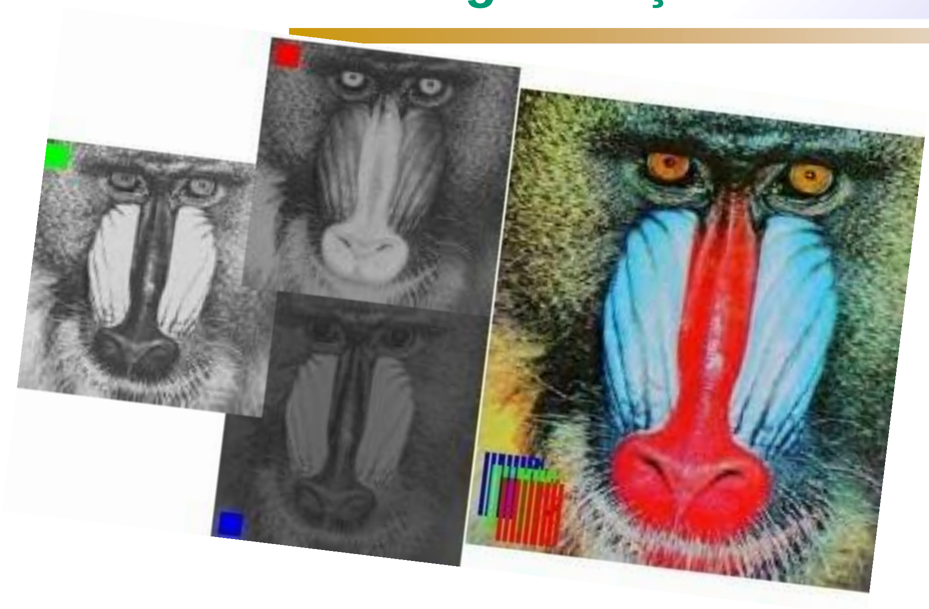
# Processamento de Imagens Digitais

Prof. Dr. Leandro Alves Neves

Pós-graduação em Ciência da Computação



Aula 02

# Sumário

- **Tipos de Sinais**

- **Digitalização**
  - Discretização, Amostragem e Quantização
  - Imagens Multibanda, Multiespectral e Multidimensional

- **Relacionamento entre elementos de uma imagem**

- **Medidas de Distância**

# Tipos de Sinais

- De um ponto de vista geral, um **Sinal** é:

  - Manifestação de um **fenômeno** ⇨ expresso de **forma quantitativa.**

- **Meio de Representação: Função***

  - **Variáveis independentes** (uma ou mais)
    - Buscam definir **informações da natureza ou comportamento** do fenômeno
    - **Sinal de voz:** função de uma variável (**tempo**)
    - **Imagem:** pode ser definido por uma função de duas variáveis (**espaço**)

- **Situações em que sinais não podem ser modelados por uma equação: sinais aleatórios*

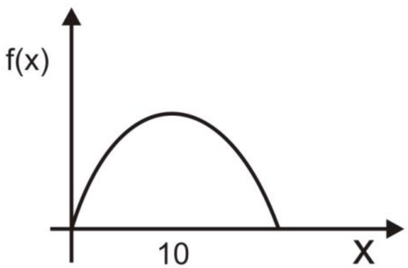
# Tipos de Sinais

- **Sinal**:
  - Contínuo ⇨ **estados** definidos em qualquer instante, **sem interrupção**
  - Discreto ⇨ **valores enumeráveis ou inteiros**, definidos a partir de um **intervalo**.
  - **Sinal Analógico**
    - Variações contínuas no tempo (Ex., onda sonora)
  - **Sinal Digital**
    - Pode assumir apenas valores discretos (Ex., Código Morse)

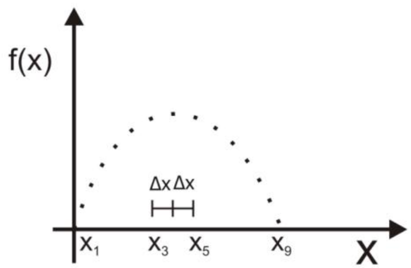
# Tipos de Sinais

- **Técnicas de análise de imagens**
  - Requerem:
    - Funções ⇨ $f(x)$ ou $f(x,y)$ ⇨ **formatos discretos**

- Representações




Representação Contínua




Representação Discreta a Intervalos Constantes em x

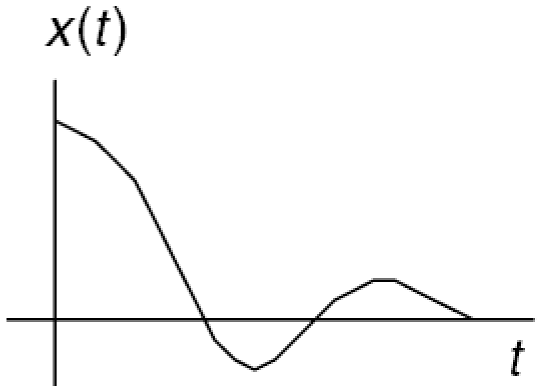
Estados podem ser definidos em qualquer instante de *x* (sem interrupção)

**Necessidade de:**

- Observar a frequência de Amostragem

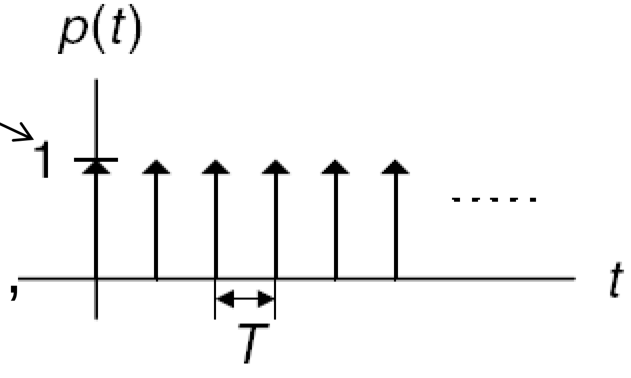
# Tipos de Sinais

- **Amostragem: Domínio do Tempo**
  - Sinal em tempo contínuo $x(t)$




  - Aplicar um trem* de impulsos $p(t)$, em períodos $T$

Impulso unitário
(periódica)




  - Período (*Hertz*) é dado por: $T = \dfrac{1}{f}$ ,

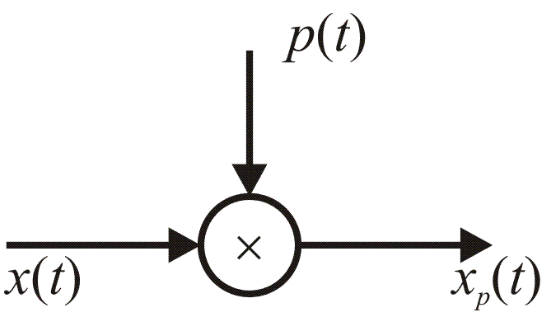
em que $f$ é a frequência

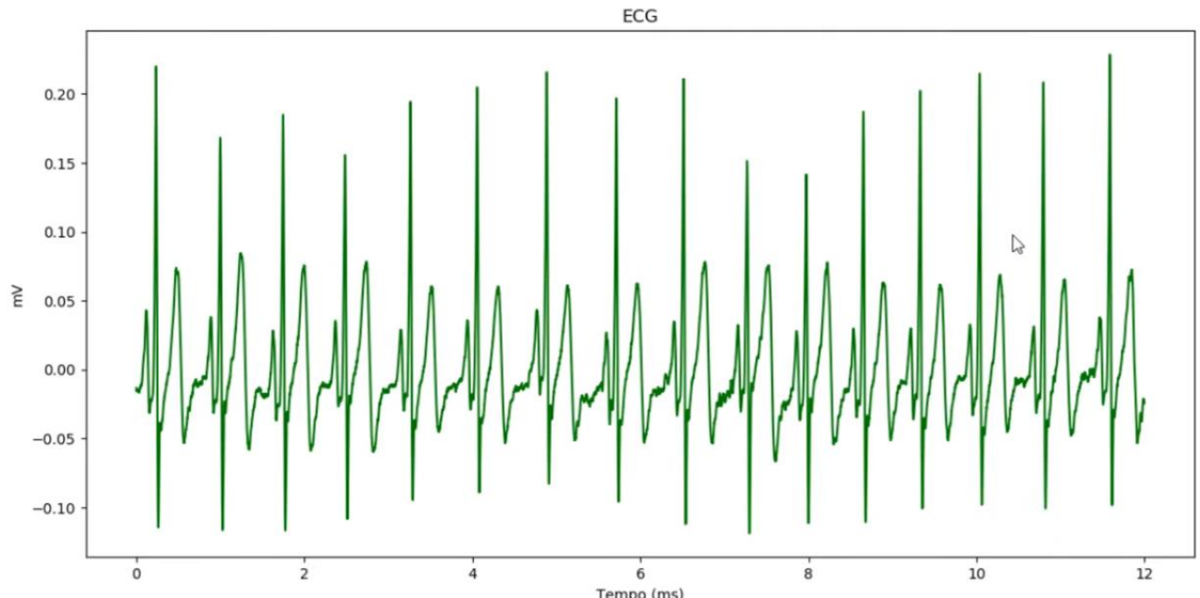
*Função de amostragem, representada pelo símbolo Ш (letra cirílica *sha*) - Pente de Dirac (Físico Paul Adrien Maurice Dirac)

# Tipos de Sinais

## Amostragem: Domínio do Tempo

- Sinal Amostrado $x_p(t)$: Produto entre $x(t)$ e $p$(t)




- Na qual,

Frequência de *1000 Hz*

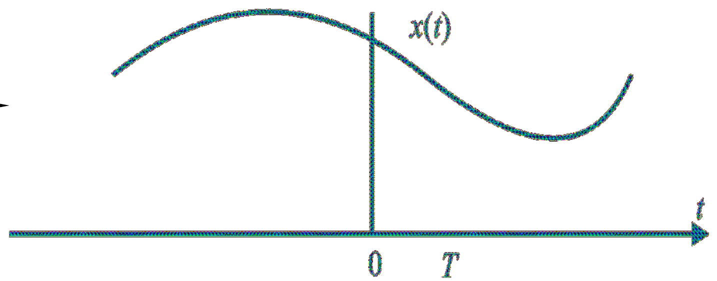
  - $x(t)$ sinal entrada, tempo contínuo
  - $p(t)$ função de amostragem ou trem de impulsos (*1 amostra a cada 0,001s*)
  - $x_p(t)$ sinal amostrado no tempo discreto

# Tipos de Sinais

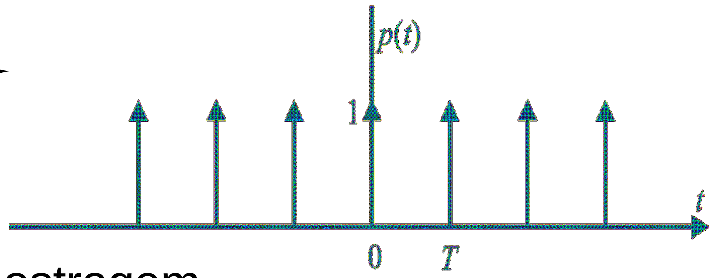
## Amostragem: Domínio do Tempo

- Sinal Amostrado $x_p(t)$: Produto entre $x(t)$ e $p(t)$

  - $x(t)$, sinal contínuo em $t$



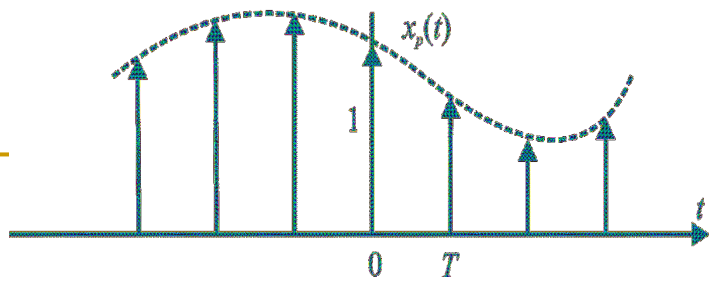

  - $p(t)$, trem de impulsos
    - Intervalo $T$, período de amostragem




Em *Hertz*: $T = \dfrac{1}{f}$, sendo $f$ a frequência

Em radianos por amostra: $\omega_s = \dfrac{2\pi}{T}$, frequência de amostragem

  - $x_p(t)$, sinal amostrado



# Digitalização

- Definir apropriadamente a frequência de amostras
  - **Sinal** contínuo ⇨ **recuperado** a partir dos valores amostrados
  - Considerar
    - **Frequência espacial** de amostragem ($F_a$) ($\Delta x$: intervalo em $x$)

$$F_a = 1/\Delta x$$

    - Teorema da amostragem de **Nyquist-Shannon**:
      - Sinal pode ser totalmente reconstruído se ⇨ $\Delta x \leq 1/2B$

ou $F_a \geq 2B$

    - $f(x)$ tem banda limitada no domínio da frequência [-B,B], sendo B um número real.
      - **Sinal $f(x)$ com banda limitada**: a Transformada de Fourier F(*u*) fornece valores muito baixos para *u* fora do intervalo [-B,B].

---

- **Na prática: Pelo menos uma amostra a cada meio período do sinal**

# Digitalização

- **O limite de amostragem $\frac{1}{2B}$ conhecido como:**
  - **Limite de Nyquist (1928)**

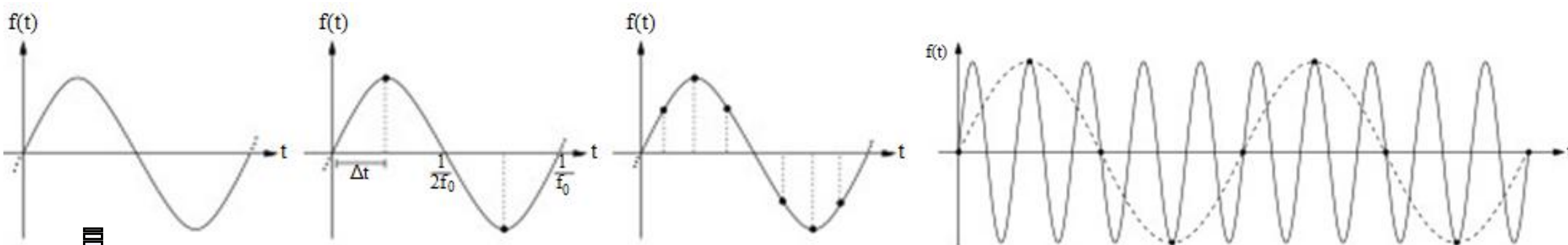
- Aplicou nas áreas de telefonia e telegrafia

- **Mostrou que não era necessário transmitir o sinal de voz completo para que a conversação fosse compreendida**

Dica: https://www.youtube.com/watch?v=QUEw6JT-BQc

# Digitalização

- Caso $\Delta x \leq \frac{1}{2B}$ não satisfeita: ***aliasing***
  - **Comprometimento da completa recuperação do sinal**
  - Exemplo: sinal $f(t) = a\,\text{sen}(2\pi f_0 t)$ , com frequência $f_0$ , amplitude *a* que varia no tempo *t*




Limite de Nyquist (1928)

4x o limite

Menor que o limite

Banda limitada
*f*(*t*):$[-f_0, f_0]$

**Na prática: Pelo menos uma amostra a cada meio período do sinal** $\Delta t \leq \frac{1}{2 f_0}$

# Digitalização

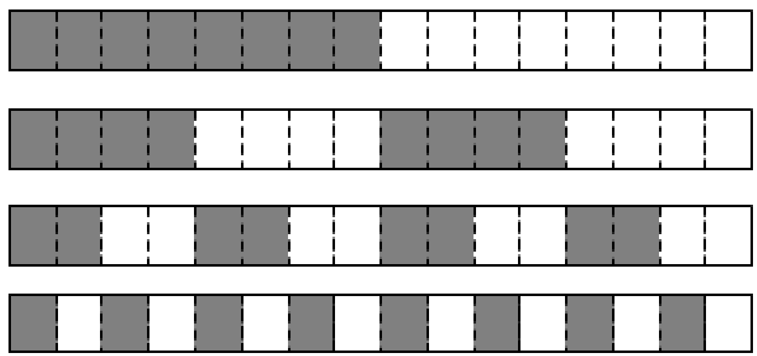
- Exemplo de frequência de amostragem

$B_1 = 2/16$

$B_2 = 4/16$

$B_3 = 8/16$

$B_4 = 16/16$



$\Delta x \leq \frac{1}{2B_1} = 4$

$\Delta x \leq \frac{1}{2B_2} = 2$

$\Delta x \leq \frac{1}{2B_3} = 1$

$\Delta x \leq \frac{1}{2B_4} = ½$

# Digitalização

- Extensão do teorema de Nyquist-Shannon

  - **Sinais *n*-dimensionais**

- Um sinal $f(x_1, x_2, \ldots x_n)$

  - Limite de Nyquist ⇨ imposto sobre **cada variável independente:**

$$\Delta x_1 \leq 1/2B_1, \ldots, \Delta x_n \leq 1/2B_n$$

  - $f(x, y)$ ⇨ banda limitada $2W_x$ e $2W_y$ ⇨ direções $x$ e $y$

  - **Sinal reconstruído se**: $\Delta x \leq 1/2W_x$ e $\Delta y \leq 1/2W_y$

# Digitalização

- Definição: **(Amostra igualmente espaçada: matriz)**

*Pixel (picture element)*

*x*

*y*

*f(x,y)*

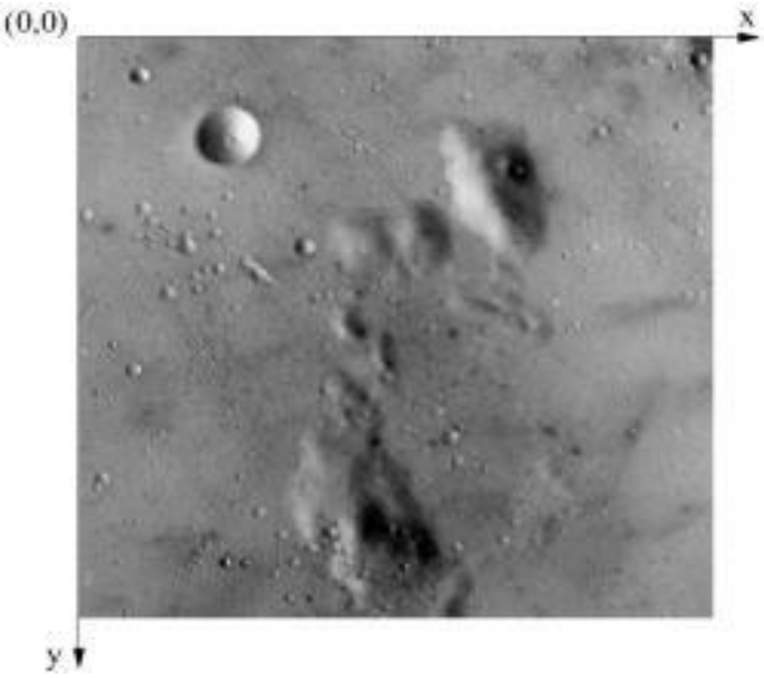
| | | | |
|---|---|---|---|
| *f(0,0)* | *f(1,0)* | ... | *f(0,M-1)* |
| *f(0,1)* | | ... | |
| | | ... | |
| | | ... | |
| *f(0,4)* | *f(2,4)* | ... | *f(N-1,M-1)* |

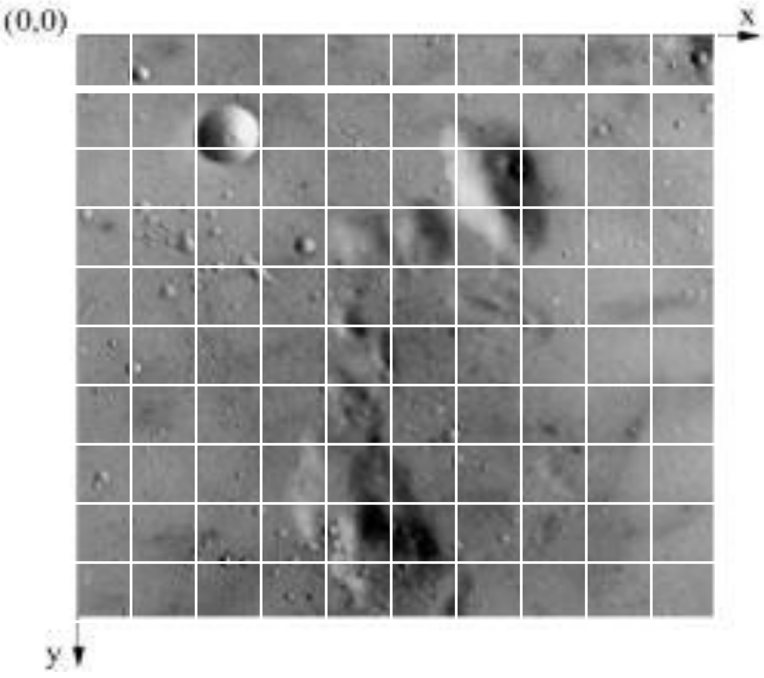
*Imagem Digital*

- Cada elemento $f(x,y)$: **nomeado pixel** (acrônimo do inglês *picture element*), com $0 \leq x \leq M - 1$ e $0 \leq y \leq N - 1$.

# Digitalização

- Exemplo:




- **Amostragem:** Discretização do domínio de definição da imagem nas direções $x$ e $y$

# Digitalização

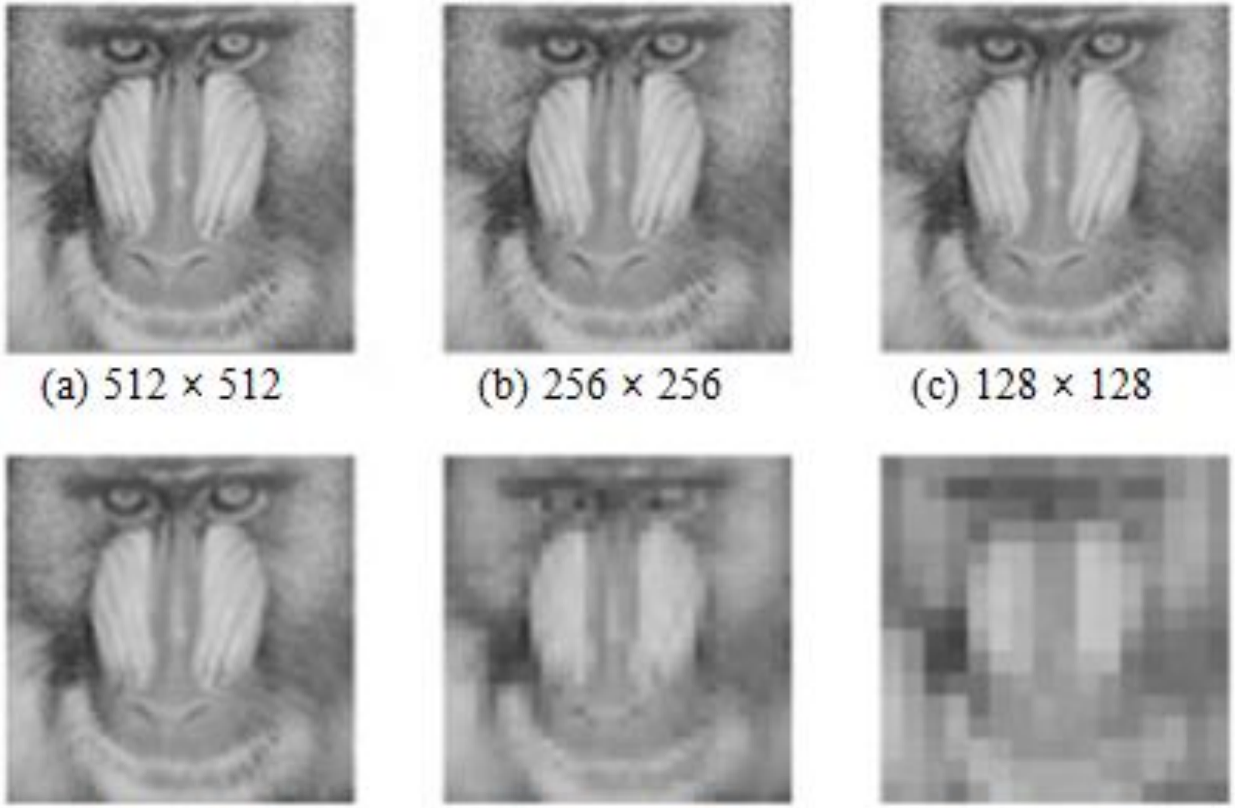
- Resolução espacial
  - Quanto menor o intervalo de amostragem ($\Delta x$) ⇨ maior a densidade de pixels e maior resolução espacial.

**Resolução espacial x Número de pixels**

- Exemplo:
  - 1ª. Imagem com 100x100 pixels: adquirida de uma área de 100cm x 100cm
  - 2ª. Imagem 50x50 pixels: adquirida de uma área de 20cm x 20cm
    - 1ª imagem – cada pixel 1cm x 1cm
    - 2ª imagem – cada pixel 0,4cm x 0,4cm

# Digitalização

- Amostragem Exemplos



(a) 512 × 512 (b) 256 × 256 (c) 128 × 128

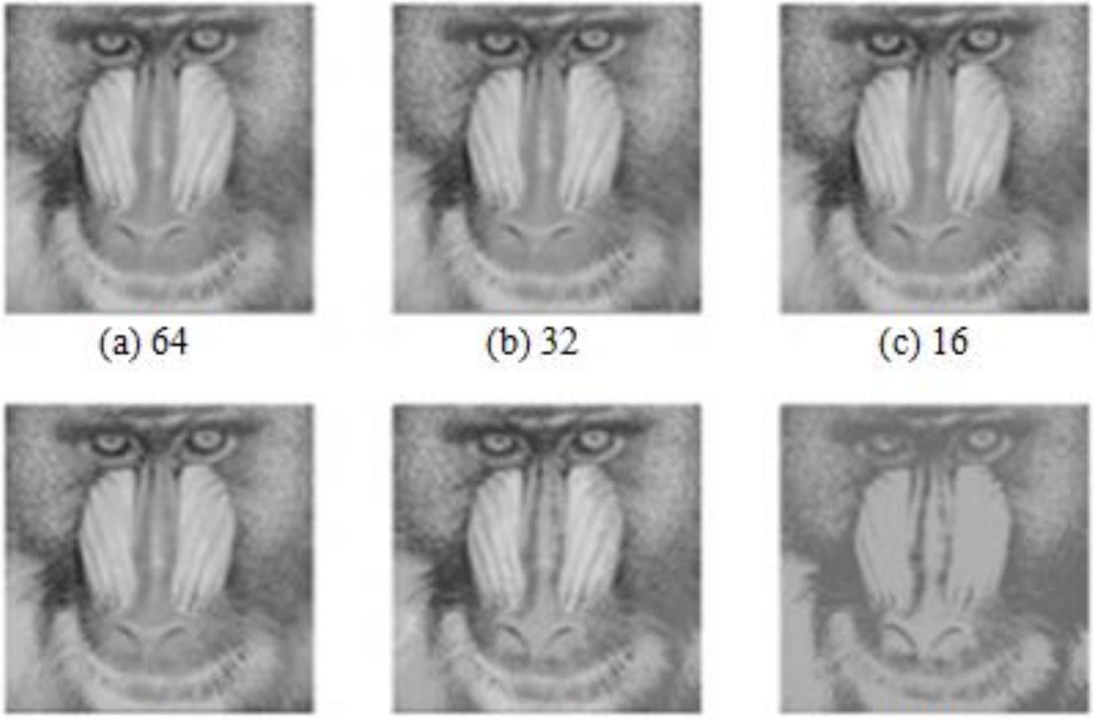
(d) 64 × 64 (e) 32 × 32 (f) 16 × 16

# Digitalização

- **Luminância**
  - Valor associado a cada pixel $L_{min} \leq f(x,y) \leq L_{max}$
  - Convenção:
    - preto = $L_{min}$ (0)
    - branco = $L_{max}$ (255, por exemplo)

# Digitalização

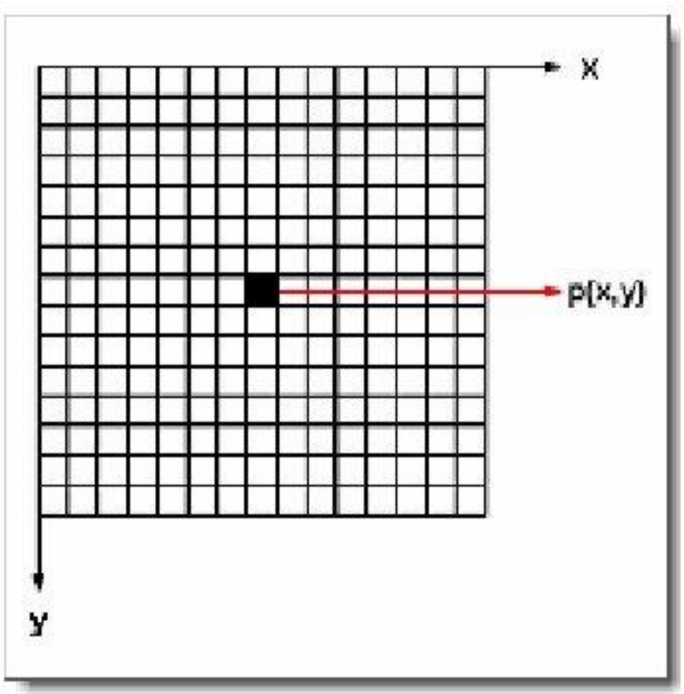
- Profundidade da Imagem (**Taxa de Quantização**)
  - Definida pelo Número de níveis de cinza L
    - Em que, $L = 2^b$
  - Exemplo:
    - $L = 64 = 2^6$
      - 6 bits por pixel



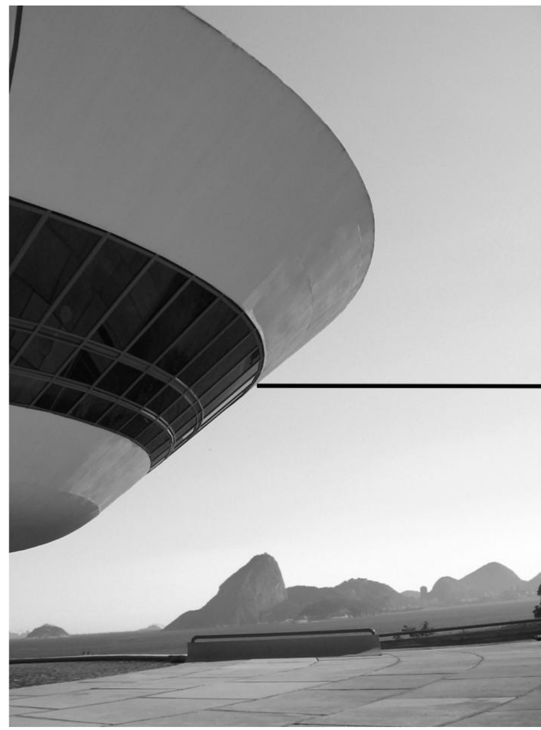
(a) 64 (b) 32 (c) 16

(d) 8 (e) 4 (f) 2

# Digitalização




Reticulado uniforme da representação matricial da imagem.



Quantização ou Profundidade: 8 bits

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 47 | 52 | 64 | 132 | 153 |
| 51 | 58 | 121 | 149 | 142 |
| 49 | 99 | 143 | 144 | 164 |
| 94 | 135 | 161 | 170 | 199 |
| 138 | 165 | 180 | 212 | 213 |

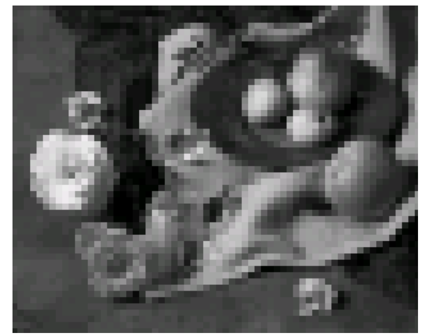
Visualização da Profundidade

# Digitalização

- Relação


315x260 – 256 cores

Amostragem



64x53 – 256 cores

Profundidade

64x53 - 16 cores

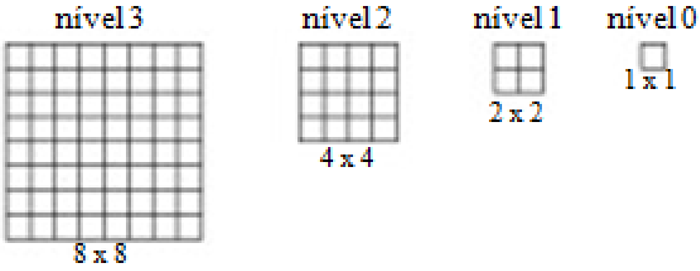
Codificação

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 15 | 10 | 12 | 13 | 5 | 15 | 15 |
| 15 | 15 | 10 | 09 | 11 | 15 | 15 |
| 15 | 15 | 13 | 12 | 10 | 15 | 15 |
| 15 | 15 | 08 | 06 | 12 | 15 | 15 |
| 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |

# Digitalização

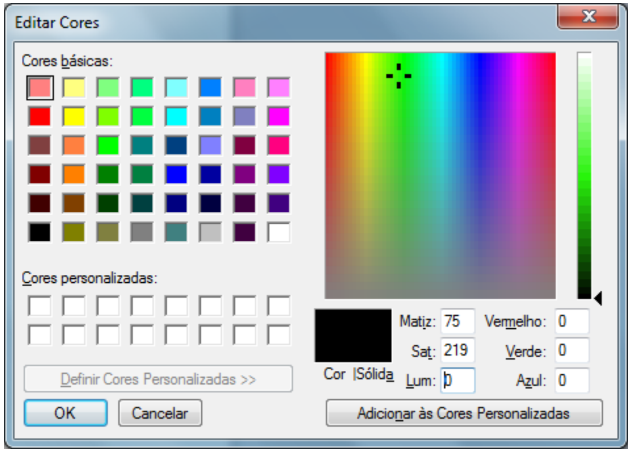
- **Representação de Imagens Digitais**
  - **Múltiplas resoluções** com uma **pirâmide**
    - Representações hierárquicas.

  - Exemplo, Imagem NxN
    - Imagem original
    - k versões reduzidas,
      - **normalmente N/2xN/2, N/4xN/4, ..., 1x1 (nível 0)**
    - Pixel em um nível representa informação agregada de vários pixels no nível seguinte
      - Diferentes critérios podem ser adotados para o processo de redução



# Imagem Multibanda ou Multiespectral

- Imagem monocromática:
  - Pixel com **valor escalar**: $L_{min} \leq f(x,y) \leq L_{max}$
- **Imagens multibandas ou multiespectrais**
  - Pixel associado ao **valor vetorial**:
    - $f(x,y) = (L_1, L_2, \ldots, L_n)$, em que $L_{min} \leq L_i \leq L_{max}$.
      - $L_i$ pode representar grandezas e intervalos diferentes
      - Representação de imagens coloridas
        - **Matiz (Hue)**: comprimento de onda dominante
        - **Saturação (Saturation)**: pureza do matiz
        - **Valor (value)**: brilho da luz
        - Ou, três cores primárias (**R, G, B**) com 1 byte por banda/pixel



# Imagem Multibanda ou Multiespectral

- Imagens Coloridas (Multibandas)
  - Cada *pixel* pode possuir $n$ bandas espectrais.
    - Uso de três bandas visíveis (RGB): imagem colorida aos olhos humanos.

**(a) Imagem Colorida**

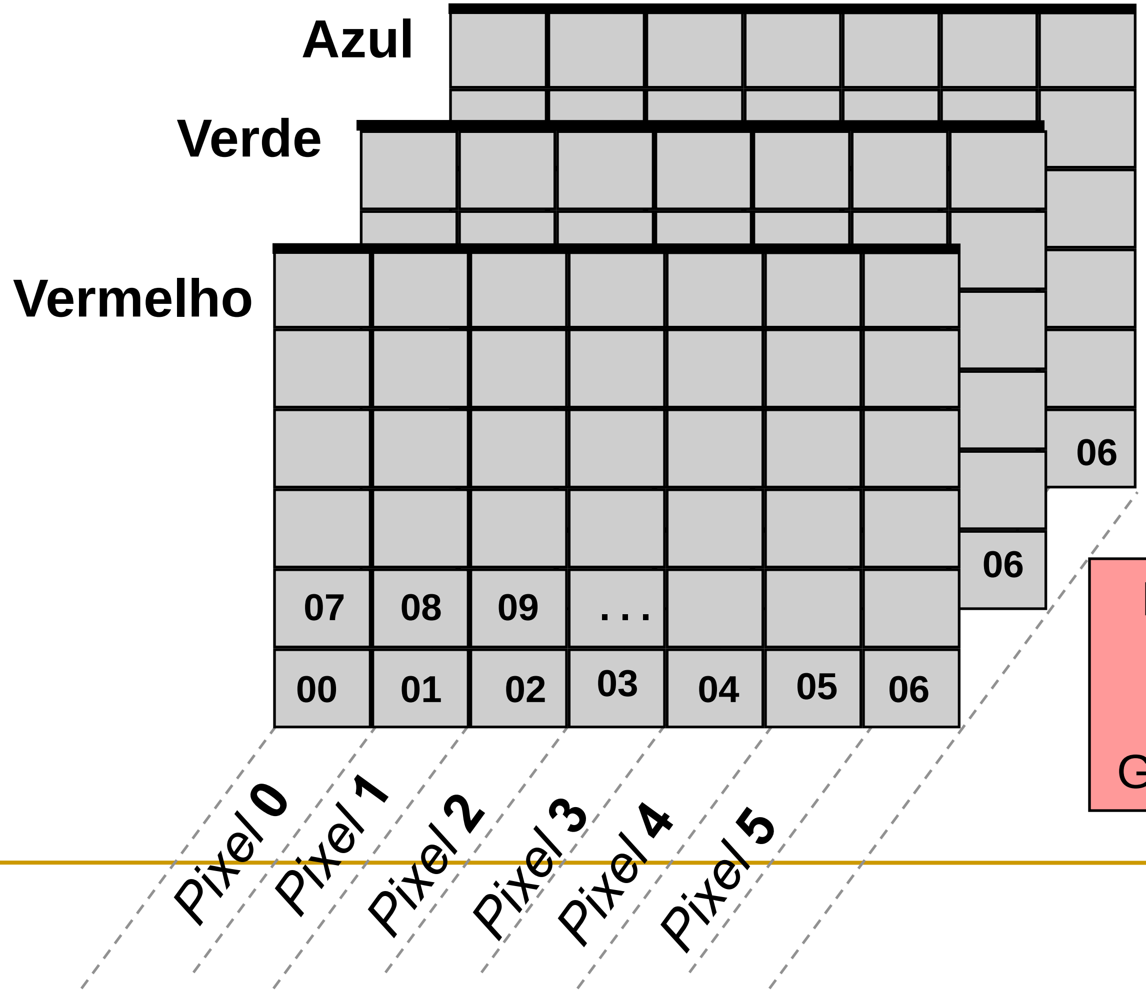
**(b) Banda Vermelha (Red)**

**(c) Banda Verde (Green)**

**(d) Banda Azul (Blue)**

# Imagem Multibanda ou Multiespectral

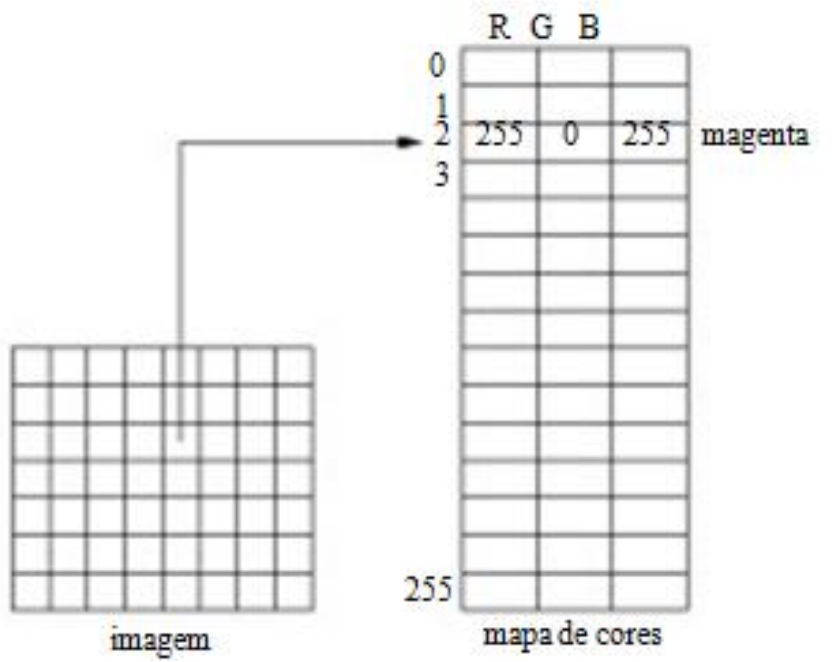
- Imagens Coloridas (Multibandas)
  - Profundidade: 1 byte por pixel para cada banda (24 bits por pixel)




RGB para Níveis de Cinza: Depende de pesos R(0.2989), G(0.5870) e B(0.1140)

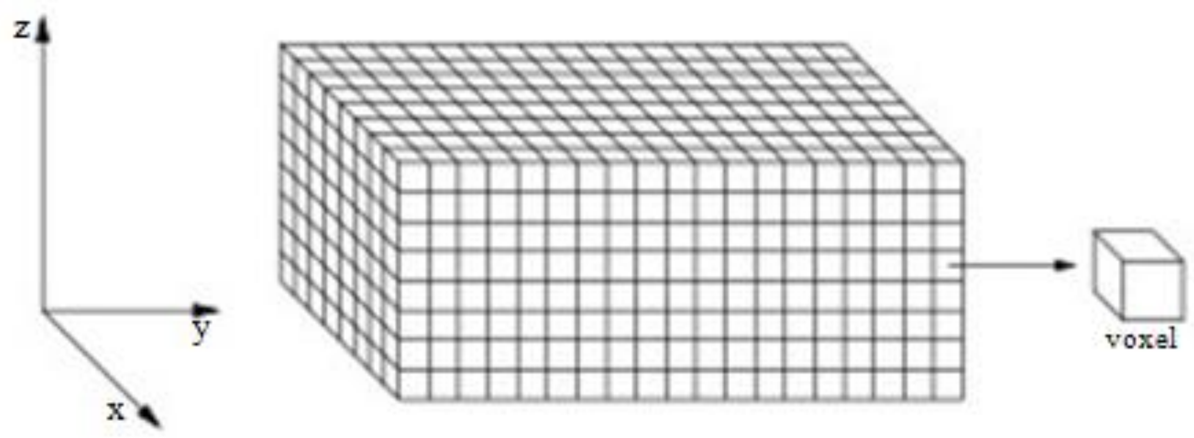
# Imagem Multibanda ou Multiespectral

- **Ou, por meio de uma mapa de cores**
  - Nível cinza: índice para um mapa de cores



# Imagem Multidimensional

- Extensão dos conceitos de amostragem e quantização para um **espaço *n*-dimensional**
  - Sequência de imagens no **eixo espacial *z* ou temporal *t***:
    - **Imagens Monocromáticas**
    - **Multibandas**
    - **Outras informações**

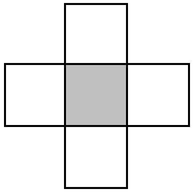


# Relacionamento entre Elementos de uma Imagem

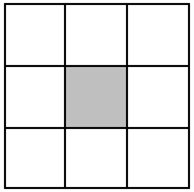
- Um elemento $f$ :
  - Matriz bidimensional: pixel $f(x,y)$
  - Matriz tridimensional: voxel $f(x,y,z)$
- **Relacionamentos entre elementos:**
  - Vizinhança
  - Conectividade
  - Adjacência
  - Caminho
  - Componentes Conexos
  - Borda e Interior

# Relacionamento entre Elementos de uma Imagem

- **Vizinhança-4:**
  - Quatro pixels vizinhos horizontais e verticais do pixel $f(x,y)$
  - Coordenadas: $N_4$ (f)
    - $(x + 1, y), (x - 1, y), (x, y + 1), (x, y - 1)$

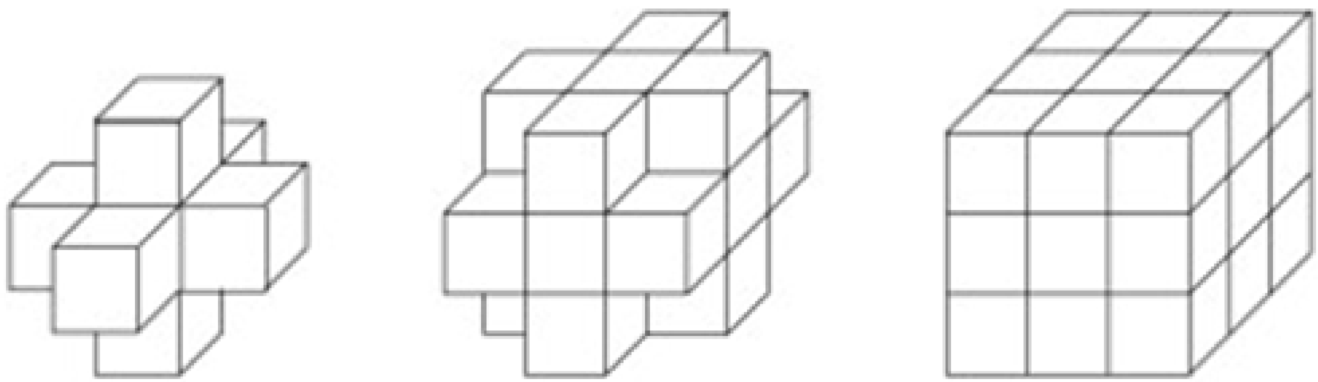


- **Vizinhança-8:**
  - Oito pixels vizinhos: horizontais, verticais e diagonais do pixel $f(x,y)$
  - $N_d$ (f)=$(x - 1, y - 1), (x - 1, y + 1), (x + 1, y - 1), (x + 1, y + 1)$
  - Coordenadas: $N_8$ (f)= $N_4$ (f) $\cup$ $N_d$ (f)



# Relacionamento entre Elementos de uma Imagem

- **Vizinhança para $f\,(x,y,z)$:**



Vizinhança-6 Vizinhança-18 Vizinhança-26

- Exemplo,
  - $N_d\,(f)=(x-1, y, z), (x+1, y, z), (x, y-1, z), (x, y+1, z), (x, y, z-1), (x, y, z+1)$

# Relacionamento entre Elementos de uma Imagem

- **Conectividade**
  - Elementos conexos, se:
    - ***Vizinhos***
    - Atendem algum ***critério de similaridade***,
      - Por exemplo, mesma profundidade (1)

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |

# Relacionamento entre Elementos de uma Imagem

- **Adjacência**

  - Dois elementos, $f_1$ e $f_2$ são adjacentes se:

    - **Conexos por alguma vizinhança**

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |

  - Dois conjuntos de pixels, $C_1$ e $C_2$ são adjacentes se:

    - **Pelo menos um elemento de C1 for adjacente a um elemento de C2.**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

# Relacionamento entre Elementos de uma Imagem

- **Caminho**
  - Sequência de pixels entre $(x_0,y_0)$ e $(x_n,y_n)$:
    - $(x_0,y_0)$, $(x_1,y_1)$, …, $(x_n,y_n)$, tal que:
      - $n$ é o comprimento do caminho
      - $(x_i,y_i)$ e $(x_{i+1},y_{i+1})$ **são adjacentes**

- Exemplos,
  - Caminho-4: comprimento 8

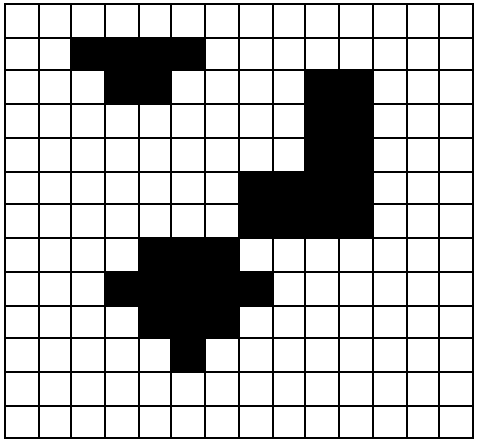
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |

  - Caminho-8: comprimento 6

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

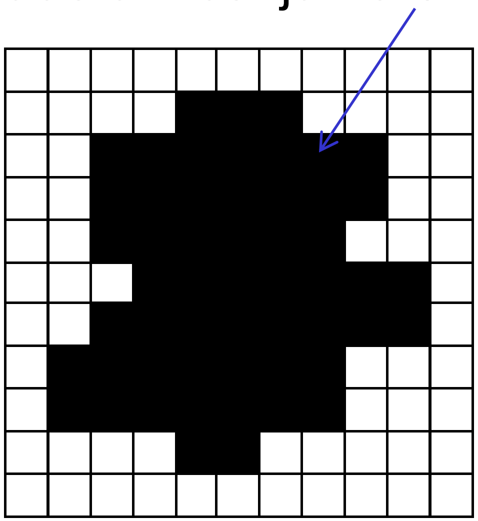
# Relacionamento entre Elementos de uma Imagem

- **Componentes Conexos**
  - Definição: Subconjunto de elementos *C* da imagem que são conexos entre si
    - Dois elementos, $f_1$ e $f_2$ são conexos se:
      - **Existir caminho de** $f_1$ a $f_2$ contido em *C*
      - 3 Componentes Conexos
        - **Se vizinhança-4**
      - 2 Componentes Conexos
        - **Se vizinhança-8**

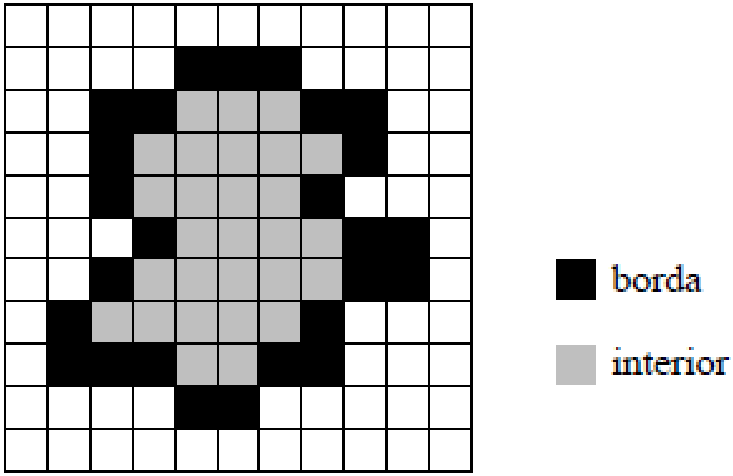


# Relacionamento entre Elementos de uma Imagem

- **Borda e Interior**
  - Dado um conjunto *C*



**Borda:**
Pontos no contorno do componente conexo C.




**Interior:**
Pixels de C que não estão em sua borda

# Medidas de Distância

- Considere os pixels:
  - $f1(x_1,y_1)$, $f2(x_2,y_2)$ e $f3(x_3,y_3)$

- Qualquer métrica de distância *D* deve satisfazer as seguintes propriedades:
  - $D(f_1, f_2) \geq 0 \qquad (D(f_1, f_2) = 0$ se, e somente se, $f_1 = f_2)$
  - $D(f_1, f_2) = D(f_2, f_1)$
  - $D(f_1, f_3) \leq D(f_1, f_2) + D(f_2, f_3)$

- Existem diferentes Métricas

# Medidas de Distância

- *Distância Euclidiana* ($D_E$) entre $f_1(x_1,y_1)$ e $f_2(x_2,y_2)$ é dada por:

$$\boxed{D_E(f_1, f_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}}$$

- Pixels $D_E$ menor ou igual a algum valor $d$ **formam um disco** de **raio *d* centrado em $f_1$**
  - Exemplo, considerando $D_E \leq 3$ de um ponto central ($x$,$y$), temos:

$$\begin{array}{ccccccc}
 & & & 3 & & & \\
 & 2\sqrt{2} & \sqrt{5} & 2 & \sqrt{5} & 2\sqrt{2} & \\
 & \sqrt{5} & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & \\
3 & 2 & 1 & 0 & 1 & 2 & 3 \\
 & \sqrt{5} & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & \\
 & 2\sqrt{2} & \sqrt{5} & 2 & \sqrt{5} & 2\sqrt{2} & \\
 & & & 3 & & &
\end{array}$$

# Medidas de Distância

- *Distância* ($D_4$) ou *City-block* entre $f_1(x_1,y_1)$ e $f_2(x_2,y_2)$ é dada por:

$$\boxed{D_4(f_1, f_2) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|}$$

- Pixels $D_E$ menor ou igual a algum valor $d$ formam um **losango centrado em $f_1$**
  - Pontos com distância 1 são os pixels com vizinhança-4 do ponto central.
  - Exemplo, considerando $D_E \leq 3$ de um ponto central ($x$,$y$), temos:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 3 | | | |
| | | 3 | 2 | 3 | | |
| | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | |
| 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | |
| | | 3 | 2 | 3 | | |
| | | | 3 | | | |

**Caminho mais curto entre esses pixels, considerando vizinhança-4**

# Medidas de Distância

- *Distância* ($D_8$) ou *Chessboard* entre $f_1(x_1,y_1)$ e $f_2(x_2,y_2)$ é dada por:

$$\boxed{D_8(f_1, f_2) = \max(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|)}$$

- Pixels $D_E$ menor ou igual a algum valor *d* formam um **quadrado centrado em $f_1$**
  - Pontos com distância 1 são os pixels com vizinhança-8 do ponto central.
  - Exemplo, considerando $D_E \leq 3$ de um ponto central (*x*,*y*), temos:

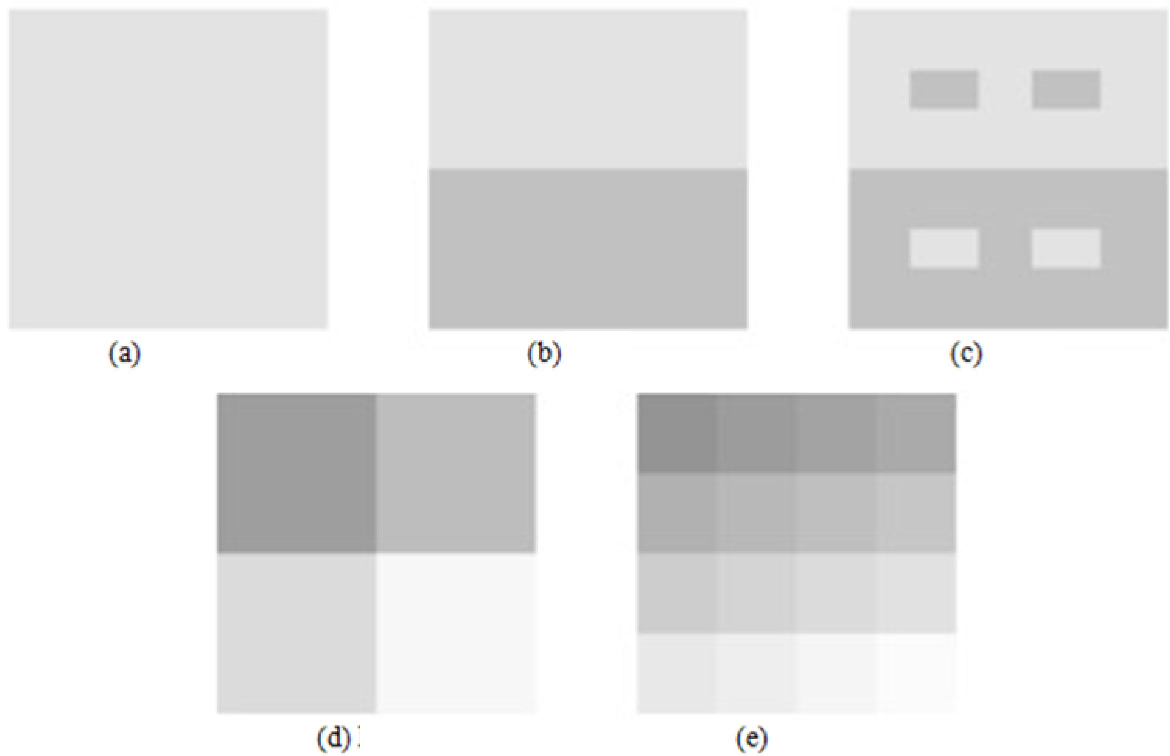
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

**Caminho mais curto entre esses pixels, considerando vizinhança-8**

# Exercícios

1. Qual a diferença entre resolução espacial e profundidade de uma imagem?
2. Qual o tamanho de uma imagem gerada pela amostragem de uma região de 200x300cm$^2$ em intervalos de 0,1mm na direção x e 0,2 mm na direção y?
3. Qual a profundidade em bits de uma imagem com 8192 níveis de cinza?
4. Considere um protocolo de transmissão de dados consistindo em pacotes com um bit de início, 8 bits de informação e um bit de parada. Qual o tempo (em segundos) necessário para se transmitir uma imagem de 1024x1024 pixels com 256 níveis de cinza à taxa de transmissão de 9600 bits/segundo?
5. Diferencie os conceitos de amostragem e quantização no processo de digitalização de imagens.
6. Escreva uma programa para reproduzir as imagens apresentadas no slide 41. Considere que as imagens têm dimensões: 256x256 com 256 níveis de profundidade. Em seguida, o programa deve ser capaz de apresentar a taxa de amostragem e a profundidade de cada imagem.

# Exercícios



# Exercícios

7. Sabe-se que o ser humano é capaz de ouvir sons cujas frequências variam entre 20 Hz e 20 kHz. Portanto, segundo o teorema de Nyquist, para que todas as frequências audíveis sejam registradas, qual a taxa de amostragem que deve ser aplicada?

# Exercícios

8. Mostre que a distância D4 (city-block) entre dois pontos *p* e *q* é igual ao caminho-4 mais curto entre estes pontos. Esse caminho é único?

9. A distância semi-Euclidiana entre dois pontos bidimensionais f1 e f2 é definida como:

$$D_{(f_1,f_2)} = \begin{cases} |x_1 - x_2| + (\sqrt{2} - 1)|y_1 - y_2|, & \text{se } |x_1 - x_2| > |y_1 - y_2| \\ (\sqrt{2} - 1)|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

10. Compare a distância semi-Euclidiana com as distâncias Euclidiana, city-block e chessboard.

# Exercícios

11. Dados os dois subconjuntos de imagem S1 e S2 abaixo, determinar se S1 e S2 estão conectados por meio de (i) vizinhança-4 e (ii) vizinhança-8.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

$S_1$ (6 primeiras colunas) $S_2$ (4 últimas colunas)

12. Considerando a região R = S1 ∪ S2 (conjuntos da questão 11), quantos componentes conexos (representados pelo pixel 1) existem em R com vizinhança-4 e com vizinhança-8?

# Exercícios

13. Considere as imagens produzidas no Exercício 6 e implemente um programa para realizar a rotulagem de componentes conexos (cluster/aglomerado). A rotulagem deve ser realizada por meio do “Hoshen–Kopelman algorithm”. O programa deve fornecer o total de componentes conexos e os rótulos atribuídos em cada região da imagem dada como entrada. Use vizinhança-8 como critério. Por fim, considerando a imagem (e) após a rotulagem, o programa deve apresentar as distâncias ($D_E$, $D_4$ e $D_8$) entre os centros de dois componentes conexos (definidos (sorteados) aleatoriamente).

# Referências


1. Pedrini, H., Schwartz, W. R. Análise de Imagens Digitais: Princípios Algoritmos e Aplicações. São Paulo: Thomson Learning, 2008.

   **Leitura: Capítulo 2, tópicos 2.1 a 2.8; tópicos 2.11.1 a 2.11.7**

2. González, R. C., Woods, R. E. Processamento de Imagens Digitais. São Paulo: Edgard Blücher ltda, 2000.

   **Leitura: Capítulo 2, tópicos 2.2 a 2.4.3; tópico 2.5**

3. Marques Filho, O., Vieira Neto, H. Processamento Digital de Imagens, Rio de Janeiro: Brasport, 1999.