

COMPUTAÇÃO GRÁFICA E REALIDADE VIRTUAL

Processamento Espacial Filtros

Prof. Dr. Fernando Kakugawa

fernando.kakugawa@animaeducacao.com.br

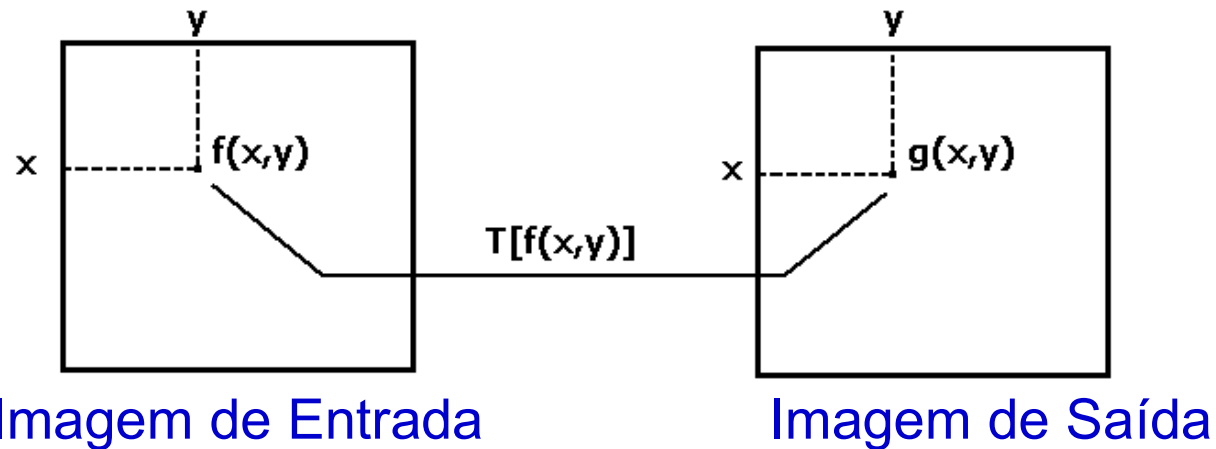
TRANSFORMAÇÕES PONTO A PONTO

Histograma

Transformações lineares

Operadores Ponto a Ponto

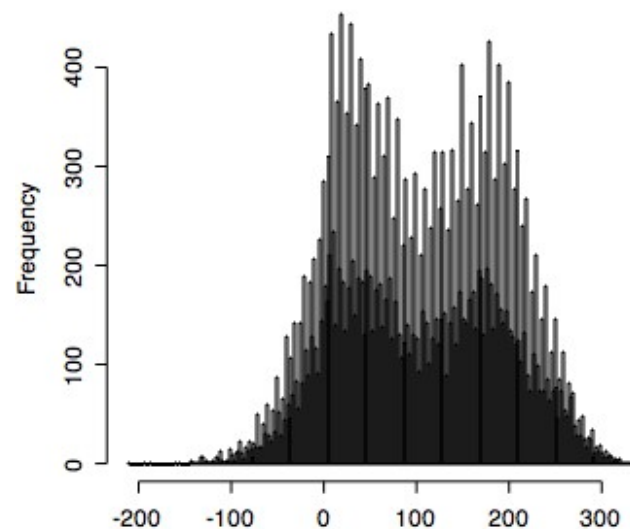
- Transformações de níveis de cinza ou mapeamento
- Cada ponto na imagem de entrada gera um só ponto na imagem de saída



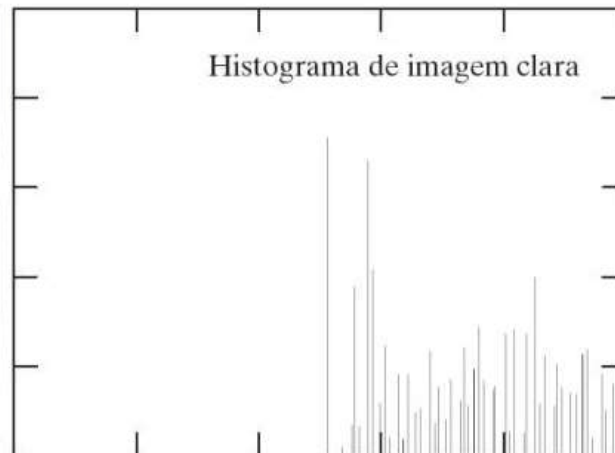
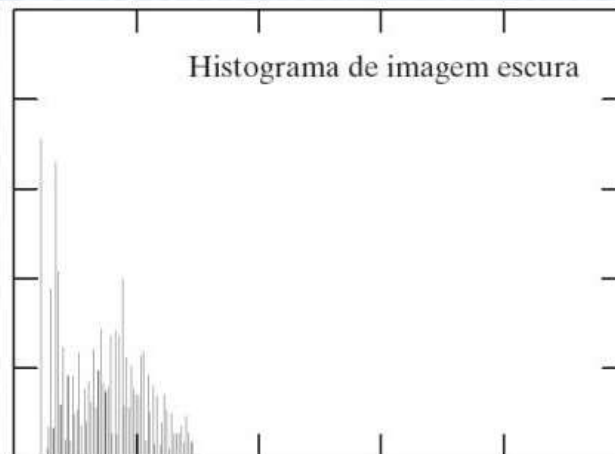
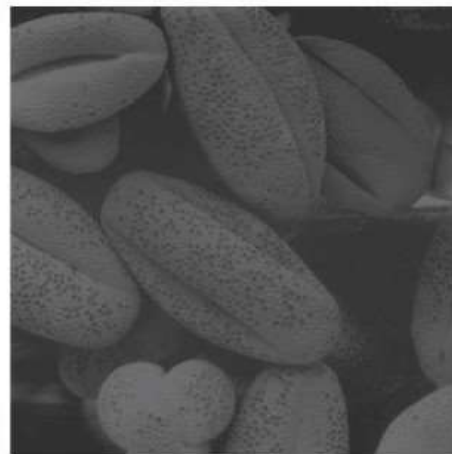
- $T[f(x,y)] \rightarrow$ Operação sobre cada ponto (cada pixel) da imagem de entrada

Histogramas

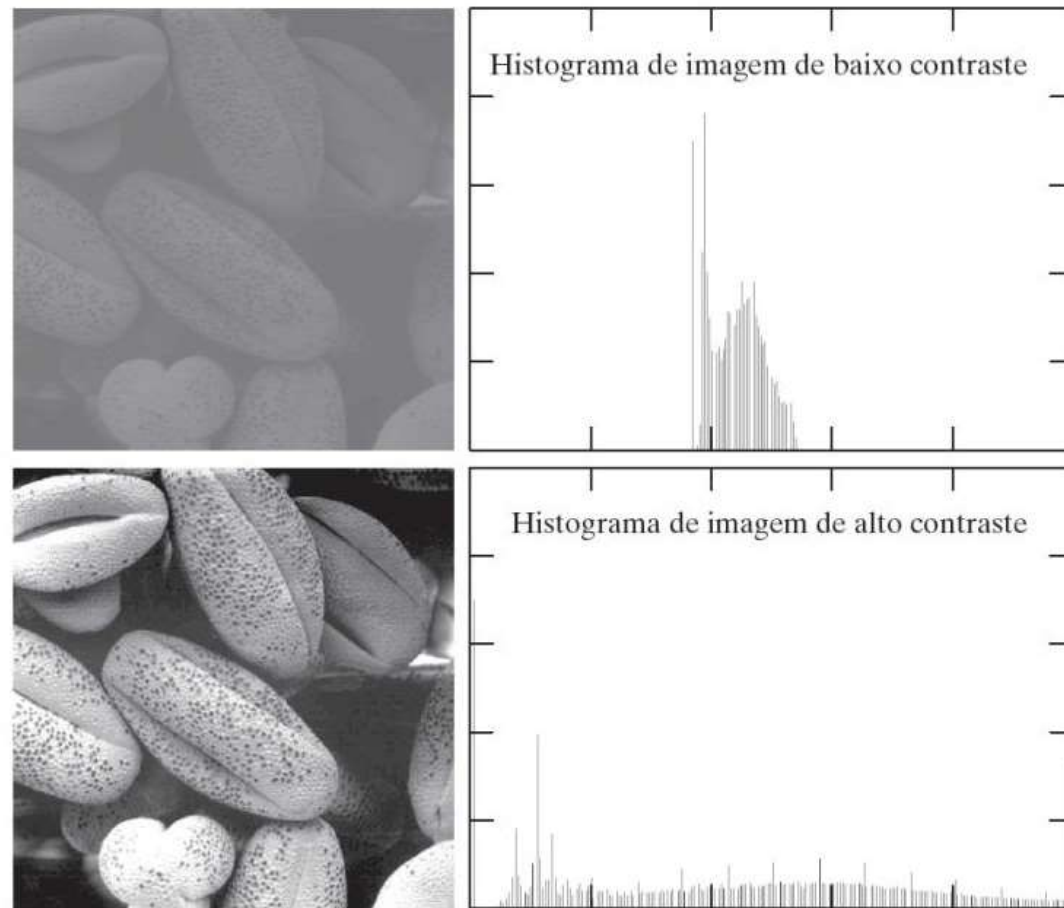
- O histograma não traz informação posicional sobre os pixels da imagem



Exemplos de Histogramas

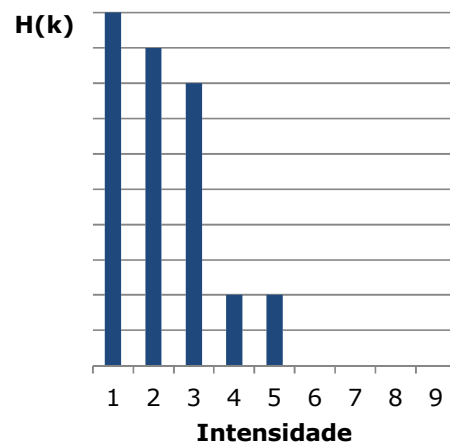


Exemplos de Histogramas

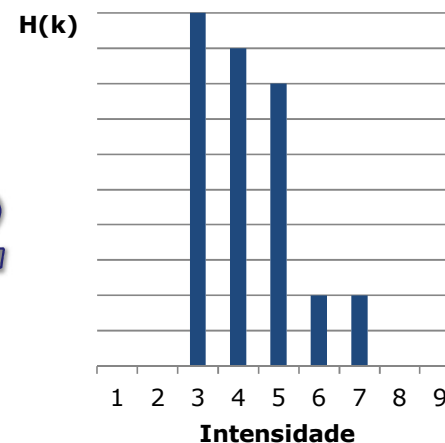


Histogramas

- Visualização das Transformações nos Níveis de Cinza através dos Histogramas
 - Alterações Globais no Brilho
 - Clarear ou escurecer uma Imagem
 - Somar ou Subtrair uma constante em todos os pixels da Imagem
 - 0 → Preto
 - Max → Branco



+2



Negativo



Imagem de Entrada

$$\begin{aligned} T[f(x, y)] \\ &= g(x, y) \\ &= W - f(x, y) \end{aligned}$$

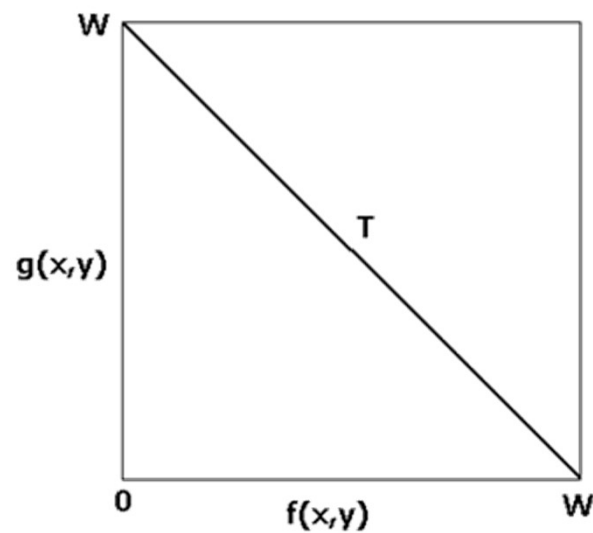
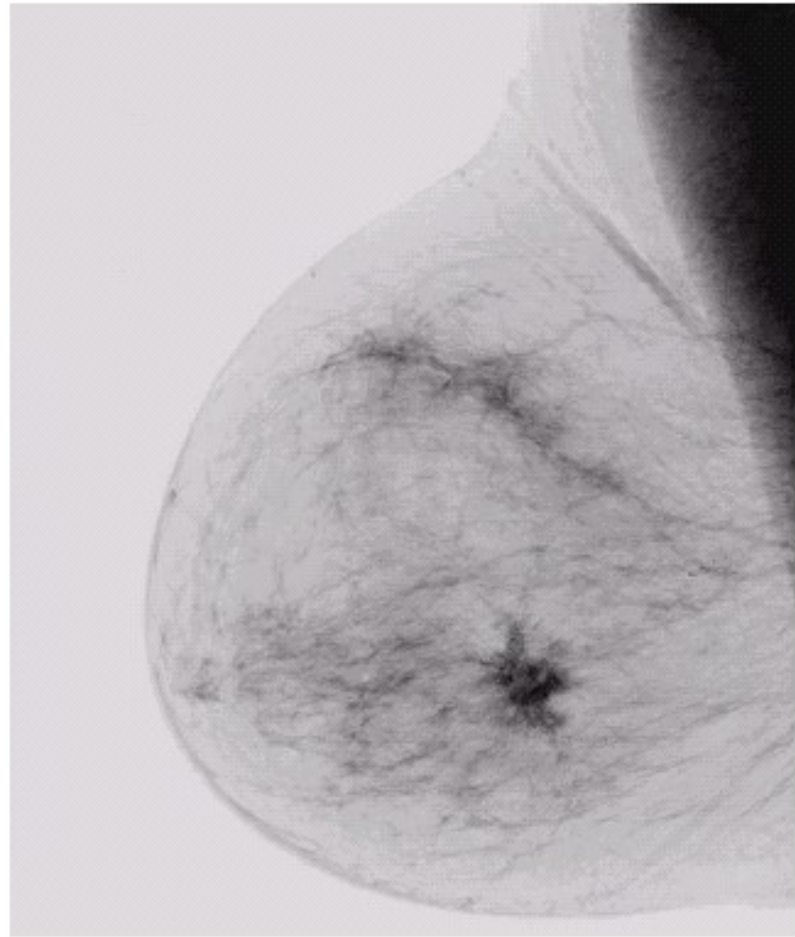
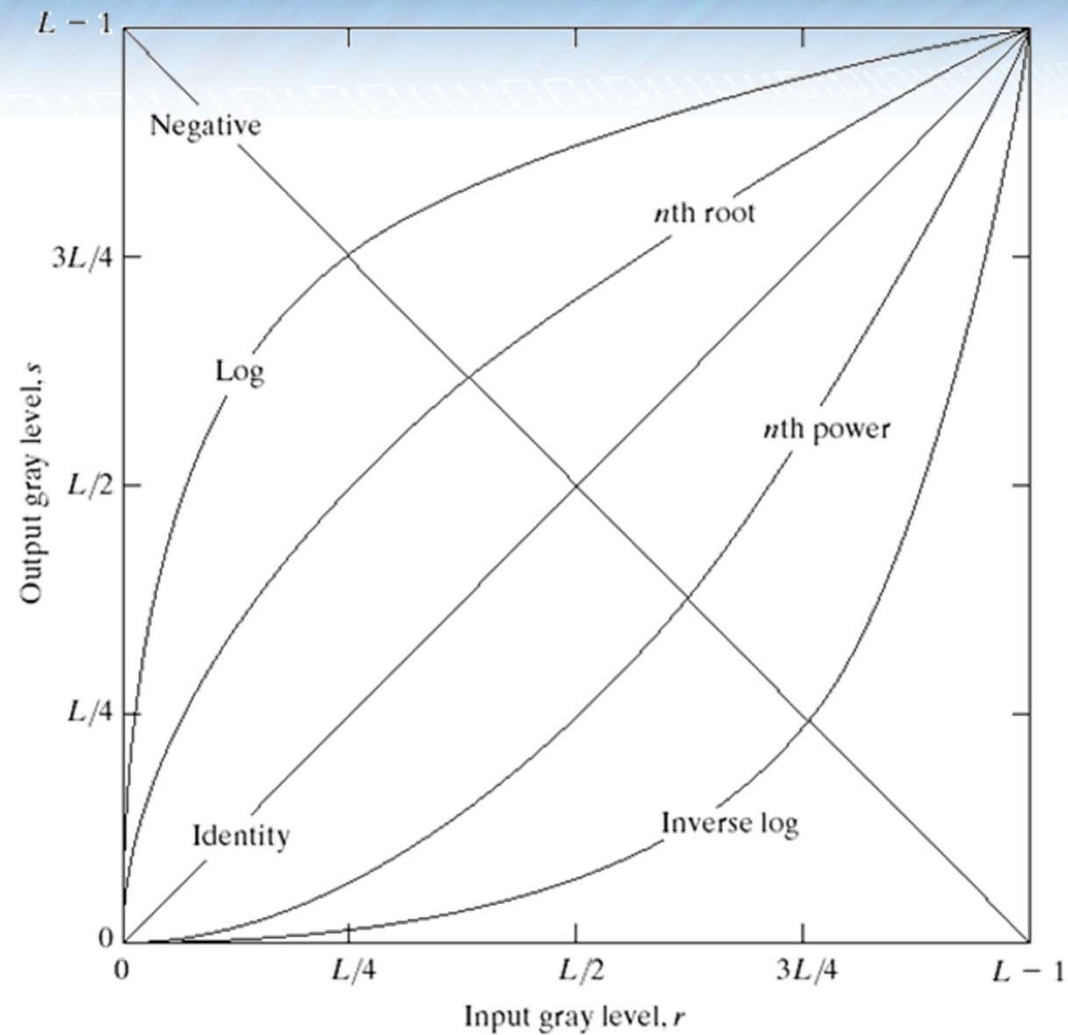


Imagem de Saída

Negativo



Transformações não lineares

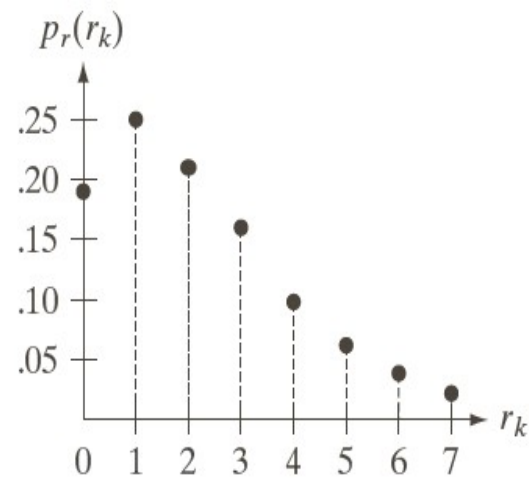


Equalização do histograma

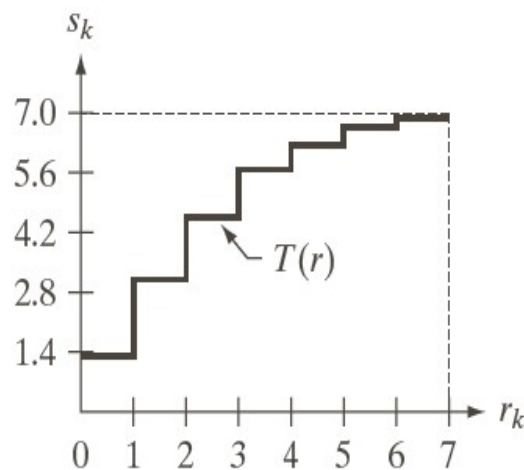
- Aumentar o contraste geral na imagem espalhando a distribuição de níveis de cinza
- Exemplo:
 - Dada uma imagem de $n \times m$ pixels e “ g ” níveis de cinza
 - Número ideal de pixels em cada nível $\rightarrow I = (n \times m)/g$

Exemplo

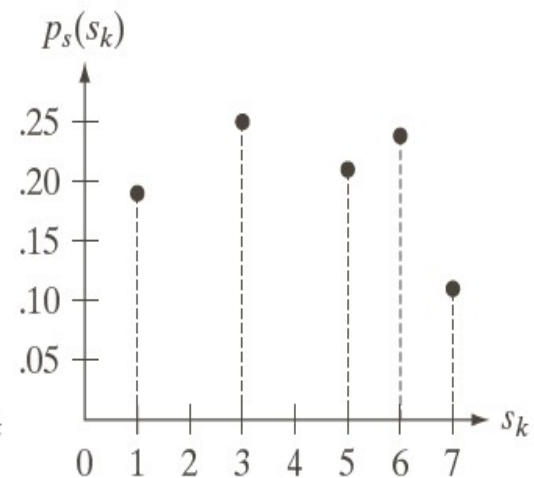
- Equalização de histograma com 3 bits
 - 8 níveis de intensidade



Histograma original



Função de transformação



Histograma equalizado

Exemplo

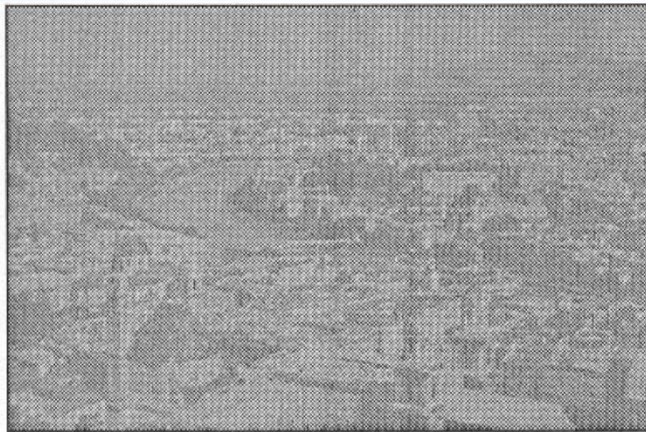
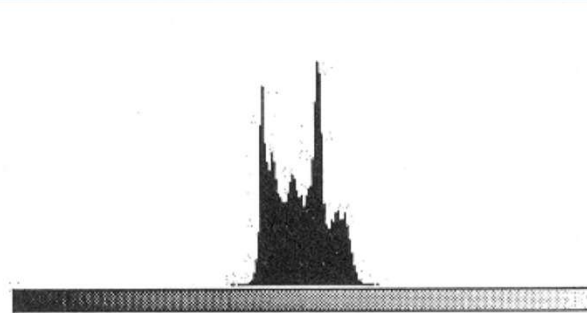


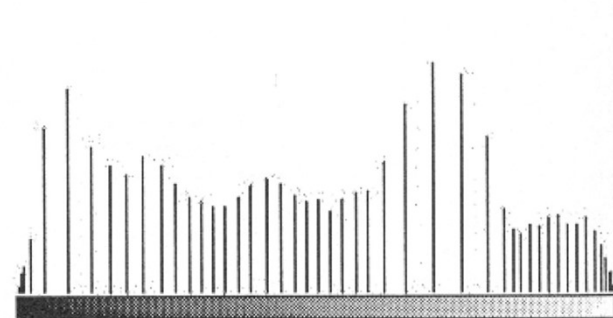
Imagem original



Histograma original



Imagem equalizada



Histograma Equalizado

TRANSFORMAÇÕES POR VIZINHANÇA

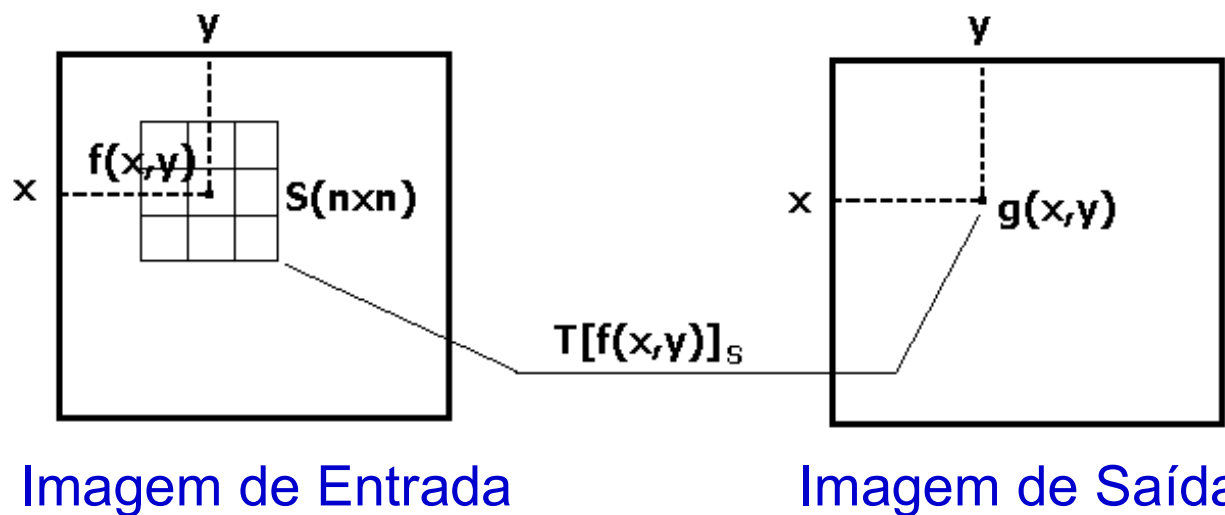
Convolução

Filtros lineares

Filtros derivativos – detectores de borda

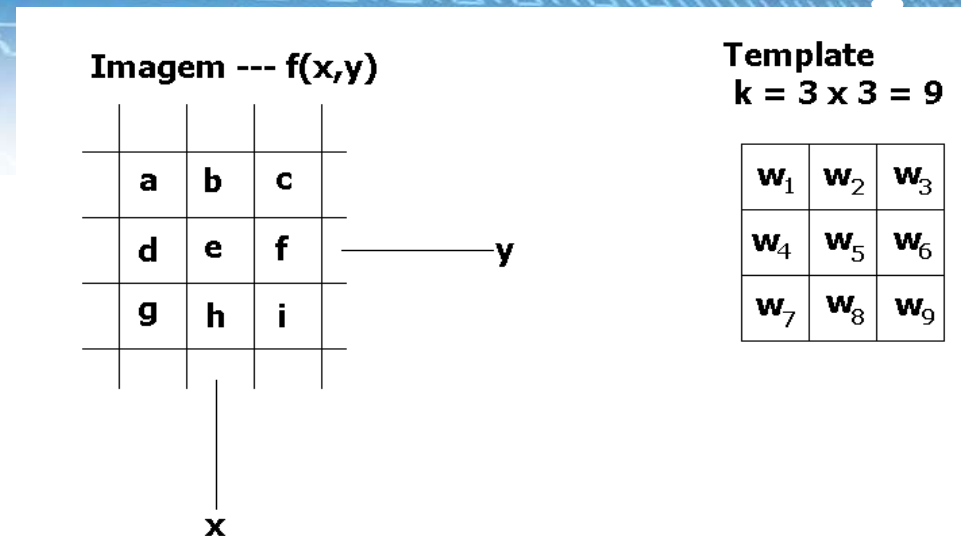
Operadores Locais – Vizinhança

- Combina a intensidade de um certo número de pixels (janela), para computar o valor da nova intensidade na imagem de saída



- $T[f(x, y)]_S \rightarrow$ Operação sobre todos os pixels dentro da janela S centrada em $f(x, y)$

Filtros no domínio do espaço



- $(a, b, c, d, e, f, g, h, i)$ são os valores dos níveis de cinza na mesma vizinhança de $f(x, y) = e$, comparativamente ao Template
- $(W_1 a W_9)$ são os “pesos”, ou seja, os valores dos níveis de cinza em cada posição do Template
- O valor do pixel $g(x, y)$ na nova imagem, na posição (x, y) será dado por:
 - $g(x, y) = W_1 \cdot a + W_2 \cdot b + W_3 \cdot c + W_4 \cdot d + W_5 \cdot e + W_6 \cdot f + W_7 \cdot g + W_8 \cdot h + W_9 \cdot i$

Convenção

- Máscaras de organização par (2×2 , 4×4 , ...) o resultado é colocado sobre o Primeiro Pixel
- Máscaras de organização ímpar (3×3 , 5×5 , ...) o resultado é colocado sobre o Pixel de Centro

Exemplo de máscara simétrica

- Operação de convolução

Template

1	0
0	1

$T(i,j)$

Imagem Original

1	1	3	3	4
1	1	4	4	3
2	1	3	3	3
1	1	1	4	4

$f(x,y)$

Imagem Final

2				
2				
3				
*				

$T(i,j) * f(x,y)$

*

→

$$1*1+0*1+0*1+1*1 = 2$$

Exemplo de máscara simétrica

Template

1	0
0	1

$T(i,j)$

Imagem Original

1	1	3	3	4
1	1	4	4	3
2	1	3	3	3
1	1	1	4	4

$f(x,y)$

Imagem Final

2	5	7	6	*
2	4	7	7	*
3	2	7	7	*
*	*	*	*	*

$T(i,j) * f(x,y)$

*

→

$$1*1+0*3+0*1+1*4=5$$

Exemplo de máscara simétrica

Template

1	0
0	1

$T(i,j)$

Imagem Original

1	1	3	3	4
1	1	4	4	3
2	1	3	3	3
1	1	1	4	4

$f(x,y)$

Imagem Final

2	5	7	6	*
2	4	7	7	*
3	2	7	7	*
*	*	*	*	*

$T(i,j) * f(x,y)$

Os valores marcados com *
não podem ser calculados

Solução para os pixels das bordas

- Podem ser usadas cinco soluções:
 - Atribuindo valor zero aos resultados não calculáveis;
 - Preenchimento da imagem com 0 s antes do cálculo da imagem final;
 - Replicação dos pixels das bordas;
 - Espelhamento;
 - Convolução periódica (circular);

Exemplo

- Atribuindo zero aos resultados não calculáveis

Template

1	1	1
0	0	0
1	1	1

Imagem

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

Resultado

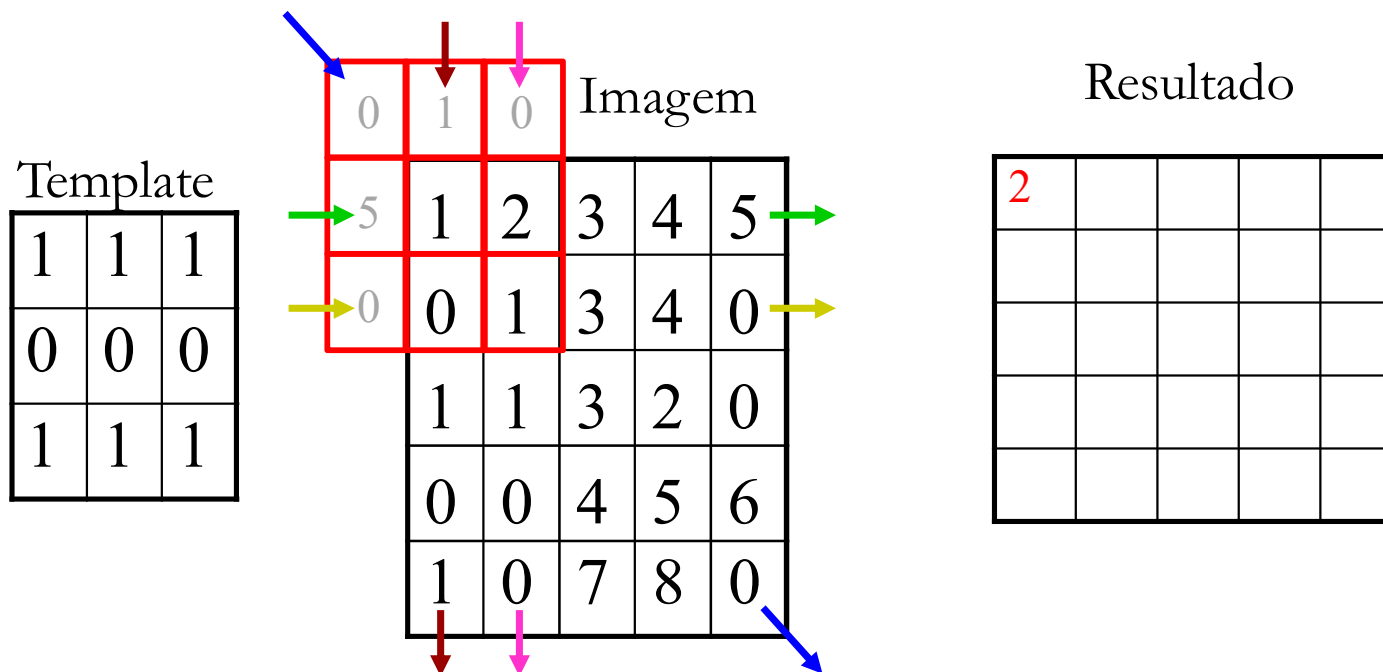
0	0	0	0	0
0	11	15	17	0
0	8	17	22	0
0	13	21	20	0
0	0	0	0	0

Primeiro Ponto: $(1 \times 1) + (1 \times 2) + (1 \times 3) + (0 \times 0) + (0 \times 1) + (0 \times 3) + (1 \times 1) + (1 \times 1) + (1 \times 3) = 11$

Convolução Periódica

- O Template é deslocado sobre todos os pixels da imagem original como se esta fosse adjacente em suas extremidades

Primeiro Ponto: $(1 \times 0) + (1 \times 1) + (1 \times 0) + (0 \times 5) + (0 \times 1) + (0 \times 2) + (1 \times 0) + (1 \times 0) + (1 \times 1) = 2$



Convolução Periódica

- $f(0,1) = 1x5 + 1x1 + 1x2 + 0x0 + 0x0 + 0x1 + 1x0 + 1x1 + 1x1 = 10$
- $f(0,2) = 1x0 + 1x0 + 1x1 + 0x0 + 0x1 + 0x1 + 1x6 + 1x0 + 1x0 = 7$
- $f(0,3) = 1x0 + 1x1 + 1x1 + 0x0 + 0x1 + 0x0 + 1x0 + 1x1 + 1x0 = 3$
- $f(0,4) = 1x6 + 1x0 + 1x0 + 0x0 + 0x1 + 0x0 + 1x5 + 1x1 + 1x2 = 14$
- $f(1,0) = 1x1 + 1x0 + 1x7 + 0x1 + 0x2 + 0x3 + 1x0 + 1x1 + 1x3 = 12$
- $f(2,0) = 1x0 + 1x7 + 1x8 + 0x2 + 0x3 + 0x4 + 1x1 + 1x3 + 1x4 = 23$
- $f(3,0) = 1x7 + 1x8 + 1x0 + 0x3 + 0x4 + 0x5 + 1x3 + 1x4 + 1x0 = 22$
- $f(4,0) = 1x8 + 1x0 + 1x1 + 0x4 + 0x5 + 0x1 + 1x4 + 1x0 + 1x0 = 13$
- $f(1,4) = 1x0 + 1x0 + 1x4 + 0x1 + 0x0 + 0x7 + 1x1 + 1x2 + 1x3 = 10$
- $f(2,4) = 1x0 + 1x4 + 1x5 + 0x0 + 0x7 + 0x8 + 1x2 + 1x3 + 1x4 = 18$
- $f(3,4) = 1x4 + 1x5 + 1x6 + 0x7 + 0x8 + 0x0 + 1x3 + 1x4 + 1x5 = 27$
- $f(4,4) = 1x5 + 1x6 + 1x0 + 0x8 + 0x0 + 0x1 + 1x4 + 1x5 + 1x1 = 21$
- $f(4,1) = 1x4 + 1x5 + 1x1 + 0x4 + 0x0 + 0x0 + 1x2 + 1x0 + 1x1 = 13$
- $f(4,2) = 1x4 + 1x0 + 1x0 + 0x2 + 0x0 + 0x1 + 1x5 + 1x6 + 1x0 = 15$
- $f(4,3) = 1x2 + 1x0 + 1x1 + 0x5 + 0x6 + 0x0 + 1x8 + 1x0 + 1x1 = 12$

Convolução Periódica

Resultado

2	12	23	22	13
10	11	15	17	13
7	8	17	22	15
3	13	21	20	12
14	10	18	27	21

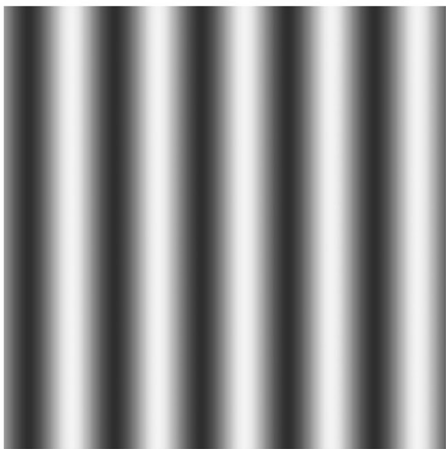
Observações

- O custo computacional da Convolução espacial é alto
- Se a Imagem é de tamanho $M \times M$ e o Template $N \times N$, o número de multiplicações é de $M^2 \cdot N^2$
- Ou seja, se a Imagem é de 512×512 e o Template é de 16×16 , são necessárias 67.108.864 multiplicações.
- A alternativa é transformar a imagem e o Template para o domínio da frequência (Fourier) e multiplicar elemento a elemento.
- A transformação só é justificável se o Template for maior que 32×32 , devido ao custo da Transformada de Fourier.

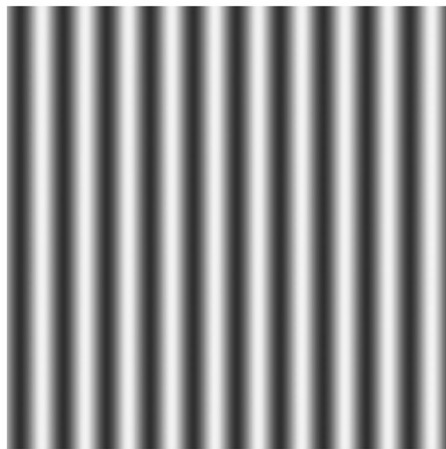
Filtragem Espacial

- Filtros Passa-Baixa
- Filtros Passa-Alta

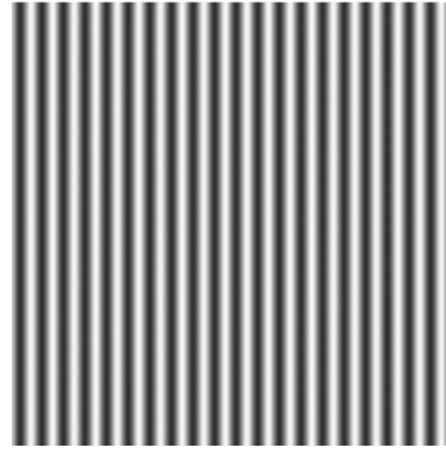
Altas e baixas frequências em uma imagem



Baixa



Média



Alta

Filtragem Espacial

Passa Baixa

- Uma das aplicações da Convolução espacial de uma Imagem com Templates é a Suavização (Smoothing) ou Filtragem Passa Baixa.
- Um filtro espacial Passa Baixa é implementado através de uma Máscara que realiza a Média da Vizinhança.
- Uma Máscara de Média é tal que seus pesos são positivos e a soma é igual a 1.
- Exemplos de algumas Máscaras de Filtros Passa Baixa:

$$\frac{1}{5} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{32} \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 3 & 16 & 3 \\ 1 & 3 & 1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Exemplo de Média da Vizinhança

$f(x,y)$

20	30	24	34	60	80	89	90	12	0
23	24	56	67	88	99	0	0	0	0
12	23	35	65	66	77	88	99	0	0
11	22	99	99	99	99	99	98	88	88
12	12	12	22	22	44	55	65	77	88
11	44	55	76	87	55	66	33	33	33
12	33	44	55	66	77	88	0	0	0

$g(x,y)$

$$g(0,0) = (20 + 30 + 24 + 23 + 24 + 56 + 12 + 23 + 35) / 9 = 24,77$$

Exemplo de Média da Vizinhança

$f(x,y)$

20	30	24	34	60	80	89	90	12	0
23	24	56	67	88	99	0	0	0	0
12	23	35	65	66	77	88	99	0	0
11	22	99	99	99	99	99	98	88	88
12	12	12	22	22	44	55	65	77	88
11	44	55	76	87	55	66	33	33	33
12	33	44	55	66	77	88	0	0	0

$g(x,y)$

	25								

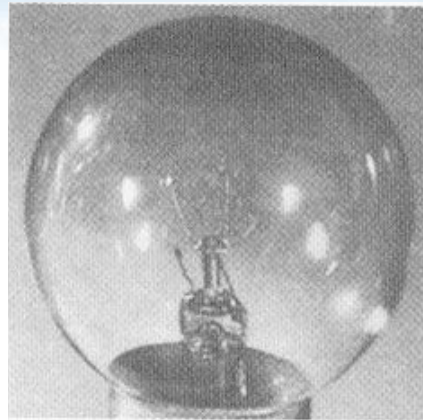
$$g(0,1) = (30 + 24 + 34 + 24 + 56 + 67 + 23 + 35 + 65) / 9 = 39,77$$

Filtro Passa Baixa Média da Vizinhança

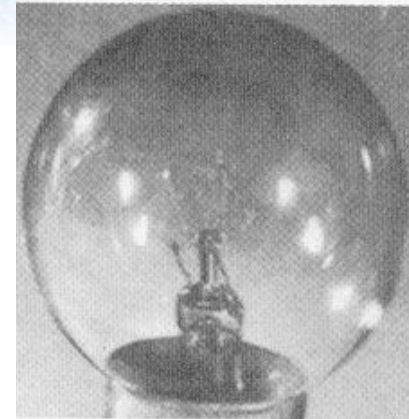
Imagem Original



Vizinhança 3 x 3



Vizinhança 5 x 5



Vizinhança 7 x 7



Vizinhança 15 x 15

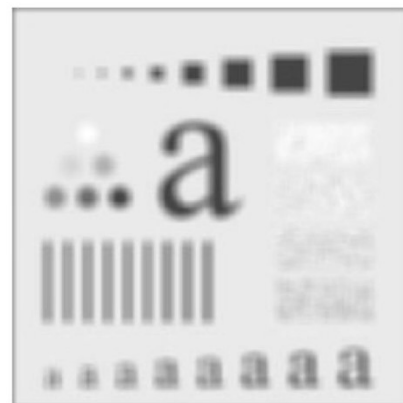
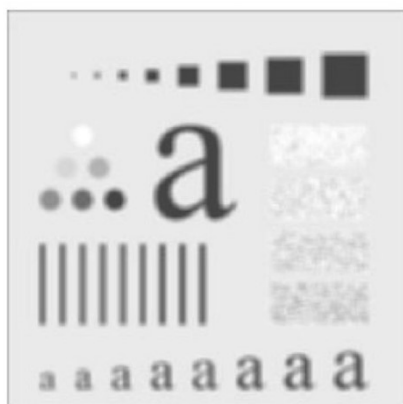
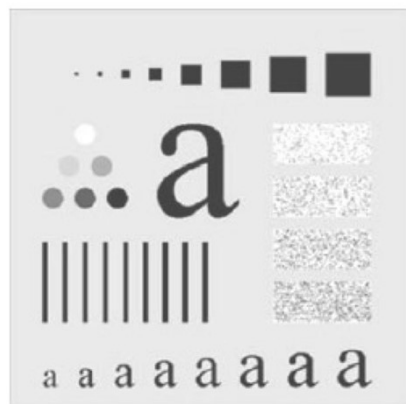
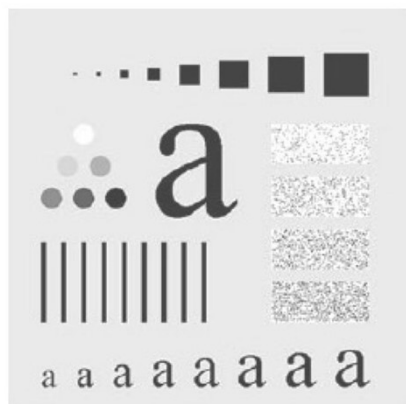


Vizinhança 25 x 25



Filtro Passa Baixa

Média da Vizinhança



Filtro Passa Baixa

Média da Vizinhança



*

$1/9 \times$

1	1	1
1	1	1
1	1	1

=

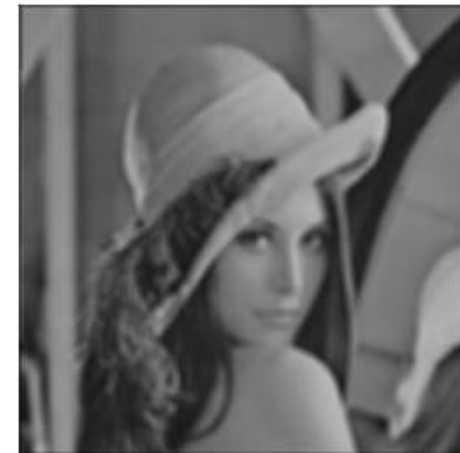


*

$1/25 \times$

1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

=

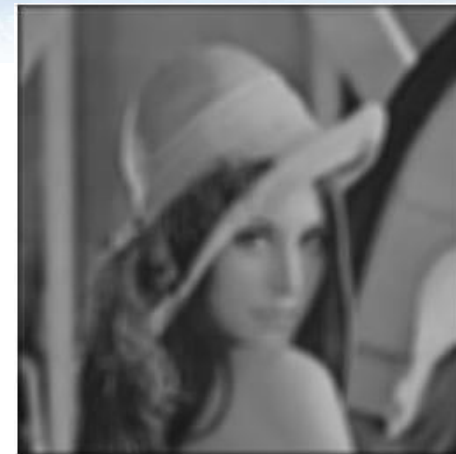


Filtro Passa Baixa

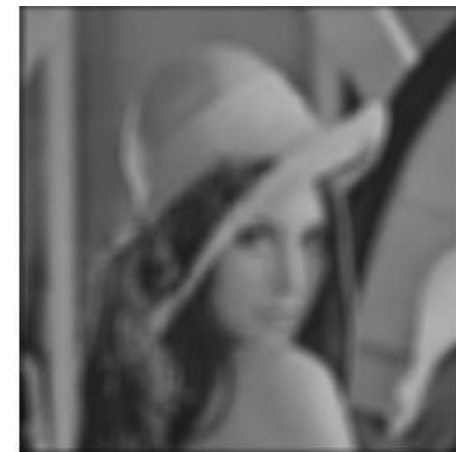
Média da Vizinhança



* 7×7 =



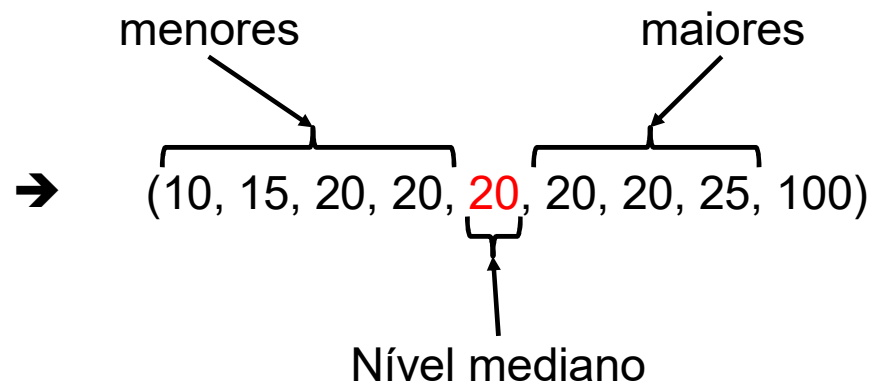
* 9×9 =



Filtragem Mediana

- Substitui o nível de cinza de cada pixel pelo nível de cinza mediano em uma vizinhança do pixel.
- O nível mediano de um conjunto de valores é tal que exista metade dos valores menores e metade dos valores maiores.
- Usado para remover ruído impulsivo (“sal e pimenta”)

10	20	20
20	15	20
20	25	100



Ruído "sal e pimenta"

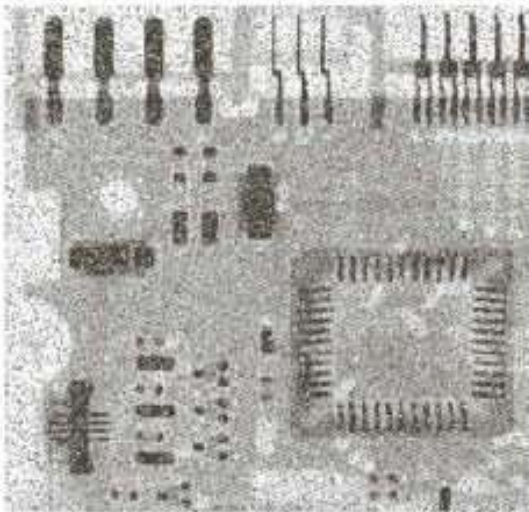
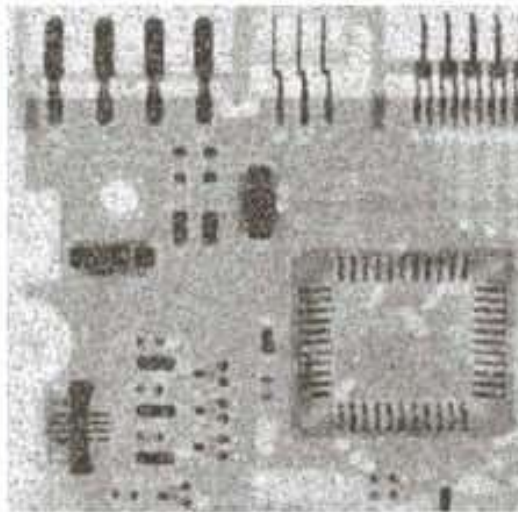
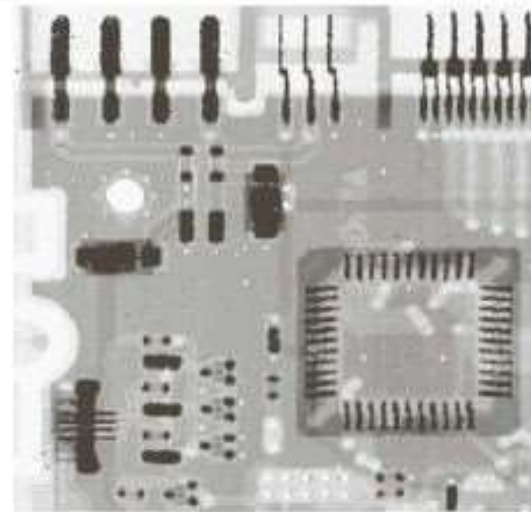


Imagem com ruído
sal e pimenta



Média da Vizinhança
3 x 3



Filtragem Mediana
3 x 3

Ruído "sal e pimenta"

Imagem
Original



Imagem com
ruído



Média da
vizinhança
5 x 5



Filtragem
Mediana
5 x 5



Filtragem Espacial

Passa Alta

- É chamada de filtro de passa-alta porque detecta na imagem os detalhes finos e mudanças abruptas de níveis de cinza na imagem
- A máscara do filtro passa alta deve ter pesos de tal forma que a soma seja igual a zero
- Exemplos de máscaras de filtros passa alta:

Normalizado

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Normalizado

$$\frac{1}{5} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Operador Laplaciano

Filtro Passa Alta

Detector de Altas Frequências



Normalizado

$$* \frac{1}{9} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} =$$



255 -



=



Filtro de AGUÇAMENTO

Sharpening – realce de altas frequências



+



=



+



=



Filtro de AGUÇAMENTO

Sharpening – realce de altas frequências

- Filtro de aguçamento (normalizado)



$$* \frac{1}{9} \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline -1 & 17 & -1 \\ \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline \end{array} =$$



Material elaborado por:

Prof. Dr. Bruno R. N. Matheus

bruno.matheus@gmail.com

Prof. Dr. Fernando Kakugawa

fernando.kakugawa@animaeducacao.com.br

