

Universidade Federal do Rio de Janeiro

-

IM/DCC & NCE



Tratamento da Imagem
Transformações (cont.)

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

Tratamento de Imagens - Sumário Detalhado

- Objetivos
- Alguns Conceitos Básicos
 - ✓ Transformações Lineares
 - ✓ Convolução e Correlação de Funções
 - ✓ Transformada de Fourier
 - ✓ Transformada Bidimensional de Fourier
- **Transformadas em Imagens**
 - ✓ Transformadas Geométricas
 - ✓ Transformadas Radiométricas
 - ✓ Transformadas Morfológicas
 - ✓ Outras Transformadas

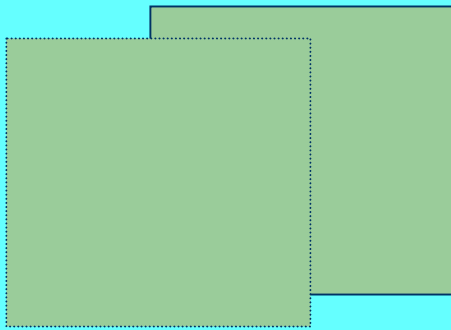
Transformações Geométricas

Transformações Geométricas

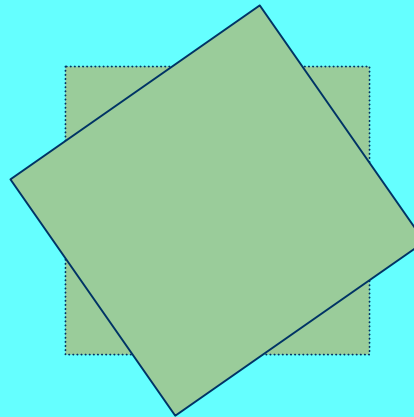
- Transformações geométricas são operações que redefinem a relação espacial dos pontos de uma imagem.
 - ✓ Importância:
 - Eliminação de distorções sistemáticas
 - ✓ Requisitos
 - Conhecimento das distorções existentes
 - Escolha do modelo matemático adequado

Exemplos de Transformações Geométricas

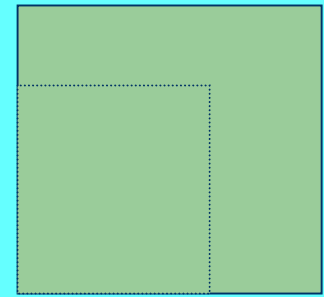
Translação



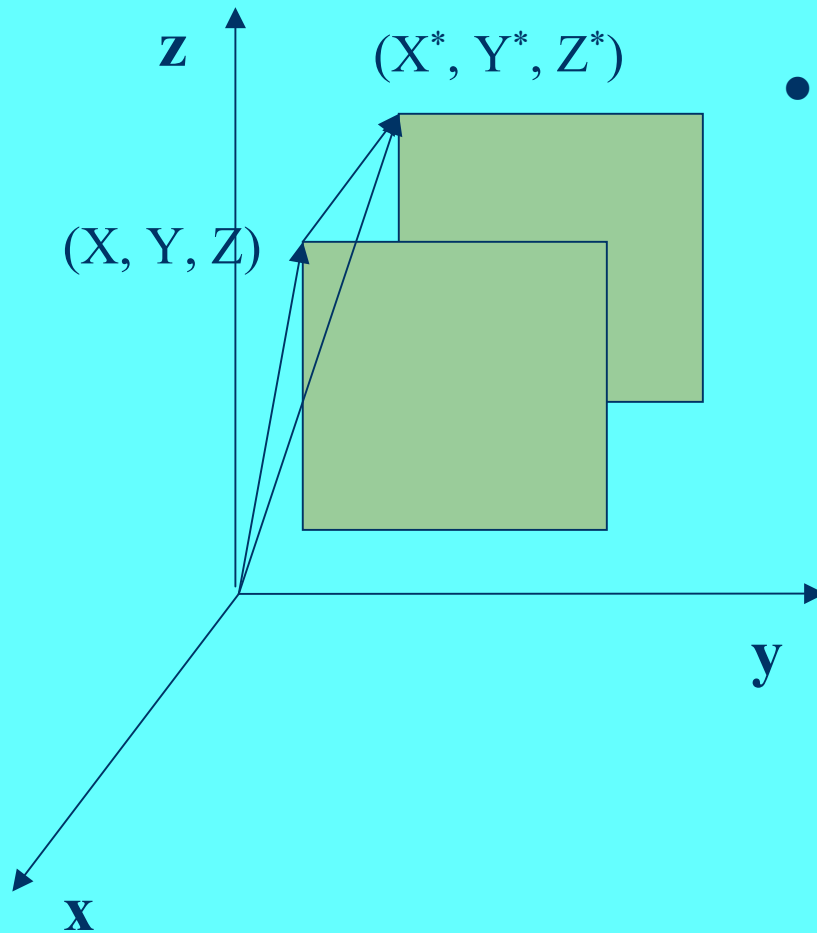
Rotação



Escala



Translação



- A idéia é transladar um ponto de coordenadas (X, Y, Z) para uma nova posição, usando-se o deslocamento (X_0, Y_0, Z_0) .
- A translação é facilmente realizada através do uso das equações:
$$X^* = X + X_0$$
$$Y^* = Y + Y_0$$
$$Z^* = Z + Z_0$$
- X^*, Y^*, Z^* são as coordenadas do novo ponto.

Translação na Forma Matricial

- As equações podem ser expressas em forma matricial

$$\begin{bmatrix} X^* \\ Y^* \\ Z^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_0 \\ 0 & 1 & 0 & Y_0 \\ 0 & 0 & 1 & Z_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

- O uso de matrizes quadradas simplifica consideravelmente a representação do processo. Sendo assim pode-se escrever:

$$\begin{bmatrix} X^* \\ Y^* \\ Z^* \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_0 \\ 0 & 1 & 0 & Y_0 \\ 0 & 0 & 1 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

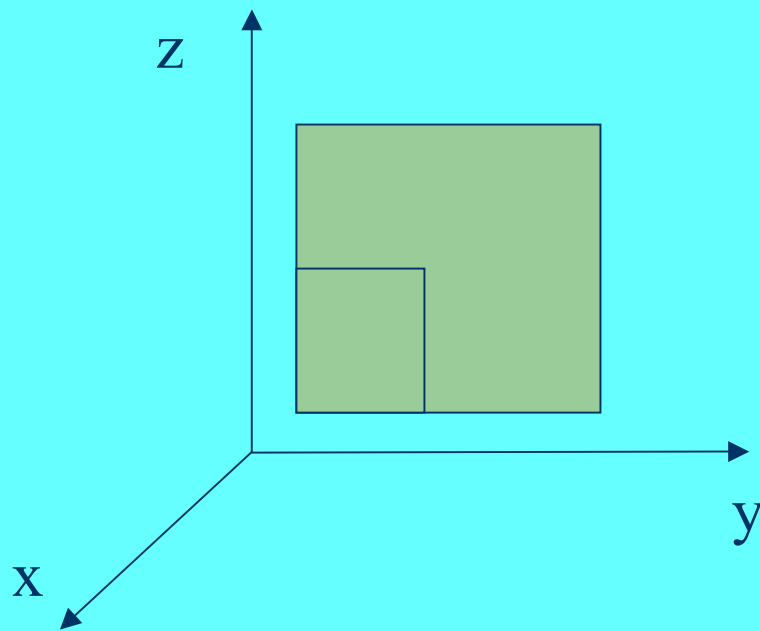
As matrizes acima são equivalentes.

- Então, a matriz de transformação é dada por:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_0 \\ 0 & 1 & 0 & Y_0 \\ 0 & 0 & 1 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Transformação de Escala de um Ponto Isolado

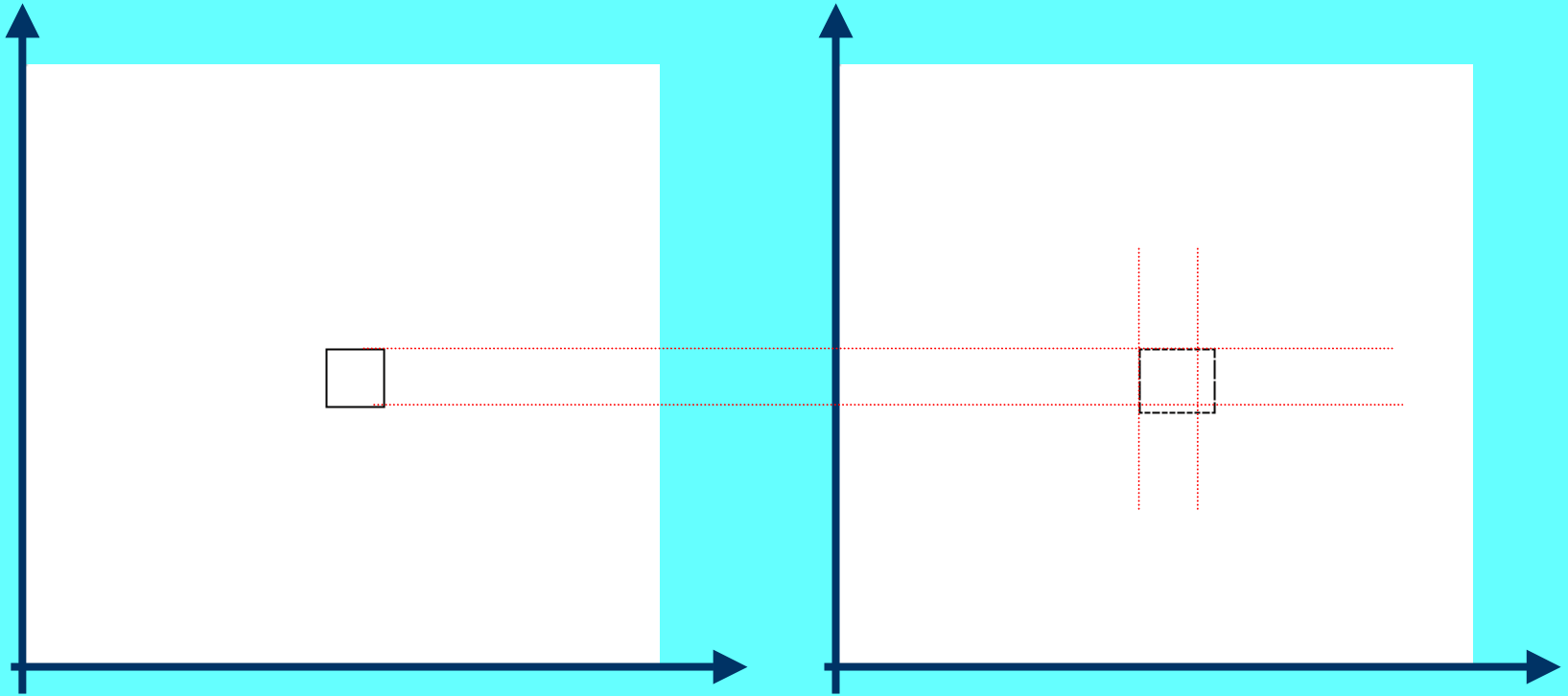
- A transformação de escala pelos fatores S_x , S_y , e S_z ao longo dos eixos X, Y, e Z é dado pela matriz de transformação:



$$S = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$P^* = S.P$$

Transformação de Escala de um Ponto Isolado



$$P^* = \begin{bmatrix} 1.1 & 0 & 0 \\ 0 & 1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot P$$

Transformação de Escala de uma Imagem

- O redimensionamento de imagens em níveis de cinza difere da operação de mudança de escala para pontos isolados.
- Nesta operação o novo valor de cinza do pixel transformado será o resultado de um cálculo sobre vários pixels da imagem original (vizinhança) - **Reamostragem (resampling)**.
- São três os principais métodos de interpolação utilizados para a reamostragem dos pixels para a produção de uma nova imagem a partir da imagem original.
 - ✓ Vizinho mais próximo (Nearest Neighbor) ou Ordem Zero
 - ✓ Bilinear
 - ✓ Bicúbica

Interpolação do Vizinho mais Próximo

- O valor do nível de cinza a ser atribuído ao pixel na imagem destino, (i', j') , terá o mesmo valor do nível de cinza (contraste) do pixel mais próximo da posição na imagem original, (i, j) .
- Se a imagem original tem dimensões w e h a imagem destino tem w' e h' , então um ponto na imagem destino será dado pelas expressões a seguir:

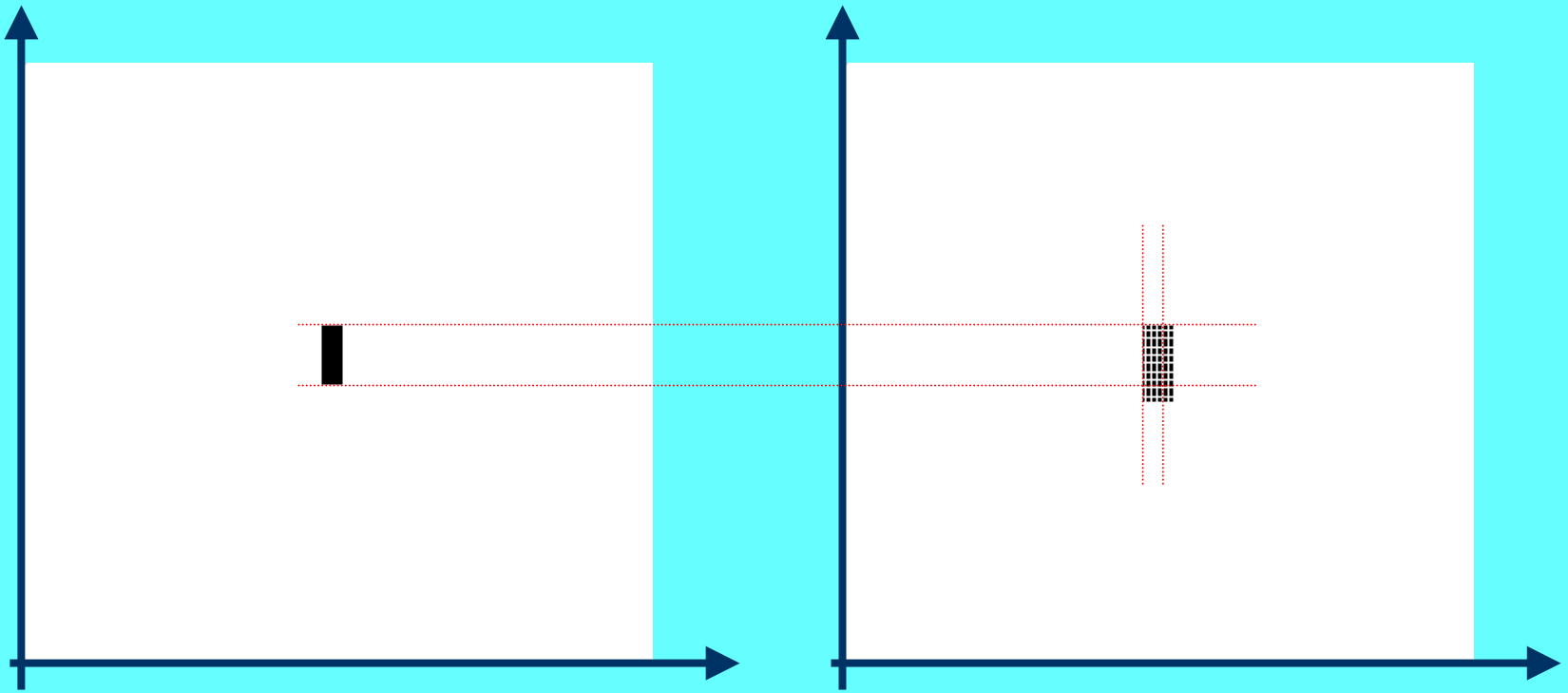
$$i' = i * w' / w$$

$$j' = j * h' / h$$

Interpolação do Vizinho mais Próximo ...

- É um processo rápido, de fácil implementação, não alterando os valores originais de cinza (contraste).
- Podem ocorrer descontinuidades geométricas (lacunas de ordem de $1/2$ "pixel" na imagem corrigida); A imagem poderá ficar, nos limites de áreas contínuas, ou nos lineamentos com aspecto "em escadinha".
- É o método recomendado quando a imagem resultante será usada para estudos radiométricos, classificação automática, enfim, processamentos onde a radiometria da imagem deve estar minimamente afetada ou alterada.

Vizinho mais Próximo

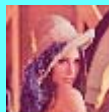


$$P^* = \begin{bmatrix} 1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 1.5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot P$$

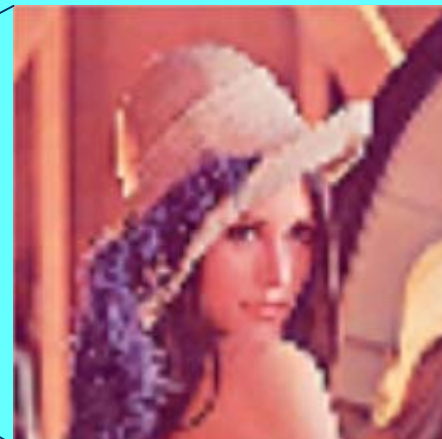
Exemplo de Reamostragem (Redução) Usando Interpolação do Vizinho mais Próximo



256x256



64x64



Interpolação Bilinear

- O valor do nível de cinza a ser atribuído ao pixel na imagem destino é determinado a partir do valor dos 4 pixels vizinhos na imagem original.
- Requer maior número de cálculos para determinar o valor de cada pixel de imagem corrigida.
- Altera o valor original dos níveis de cinza (contraste).

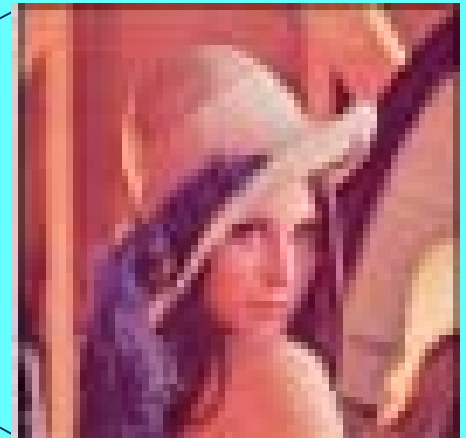
Exemplo de Reamostragem (Redução) Usando Interpolação Bilinear



256x256



64x64



Interpolação Bicúbica

- O nível de cinza a ser atribuído ao pixel na imagem destino é determinado a partir de cálculos realizados numa matriz de 16 pixels na sua vizinhança.
- A qualidade da imagem resultante é nitidamente superior as duas opções anteriores pois os lineamentos e as beiras dos objetos ficam conservados, porém um pouco suavizados.

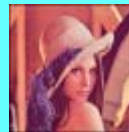
Interpolação Bicúbica

- Requer maior tempo de computação e provoca a degradação da qualidade radiométrica dos dados.
- O cálculo do novo valor digital do pixel corrigido é feito por média ponderada não linear.
- É recomendado para produtos que se destinam a interpretação visual, ou ampliação em produtos fotográficos.

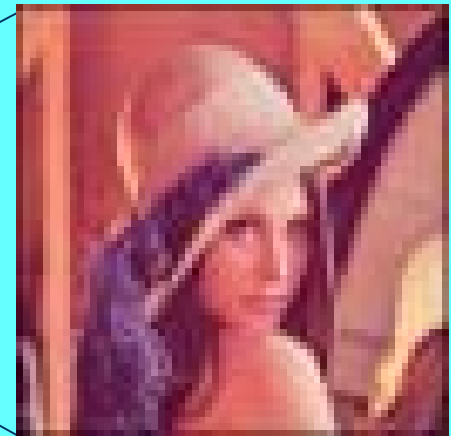
Exemplo de Reamostragem (Redução) Usando Interpolação Bicúbica



256x256



64x64

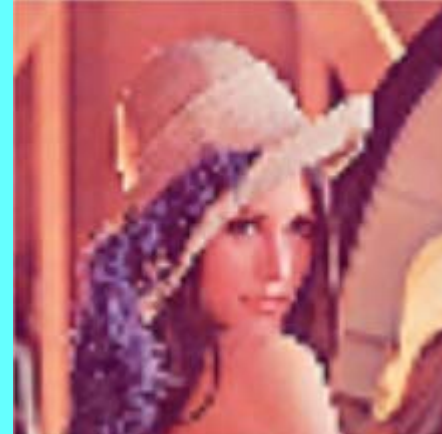


Exemplos de Interpolação – Comparação

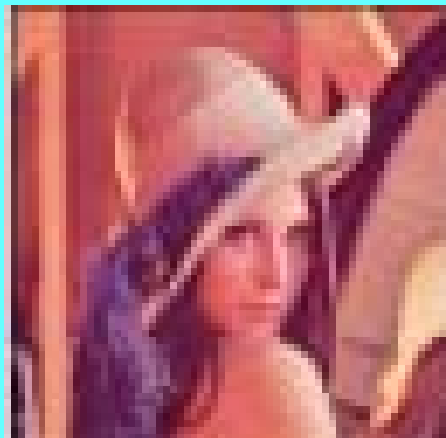
Original
256x256



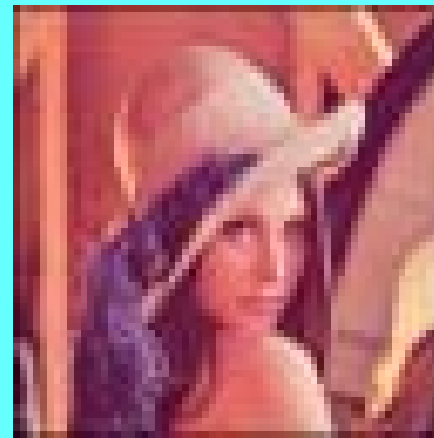
Vizinho
mais Próximo



Bilinear



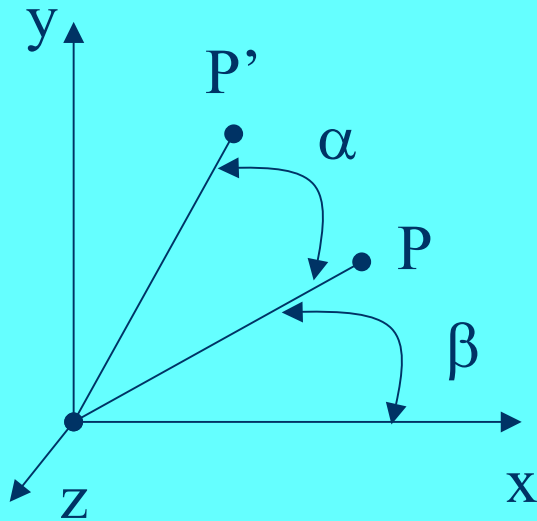
Bicúbica



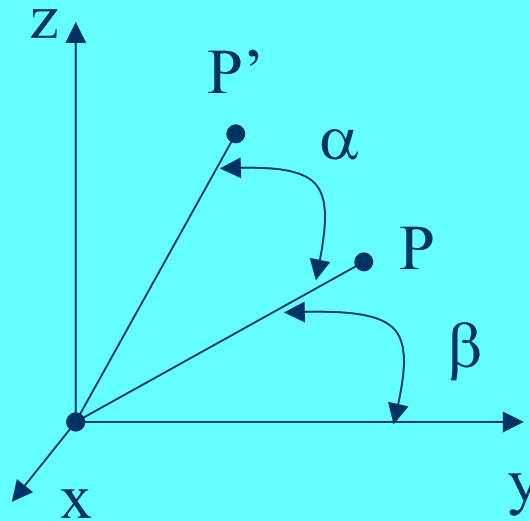
64x64

Rotação

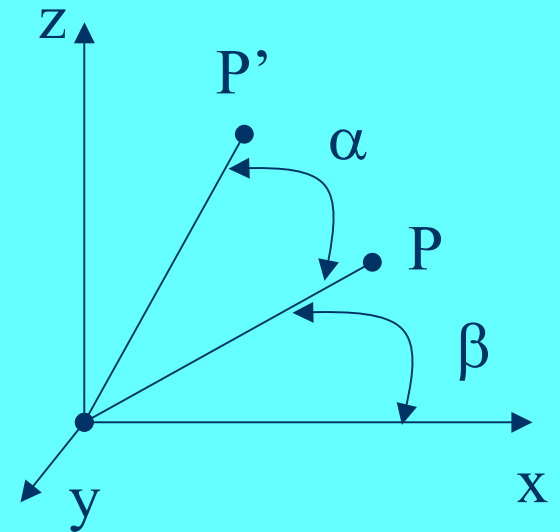
- Deve-se convencionar o sistema de eixos



Rotação em torno do eixo z



Rotação em torno do eixo x



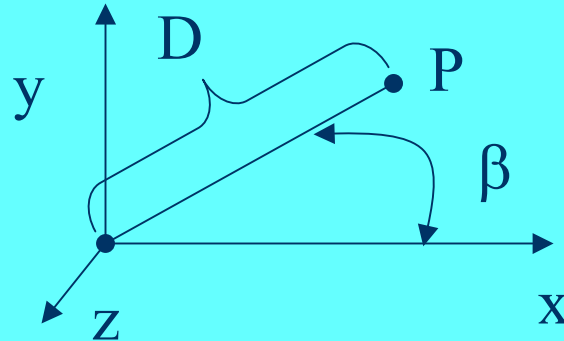
Rotação em torno do eixo y

Equações para Rotação em torno de z

- Supondo que a distância do ponto P à origem seja D, tem-se:

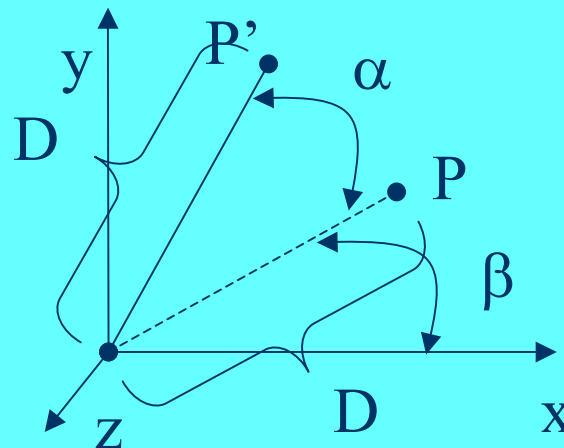
$$x = D \cos (\beta)$$

$$y = D \sin (\beta)$$



$$x' = D \cos (\alpha + \beta)$$

$$y' = D \sin (\alpha + \beta)$$



Forma Matricial da Rotação em torno do Eixo Z

- Da trigonometria, tem-se:

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos(\alpha) \cos(\beta) - \sin(\alpha) \sin(\beta)$$

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin(\alpha) \cos(\beta) + \sin(\beta) \cos(\alpha)$$

- O que resulta em:

$$x' = x \cos(\alpha) - y \sin(\alpha)$$

$$y' = x \sin(\alpha) + y \cos(\alpha)$$

- Na forma Matricial

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

Transformações Radiométricas

Transformações Radiométricas

- São técnicas que modificam a distribuição dos níveis de cinza de uma imagem preservando os contornos.
- Independem da localização dos pixels na imagem e podem ser representadas por uma operação que transforma um valor do nível de cinza (de um pixel) em um outro nível de cinza diferente.

Operações Radiométricas

- Tem basicamente duas aplicações para transformações radiométricas:
 - ✓ Realce de Contraste - Procura enfatizar alguma característica de interesse da imagem.
 - ✓ Restauração - Visa corrigir alguma distorção sofrida pela imagem.
- Quando uma imagem sofreu uma distorção que diminuiu seu contraste, uma transformação que realce as bordas dos objetos das imagens pode, de fato, a restaurar.

Operações Radiométricas

- Embora muitas das técnicas de restauração e realce sejam as mesmas (por exemplo, filtragem), os objetivos e enfoques divergem num e noutro caso. O procedimento geral da restauração é a modelagem do processo de distorção para tentar invertê-lo. No realce esta preocupação não existe, pois nele as técnicas utilizadas são na maioria heurísticas, não havendo compromisso com a imagem original.

Realce de Contraste

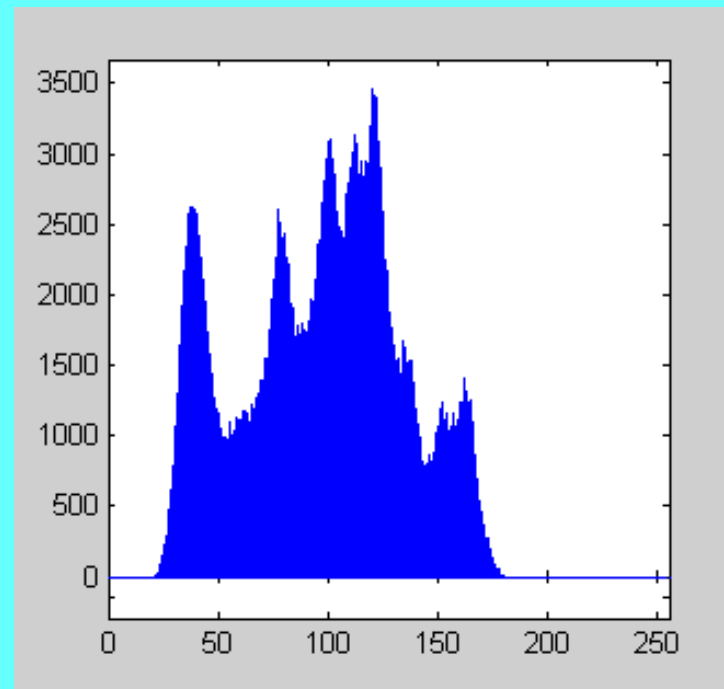
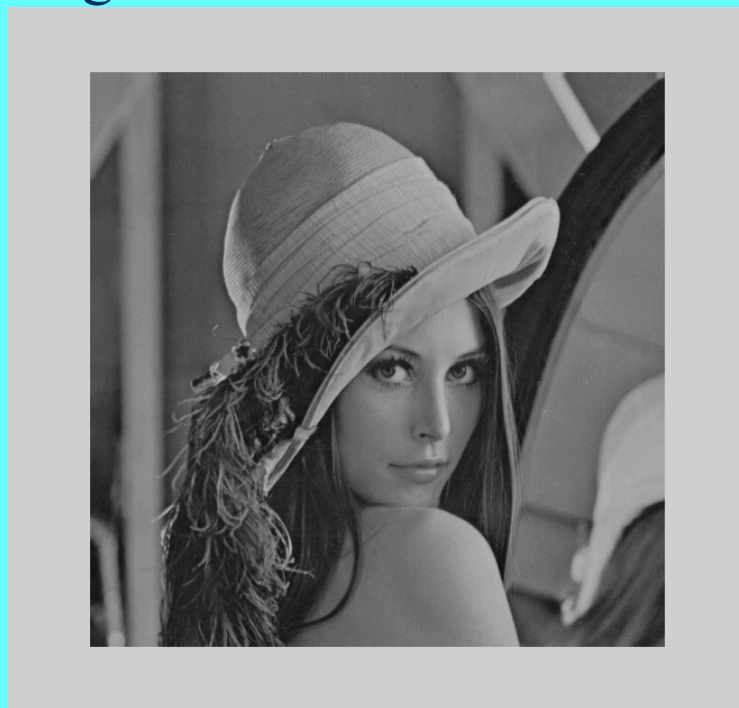
- A técnica de realce de contraste tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens.
- É normalmente utilizada como uma etapa de pré-processamento para sistemas de reconhecimento de padrões.
- O contraste entre dois objetos pode ser definido como a razão entre os seus níveis de cinza médios.
- A manipulação do contraste consiste numa transformação radiométrica em cada "pixel", com o objetivo de aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem.
- Realiza-se a operação ponto a ponto, independentemente da vizinhança.
- Esta transferência radiométrica é realizada com ajuda de histogramas, que são manipulados para obter o realce desejado.

Histograma

- É uma das formas mais comuns de se representar a **distribuição dos níveis de cinza** (NC) de uma imagem,
- O histograma fornece a informação de quantos pixels na imagem possuem um determinado NC, definido entre 0 (preto) e 255 (branco), para uma imagem quantificada em 8 bits.
- Os valores resultantes do histograma são representados por um gráfico de barras que fornece, para cada nível de cinza o número (ou o percentual) de pixels correspondentes na imagem.
- Outra característica é que o histograma não apresenta nenhuma informação espacial da imagem, e sim uma função a partir da qual pode ser inferida a **função de probabilidade** dos níveis de cinza da imagem. Normalmente, tem-se no eixo X a distribuição dos NCs e no eixo Y a frequência em que ocorrem.

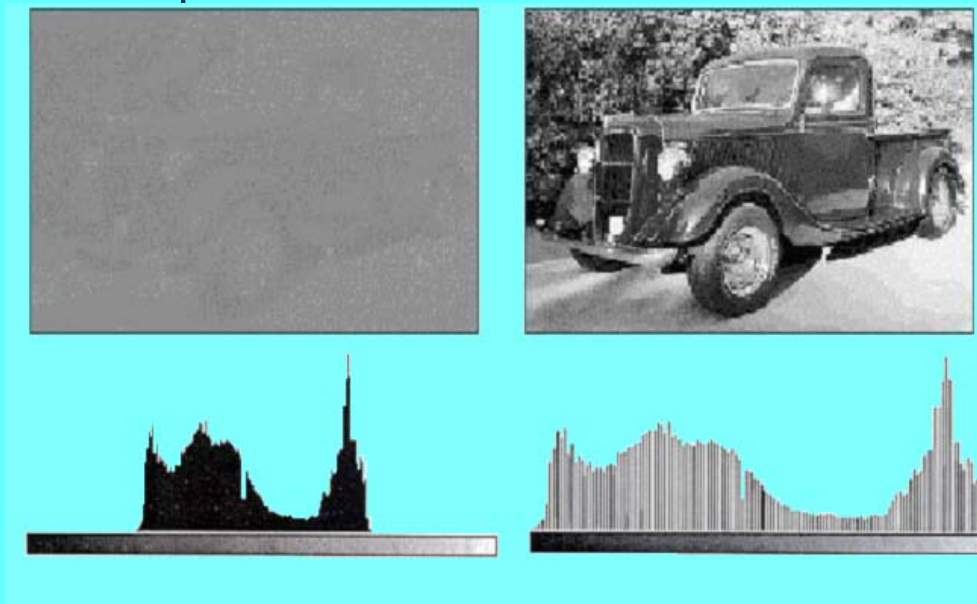
Exemplo de Histograma

- Os valores resultantes do histograma são representados por um gráfico de barras que fornece, para cada nível de cinza o número (ou o percentual) de pixels correspondentes na imagem.



Forma do Histograma

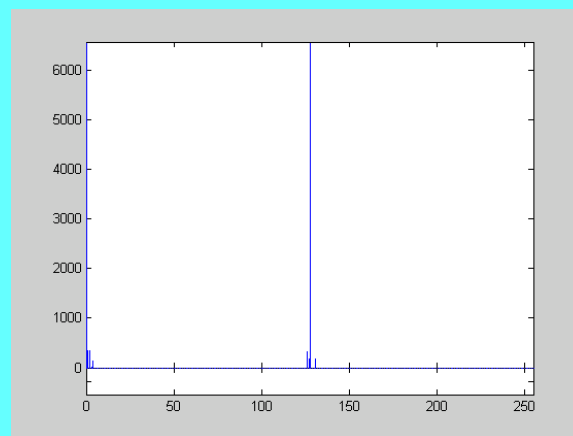
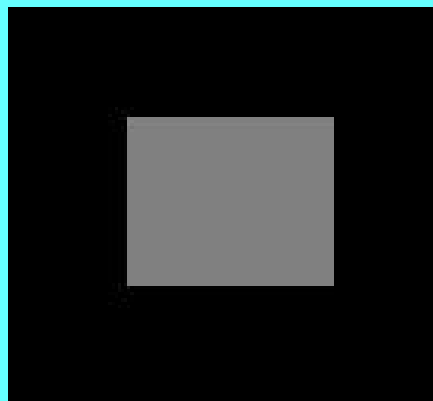
- A **forma** do histograma fornece informações importantes como a **intensidade média** e **espalhamento** dos valores de NC, sendo este último a medida de **contraste** da imagem.
- Quanto maior o espalhamento ao longo do eixo dos NCs, maior o contraste da imagem.
- Uma imagem terá baixo contraste quando o NC está concentrado em uma pequena região do espectro



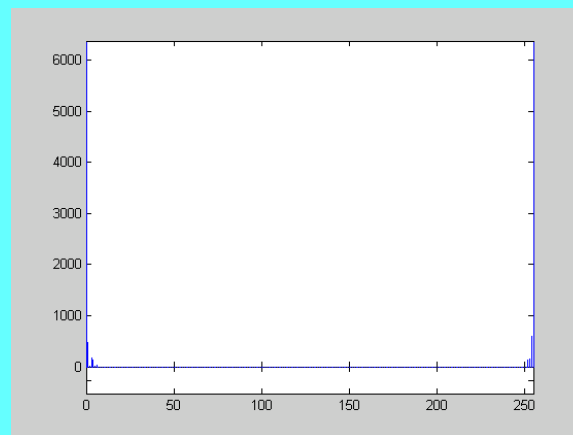
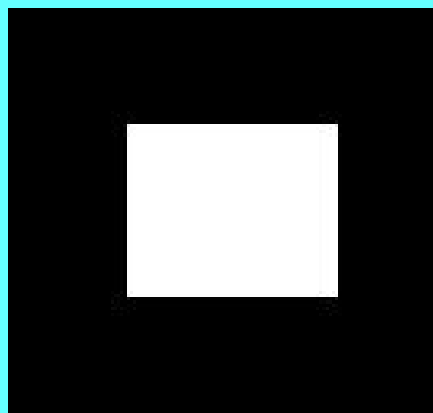
Contraste de uma Imagem

- Assim podemos definir contraste como sendo o intervalo de níveis de cinza assumidos pelos pontos da imagem

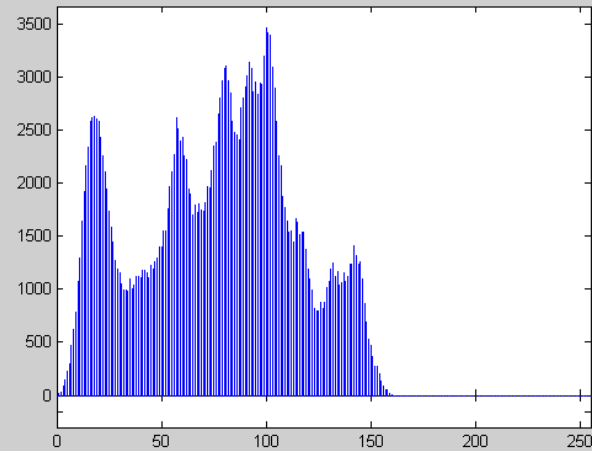
Menor Contraste



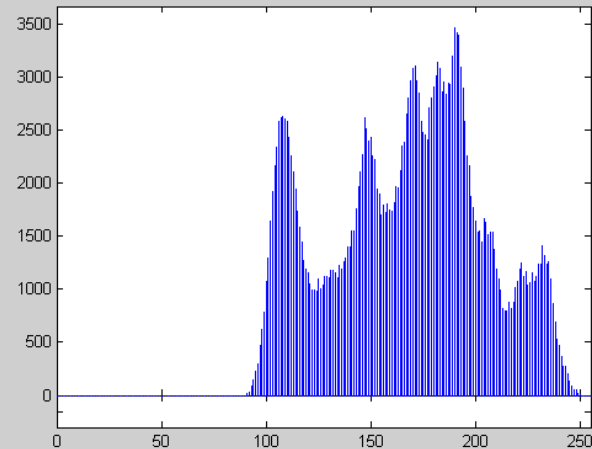
Maior Contraste



Contraste de uma Imagem

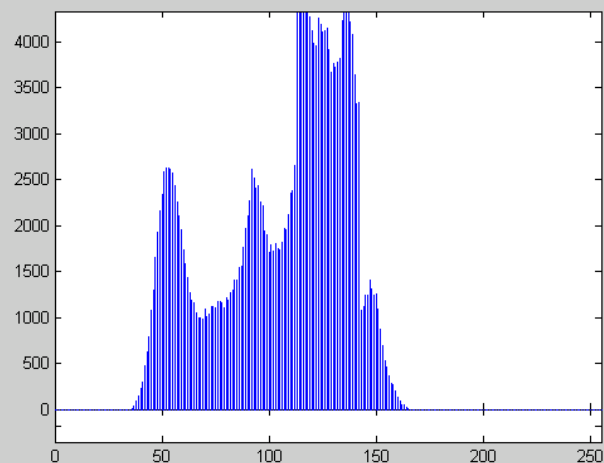
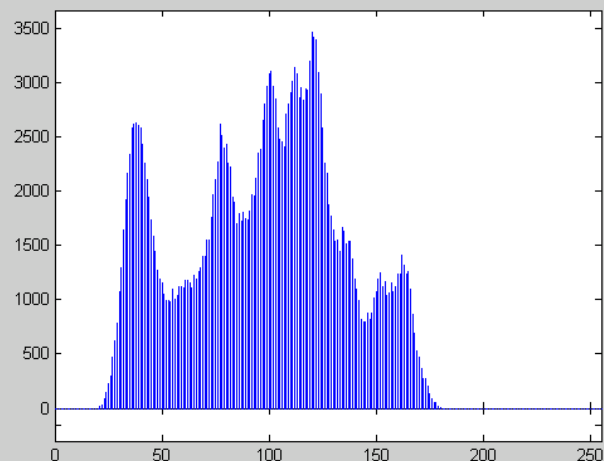


Escura



Clara

Contraste de uma Imagem



Técnicas de Modificação do Histograma

- Técnicas de modificação de uma imagem através da manipulação do histograma são utilizadas com o objetivo de melhorar o contraste original.
- Algumas técnicas de modificação de histograma são:
 - Binarização
 - Transformação
 - Expansão
 - Compressão
 - Equalização

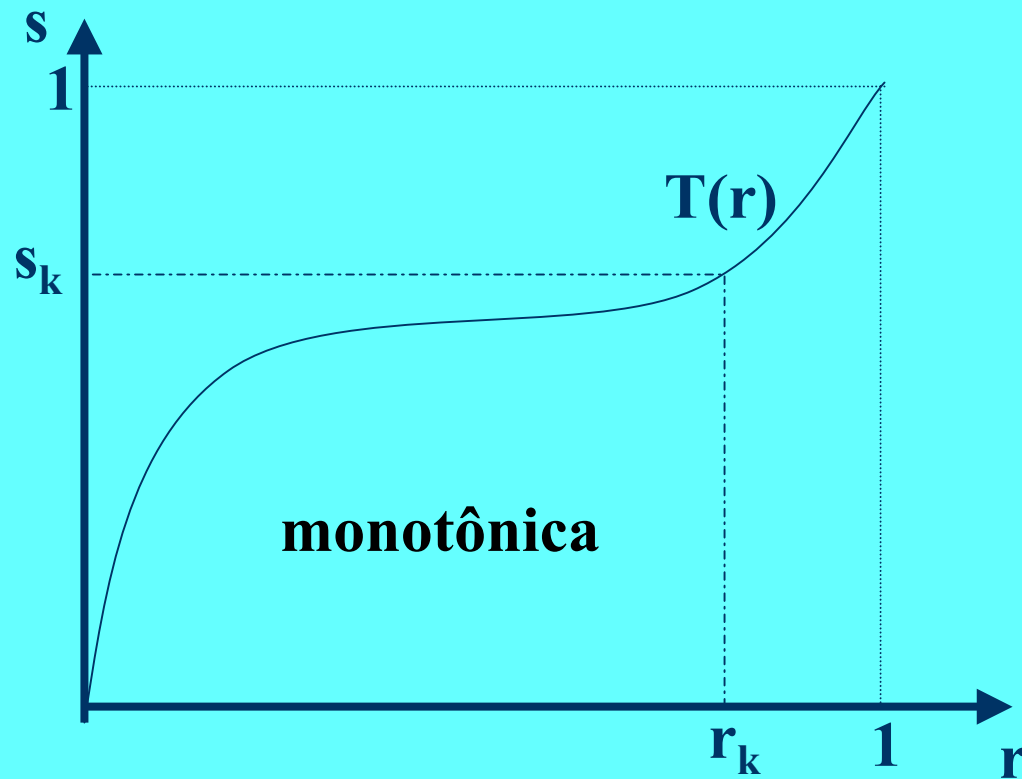
Binarização

- Separação da imagem em duas regiões



Aplica-se um corte (threshold) na imagem

Transformação - Exemplo



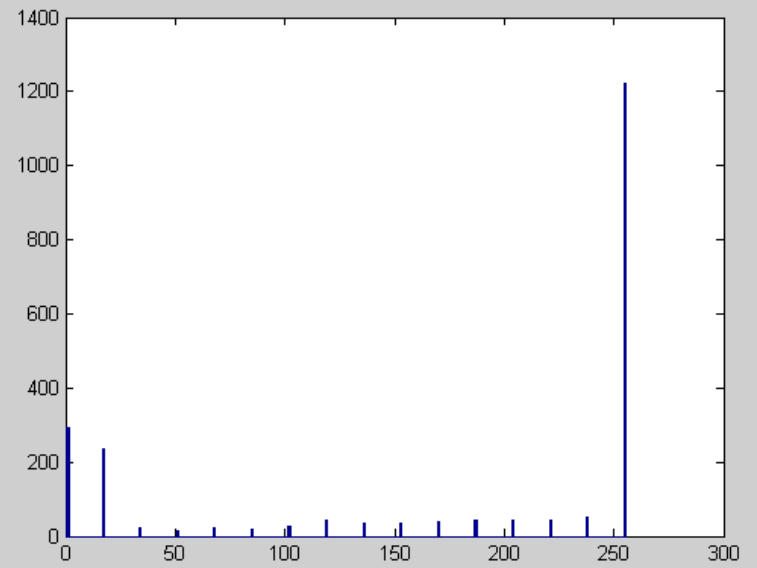
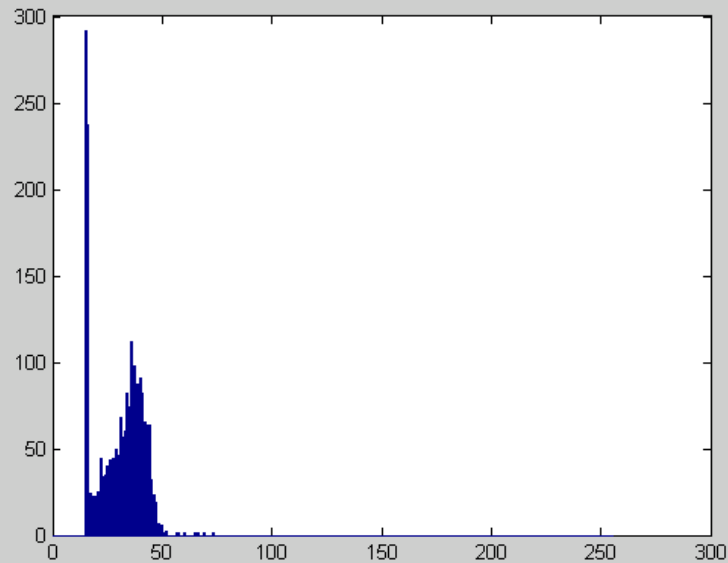
$$s_k = T(r_k)$$

Expansão de Histograma

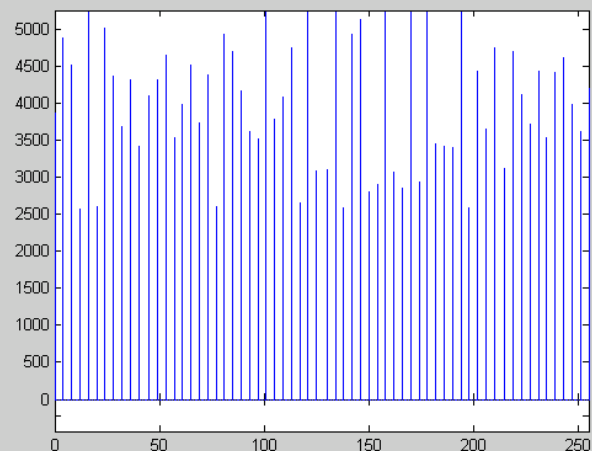
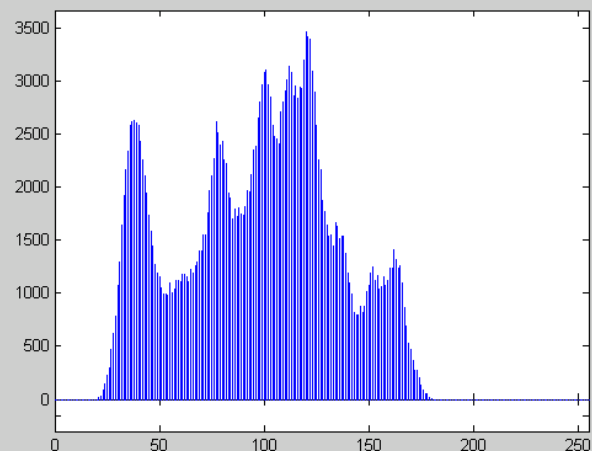
- Consiste em espalhar os níveis de cinza de uma imagem.
- A maioria das imagens são registradas com uma resolução radiométrica de 8 bits, que podem produzir 256 valores ou níveis de cinza. Normalmente, as imagens contêm, em cada banda, uma pequena faixa desses valores e, além disso, a presença de bruma atmosférica e a geometria de iluminação da cena podem atenuar as próprias características da imagem.
- O sistema visual do homem só consegue discriminar cerca de 30 tons de cinza, quando estão bastante espalhados em relação ao intervalo de 0 a 255. Por isso, o tratamento das imagens pelo método do aumento do contraste é uma técnica necessária para extrair informações não identificadas a princípio pelo intérprete. O contraste de uma imagem é uma medida do espalhamento dos níveis de cinza que nela ocorrem.
- O processo inverso da expansão é conhecido como compressão.

$$s = \frac{r - r_{\min}}{r_{\max} - r_{\min}} \times (L - 1)$$

Expansão do Histograma

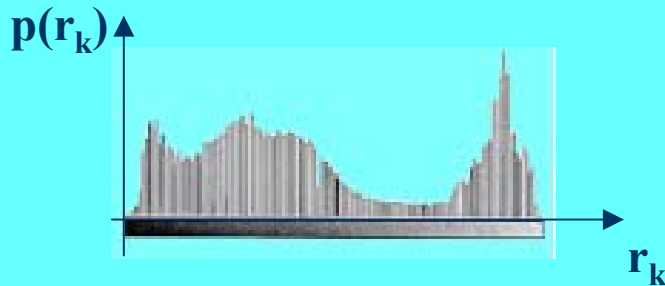


Expansão do Histograma



Equalização do Histograma

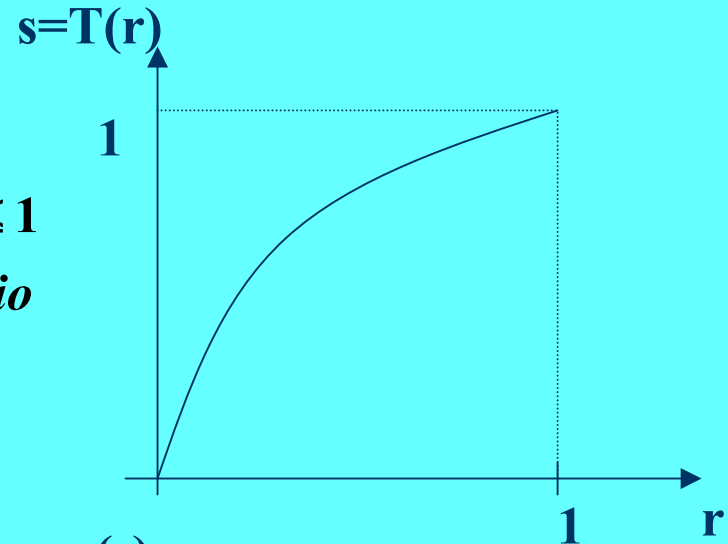
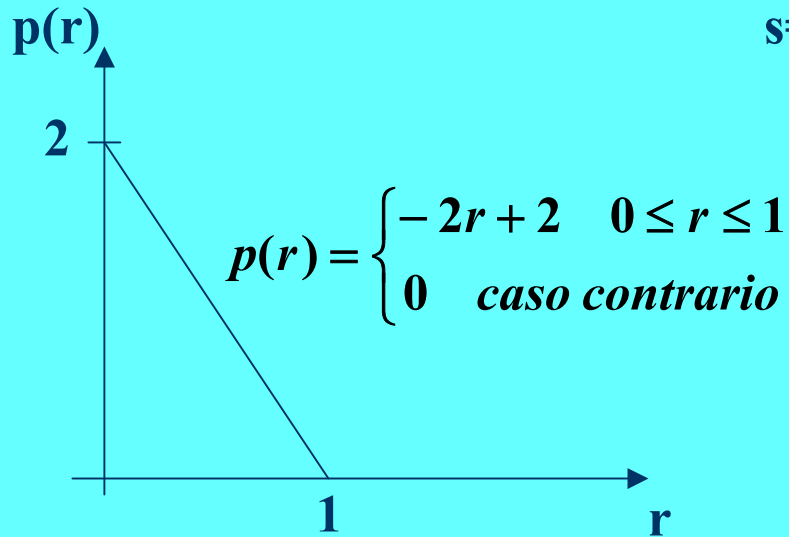
Histograma visto como uma função de densidade – $p(r_k)$



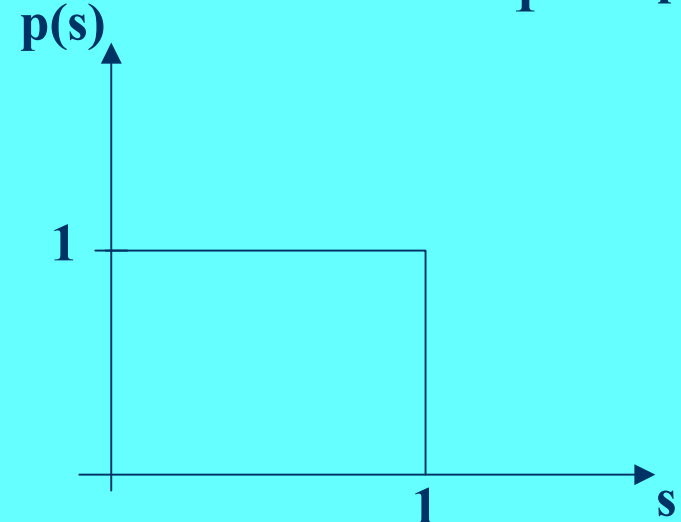
$T(r_k)$ - visto como uma função de distribuição

$$s = T(r) = \int_0^r p_r(w)dw \quad 0 \leq r \leq 1$$

Equalização do Histograma - Exemplo



$$\begin{aligned} s = T(r) &= \int_0^r (-2w + 2)dw \\ &= -r^2 + 2r \end{aligned}$$



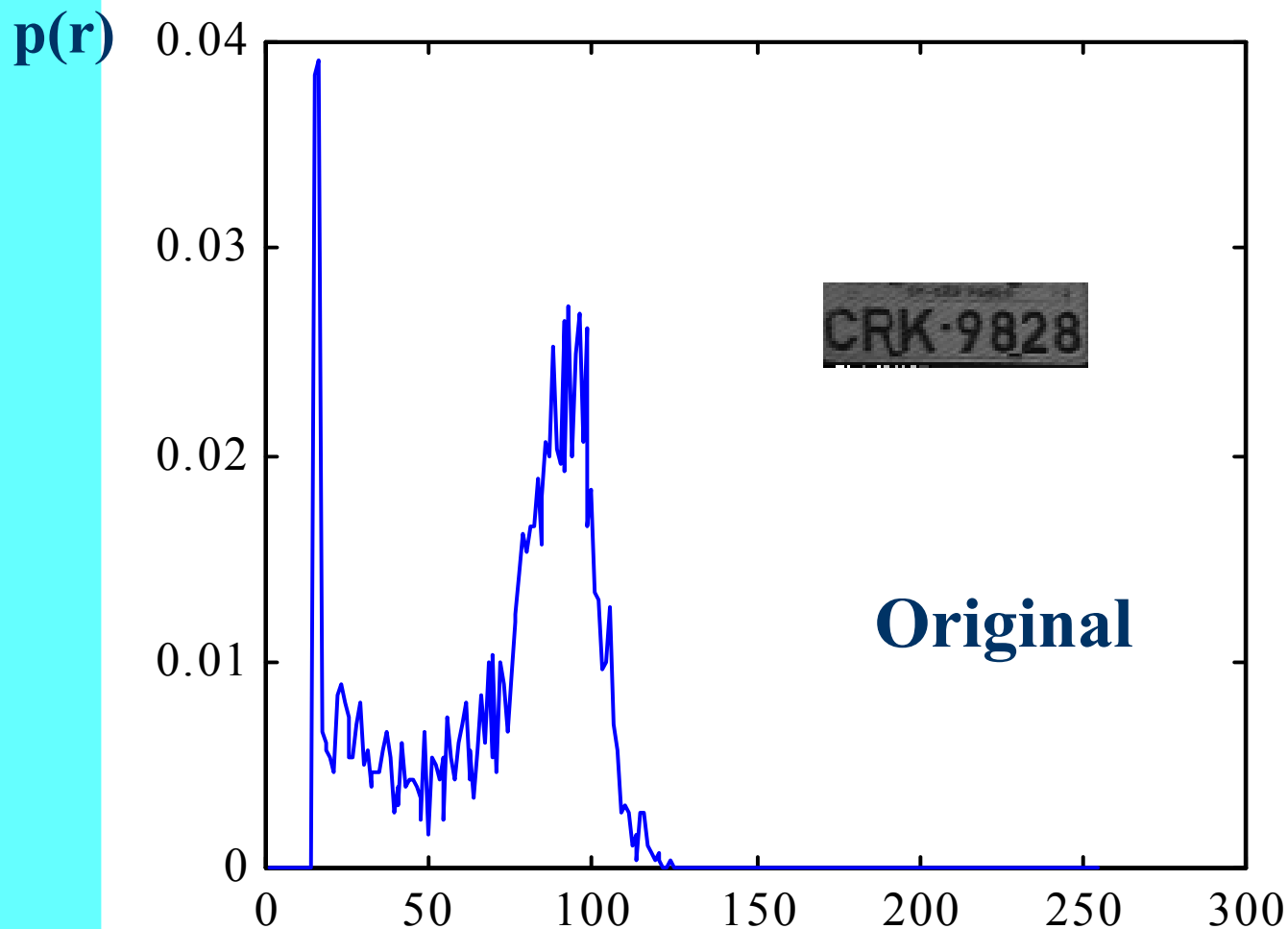
Equalização do Histograma - Discreto

$$p(r_k) = \frac{n_k}{n} \quad 0 \leq r_k \leq 1, k = 0, \dots, L-1$$

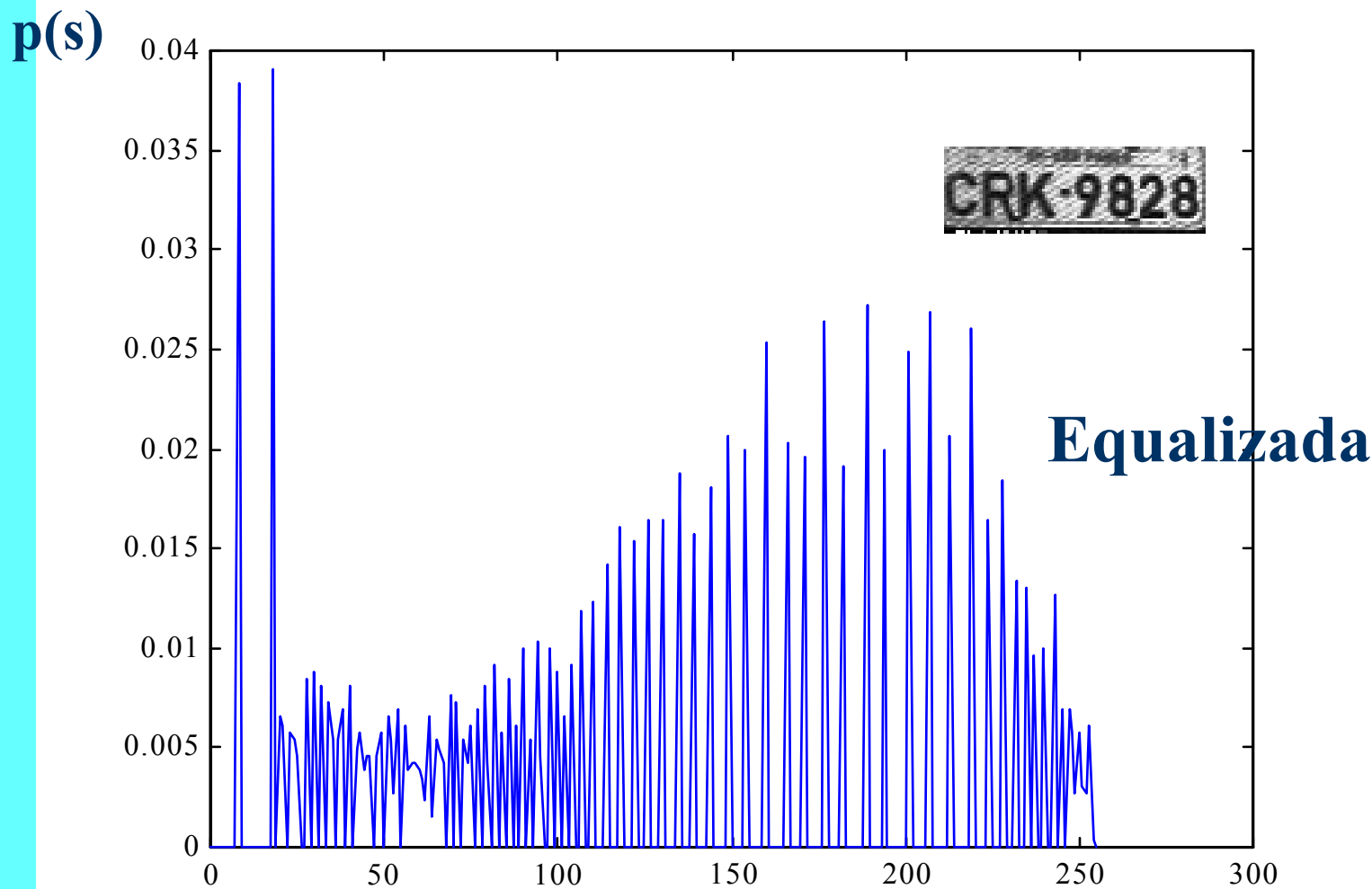
$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k p(r_j)$$

(*) esta aproximação do modelo contínuo não leva $p(s)$ necessariamente a uma condição uniforme.

Equalização do Histograma Modo Discreto - Exemplo



Equalização do Histograma Modo Discreto - Exemplo



Transformações Morfológicas

Transformações Morfológicas

- São transformações que resultam na alteração da forma da imagem
- As operações morfológicas básicas mais utilizadas são:
 - ✓ Dilatação
 - ✓ Erosão
- As operações morfológicas aplicam um operador sobre a imagem original conhecido como elemento estruturante. O resultado é uma imagem com o mesmo tamanho da imagem original
- Estas operações, por si só, causam distorções nas áreas dos objetos.
- A combinação dos operadores morfológicos gera resultados interessantes.

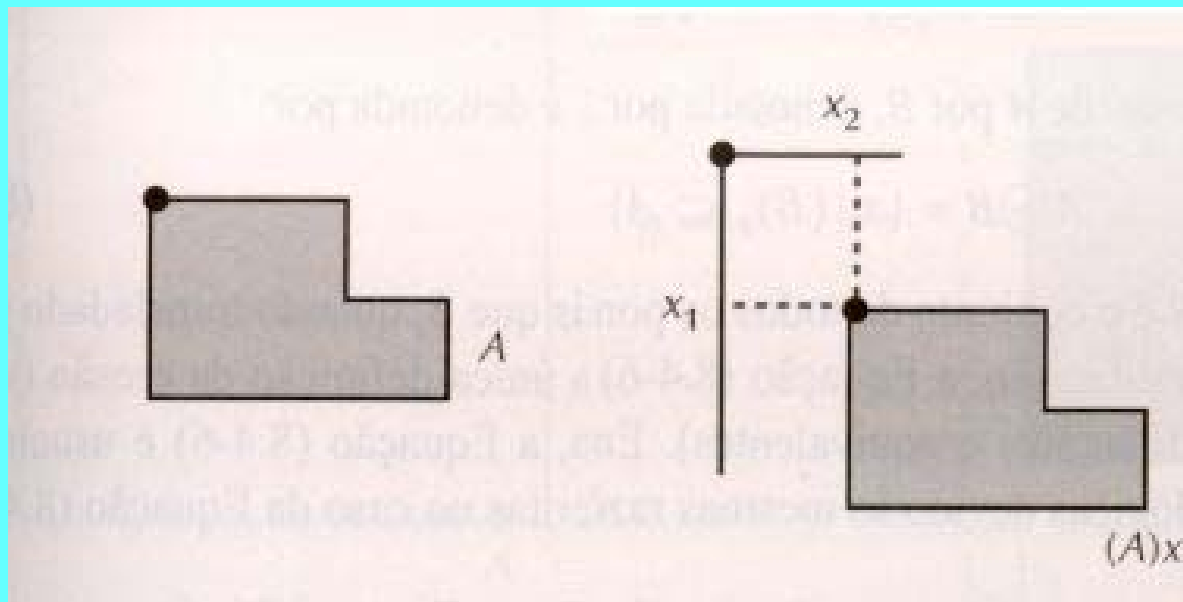
Definições Básicas

- A linguagem da morfologia matemática é a *teoria de conjuntos*.
- Imagens binárias podem ser representadas como um conjunto Z^2 , no qual cada elemento é um vetor bidimensional contendo as coordenadas de cada pixel preto.
- Sejam A e B conjuntos de Z^2 com componentes $a=(a_1, a_2)$ e $b=(b_1, b_2)$, respectivamente.
- Operações:
 - ✓ Translação
 - ✓ Reflexão
 - ✓ Complemento
 - ✓ Diferença

Definições Básicas

- Translação de A por $x=(x_1, x_2)$, denota-se por $(A)_x$

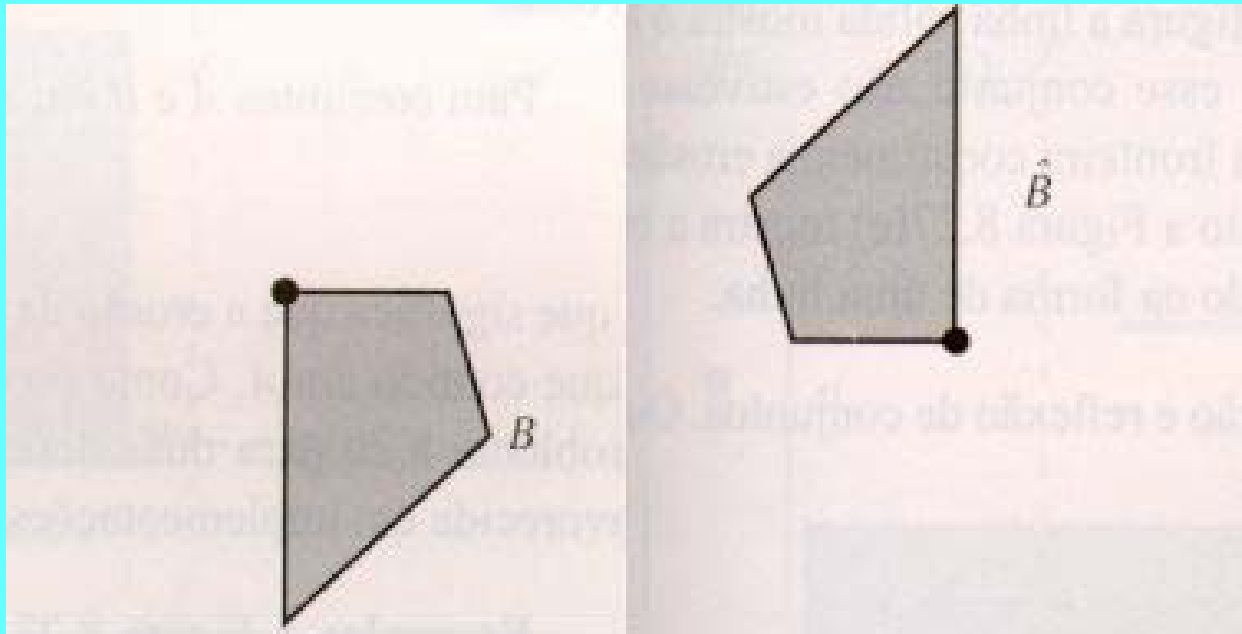
$$(A)_x = \{c \mid c = a+x\}$$



Definições Básicas

- Reflexão de A , denota-se por \hat{A}

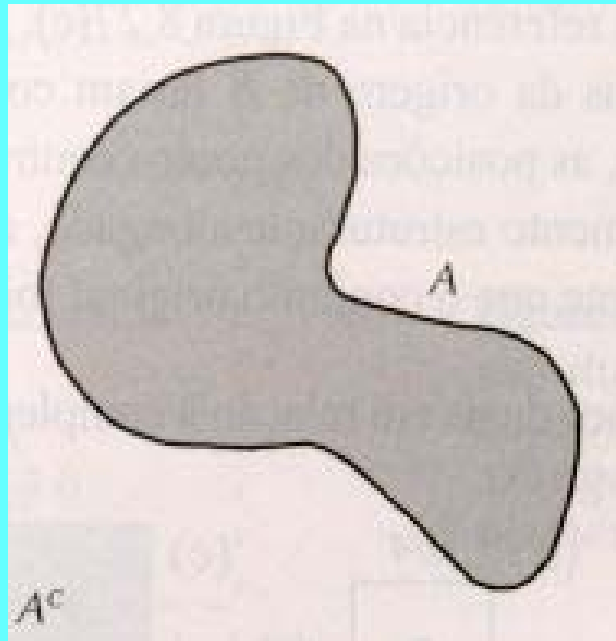
$$\hat{A} = \{x \mid x = -a, \text{ para } a \in A\}$$



Definições Básicas

- Complemento de A, denota-se por A^c

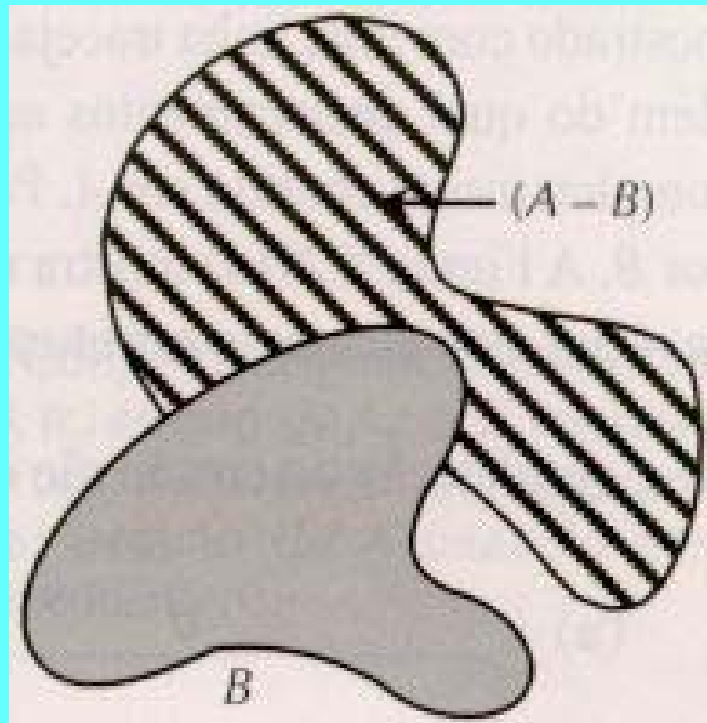
$$\hat{A} = \{x \mid x \notin A\}$$



Definições Básicas

- Diferença entre A e B, denota-se por $A - B$

$$A - B = \{x \mid x \in A, x \notin B\} = A \cap B^C$$



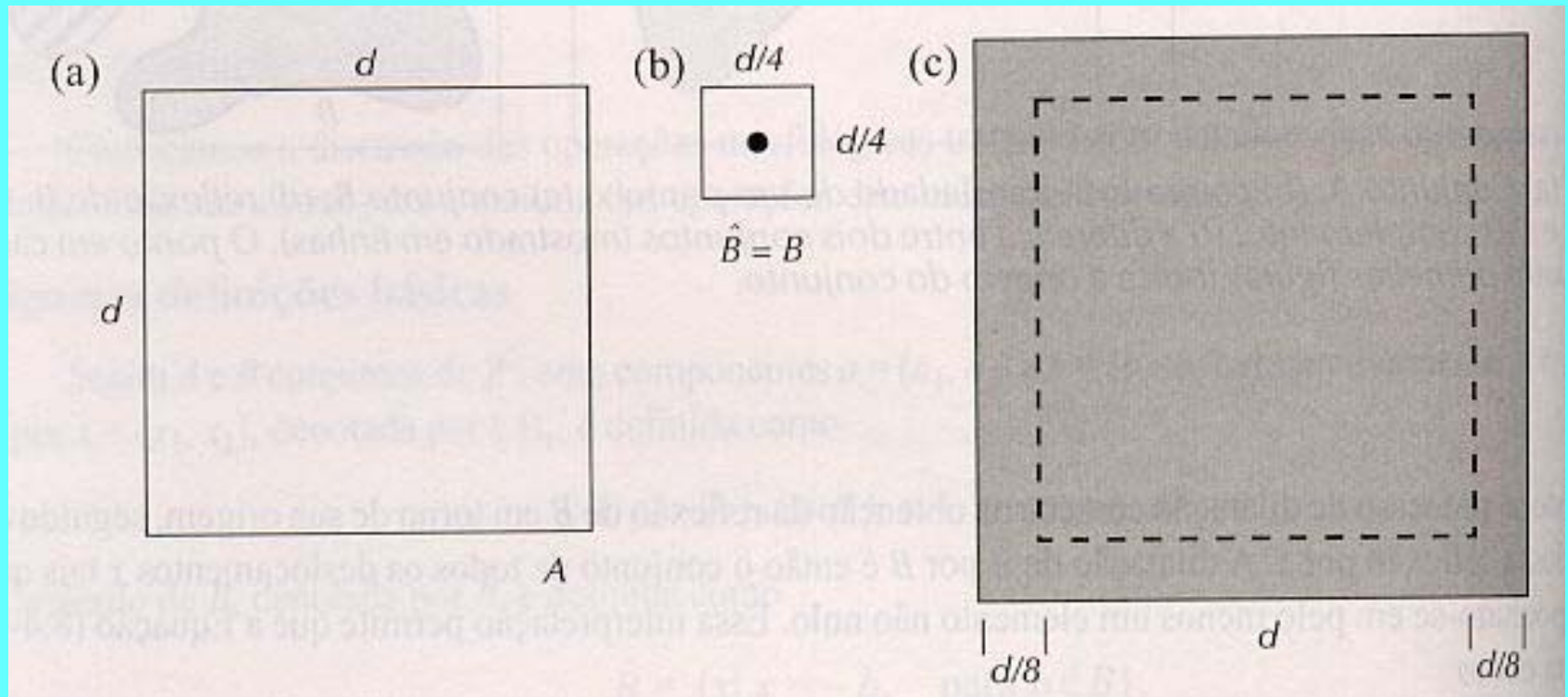
Dilatação

- A dilatação de A por O é definida da seguinte forma:

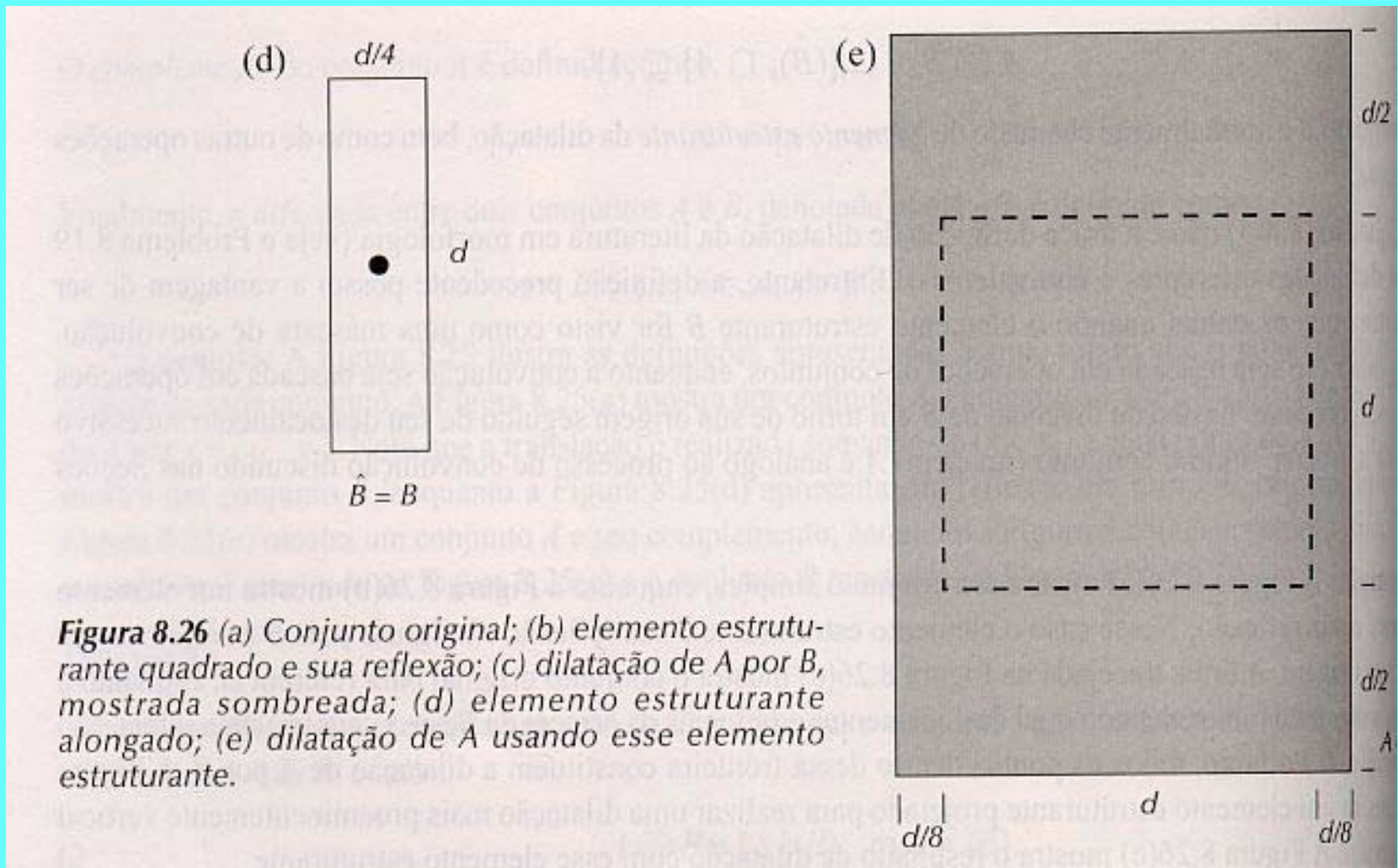
$$A \oplus O = \{x \mid (\hat{O})_x \cap A \neq \emptyset\}$$

- Na dilatação são aplicados elementos estruturantes (no caso acima, o conjunto O) na imagem original. Ou seja, a dilatação é uma união de deslocamentos, definido por um elemento estruturante.
- Buracos finos ou pequenos serão eliminados, unindo os objetos – ou seja, a imagem original é “engordada”
- Objetos terão suas áreas aumentadas.
- Numa imagem binária, para cada pixel preto, se o número de vizinhos brancos for maior do que um valor limiar, N, o pixel é invertido

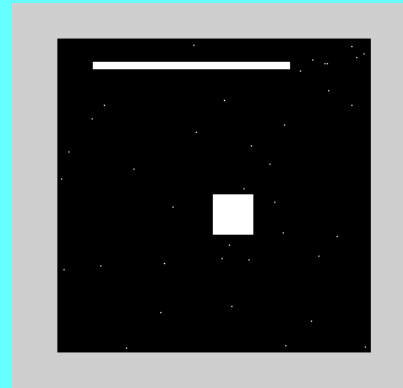
Exemplo de Dilatação



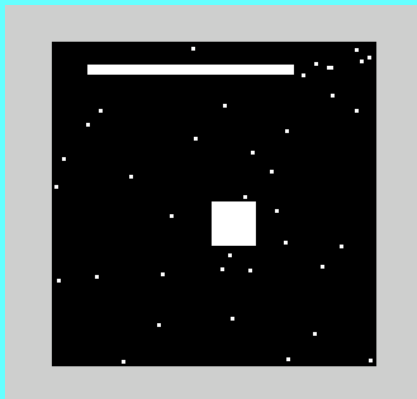
Exemplo de Dilatação



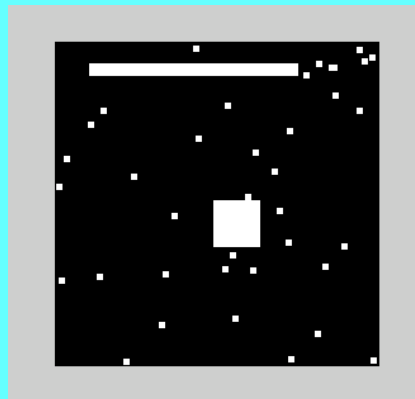
Exemplo de Dilatação



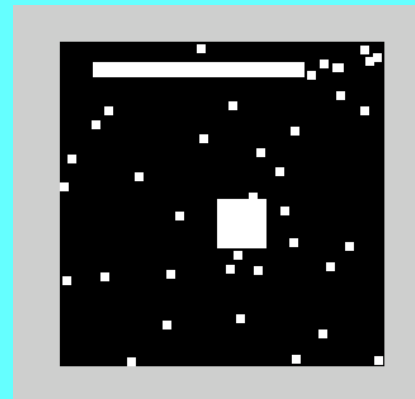
Original



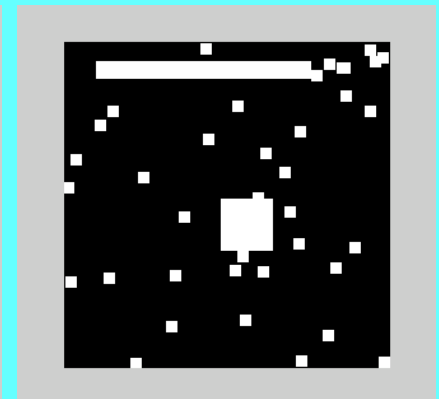
Matriz de 1s 3x3



Matriz de 1s 5x5



Matriz de 1s 7x7



Matriz de 1s 9x9

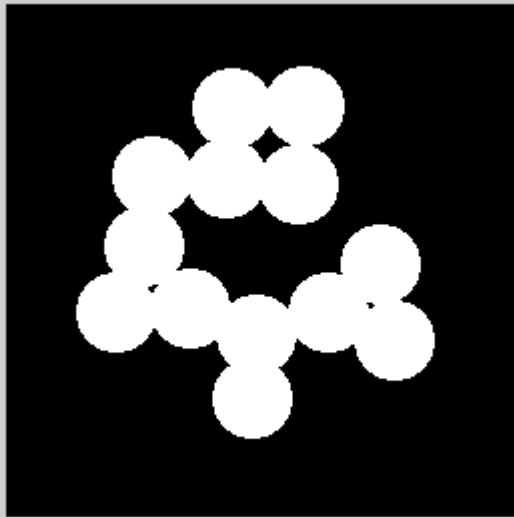
Elemento Estruturante:

Outros Exemplos de Dilatação

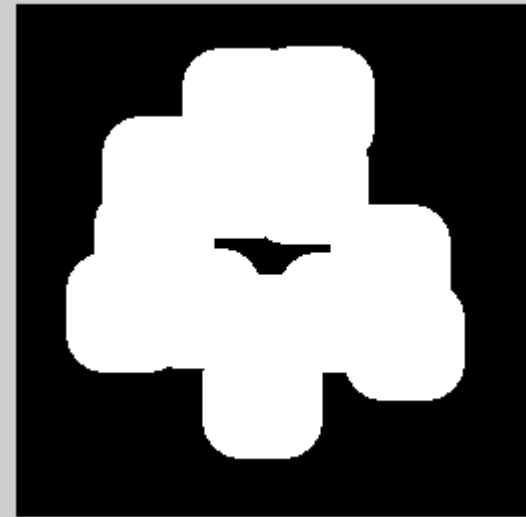
IMAGEM

IMAGEM

Original



Dilatacao



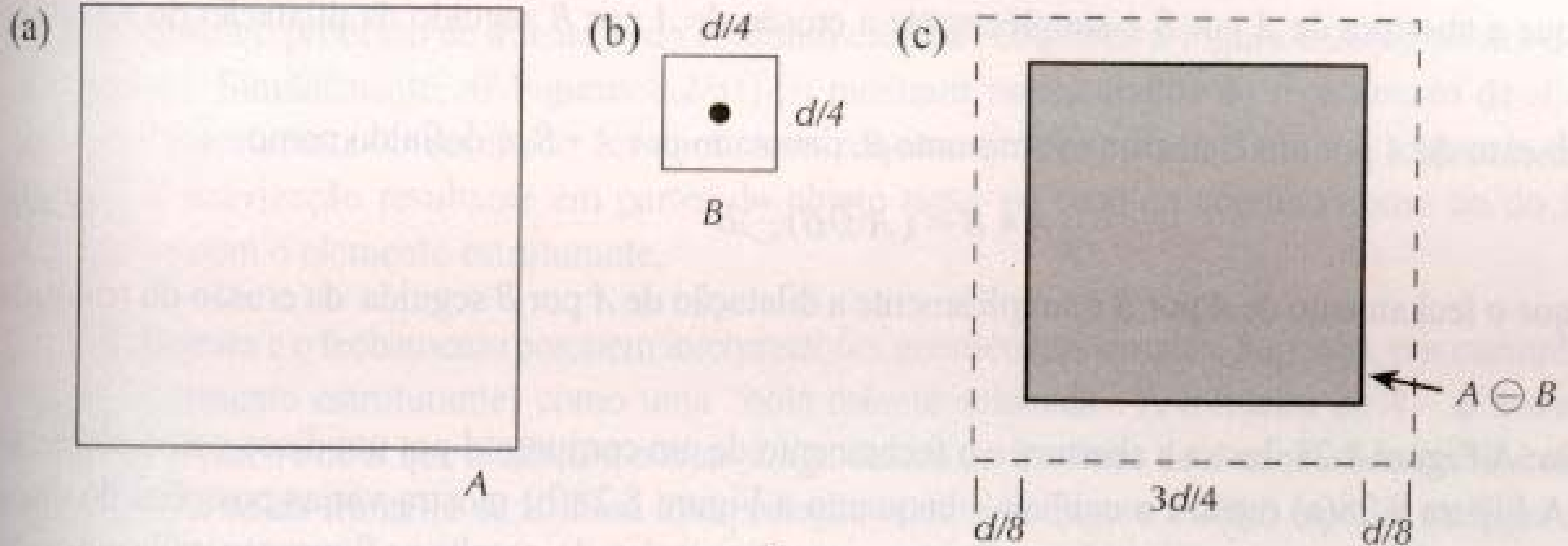
Erosão

- A Erosão de A por B é definida da seguinte forma:

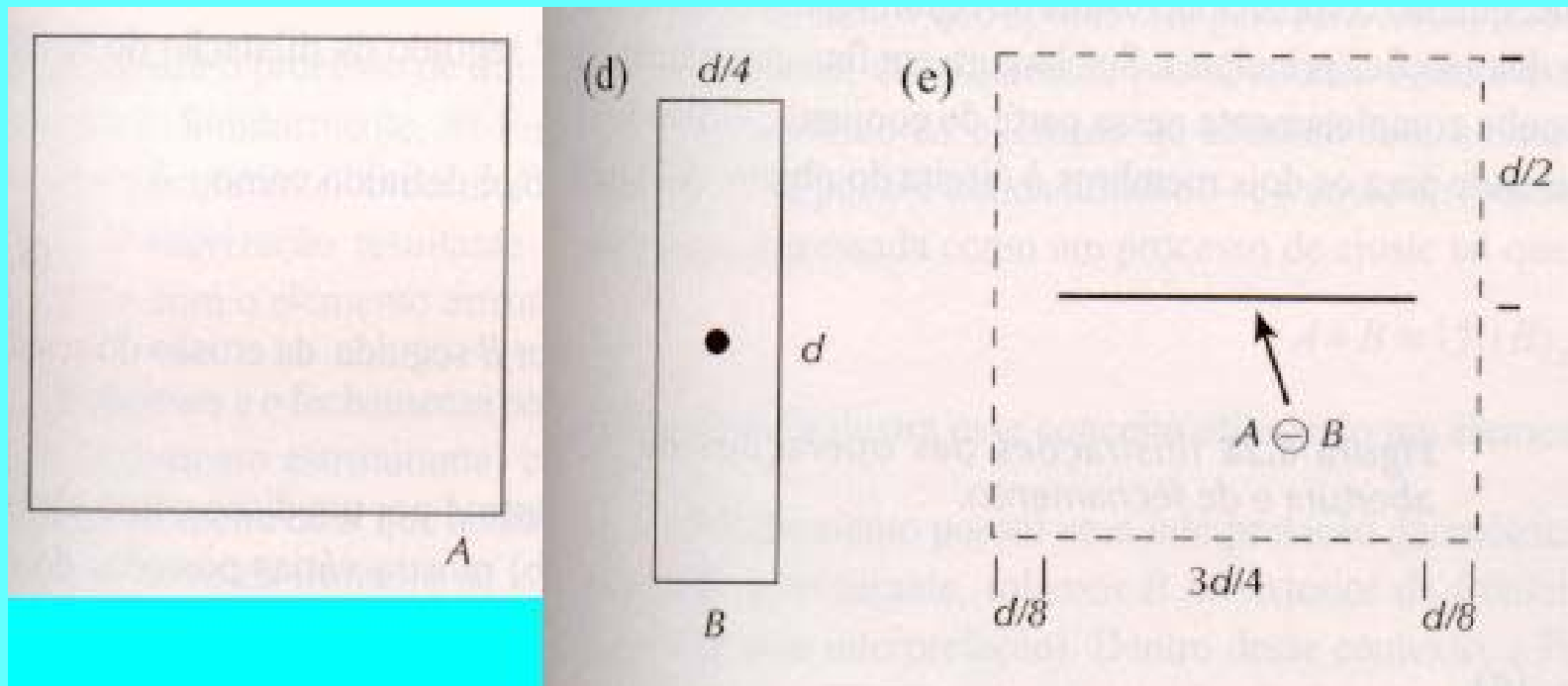
$$A \odot B = \{x \mid (B)_x \subseteq A\}$$

- A erosão basicamente “encolhe uma” imagem e pode ser vista como uma transformação morfológica que combina dois conjuntos usando vetores de subtração. Ela é expressa como a interseção.
- Para cada pixel branco, se o número de vizinhos brancos for menor do que um valor limiar, N, o pixel é invertido
- Objetos finos ou pequenos tendem a ser eliminados
- Objetos maiores terão suas áreas reduzidas.

Exemplo de Erosão



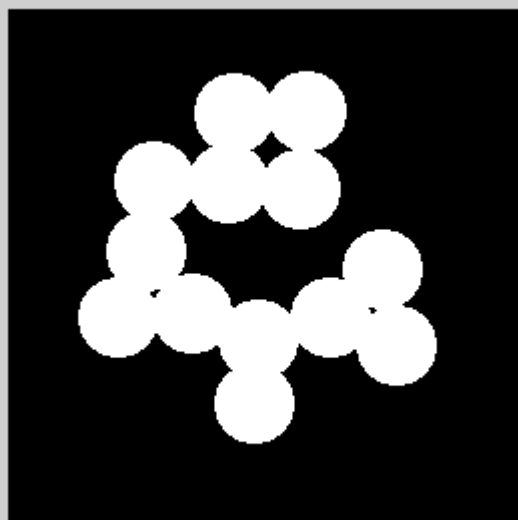
Exemplo de Erosão



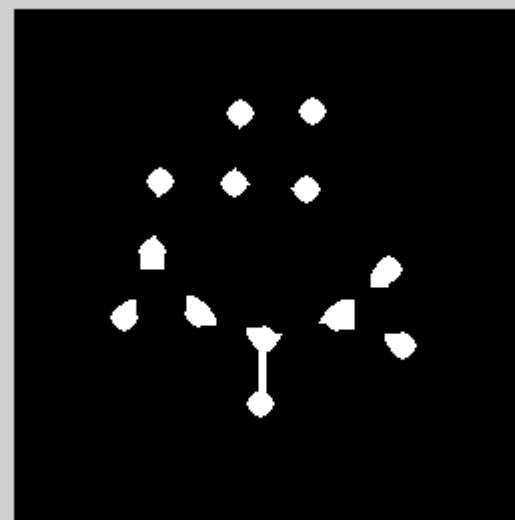
Exemplo de Erosão



Original



Erosao

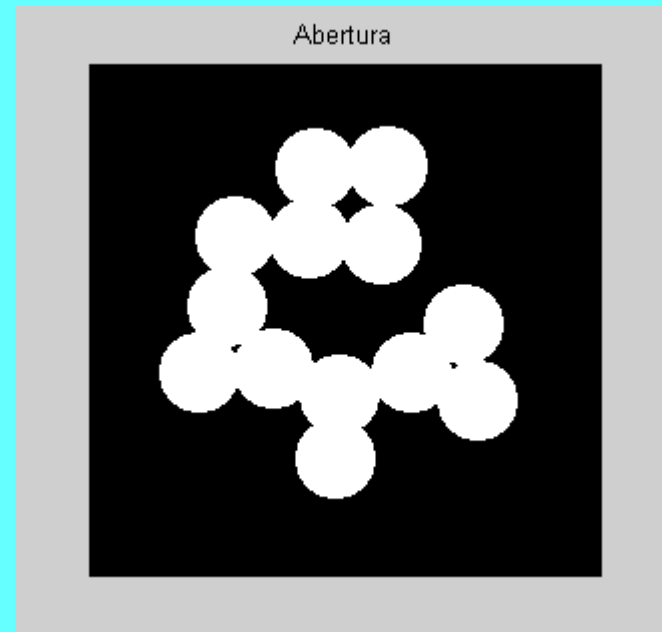
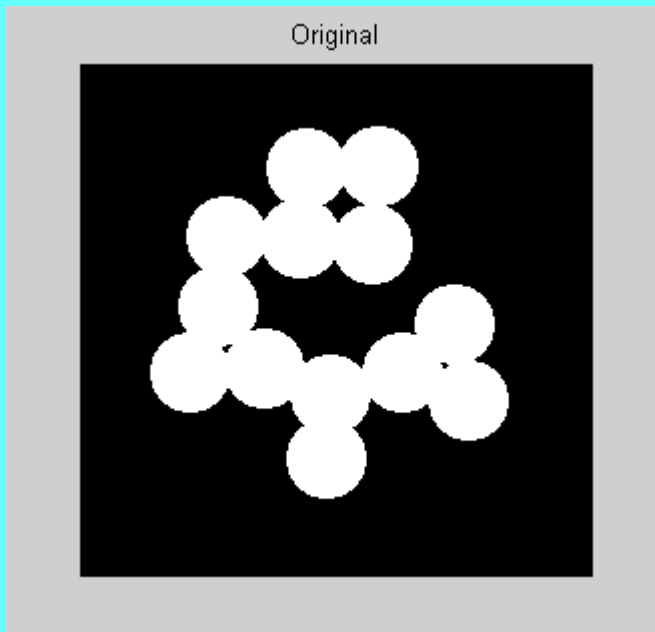


Combinando Operações Morfológicas

- A combinação de erosão e dilatação constitui numa nova operação
- Abertura
 - ✓ Erosão seguida de dilatação
- Fechamento
 - ✓ Dilatação Seguida de Erosão
- Se o número de ciclos é grande quando comparado com o diâmetro dos objetos, ocorrerão distorções de forma

Abertura

- N ciclos de erosão seguidos de N ciclos de dilatação
- Separa objetos que inicialmente só estariam ligados por poucos pixels (pequenas conexões entre objetos)
- Objetos muito pequenos desaparecem
- Objetos maiores não são afetados



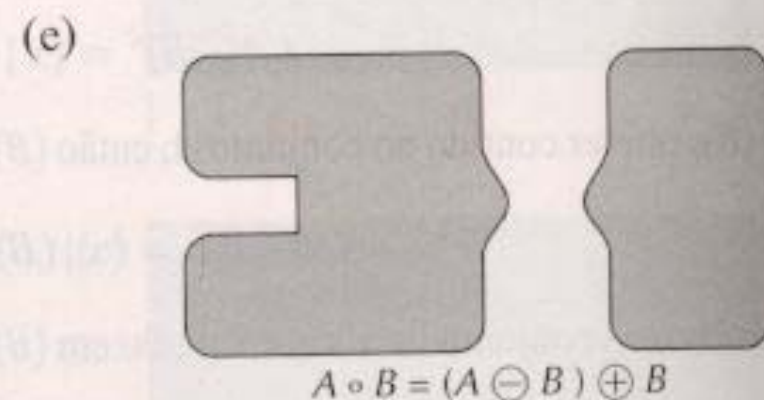
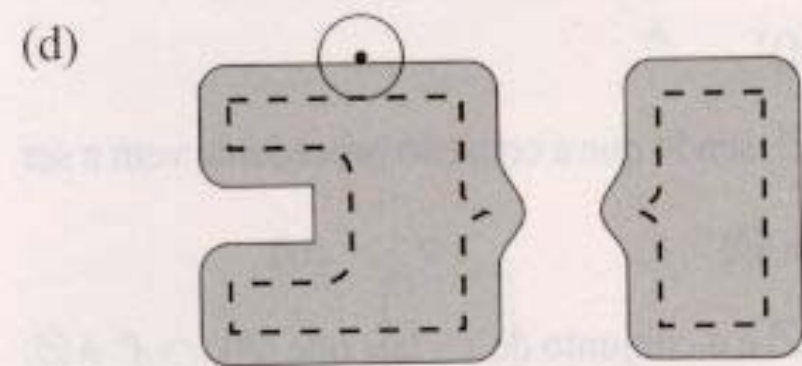
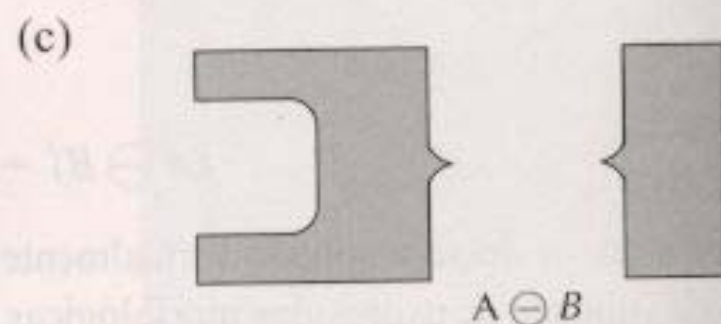
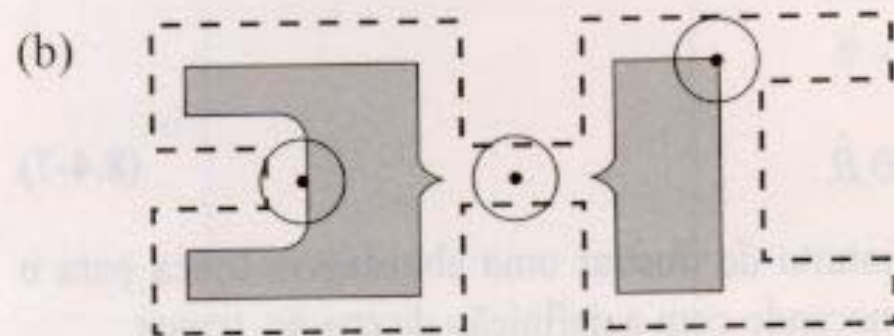
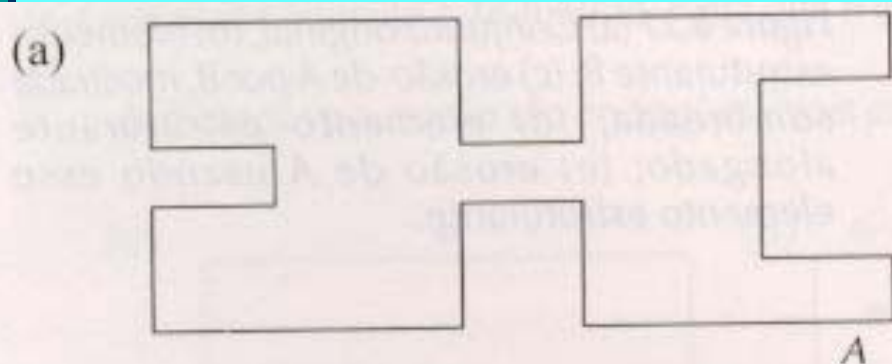
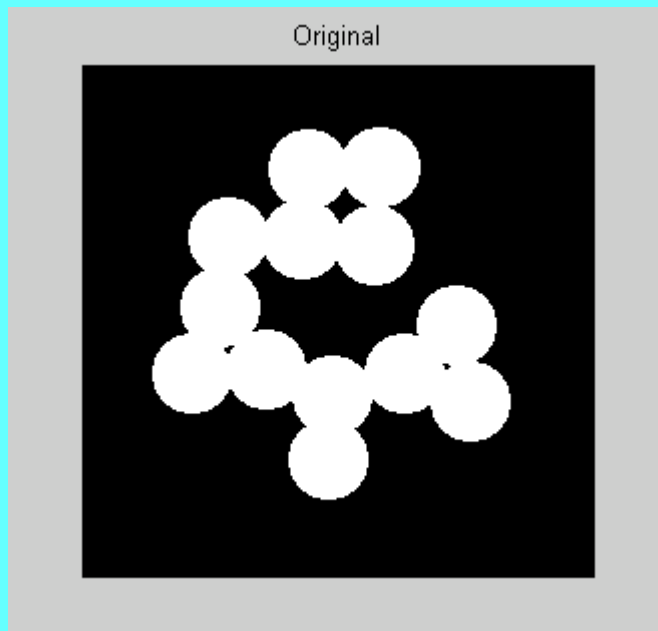
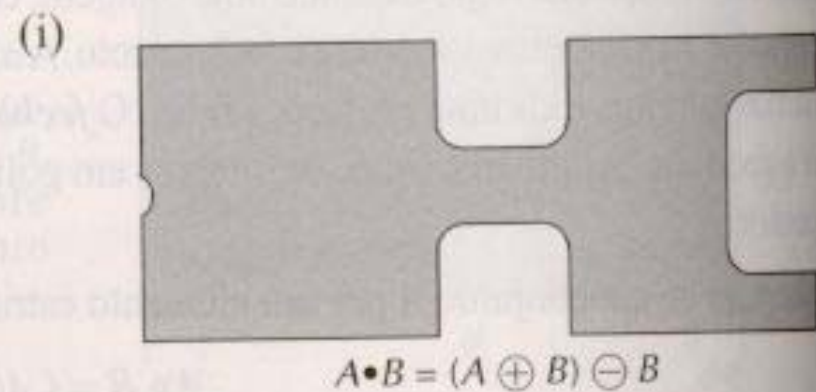
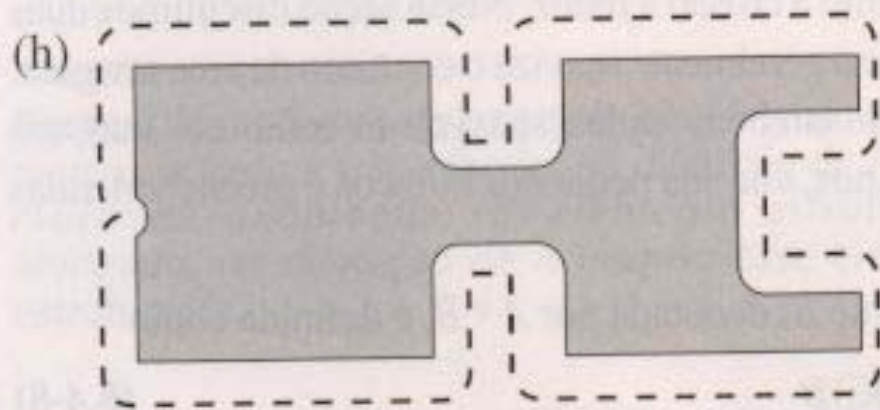
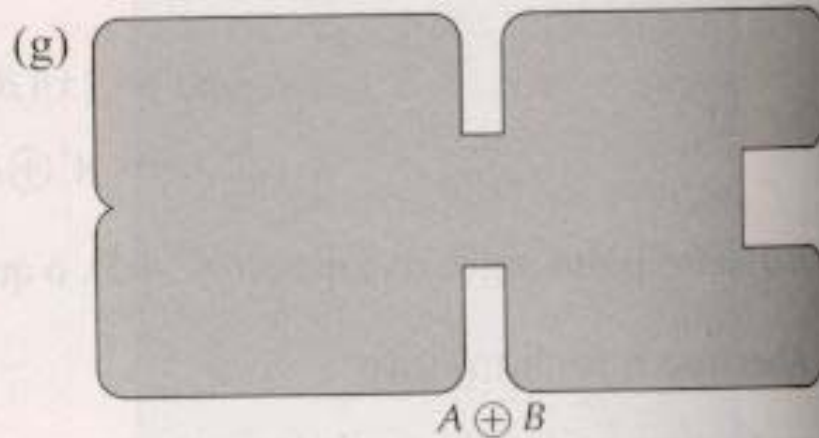
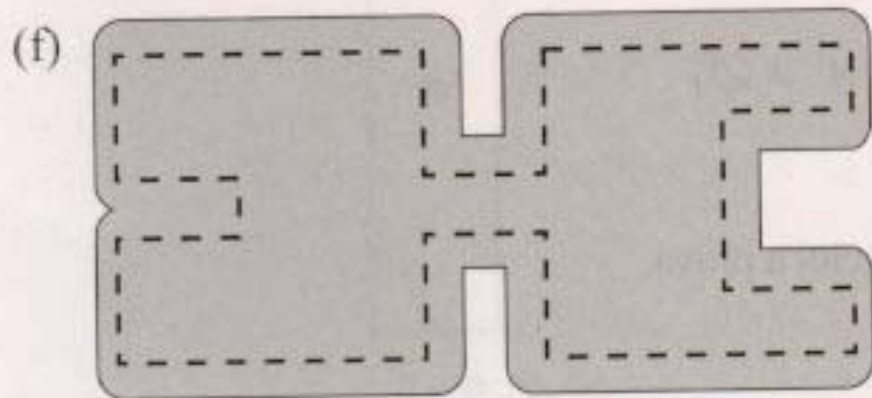


Figura 8.28 Ilustrações das operações de abertura e de fechamento.

Fechamento

- N ciclos de Dilatação seguidos de N ciclos de Erosão
- Buracos pequenos ou separações entre objetos são eliminados
- Objetos maiores não são afetados





Aplicações dos Operadores Morfológicos

- Remoção de pequenas regiões
- Remoção de buracos em regiões
- Suavização da forma dos contornos
- Esqueletização

Inconvenientes dos Operadores Morfológicos

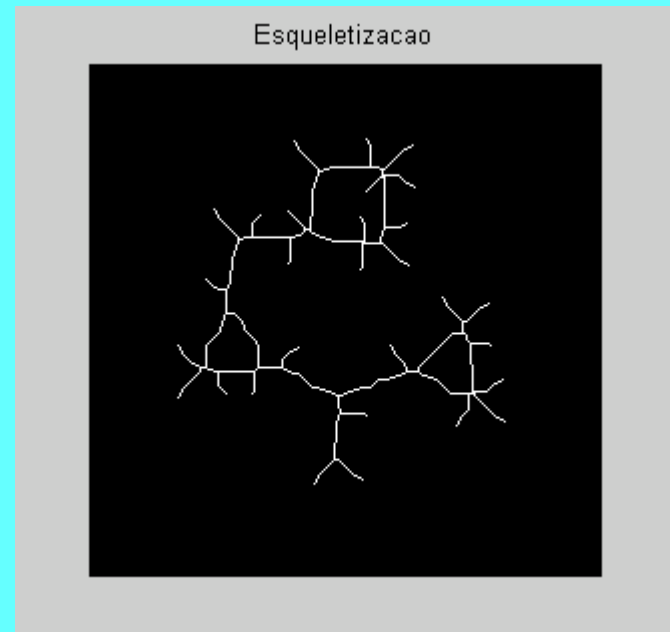
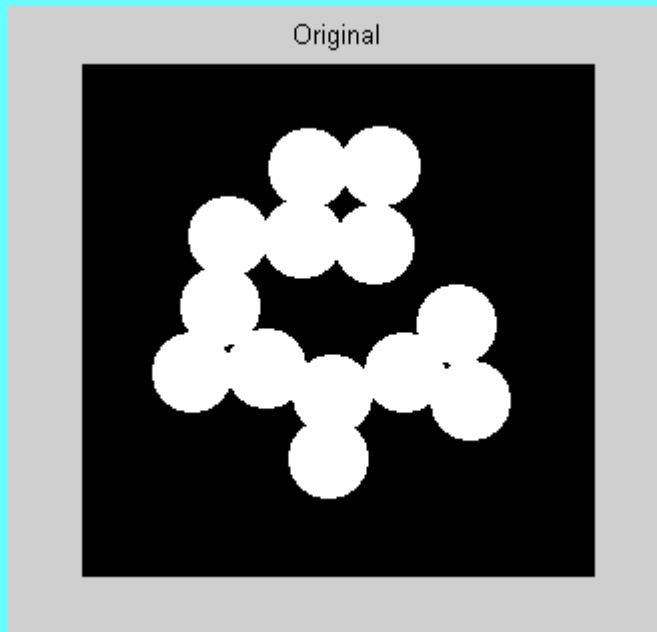
- Erosão
 - ✓ Divisão de uma região em duas
 - ✓ Eliminação de pequenas regiões (que pode não ser ruído)
- Dilatação
 - ✓ Junção de duas regiões numa só
 - ✓ Enchimento de pequenas concavidades (ruído?)

Variantes de Erosão e Dilatação

- Os algoritmos a seguir apresentam um uso prático da morfologia matemática no processamento de imagem
 - ✓ Skeletonization – Esqueletização
 - ✓ Thickening – Espessamento
 - ✓ Thinning – Afinamento
 - ✓ Pruning – Poda
 - ✓ Shrinking – Compressão da Imagem

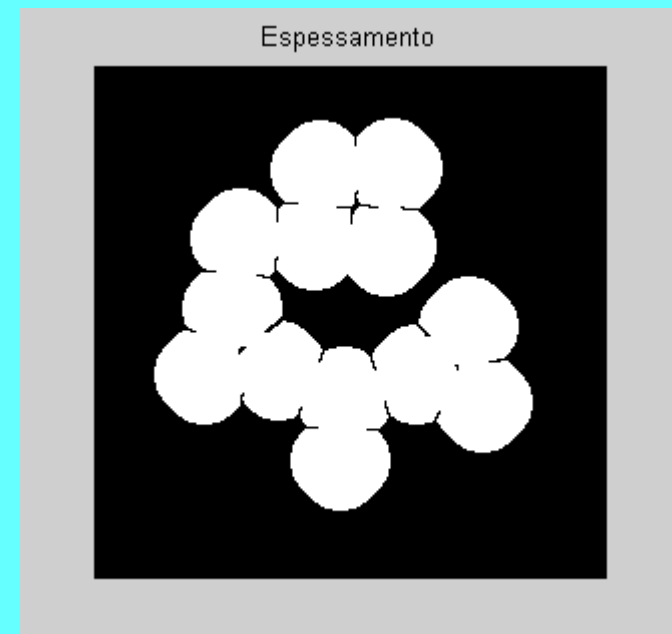
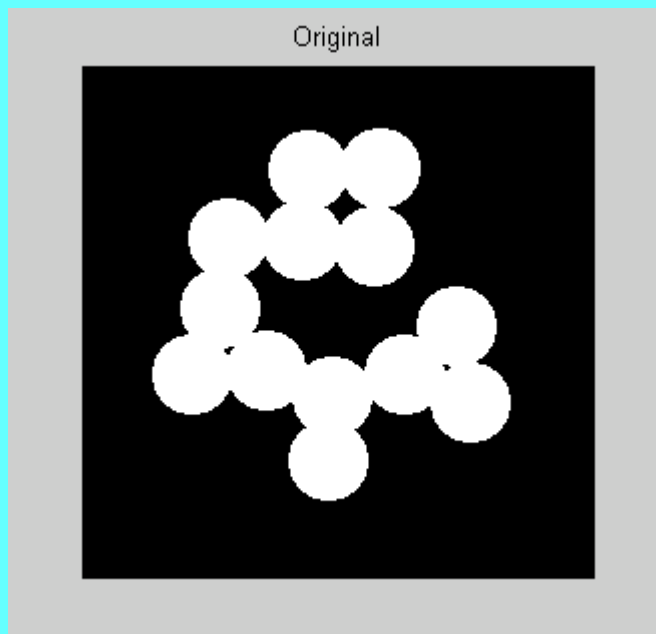
Esqueletização

- Operação de determinação do esqueleto
- Definição do esqueleto
 - ✓ Objeto filiforme (1 pixel de largura)
 - ✓ Que passa pelo *meio* do objeto
 - ✓ E que preserva a topologia do objeto original



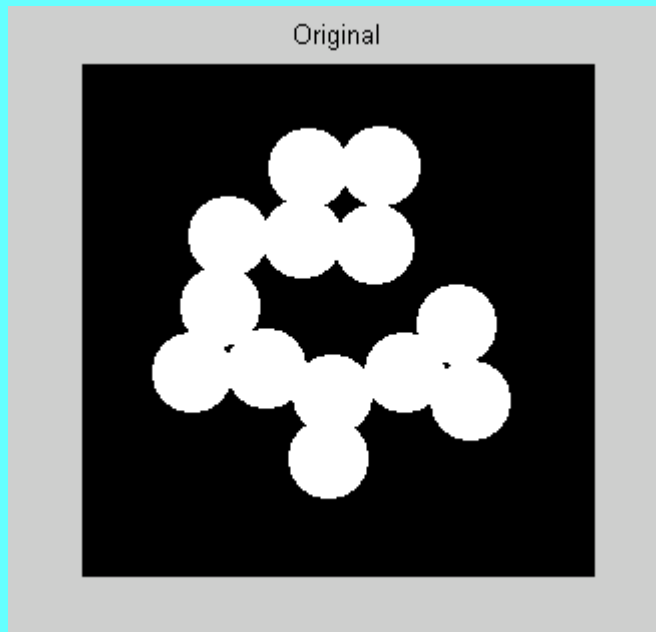
Espessamento/Engordamento

- Adiciona pontos às componentes da imagem sem que a sua topologia seja alterada.
 - ✓ Pixels são adicionados ao exterior dos objetos, sem conectar objetos previamente não conectados.



Afinamento

- Remove pixels até que o objeto fique minimamente conectado
- Se o objetos não tiver furos, ficará reduzido a um traço



Compressão

- Comprime objeto até chegar a um ponto
- Objetos com buracos, se transformarão em um anel

