

6. Segmentação de imagem

Técnicas de limiarização do histograma (multi-threshold, média, p-tile, histerese, moda, máxima distância, Otsu e adaptada). Clustering. Técnicas baseadas em regiões (crescimento, separação e split-and-merge). Técnicas baseadas em transições (Canny Edge Detector). Template Matching. Algoritmos para segmentação.

Conceito

A **segmentação de imagem (SEG)** refere-se à decomposição de uma imagem digital em uma série de regiões distintas (conjuntos de pixels).

O objectivo da SEG é o de simplificar, ou alterar, a representação inicial de uma imagem, para outra representação que tenha maior significado e, conseqüentemente, que seja mais simples de analisar.

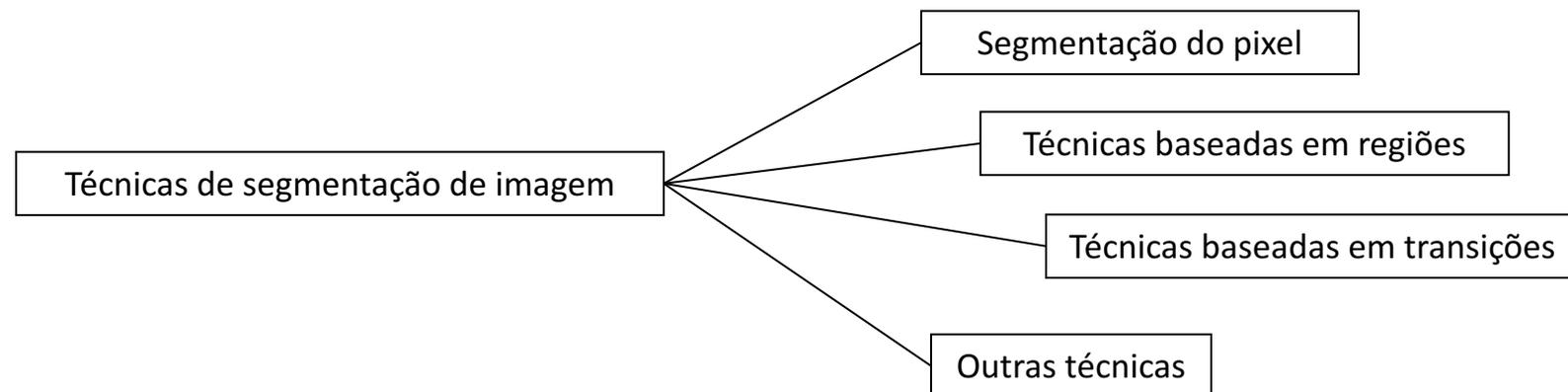
A SEG é tipicamente usada para localizar objectos e limites de objectos nas imagens.

Todos os pixels de uma região segmentada são semelhantes no que respeita a determinadas características, ou propriedades computacionais, tais como a cor, a intensidade, ou a textura.

Técnicas

Regiões adjacentes são significativamente distintas quanto às mesmas características.

A SEG reduz a informação dos pixels a informação contextualizada a regiões.



Segmentação do pixel

Seja $f(x,y)$ uma imagem digital: as técnicas de segmentação do pixel assentam na atribuição de uma certa classe a cada pixel (x,y) da imagem f , num conjunto de classes possíveis $\Omega = \{\omega_k: k = 1, \dots\}$.

Pixels de uma mesma classe ω_k formam todos juntos um segmento da função f .

A atribuição de uma classe a um pixel é guiada pela definição de um certo vector $v(x,y)$ que pode ser estendido a diversos domínios (espacial, espectral, temporal), melhorando-se assim a segmentação.

O volume de cálculo é proporcional ao número de pixels que contém a imagem (elevadas resoluções \Rightarrow métodos que visem a extracção de objectos por inteiro).

Segmentação do pixel

Limiarização (*threshold*) simples do histograma: é uma das formas de segmentação mais usuais, associada à técnica de classificação do pixel.

- É útil na discriminação entre objectos de primeiro plano (*foreground*) e regiões de contexto (*background*).
- Mediante a selecção de um certo valor de ***threshold*** t , a imagem de intensidade é convertida em imagem binária.
- Estimam-se valores para t por observação directa do histograma.

Segmentação do pixel

Exemplos de *threshold* simples do histograma.



F



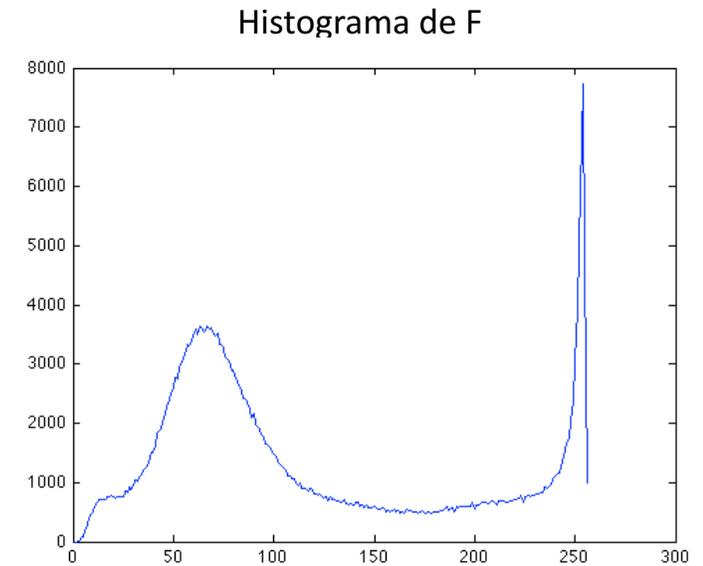
$F \leq 150$



$150 < F \leq 220$



$220 < F \leq 255$

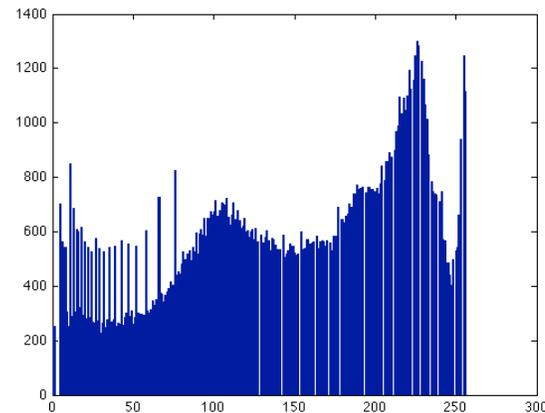


Segmentação do pixel

Threshold pela média: calcula-se o valor médio da imagem e usa-se como valor para t . Adota-se este método quando a imagem tem aproximadamente a mesma quantidade de pixels nos motivos de *foreground* e *background*.



F



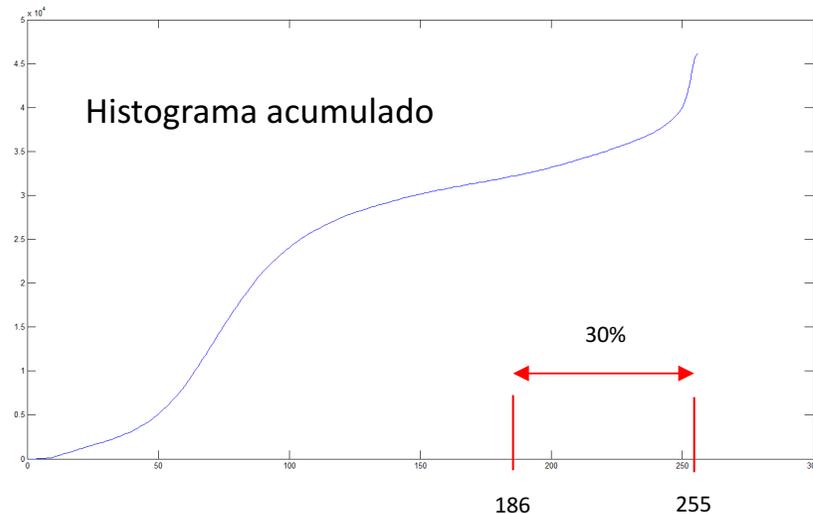
Histograma

 $F < 143$ (média)

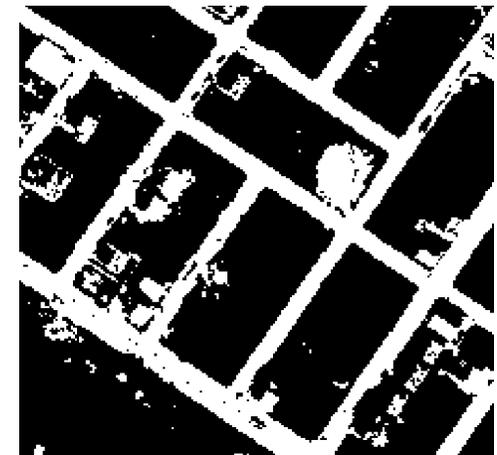
Segmentação do pixel

Threshold pelo método “p-tile”: Aplica-se quando se conhece a fracção aproximada que um certo objecto ocupa na imagem inteira.

- Determina-se o valor de t , encontrando o valor de intensidade que corresponda à fracção do número de pixels pretendida. O valor de t é facilmente extraído a partir do histograma acumulado A , estimando $A(t) = 1/p$.



F

P-tile (30%): $F > 186$

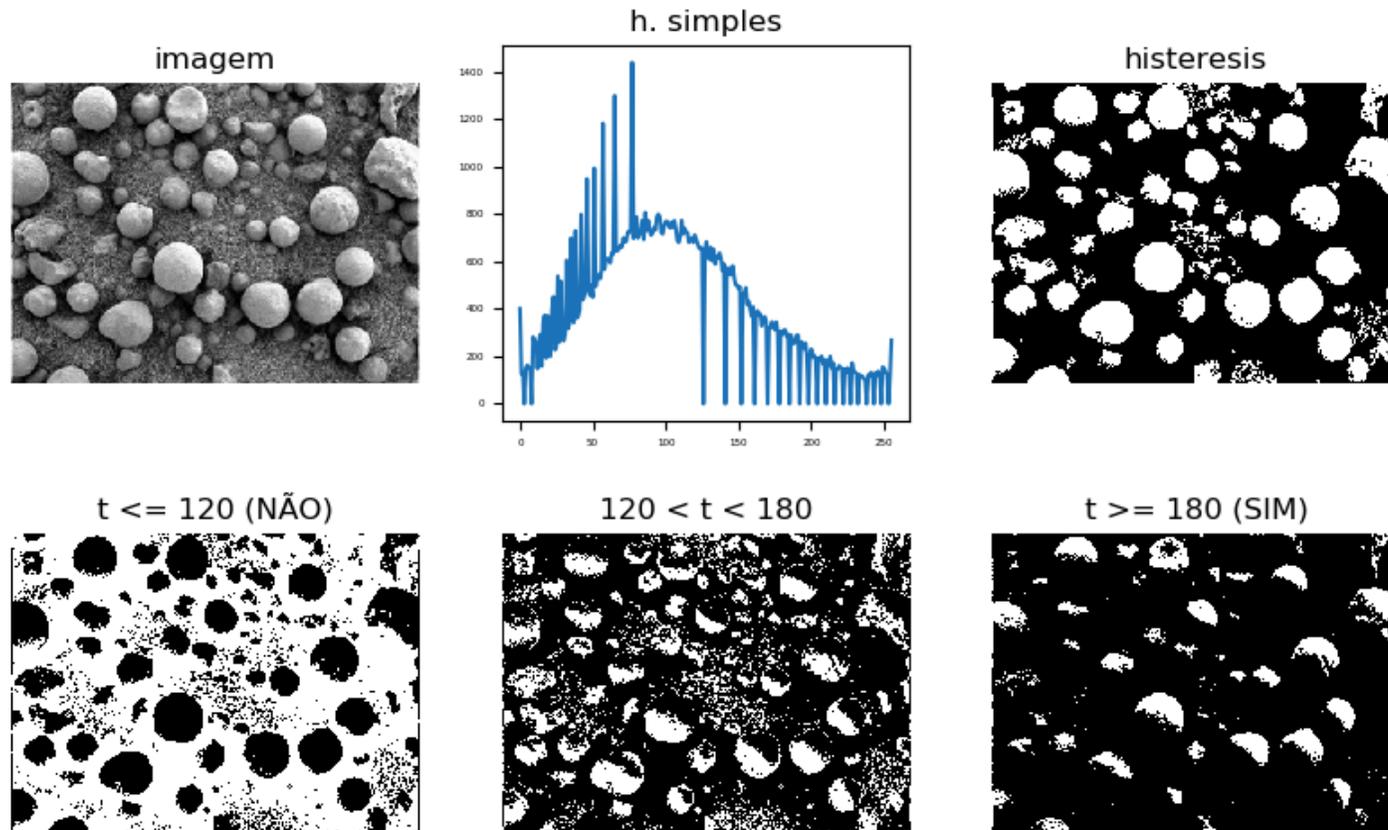
Segmentação do pixel

Threshold por histerese: se não existe um “vale” bem definido no histograma, significa que há pixels do *background* que têm valores de cinzento semelhantes aos pixels do *foreground* e vice-versa. Como tal efectuam-se duas limiarizações t_1 e t_2 ($t_2 > t_1$) seguindo os seguintes princípios:

- i) Pixels com valores $< t_1$ pertencem ao *background*;
- ii) Pixels com valores $> t_2$ pertencem ao objecto;
- iii) Pixels com valores dentro do intervalo $[t_1, t_2]$ pertencem ao objecto se forem adjacentes aos pixels do objecto.

Segmentação do pixel

- Exemplo do método de *threshold* por histerese.

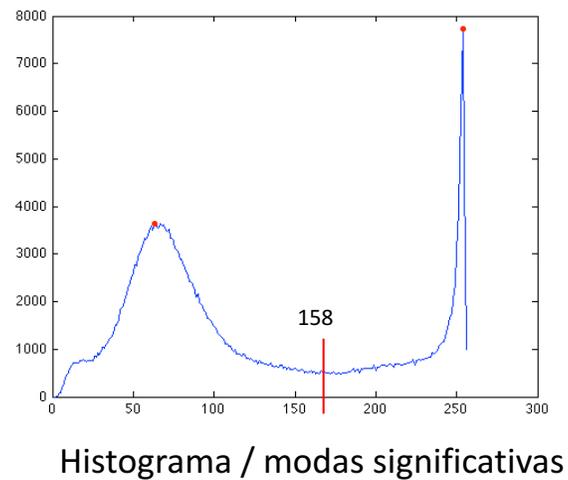


Segmentação do pixel

- **Threshold por pesquisa das modas:** determinação dos picos de frequência e dos mínimos locais entre os picos (histogramas multimodais).



F

 $F < 158$

Segmentação do pixel

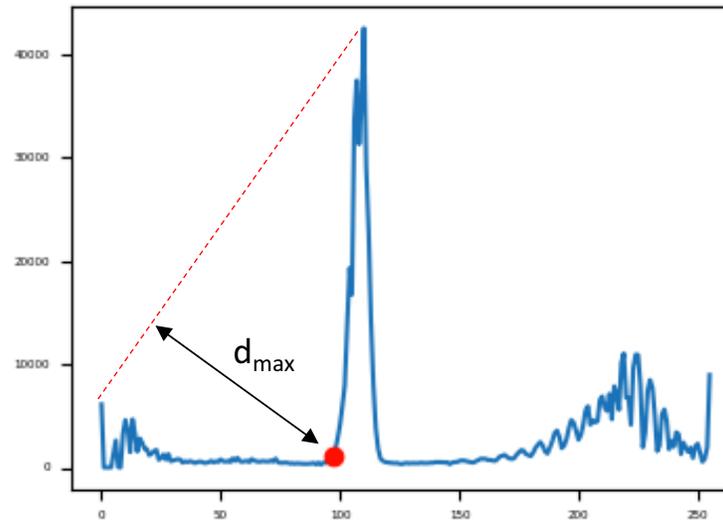
- **Threshold pela máxima distância (d)**: determinação do nível de cinzento que se encontra à maior distância da recta que une o primeiro índice de frequência diferente de zero e o pico significativo do histograma.

imagem

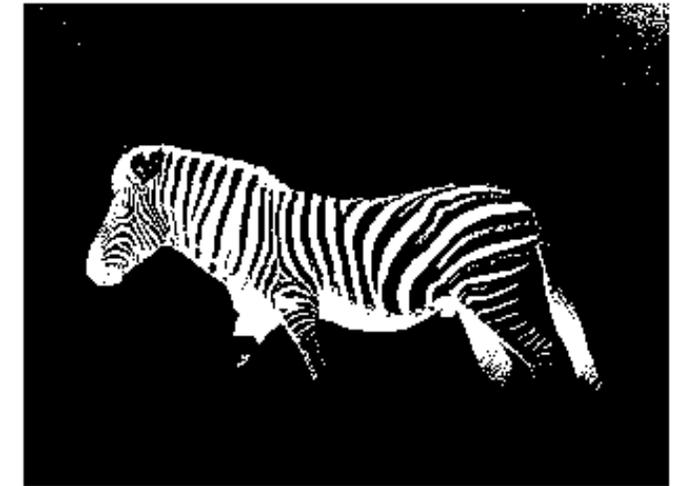


F

histograma



Máx. Dist. (t = 97)

 $F < 97$

Segmentação do pixel

- **Threshold pelo método de Otsu:** Este método é usado para executar a limiarização automática de uma imagem de cinzentos em duas classes, por intermédio de uma análise estatística otimizada.
- O valor óptimo de limiarização que separa as duas classes resulta da minimização de ambas as variâncias ponderadas de entre todos os *thresholds* do histograma possíveis.

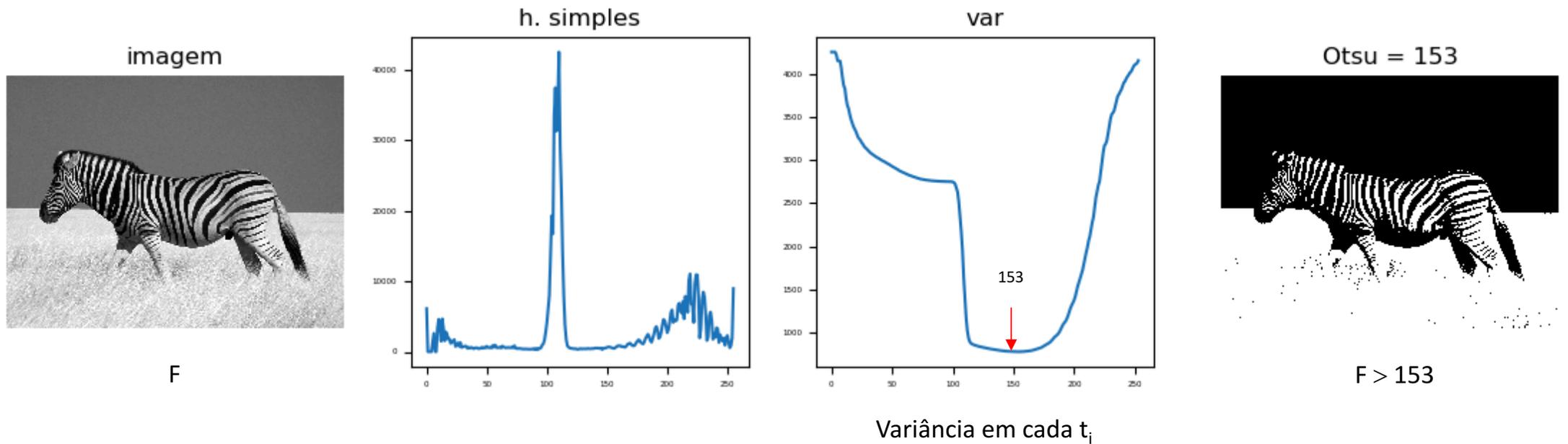
$$\sigma_i^2 = w_e(t_i) \times \sigma_e^2(t_i) + w_d(t_i) \times \sigma_d^2(t_i)$$

$$\sigma^2 = \min(\sigma_i^2)$$

$$w_e(t) = \sum_{i=0}^{t-1} p_i \quad w_d(t) = \sum_{i=t}^{255} p_i$$

Segmentação do pixel

- Exemplo do método de *threshold* de Otsu.



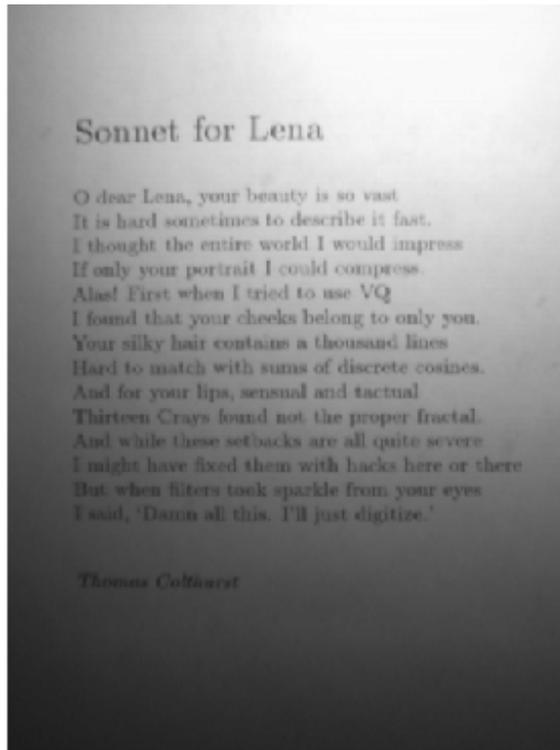
Segmentação do pixel

Threshold adaptado (adaptive threshold): É uma técnica de segmentação do pixel um pouco mais refinada, aplicada em circunstâncias de variação de luminosidade ao longo da imagem. Assim, procede-se da seguinte forma:

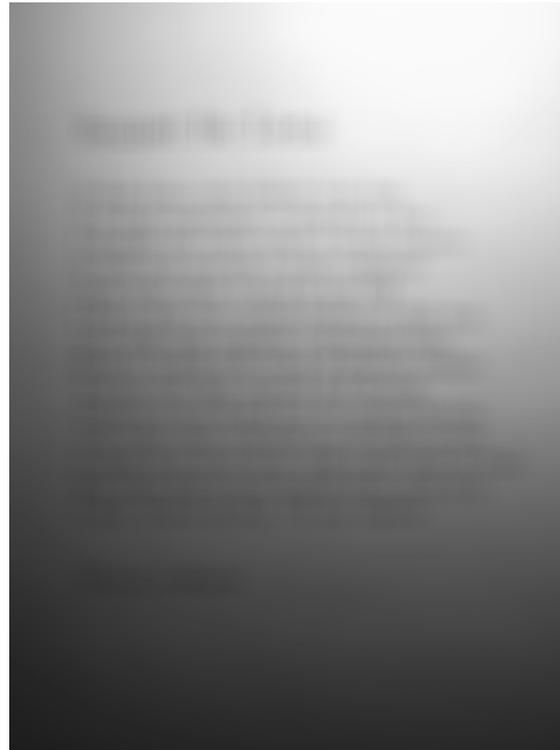
- i) Aplicar filtro passa-baixa (média) com filtro de dimensões suficientemente grandes (por exemplo 11x11) para “esbater” a informação a segmentar;
- ii) Determinar o valor absoluto da subtração da imagem filtrada à imagem original, seguido da subtração de uma constante K (i.e. 10) ao resultado;
- iii) Limiarização simples do resultado anterior.

Segmentação do pixel

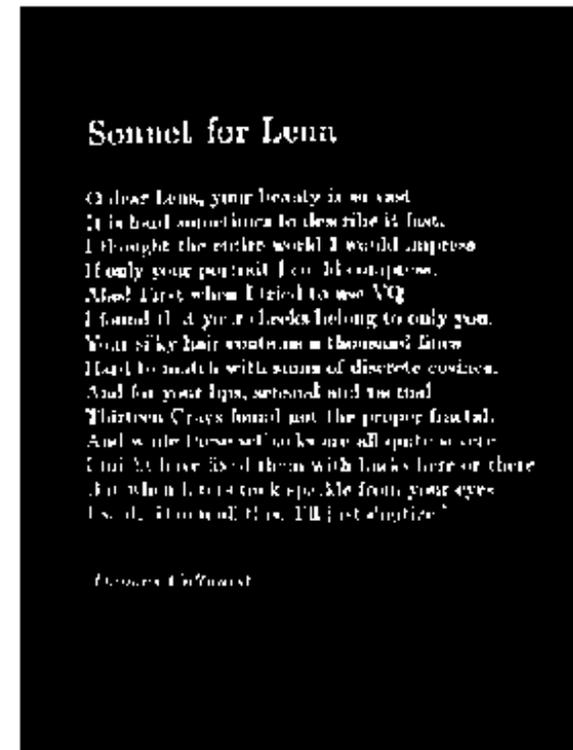
- Exemplo do método de *threshold* adaptado.



F



Passa-Baixa de F



Adaptive threshold

Segmentação do pixel

Threshold multi-níveis (quantização): Algumas imagens podem conter objectos de diferentes intensidades. Para tal podem-se usar limiarizações em vários níveis de intensidade para separar esses objectos.



F

 $F \leq 75$  $75 < F \leq 125$  $125 < F \leq 225$  $F > 225$ 

Multi-level threshold

Segmentação do pixel

Em resumo, as operações de limiarização apresentam geralmente as seguintes:

Vantagens:

- Facilidade de implementação.
- Rapidez (especialmente se repetido em imagens similares).
- Adequado para certos tipos de imagens (por exemplo, documentos de texto).

Desvantagens:

- A segmentação é por vezes pouco eficaz, pois não garante a coerência dos objectos (por exemplo, a existência de vazios, pixels “estranhos”, etc.).

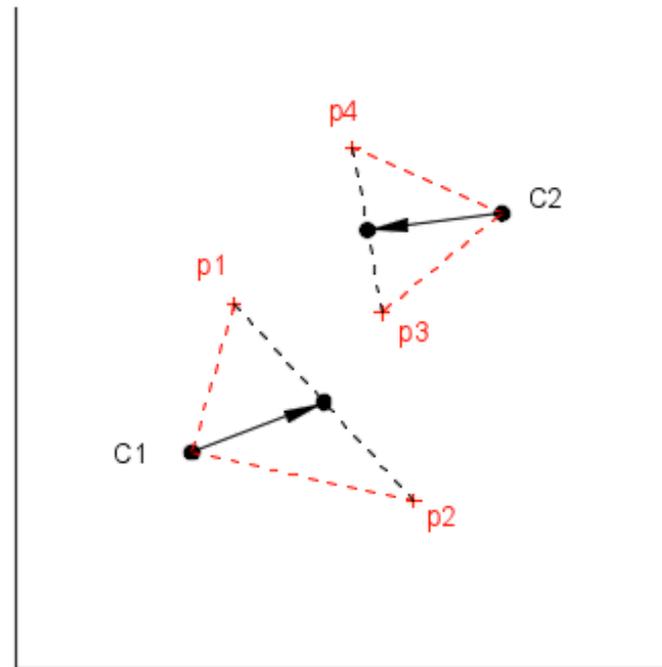
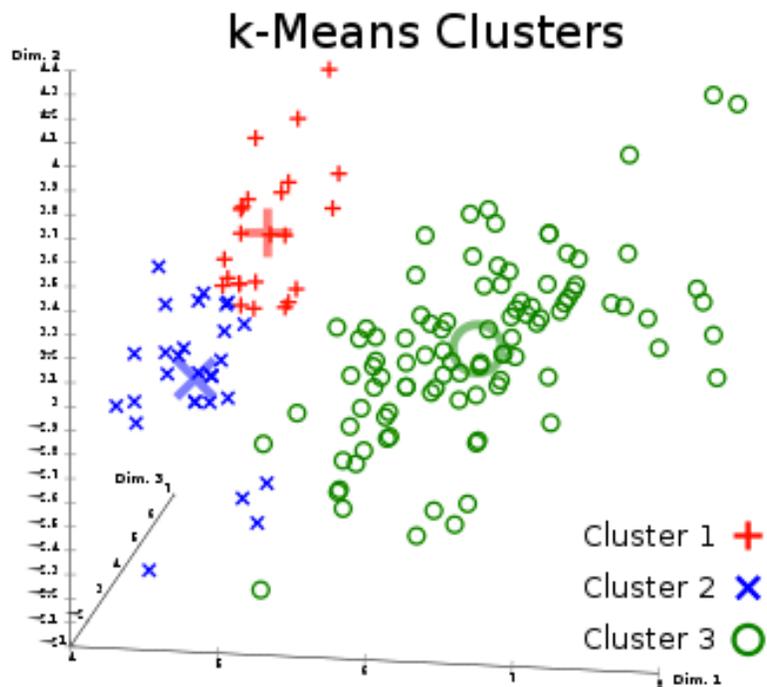
Clustering

Clustering: Consiste numa técnica de segmentação que visa organizar/agrupar os pixels em grupos (*clusters*) com base nos seus atributos.

- Definir centroides iniciais para os clusters.
- Determinar os pixels que estão mais próximos de cada centroide dos clusters.
- Cada centroide é redeterminado a partir de uma medida do respectivo cluster.
- O processo é iterativo e termina quando os centroides não sofrerem alterações.

K-Means Clustering

Técnica que visa agrupar os pixels em clusters pela sua média.



$$W(C) = \sum_{k=1}^K N_k \sum_{C(i)=k} \|x_i - m_k\|^2$$

x_i : observações

m_k : valor médio do cluster k

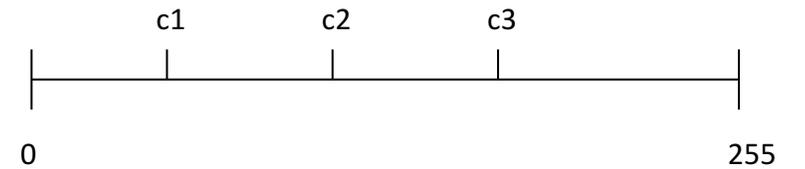
N_k : número de observações do cluster k

Gray K-Means Clustering

Agregação dos pixels de uma imagem de cinzentos em clusters.



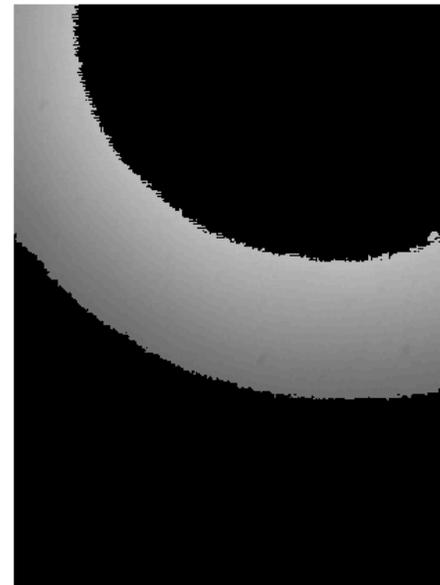
Imagem



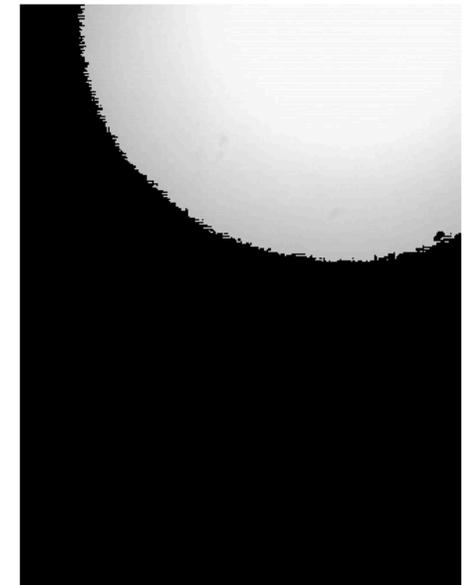
70



149

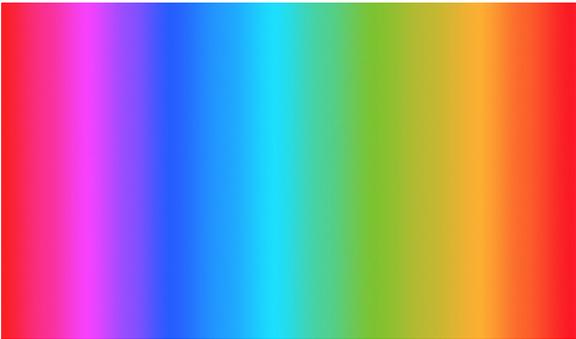


228



Color K-Means Clustering

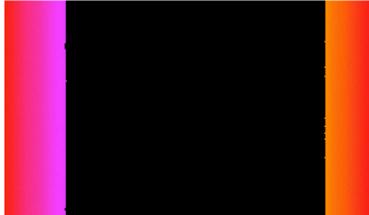
Exemplo sintético:



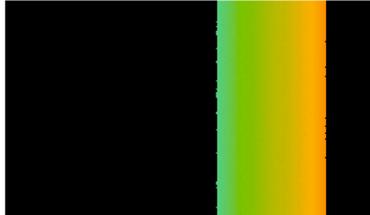
Imagem

3 clusters

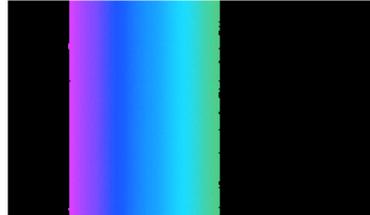
[251, 55, 49]



[177, 187, 51]

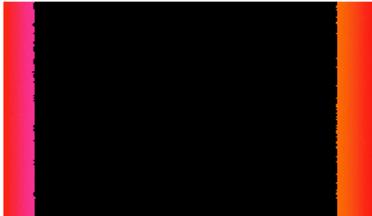


[40, 147, 255]



6 clusters

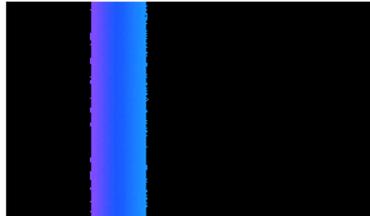
[252, 45, 44]



[123, 196, 55]



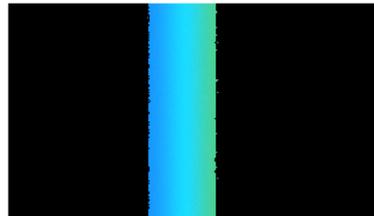
[39, 95, 255]



[240, 177, 50]



[33, 211, 253]



[243, 66, 253]



Color K-Means Clustering

Exemplo de método de clustering em imagem de 24-bits.



Imagem

[24, 21, 25]



[109, 126, 189]



[218, 210, 188]



Histograma multivariado (HMV)

O objetivo da análise multivariada é estabelecer e utilizar as correlações espaciais das intensidades dos pixels para reduzir a informação dos dados a um nível mais refinado, com vista a uma interpretação mais fácil.

Como a análise multivariada investiga a correlação espacial de intensidades entre imagens, se houver poucas ou nenhuma informação complementares entre elas, é improvável que a técnica produza mais informação relevante.

Neste contexto, a análise multivariada do histograma deve ser vista como uma ferramenta complementar dos meios convencionais de análise de imagem.

Os histogramas bivariado, ou trivariado, são portanto as ferramentas que podem ser produzidos para posterior análise.

Histograma multivariado (HMV)

O cálculo do HMV de uma imagem RGB faz-se da seguinte forma:

$$HMV[p, q, 0] = HMV[p, q, 0] + 1 \quad \begin{cases} p = F[i, j, 0] \\ q = F[i, j, 1] \end{cases}$$

$$HMV[p, q, 1] = HMV[p, q, 1] + 1 \quad \begin{cases} p = F[i, j, 0] \\ q = F[i, j, 2] \end{cases}$$

$$HMV[p, q, 2] = HMV[p, q, 2] + 1 \quad \begin{cases} p = F[i, j, 1] \\ q = F[i, j, 2] \end{cases}$$

Histograma multivariado (HMV)

Exemplo.

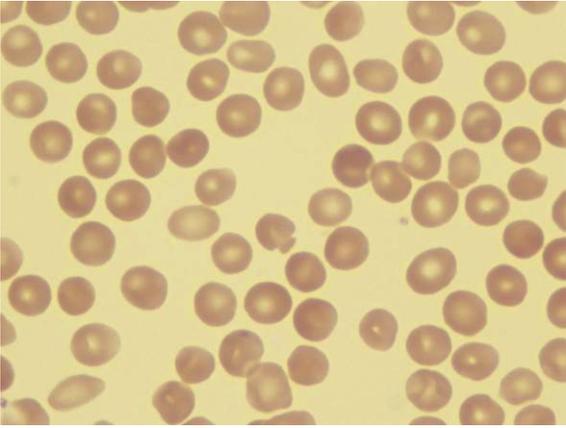
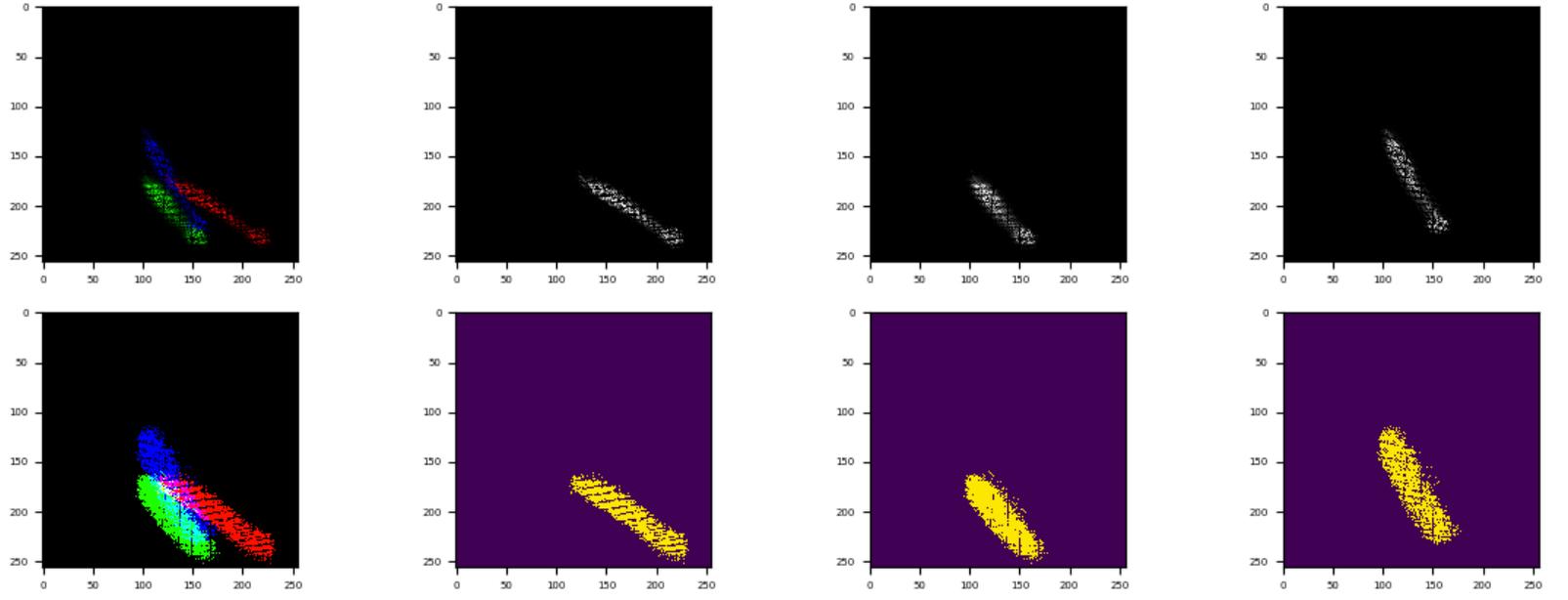


Imagem inicial

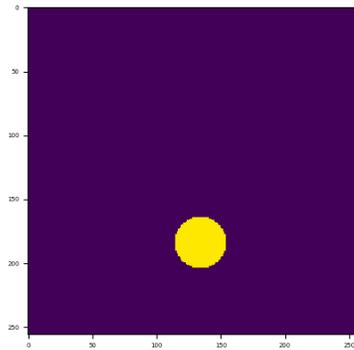


Histograma multivariado

Componentes

Segmentação do HMMV

Segmentação do histograma multivariado.



Região de interesse do histograma



Seleccção dos pixels situados dentro da região de interesse

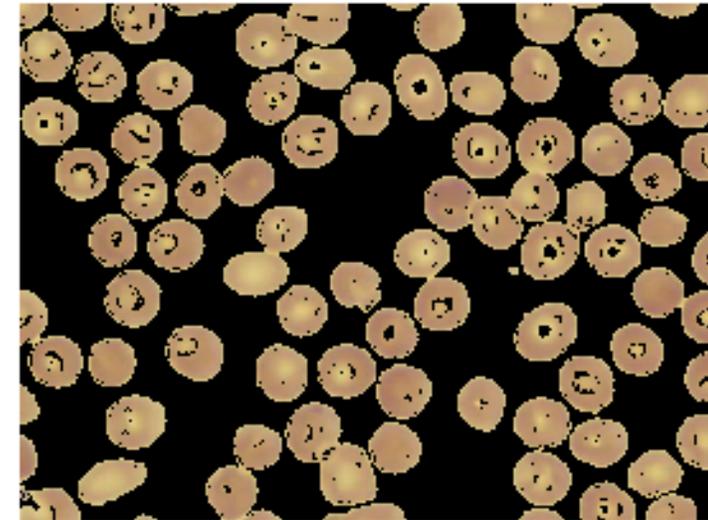


Imagem resultante

Técnicas baseadas em regiões

Estas técnicas visam a partição, ou a agregação de regiões, de acordo com características associadas aos pixels da imagem (valor de intensidade dos pixels da imagem original ou calculados por uso de um certo operador; textura, ou padrão dos objectos; perfis espectrais que fornecem dados multidimensionais).

- Com base em tais características e de acordo com critérios de similitude entre os pixels da imagem, constrói-se progressivamente, com algoritmos iterativos, as regiões homogéneas e termina-se o processo iterativo assim que todos os pixels da imagem forem classificados segundo as características designadas.

Técnicas baseadas em regiões

- A fronteira entre cada duas diferentes regiões define-se onde ambas se encontram.
- Na caracterização final das regiões R_i de uma imagem I , dever-se-á respeitar a condição de independência espacial para todas elas.

$$I = \bigcup_i^s R_i \quad \wedge \quad R_i \cap R_j = \phi \quad , \quad i \neq j$$

Técnicas baseadas em regiões

Crescimento de regiões (*region growing*): inicia-se a partir de um conjunto de pequenas regiões previamente segmentadas e com propriedades consideradas homogéneas, no conjunto dos pixels que as constituem.

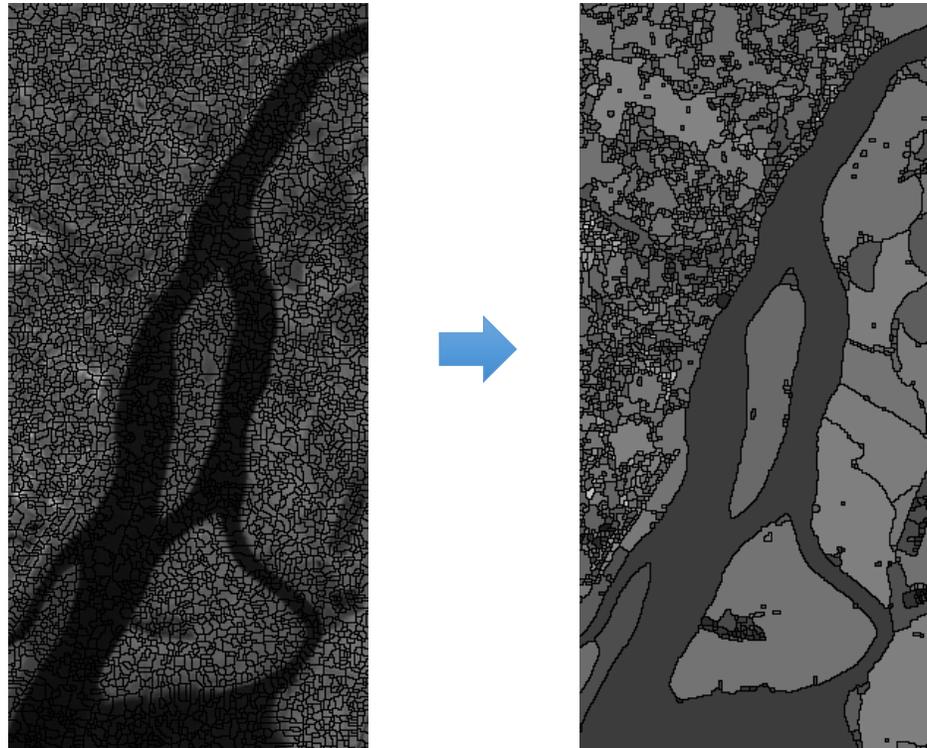
- Nos métodos mais simples começa-se a anexação de regiões a partir de pequenas regiões de 2×2 , 3×3 , ou 4×4 pixels (regiões “semente”).
- Cada região é geralmente descrita segundo propriedades estatísticas dos seus níveis de cinzento. Quando regiões adjacentes se assemelham, estas anexam-se, originando assim uma nova região de maior tamanho. Caso contrário serão classificadas como não semelhantes e mantêm-se separadas.

Técnicas baseadas em regiões

- O processo de anexação continua assim entre outras regiões vizinhas, incluindo recém- anexadas.
- Quando uma certa região não pode ser anexada a nenhuma outra, termina o processo de anexação, ou é reformulado o critério de anexação.
- O método termina quando cada região é classificada de forma única relativamente às restantes sem se verificar qualquer outra anexação. Os critérios de homogeneidade que determinam as várias anexações das regiões são diversos: níveis de cinzento, cor, textura, forma, segundo um certo modelo, etc.
- A transformação morfológica *watershed* é frequentemente referenciada como técnica usada na definição preliminar das regiões.

Técnicas baseadas em regiões

- Exemplo de imagem resultante do processo de crescimento de regiões a partir da anexação de regiões mais pequenas, com base em critérios radiométricos.





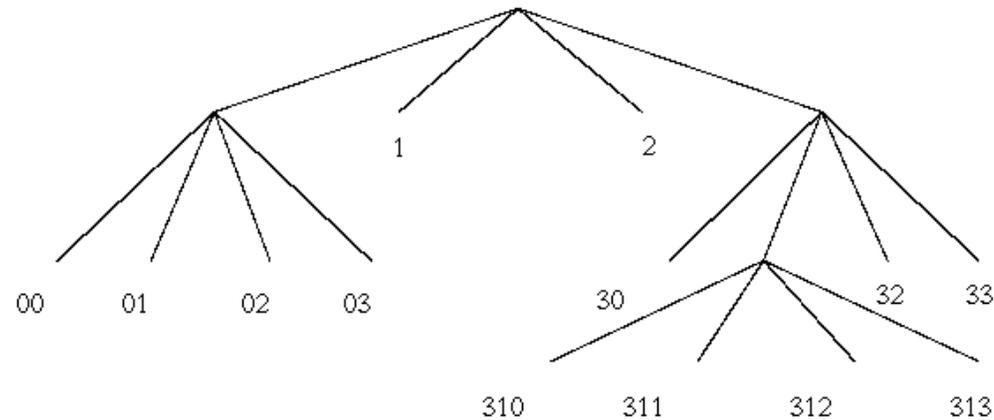
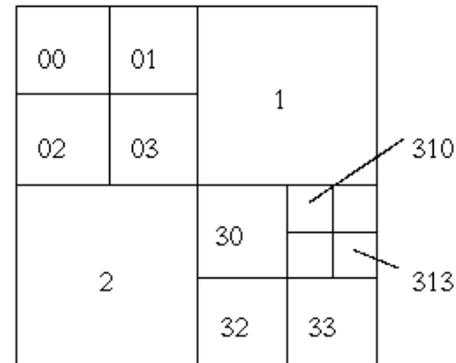
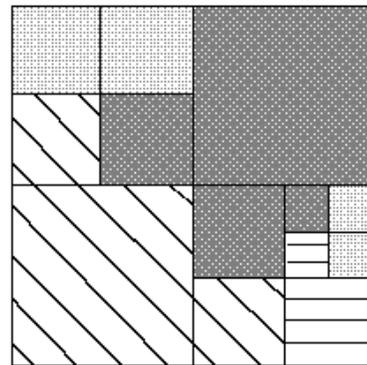
Técnicas baseadas em regiões

Separação de regiões (*region splitting*): separação da imagem, ou de uma ou mais áreas de interesse de uma imagem num conjunto de regiões disjuntas, por forma a que haja coerência entre os pixels de cada região, quanto a certas propriedades.

- Área total dividida em regiões disjuntas se os correspondentes pixels não respeitarem um certo constrangimento de similitude. Por norma, a partição inicial faz-se em quatro quadrantes.
- O processo continua em cada nova área de interesse, até que não aconteça mais nenhuma partição.

Técnicas baseadas em regiões

- Ilustração do método de *region-splitting*.



Técnicas baseadas em regiões

- Sucessiva divisão em quatro quadrados iguais; uma região mantém-se se cumpre o critério de homogeneidade (diferença > 1); termina quando não houver mais divisões.

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

F

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

1º passo

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

2º passo

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

3º passo

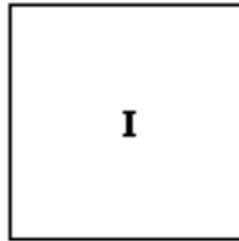
Técnicas baseadas em regiões

Split and merge: Combinação entre as técnicas de *region splitting* e *region growing*.

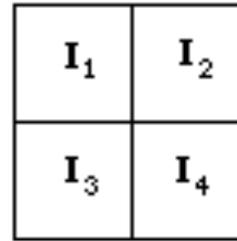
- Após a partição por *region splitting*, executa-se um processo de fusão das sub-regiões que cumpram os critérios de homogeneidade estabelecidos.
- O Método de segmentação de imagem, conhecido por ***quadtree decomposition***, é um exemplo da técnica *split-and-merge*, que consiste em particionar a imagem em quadrados idênticos (imagens com área de representação quadrada e com dimensão 2^L) e depois anexar as regiões que tenham propriedades radiométricas semelhantes.

Técnicas baseadas em regiões

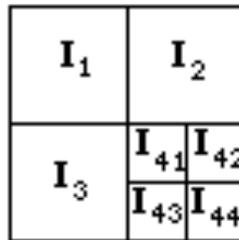
- Ilustração do método de *split and merge*.



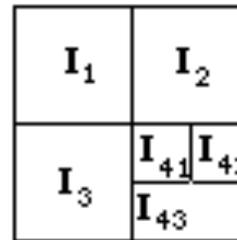
(a) Imagem inicial



(b) 1ª partição



(c) 2ª partição



(d) Fusão

Técnicas baseadas em regiões

- Ilustração do método de *split and merge*.

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

Splitting

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

Merging

Técnicas baseadas em transições

Estas técnicas assentam na determinação de linhas de transição numa imagem, por uso de operadores de detecção de zonas de transição (as transições correspondem a zonas de descontinuidade radiométrica, textural, etc.).

- A variação radiométrica nos pixels da fronteira entre duas regiões distintas adjacentes é bem mais significativa que a variação entre os pixels internos a cada uma dessas regiões.
- No entanto os resultados de segmentação por detecção de transições devem passar por fases suplementares de processamento, no sentido de adequar as linhas encontradas aos objectos específicos que se pretendem ver delimitados.

Técnicas baseadas em transições

- Executada uma das técnicas de segmentação, crescimento de regiões, ou detecção de transições, torna-se intuitivo definir a outra, já que a construção de regiões torna-se acessível a partir do conhecimento das respectivas transições, assim como também é acessível definir as transições a partir do conhecimento das regiões.
- Pode acontecer que as regiões de uma imagem, obtidas com metodologias de crescimento de regiões, não coincidam com as que se obtêm por metodologias de detecção de transições, ou vice-versa.

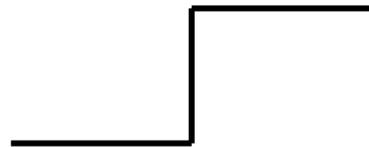
Técnicas baseadas em transições

Transições são descontinuidades na intensidade de uma dada imagem, e podem ser dos tipos:

- i) “Degrau”: onde a mudança se faz de forma abrupta entre dois valores distintos.
 - ii) “Linha”: onde a mudança acontece, regressando no entanto ao valor anterior após uma reduzida distância.
- Contudo, estas mudanças são efectivamente raras de acontecer, verificando-se quase sempre os modelos de “rampa” e “telhado”.

Técnicas baseadas em transições

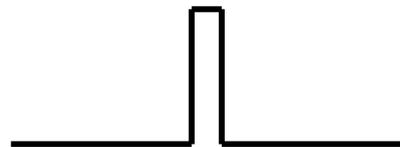
- Ilustração dos modelos de transição.



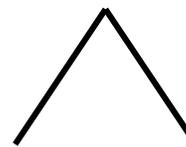
i) Degrau



ii) Rampa



iii) Linha



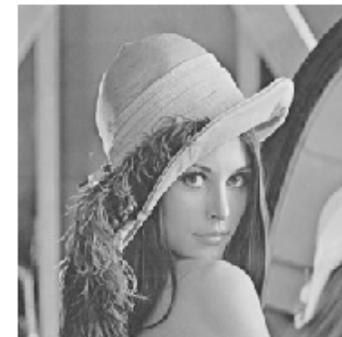
iv) Telhado

Técnicas baseadas em transições

Canny-Edge detector: é um algoritmo desenhado para ser um detector de fronteiras.

- Parte-se de um imagem de cinzentos e obtém-se uma imagem binária com as posições das discontinuidades radiométricas marcantes da imagem inicial.
- É executado em diversas etapas que focam conceitos diversos de processamento de imagem, tais como filtragem, quantização, e gradiente.

Original



Canny



Técnicas baseadas em transições

1. A imagem é suavizada com um filtro gaussiano.



Técnicas baseadas em transições

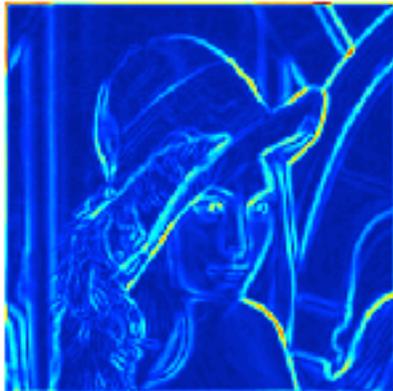
2. Executa-se um filtro derivativo simples (por exemplo o de Sobel) sobre a imagem suavizada, para realçar as primeiras derivadas espaciais mais elevadas.



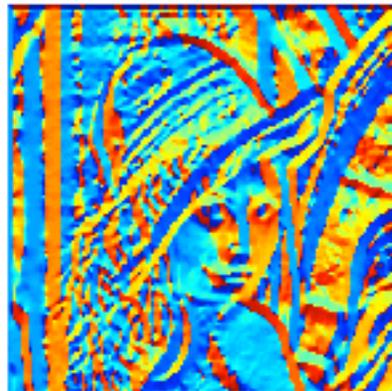
Técnicas baseadas em transições

3. O algoritmo executa uma busca ao longo das linhas de junção e coloca a zero todos os pixels que não pertencem à linha de topo, resultando apenas uma linha (processo conhecido por supressão de pixels não-máximos – *non-maximal suppression*).

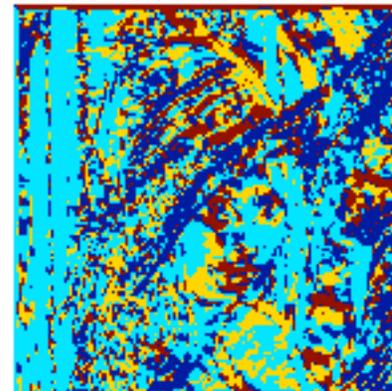
Sobel



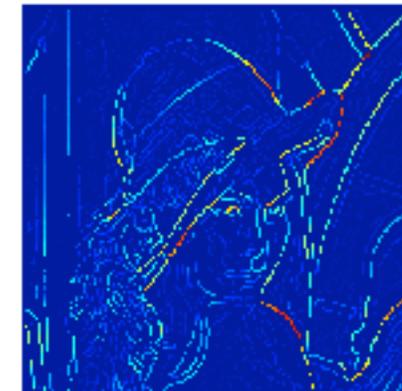
Theta



Theta Quant.



Maximo gradiente



Técnicas baseadas em transições

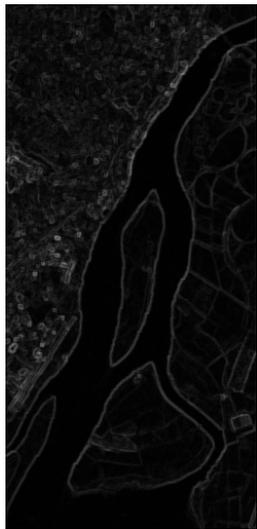
4. O processo de segmentação das linhas é controlado por dois *thresholds* $t1$ e $t2$ em que $t1 > t2$. Todos os pixels acima de $t2$ (pixels fortes) pertencem às linhas de fronteira; todos os que estão abaixo de $t1$ (pixels fracos) não pertencem. Entre $t1$ e $t2$, a escolha dos pixels é executada por histerese (*hysteresis*).

Canny Programado

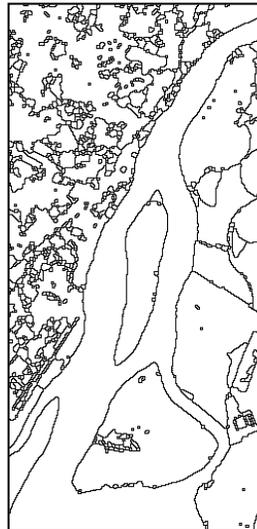


Técnicas híbridas

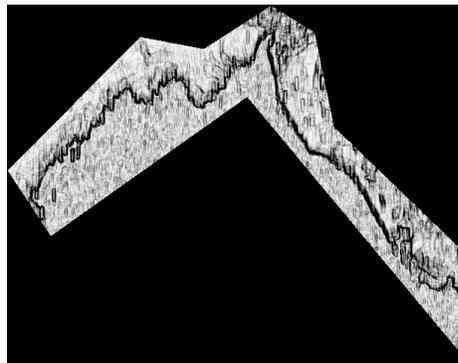
- A combinação entre os vários resultados é geralmente uma boa opção na caracterização final das regiões.
- Combinações de técnicas de crescimento de regiões com detecção de transições são referidas como **técnicas híbridas** de segmentação.



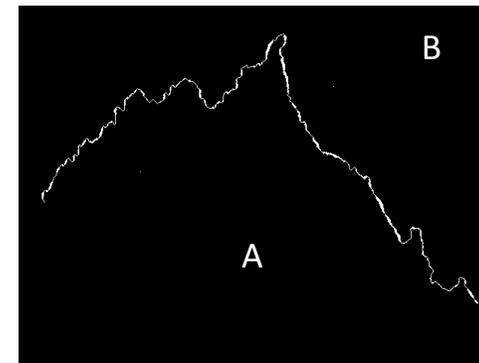
Gradiente morfológico



Regiões



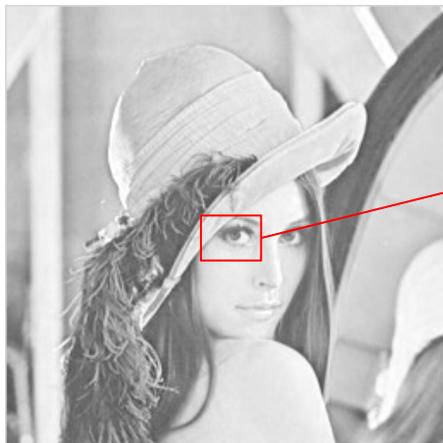
Gradiente de Sobel



Regiões

Template Matching

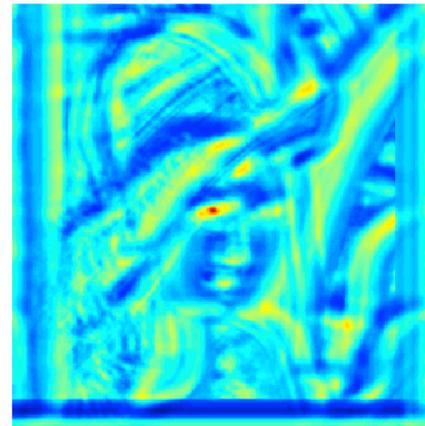
Template matching: técnica de segmentação que visa encontrar objectos semelhantes a um dado objecto que se designa por *template*. É geralmente realizada com base no operador de correlação cruzada normalizada.



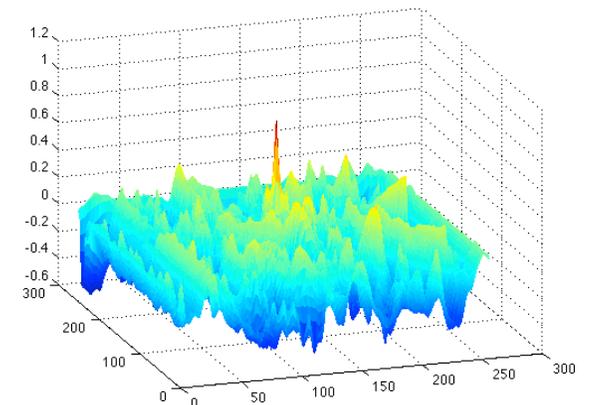
Imagem



Template



Correlação cruzada normalizada



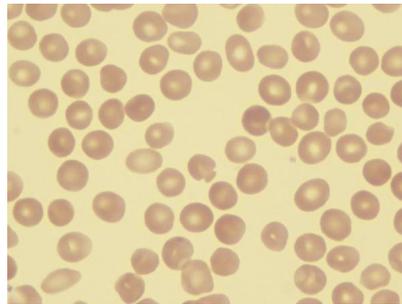
Segmentação morfológica

A abordagem morfológica de segmentação de imagem combina as técnicas de crescimento de regiões e de detecção de transições. Esta abordagem agrupa os pixels em torno dos mínimos regionais da imagem. As fronteiras de grupos de pixels adjacentes estão precisamente posicionadas nas linhas de “crista” da imagem do gradiente. Este resultado é alcançado com a transformação watershed.

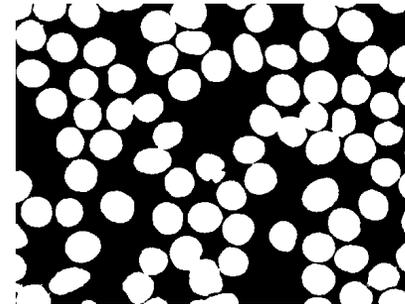


Segmentação morfológica

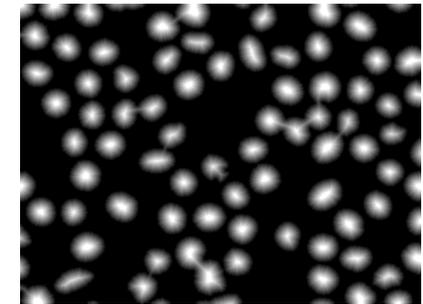
Exemplo: Separação de células sobrepostas (combinação de várias técnicas morfológicas).



F



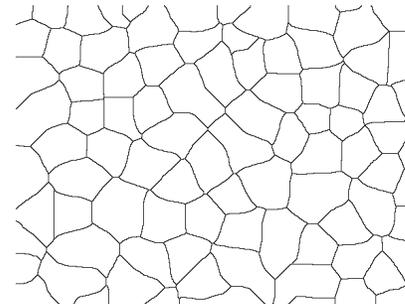
TH (threshold) + Filtragem



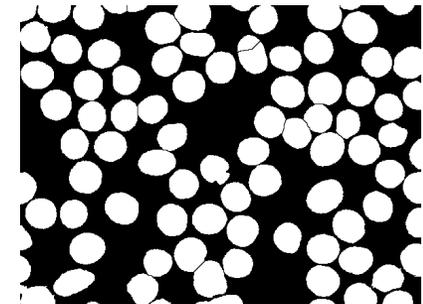
D (distância)



Marcadores (máximos de D)



W (watershed de NOT[D])



Resultado

Segmentação hierárquica

A abordagem hierárquica da segmentação de imagem permite relativizar a importância das regiões segmentadas entre si, em função de resultados obtidos em diferentes fases de um processo iterativo.

- Baseia-se na aplicação sistemática do mesmo algoritmo a uma imagem resultante da sua aplicação.
- Permite a obtenção de vários níveis de segmentação em que, de uma iteração para a outra, se extinguem conjuntos de pixels, ou regiões.
- Associado a cada imagem de output, a respectiva informação fica associada a um nível hierárquico de segmentação.

Segmentação hierárquica

Exemplo: Imagem Mosaico (por métodos morfológicos).



Intensidade



Watershed gradiente



Mosaico 1



Mosaico 2



Segmentação hierárquica

Exemplo: Método Waterfall.



TerraSAR (banda X) de uma área costeira de Lisboa
Resolução espacial = 3 m
Dimensões: 1209 × 2770

Método 1



Método 2

