

Processamento de Imagens

Prof. Marcelo Portes de Albuquerque
Prof. Márcio Portes de Albuquerque

Monitores: Fernanda Dutra Moraes (CBPF)
Pedro de Souza Asad (CBPF)

IX Escola do CBPF – 2012

Organização do Curso

Aulas – 23 a 27 de Julho

Seg. – Introdução a Análise de Imagens

Ter . – Segmentação e Morfologia Matemática

Qua. – Classificação e Reconhecimento

Qui. – Laboratório (ImageJ e OpenCV)

Sex. – Laboratório (ImageJ e OpenCV) – Apresentação GPU/Cuda

Site Web:

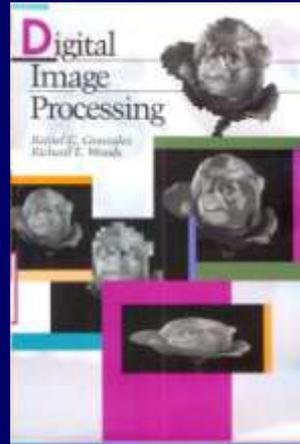
Notas de Aula: <http://mesonpi.cat.cbpf.br/e2012>

Sumário Aula 02

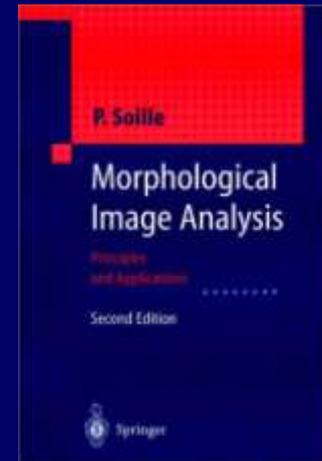
- 1. Segmentação**
- 2. Morfologia Matemática**
- 3. Aplicações Recentes**

Referências Bibliográficas

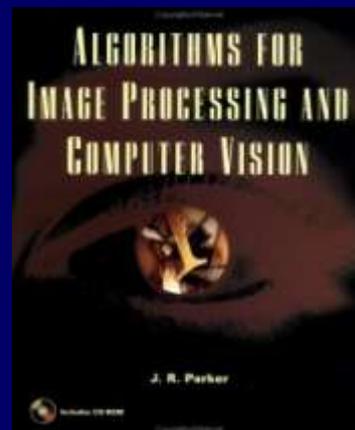
Digital Image Processing
Autor: Rafael C. Gonzalez,
Richard E. Woods



Morphological Image Analysis
Autor: Pierre Soille

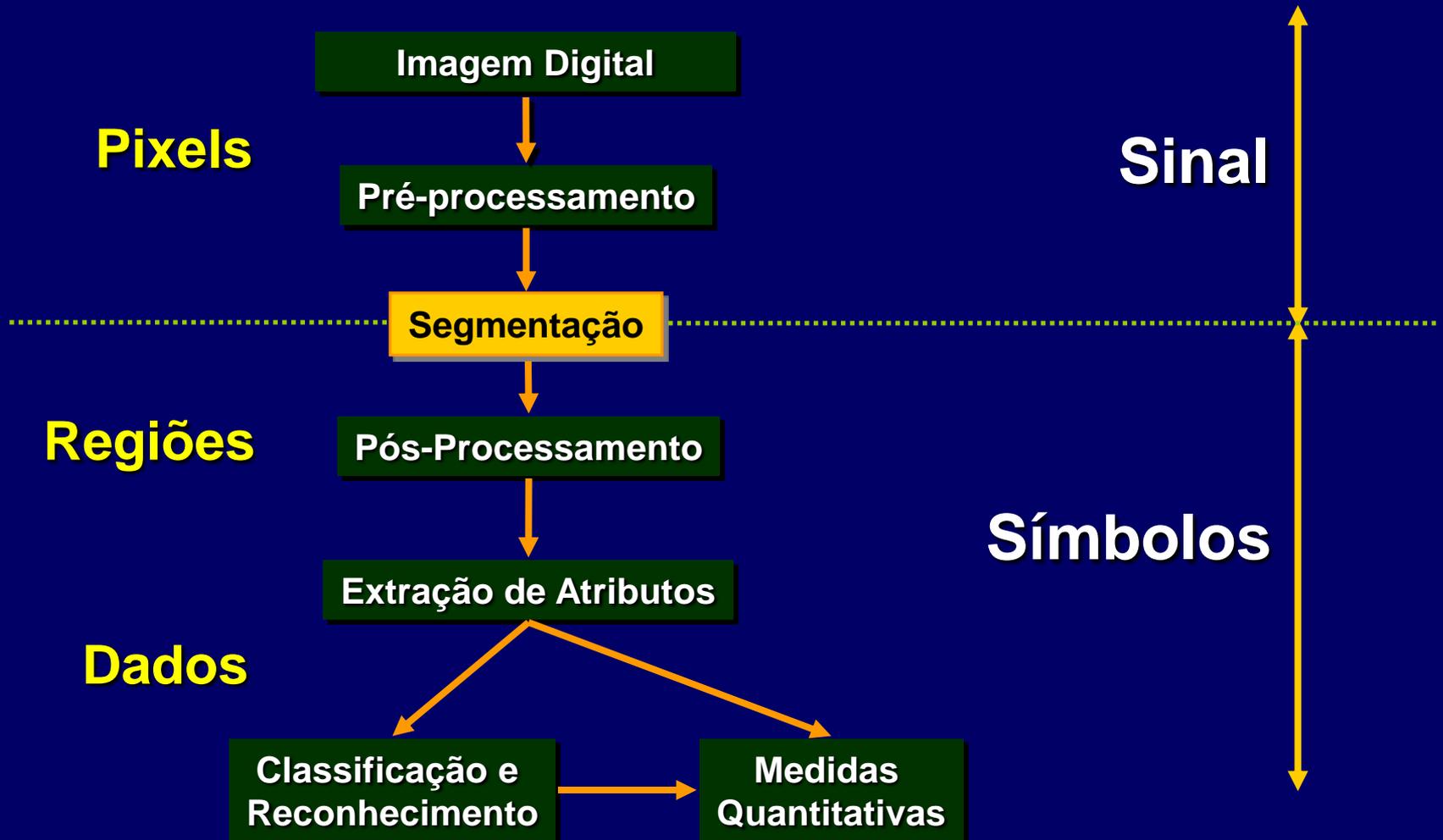


Algorithms for Image Processing and Computer Vision
Autor: J. R. Parker



Introdução ao Processamento Digital de Imagens
Curso de Pós-Graduação
Prof. Sidnei Paciornik
sidnei@dcomm.puc-rio.br

Etapas do Processamento de Imagens

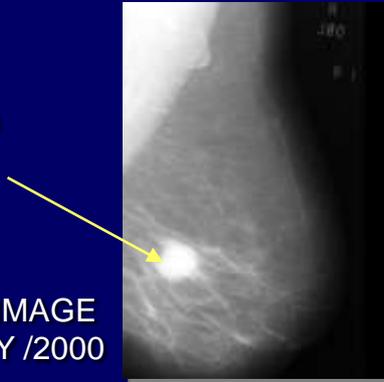


Segmentação

- Procura-se **distinguir** os “**objetos**” uns dos outros e do “**fundo**”.
- **Não existe** um modelo formal para segmentação. É um processo **empírico** e **adaptativo**.
- A segmentação **deve se ajustar** aos diferentes tipos de imagem.
- As etapas posteriores dependem da **eficiência** da **identificação** das regiões na imagem.
- A **segmentação** é **complexa** porque tenta **traduzir** para o computador um **processo cognitivo** extremamente sofisticado realizado através da **visão humana**.

Segmentação de Imagens

Informação relevante



Métodos fundamentais em Segmentação de imagens Em níveis de cinza

Similaridade

Descontinuidade

Binarização (Thresholding)

$$I(i, j) \begin{cases} < t \rightarrow 0 \\ \geq t \rightarrow 1 \end{cases}$$

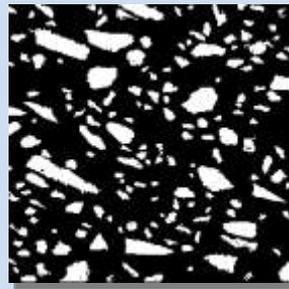
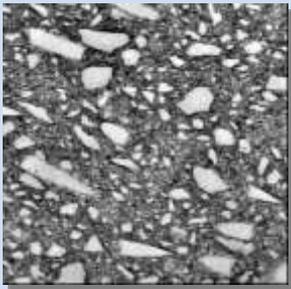


Imagem original

Imagem segmentada

Detecção de Bordas (Edge Detection)

$$\nabla I(i, j) = \left(\frac{\partial I}{\partial i}, \frac{\partial I}{\partial j} \right)$$

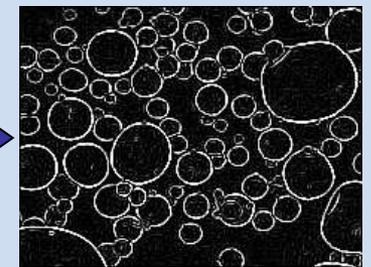
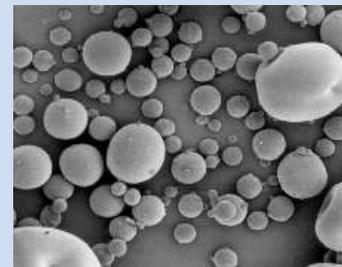


Imagem original

Imagem segmentada

Bin: Como Escolher o Threshold?

- **Questão Básica: Como escolher os tons de corte ?**
 - A escolha manual não é precisa
 - Métodos automáticos se baseiam na análise de propriedades do histograma
- **Métodos Automáticos**
 - Utilizam os mínimos do histograma
 - Os mínimos correspondem as tonalidades intermediárias entre duas bandas
 - **Problema:**
 - os vales podem ser muito largos e planos, tornando a escolha de um valor mínimo arbitrária
 - os vales podem assumir valores muito pequenos, ficando sensível a ruídos

Imagem Original
com Iluminação Irregular

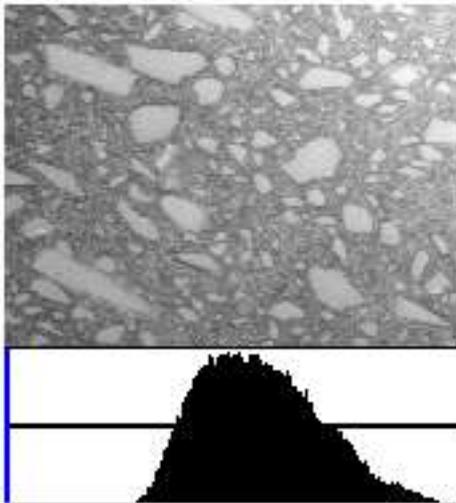


Imagem Corrigida

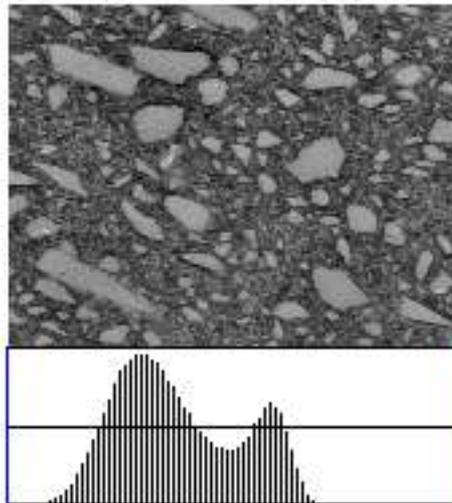
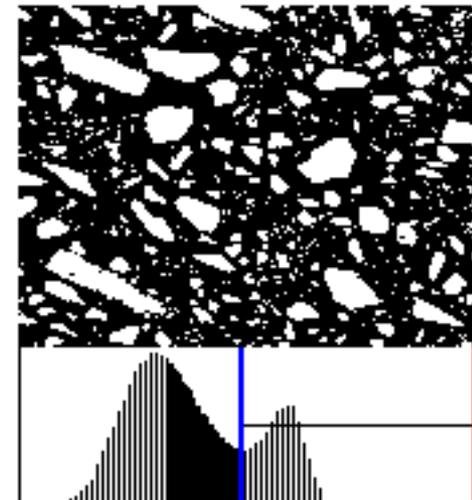


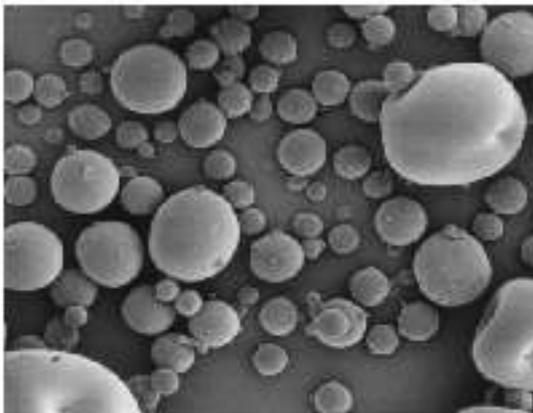
Imagem Segmentada com
Limiar no Mínimo



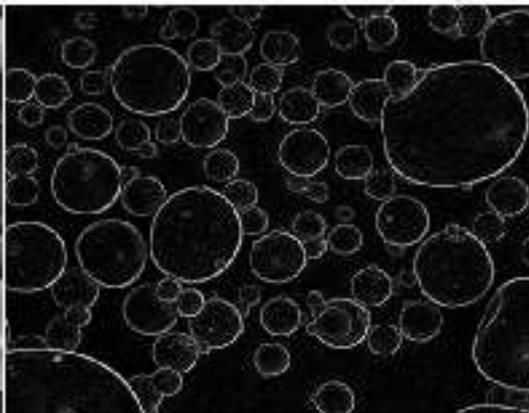
Segmentação por Bordas

- **Métodos baseados nos contornos dos objetos**
 - Um objeto pode ser entendido como uma região dentro de um contorno
 - Para distingui-lo **detecta-se as bordas** e tenta-se construir um **contorno** a partir delas.
 - Este modelo é **muito mais custoso computacionalmente**, mas simula o comportamento do olho humano e é muito flexível e genérico
 - **Problema:** ruído na imagem e o fato de que as fronteiras identificadas podem não ser fechadas
- **O método envolve duas etapas**
 - A detecção das bordas em si, utilizando um operador de derivada tipo Sobel
 - A identificação dos objetos a partir de seus contornos que são obtidos processando a imagem das bordas

Imagem Original



Sobel

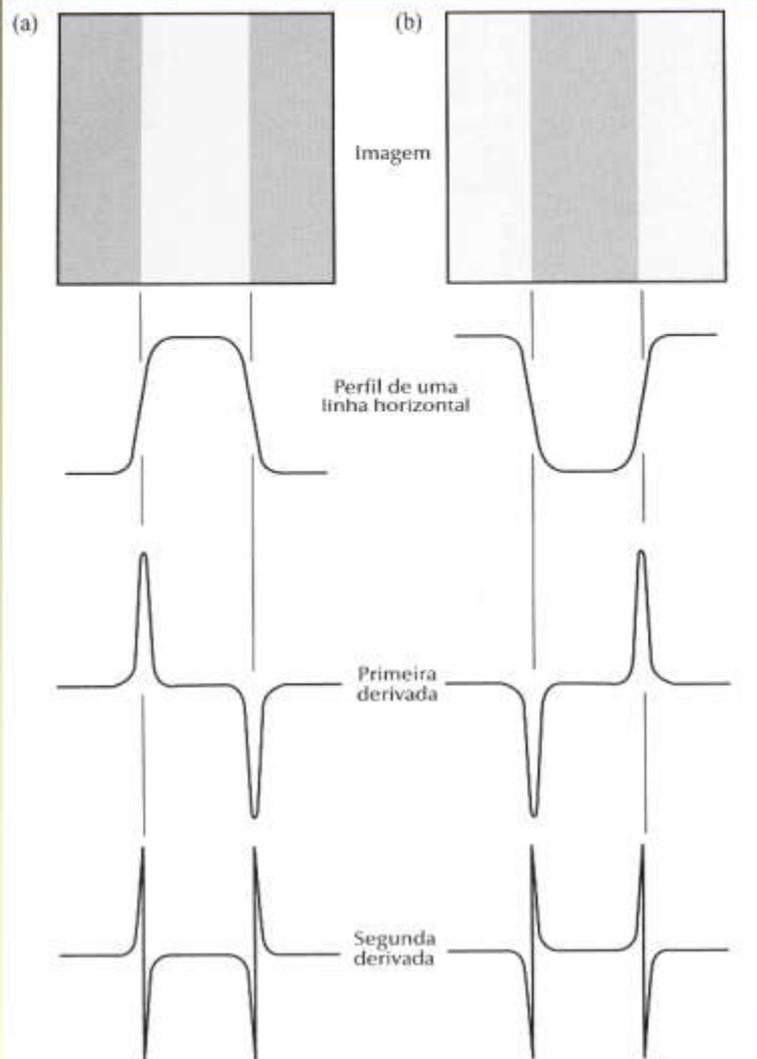


Sobel Limiarizado



c) Detecção de Bordas:

Uma Borda é o limite entre duas regiões com propriedades relativamente distintas de nível de cinza.



A magnitude da **primeira derivada** pode ser usada na detecção da presença de uma borda em uma Imagem.

A **segunda derivada** pode ser usada para determinar se um píxel da borda localiza-se no lado escuro ou claro da Imagem.

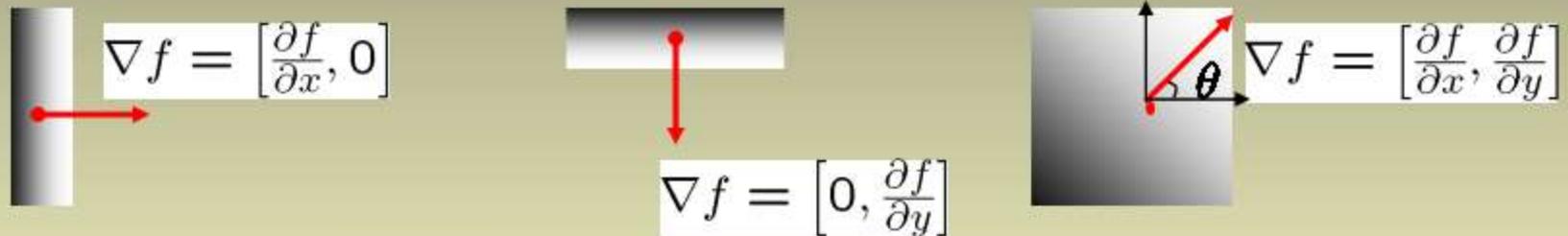
A segunda derivada possui um cruzamento por zero no ponto intermediário da transição dos níveis de cinza.

Imagem Gradiente

- O gradiente de uma imagem:

$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]$$

- O gradiente aponta na direção da mudança de intensidade mais rápida.



A direção do gradiente é dada por:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\partial f}{\partial y} / \frac{\partial f}{\partial x} \right)$$

- Ou seja, a direção é perpendicular à borda no ponto.

A Força da Borda (“*edge strength*”) é dada pela Magnitude do gradiente.

$$\|\nabla f\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$$

Operadores Gradiente

(Robert, Sobel, Prewitt, etc...)

$$\nabla f(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \\ \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix}$$

- Magnitude do Gradiente:
(Primeira Derivada)

$$|\nabla f(x, y)| \approx \left| \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \right| + \left| \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right|$$

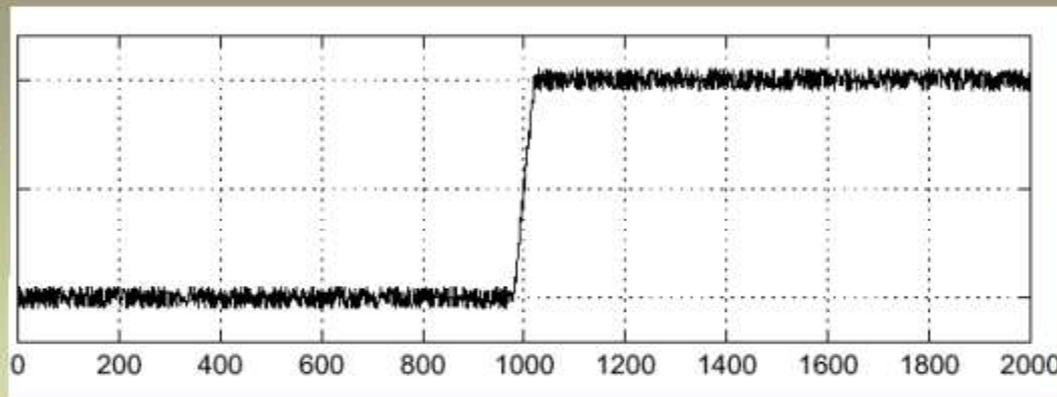
- Direção do Gradiente: (relativamente a x)

$$\theta(x, y) = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$$

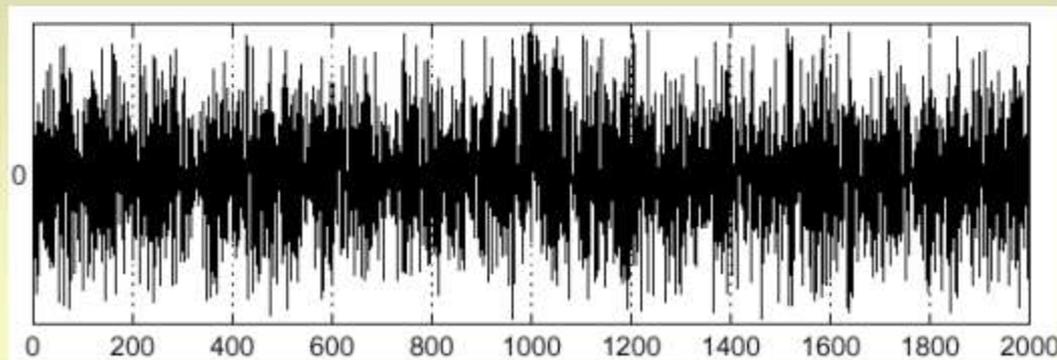
Efeitos do ruído

- Considere uma única linha ou coluna de uma imagem
 - Plotando a intensidade como função da posição:

$$f(x)$$



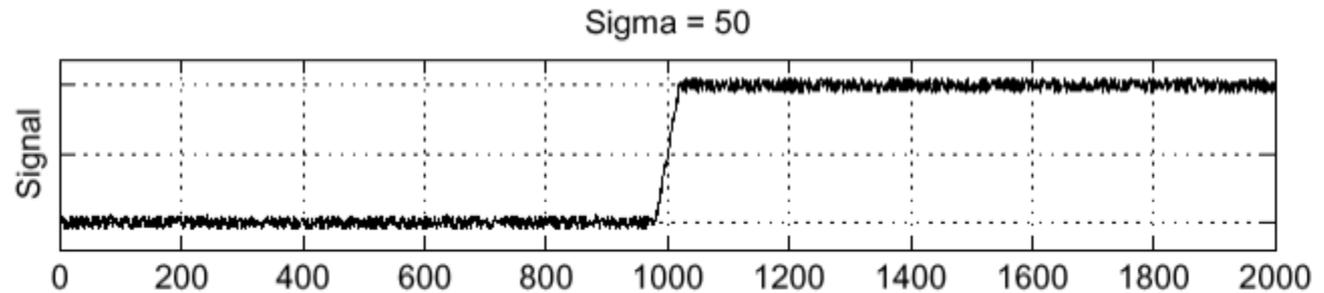
$$\frac{d}{dx}f(x)$$



Onde está a Borda?

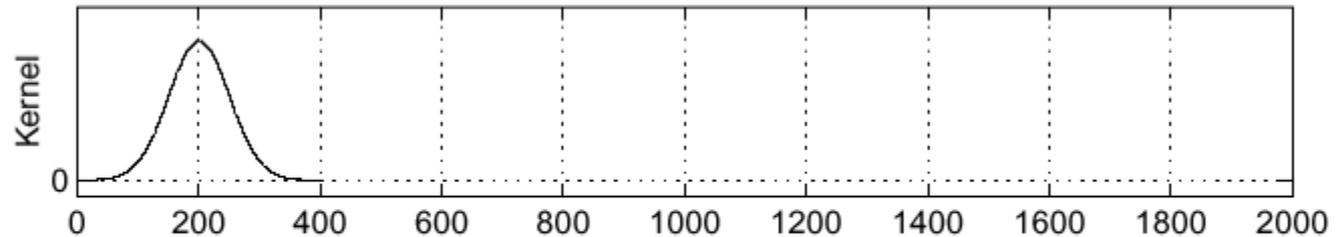
Solução: suavizar primeiro

f

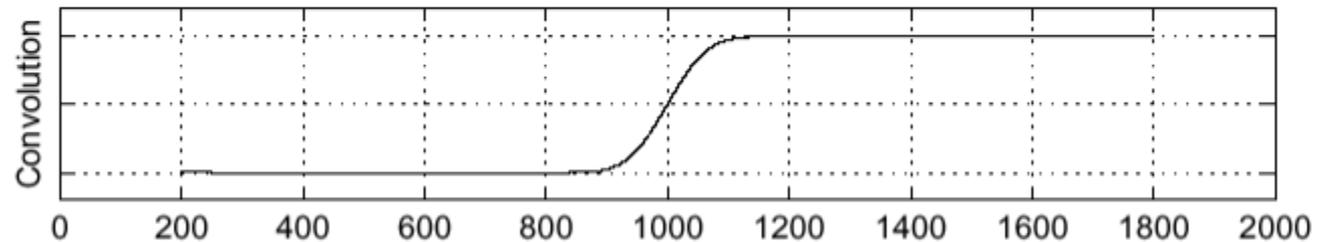


h

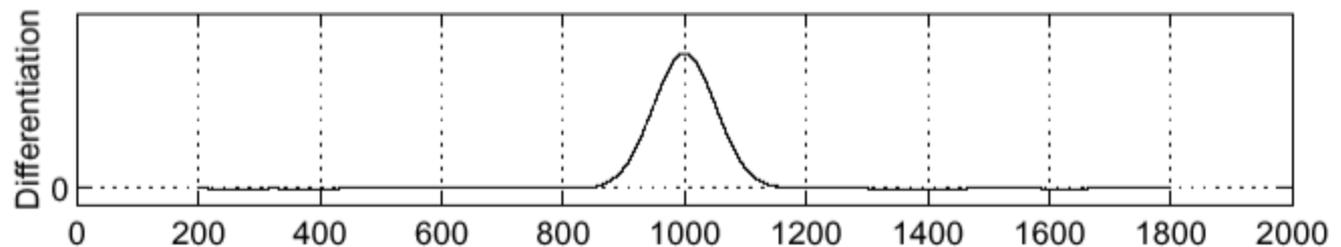
Gaussiana



$h \star f$



$\frac{\partial}{\partial x}(h \star f)$



Onde está a Borda?

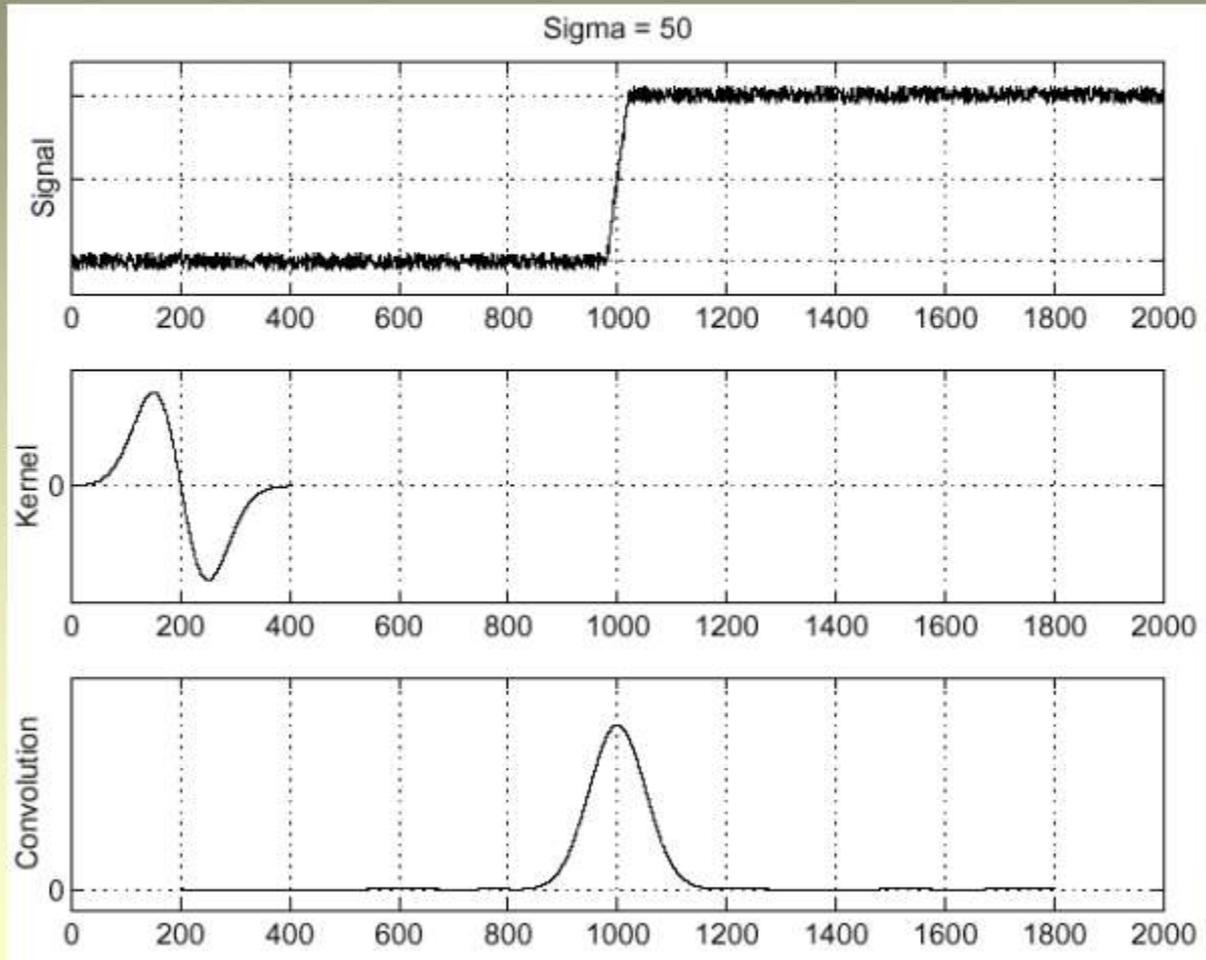
Procurar por picos em: $\frac{\partial}{\partial x}(h \star f)$

Teorema da Derivada da convolução

$$\frac{\partial}{\partial x}(h \star f) = \left(\frac{\partial}{\partial x}h\right) \star f$$

- Isso reduz uma operação:

f



$\frac{\partial}{\partial x}h$

Derivada da
Gaussiana

$\left(\frac{\partial}{\partial x}h\right) \star f$

Laplaciano da Gaussiana (LoG)

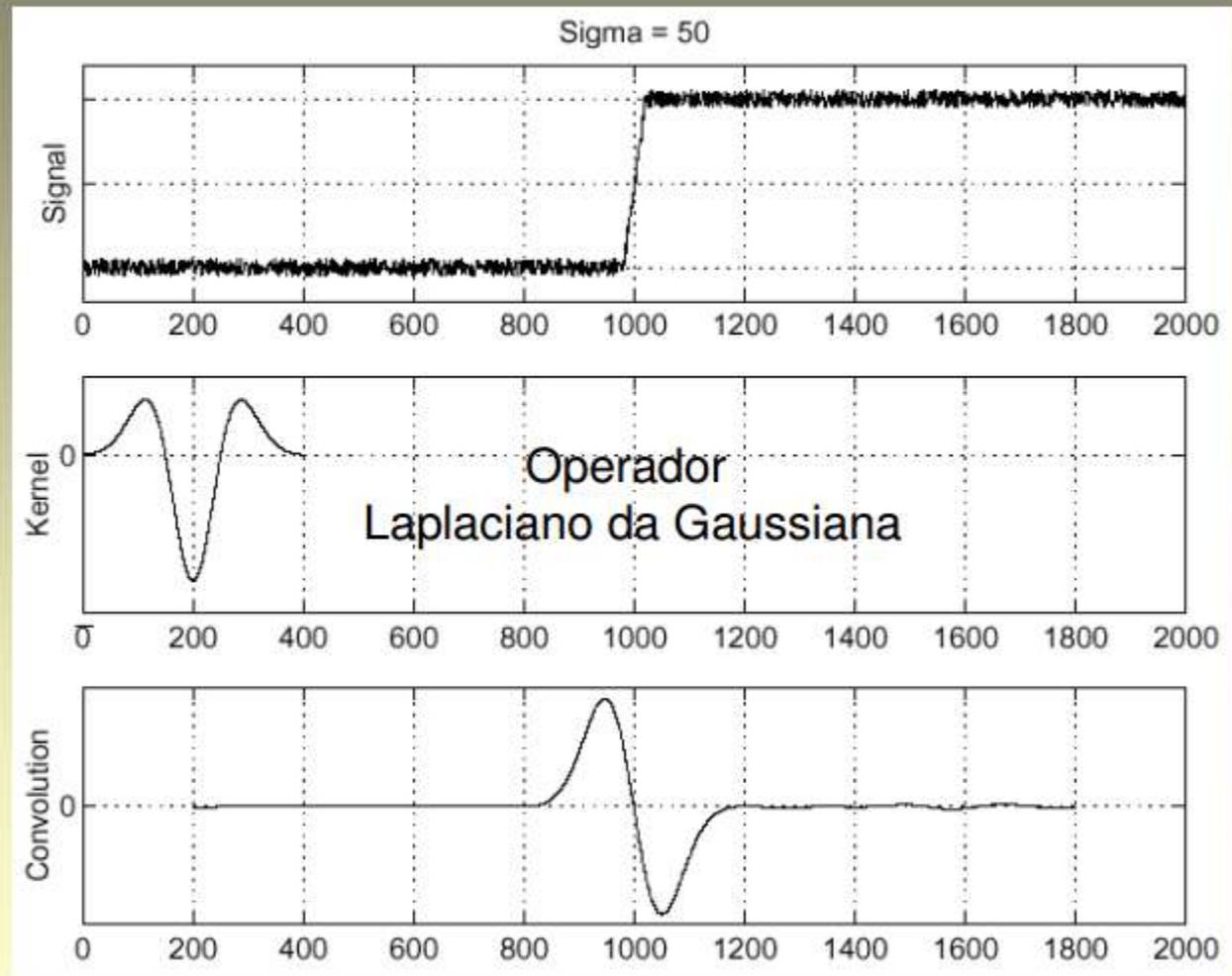
$$\frac{\partial^2}{\partial x^2}(h \star f)$$

f

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2}h$$

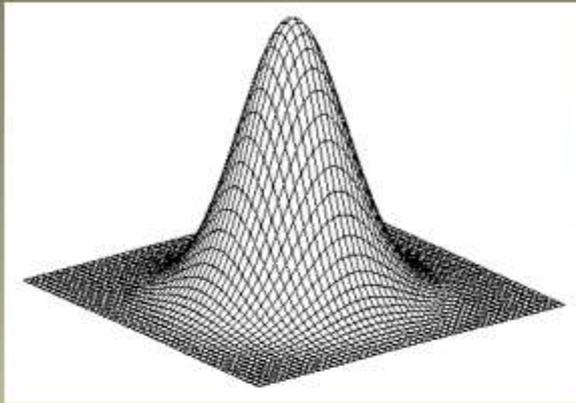
Derivada segunda
da Gaussiana

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}h\right) \star f$$



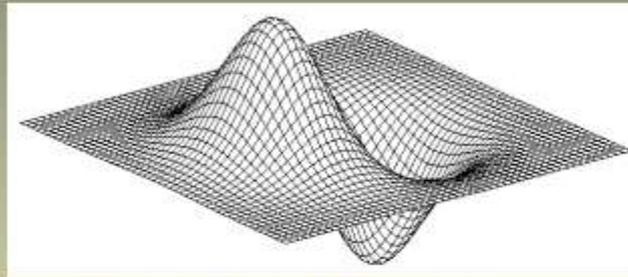
Onde está a borda? Passagem por zero (Zero-crossings)

Filtros de detecção de bordas 2D



Gaussiana

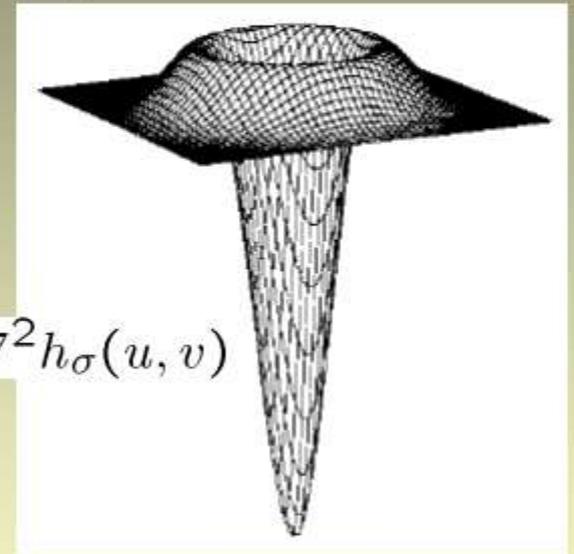
$$h_{\sigma}(u, v) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{u^2+v^2}{2\sigma^2}}$$



Derivada da Gaussiana

$$\frac{\partial}{\partial x} h_{\sigma}(u, v)$$

Laplaciano da Gaussiana



$$\nabla^2 h_{\sigma}(u, v)$$

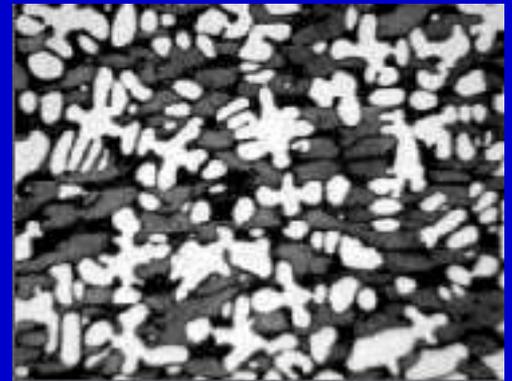
∇^2 é o operador **Laplaciano**:

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

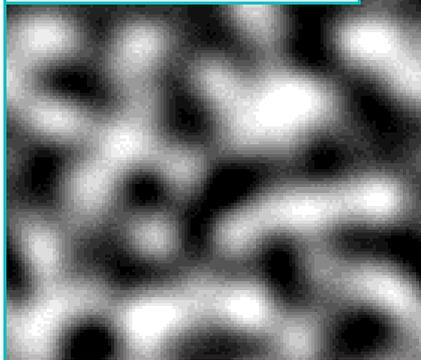
Segmentação por Bordas (cont.)

- **Exemplo:**

- O Método de Marr-Hildreth
 1. Borra-se a imagem com filtro passa-baixa (Gaussiano)
 2. Obtém-se o Laplaciano
 3. Localiza-se os cruzamentos por zero
 4. Os pontos localizados formam contornos fechados
- Também conhecido como método LOG (Laplacian of Gaussian)



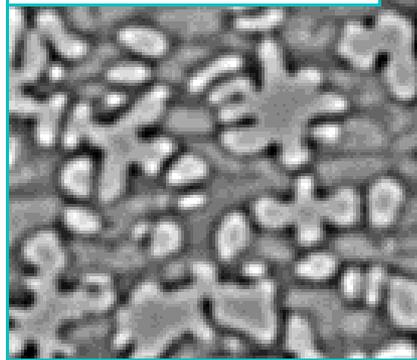
Gauss - Sigma Grande



Zero-crossings Laplaciano



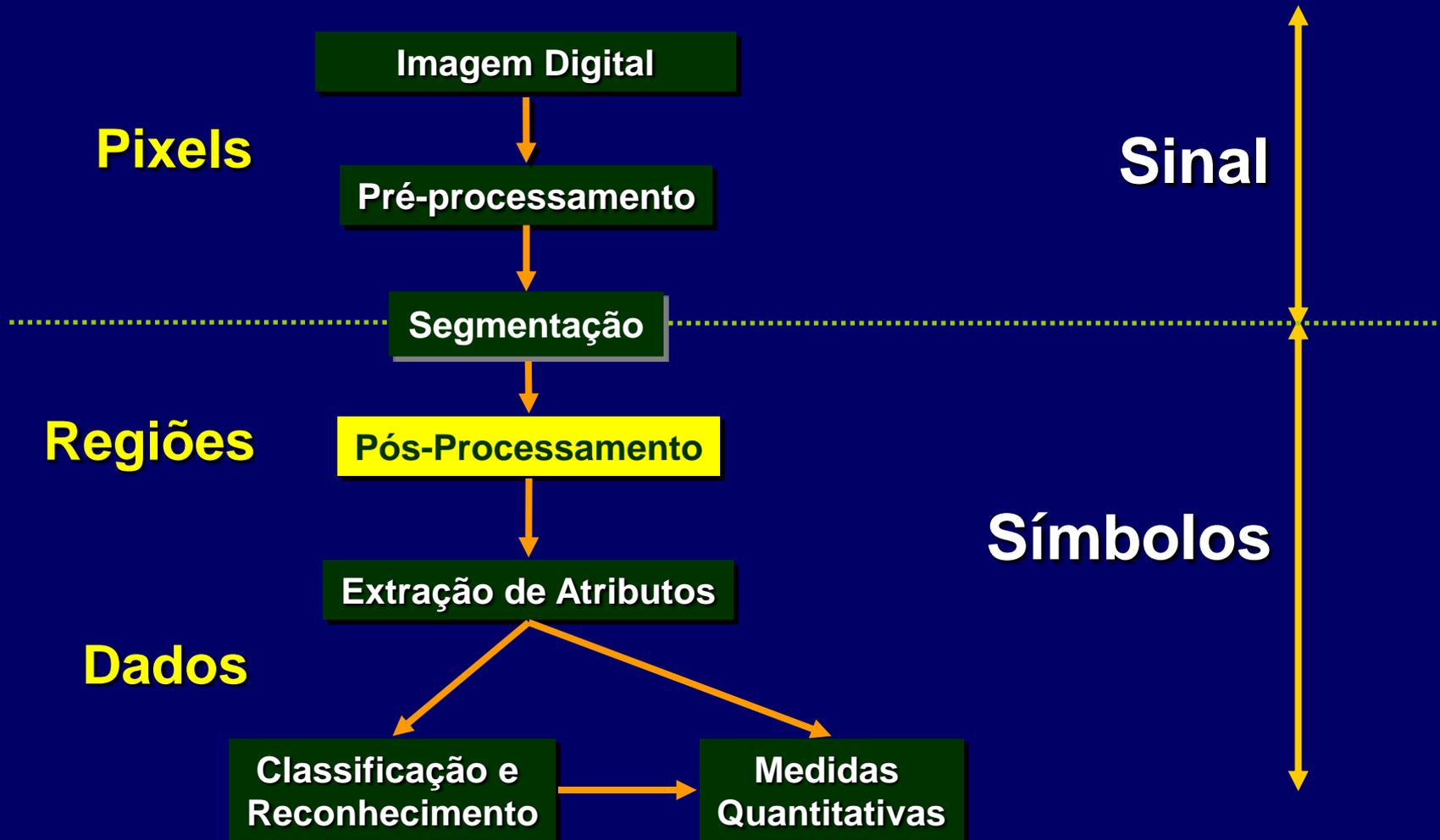
Gauss - Sigma Pequeno



Zero-crossings Laplaciano



Etapas do Processamento de Imagens

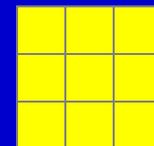


Pós-Processamento

- **Corrigir defeitos da Segmentação**
 - Muitas vezes o resultado da segmentação não é adequado
 - Para corrigir os defeitos residuais, na etapa denominada de pós-processamento, utiliza-se as técnicas da morfologia matemática
- **Operações Morfológicas**
 - São operações semelhantes as operações locais, nas quais um pixel da imagem de saída é função do valor dos pixels numa vizinhança da imagem de entrada.
 - Em imagens binárias, um pixel será preservado, eliminado ou invertido em função de ter um certo número de vizinhos iguais ou diferentes.

Morfologia Matemática

- Morfologia: **Estudo** das formas (em biologia)
- Morfologia Matemática: **ferramenta** para extrair componentes que ajudem a **representar** ou **descrever** uma determinada **forma**
 - bordas, esqueletos
 - filtros morfológicos, etc.
- Técnica baseada na **Teoria dos Conjuntos**
- Presença do Elemento Estruturante - (*Structuring Element*)



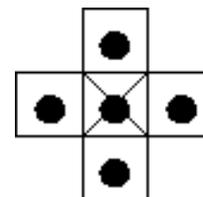
Forma básica

Tipos de Elementos Estruturantes

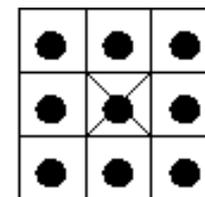
Representados por matrizes de dimensão 3×3

Podem ser utilizados para:

- realce de bordas
- eliminação das linhas verticais e horizontais com elementos estruturantes no formato de linhas e colunas.

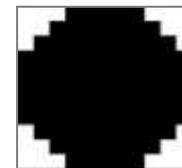
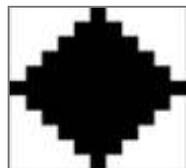


B4



B8

Exemplos de Elementos Estruturantes:



Operações morfológicas básicas

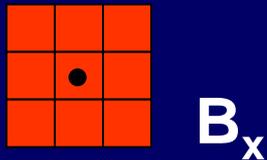
Operadores básicos: **Erosão**, **Dilatação**

Operações sofisticadas podem ser decompostas a partir dos 2 operadores básicos

Exemplo de Operações Básicas

Forma para exemplificar as operações elementares.

Forma básica
"Structuring
Element"



O pixel central
e seus 8 vizinhos

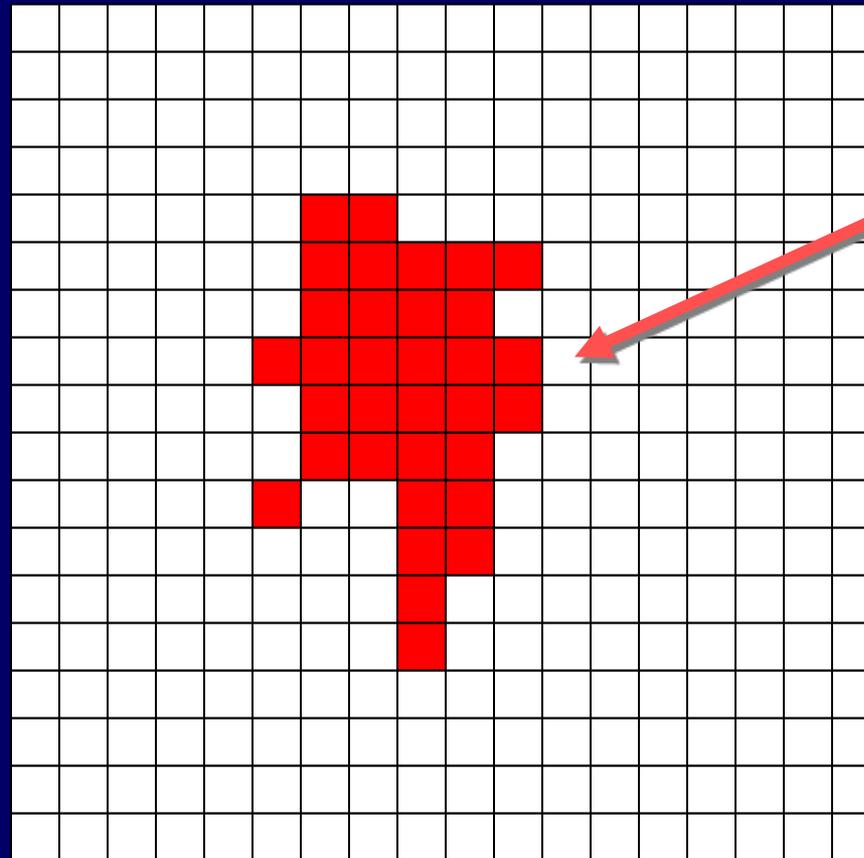


Imagem digital inicial

ϵ
Imagem
X
(tudo que
não \in
ao objeto)

Erosão Binária

- Erosão de \mathcal{E} pelo elemento estruturante B_x :

$$ero^B(X) = \{x \in \mathcal{E} : B_x \subset X\}$$

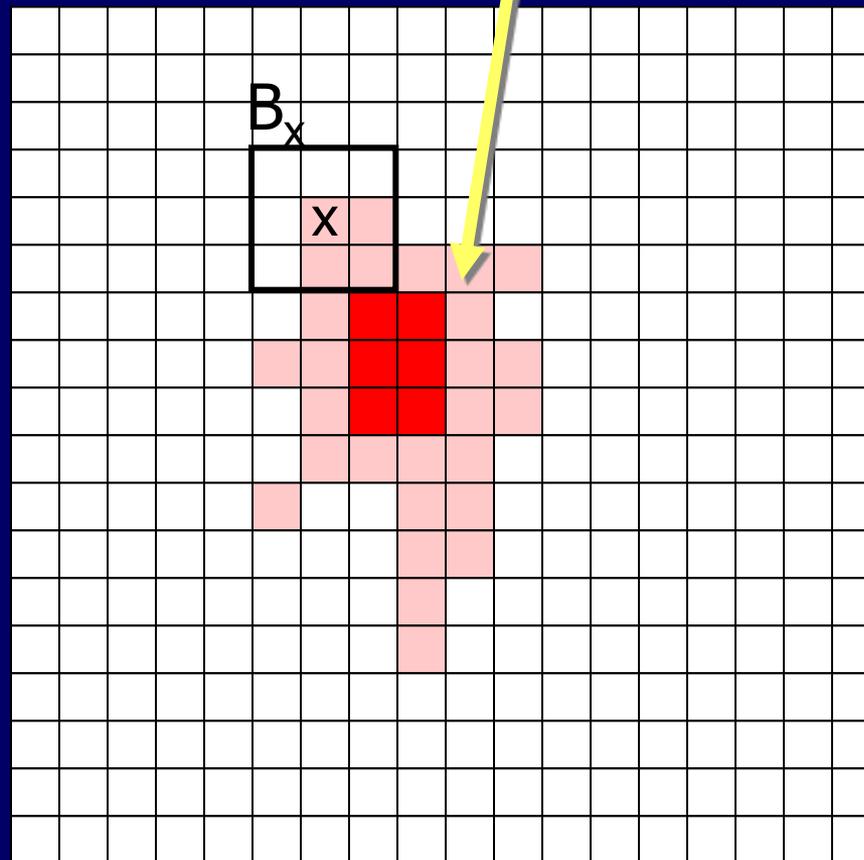
- O elemento estruturante B_x deve “deslizar” na imagem X .
- O pixel x do objeto \mathcal{E} , é eliminado se ao menos um pixel da imagem X estiver contido em B_x .
- O pixel eliminado é o pixel central de B_x .

B_x representa o elemento estruturante B centrado no pixel x

Erosão Binária (cont.)

Este procedimento **elimina** objetos **finos ou pequenos** e objetos maiores **tem sua área reduzida**

Pixels eliminados



“Structuring Element”

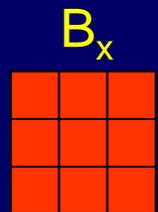


Imagem digital inicial

Dilatação Binária

- Dilatação \mathcal{E} pelo elemento estruturante B_x :

$$dil^B(X) = \{x \in X : B_x \cap X \neq \emptyset\}$$

- O elemento estruturante B_x deve “deslizar” na imagem X .
- O pixel x da imagem X , é inserido ao objeto \mathcal{E} , se ao menos um pixel do objeto estiver contido em B_x . O pixel é inserido, na imagem final, na posição central de B_x .

Dilatação Binária (cont.)

Este procedimento **elimina buracos** finos ou pequenos, **unindo objetos**. Os objetos, por sua vez, têm sua **área aumentada**.

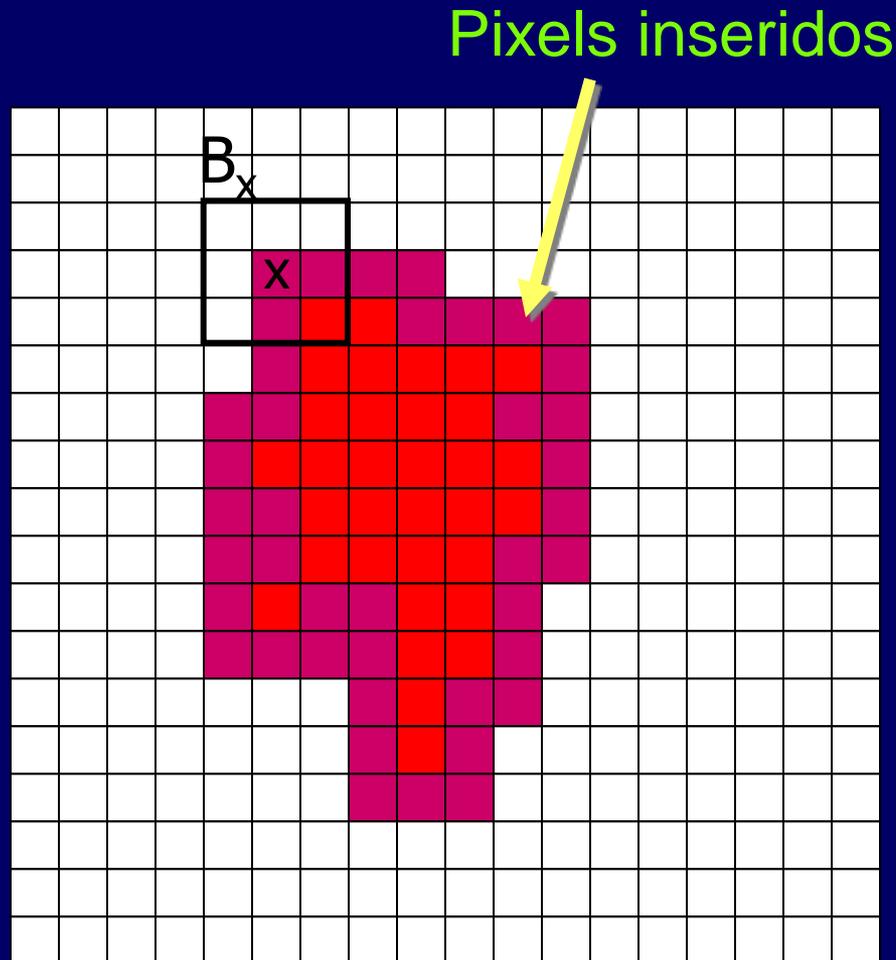


Imagem digital inicial

Exemplo de Erosão

Imagem Original

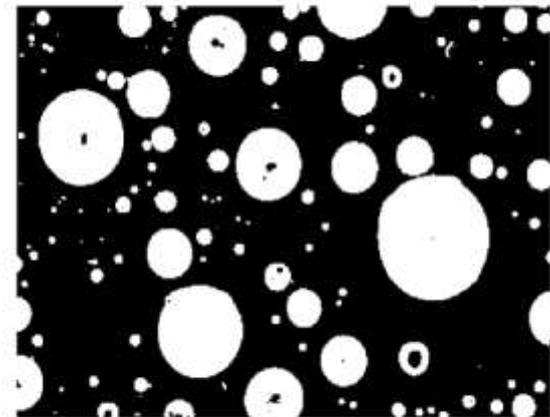
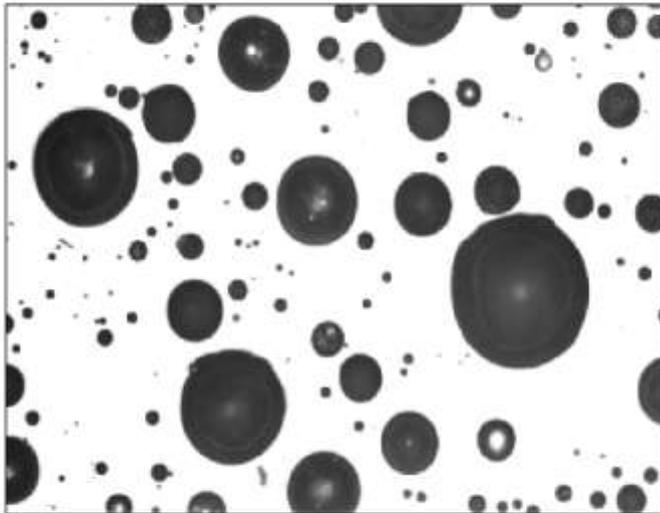


Imagem Binária Invertida

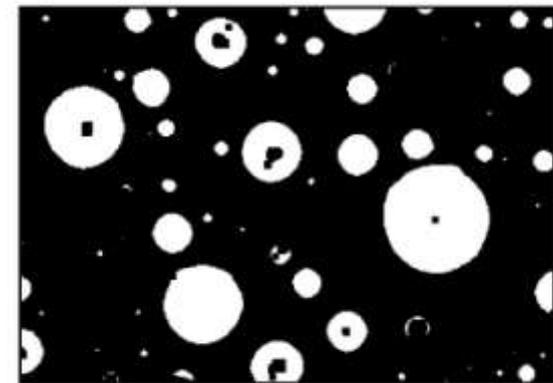


Imagem após 2 erosões

Exemplo de Dilatação

Imagem Original

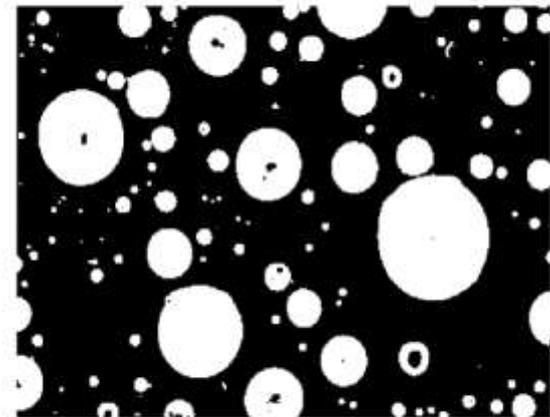
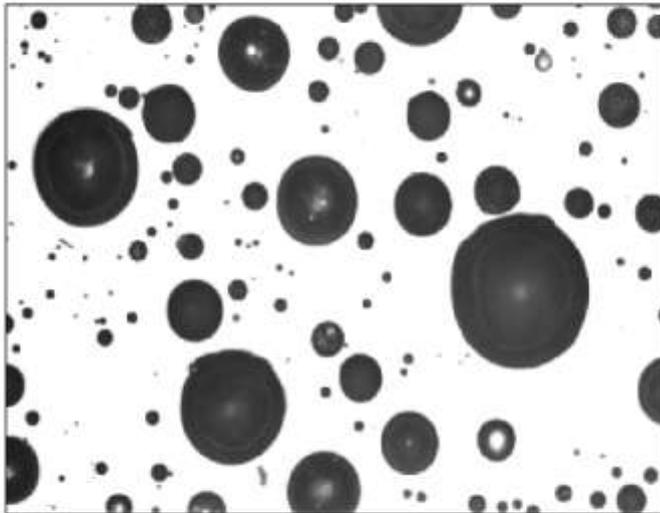


Imagem Binária Invertida

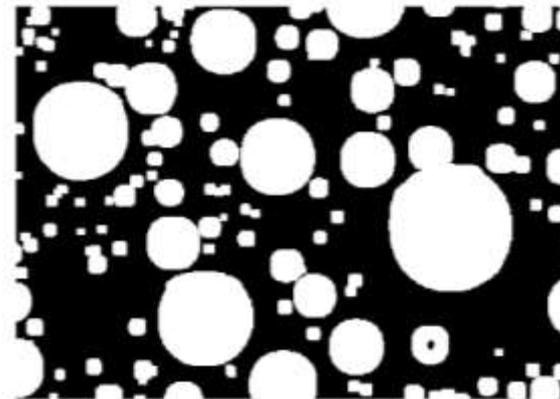


Imagem após 2 dilatações

Combinando Operações

Abertura

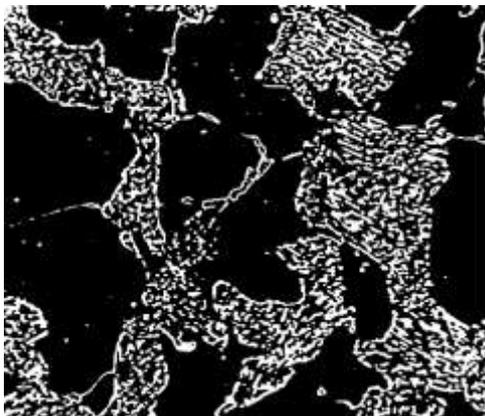
- N ciclos de erosão seguidos de N ciclos de dilatação
- Objetos muito pequenos desaparecem
 - **Obs:** pequenas conexões entre objetos
- Objetos maiores são pouco alterados

Fechamento

- N ciclos de dilatação seguidos de N ciclos de erosão
- Buracos pequenos desaparecem
 - **Obs:** separação entre objetos são eliminadas
- Objetos maiores são pouco alterados

Se o número de ciclos for grande, quando comparado com o diâmetro dos objetos, ocorrerão distorções de forma.

Imagem Original



Abertura



Fechamento



Outras Operações

Preenchimento (Fill) – objetos com contorno fechado tem seus “buracos” preenchidos

Thickening – Espessamento

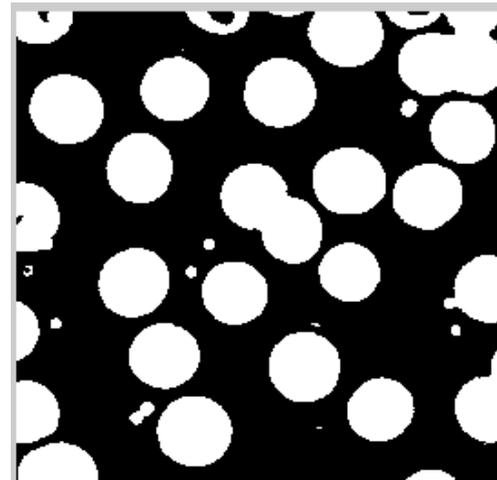
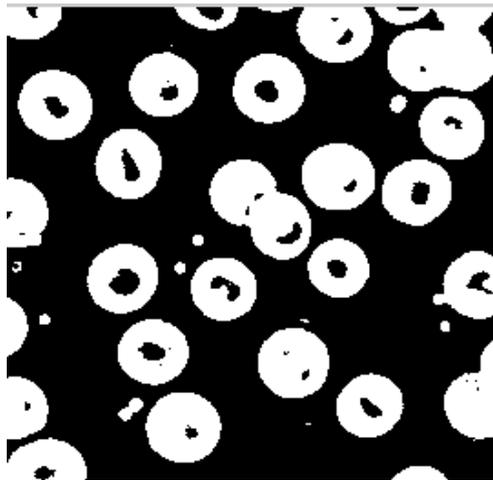
Thinning – Afinamento

Top-Hat – Imagem diferença da original com a sua abertura

Bottom-Hat – Imagem diferença da original com a seu fechamento

Exemplo

Preenchimento



Outras Operações

Erosão derradeira (ultimate erosion)

- os objetos são erodidos até que um próximo passo os eliminaria
- utilizada para localizar “semente” de objetos e medir tamanhos

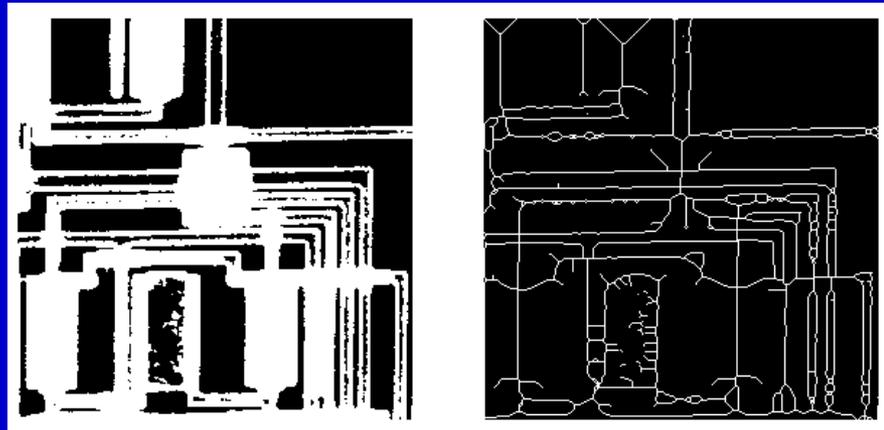
Dilatação derradeira (ultimate dilation)

- os objetos são dilatados até que um próximo passo os uniria
- utilizada na segmentação watershed

Esqueleto ou Transformada do Eixo Medial

- Corresponde a uma erosão derradeira com a condição de não remover pixels que quebrariam o objeto em dois
- Fornece informação topológica e métrica sobre o objeto

Exemplo:



As operações morfológicas podem ser aplicadas em imagens de tons de cinza. Neste caso as operações são de categorização de vizinhanças (rank operator) tais como máximo e mínimo local.

Exemplo da Utilização da MM

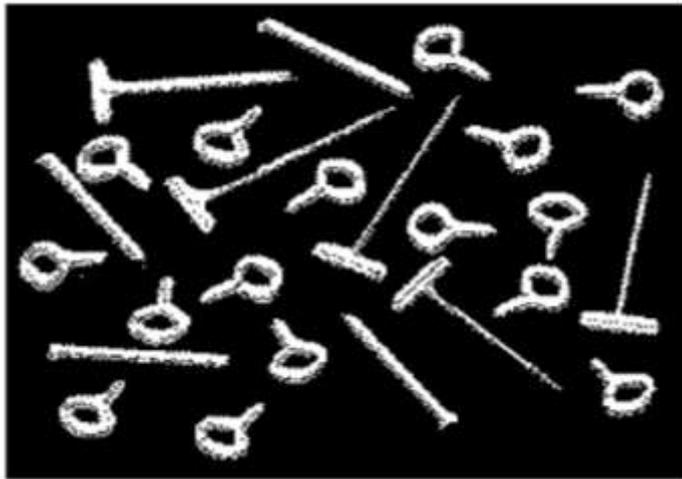


Imagem segmentada

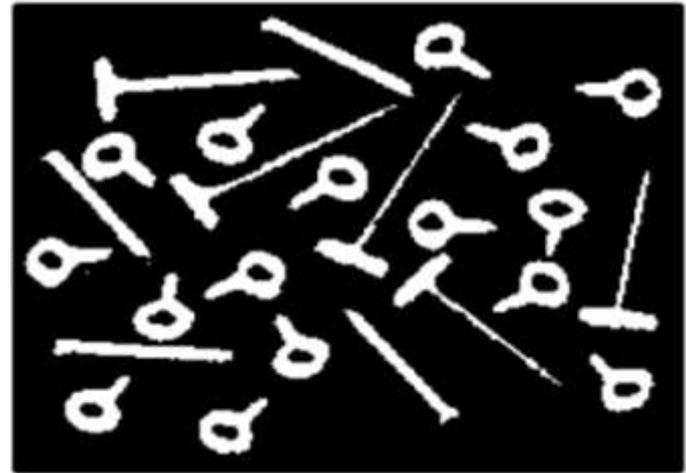


Imagem filtrada

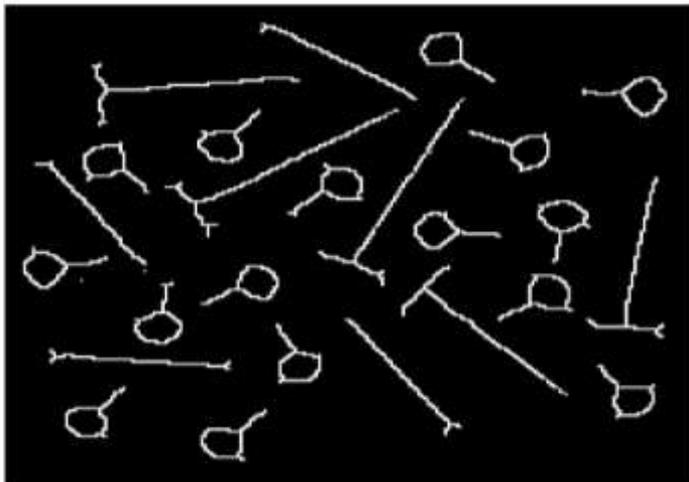
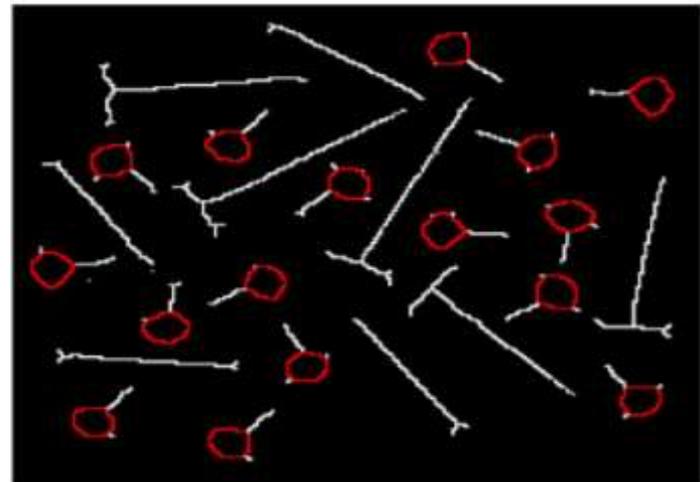
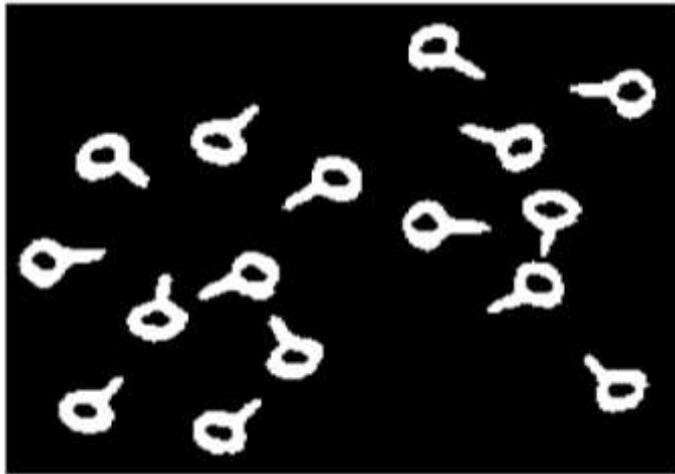


Imagem esqueleto



Identificação dos anéis

Exemplo da Utilização da MM



1a. classe identificada

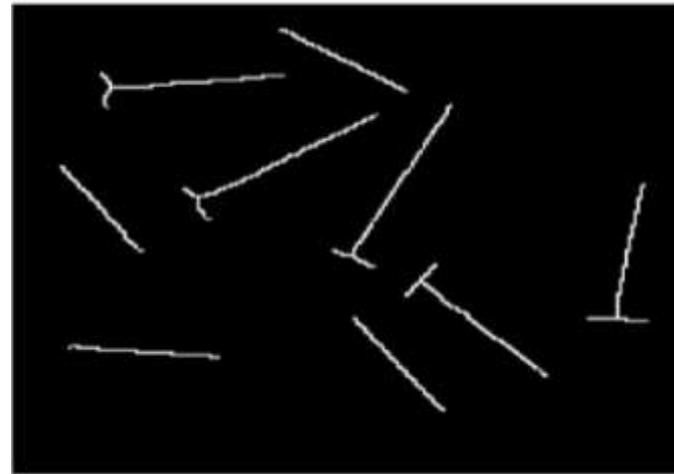
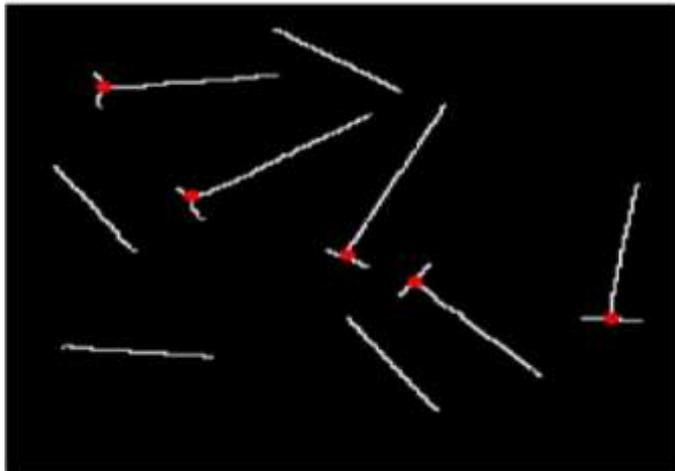
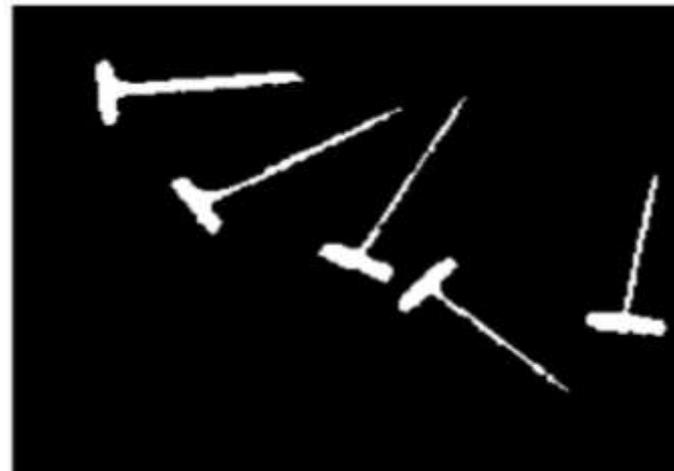


Imagem sem 1a. classe

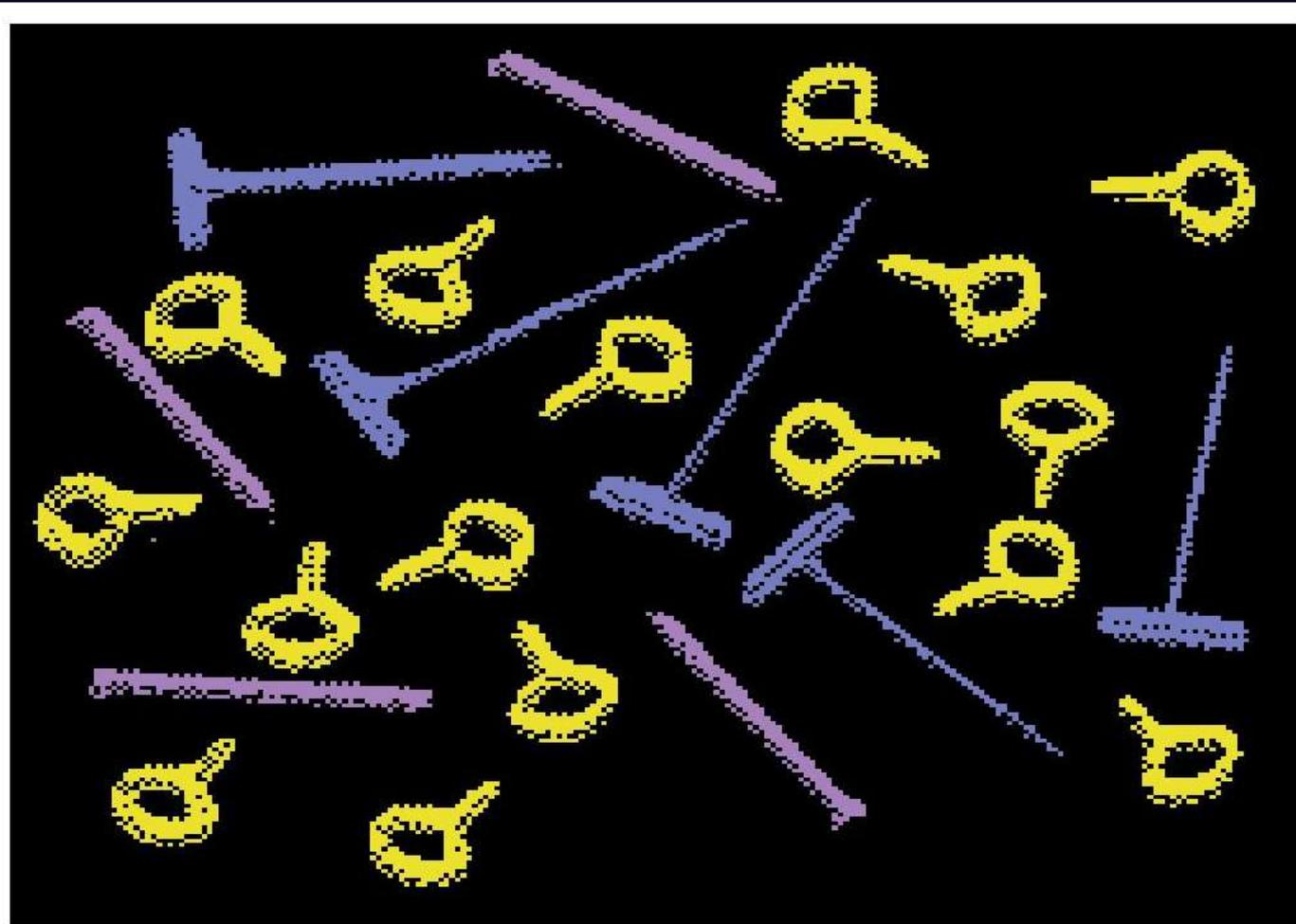


Identificação "triples points"



2a. Classe identificada

Exemplo da Utilização da MM



Objetos identificados

Conclusões

Suporte Bi-Dimensional para troca de informação....

Qual informação ?

Como extrair esta informação da imagem ?

Como realizar uma análise **quantitativa** ?

Diversas alternativas:

- Parâmetros com características **métricas** ou **topológicas** (área, perímetro, borda, dimensões, fatores de forma, conectividades, espessura, etc)

Associado à Física Experimental (Ferramenta de medida) exige:

- ação **fora** da imagem (no experimento/amostra).
- ação **na imagem** (filtros, correções, ...).
- definição na **forma de representação** da informação.
- **automação** do processo (análise estatística)

Exercícios

SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS E MORFOLOGIA

ESCOLA DO CBPF - 2012

LISTA DE EXERCÍCIOS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

1 - ESTUDO DE UMA FORMA - SEGMENTAÇÃO DA IMAGEM / MORFOLOGIA

9	9	9	8	9	8	9	8	8	8	8	9	9	9	9
8	8	9	8	8	8	8	8	7	8	8	8	9	8	9
7	7	7	6	6	7	7	7	6	6	6	7	8	8	
6	7	6	6	2	1	1	1	1	1	1	1	7	8	8
7	7	6	4	3	1	0	0	0	1	2	2	6	7	8
7	6	5	4	2	0	0	0	0	1	2	5	6	7	8
7	7	6	6	7	6	0	0	1	6	7	7	7	8	7
7	7	7	7	6	6	0	0	1	6	7	7	8	7	8
7	5	8	7	6	6	0	1	1	6	7	7	7	7	8
7	4	7	8	7	6	1	1	2	6	7	7	7	8	7
6	6	6	7	8	7	2	2	3	6	7	6	7	7	7
6	6	4	6	7	6	2	3	5	7	6	6	6	7	7
6	6	3	4	6	6	6	7	7	6	6	6	6	7	7
4	4	6	4	4	6	6	6	7	7	6	7	7	5	8
2	3	6	6	6	4	6	7	6	7	6	6	6	7	4

A imagem digital I_0 apresentada acima foi digitalizada com um conversor analógico digital de 4 bits. Esta imagem apresenta uma resolução de 15 pixels horizontal e vertical.

- Calcule o Histograma de luminância de I_0 .
- Que considerações podem ser feitas sobre esta imagem?
- Aplicamos a esta imagem inicial o seguinte algoritmo, com o objetivo de obtermos a imagem I_1 .

$$\forall i, j \in [1,15] \text{ se } I_0(i, j) \leq S \text{ então } I_1(i, j) = 1 \text{ senão } I_1(i, j) = 0$$

- Explique a operação efetuada por este algoritmo.
 - Construa a imagem I_1 sabendo que $S=5$.
 - O valor de S é um valor ideal? Faça eventualmente uma outra proposta.
- Considere dois elementos estruturantes, conforme representação abaixo:
 - O primeiro com conectividade 8 (B8)
 - O segundo com conectividade 4 (B4)



B4



B8

Exercício

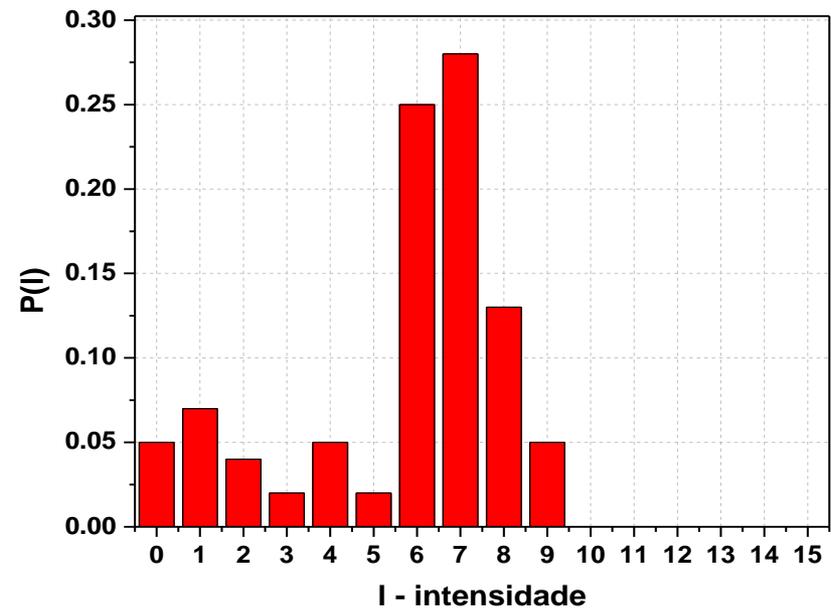
A imagem digital I_0 apresentada foi digitalizada com um conversor analógico digital de 4 bits. Esta imagem apresenta uma resolução de 15 dpi's horizontal e vertical.

a) Calcule o Histograma de luminância de I_0 .

Solução

9	9	9	8	9	8	9	8	8	8	8	9	9	9	9
8	8	9	8	8	8	8	8	7	8	8	8	9	8	9
7	7	7	6	6	7	7	7	7	6	6	6	7	8	8
6	7	6	6	2	1	1	1	1	1	1	1	7	8	8
7	7	6	4	3	1	0	0	0	1	2	2	6	7	8
7	6	5	4	2	0	0	0	0	1	2	5	6	7	8
7	7	6	6	7	6	0	0	1	6	7	7	7	8	7
7	7	7	7	6	6	0	0	1	6	7	7	8	7	8
7	5	8	7	6	6	0	1	1	6	7	7	7	7	8
7	4	7	8	7	6	1	1	2	6	7	7	7	8	7
6	6	6	7	8	7	2	2	3	6	7	6	7	7	7
6	6	4	6	7	6	2	3	5	7	6	6	6	7	7
6	6	3	4	6	6	6	7	7	6	6	6	6	7	7
4	4	6	4	4	6	6	6	7	7	6	7	7	5	8
2	3	6	6	6	4	6	7	6	7	6	6	6	7	4

Histograma



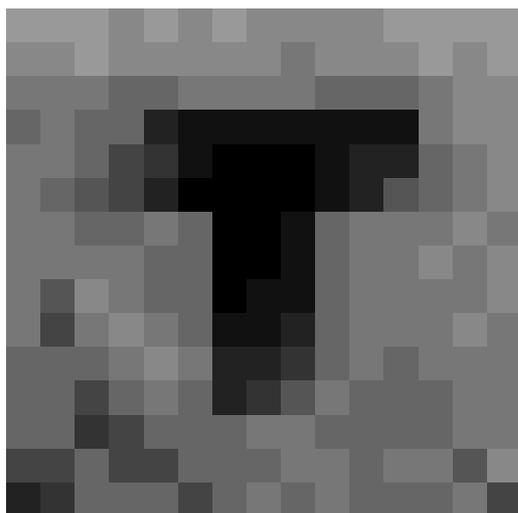
Questão b)

b) Que considerações podem ser feitas sobre esta imagem?

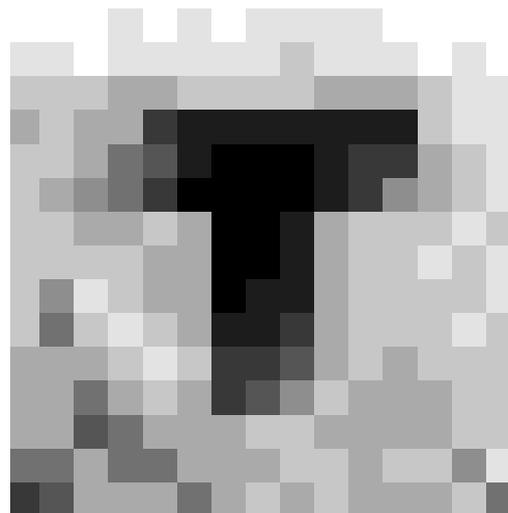
Solução O número de bits foi superestimado, pois com 4 bits temos 16 níveis de cinza e na imagem só possuo representações de 0 à 9.

Ou ainda

É uma imagem de baixa frequência, i.e., a maioria das luminâncias estão concentradas em praticamente dois níveis de cinza (6 e 7).



16 níveis de cinza



10 níveis de cinza

Questão c)

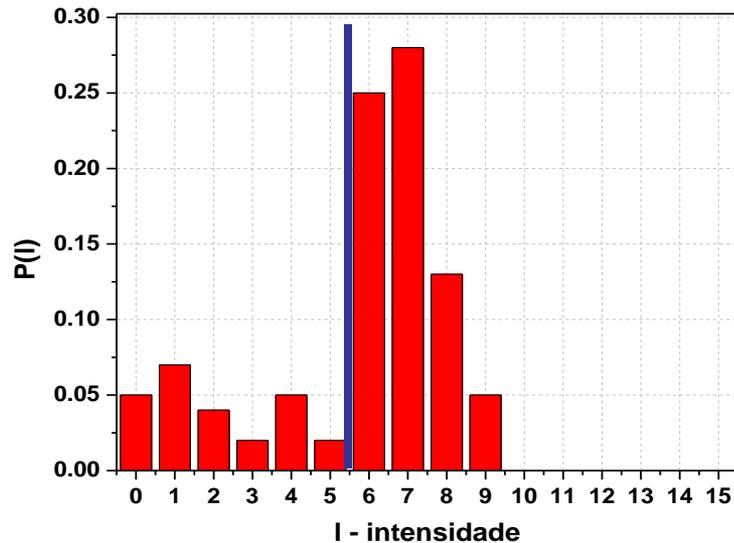
c) Aplicamos a esta imagem inicial o seguinte algoritmo, com o objetivo de obtermos a imagem I_1 .

$$\forall i, j \in [1,15] \quad \text{se } I_0(i, j) \leq S \quad \text{então } I_1(i, j) = 1 \quad \text{senão } I_1(i, j) = 0$$

Que considerações podem ser feitas sobre esta imagem?

- Explique a operação efetuada por este algoritmo.
- Construa a imagem I_1 sabendo que $S=5$.
- O valor de S é um valor ideal? Faça eventualmente uma outra proposta.

Solução



I_1

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Questão d)

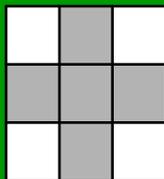
d) Considere dois elementos estruturantes, conforme representação abaixo:

- O primeiro com conectividade 8 (B8)
- O segundo com conectividade 4 (B4)

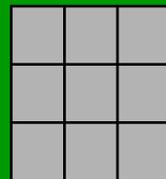
• Construir a partir destas estruturas básicas as imagens binárias seguintes:

- i. $I_2 = I_1$ erosão B4
- ii. $I_3 = I_1$ erosão B8
- iii. $I_4 = I_2$ dilatado de B4
- iv. $I_5 = I_3$ dilatado de B8

• Compare as imagens obtidas (I_2 e I_3) e (I_4 e I_5)



B4



B8

Solução

$I_2 = I_1$ erosão B4

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1

```
se4 = [0 1 0
       1 1 1
       0 1 0];
I2 = erode(C, se4);
imshow(~I2)
```

Questão d)

Solução

$I_3 = I_1$ erosão B8

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

```
se8 = [1 1 1
       1 1 1
       1 1 1];
I3 = erode(C, se8);
imshow(~I3)
```



Solução

$I_4 = I_2$ dilatado de B4

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

```
se4 = [0 1 0
       1 1 1
       0 1 0];
I4 = dilate(I2, se4);
imshow(~I4)
```



Questão d)

Solução

$I_5 = I_3$ erosão B8

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

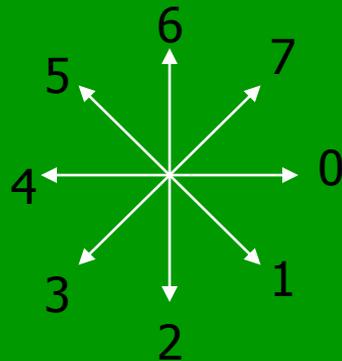
```
se8 = [1 1 1
       1 1 1
       1 1 1];
I5 = dilate(I3, se8);
imshow(~I5)
```



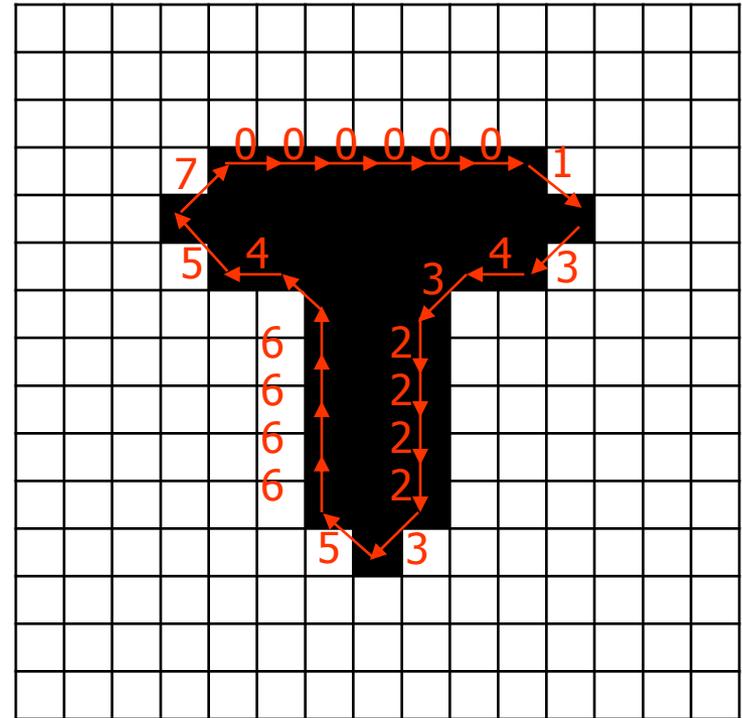
Questão e)

e) A partir de I_4 propor um algoritmo que realize uma detecção do contorno e a seqüência do contorno (o caminho percorrido que guarde a informação do contorno do objeto). Detalhe as situações seguintes:

- Método de inicialização do algoritmo:
- Apresente o código de FREEMAN do contorno obtido. O código de FREEMAN pode ser conseguido no livro: “Digital Image Processing” de R.C.Gonzalez e R.Woods – 1992 – Capítulo: “Representation and Description”, tópico: “Chain Codes”
- Propor uma descrição estrutural da forma obtida em I_3 .



Solução



Inicialização: percorre a imagem linha por linha até encontrar um pixel igual a 1. Quando encontrar seguir a seqüência do código de Freeman abaixo:

000000134322223566665457

Aplicações

Processamento de Imagens

Imagem AFM-PFM & PDI

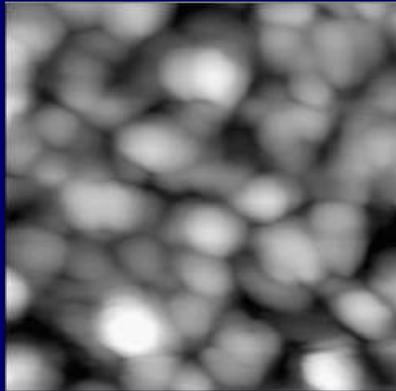


Imagem AFM

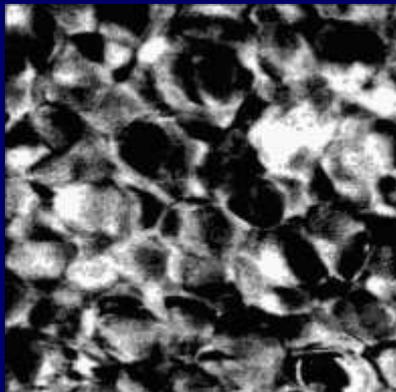
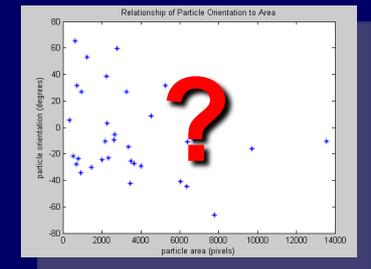


Imagem PFM

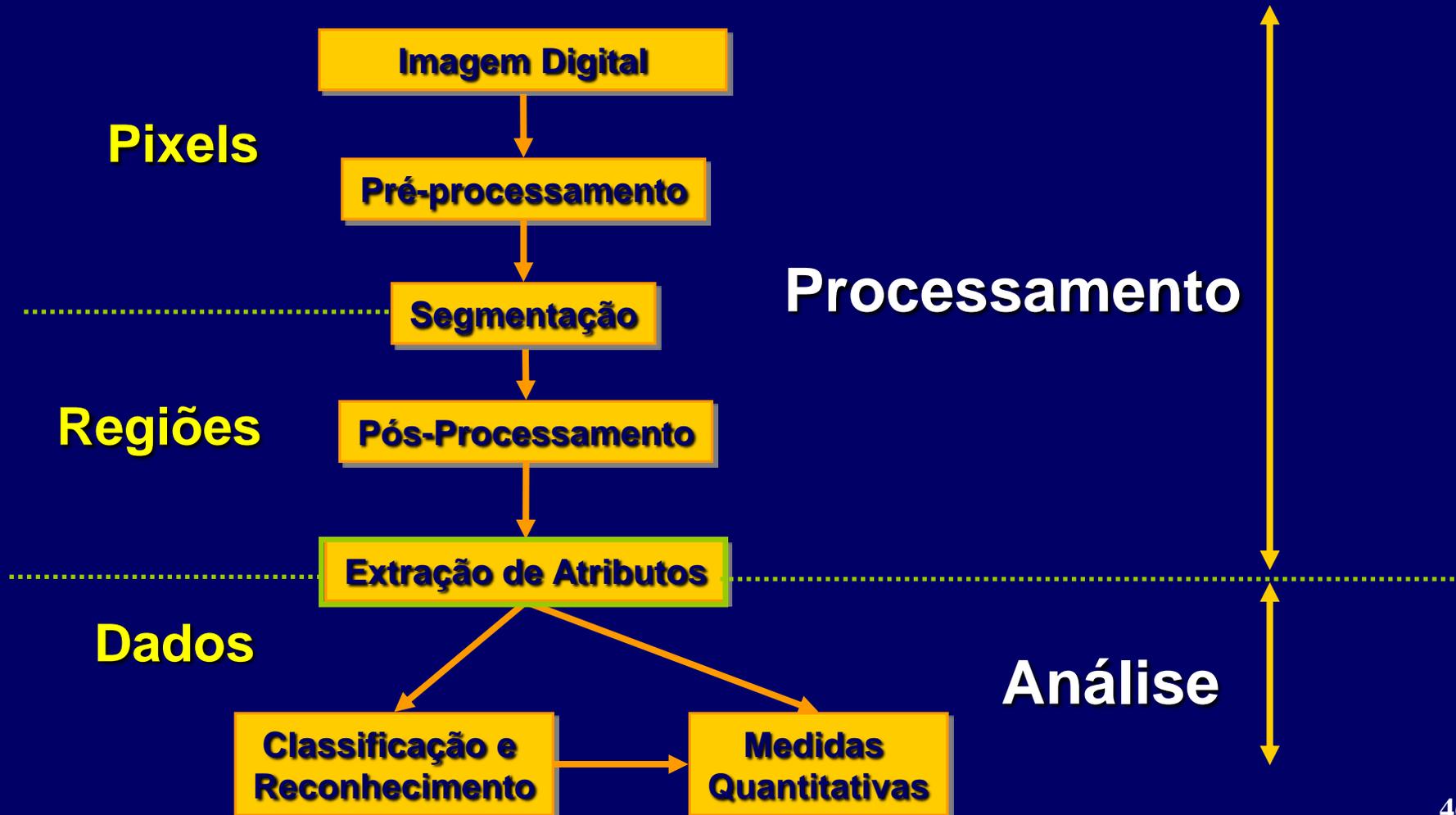


*Processamento
de Imagens
AFM-PFM*



**Quais análises
são possíveis ?**

Etapas do Processamento de Imagens



Processamento de Imagens

AFM-PFM

1. *Melhorando o contraste*
2. *Invertendo a imagem e detectando os vales*
3. *Watershed*
4. *Etiquetando e medindo os grãos*
5. *Relacionando grãos AFM e PFM*
6. *Resultados preliminares por grão*

1. Melhorando o Contraste

Em uma imagem AFM muitos objetos de diferentes tamanhos se “tocam”

- Melhorar Contraste:
- **Separar** os objetos de interesse → morfologia matemática
 - Aumentando o espaçamento entre os grãos

$$I_{Original} + I_{TopHat} - I_{BottomHat} = I_{EnhanceContrast}$$

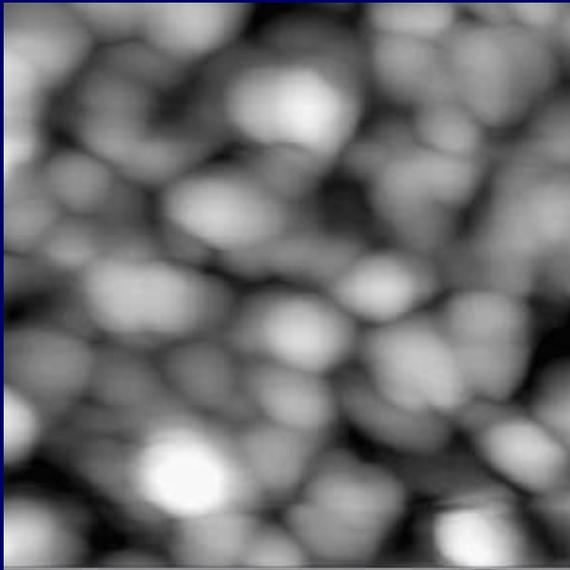


Imagem AFM Original

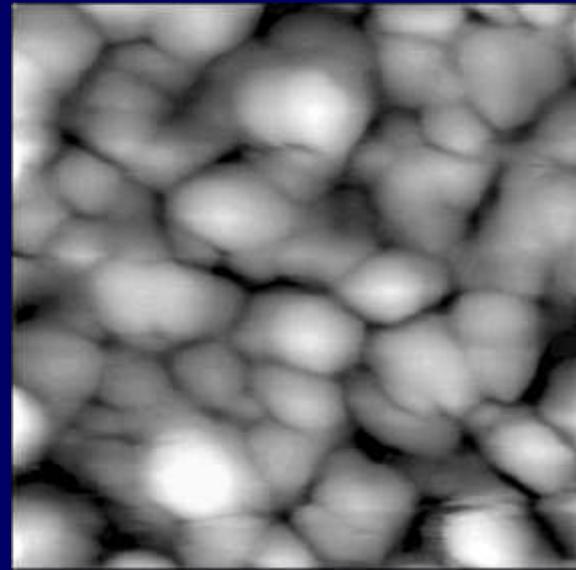


Imagem AFM com maior contraste

Minimizar o número de vales encontrados pela transformada watershed

2. Inversão da Imagem

- O algoritmo de watershed parte dos “*máximos locais*” da imagem
- O algoritmo **inverte a imagem** → picos viram vales → “*mínimos locais*”

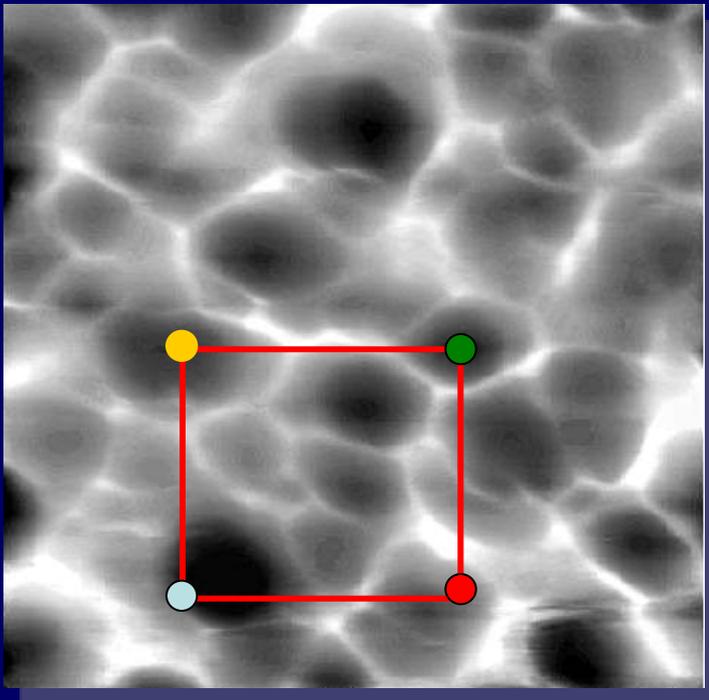
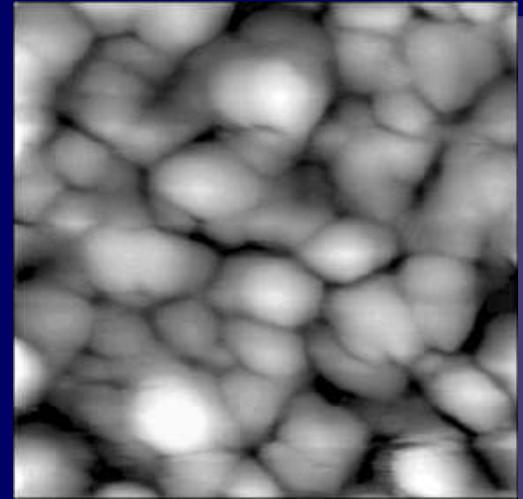
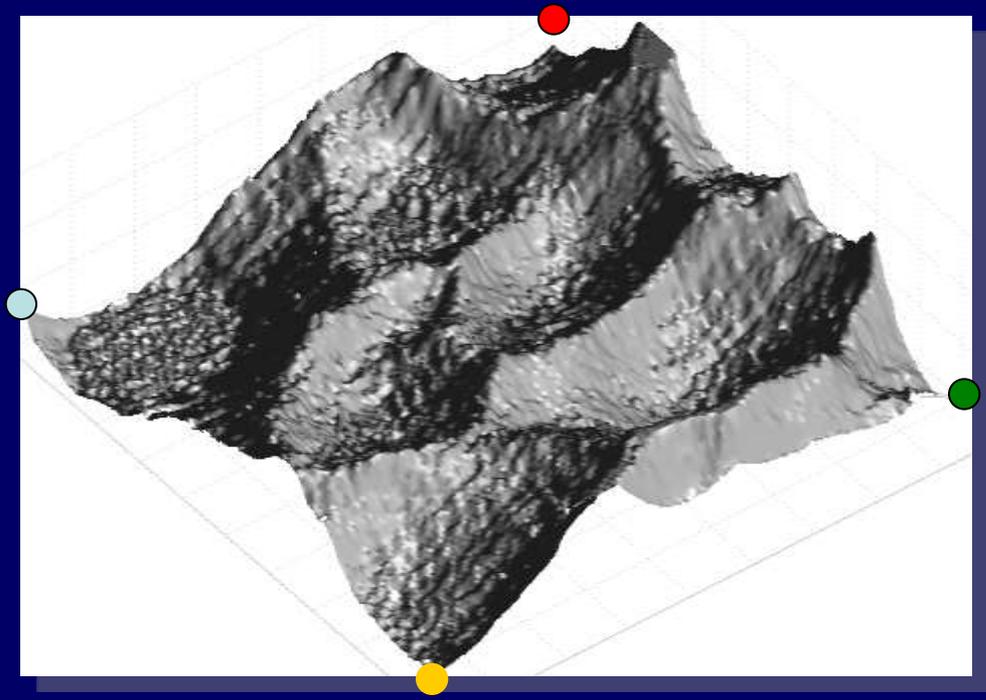


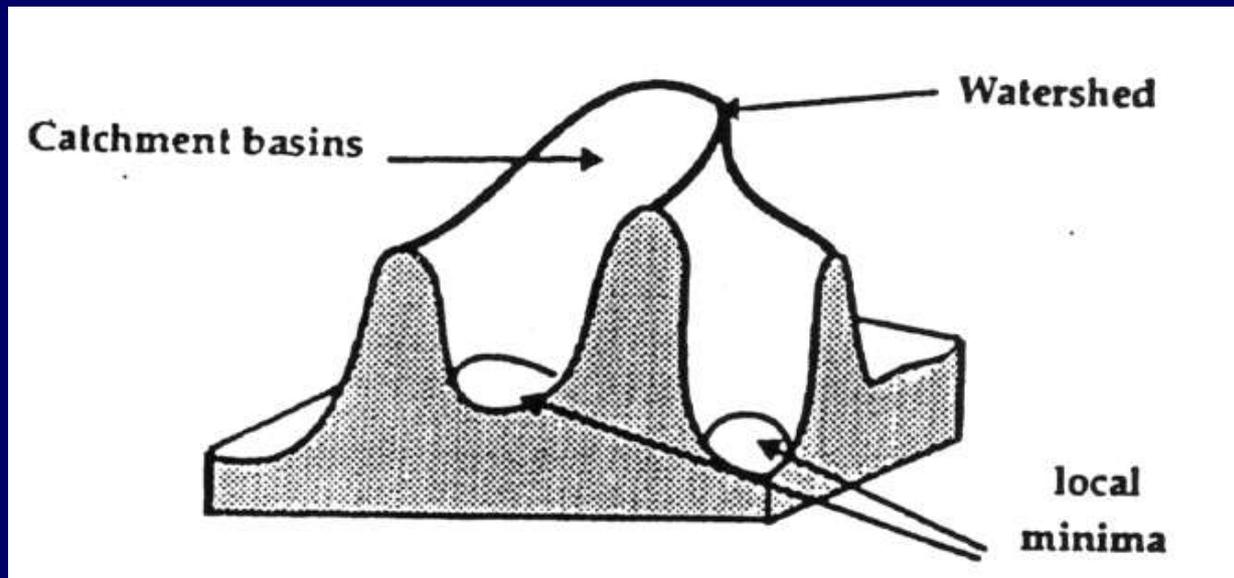
Imagem AFM negativa



Vales da imagem

3. Watershed

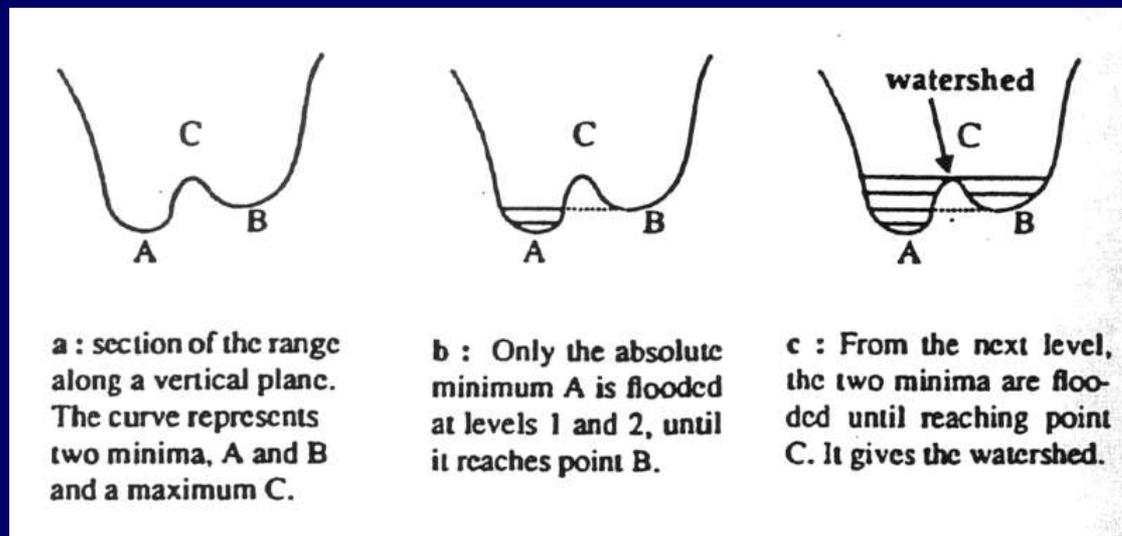
- Se uma *imagem* é vista como um *relevo 3D*
- *Watershed* consiste da *linha dividindo* duas bacias
- Uma *gota caindo* em uma posição do relevo *encontra um único mínimo exceto* se ele está em *um ponto de watershed* onde existem *dois caminhos* levando a dois mínimos distintos



Algoritmo de Watershed

Detecção por watershed

- Simulação da nascente de água a partir de um mínimo local da imagem
- O mínimo p é preenchido com uma velocidade uniforme
- Um **ponto de watershed** aparece quando **duas regiões distintas se encontram**
- O **watershed é progressivamente construído** em cada seqüência de níveis da imagem



Resultado do Watershed AFM

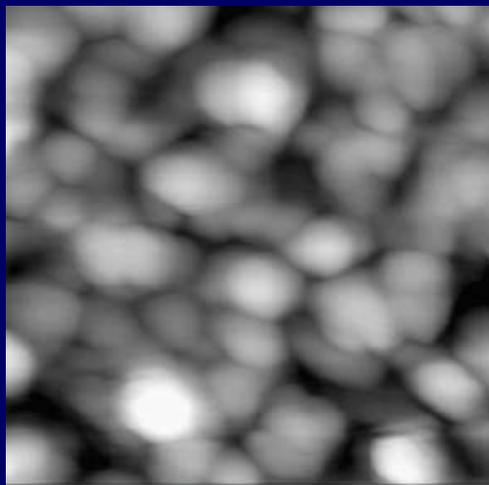
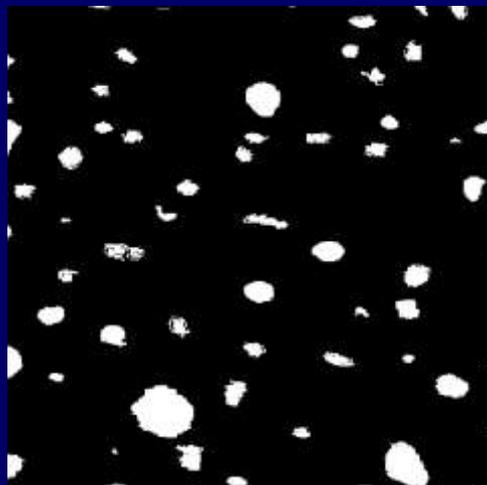


Imagem Original



Máximos da Imagem AFM

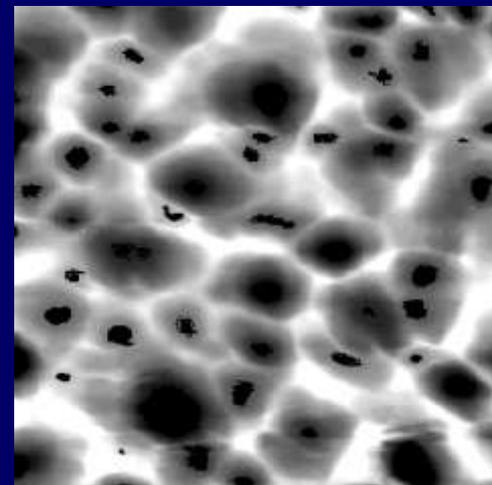
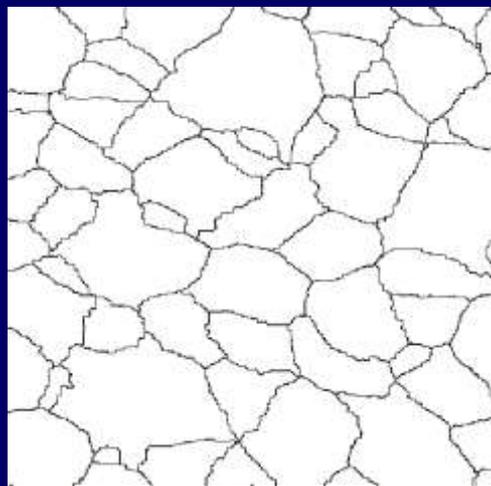
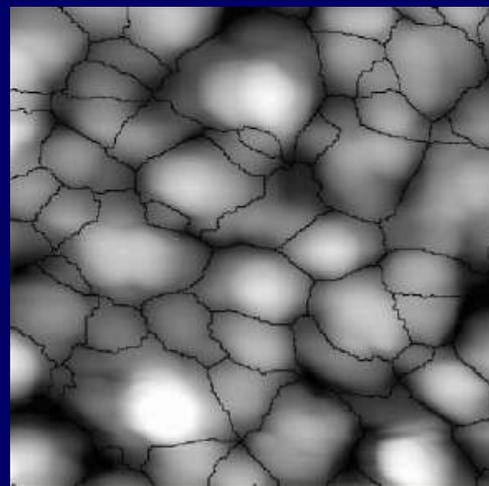


Imagem AFM + Máximos



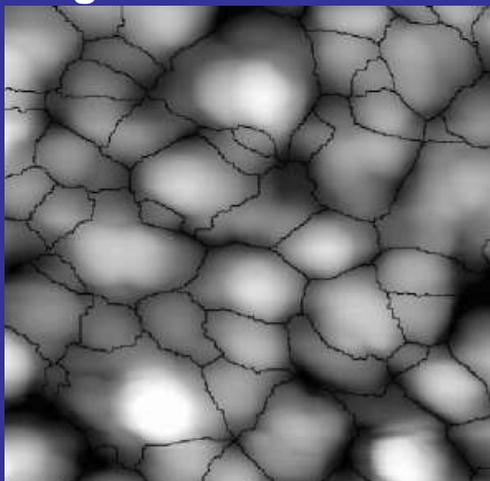
Watershed



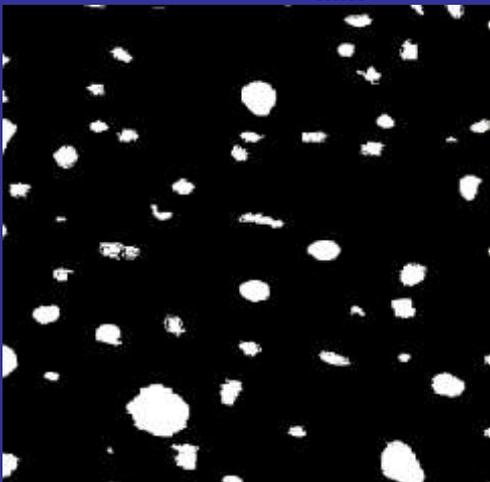
Original + Watershed

Dificuldade do Watershed

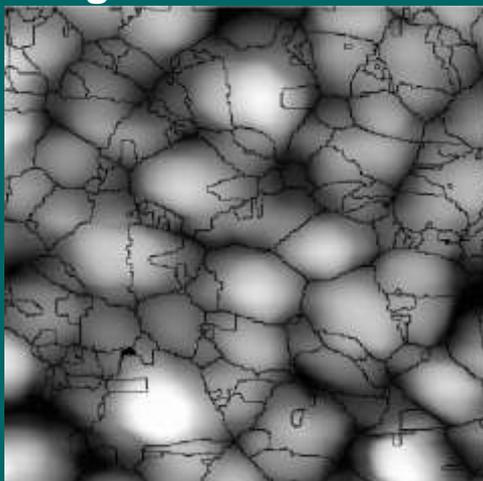
Original + Watershed 1



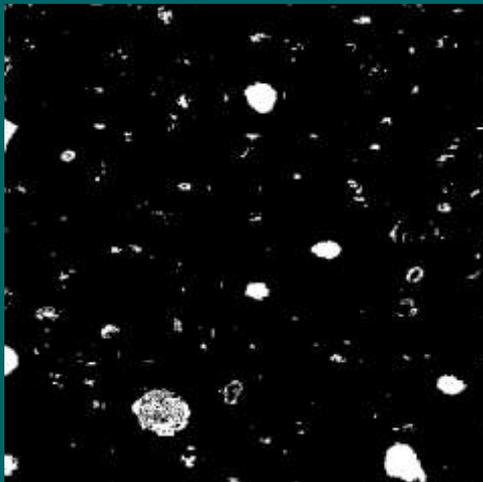
Máximos $H_{Min}=15$



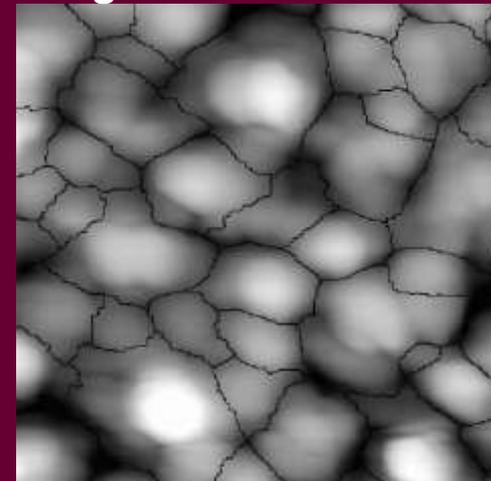
Original + Watershed 2



Máximos $H_{Min}=5$



Original + Watershed 3



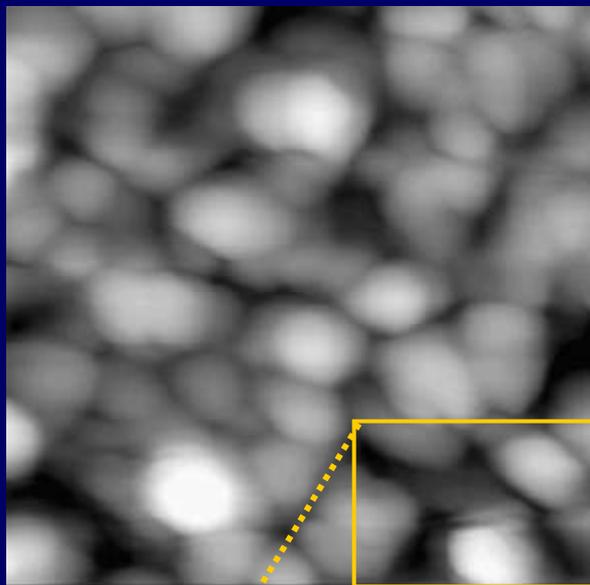
Máximos $H_{Min}=30$



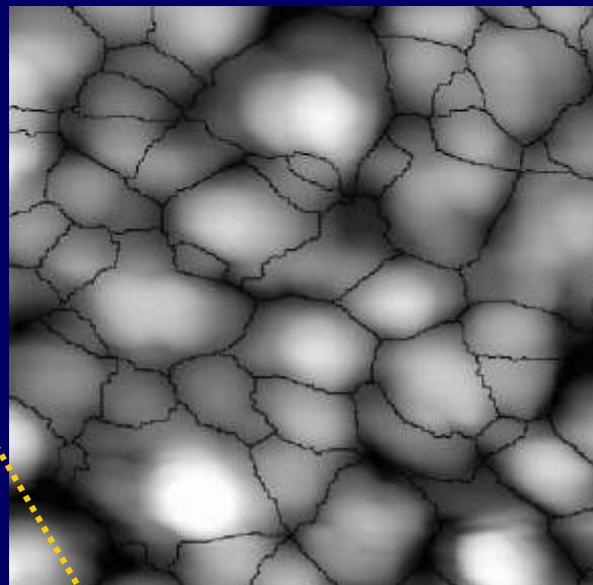
Dificuldade do Watershed

Defeitos na imagem – perda de sincronismo horizontal

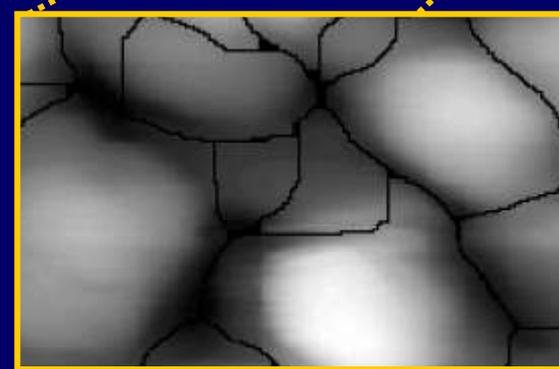
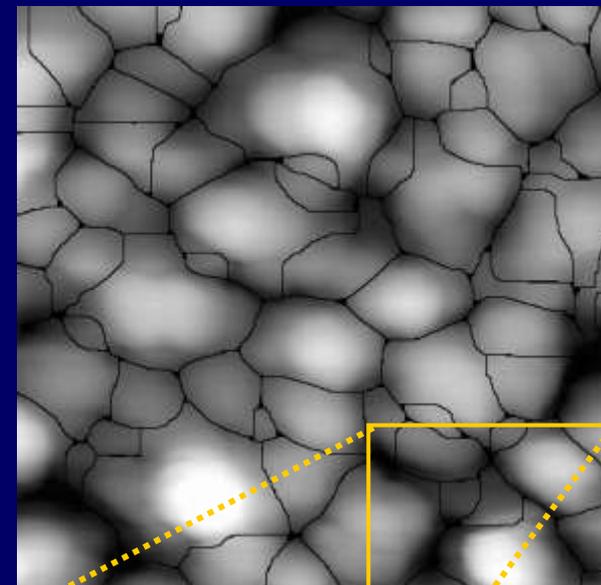
Imagem Original



Original + Watershed (H_{15})



Original + Watershed (H_{10})



4. Etiketando e Medindo Grãos

Eliminando Grãos da Borda

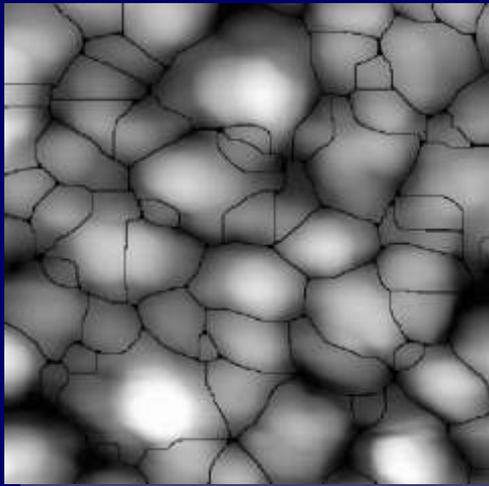


Imagem Original
+
grade de
Watershed

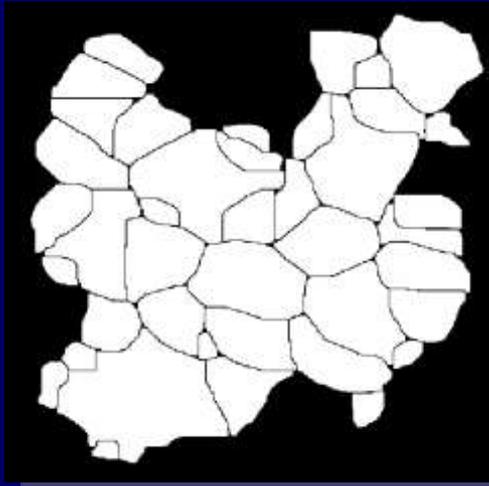
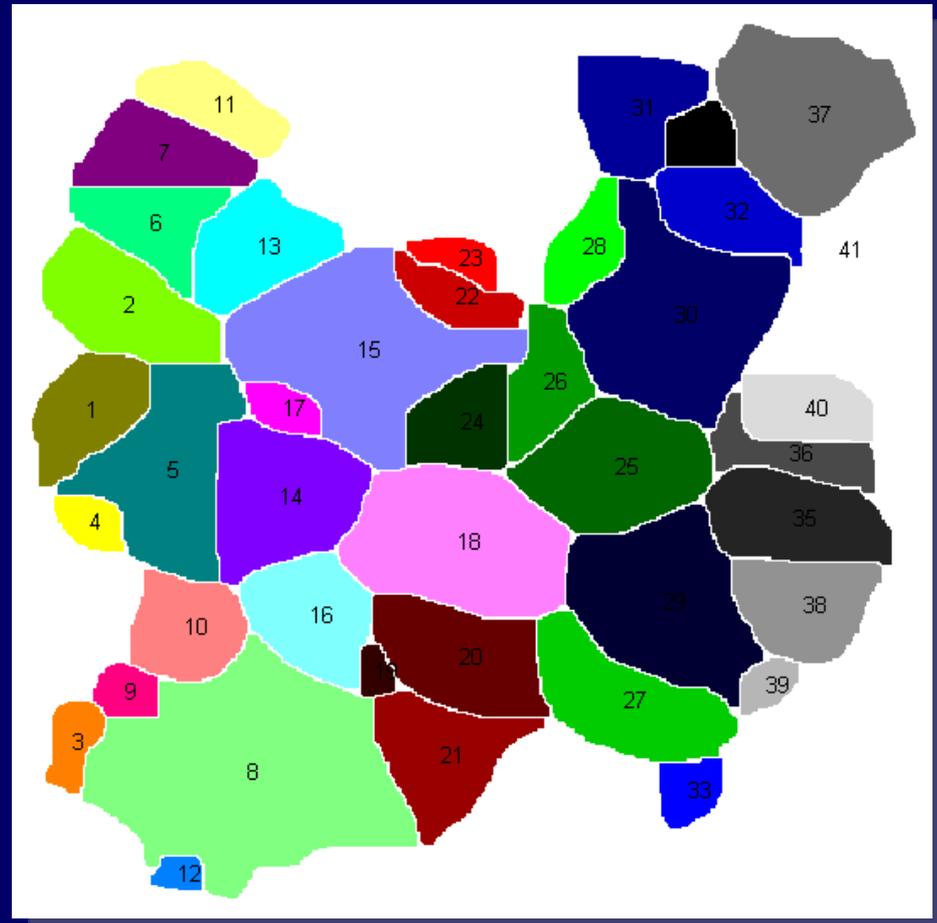


Imagem sem
Grãos
da Borda

Matriz contendo números que correspondem as regiões do watershed → **grãos etiquetados**



Medida dos Grãos

Duas classes de medidas

Medidas de Campo (Field Features)

- Medidas que se referem ao campo como um todo
- **Exemplo:** número de objetos, área total de objetos, fração de área etc.

Medidas de Região (Region Features)

- Medidas que se referem aos objetos independentemente
- **Exemplo:** área, perímetro, forma, posição etc
- Estas medidas podem ser muito sofisticadas, permitindo uma nova separação dos objetos em classes de similaridades, em função dos parâmetros medidos.

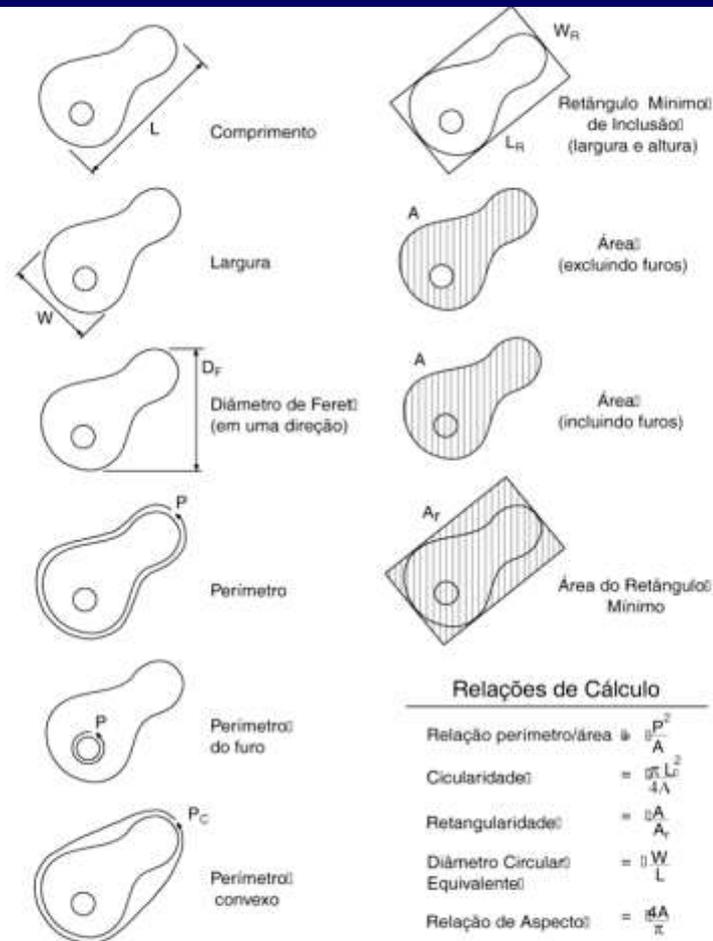


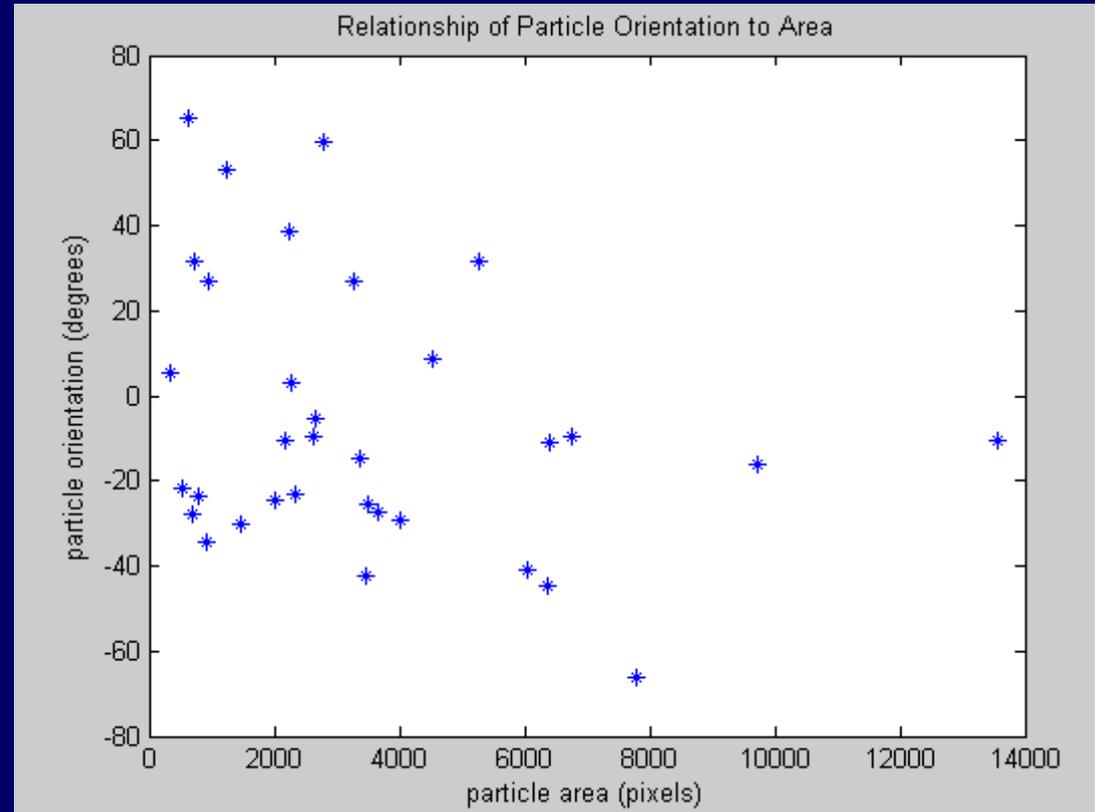
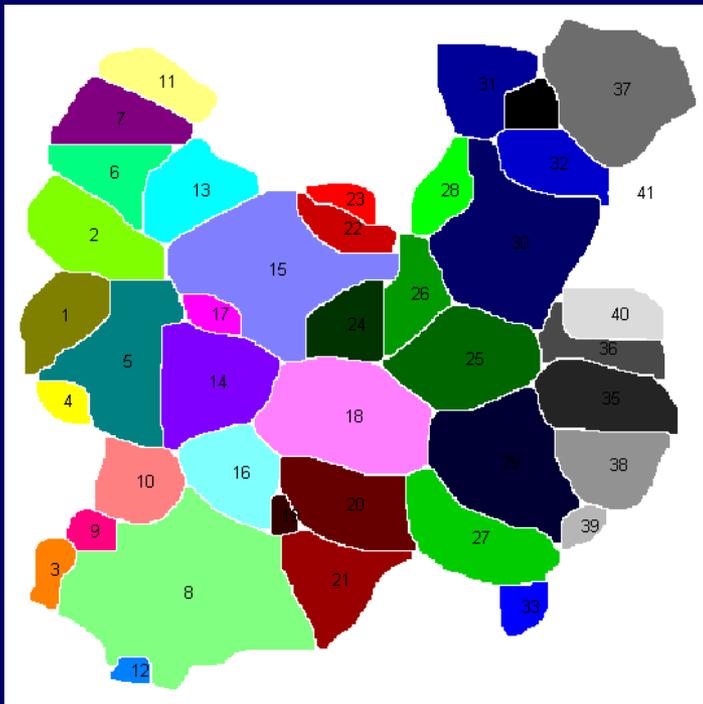
Figura 3.10: Principais atributos de região, ou seja, dos objetos independentes presentes na imagem.

Medida dos Grãos

Extração de Atributos: Exemplo:

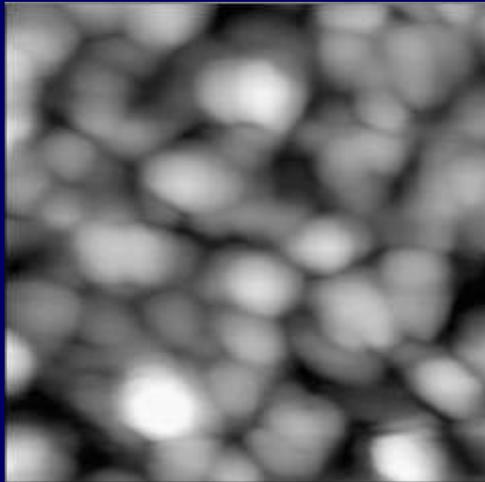
Cálculo de 2 medidas (Área x Orientação)

Traçar uma em relação a outra



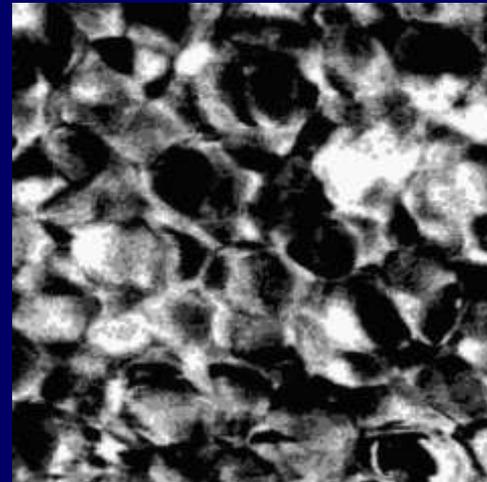
5. Relacionando Grãos AFM/PFM

Imagem AFM
Original



TOP473C

Imagem PFM
Original



DOM473C

Imagem AFM
c/ Grãos
e
Sem Bordas

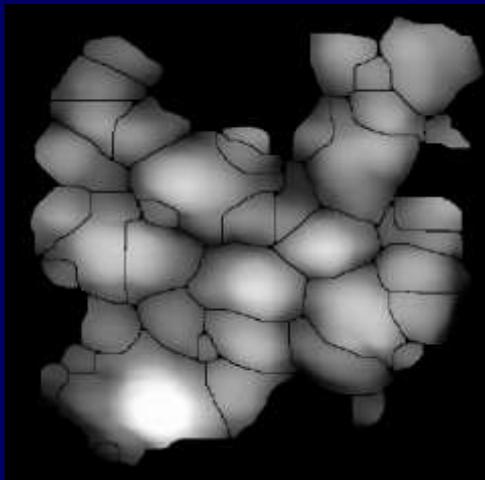
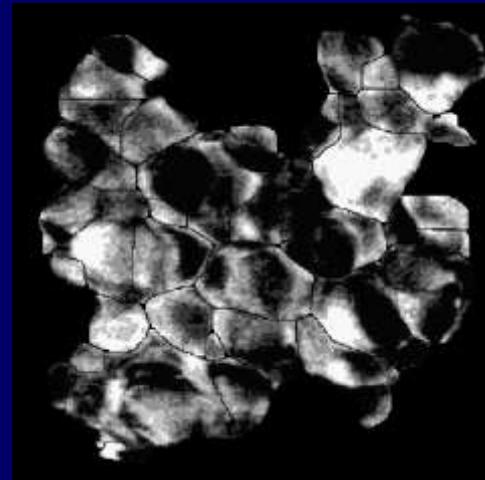
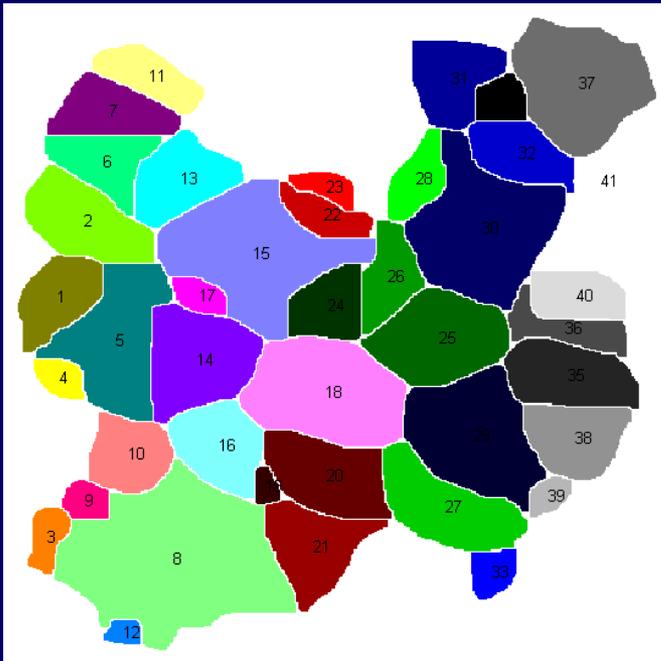


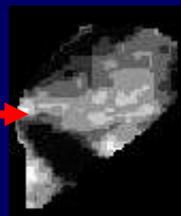
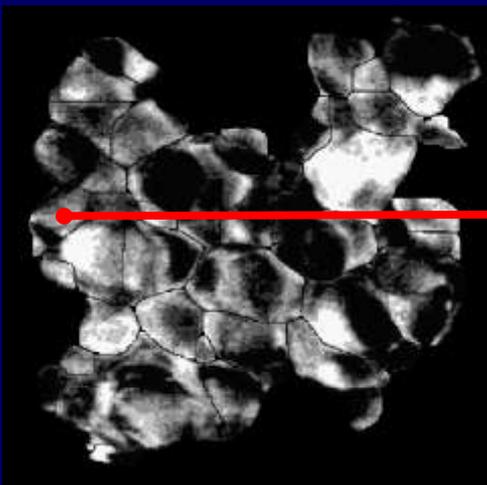
Imagem PFM
c/ Grãos
e
Sem Bordas



6. Resultados Preliminares



Análise Estatística											
id#	Branc	Pretos	Area	Excent	Orient	AConv	DEquiv	Solid	Exten	MaiorE	MenorE
1	0.461	17.291	2472.000	0.812	47.990	2641.000	56.102	0.936	0.636	74.944	43.695
2	0.000	39.353	3696.000	0.869	-29.473	3894.000	68.600	0.949	0.618	99.461	49.258
3	0.000	63.309	877.000	0.877	75.879	1019.000	33.416	0.861	0.657	50.269	24.128
4	11.434	1.815	708.000	0.777	-31.869	736.000	30.024	0.962	0.771	38.292	24.109
5	8.751	8.175	5191.000	0.786	78.051	6798.000	81.298	0.764	0.522	113.741	70.353
6	0.086	12.961	2323.000	0.750	-14.916	2772.000	54.385	0.838	0.535	75.229	49.757
7	1.253	7.258	2577.000	0.886	-5.104	2683.000	57.281	0.960	0.659	88.936	41.294
8	3.313	16.361	12569.000	0.707	-1.155	14973.000	126.504	0.839	0.577	154.123	108.940
9	0.000	0.867	702.000	0.590	-15.874	728.000	29.897	0.964	0.813	33.595	27.136
10	30.546	0.148	2438.000	0.359	-7.080	2598.000	55.715	0.938	0.764	58.466	54.574
11	11.546	36.948	1930.000	0.929	-25.807	2112.000	49.572	0.914	0.529	83.435	30.844
12	37.417	10.927	360.000	0.710	0.542	376.000	21.409	0.957	0.847	26.030	18.342
13	0.356	2.000	3012.000	0.734	28.811	3276.000	61.927	0.919	0.599	77.925	52.959
14	1.273	15.495	4433.000	0.427	31.688	4752.000	75.128	0.933	0.703	81.986	74.140
15	0.818	38.965	7927.000	0.690	-11.399	10600.000	100.464	0.748	0.479	128.269	92.864
16	2.549	4.998	2986.000	0.625	-46.541	3138.000	61.659	0.952	0.686	71.055	55.447
17	6.298	7.824	699.000	0.856	-25.566	734.000	29.833	0.952	0.727	41.780	21.575



Grão 1

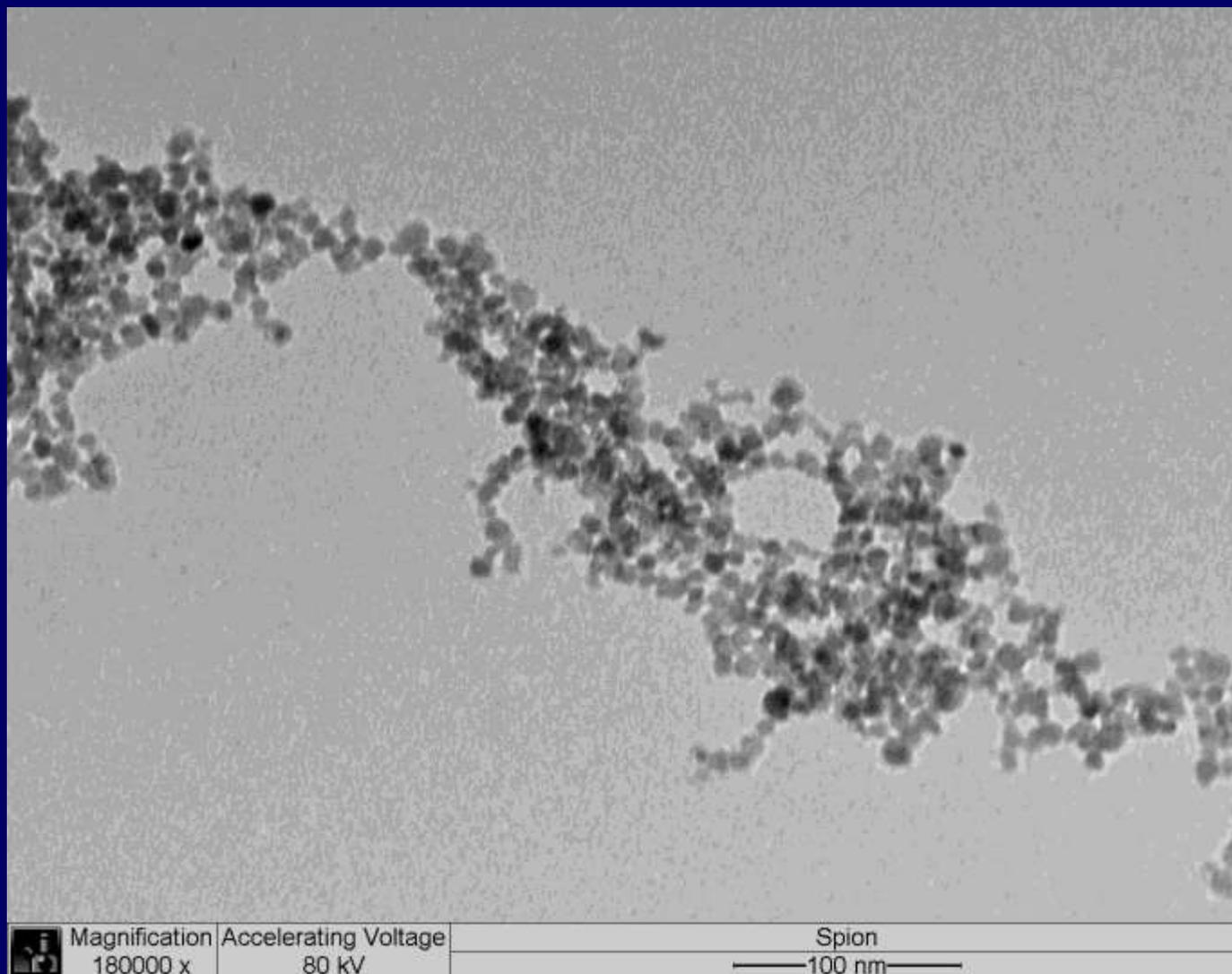
$$N_b = \text{Pixels} \therefore I_g(x, y) > 240$$

$$N_p = \text{Pixels} \therefore I_g(x, y) < 10$$

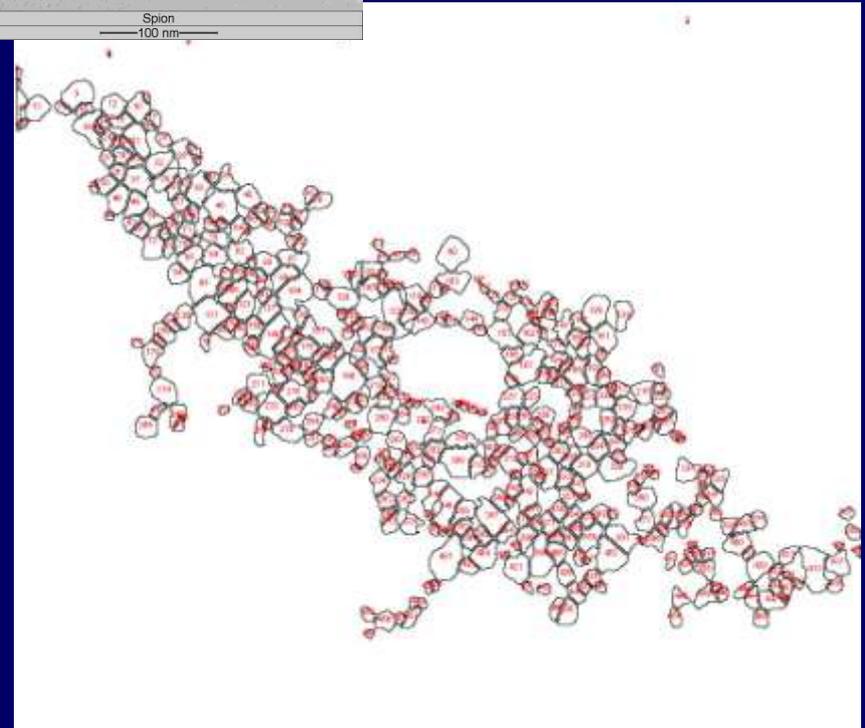
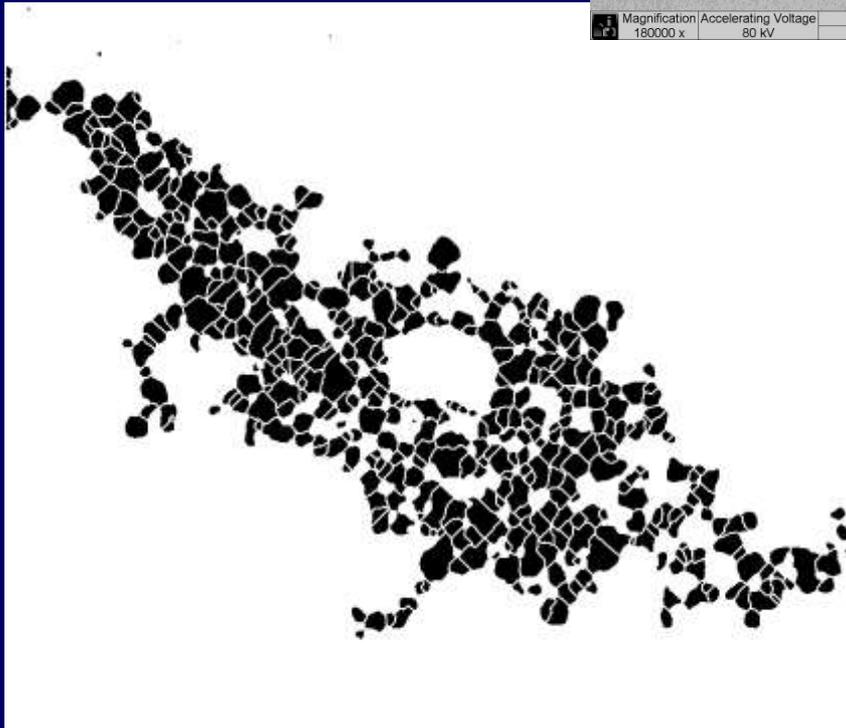
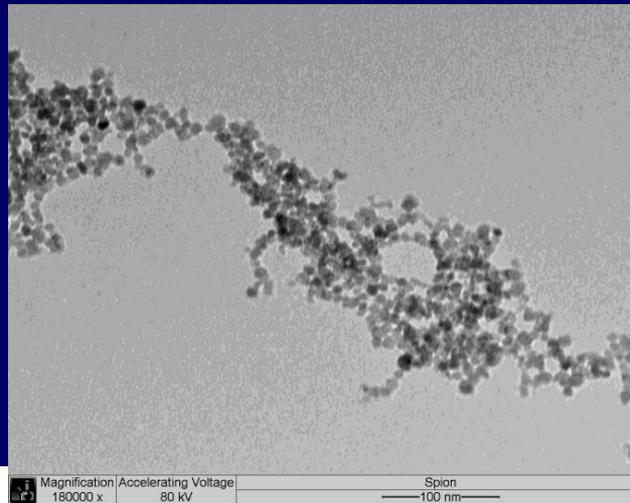


470 x 470 = 220900 pixels

Outro Exemplo



Outro Exemplo



Processamento de Imagens e Visão Computacional

Prof. Marcelo Portes de Albuquerque
Prof. Márcio Portes de Albuquerque

IX Escola do CBPF – 2012