✓ Quanto mais pixels uma imagem tiver (ou quanto menor o tamanho do pixel), maior é a sua resolução e melhor a sua qualidade .
- A resolução espacial de uma imagem influi na qualidade da percepção que se tem da mesma.
- As figuras abaixo apresentam a imagem da Lena em diversas resoluções:

512x512



256x256



128x128

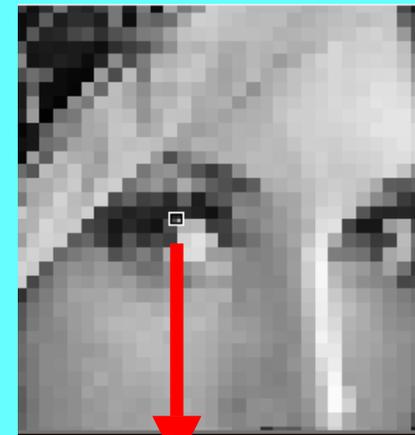
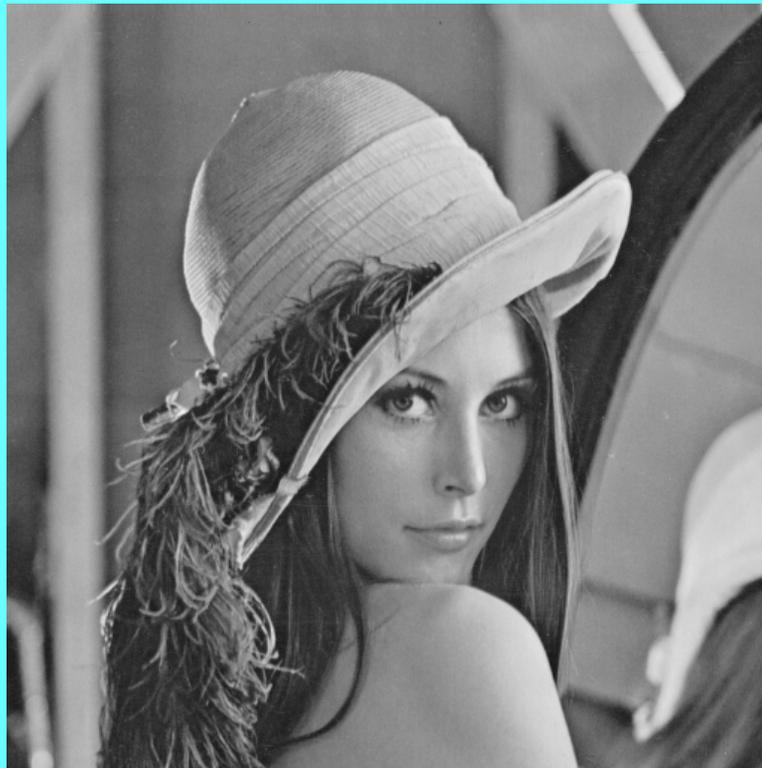


64x64



## Quantização

É a representação do valor medido de um pixel aproximado por um inteiro



168	163	187	184	186	185	188	162	175
171	158	188	191	190	160	103	136	153
167	166	187	191	133	149	153	130	107
159	188	196	126	145	156	134	170	141
176	200	102	116	92	96	76	118	67
196	87	79	71	77	71	63	77	69
98	91	63	77	68	61	102	177	180
120	94	68	106	84	96	91	200	210
144	148	104	117	138	119	189	205	208
148	157	153	136	126	128	150	153	164

## Profundidade da Imagem

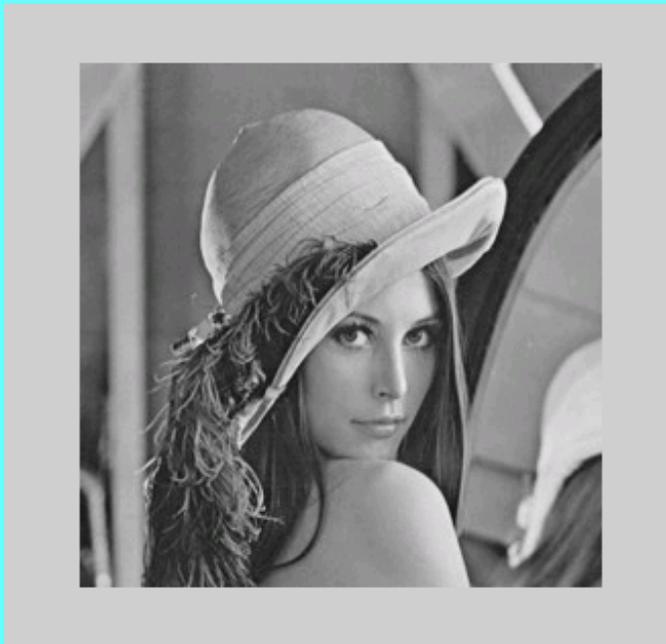
- Quantidade  $L$  de níveis de quantização da função  $f(x,y)$  (quantidade de tons que podem ser representados por cada pixel).
  - ✓ é normalmente uma potência de 2 (i.e.  $L=256,1024,4096$ ).
  - ✓ Se  $L=256$ , significa que cada pixel pode ter associado um valor de cinza entre 0 e 255, que requer no máximo 8 bits para ser armazenado na memória do computador.
  - ✓ Diz-se então que a profundidade da imagem é 8 bits por pixel (ou 1 byte por pixel).

*Assim, para uma imagem de 320x240 serão necessários*

$$320 \times 240 \times 1 = 76.800 \text{ bytes}$$

## Exemplo de Variação na Profundidade da Imagem

A figura mostra a variação da profundidade da imagem da Lena, com 8 bits e com 1 bit.



Profundidade 8 - 256 níveis de cinza



Profundidade 1 - 2 níveis de cinza

## Topologia Digital

Estuda as propriedades dos pixels

- Vizinhança
- Conectividade
- Adjacência
- Caminho
- Componente Conexa
- Medidas de Distância
- Operações Lógico-aritméticas

## Vizinhança de um pixel

- **Vizinhança – 4 [ $N_4(p)$ ]**

- ✓ Em uma imagem digital 2D, um pixel  $p(x,y)$  tem quatro vizinhos que compartilham uma aresta com  $p(x,y)$ :  $p(x+1,y)$ ,  $p(x-1,y)$ ,  $p(x,y+1)$  e  $p(x,y-1)$
- ✓ Ou seja, é o conjunto de pixels ao redor de P, sem considerar as diagonais

	X	
X	P(x,y)	X
	X	

- **Vizinhança – D [ $N_D(p)$ ]**

- ✓ São considerados os vizinhos que compartilham um vértice com  $p(x,y)$
- ✓ Ou seja, é o conjunto de pixels ao redor de P, considerando apenas as diagonais

X		X
	P(x,y)	
X		X

## Vizinhança de um pixel

- **Vizinhança – 8 [ $N_8(p)$ ]**

- ✓ São considerados os vizinhos que compartilham pelo menos um vértice com  $p(x,y)$
- ✓ Ou seja, é o conjunto de pixels ao redor de P, considerando as arestas e as diagonais
- ✓  $N_8(p) = N_4(p) \cup N_D(p)$

X	X	X
X	P(x,y)	X
X	X	X

*Nas bordas alguns pontos da vizinhança  $N_4$ ,  $N_D$  ou  $N_8$  cairão sempre fora da imagem*

## Conectividade

É um conceito importante, usado no estabelecimento das bordas de objetos ou nos componentes de regiões em uma imagem.

**Para estabelecer se 2 pixels estão conectados é preciso determinar:**

- a) se são de alguma forma vizinhos ( $N_4$ ,  $N_D$  ou  $N_8$ ) e
- b) se seus níveis de cinza satisfazem algum critério de similaridade ( $V = \{ \dots \}$ ).

## Conectividade ...

- **Conectividade-de-4:**

Dois pixels  $p$  e  $q$ , assumindo valores em  $V$ , são conectados-de-4 somente se  $q$  pertence ao conjunto  $N_4(p)$ .

$C4_{p,q}$  em  $V$  sss  $q \in N_4(p)$  e

$f(p)$  e  $f(q) \in V$

$V = \{0\} \rightarrow C4_{p,q}$  verdadeiro

0	q=0	0
1	p=0	1
0	1	0

## Conectividade ...

- **Conectividade-de-8:**

Dois pixels  $p$  e  $q$ , assumindo valores em  $V$ , são conectados-de-4 somente se  $q$  pertence ao conjunto  $N_8(p)$ .

**$C8_{p,q}$  em  $V$  sss  $q \in N_8(p)$  e**

**$f(p)$  e  $f(q) \in V$**

$V = \{0\} \rightarrow C8_{p,q}$  verdadeiro

0	q=0	0
1	p=0	1
0	1	0

## Conectividade ...

- **Conectividade-de-m (conectividade mista):**

Dois pixels  $p$  e  $q$ , assumindo valores em  $V$ , são conectados-de-m somente se –

- $q$  pertence ao conjunto  $N_4(p)$ , ou
- $q$  pertence ao conjunto  $N_D(p)$  e interseção entre  $N_4(p)$  e  $N_4(q)$  for vazia.

$Cm_{p,q}$  em  $V$  sss ( $q \in N_4(p)$  ou ( $q \in N_D(p)$  e  $N_4(p) \cap N_4(q) = \{\}$ ) e  $f(p)$  e  $f(q) \in V$

$V = \{0\} \rightarrow Cm_{p,q}$  falso

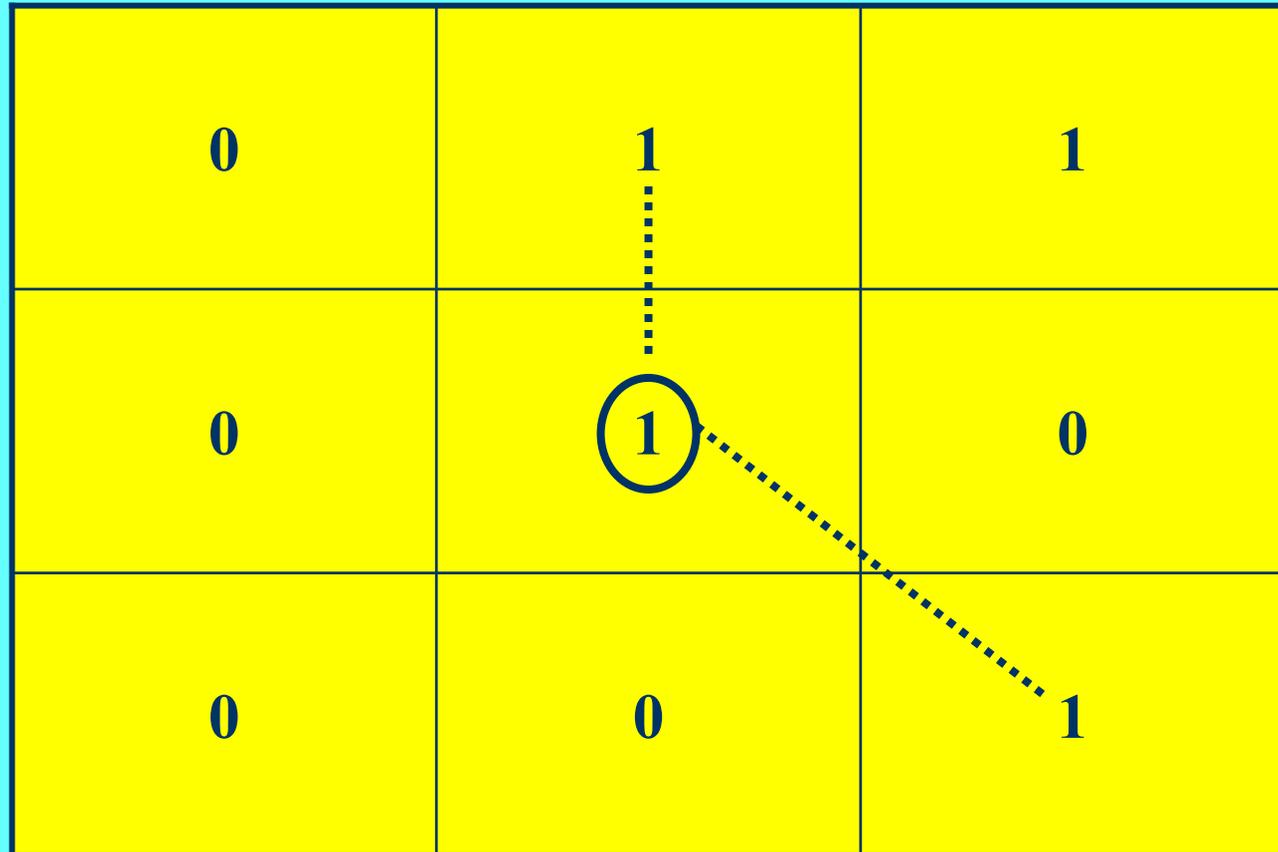
q=0	0	0
1	p=0	1
0	1	0

### Conectividade de 4 / $V = \{1\}$

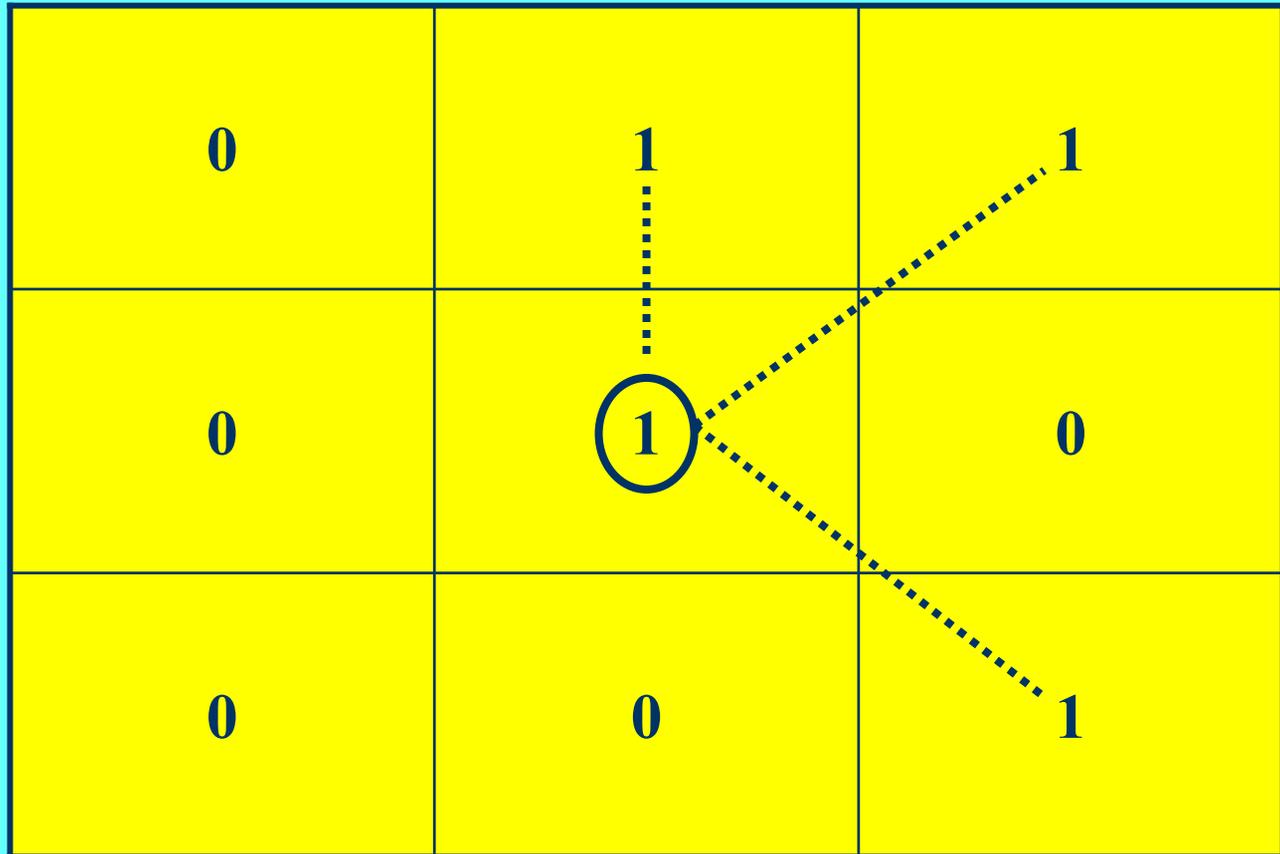
0	1	1
0	1	0
0	0	1

A 3x3 grid of binary values (0 and 1) on a yellow background. The center cell (row 2, column 2) contains a '1' that is circled in blue. A vertical dotted line connects this circled '1' to the '1' in the cell directly above it (row 1, column 2). This illustrates 4-connectivity where only the vertical neighbor is included in the set V = {1}.

### Conectividade de $m / V = \{1\}$



## Conectividade de 8 / $V = \{1\}$



## Adjacência

- Dois pixels são ditos adjacentes-4 (8 ou m) se eles são conexos-4 (8 ou m).

0	0	0
0	1	1
0	0	0

Pixels Adjacentes-4, 8 e m

- Dois subconjuntos de pixels são ditos adjacentes se pelo menos um pixel do primeiro conjunto for adjacente a um pixel do segundo.

	0	0	0	0	0	0
$S_1$	0	1	1	1	1	0
	0	0	0	0	0	0

$S_2$

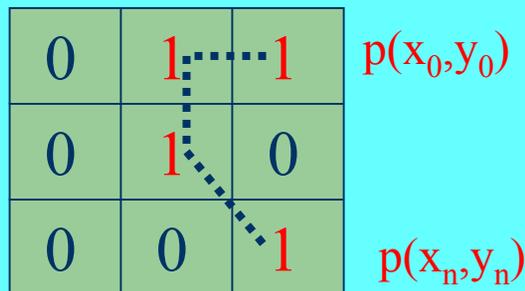
Subconjuntos Adjacentes-4

$$V = \{1\}$$

## Caminho

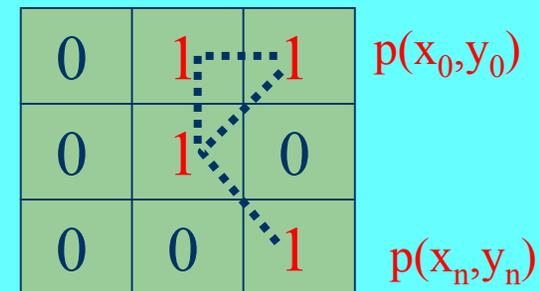
- Um caminho na imagem que vai de um pixel  $p(x,y)$  a um pixel  $q(s,t)$  é uma seqüência de pixels distintos com coordenadas  $(x_0,y_0)$   $(x_1,y_1), \dots, (x_n,y_n)$  onde  $n$  é o comprimento do caminho,  $(x_{i-1},y_{i-1})$  e  $(x_i,y_i)$  são adjacentes,  $(x = x_0, y = y_0)$  e  $(s = x_n, t = y_n)$ .
- Diz-se que este é um caminho-4 ( m ou 8) dependendo do tipo de adjacência existente ao longo do caminho.

Caminho-m



Caminho-8

(\*) *ambiguidade*



## Componente Conexo

- Dois pixels  $p$  e  $q$  de um subconjunto de pixels  $S$  da imagem são ditos conexos em  $S$  se existir um caminho de  $p$  a  $q$  inteiramente contido em  $S$ .
- Para qualquer pixel  $p$  em  $S$ , o conjunto de pixels em  $S$  que são conexos a  $p$  é chamado um componente conexo de  $S$ .
- Note que em uma componente conexo qualquer dois pixels deste componente são conexos entre si.
- Em componentes conexos distintos os pixels são disjuntos (não conectados).

## Medidas de Distância

- Para pixels  $p$ ,  $q$  e  $z$ , com coordenadas  $(x,y)$ ,  $(s,t)$  e  $(u,v)$  respectivamente,  $D$  é uma função distância ou métrica se:

(a)  $D(p,q) \geq 0$  ( $D(p,q)=0$ , se e somente se  $p = q$ ),

(b)  $D(p,q) = D(q,p)$ , e

(c)  $D(p,z) \leq D(p,q) + D(q,z)$

## Distância Euclidiana

- A distância Euclidiana entre  $p$  e  $q$  é definida como

$$D_e(p, q) = \sqrt{(x - s)^2 + (y - t)^2}$$

- Para esta medida de distância, os pixels que têm uma distância menor ou igual a um valor  $r$  de  $(x, y)$  são os pontos pertencentes a um círculo de raio  $r$  centralizado em  $(x, y)$ .

## Distância $D_4$ (City Block ou Quarteirão)

- A distância  $D_4$  entre  $p(x,y)$  e  $q(s,t)$  é definida por:

$$D_4(p,q) = |x-s| + |y-t|$$

- Neste caso os pixels que têm uma distância  $D_4$  de  $(x,y)$  menor ou igual a um valor  $r$  formam um losango centralizado em  $(x,y)$ .
- Por exemplo, os pixels com distância  $D_4 \leq 2$  de  $(x,y)$  (ponto central) forma os seguintes contornos a uma distância constante:

$$\begin{array}{ccccc}
 & & 2 & & \\
 & & 2 & 1 & 2 \\
 & 2 & 1 & 0 & 1 & 2 \\
 & & 2 & 1 & 2 \\
 & & & 2 & & 
 \end{array}$$

- Os pixels com  $D_4=1$  são da vizinhança-4 de  $(x,y)$ .

## Distância $D_8$ (Distância Xadrez)

- A distância  $D_8$  entre  $p$  e  $q$  é definida como

$$D_8 = \max(|x-s|, |y-t|)$$

- Neste caso os pixels com distância  $D_8$  de  $(x,y)$  menor ou igual a um valor  $r$  formam um quadrado centralizado em  $(x,y)$ . Por exemplo, os pixels com distância  $D_8 \leq 2$  de  $(x,y)$  (o ponto central) formam os seguintes contornos a uma distância constante.

2	2	2	2	2
2	1	1	1	2
2	1	0	1	2
2	1	1	1	2
2	2	2	2	2

- Os pixels com  $D_8=1$  é a vizinhança-8 de  $(x,y)$ .

## Características de $D_4$ e $D_8$

- A distância  $D_4$  entre dois pontos  $p$  e  $q$  é igual ao comprimento-de-4 do caminho mais curto entre esses dois pontos em uma vizinhança-4.
- O mesmo se aplica à  $D_8$ .

## Distância $D_m$

- Para a conectividade- $m$ , o valor da distância entre dois pixels depende dos valores dos pixels ao longo do caminho e daqueles de suas vizinhanças. Considere o seguinte arranjo de pixels e assuma que  $p$ ,  $p_2$ , e  $p_4$  têm valor 1 e que  $p_1$  e  $p_3$  podem ter valor 0 ou 1:

$x$	$p_3$	$p_4=1$
$p_1$	$P_2=1$	$0$
$P=1$	$0$	$x$

- se  $V = \{1\}$ ,  $p_1$  e  $p_3 = 0$

$$D_m = 2$$

- se  $V = \{1\}$ ,  $p_1$  ou  $p_3 = 1$

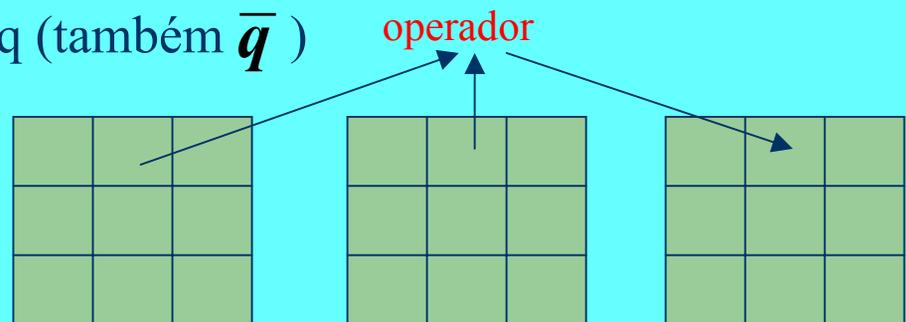
$$D_m = 3$$

- se  $V = \{1\}$ ,  $p_1$  e  $p_3 = 1$

$$D_m = 4$$

## Operações Lógico-aritméticas entre dois Pixels

- São computadas pixel a pixel.
- Entre os pixels  $p$  e  $q$  são denotadas como a seguir:
  - ✓ Operações Aritméticas:
    - Adição:  $p + q$
    - Subtração:  $p - q$
    - Multiplicação:  $p * q$
    - Divisão:  $p \div q$
  - ✓ Lógicas
    - E:  $p \text{ E } q$  (também  $p . q$ )
    - OU:  $p \text{ OU } q$  (também,  $p + q$ )
    - Complemento: NÃO  $q$  (também  $\bar{q}$ )



## Operações Aritméticas

- Adição:  $p + q$ 
  - ✓ Seu principal uso ocorre ao se fazer a média para redução de ruído.
- Subtração:  $p - q$ 
  - ✓ É usada para remover informação estática de fundo,
  - ✓ Detecção de diferenças entre imagens.
- Multiplicação:  $p * q$ 
  - ✓ Calibração de brilho
- Divisão:  $p \div q$ 
  - ✓ Normalização de brilho

*A multiplicação e divisão são usadas para corrigir sombras em níveis de cinza, produzidas em não uniformidades da iluminação ou no sensor utilizado para a aquisição da imagem.*

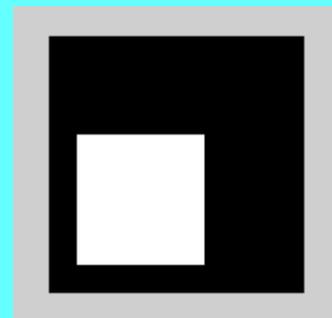
## Operações Lógicas

- Podem ser combinadas para formar qualquer outra operação lógica
- São aplicadas apenas em imagens binárias.
- Tem seu uso no mascaramento, detecção de características e análise de forma.

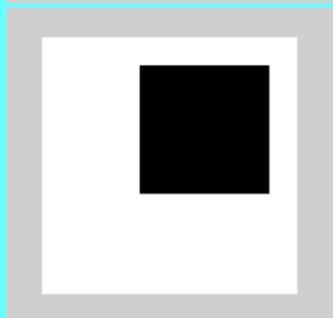
A



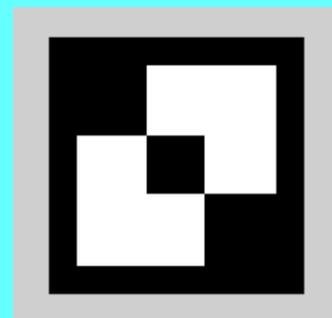
não A



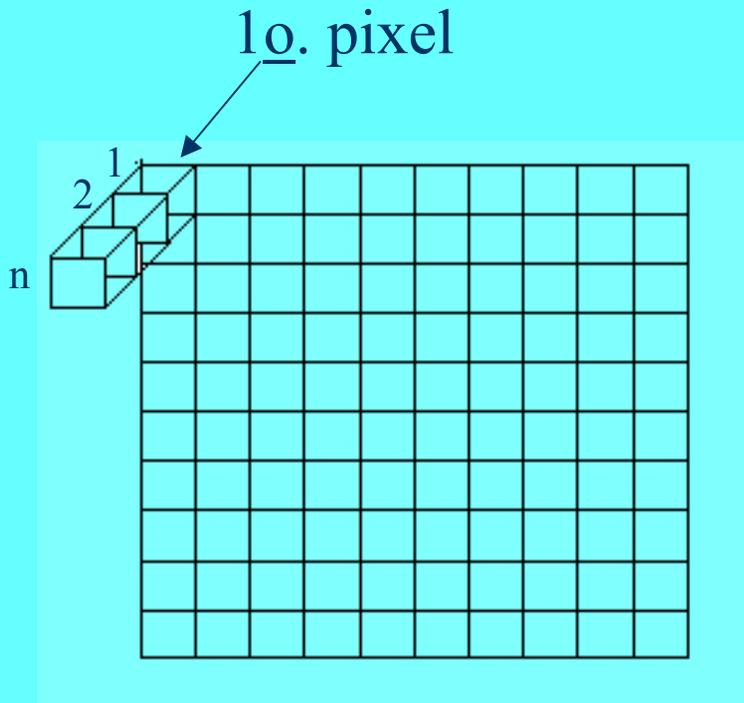
B



A xor B

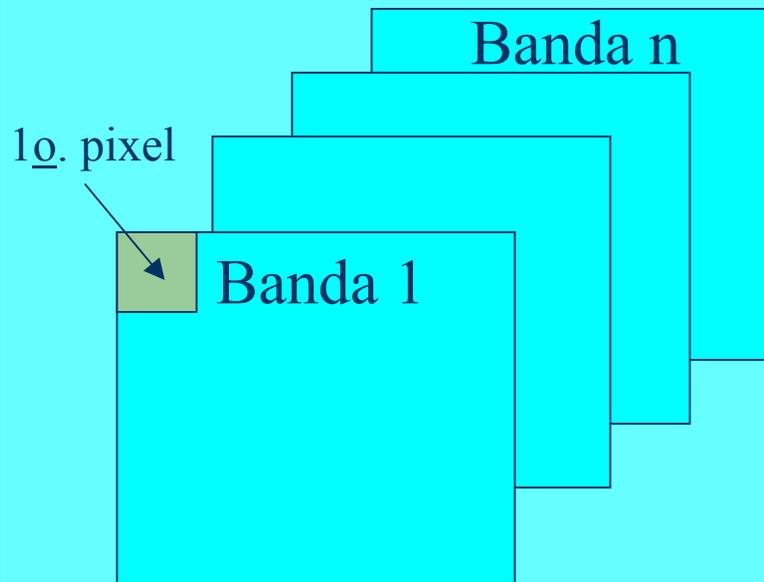


## Imagem Multibanda



- Numa imagem digital monocromática, o valor do pixel é um escalar entre 0 e  $L-1$ .
- Imagens multibandas podem ser vistas como imagens nas quais cada pixel tem associado um valor vetorial  $p(x,y) = (l_1, l_2, \dots, l_n)$ , onde  $0 \leq l_i \leq L_i-1$  e  $i = 1, 2, \dots, n$ .
- $l_i$  pode representar grandezas diferentes, tais como, temperatura, pressão, frequência, amostradas em pontos  $(x,y)$  e com intervalos de valor completamente diferentes.
- Se  $L_i, i = 1, 2, \dots, n$ , for igual a 256, tem-se uma imagem com profundidade de  $n$  bytes por pixel

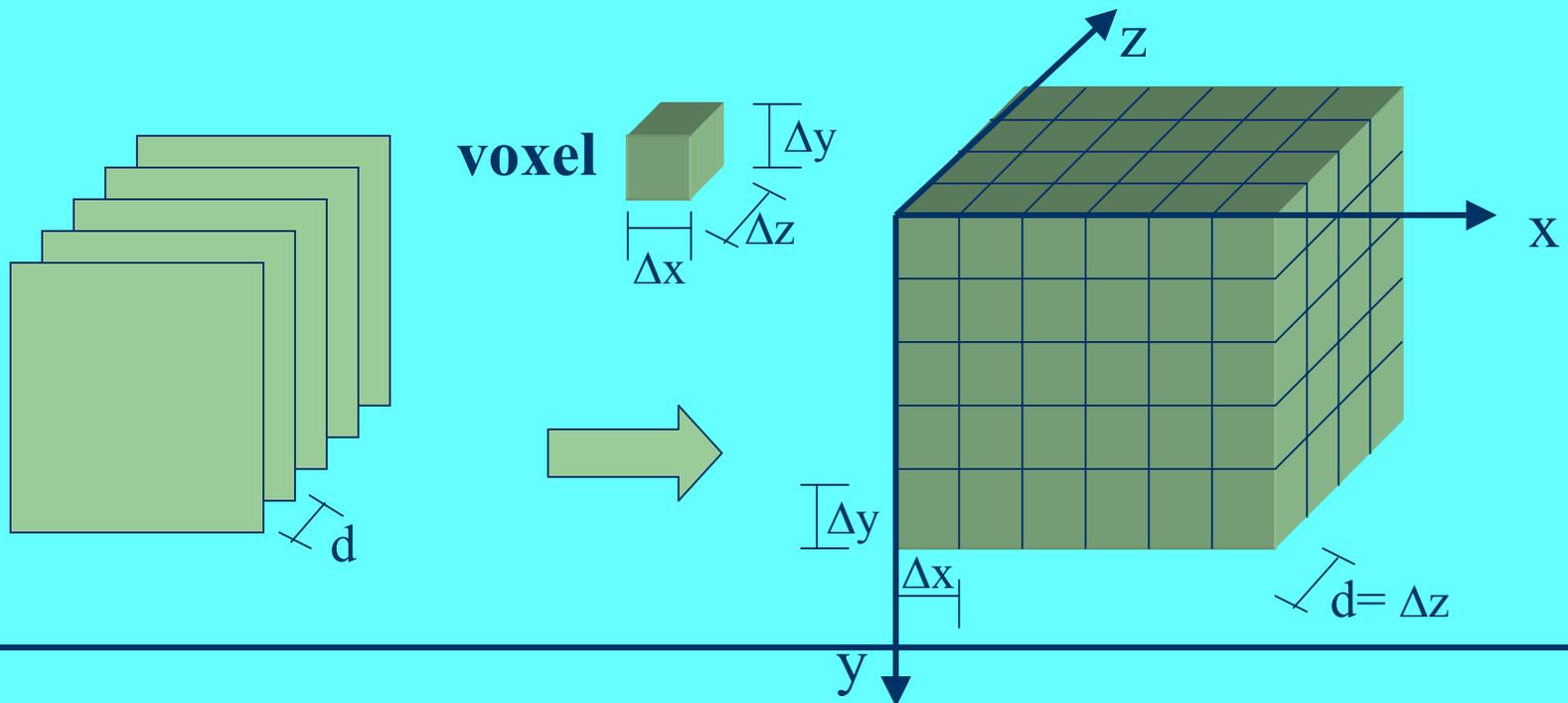
## Imagem Multibanda



- Outra forma de representar uma imagem multibanda é como uma seqüência de imagens monocromáticas (bandas).
  - ✓  $p_i(x,y) = l_i$
  - ✓  $0 \leq l_i \leq L_i - 1$
  - ✓  $i = 1, 2, \dots, n$
- Se  $L_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , for igual a 256, tem-se  $n$  bandas com profundidade 1 byte por pixel cada uma.

## Imagem Multidimensional

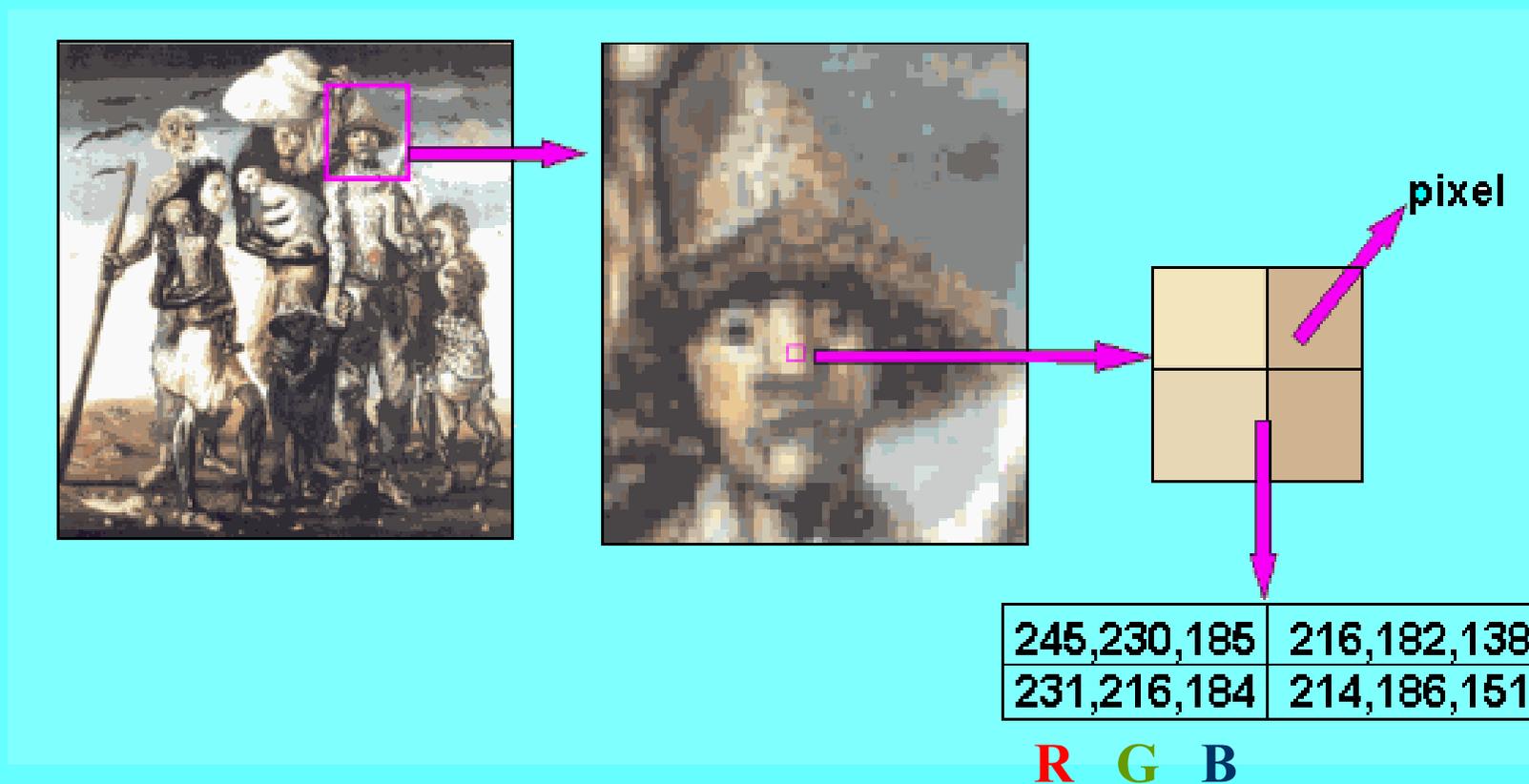
- Imagens digitais tridimensionais são uma extensão dos conceitos de imagem digital monocromática e multibanda para uma terceira dimensão que pode ser espaço ou tempo
- A amostragem e a quantização podem ocorrer em  $(x,y,z)$  ou  $(x,y,t)$ , onde  $x,y,z$  representam o espaço e  $t$  o tempo
- uma imagem digital 3D é representada como uma seqüência de imagens monocromáticas ou multibandas ao longo do eixo espacial  $z$  ou do eixo temporal  $t$



## Imagem Colorida

- É uma imagem multibanda
- A cor em cada ponto  $(x,y)$  é definida por
  - ✓ **Luminância**
    - associada com o brilho da luz
  - ✓ **Matiz**
    - associada com comprimento de onda dominante
  - ✓ **Saturação**
    - Associada com o grau de pureza (ou intensidade) da matiz
- A maioria das cores visíveis pelo olho humano pode ser representada como uma combinação de três cores primárias:
  - ✓ vermelho (R)
  - ✓ verde (G)
  - ✓ azul (B).
- Uma representação comum para uma imagem colorida utiliza três bandas R, G, e B com profundidade 3 bytes por pixel (ou com profundidade 24 bits por pixel, dependendo da representação).

## Representação Matricial de uma Imagem Colorida



## Imagem Colorida

- A figura mostra a imagem RGB da Lenna, e as bandas R, G, e B.



**Banda R**

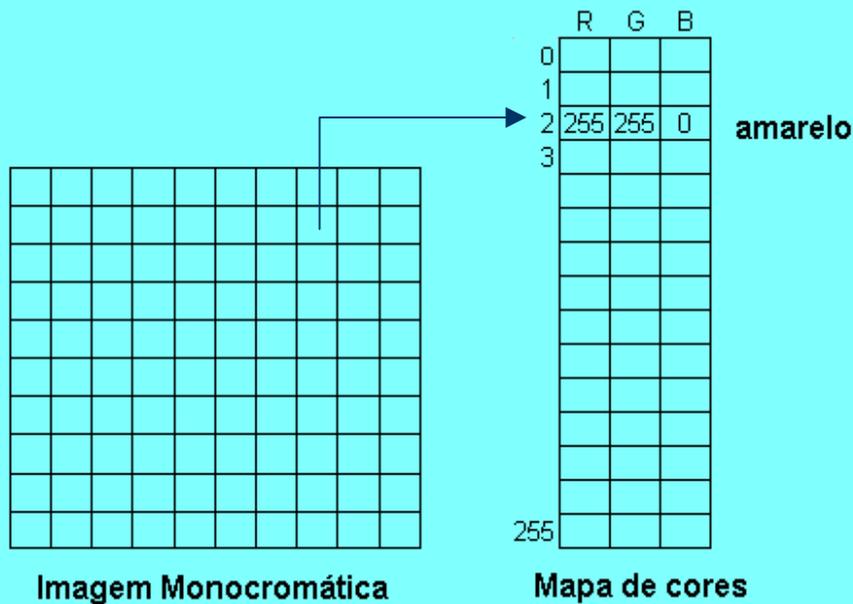


**Banda G**



**Banda B**

## Imagem Colorida



- Uma imagem colorida também pode ser armazenada usando uma imagem monocromática e um mapa de cores.
- Neste caso, o valor de cinza de cada pixel na imagem é um índice para uma célula do mapa de cores
- A célula do mapa de cores contém o valor das componentes R, G e B referentes à cor do pixel

## Armazenamento de Imagens

- O armazenamento da imagem envolve basicamente três elementos principais:
  - ✓ a forma como a imagem está representada,
  - ✓ o tipo de compactação empregado e
  - ✓ o cabeçalho contendo as informações a cerca desta imagem (resolução, quantidade de cores, classe da imagem, mapa de cores, compactação, etc).
- Um mesmo tipo de arquivo pode inclusive permitir o armazenamento de diferentes classes de imagens e também permitir a utilização de vários métodos de compactação.

## Compressão de Imagens

- Imagens ocupam muito espaço de memória, daí o emprego de técnicas de compactação de imagens
- Os métodos podem ser classificados em dois tipos:
  - ✓ **com perdas** – baseados no fato de que pequenos detalhes podem ser eliminados sem que sejam visivelmente notados.
    - JPEG (Join Photographic Experts Group) –
    - Fractal - é propriedade privada de uma empresa que comercializa seus direitos de uso
  - ✓ **sem perdas**
    - Código de Huffman
    - RLE (Run Length Encoding)
    - LZW (Lempel-Ziv & Welch)
    - JBIG (Join Bi-level Image Experts Group).
- Cada um dos métodos utiliza uma técnica que geralmente lhe dá o nome

## Alguns Formatos de Arquivos de Imagem

- **GIF**

- ✓ O GIF (Graphics Intchange Format) é um formato de 8 bits (256 cores) muito popular na Internet em animações, mas não é indicado para fotos, pois a limitação de cores causa grande perda de qualidade embora reduza bastante o tamanho dos arquivos. Este formato criado pela Comuserve é bem aceito em JAVA e HTML.

- **JPEG**

- ✓ O Joint Photographics Experts Group é um dos mais populares formatos adotados pela Internet, devido à boa taxa de compactação em 24 bits (16 milhões de cores), e permite escolher a taxa de compactação dos dados da imagem (quanto mais compactado menor a qualidade). Mantém arquivos pequenos com boa qualidade.

- **TIFF**

- ✓ O TIFF (Tagged Image File Format), também muito conhecido e usado para importar/exportar imagens e fotos entre programas e plataformas (MACS e PCS) diferentes, comprime os arquivos sem perder qualidade da imagem. É muito usado em editoração eletrônica e mídia impressa em geral.

## Alguns Formatos de Arquivos de Imagem ...

- **BMP**
  - ✓ Anacrônico de BitMap, ou Mapa de Bits, é o formato nativo do Windows, armazena os dados sem compactar a imagem , e pode ser lido em quase todos os programas que rodam sob Windows.
- **EPS**
  - ✓ (Encapsulater PostScript) Trata-se formato muito comum em produção de impressos. Pode ser lido em PCs e Macs, sendo boa opção para compartilhar imagens entre o Photoshop e outros programas, por exemplo.

Além destes, existem muitos outros formatos de arquivos: PSD, PCX, PDF, PICT, PNG, PIXAR, DCS, IFF, FLASHPIX, TARGA, PNG, RAW, etc...

## Formatos de Arquivo Estabelecidos

- A tabela mostra os formatos de arquivo padronizados que já estão bem estabelecidos no mercado

<b>Formato</b>	<b>Sistema de Cor</b>	<b>Compressão</b>
GIF	RGB 256	LZW
TIFF	RGB, CMYK, YCbCr, Lab, Luv	RLE, LZW, JPEG, JBIG e outros
JPEG	RGB, YCbCr, CMYK, Gray	JPEG
PCX	RGB	RLE
BMP	RGB	RLE
TGA	RGB	RLE