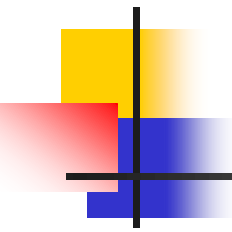


Processamento Digital de Imagens

Carlos Alexandre Mello

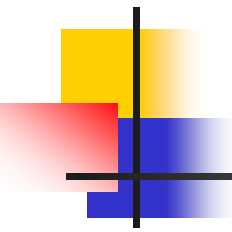
Pós-Graduação em Ciência da Computação



Processamento de Imagens

- Objetivos

- Melhoria da informação visual para interpretação humana/máquina
- Armazenamento/Transmissão
- Efeitos Digitais



Processamento Digital de Imagens

Melhoria da Informação Visual

- Exemplo:
 - Observe a imagem a seguir... O que está escrito nela ?



- O fato do olho humano não perceber a diferença entre tons próximos não quer dizer que eles não existam...

Processamento Digital de Imagens

Melhoria da Informação Visual

- Mesma imagem com aumento de brilho (143%) e contraste (79%)....

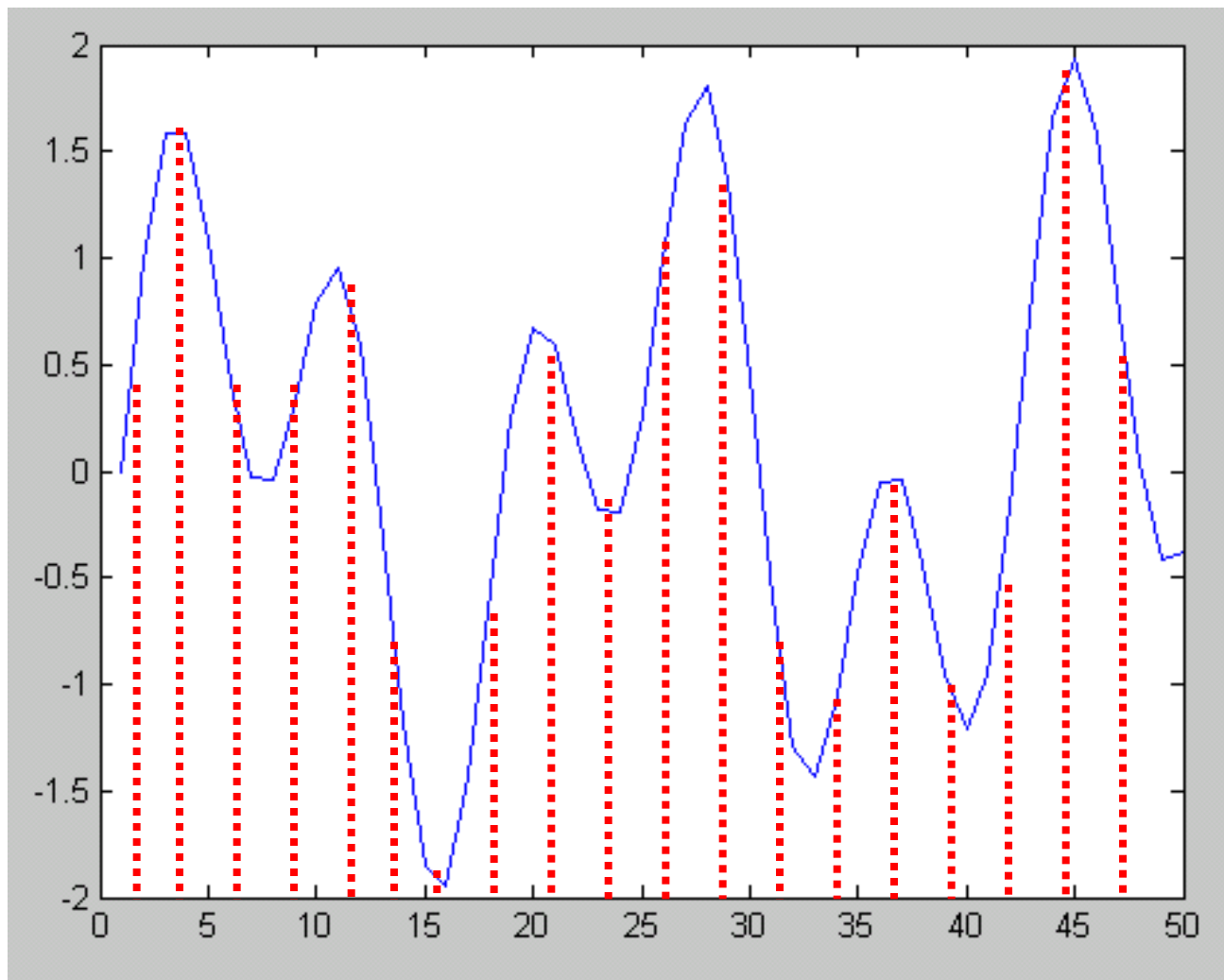


- A mensagem já estava presente; apenas intensificamos as diferenças entre os tons....

Processamento de Imagens

Digitalização: Amostragem e Quantização

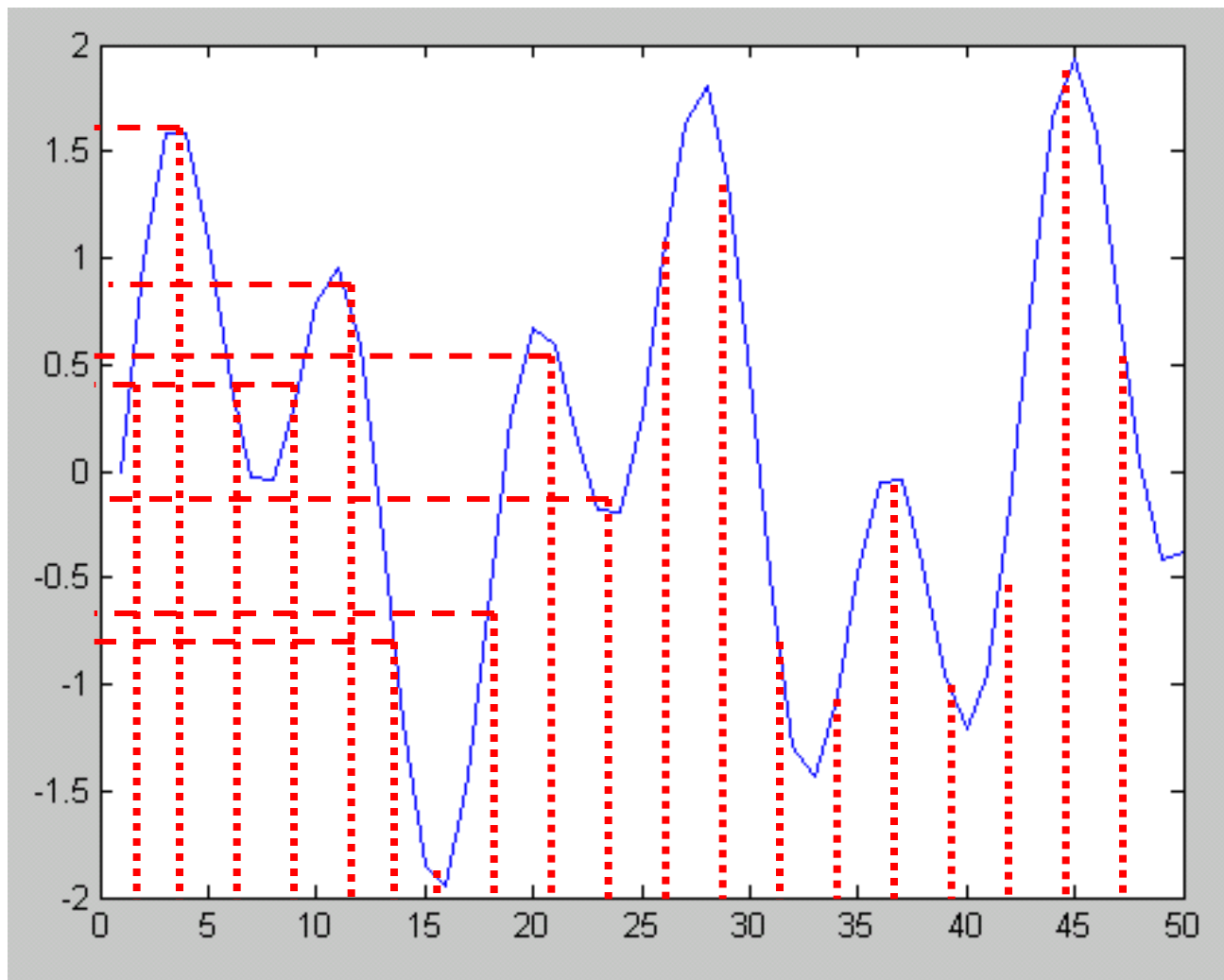
Amostragem

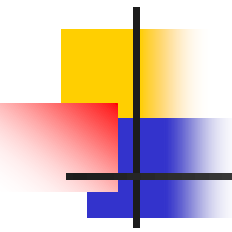


Processamento de Imagens

Digitalização: Amostragem e Quantização

Quantização

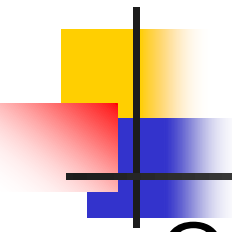




Processamento de Imagens

Digitalização: Amostragem e Quantização

- Em termos de imagem, a amostragem cria a matriz referente à imagem (define as **dimensões da matriz**) e a quantização define **resolução de cor** da imagem



Processamento de Imagens

Digitalização: Amostragem e Quantização

- Outros processos

- Aliasing (dá mais naturalidade à cena)
 - Processo de filtragem



Processamento de Imagens

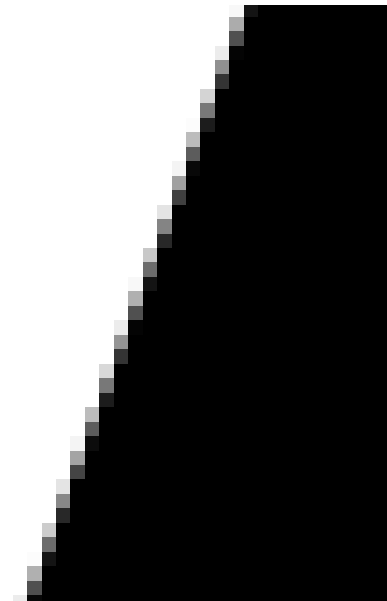
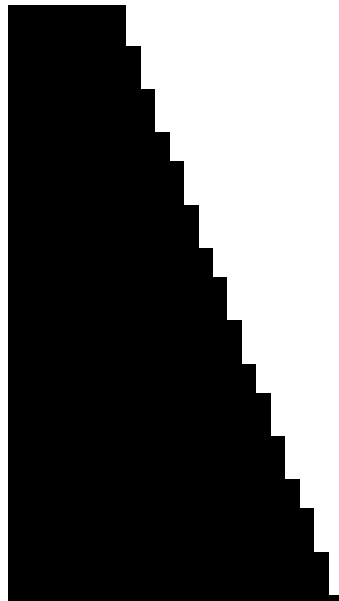
Digitalização: Amostragem e Quantização

- Outros processos

- Aliasing (dá mais naturalidade à cena)

- Processo de filtragem

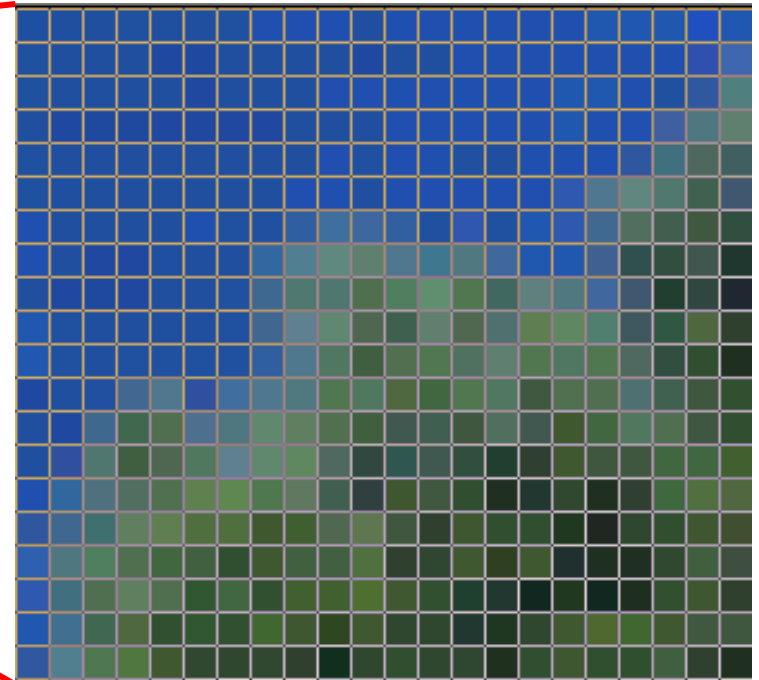
- Em zoom....



Processamento de Imagens

Imagem Digital

- O Pixel
 - Coordenada
 - Valor (Cor)

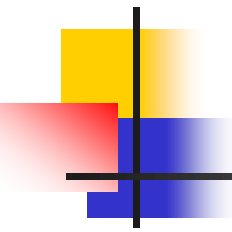


Processamento de Imagens

Imagem Digital

- A **Resolução da Imagem** é medida em dpi - dots per inch (pixels por polegada)
- Balanceamento da equação:

$$\begin{array}{c} \text{Qualidade da Imagem} \\ \times \\ \text{Tempo de Processamento} \\ \times \\ \text{Espaço de Armazenamento} \end{array}$$



Resolução da Imagem

- Mudança na dimensão da imagem (resize) é diferente de re-sampling
- Correta definição de resolução é fundamental e dependente da aplicação

Resolução da Imagem



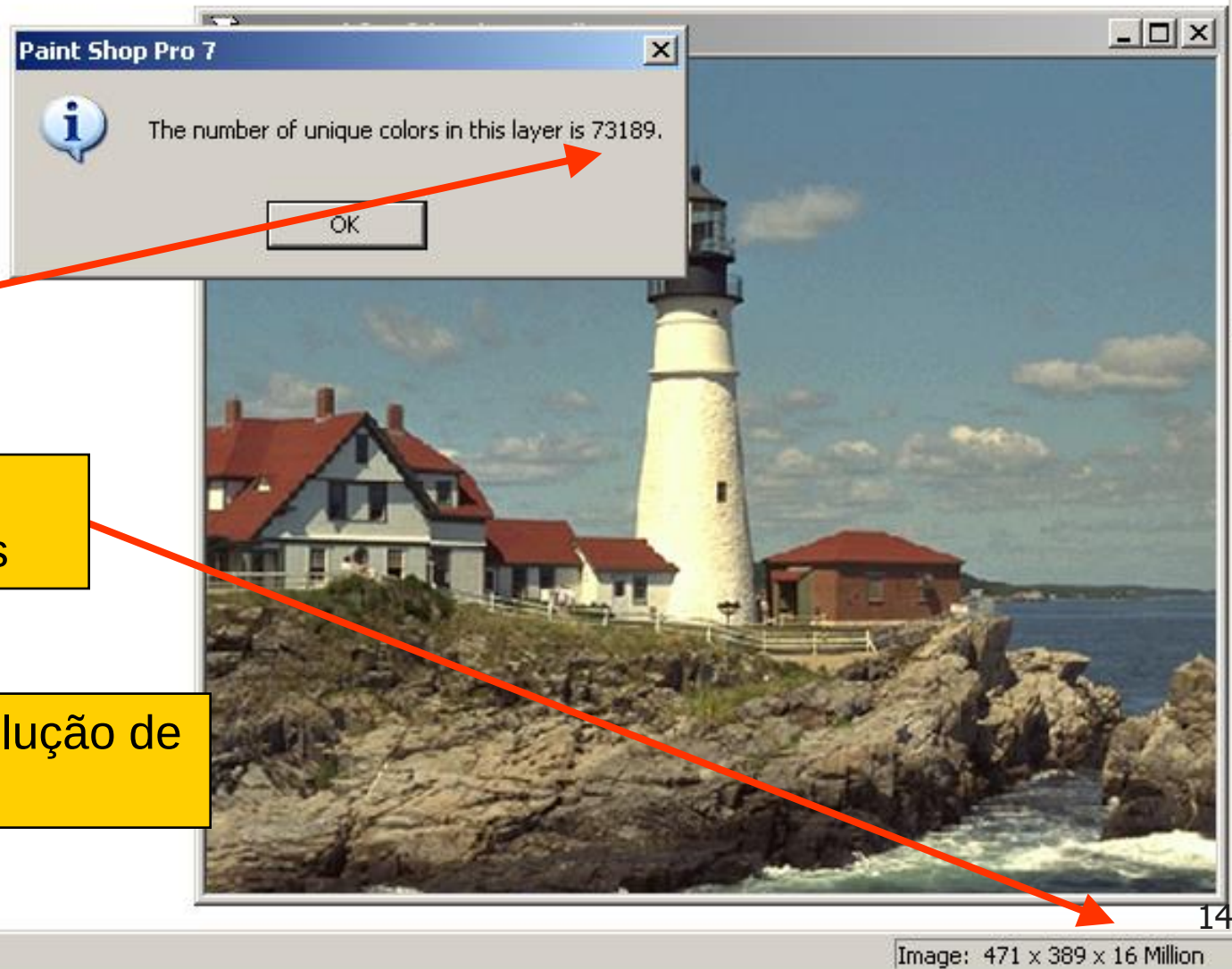
original image
(taken from flickr commons)



subsampled image

Processamento de Imagens

Imagem Digital

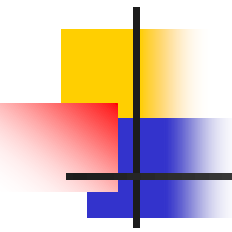


Gamute

No. de
Componentes

Armazenados
em 24 bits

Resolução de
Cor



Processamento de Imagens

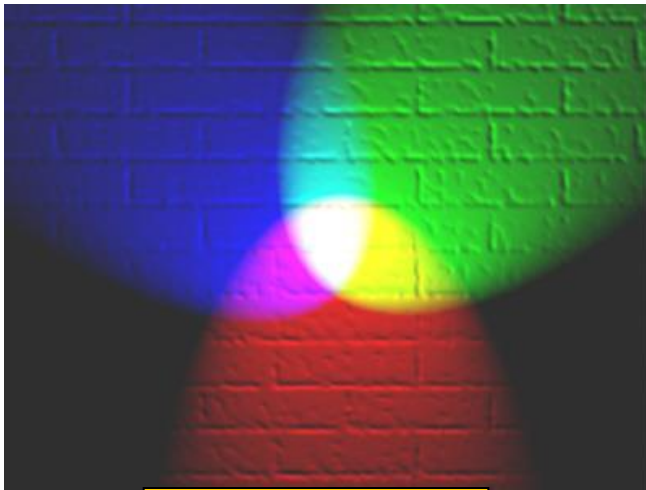
Fundamentos de Cor

- Cor é a nossa percepção de diferentes comprimentos de onda luz
- A luz é um fenômeno físico, mas a cor depende da interação da luz com o sistema visual, sendo, assim, um fenômeno **psicofísico**

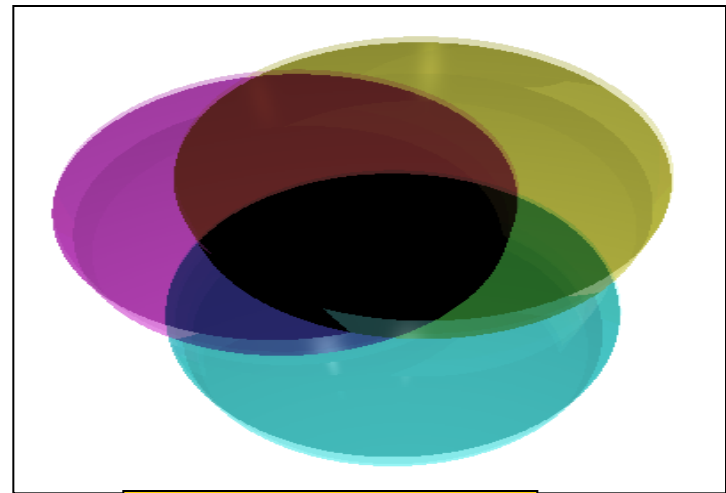
Processamento de Imagens

Processo de Formação das Cores

- Aditivo
- Subtrativo
- Pigmentação



Cores aditivas

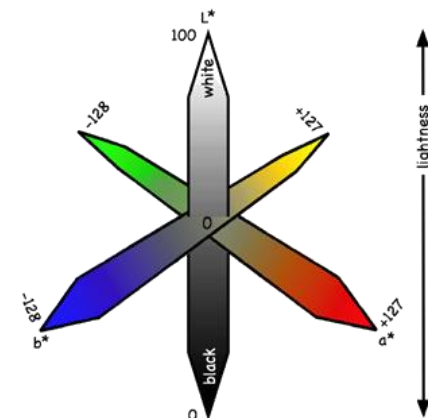
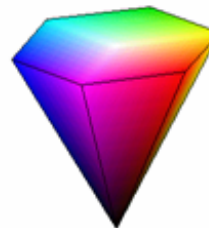
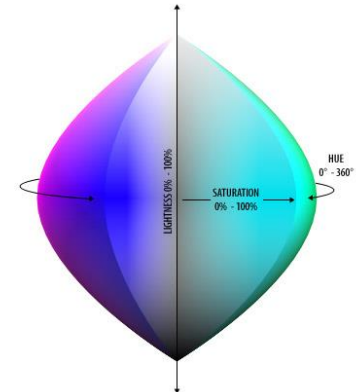
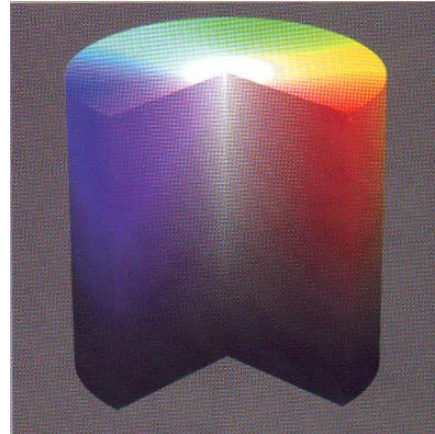


Cores subtrativas

Processamento de Imagens

Sistemas de Cores

- RGB
- CMYK
- HSV
- HSL
- IYQ
- CieLab
- Munsell
-



Processamento de Imagens

Sistemas Computacional de Cores

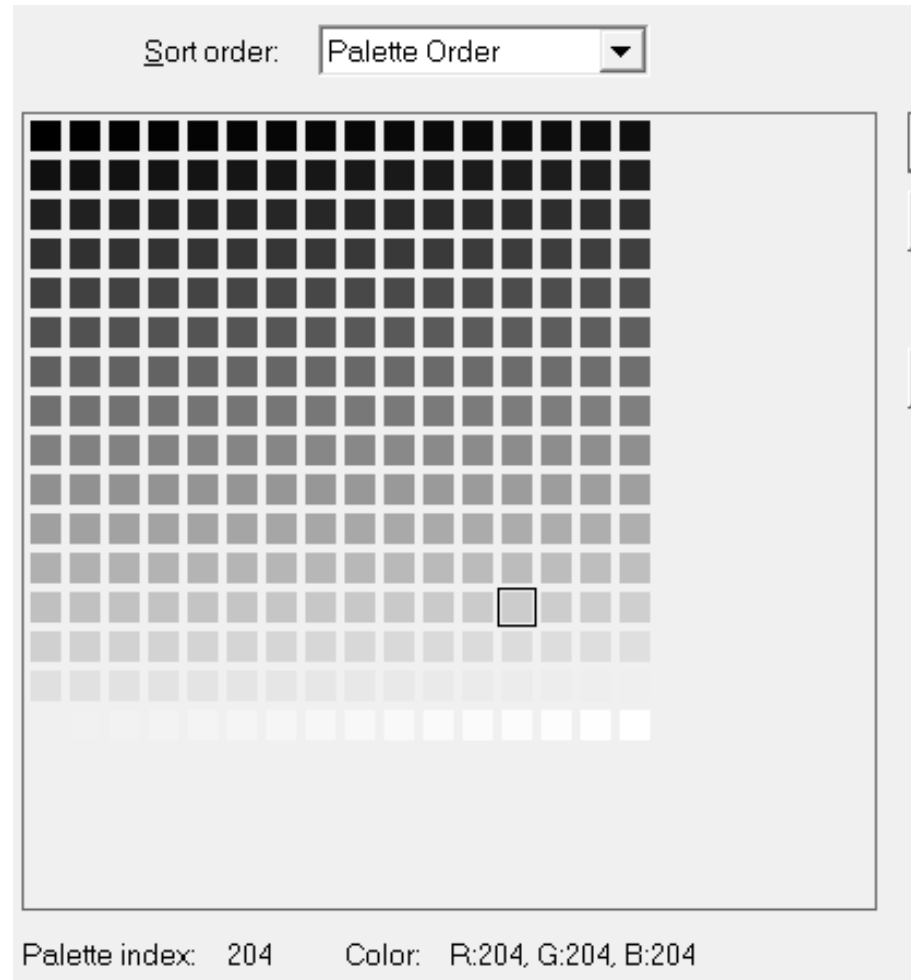
- Cada tom (R, G e B) é armazenado em 1B
- Resolução de Cor:
 - 2 cores (1 bit)
 - 16 cores (4 bits)
 - 256 cores (8 bits = 1 byte)
 - 16 milhões de cores (24 bits = 3 bytes)

Paleta de Cores

Processamento de Imagens

Sistemas Computacional de Cores

- Tons de cinza
- Níveis de cinza
- Níveis de brilho



Processamento de Imagens

Sistemas Computacional de Cores

- Diferentes formas de conversão



Original



Média

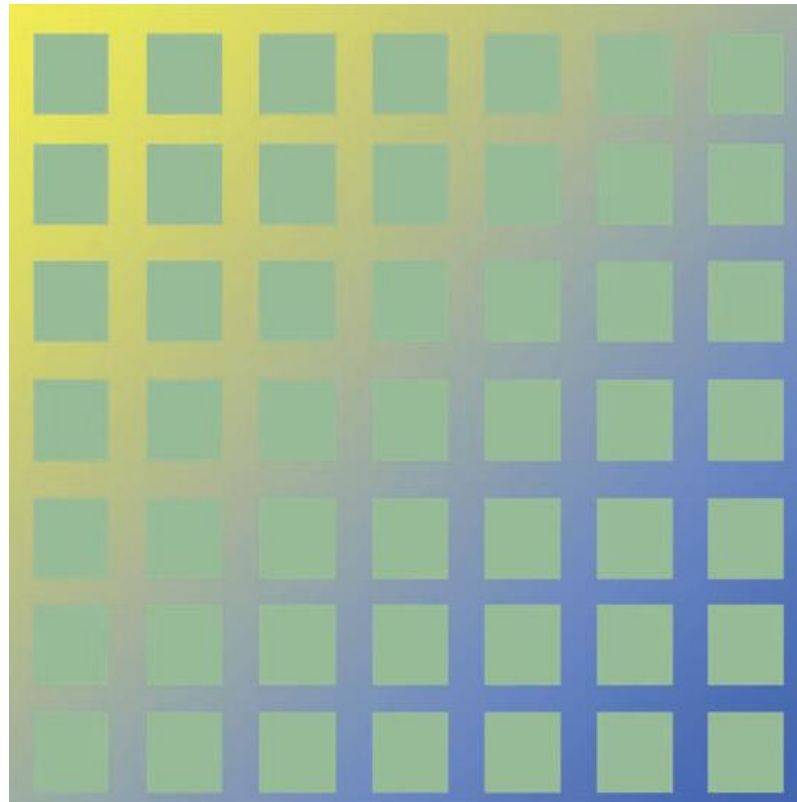


Pesos

Processamento de Imagens

Sistemas Computacional de Cores

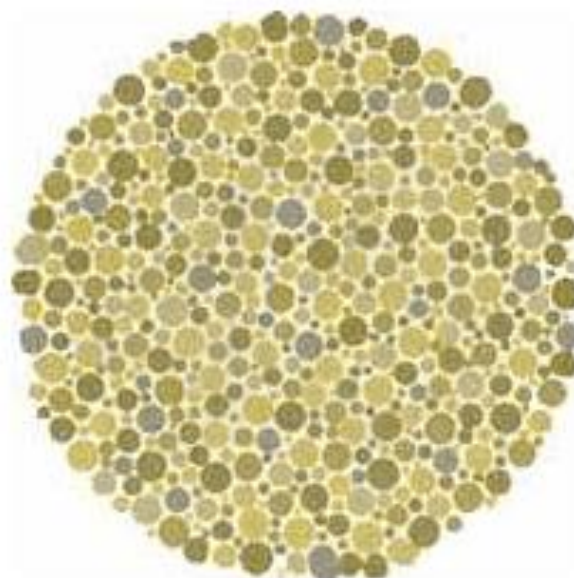
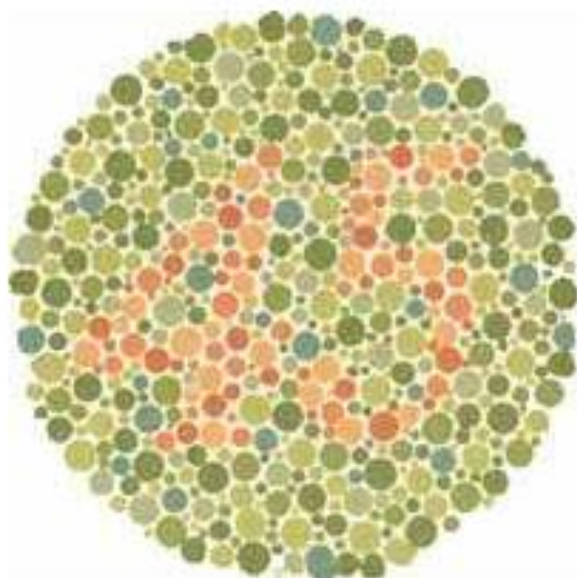
- Fenômenos relacionados à percepção das cores
 - A cor dos quadrados parece diferente para diferentes cores do fundo

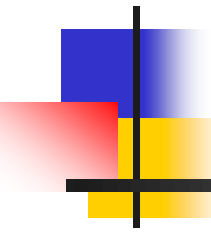


Processamento de Imagens

Sistemas Computacional de Cores

- Deficiência cromática





Histograma

Carlos Alexandre Mello

Pós-Graduação em Ciência da Computação

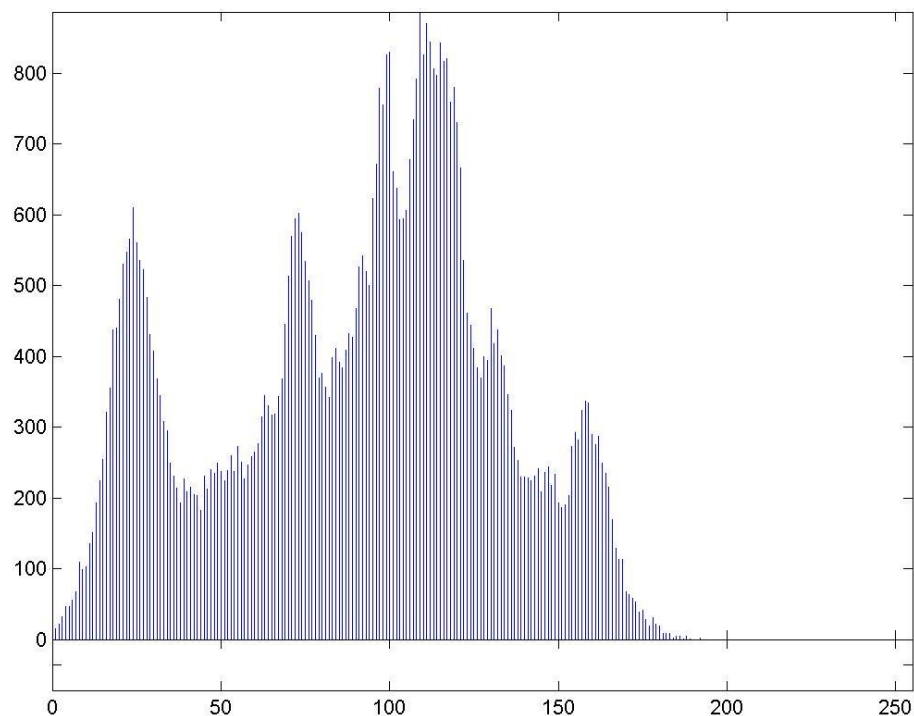
Histograma

- O **Histograma** de uma imagem provê uma descrição global da aparência da imagem em termos de distribuição de cores

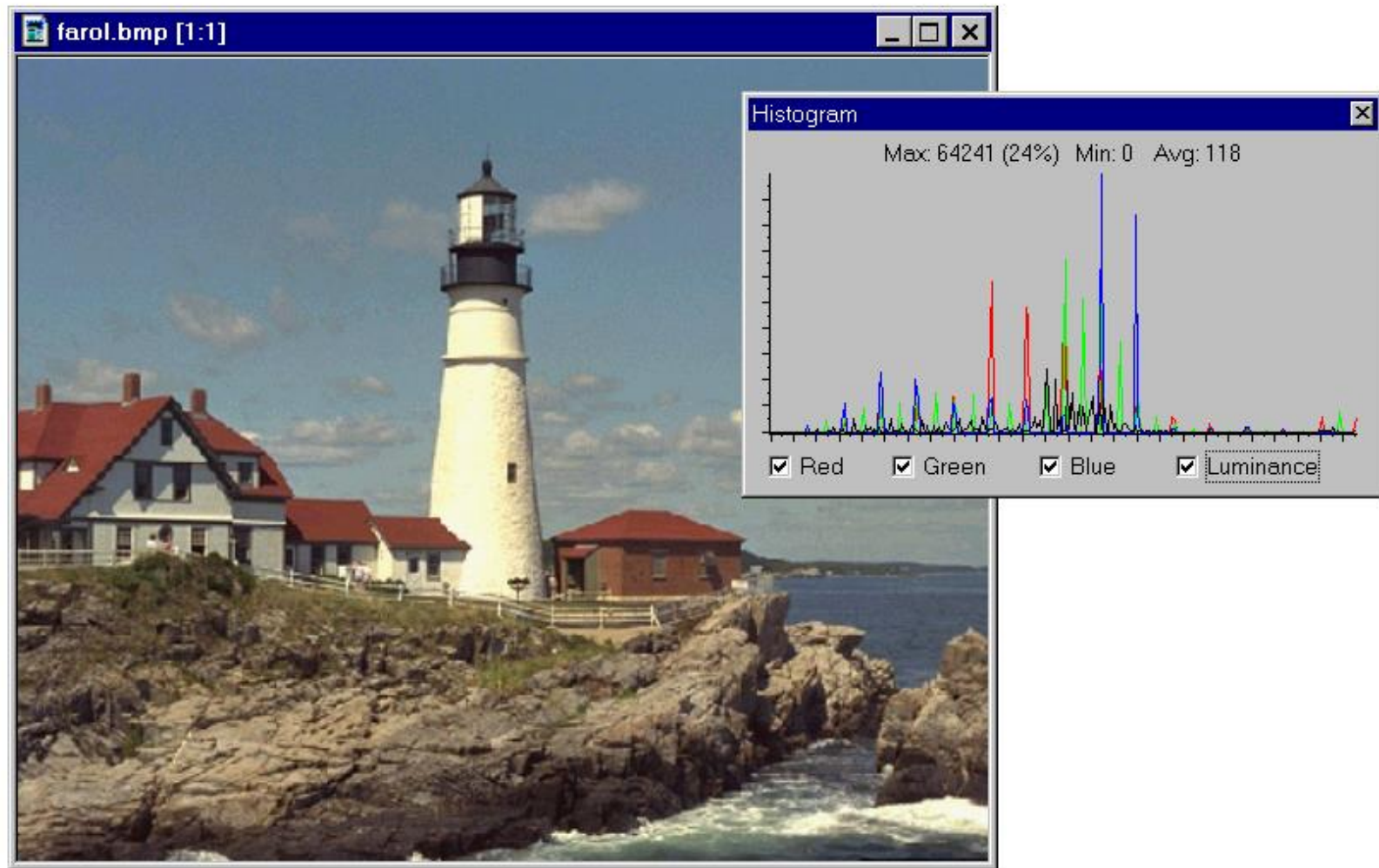
```
>> I = imread('lena.jpg')  
>> imshow(I)
```



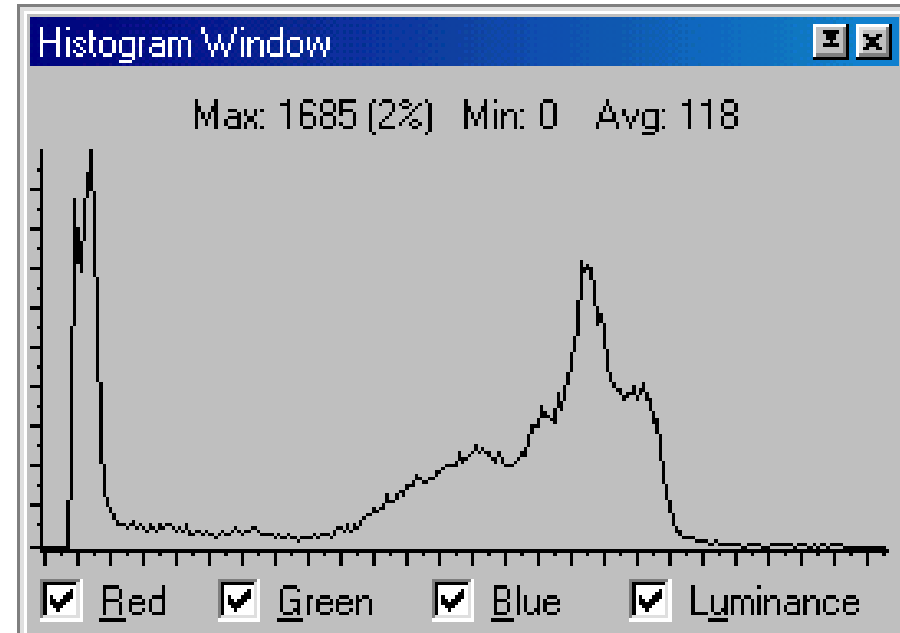
```
>> figure, imhist(I,256)
```



Histograma



Histograma - Contraste



Contraste: nível de separação entre as cores

Histograma - Contraste

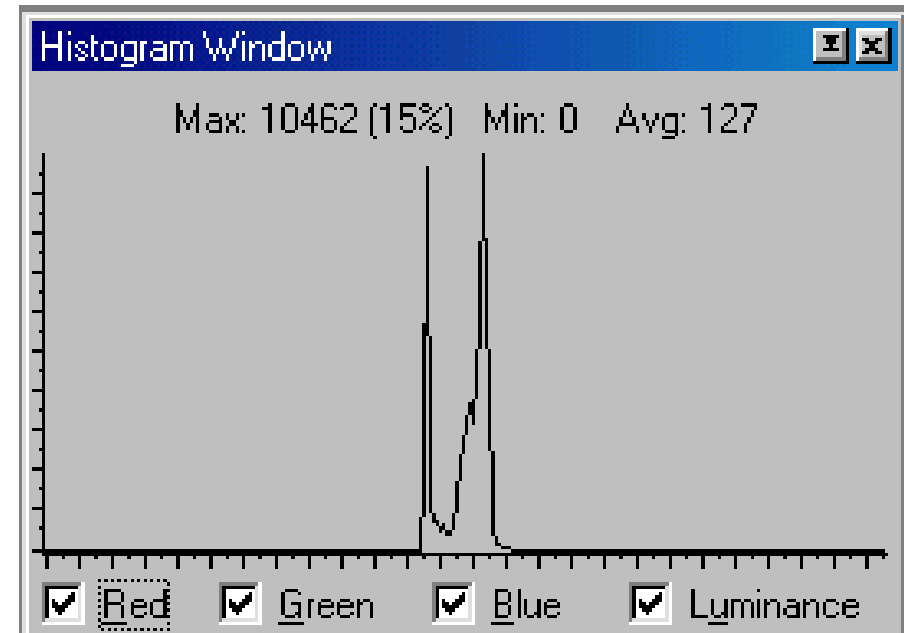


Imagem de Baixo Contraste

Histograma - Contraste

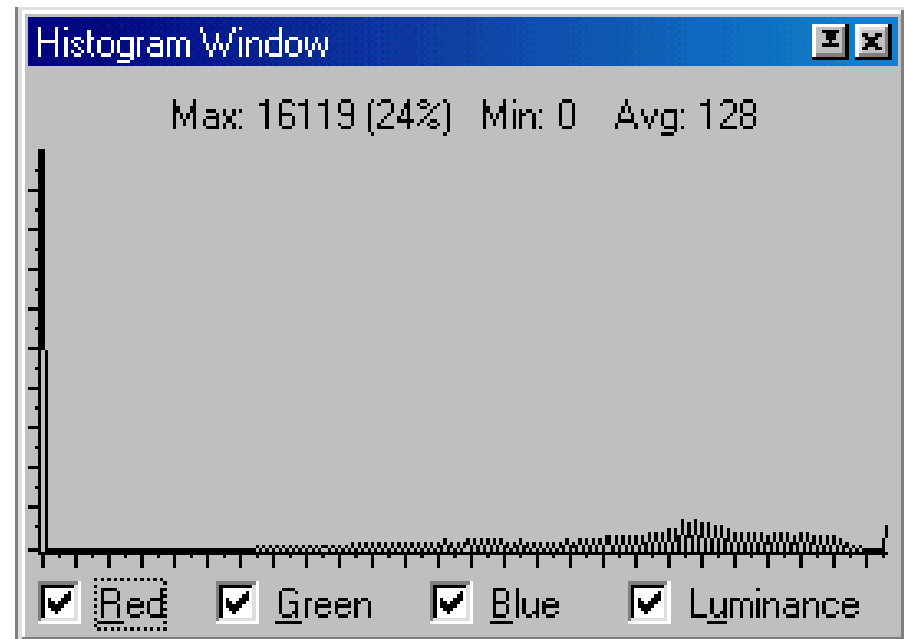
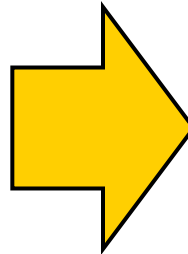


Imagem de Alto Contraste

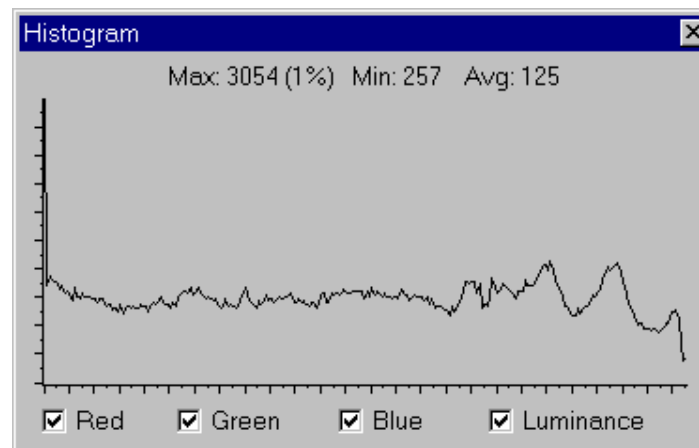
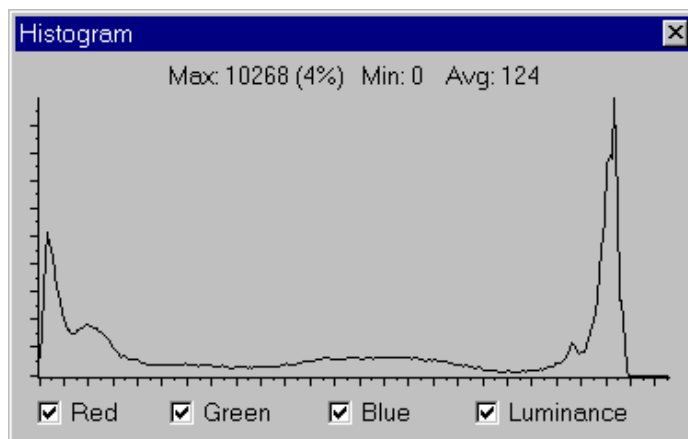
Histograma

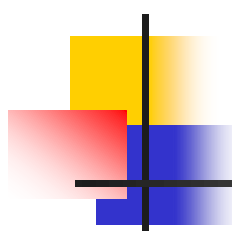
Equalização



Histograma

Equalização - Exemplo





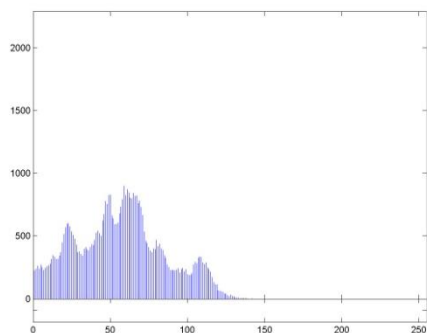
Técnicas de modificação de histograma

- São técnicas utilizadas para processar a imagem através da modificação do histograma
- Exemplos
 - Negativo ($I = 255 - I$)
 - Binarização (if $cor > th$, then $cor = 1$ else $cor = 0$)
 - Brilho ($I = I + lum$; $lum > 0$ ou $lum < 0$)
 - Expansão ($I = contr.*I$, $contr > 1$)
 - Compressão ($I = contr.*I$, $0 < contr < 1$)

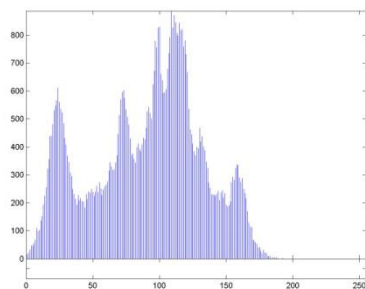
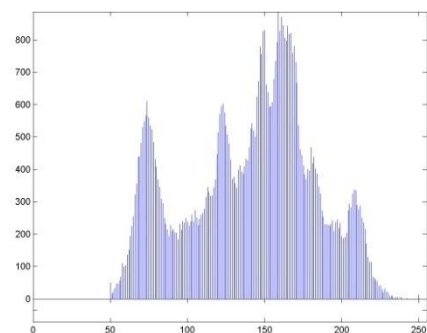
Técnicas de modificação de histograma

■ Mudança de brilho

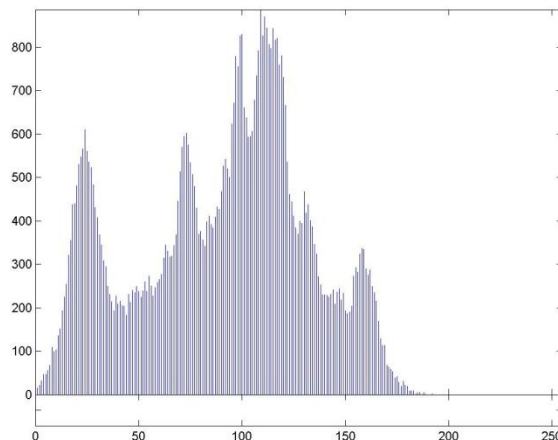
Lum = -50



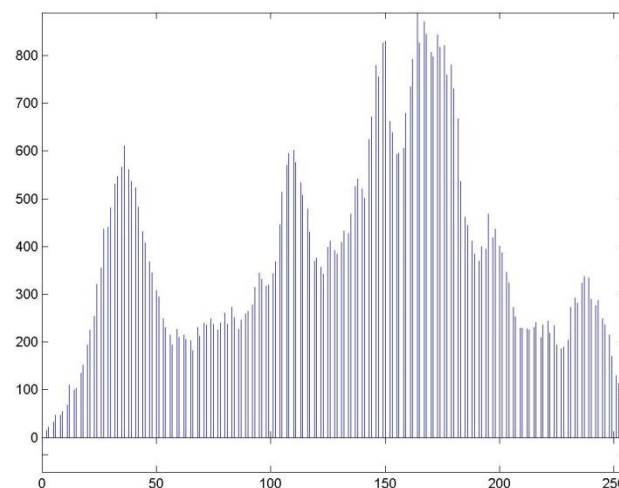
Lum = +50



Técnicas de modificação de histograma



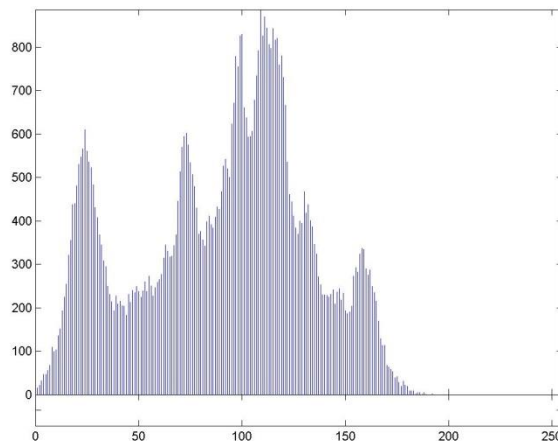
$\text{contr} = 1.5;$
 $\text{Im} = \text{Im} * \text{contr};$



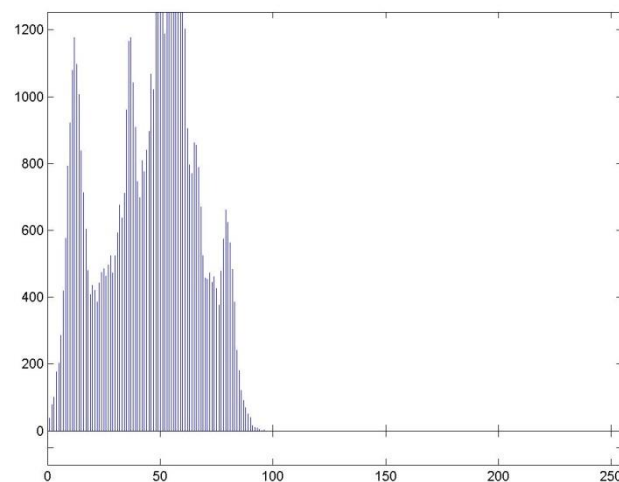
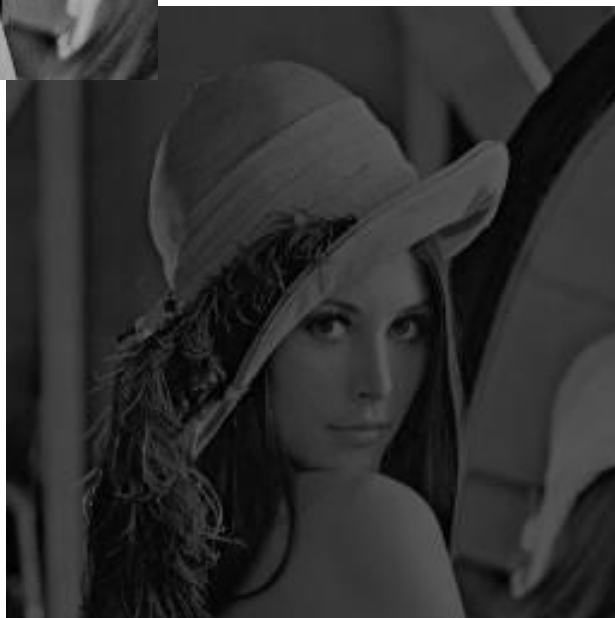
Aumenta o contraste

ello – cabm@cin.ufpe.br

Técnicas de modificação de histograma



$\text{contr} = 0.5;$
 $\text{Im} = \text{Im} * \text{contr};$



Diminui o contraste

ello – cabm@cin.ufpe.br

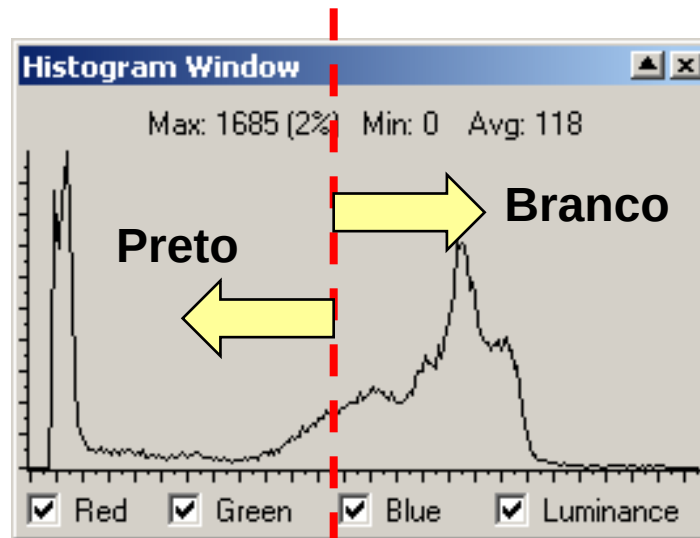
Processamento de Imagens

Recorte de Cor – Binarização (ou Limiarização)

Se $\text{cor}(i) \leq 127$

Então $\text{cor}(i) = \text{Preto (0)}$

Senão $\text{cor}(i) = \text{Branco (255)}$



Valor de Corte = 127
(threshold, limiar)

Processamento de Imagens

Recorte de Cor



4331 cores



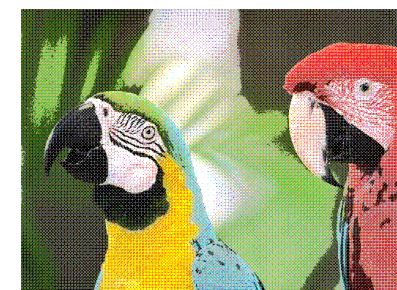
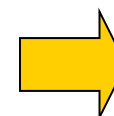
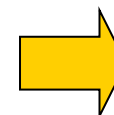
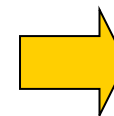
256 cores



16 cores



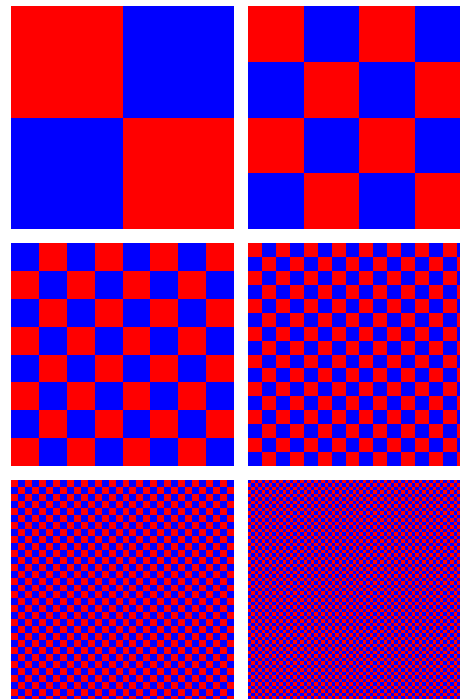
2 cores



Processamento de Imagens

Recorte de Cor – *Dithering*

- Dithering (ou pontilhamento)
 - utilizando duas cores cria-se a ilusão de que há uma terceira cor presente



Processamento de Imagens

Recorte de Cor – *Dithering*



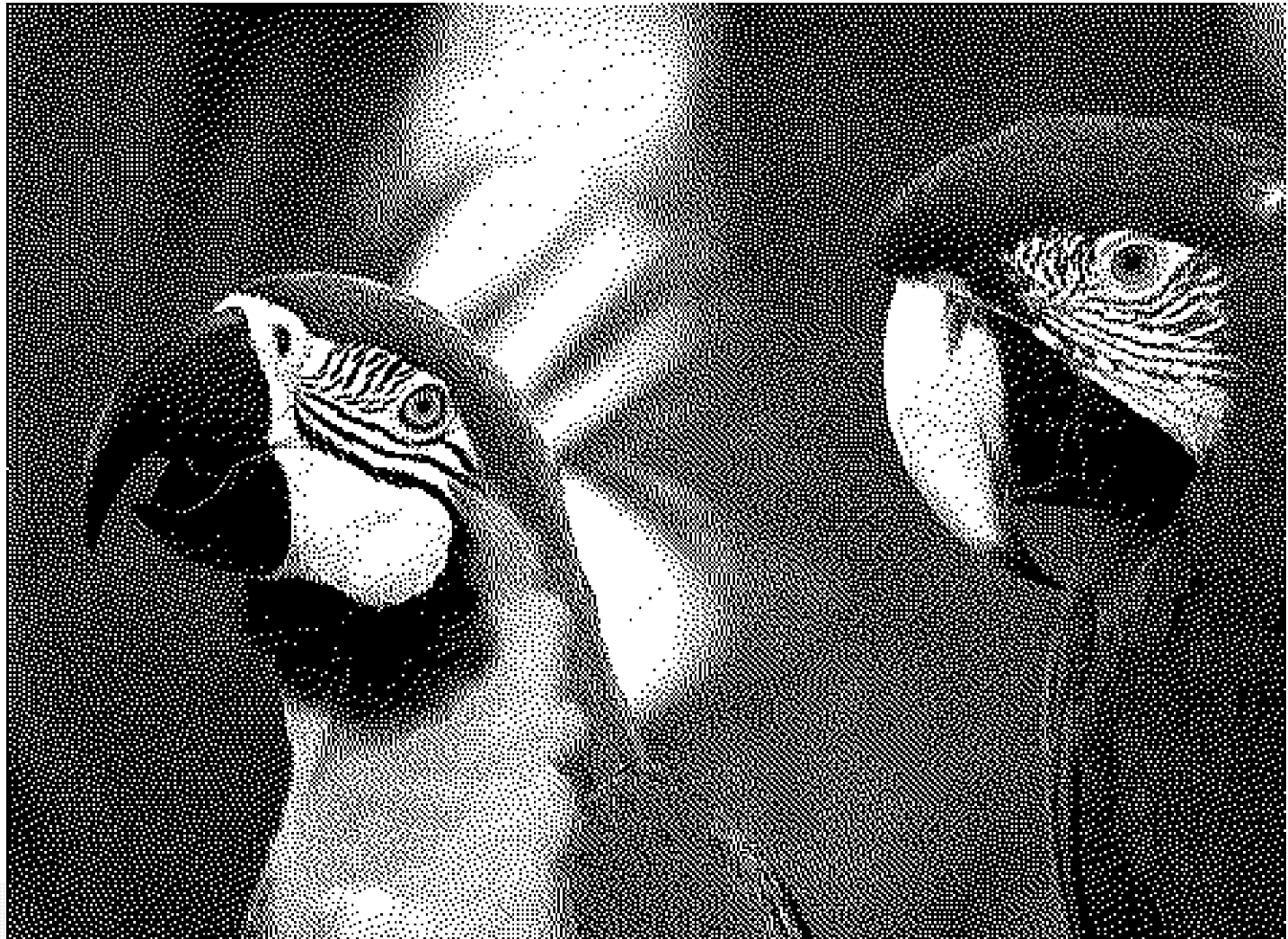
Processamento de Imagens

Recorte de Cor – *Dithering*



Processamento de Imagens

Recorte de Cor – *Dithering*

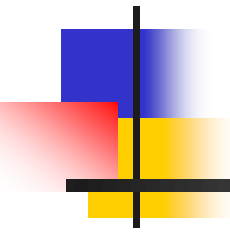


Processamento de Imagens

Recorte de Cor – *Dithering*

Detalhe na
imagem...



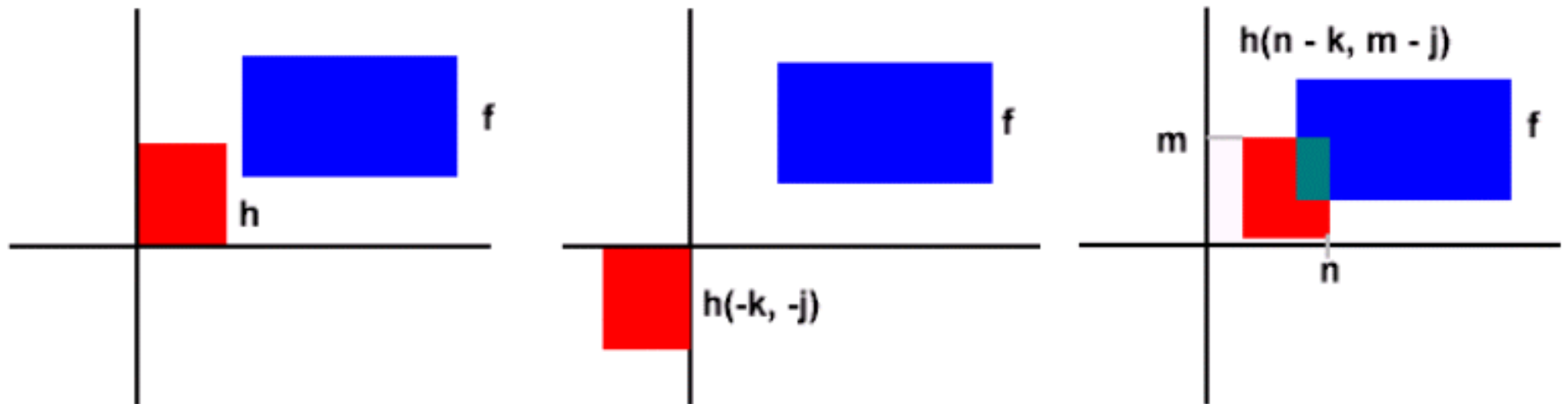


Filtragem Espacial

Carlos Alexandre Mello

Pós-Graduação em Ciência da Computação

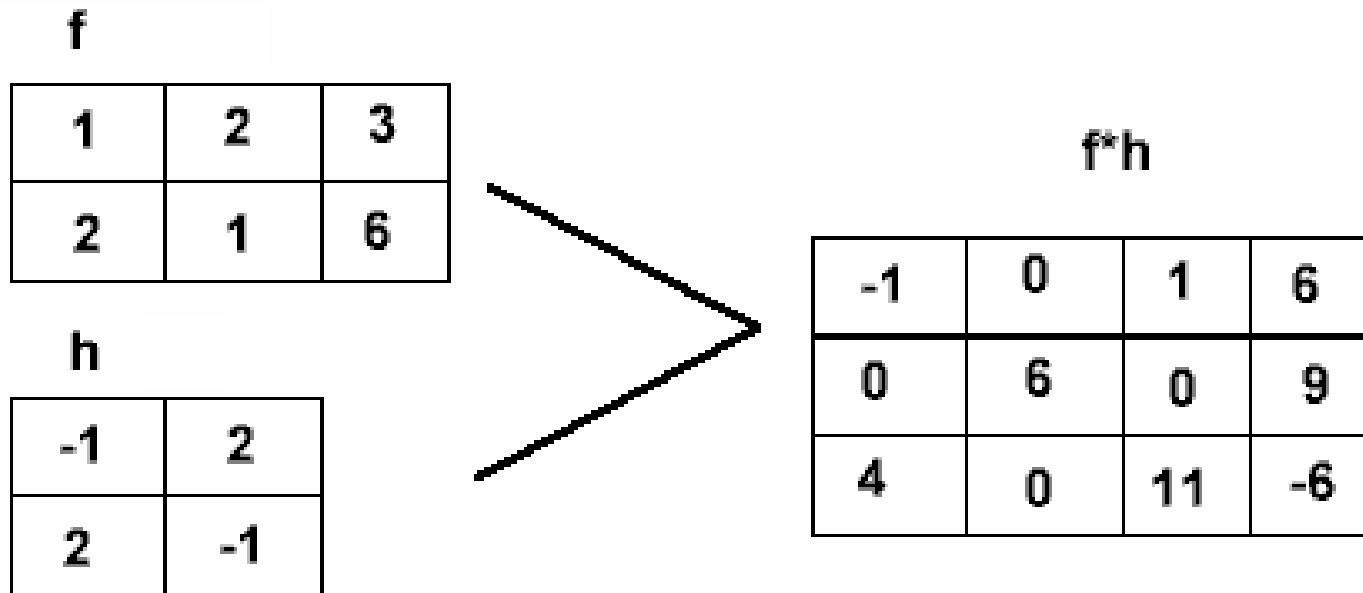
Filtragem Discreta



Convolução

Convolução Discreta - Sinais

- Consideremos a convolução de sinais
 - Processo:

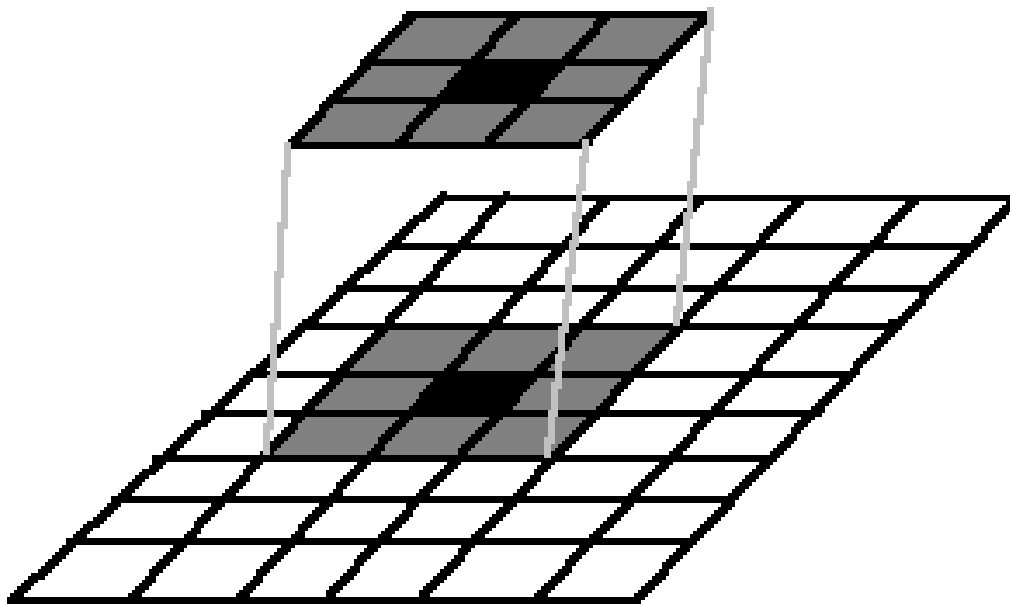


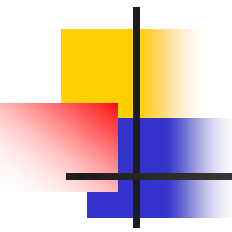
Convolução Discreta de Sinais

Convolução Discreta - Imagens

- O produto de convolução $f * h$ no pixel de coordenadas (m, n) é obtido colocando o centro da máscara acima do pixel (m, n) , multiplicando os elementos correspondentes na máscara e na imagem e somando os resultados

Filtragem Espacial:
Uso de máscaras



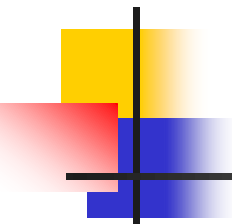


Convolução Discreta - Imagens

- Seja a máscara 3x3

W1	W2	W3
W4	W5	W6
W7	W8	W9

- e sejam $z_1, z_2, \dots, z_9$ a cor dos pixels sob a máscara
- O novo tom do pixel central será dado por
 - $R = w_1z_1 + w_2z_2 + \dots + w_9z_9$



Convolução Discreta - Imagens

- Aspectos Computacionais
 - Cor não realizável
 - Extensão do Domínio da Imagem:
 - Extensão Constante (Nula ou Não extensão da cor)
 - Extensão Periódica
 - Extensão por Reflexão
 - Eficiência Computacional

Convolução Discreta - Imagens

■ Filtros Passa-Baixa

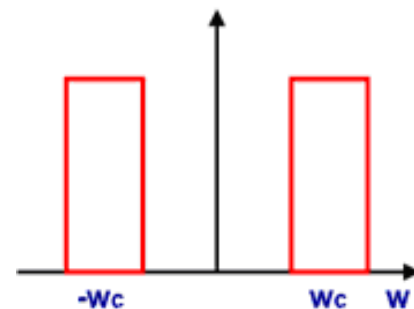
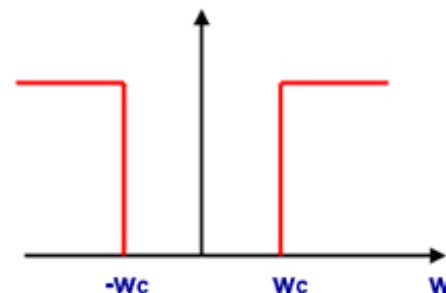
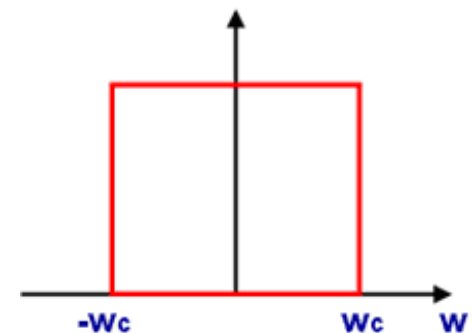
- Componentes de alta frequência caracterizam bordas ou outros detalhes finos de uma imagem;
- O efeito resultante de um LPF é o embaçamento da imagem.

■ Filtros Passa-Alta

- Redução de características que variam lentamente em uma imagem como o contraste e a intensidade média;
- Efeito de intensificação das bordas e de detalhes finos na imagem.

■ Filtros Passa-Faixa

- Permitem passar faixas específicas de uma imagem;
- Removem regiões selecionadas.



Processamento de Imagens

Filtragem Digital – Filtros Lineares - Exemplos

■ Filtros Passa-Baixa

Filtro Box:

$$-\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$


■ Filtros Passa-Alta

Filtro Laplaciano:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

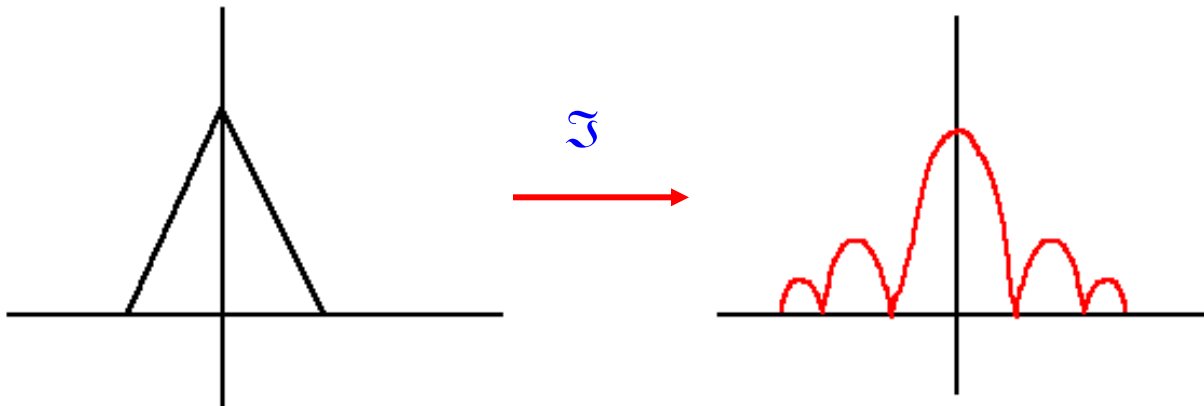

■ Filtros Passa-Faixa

Filtro de Sobel:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$


Imagem original

■ Filtros de Bartlett ou Filtro Triangular



$$h(x) = 1 - |x|, \text{ se } |x| \leq 1$$
$$0, \text{ se } |x| \geq 1$$

- Filtros de Bartlett ou Filtro Triangular
 - Resultado da convolução de dois filtros Box

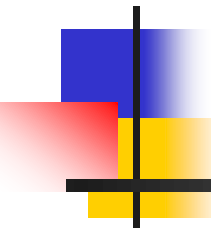
$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} * \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{81} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 6 & 4 & 2 \\ 3 & 6 & 9 & 6 & 3 \\ 2 & 4 & 6 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Processamento de Imagens

Exemplo

- Filtros de Bartlett ou Filtro Triangular





Filtragem na Frequência

Carlos Alexandre Mello

Pós-Graduação em Ciência da Computação

Filtragem no Domínio da Frequência

■ Transformada de Fourier

- Seja $f(x)$ uma função contínua, a transf. de Fourier de $f(x)$ é dada por

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt$$

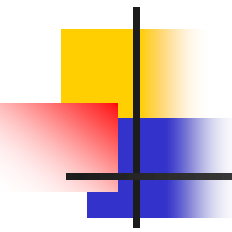
Também chamada de
Função de Densidade
Espectral

Transformada Inversa

$$f(t) = (1/2\pi) \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega)e^{j\omega t} d\omega$$

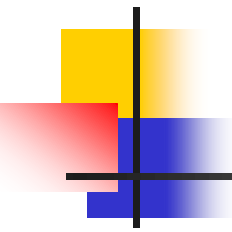


Jean-Baptiste-Joseph Fourier
(1768-1830)



Discrete Fourier Transform

- Equação de Análise:
$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] W_N^{kn}$$
 - Equação de Síntese:
$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] W_N^{-kn}$$
- $$W_N = e^{-j(2\pi/N)}$$
- Implementadas na forma de FFT



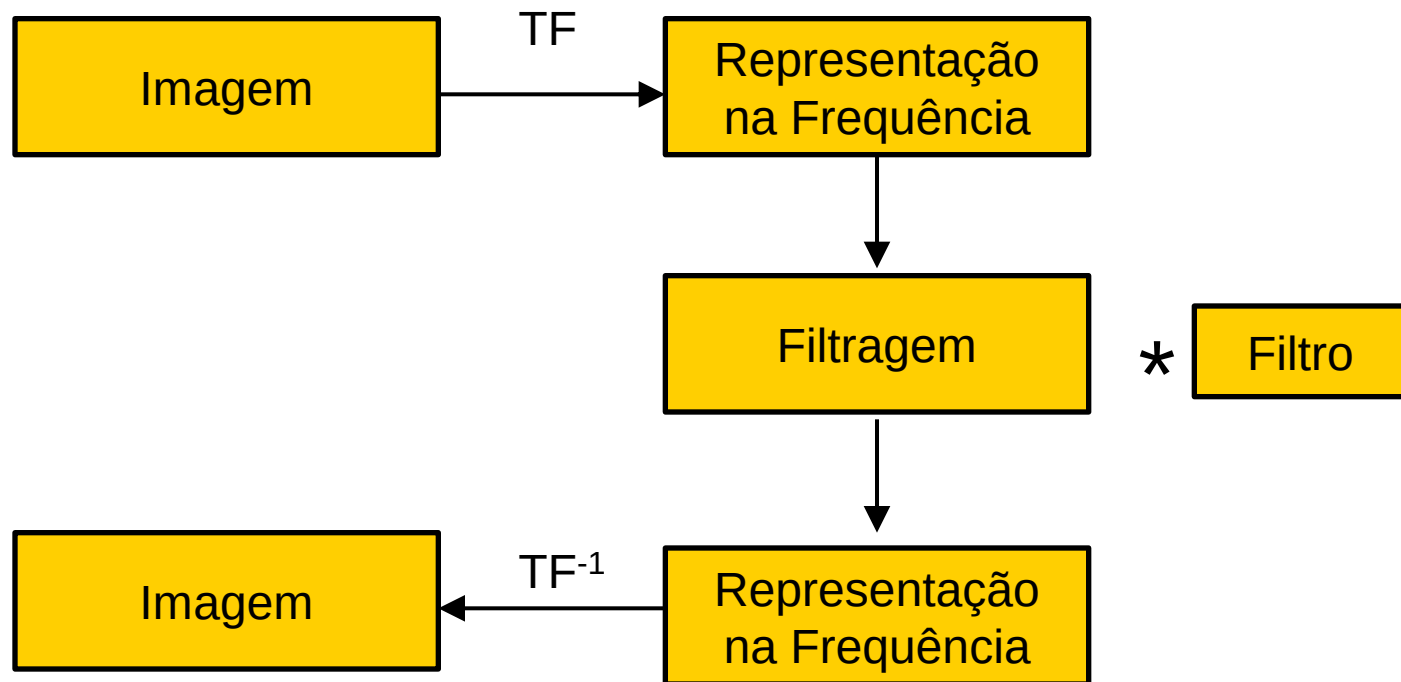
Discrete Fourier Transform

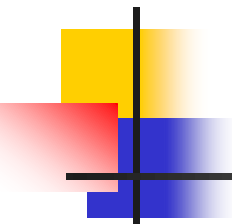
DFT Bi-Dimensional

$$F(p, q) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) e^{-j(2\pi/M)pm} e^{-j(2\pi/N)qn}$$

$$f(m, n) = \frac{1}{MN} \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} F(p, q) e^{j(2\pi/M)pm} e^{j(2\pi/N)qn}$$

Filtragem no Domínio da Frequência





Filtragem no Domínio da Frequência

- Espectro de Fourier (Magnitude):

$$|F(u)| = [R^2(u) + I^2(u)]^{1/2}$$

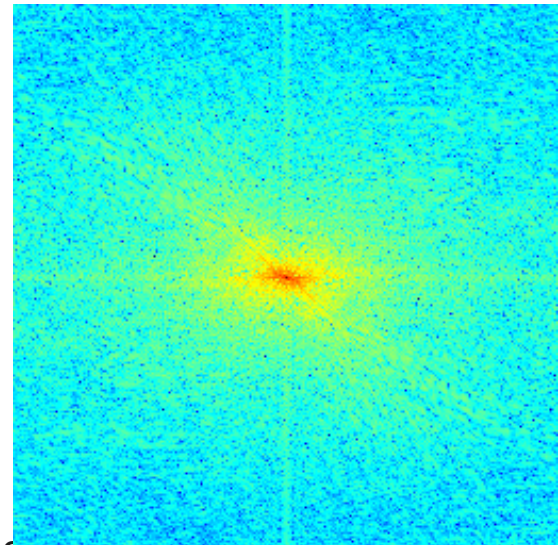
- Fase: $\phi(u) = \tan^{-1} \left[\frac{I(u)}{R(u)} \right]$

- Espectro de Potência:

$$P(u) = |F(u)|^2 = R^2(u) + I^2(u)$$

Filtragem no Domínio da Frequência

```
function img_fourier (nome, ext)
nome_in = [nome '.' ext];
im = imread(nome_in);
figure, imshow (im);
F = fft2(im);
figure;
F2 = fftshift(F);
imshow(log(abs(F2)), []); % Magnitude
colormap (jet);
figure, imshow(angle(F2), []); % Fase
colormap (jet);
```



Filtragem no Domínio da Frequência

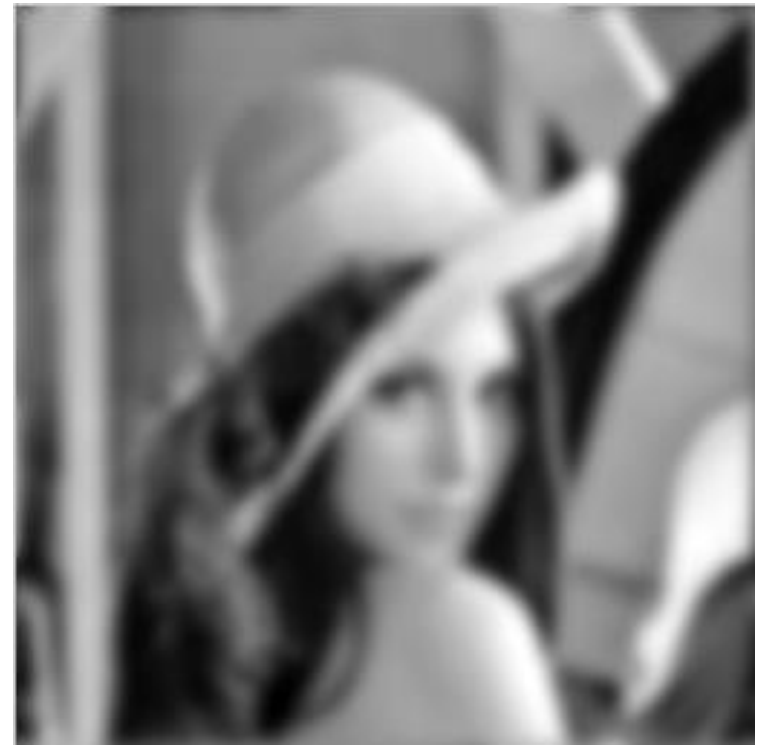
■ Reconstrução

```
F = fft2(im);  
F2 = fftshift(F);  
Mag_F = abs(F);  
Phase_F = angle(F);  
fftI = Mag_F.*exp(i*Phase_F);  
I = ifft2(fftI);  
figure; imshow(I, []);
```



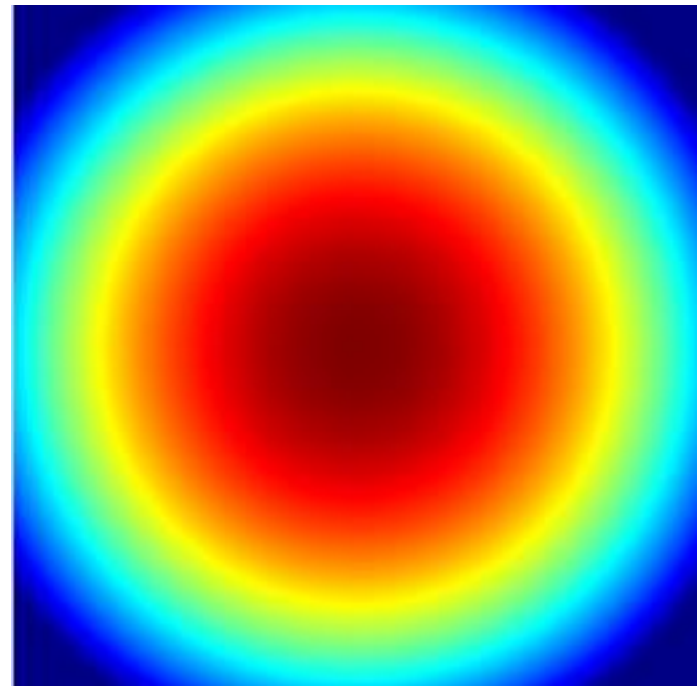
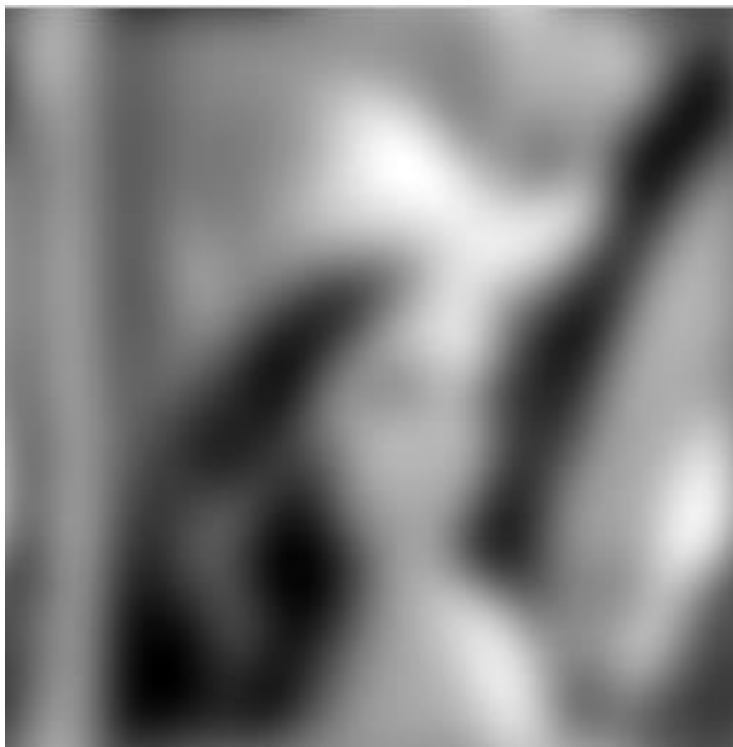
Filtragem no Domínio da Frequência

Filtro Passa-Baixa Gaussiano



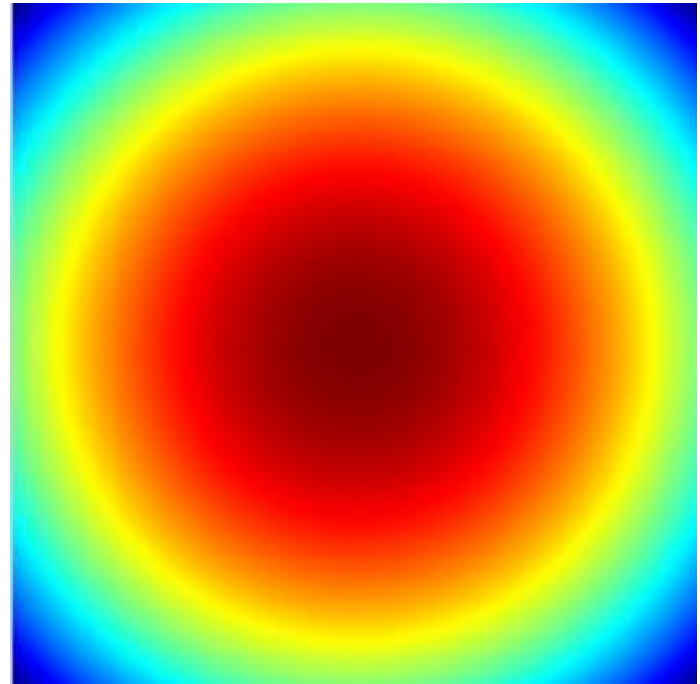
Filtragem no Domínio da Frequência

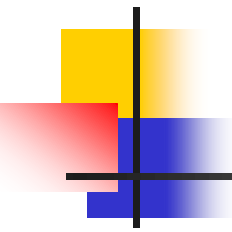
Filtro Passa-Baixa Gaussiano: $\sigma = 0,1$



Filtragem no Domínio da Frequência

Filtro Passa-Baixa Gaussiano: $\sigma = 0,7$





Filtragem no Domínio da Frequência

- Filtro Passa-Baixa Gaussiano

$$H(u, v) = e^{-D^2(u, v)/2\sigma^2}$$

$D(u, v)$ é a distância do ponto (u, v) até a origem do plano de frequência:

$$D(u, v) = (u^2 + v^2)^{1/2}$$

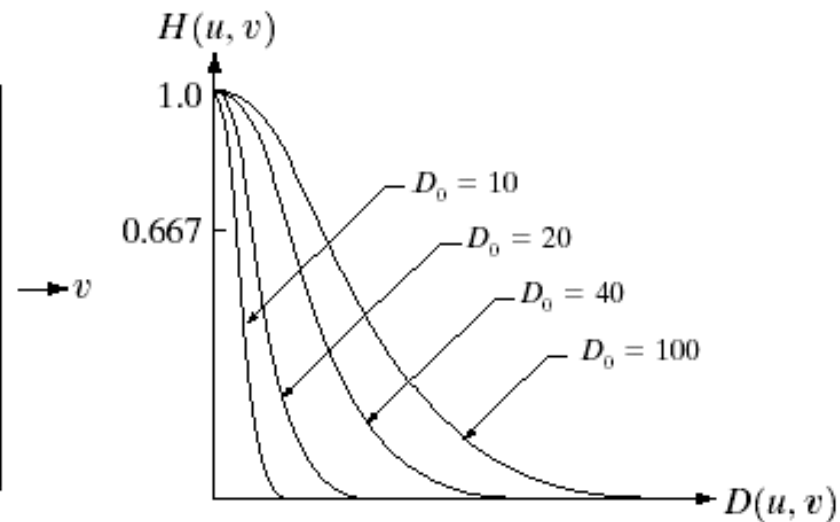
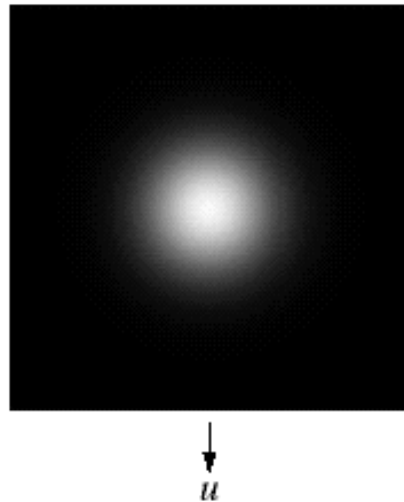
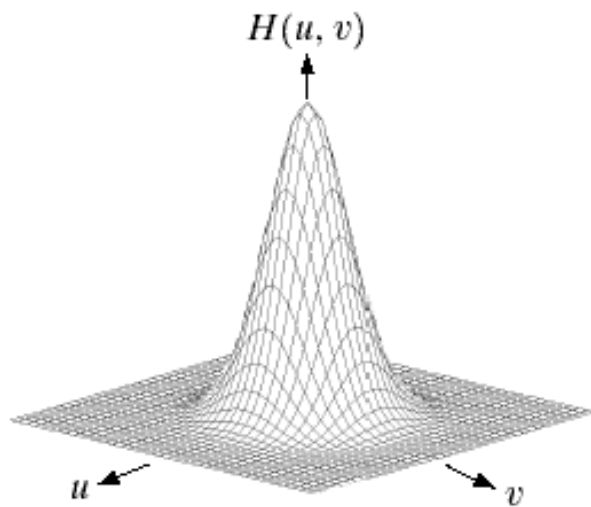
σ é o desvio padrão

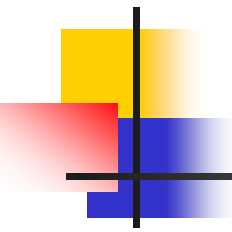
- Filtro Passa-Alta Gaussiano

$$H(u, v) = 1 - e^{-D^2(u, v)/2\sigma^2}$$

Filtragem no Domínio da Frequência

■ Filtro Passa-Baixa Gaussiano





Filtragem no Domínio da Frequência

- Filtro Passa-Baixa de Butterworth de ordem n

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D(u, v)/D_0]^{2n}}$$

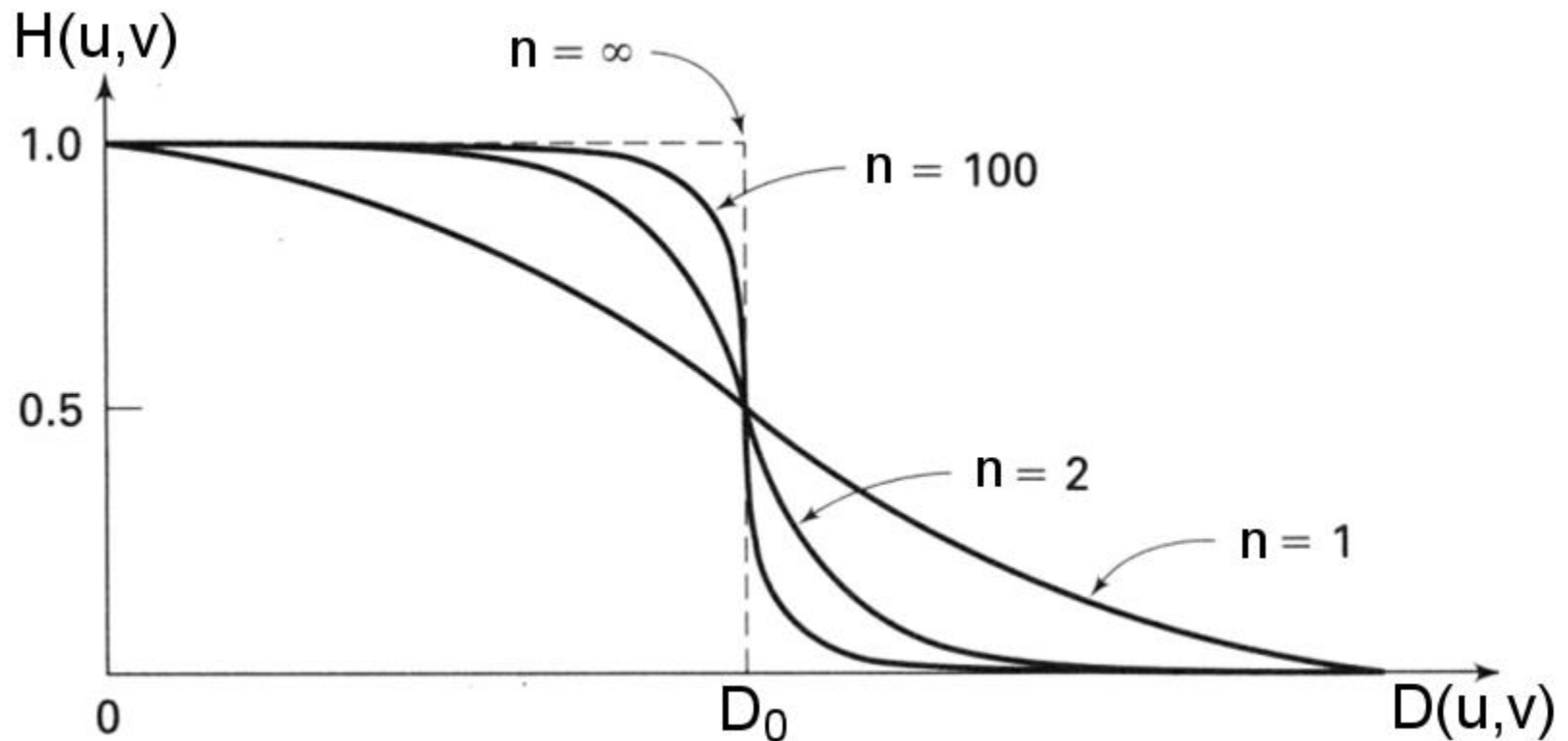
$D(u, v)$ é a distância do ponto (u, v) até a origem do plano de frequência:

$$D(u, v) = (u^2 + v^2)^{1/2}$$

D_0 é a distância da origem até a frequência de corte

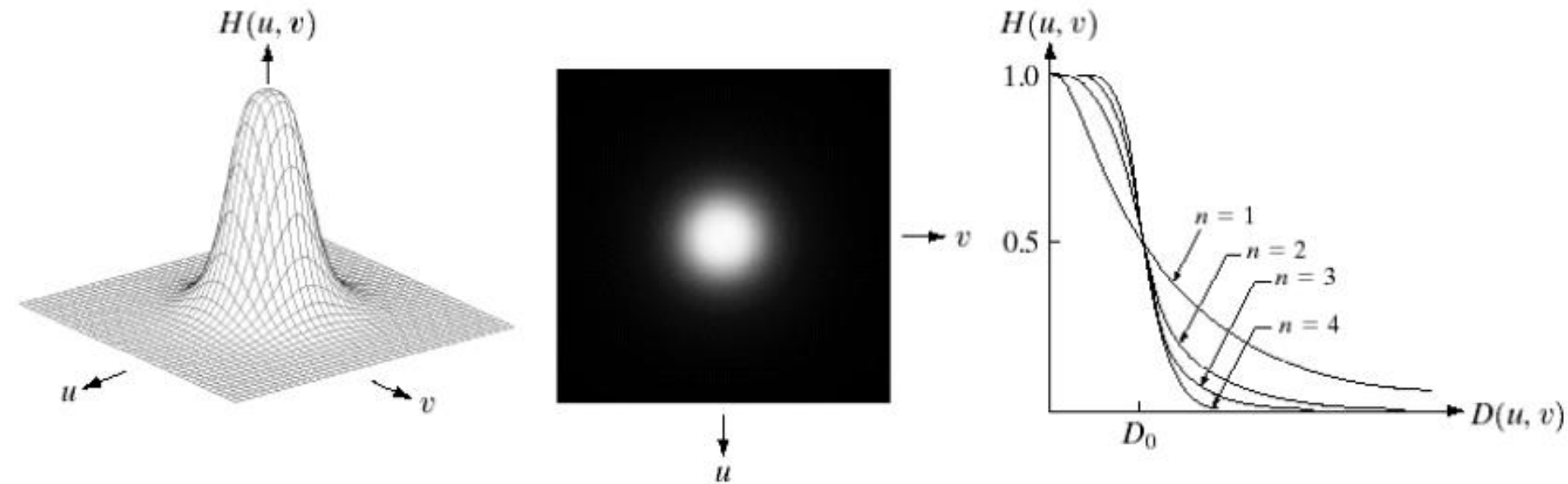
Filtragem no Domínio da Frequência

- Filtro Passa-Baixa de Butterworth de ordem n



Filtragem no Domínio da Frequência

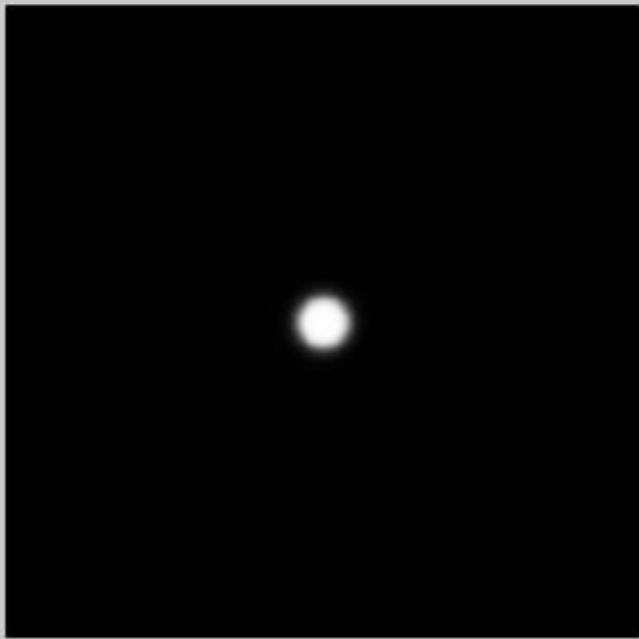
- Filtro Passa-Baixa de Butterworth de ordem n



Filtragem no Domínio da Frequência

- Filtro Passa-Baixa de Butterworth de ordem n

Filter Image



Filtered Image



Frequência de corte = 20, filtro de ordem 4

Filtragem no Domínio da Frequência

- Filtro Passa-Baixa de Butterworth de ordem n

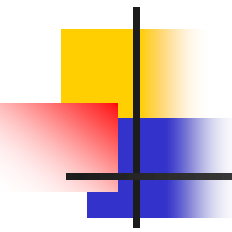
Filter Image



Filtered Image



Frequência de corte = 120, filtro de ordem 4



Filtragem no Domínio da Frequência

- Filtro Passa-Alta de Butterworth de ordem n

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D_0/D(u, v)]^{2n}}$$

$D(u, v)$ é a distância do ponto (u, v) até a origem do plano de frequência:

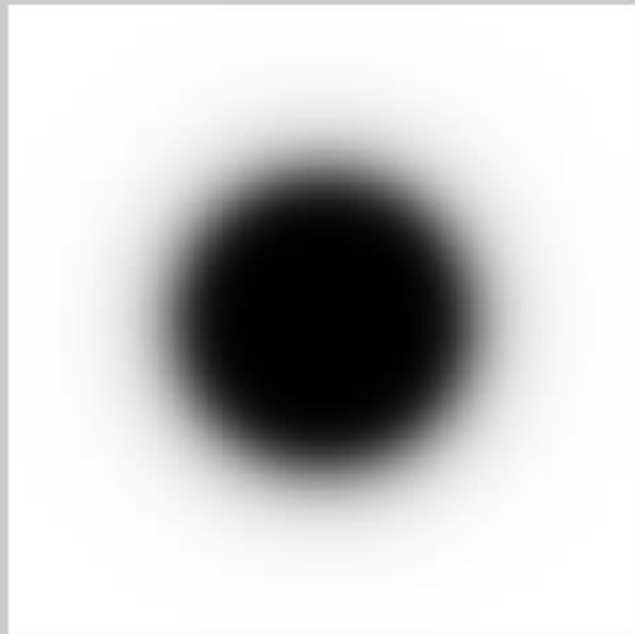
$$D(u, v) = (u^2 + v^2)^{1/2}$$

D_0 é a distância da origem até a frequência de corte

Filtragem no Domínio da Frequência

- Filtro Passa-Alta de Butterworth de ordem n

Filter Image



Filtered Image

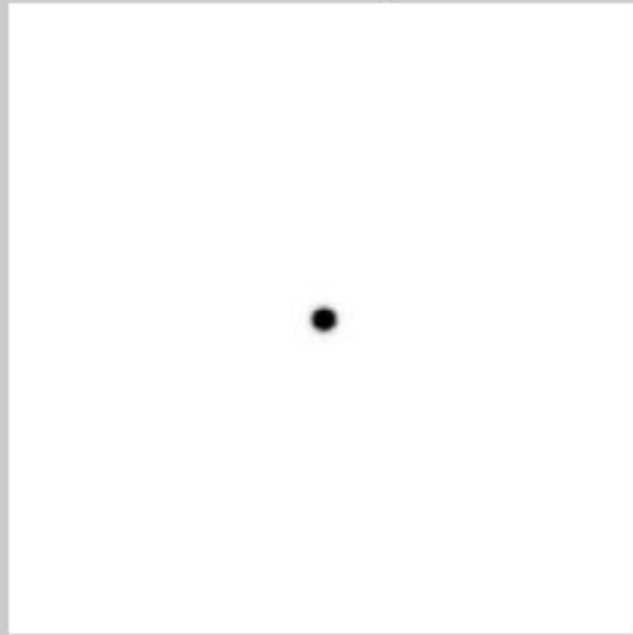


Frequência de corte = 130, filtro de ordem 4

Filtragem no Domínio da Frequência

- Filtro Passa-Alta de Butterworth de ordem n

Filter Image



Filtered Image

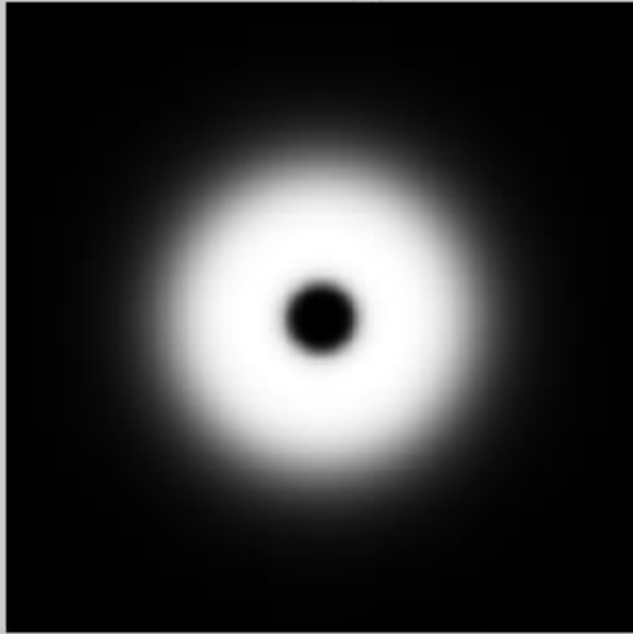


Frequência de corte = 10, filtro de ordem 4

Filtragem no Domínio da Frequência

- Filtro Passa-Faixa de Butterworth de ordem n

Filter Image



Filtered Image



Frequência de passagem = 30 e 120, filtro de ordem 4

Filtragem no Domínio da Frequência

■ Filtro Passa-Faixa de Butterworth de ordem n

```
function filtered_image = butterworthbpf(I,d0,d1,n)
```

```
% I = The input grey scale image
```

```
% d0 = Lower cut off frequency
```

```
% d1 = Higher cut off frequency
```

```
% n = order of the filter
```

```
.....
```

```
    dist = ((i-(nx+1))^2 + (j-(ny+1))^2)^.5;
```

```
% Create Butterworth filter
```

```
    filter1(i,j)= 1/(1 + (dist/d1)^(2*n));
```

```
    filter2(i,j) = 1/(1 + (dist/d0)^(2*n));
```

```
    filter3(i,j) = 1.0 - filter2(i,j);
```

```
    filter3(i,j) = filter1(i,j).*filter3(i,j);
```

```
    filter4(i,j) = 1/(1 + (d0/dist)^(2*n));
```

← D(u,v)

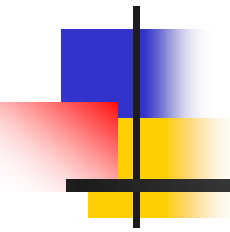
← FPBs

← FPF

← FPA

```
.....
```

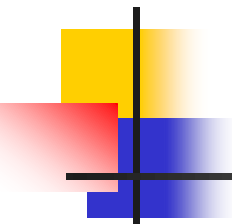
Fonte: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/30946-butterworth-bandpass-filter-for-image-processing>



Morfologia Matemática

Carlos Alexandre Mello

Pós-Graduação em Ciência da Computação



Morfologia Matemática

■ Dilatação

- Se *qualquer* pixel na vizinhança do pixel de entrada estiver ativo, o pixel de saída fica ativo; caso contrário, o pixel fica inativo

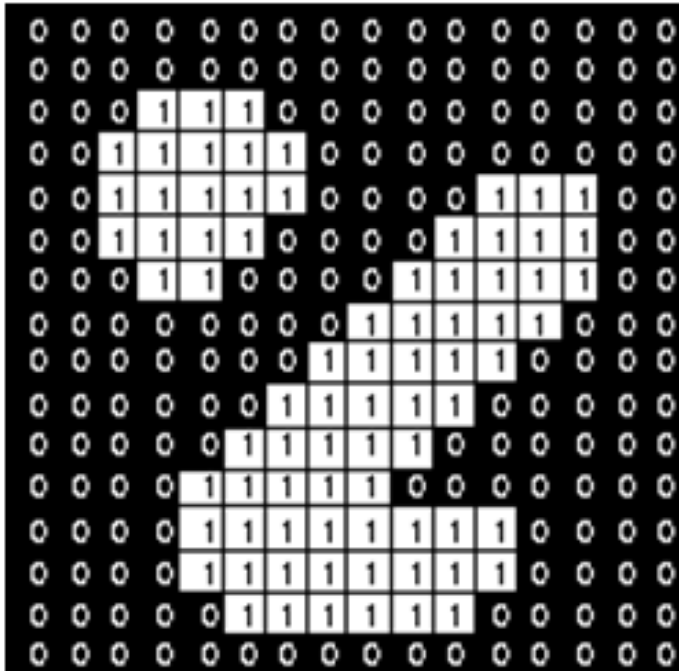
■ Erosão

- Se *todos* os pixels na vizinhança do pixel de entrada estiver ativo, o pixel de saída fica ativo; caso contrário, o pixel fica inativo

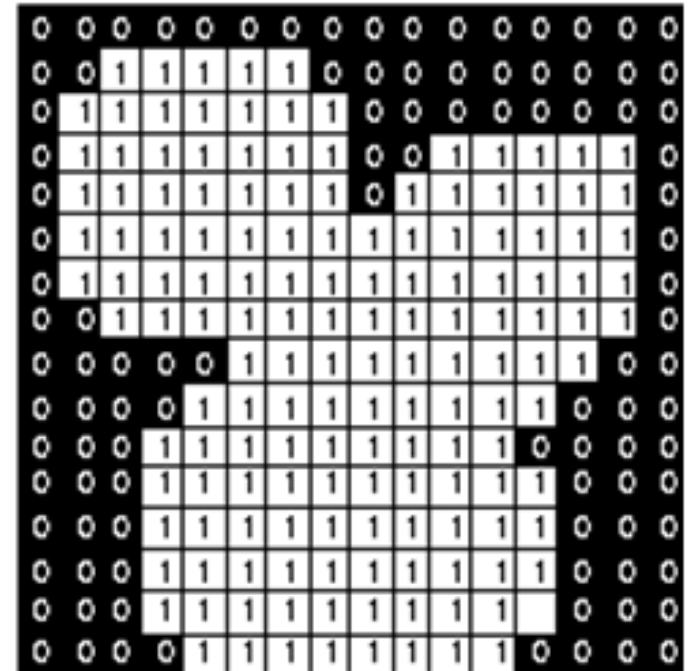
- A vizinhança pode ter qualquer forma ou tamanho

Morfologia Matemática

■ Dilatação

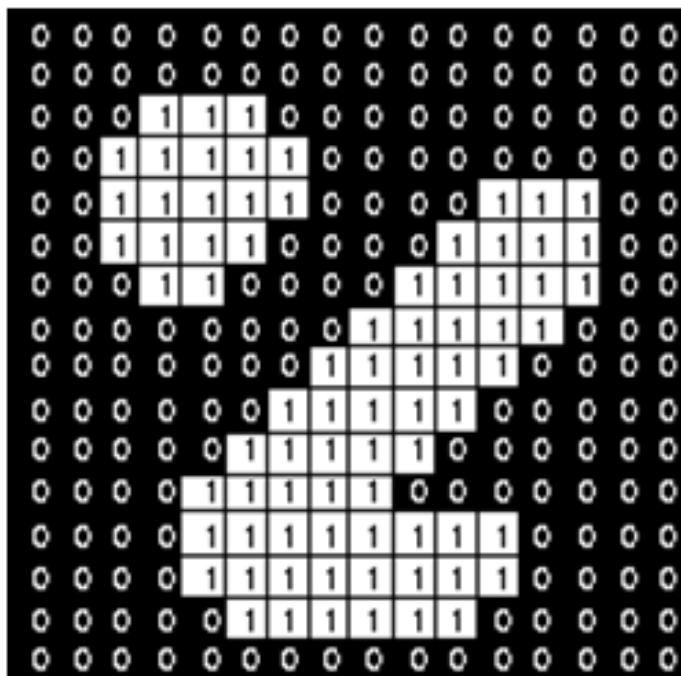


1	1	1
1	1	1
1	1	1

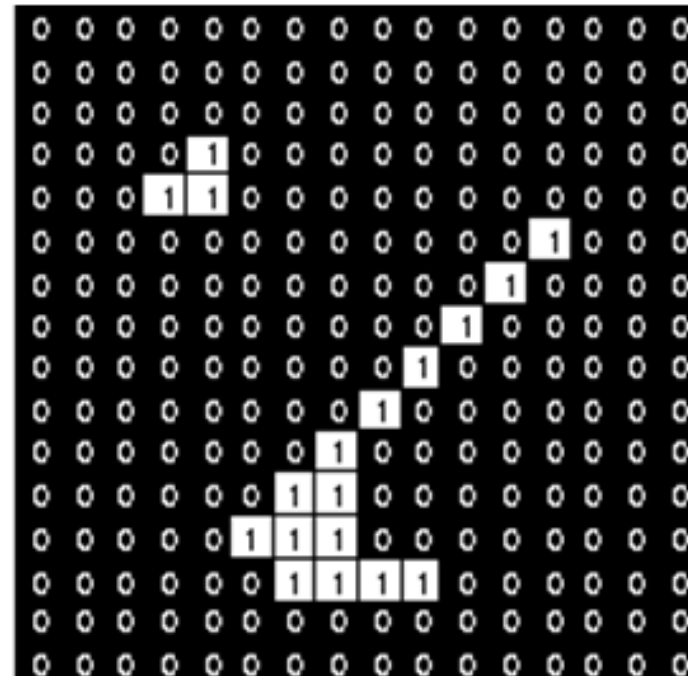


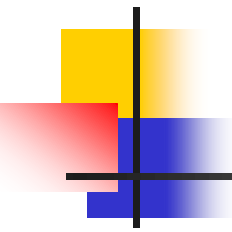
Morfologia Matemática

■ Erosão



1	1	1
1	1	1
1	1	1





Morfologia Matemática

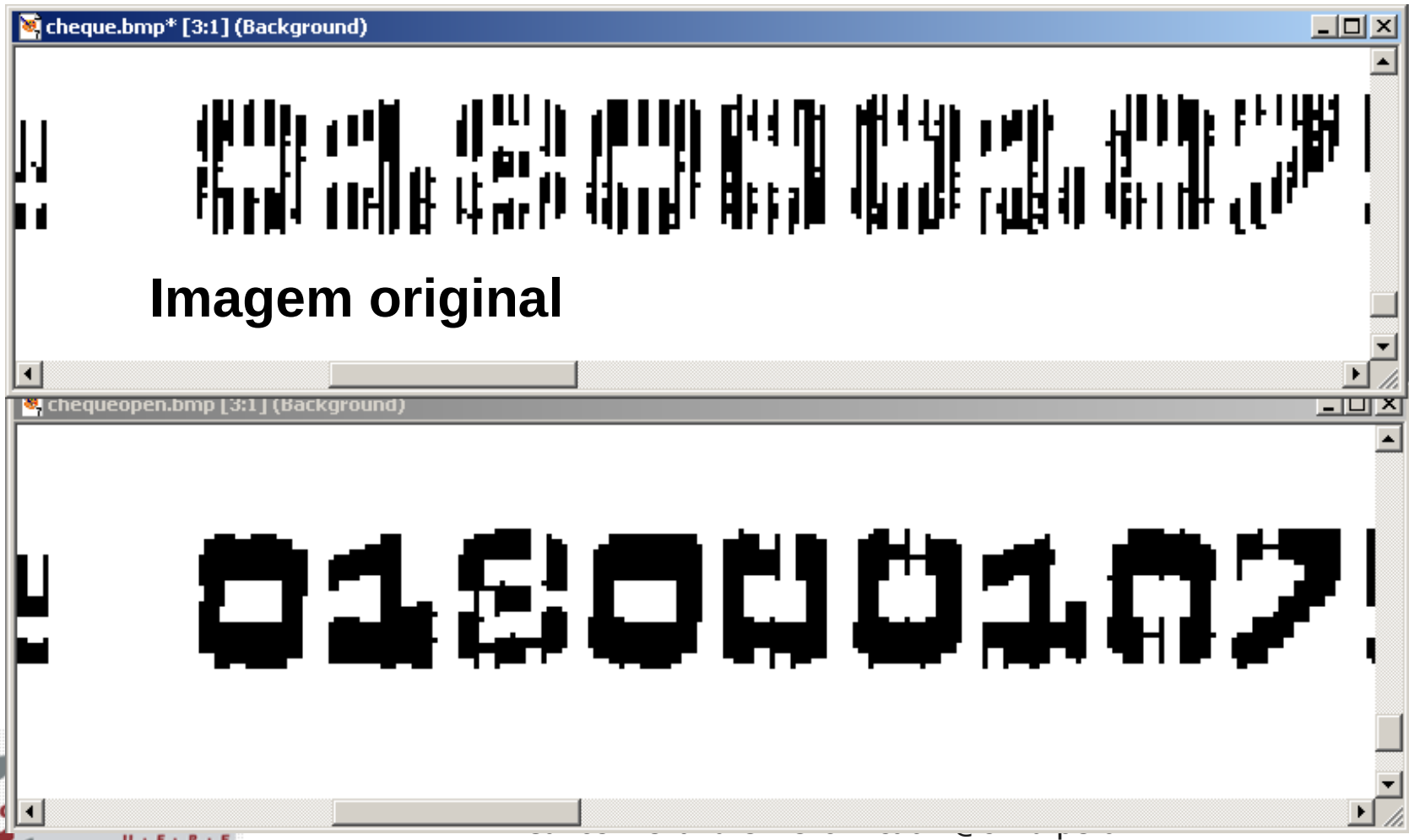
■ Abertura e Fechamento

- $\text{Abertura} = \text{dilatação}_{\text{SE}}(\text{erosão}_{\text{SE}}(\text{IM}))$
- $\text{Fechamento} = \text{erosão}_{\text{SE}}(\text{dilatação}_{\text{SE}}(\text{IM}))$

Onde SE = Elemento Estruturante (Structuring Element)

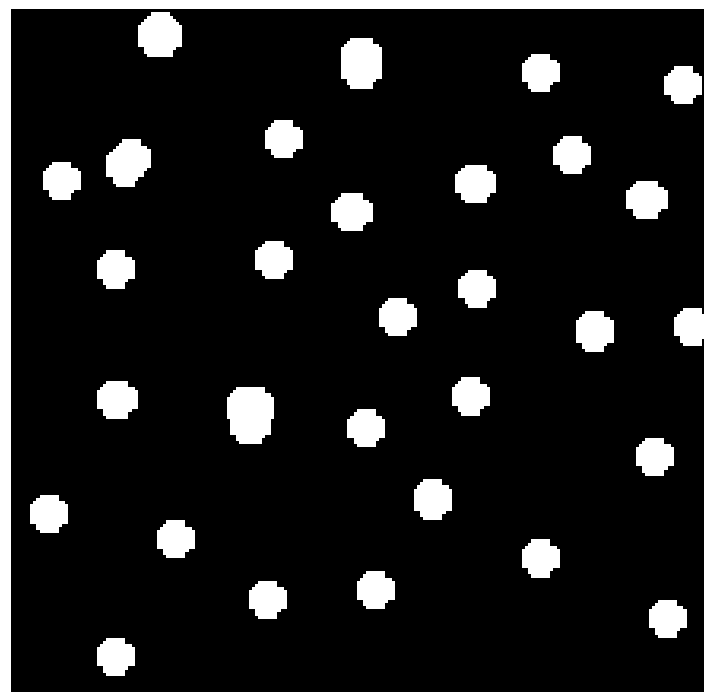
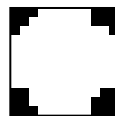
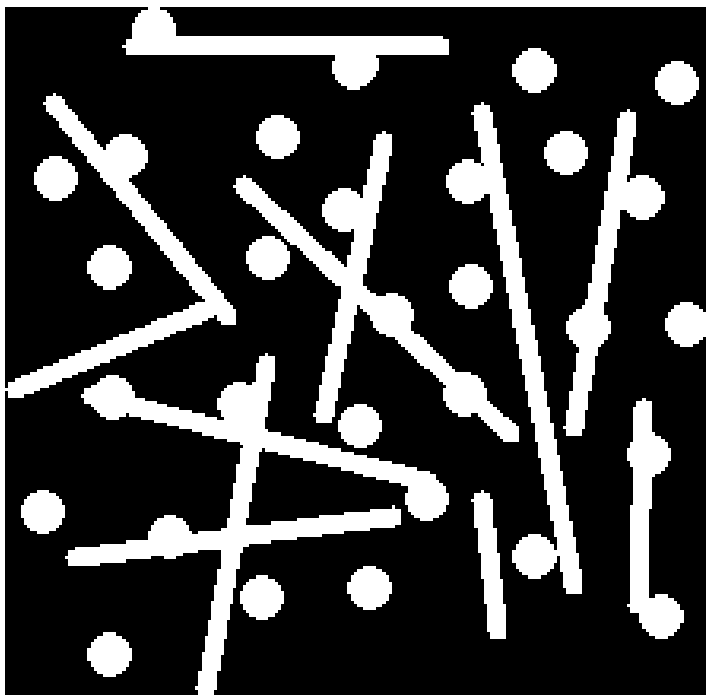
Morfologia Matemática

- Exemplo de Abertura



Morfologia Matemática

■ Exemplo de Abertura:

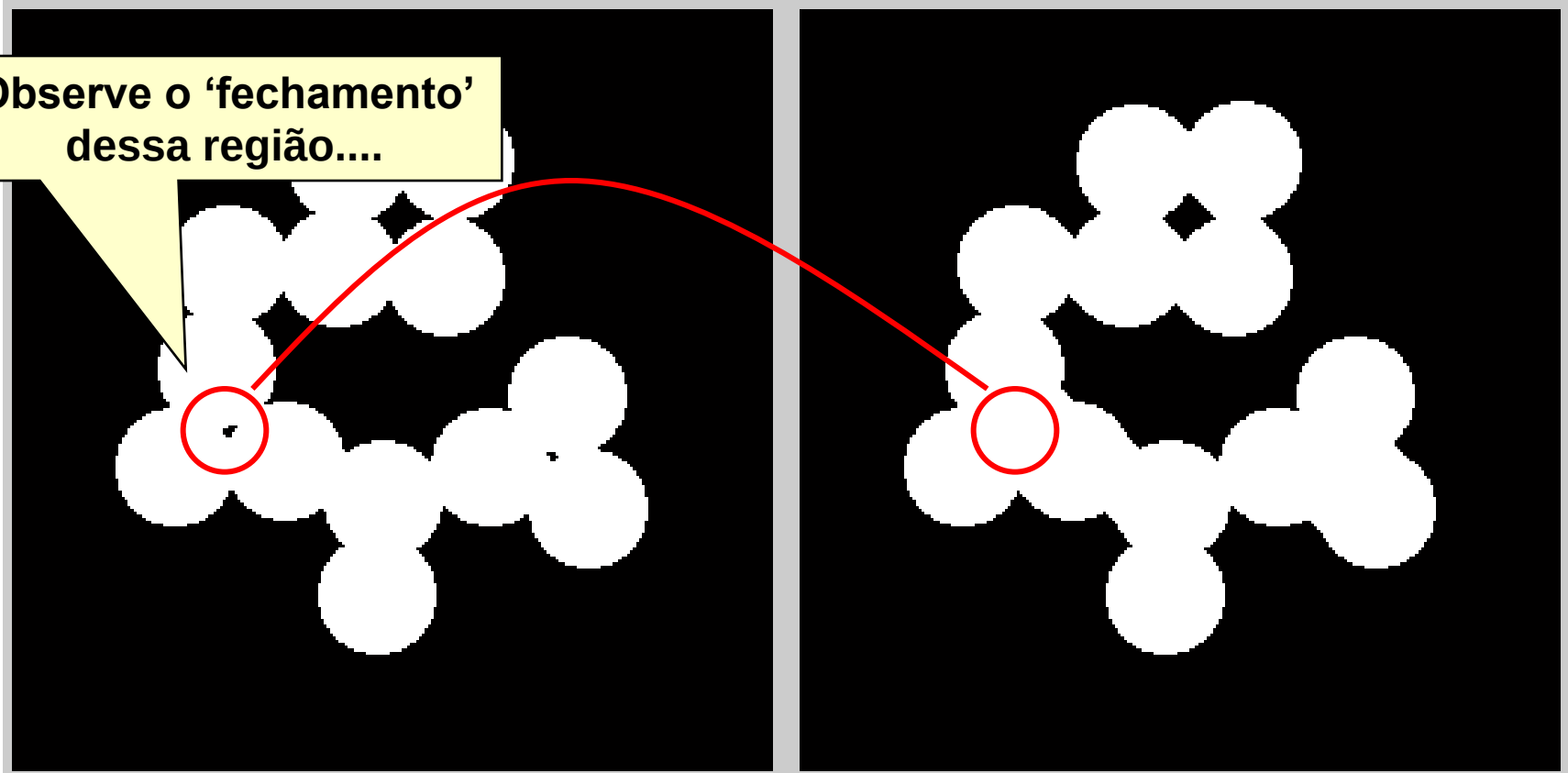


Elemento estruturante: uma matriz 11x11
na forma de um círculo

Morfologia Matemática

■ Exemplo de Fechamento:

Observe o 'fechamento' dessa região....



Elemento Estrutural: Matriz identidade 5x5 (diagonal)

Carlos Alexandre Mello – cabm@cin.ufpe.br

Morfologia Matemática

■ Exemplo de Fechamento: Granulometria

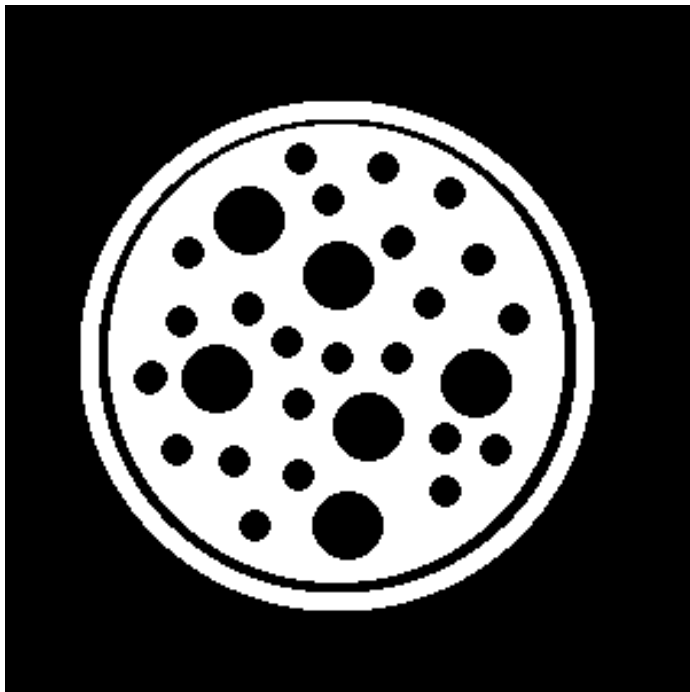
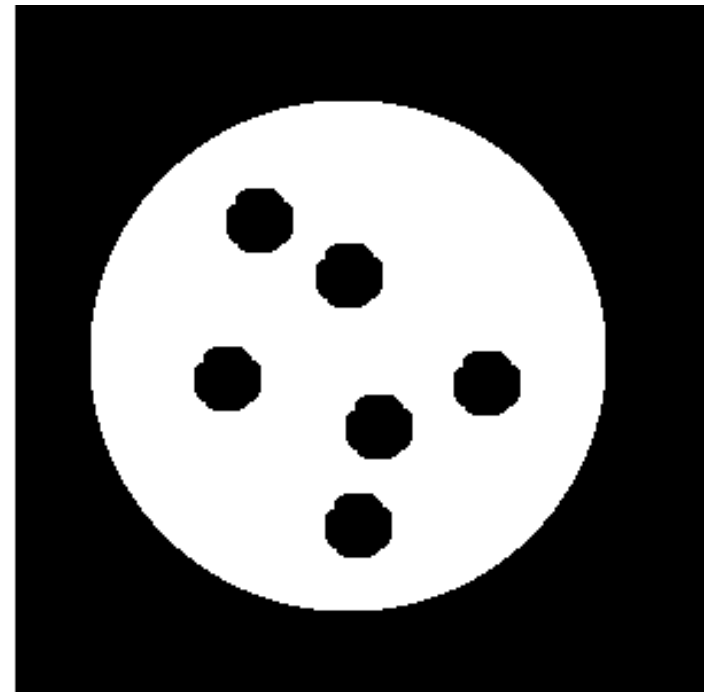
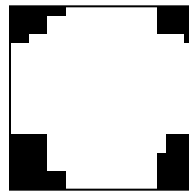
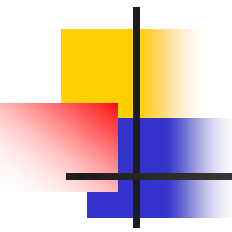


Imagem original



Elemento estruturante: uma matriz 30x30
na forma de um círculo



Morfologia Matemática

- Abertura:

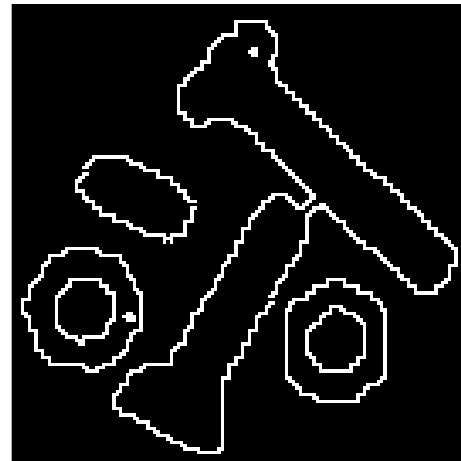
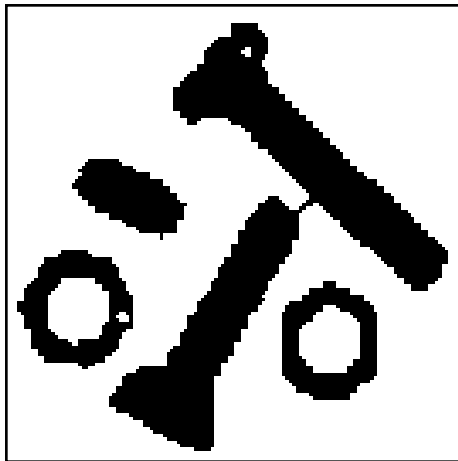
- Suavização de contornos
- Remoção de ramificações
- Aumenta as áreas de preto (expande)

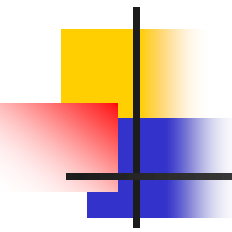
- Fechamento:

- Preenchimento de falhas em contornos
- Diminui as áreas de preto (contraí)

Morfologia Matemática

- Gradiente Morfológico (Extração de Fronteiras)
 - $\beta(A) = A - (A \ominus B)$
 - Ou seja, a diferença de conjuntos entre A e sua erosão pelo elemento B

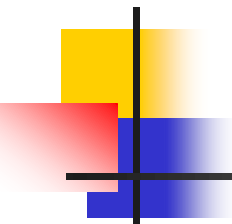




Morfologia Matemática

- Outras operações

- *Watershed*
- Esqueletização
- Afinamento
- *Hit-and-Miss*
- Operações aplicadas a imagens em tons de cinza



Processamento Digital de Imagens

■ Referências Complementares:

- R.Gonzalez, R.Woods, *Digital Image Processing*, Prentice-Hall, 2007
- J.Gomes, L.Velho, *Computação Gráfica: Imagem*, Sociedade Brasileira de Matemática, 1995
- H.Pedrini, *Análise de Imagens Digitais*, Ed.Thomson, 2007
- J.C.Russ, *The Image Processing Handbook*, CRC Press, 2007