

# Sistemas de Visão e Percepção Industrial

## 3-Processamento a Baixo Nível

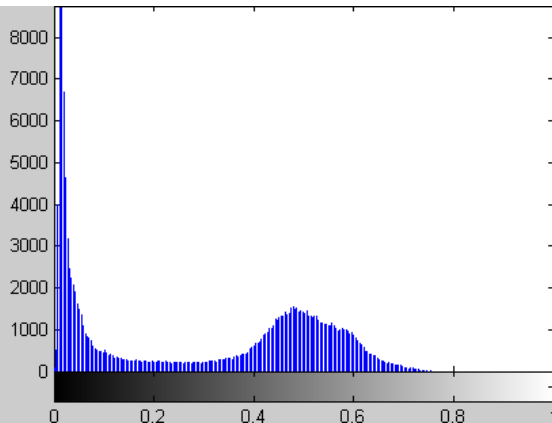
### Parte 2 - Técnicas de realce e binarização

- 1 Histogramas
- 2 Binarização
- 3 Binarização global
- 4 Binarização adaptativa

# Histogramas

# Histogramas e técnicas de realce

- Em geral, as técnicas de realce permitem adaptação ou compensação face a alterações de iluminação da cena.
- O Histograma de uma imagem
  - Conceito: contagem dos pixels por valores de intensidade (0-100%)



# Como obter o histograma?

- Contagem dos pixels de cada intensidade.

```
for i=0:255
    h(i+1)=sum(A==i, 'all');
end
plot(0:255,h)
```

- Mas o Matlab tem uma função que calcula automaticamente histogramas...

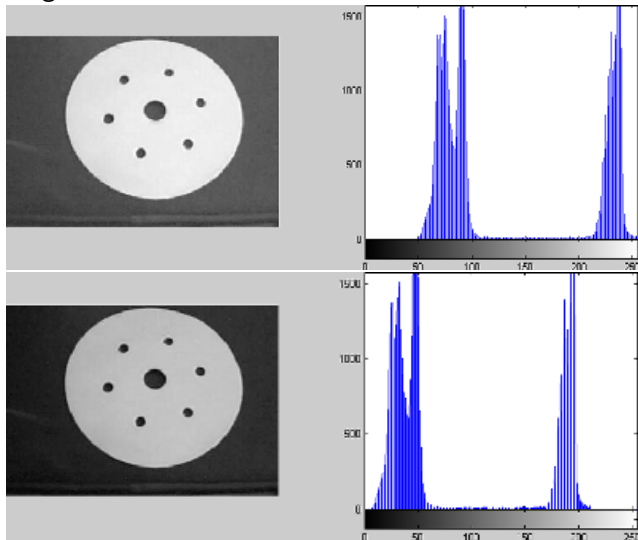
```
h = hist(B); %B - rearranjo linear de A
```

- ... E outra que calcula e o representa de forma mais intuitiva.

```
imhist(A)
```

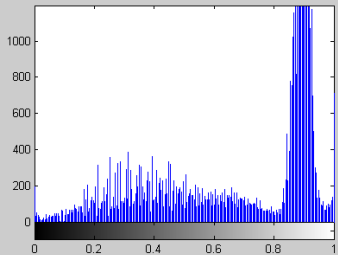
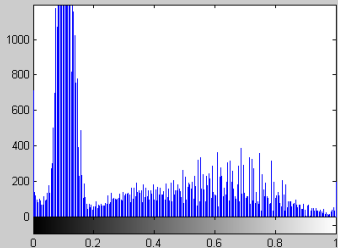
# Exemplos de histogramas-1

- Imagem clara e imagem escura



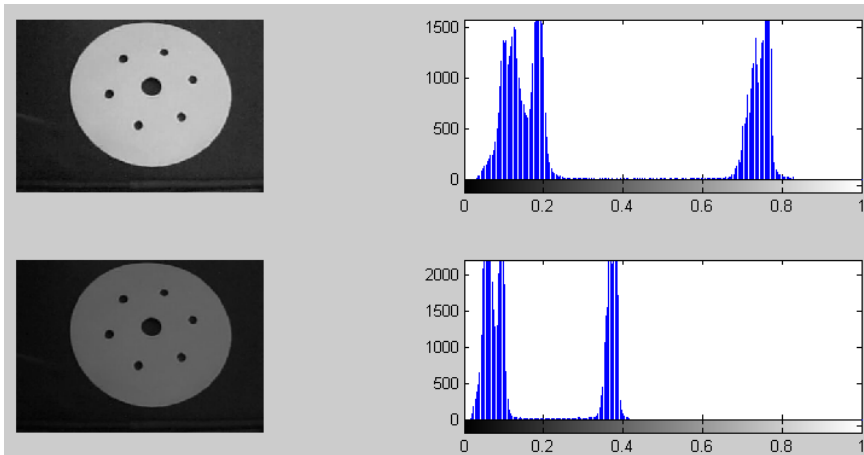
## Exemplos de histogramas-2

- Histograma de uma imagem e do seu negativo



# Ações na imagem vistas no histograma

- Operações na imagem
  - Consequências no histograma
    - Afetar linearmente o brilho (ex. Dividir o valor dos pixels por 2)





# Operações comuns no histograma

- Equalização (normalizar o histograma)
  - alteração do valor de cada pixel para uniformizar a distribuição de níveis de cinzento na imagem. Útil em casos de imagens adquiridas em circunstâncias diferentes de iluminação.
- Expansão do contraste

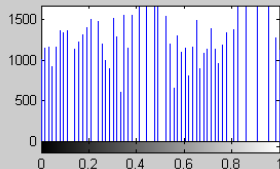
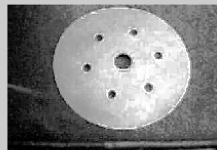
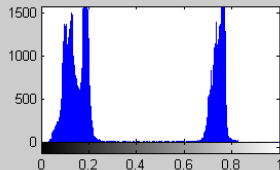
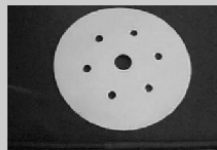
- Alteração da imagem para varrer toda a gama dinâmica de cinzentos com B bits:

$$g(x, y) = (2^B - 1) \frac{f(x, y) - \min[f(x, y)]}{\max[f(x, y)] - \min[f(x, y)]}$$

- Histogramas locais em vez de histograma global
  - Para afetar parcialmente a imagem sem levar em conta todo o resto da imagem
- Aplicação de um histograma pré-definido
  - Por exemplo, para realçar as partes mais escuras tornando-as mais claras, e escurecendo as partes mais intensas.

# Equalização de histograma

- Operação que procura distribuir uniformemente o número de pixels pelos níveis:
  - Obriga a eliminar alguns níveis do histograma original
  - Tende a facilitar a comparação posterior de imagens
  - Em geral, aumenta o contraste local
    - `histeq()` em Matlab

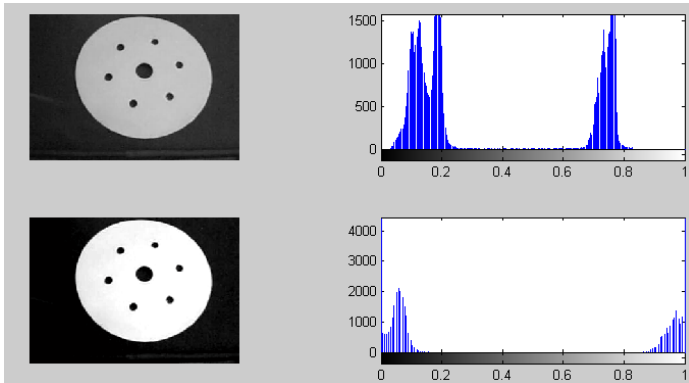


$$g(x, y) = \text{floor} \left( (L - 1) \sum_{n=0}^{f(x,y)} h(n) \right)$$

- $L$  - níveis de cinzento
- $h(n)$  - histograma normalizado
- $f(x, y)$  - valor pixel original
- $g(x, y)$  - valor pixel novo

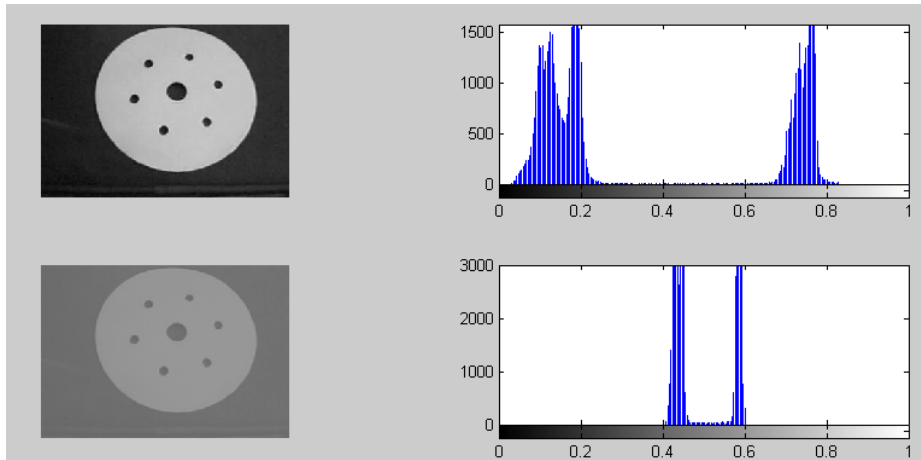
# Expansão do histograma

- Operação que altera os valores dos pixels de forma linear e de modo a ocupar gamas diferentes de níveis
  - Afeta o contraste de forma global
  - Exemplo de expansão [15% 70%] para [0% 100%]
    - `imadjust()` em Matlab



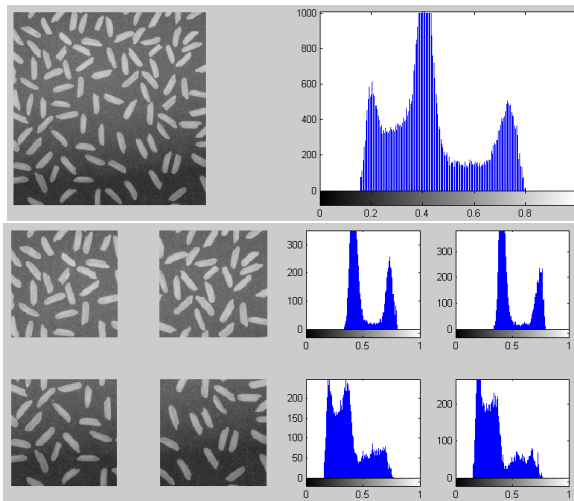
# Contração do histograma

- Exemplo de "expansão": [0% 80%] para [40% 60%]



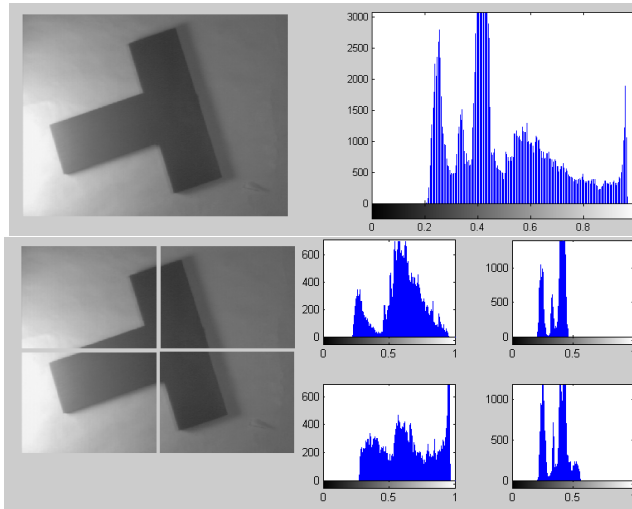
# Histogramas locais

- O histograma global pode diferir do histograma de uma sub-região da imagem, mesmo em imagens aparentemente uniformes.



## Histogramas locais -2

- Caso notório de variação local porque a imagem é pouco uniforme.



# Binarização

# A limitação (Thresholding)

- Processo de redução dos níveis de cinzento de uma imagem:
  - Em geral para 2 níveis, ou seja, imagem binária.

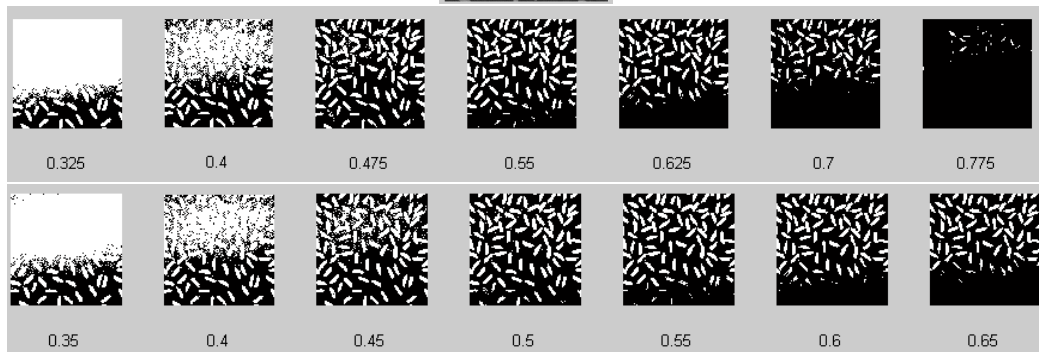
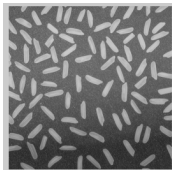
$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \Leftarrow f(x, y) > T \\ 0 & \Leftarrow f(x, y) \leq T \end{cases}$$

- A limitação é a técnica mais utilizada em visão e provavelmente a mais determinante nos processos atuais de percepção.
- É uma primeira operação para "separar" o objeto do fundo.



# Exemplos de binarização (limitação binária)

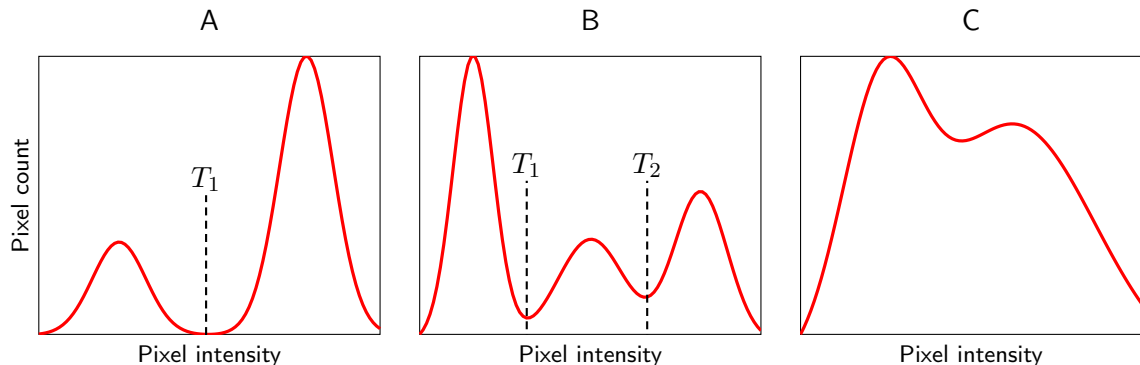
- Mesmo pequenas flutuações podem ter grande significado!



# Limitação automática e adaptativa

- Qual o threshold (limiar) que melhor informação preserva no processo de binarização?
  - O valor central (50%)...?
  - ...como se viu, nem sempre!
- Melhores soluções podem ser obtidas por:
- ① Cálculo automático do limiar global de binarização
  - Formas simples:
    - Média ou mediana da imagem
  - Procura das regiões de separação de picos (vales)
    - k-means, Otsu. ...
- ② Análise por vizinhanças e operações locais para obter um limiar adaptativo (variável) com a região da imagem
  - Médias locais (mean-C), técnicas de Chow & Kaneko, ...

# Binarização por análise do histograma



- O caso A será fácil de binarizar por haver clara separação de dois grupos de pixels.
- O caso B é mais complexo. Se porventura o objeto a segmentar tiver os seus pixels no lóbulo central do histograma, serão precisos dois limiares de binarização
- O caso C mostra uma separação de grupos de pixels menos marcada. Muito possivelmente será necessária binarização adaptativa.

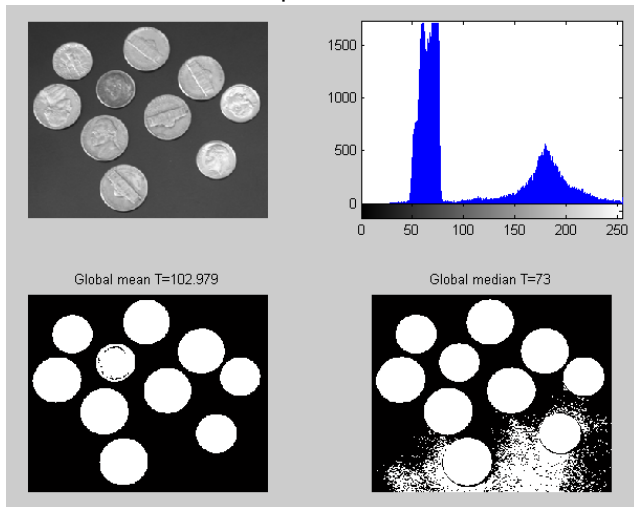
# Binarização global

# Métodos de binarização automática (global)

- Uso da média (ou mediana) dos pixels para calcular o limiar.
  - Muito simplista e em geral pouco preciso.
- Cálculo iterativo dos dois grupos dominantes de pixels.
  - Caso particular do k-means clustering para 2 grupos (clusters)
  - Também conhecido por isodata ("isodados")

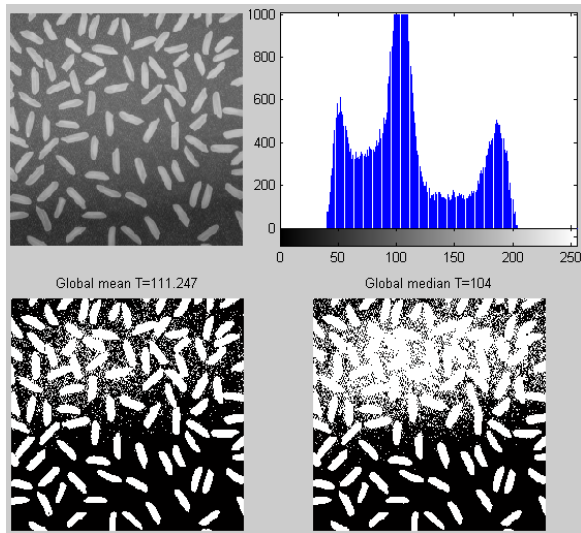
# Binarização pela média e pela mediana - 1

- Nem sempre o resultado é interessante para as duas técnicas. . .



## Binarização pela média e pela mediana - 2

- ... e por vezes nenhuma delas satisfaz.



# Binarização - Algoritmo de "isodados"

- Obtenção do limiar  $T$  de binarização de forma iterativa.
  - Imagem a  $B$  bits com um histograma  $H(i)$  onde  $i = 0, 1, \dots, 2^B - 1$
  - Iteração inicial: ponto central da gama de valores  $T_0 = 2^{B-1}$
  - Calcular as médias "ponderadas" dos pixels separados em "objetos" ( $m^f$ ) e "fundo" ( $m^b$ ).

$$m_k^b = \frac{\sum_{i=0}^{T_{k-1}-1} i \cdot H(i)}{\sum_{i=0}^{T_{k-1}-1} H(i)} \quad m_k^f = \frac{\sum_{i=T_{k-1}}^{2^B-1} i \cdot H(i)}{\sum_{i=T_{k-1}}^{2^B-1} H(i)}$$

- Nova iteração: o novo valor do limiar é obtido como a média aritmética dessas médias:

$$T_k = \frac{1}{2}(m_k^f + m_k^b)$$

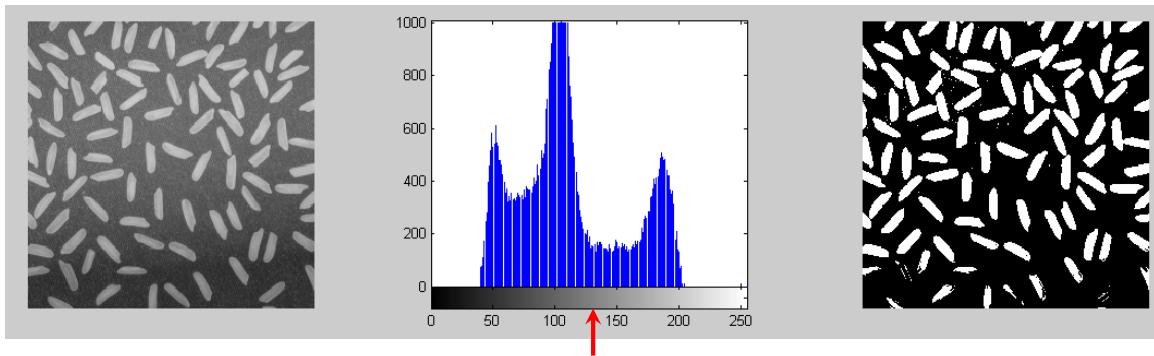
- O processo é repetido até que o limiar deixe de variar. Ou seja:

$$T_k == T_{k-1}$$



## Exemplo de aplicação de isodados

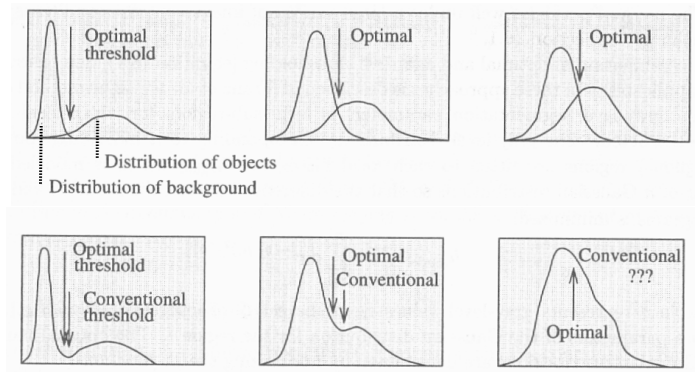
- O resultado para a imagem apresentada dá cerca de 131.



- NB. Tal como outros algoritmos globais, o "isodados" nem sempre resulta bem!

# Limiares globais calculados do histograma

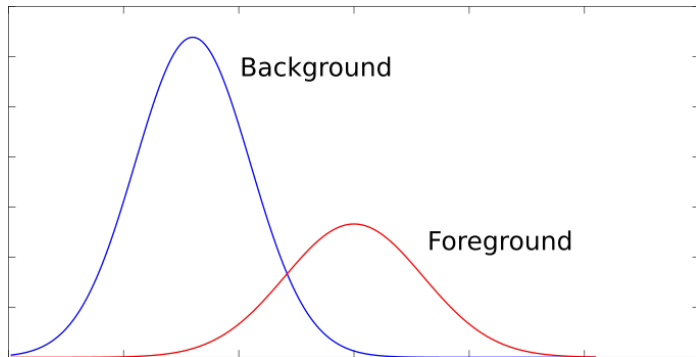
- Modelos que assumem que os pixels de objeto e os do fundo seguem uma distribuição estatística normal.
- Método de Otsu – determina o limiar global ótimo



- Pode-se generalizar para várias classes e não apenas em "objeto" e "fundo". – Cf. Davies, ch.4 ; Gonzalez et al., ch. 10

# Método de Otsu - 1

- Admitir que os pixels pertencem a duas classes distintas: fundo (background) e objetos (foreground).
- Cada classe tem a sua distribuição de pixels e respetiva variância.
  - $\sigma_{back}^2 = \sigma_1^2$  (variância da distribuição de pixels de fundo)
  - $\sigma_{obj}^2 = \sigma_2^2$  (variância da distribuição de pixels de objeto)



- A ideia principal é de descobrir o limiar de binarização  $T$  que minimize a variância intra-classes  $W$  dada por:

- $\sigma_W^2 = q_1(T)\sigma_1^2(T) + q_2(T)\sigma_2^2(T)$

- Onde:

- $q_1(T) = \sum_{i=0}^T P(i)$  e  $q_2(T) = \sum_{i=T+1}^{MaxVal} P(i) = 1 - q_1(T)$ ,

- sendo

- $P(i) = \frac{H(i)}{R \times C} = h(i)$  e  $R \times C \rightarrow$  total de pixels.

- e também:

- $\sigma_1^2(T) = \sum_{i=0}^T \frac{[i - \mu_1(T)]^2 P(i)}{q_1(T)}$ , com  $\mu_1(T) = \sum_{i=0}^T \frac{iP(i)}{q_1(T)}$
  - $\sigma_2^2(T) = \sum_{i=T+1}^{MaxVal} \frac{[i - \mu_2(T)]^2 P(i)}{q_2(T)}$ , com  $\mu_2(T) = \sum_{i=T+1}^{MaxVal} \frac{iP(i)}{q_2(T)}$

- O processo é exaustivo e computacionalmente intensivo, mas Otsu demonstrou que minimizar a variância intra-classes  $W$  é o mesmo que maximizar a variância inter-classes  $B$  e que é dada por:

$$\sigma_B^2 = q_1(T)q_2(T)[\mu_1(T) - \mu_2(T)]^2$$

- sendo:

$$\sigma^2 = \sigma_W^2 + \sigma_B^2$$

- Portanto, a técnica é tentar todos os limiares  $T$  e escolher o que maximiza a variância inter-classes  $\sigma_B^2$
- O Matlab calcula o limiar de Otsu com a função `graythresh()`

## Exemplo do método de Otsu

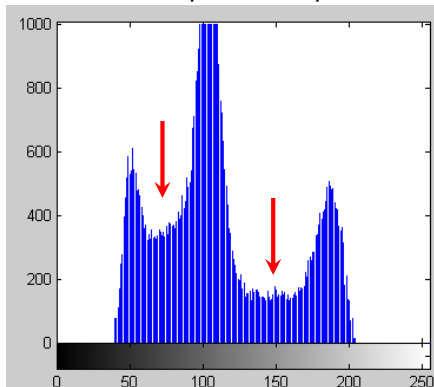
- O resultado neste caso é relativamente similar ao do "isodata" e obtém-se o limiar de 131.



- Conclusão: nenhum dos métodos globais é adequado a este problema!

# Binarização por histograma trimodal

- Poder-se-ia tentar a binarização com dois limiares num histograma trimodal. Mas isso falha se na cena original houver apenas um tipo de "objeto" num único fundo!
- Exemplo do caso dos bagos de arroz. O fundo varre uma grande diversidade de níveis de cinzento não sendo possível separá-lo assim!



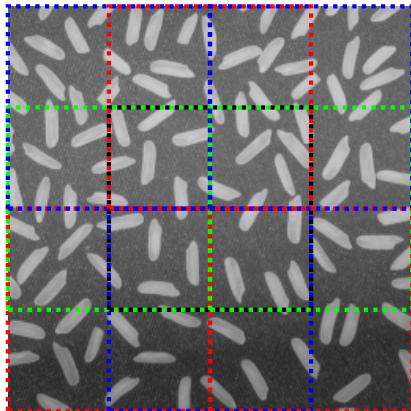
# Binarização adaptativa



- A binarização é adaptativa quando se usam limiares diferentes de binarização conforme a região da imagem onde está o pixel a ser binarizado.
- Também é chamada binarização local ou dinâmica.

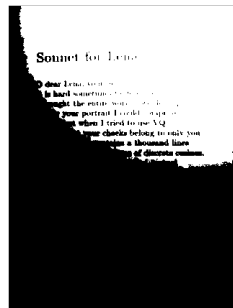
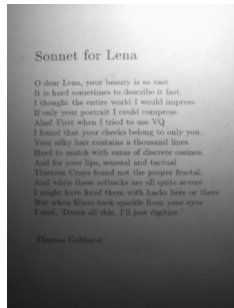
# Método de Chow & Kaneko

- Dividir a imagem em regiões (parcialmente sobrepostas) e calcular um limiar para cada região baseado nos pixels de toda a região.
- Interpolar o limiar nas sub-regiões que se sobrepõem.



# Binarização adaptativa – Médias locais

- Quando há gradientes de iluminação, é impossível definir um limiar fixo para toda a imagem

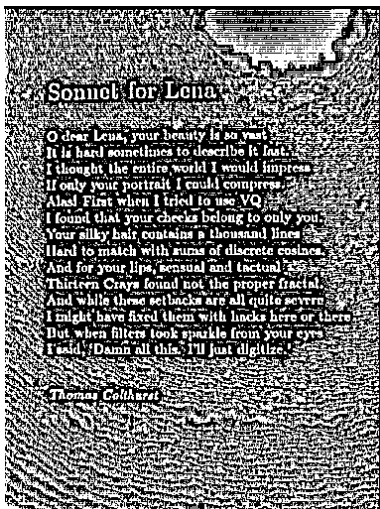


- Uma possível solução:
  - Definir uma vizinhança de determinada dimensão
  - Fazer a binarização de cada pixel com base na média dessa vizinhança (também se pode usar a mediana)

- Nas médias locais, nem sempre o processo é óbvio; dependendo da natureza da imagem, levantam-se as questões:
  - Qual a melhor dimensão da vizinhança?
  - Zonas vastas de fundo (ou de objeto) com flutuações, como se garantem que sejam de um só "valor"?
  - Assim, usam-se as chamadas *mean - C* (média-C): médias com valores limites de aceitação:
    - Se a média for "muito" baixa, o pixel deve ser considerado "fundo" mesmo se o seu valor é mais elevado que essa média, e reciprocamente!
- Em resumo, o processo tem dois parâmetros:
  - A dimensão da vizinhança:  $N$  (efetivamente  $N \times N$ )
  - Tolerância para a média:  $C$ ;
- Um pixel  $f(x, y)$  passa a ter o valor  $g(x, y)$  segundo a expressão:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \Leftarrow \text{mean}(f(x, y), N) - C > 0 \\ 0 & \Leftarrow \text{mean}(f(x, y), N) - C \leq 0 \end{cases}$$

## Médias locais – exemplo da imagem anterior



### Sonnet for Lena

O dear Lena, your beauty is so vast  
It is hard sometimes to describe it fast.  
I thought the entire world I would impress  
If only your portrait I could compress.  
Alas! First when I tried to use VQ  
I found that your cheeks belong to only you.  
Your silky hair contains a thousand lines  
Hard to match with sums of discrete cosines.  
And for your lips, sensual and tactual  
Thirteen Crays found not the proper fractal.  
And while these setbacks are all quite severe  
I might have fixed them with hacks here or there  
But when filters took sparkle from your eyes  
I said, 'Damn all this. I'll just digitize.'

Thomas Colthart

### Sonnet for Lena

O dear Lena, your beauty is so vast  
It is hard sometimes to describe it fast.  
I thought the entire world I would impress  
If only your portrait I could compress.  
Alas! First when I tried to use VQ  
I found that your cheeks belong to only you.  
Your silky hair contains a thousand lines  
Hard to match with sums of discrete cosines.  
And for your lips, sensual and tactual  
Thirteen Crays found not the proper fractal.  
And while these setbacks are all quite severe  
I might have fixed them with hacks here or there  
But when filters took sparkle from your eyes  
I said, 'Damn all this. I'll just digitize.'

Thomas Colthart

### Sonnet for Lena

O dear Lena, your beauty is so vast  
It is hard sometimes to describe it fast.  
I thought the entire world I would impress  
If only your portrait I could compress.  
Alas! First when I tried to use VQ  
I found that your cheeks belong to only you.  
Your silky hair contains a thousand lines  
Hard to match with sums of discrete cosines.  
And for your lips, sensual and tactual  
Thirteen Crays found not the proper fractal.  
And while these setbacks are all quite severe  
I might have fixed them with hacks here or there  
But when filters took sparkle from your eyes  
I said, 'Damn all this. I'll just digitize.'

Thomas Colthart

$$N = 7, C = 0$$

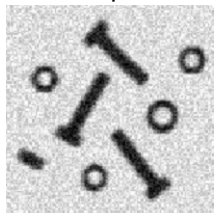
$$N = 7, C = 7$$

$$N = 75, C = 10$$

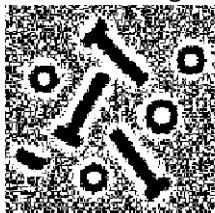
● Resultados extraídos de <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/adpthrsh.htm>

## Binarização dinâmica – Comparações

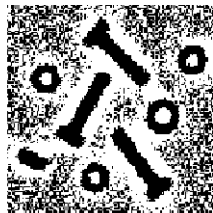
- Nem sempre as médias locais (mean-C) são uma boa solução. Por exemplo, quando há textura, pode ser difícil obter boa segmentação!



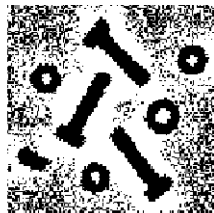
Original



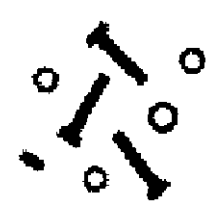
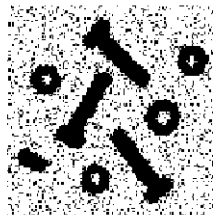
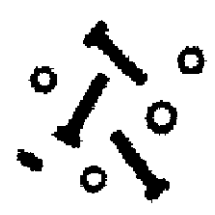
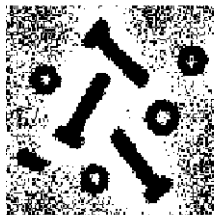
Media Local: 30 viz.



Media Local: 50 viz.



Media Local: 70 viz.



- Limiar global
  - Algoritmo de isodados
    - Pressupõe duas regiões dominantes no histograma
  - Método de Otsu
    - Pressupõe distribuições estatísticas de intensidades de pixels para cada região (fundo e objeto)
  - Outras técnicas
    - Uso do valor da média global da imagem
    - Algoritmo do triângulo (algoritmo geométrico no histograma)
    - ...
- Limiar dinâmico ou adaptativo
  - Método de Chow & Kaneko
    - Divide a imagem em regiões e usa histogramas parciais
  - Médias locais (mean-C)
    - Cálculo para cada pixel baseado na sua vizinhança e num limiar