MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
Departamento de Geomática

Disciplina: PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS II
Código: GA144

CH Total:45 h

CH Semanal 03 h

Filtragem

Filtros lineares

Em processamento de imagens, os filtros lineares resultam da convolução de uma janela móvel e a imagem no espaço 2-D.

O resultado de um filtro linear pode ser escrito na seguinte forma:

$$G(y,x) = \Sigma\ \Sigma\ (\ p(i,j) * I(y+i,x+j)\ )$$

onde

- y,x representam as coordenadas do pixel e
- i,j a posição relativa dos vizinhos
- p(i,j) representa o filtro
- G(y,x) é a imagem resultante, filtrada

1	1	1	1	2	1	1	0
1	1	2	1	3	1	1	1
1	1	3	9	2	1	1	0
1	1	3	1	2	1	1	1
9	7	8	9	8	9	9	8
9	9	8	8	9	9	9	8
9	9	9	8	9	8	9	9
9	8	9	8	8	9	9	9

1	1	1	1	2	1	1	0
1	1	2	1	3	1	1	1
1	1	3	9	2	1	1	0
1	1	3	1	2	1	1	1
9	7	8	9	8	9	9	8
9	9	8	8	9	9	9	8
9	9	9	8	9	8	9	9
9	8	9	8	8	9	9	9

1	1	1	1	2	1	1	0
1	1	2	1	3	1	1	1
1	1	3	9	2	1	1	0
1	1	3	1	2	1	1	1
9	7	8	9	8	9	9	8
9	9	8	8	9	9	9	8
9	9	9	8	9	8	9	9
9	8	9	8	8	9	9	9

1	1	1	1	2	1	1	0
1	1	2	1	3	1	1	1
1	1	3	9	2	1	1	0
1	1	3	1	2	1	1	1
9	7	8	9	8	9	9	8
9	9	8	8	9	9	9	8
9	9	9	8	9	8	9	9
9	8	9	8	8	9	9	9

1	1	1	1	2	1	1	0
1	1	2	1	3	1	1	1
1	1	3	9	2	1	1	0
1	1	3	1	2	1	1	1
9	7	8	9	8	9	9	8
9	9	8	8	9	9	9	8
9	9	9	8	9	8	9	9
9	8	9	8	8	9	9	9

1	1	1	1	2	1	1	0
1	1	2	1	3	1	1	1
1	1	3	9	2	1	1	0
1	1	3	1	2	1	1	1
9	7	8	9	8	9	9	8
9	9	8	8	9	9	9	8
9	9	9	8	9	8	9	9
9	8	9	8	8	9	9	9

1	1	1	1	2	1	1	0
1	1	2	1	3	1	1	1
1	1	3	9	2	1	1	0
1	1	3	1	2	1	1	1
9	7	8	9	8	9	9	8
9	9	8	8	9	9	9	8
9	9	9	8	9	8	9	9
9	8	9	8	8	9	9	9

1	1	1	1	2	1	1	0
1	1	2	1	3	1	1	1
1	1	3	9	2	1	1	0
1	1	3	1	2	1	1	1
9	7	8	9	8	9	9	8
9	9	8	8	9	9	9	8
9	9	9	8	9	8	9	9
9	8	9	8	8	9	9	9

3x3

- Filtro da média (passa baixas) Para um pixel na posição i,j, deve-se calcular o valor digital médio dele e seus oito vizinhos
- Os vizinhos são
- [i-1,j-1] [i-1, j] [i-1,j+1]
- [i ,j-1] [i , j] [i , j+1]
- [i+1,j-1] [i+1, j] [i+1,j+1]
- Ou, variando um índice de -1 a 1 = dc=[-1,0, 1]
- [i-1,j+dc] ; [i,j+dc] ; [i+1,j+dc]
- E variando um índice de linhas dl=[-1, 0,1]
- [i+dl, j+dc]

1	1	1	1	2	1	1	0
1	1	2	1	3	1	1	1
1	1	3	9	2	1	1	0
1	1	3	1	2	1	1	1
9	7	8	9	8	9	9	8
9	9	8	8	9	9	9	8
9	9	9	8	9	8	9	9
9	8	9	8	8	9	9	9

- `img = cv2.imread(nome)`
- `n,m,nb = img.shape`
- `I=img[:,:,2]`

```
for i in range(n):
   for j in range(m):
        S=0;
        for dl in range(3):
             for coluna in range(3):
                   s=s+I[i+dl-1, j+dc-1]
        s=s/9
cv2_imshow(I)
```

1	1	1	1	2	1	1	0
1	1	2	1	3	1	1	1
1	1	3	9	2	1	1	0
1	1	3	1	2	1	1	1
9	7	8	9	8	9	9	8
9	9	8	8	9	9	9	8
9	9	9	8	9	8	9	9
9	8	9	8	8	9	9	9

Isto não funciona para os pixels nas bordas da imagem, pois o vizinho anterior à primeira linha não existe!

Obs: o que ocorre se somamos os oito valores uint8 ?

- Restringir pixels a serem processados em função do tamanho da vizinhança.

```
I=img[:,:,2]
J=np.zeros((n,m),dtype = np.uint8 )  # criamos uma variável vazia em uint8
for i in range(1,n-1):
  for j in range(1,m-1):
    s=0
    for dl in range(3):
      for dc in range(3):
        v=float( I[i+dl-1, j+dc-1]) # converter a float para somar mais de 255
        s=s + v
    s=np.round(s/9)
    J[i,j]=np.uint8(s)
cv2_imshow(J)
```

1	1	1	1	2	1	1	0
1	1	2	1	3	1	1	1
1	1	3	9	2	1	1	0
1	1	3	1	2	1	1	1
9	7	8	9	8	9	9	8
9	9	8	8	9	9	9	8
9	9	9	8	9	8	9	9
9	8	9	8	8	9	9	9

- Agora, tente aplicar um filtro de tamanho maior, 5x5, ou 7x7

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

Dividido por 25

- depois, tente aplicar um filtro genérico, com pesos estipulados em uma matriz 3x3.

1	2	1
2	4	2
1	2	1

Dividido por...?

Filtro passa-baixas (suavização)

- Atenua as altas frequências, aquelas associadas a detalhes na imagem, e deixa apenas as baixas frequências. O efeito deste filtro é a remoção de detalhes da imagem e sua suavização. A imagem filtrada apresenta uma aparência de névoa ou um efeito de ``imagem fora de foco'', e as áreas presentes na imagem tornam-se mais homogêneas.
- O efeito é atingido substituindo o pixel central pela média da janela. A média pode ser uma média simples ou uma média ponderada, onde diferentes pesos são atribuídos aos vizinhos em função de sua proximidade ao pixel central.
- Exemplo:

1	1	1	1	2	1	1	0
1	1	2	1	3	1	1	1
1	1	3	9	2	1	1	0
1	1	3	1	2	1	1	1
9	7	8	9	8	9	9	8
9	9	8	8	9	9	9	8
9	9	9	8	9	8	9	9
9	8	9	8	8	9	9	9

Filtro (3x3)

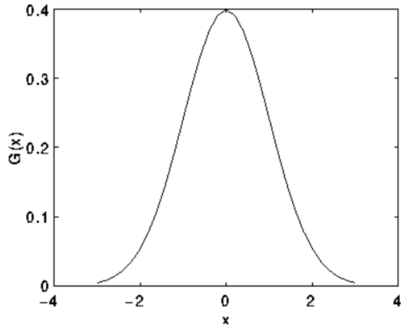
1	**1**	**1**
1	**1**	**1**
1	**1**	**1**

•Original passa-baixas (suavização)

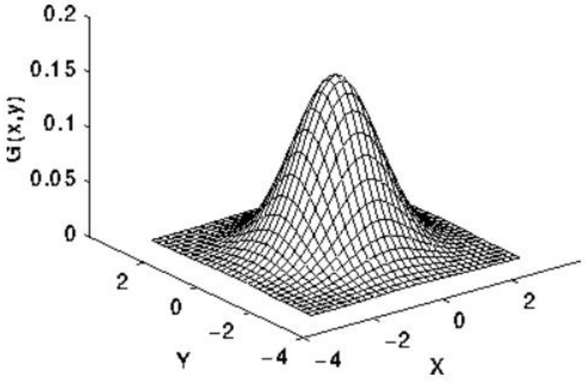
FILTRO GAUSSIANO

O Filtro Gaussiano é um tipo de filtro passa-baixas que usa uma função Gaussiana para calcular os pesos do filtro e, consequentemente, a transformação linear. Assim, maior peso é dado ao central e o peso diminui com a distancia ao pixel central da janela.

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$



$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$



$$\frac{1}{273}\begin{bmatrix} 1 & 4 & 7 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 26 & 16 & 4 \\ 7 & 26 & 41 & 26 & 7 \\ 4 & 16 & 26 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 7 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

$$
\begin{aligned}
&= \sum_i \sum_j f(x-i, y-j) \exp\left\{\frac{-(i^2+j^2)}{2\sigma^2}\right\} \\
&= \sum_i \left[\sum_j f(x-i, y-j) \exp\left\{\frac{-j^2}{2\sigma^2}\right\}\right] \exp\left\{\frac{-i^2}{2\sigma^2}\right\} \\
&= [f(x,y) \star G(y)] \star G^T(x).
\end{aligned}
$$

Porém, um filtro Gaussiano 2D pode ser substituído por dois filtros Gaussianos 1D, que são mais rápidos.

- Exemplo

$$f * \left(\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \right) = \left(f * \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \right) * \left(\frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \right)$$

$$\frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} * \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} .$$

Filtro passa-altas (realce)

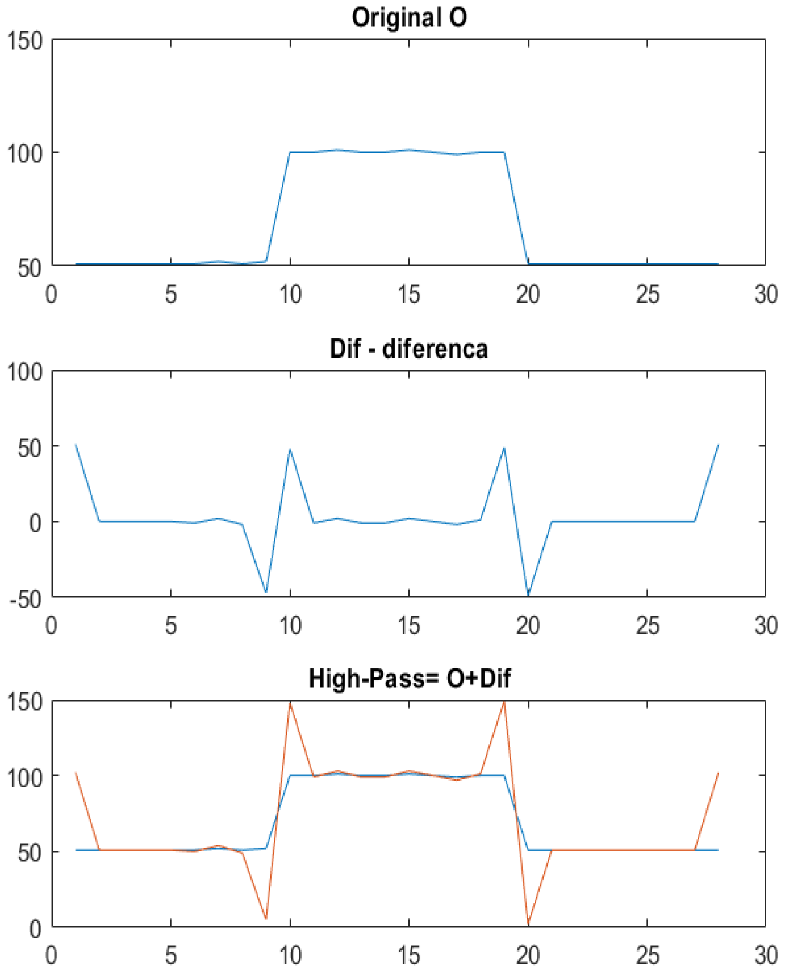
- Enfatiza os contrastes, realçando os detalhes da imagem.
- O nome do filtro explica seu funcionamento, pois nesta transformação as baixas frequências são eliminadas, sendo as altas frequências as únicas remanescentes.
- Este efeito pode ser atingido adicionando à imagem original a diferença entre a imagem original e o resultado de um filtro-passa baixas.
- O resultado da operação é nulo em regiões homogêneas. Em regiões com detalhes, o valor resultante é alto, em função do contraste entre o pixel central e a vizinhança.

Para entender...

Se aplicarmos a uma série de dados (1D)

A diferença retira o valor original, pode ser igual em regiões claras e escuras.

Somando esta diferença ao valor original se salienta o contraste nas regiões de bordas.
Em regiões uniformes, não ocorre alteração.



Diferença entre o central e seus vizinhos

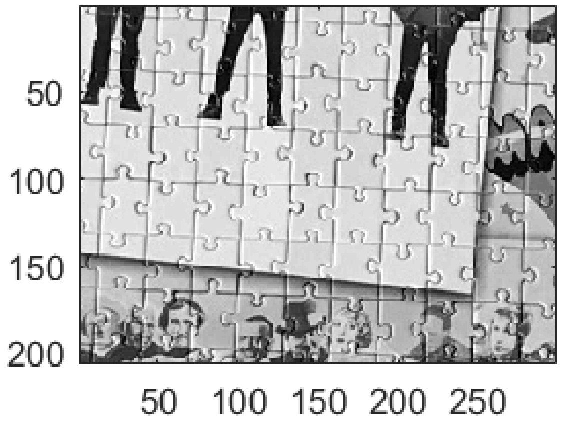
```
-1 0 0   0 -1 0    0  0 -1
 0 1 0   0  1 0    0  1  0
 0 0 0   0  0 0    0  0  0

 0 0 0   0 0 0     0  0  0
-1 1 0   0 0 0     0  1 -1
 0 0 0   0 0 0     0  0  0

 0 0 0   0  0 0    0  0  0
 0 1 0   0  1 0    0  1  0
-1 0 0   0 -1 0    0  0 -1
```

$\Rightarrow$

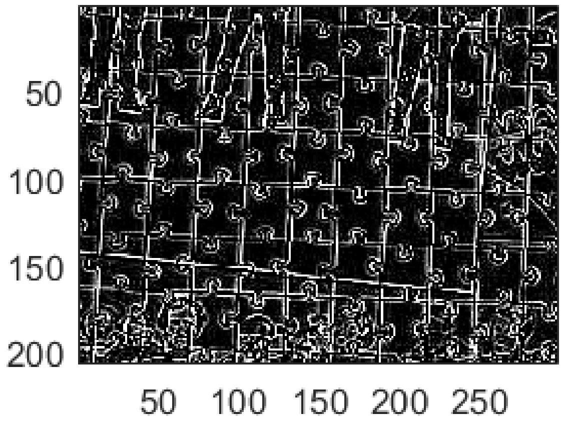
```
-1 -1 -1
-1  8 -1
-1 -1 -1
```

A diferença entre o central e seus oito vizinhos

Original O

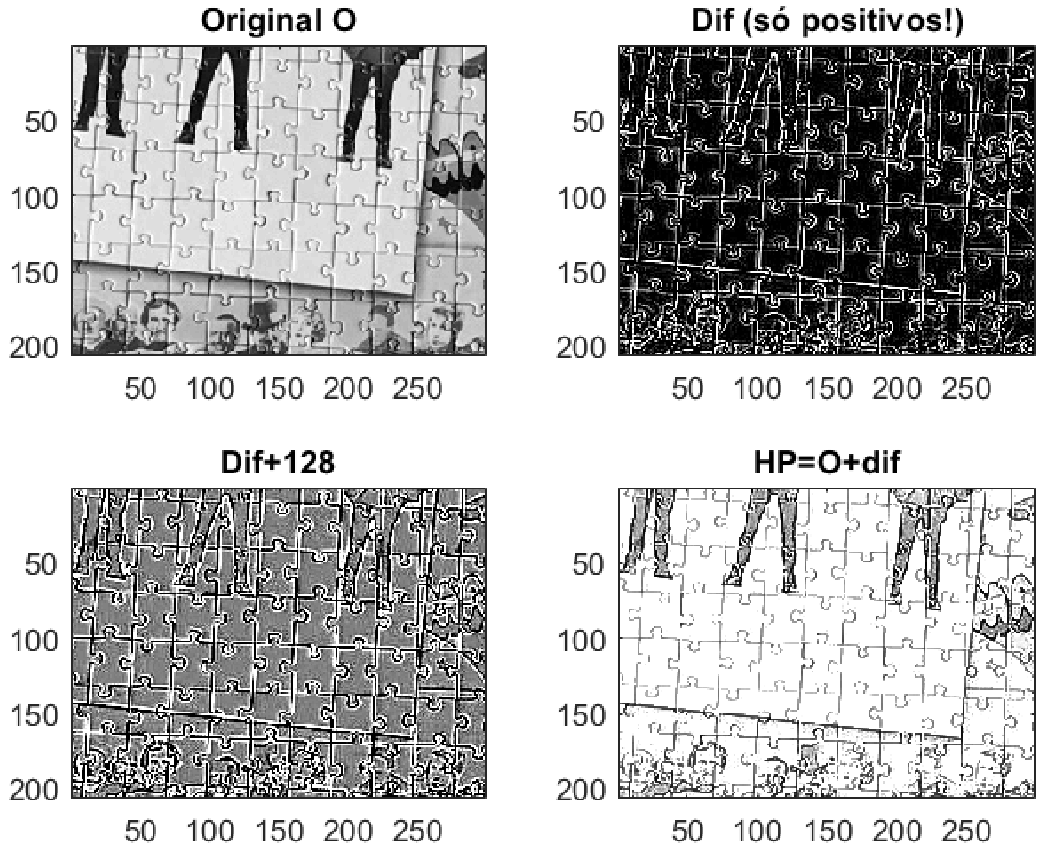


Dif (só positivos!)



Central + Diferença

$$\begin{matrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{matrix} \quad + \quad \begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{matrix} \quad \Rightarrow \quad \begin{matrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{matrix}$$



Somando a diferença ao valor central acentua o contraste

Exemplos de passa-altas

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 25 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

•Original passa-altas

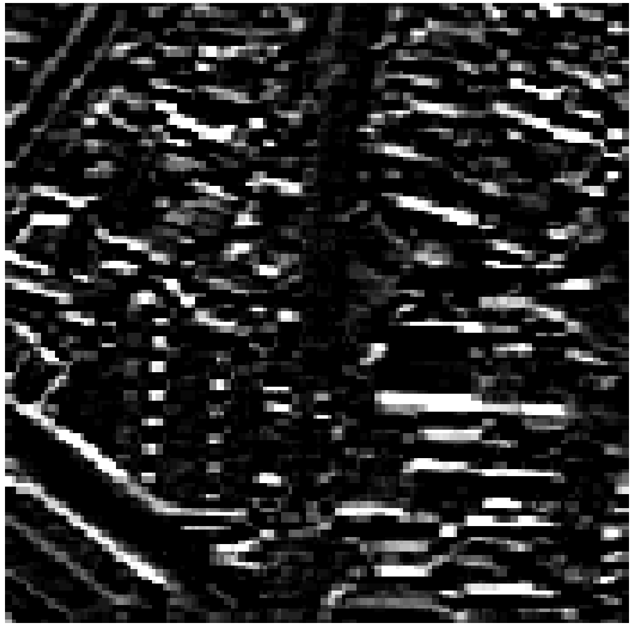
Filtros direcionais

- A convolução de uma janela e a imagem também é útil para salientar determinadas linhas ou bordas. Por exemplo, as técnicas de filtragem permitem salientar as bordas ou linhas que ocorrem numa determinada direção, fazendo a diferença dos valores na janela considerando sua posição em relação ao pixel central da janela. A seguir são mostrados alguns exemplos destes filtros.

Exemplo: bordas horizontais

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

Norte



- Os contrates na direção norte são salientados.
- Algumas linhas diagonais também são salientadas, pois possuem uma componente norte forte.

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

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

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

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

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

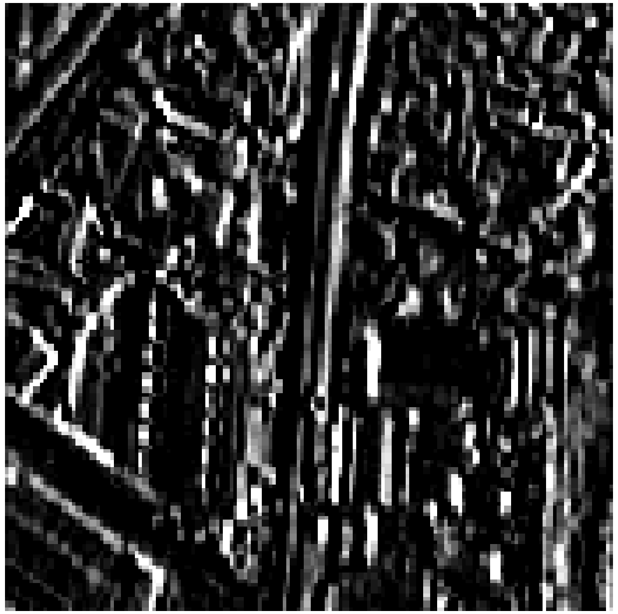
$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$ Sudeste

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

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

- leste

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



Filtros não lineares

- Resultam da análise da vizinhança em torno do pixel, mas neste caso seu funcionamento não pode ser representado usando a forma geral da convolução.
- **O filtro de moda** (valor mais frequente) : Usado para suavizar imagens, especialmente temáticas, pois o novo valor atribuído ao pixel central corresponde ao valor mais frequente da vizinhança e por este motivo é igual a pelo menos um dos pixels vizinhos.
- **O filtro de mediana** (valor central) : o novo valor corresponde ao valor central após ordenar os valores de forma crescente.

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

Serie=[3 1 2 3 1 4 8 8 8]
Moda: 8 (mais frequente)

Mediana:
[1 1 2 3 3 4 8 8 8] = 3

Mediana

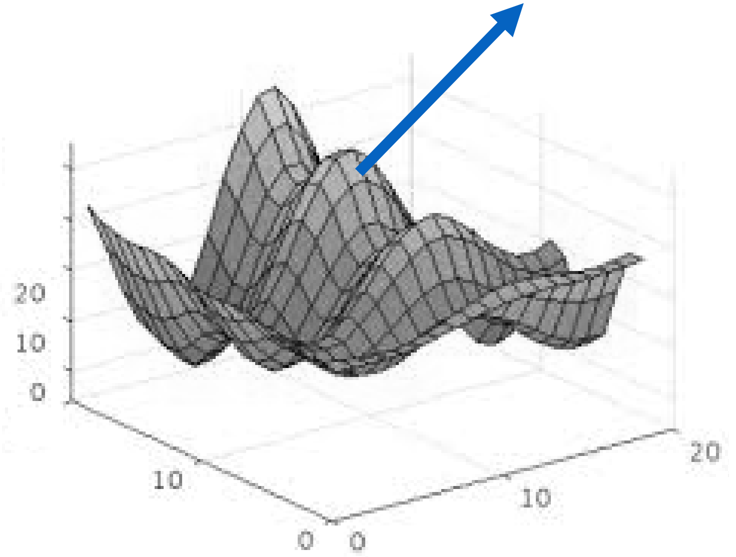
Filtro da mediana: O valor resultante é a mediana da vizinhança. Este filtro introduz um certo grau de suavização na imagem resultante, do que decorre perda de detalhe. A diferença em relação ao filtro passa baixas é que as bordas não são degradadas em extremo, pois os valores originais são preservados.

Filtros de Gradiente

Se compararmos a variação dos pixels com altura de uma grade, como um DTM, podemos descrever a variação local da declividade através do gradiente local desta superfície.

O gradiente de uma superfície descreve sua inclinação no local especificado e é um vetor. Que aponta para fora da superfície.

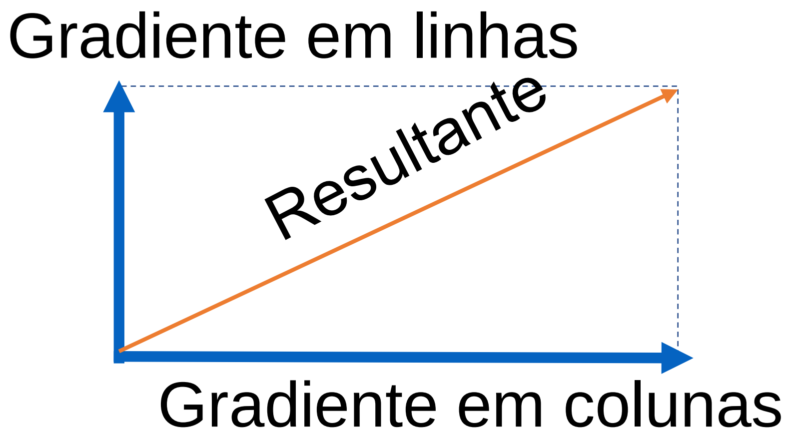
O gradiente pode ser calculado a partir de suas duas componentes (Norte e Leste), ou seja, a derivada parcial da função da superfície em relação a linhas e colunas.



$$G(x,y) = \begin{bmatrix} \dfrac{\delta F(x,y)}{\delta(x)} \\ \dfrac{\delta F(x,y)}{\delta(y)} \end{bmatrix}$$

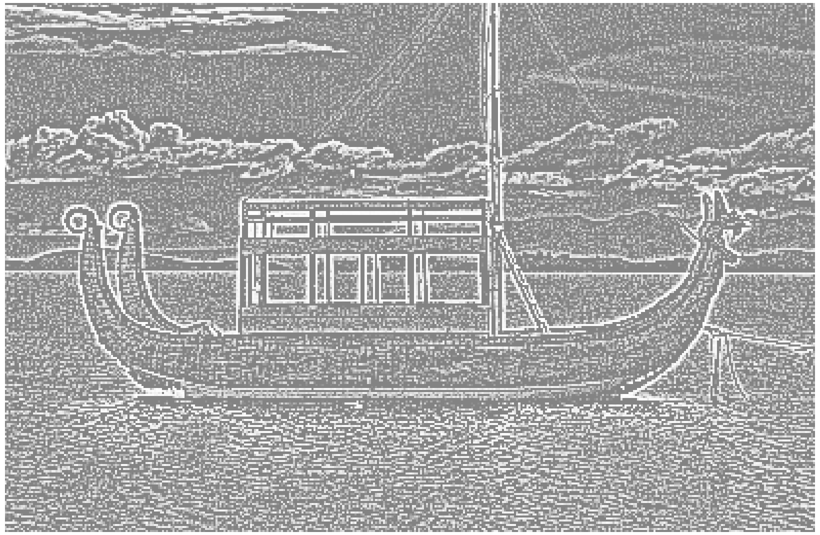
Intensidade do Gradiente

$$I(x,y) = \sqrt{\frac{\delta F(x,y)^2}{\delta(x)} + \frac{\delta F(x,y)^2}{\delta(y)}}$$



No Para calcular o Gradiente:

- Estima-se o gradiente em X
- Estima-se o gradiente em Y (Y perpendicular a X)
- Calcula-se a resultante da soma destes dois vetores.
- O pixel recebe um valor proporcional à magnitude do gradiente.



- Ex: filtros de Sobel

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad \delta F(x,y)/\delta(x)$$

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \qquad \delta F(x,y)/\delta(y)$$

Laplaciano

O filtro Laplaciano é um operador que calcula a derivada isotrópica (não depende da direção, em todas as direções)

Gradiente local em todas as direções

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

Exemplo:

0	1	0
1	−4	1
0	1	0

−1	−1	−1
−1	8	−1
−1	−1	−1

Na prática, o Laplaciano pode ser muito demorado para calcular e é sensível à presença de ruído. Por isso, não se usa diretamente sua formulação original.

Usa-se a diferença entre a imagem original e a imagen suavizada com um filtro Gaussiano.

Isto é conhecido como o

Laplaciano do Gaussiano

LoG

$$LoG(x,y) = -\frac{1}{\pi\sigma^4}\left[1 - \frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right] e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

- No ambiente Google Colab

- Desenvolva um filtro de média 93x3), depois um (5x5)
- Um filtro passa-altas...