

# Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)

Prof. Dr. Paulo A. V. de Miranda  
Instituto de Matemática e Estatística (IME),  
Universidade de São Paulo (USP)  
[pmiranda@vision.ime.usp.br](mailto:pmiranda@vision.ime.usp.br)

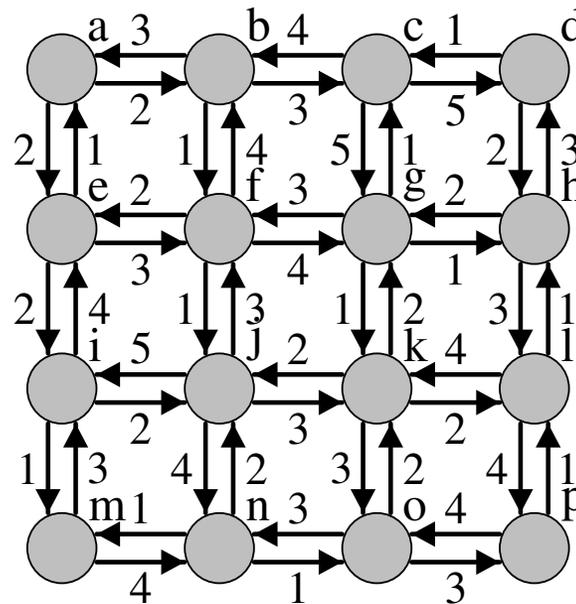


# Introdução

## Introdução

- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

- Um dígrafo ponderado nos arcos será denotado como  $G = \langle \mathcal{N}, \mathcal{A}, w \rangle$ .
- Um dígrafo  $G$  é simétrico se, para todos  $\langle s, t \rangle \in \mathcal{A}$ , o par  $\langle t, s \rangle$  também é um arco de  $G$ .
- Observe que em dígrafos simétricos podemos ter  $w(s, t) \neq w(t, s)$ .



Exemplo de dígrafo simétrico ponderado nos arcos.





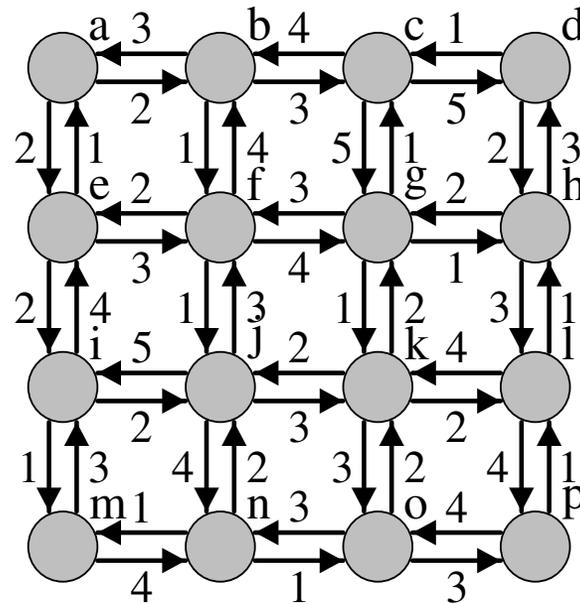


# Introdução

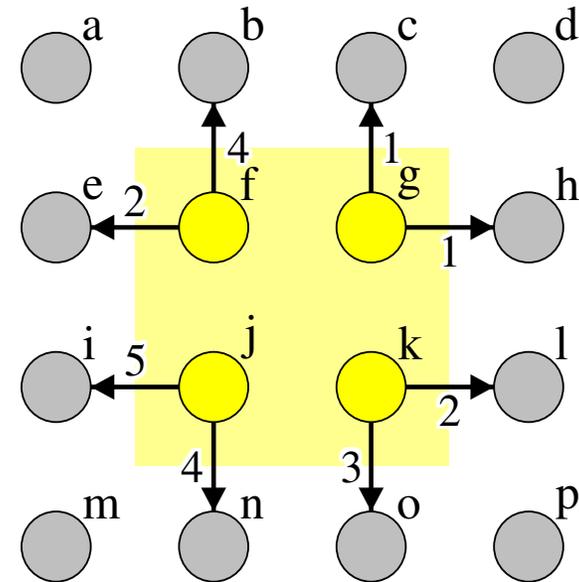
## Introdução

- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

- Vamos tratar inicialmente o caso do corte externo  $\mathcal{C}_{ext}(\mathcal{O})$ .
- Cada objeto candidato  $\mathcal{O} \subset \mathcal{N}$  possui um valor associado de energia dado por:  $E(\mathcal{O}) = \min_{\langle s,t \rangle \in \mathcal{C}_{ext}(\mathcal{O})} w(s,t)$ .



Dígrafo simétrico



$\mathcal{C}_{ext}(\mathcal{O}_1)$

- $E(\mathcal{O}_1) = \min\{4, 2, 1, 1, 5, 4, 3, 2\} = 1$ .

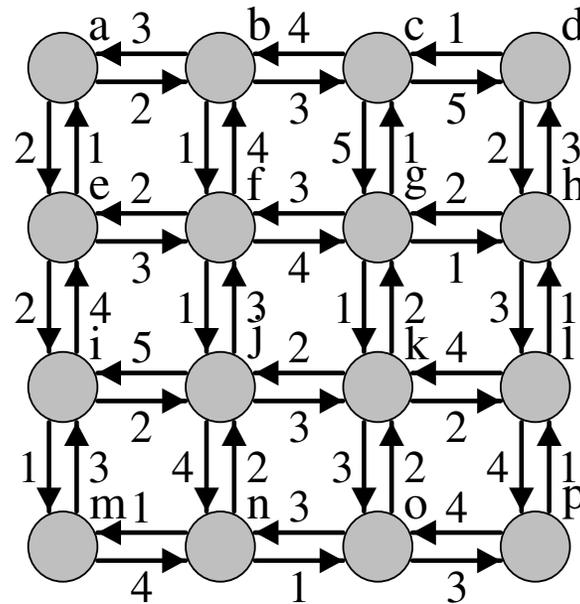


# Introdução

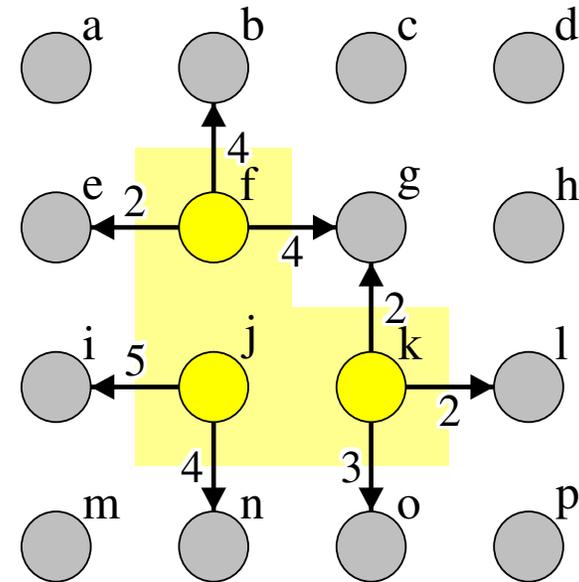
## Introdução

- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

- Vamos tratar inicialmente o caso do corte externo  $\mathcal{C}_{ext}(\mathcal{O})$ .
- Cada objeto candidato  $\mathcal{O} \subset \mathcal{N}$  possui um valor associado de energia dado por:  $E(\mathcal{O}) = \min_{\langle s,t \rangle \in \mathcal{C}_{ext}(\mathcal{O})} w(s,t)$ .



Dígrafo simétrico



$\mathcal{C}_{ext}(\mathcal{O}_2)$

- $E(\mathcal{O}_2) = \min\{4, 2, 4, 5, 4, 2, 2, 3\} = 2$ .

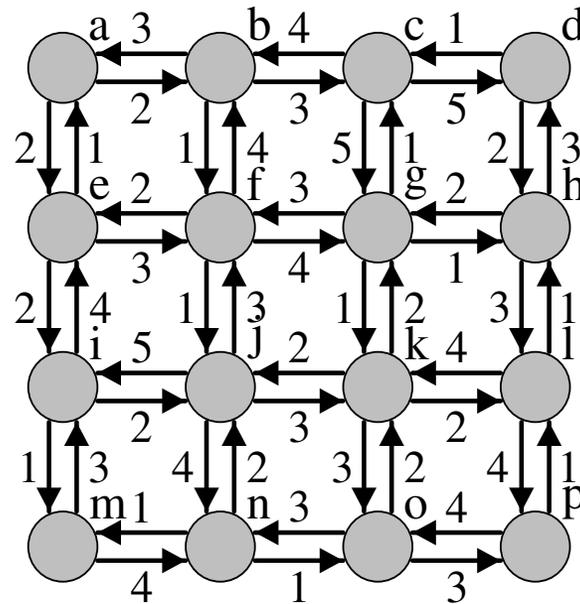


# Introdução

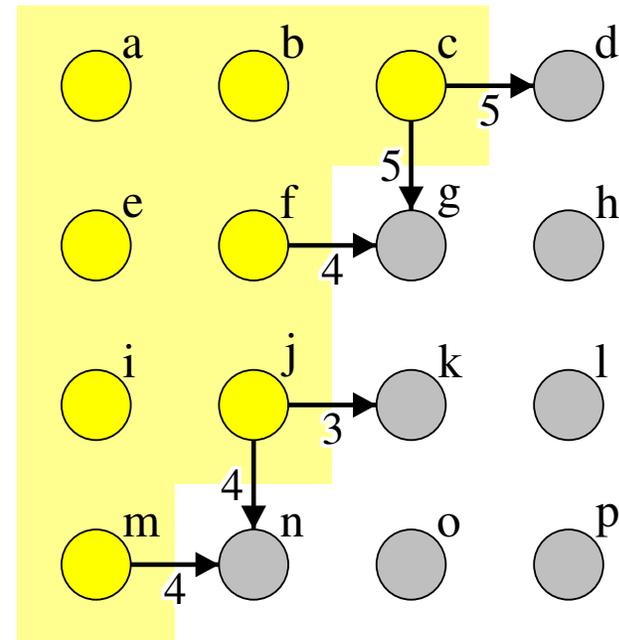
## Introdução

- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

- Vamos tratar inicialmente o caso do corte externo  $\mathcal{C}_{ext}(\mathcal{O})$ .
- Cada objeto candidato  $\mathcal{O} \subset \mathcal{N}$  possui um valor associado de energia dado por:  $E(\mathcal{O}) = \min_{\langle s,t \rangle \in \mathcal{C}_{ext}(\mathcal{O})} w(s,t)$ .



Dígrafo simétrico



$\mathcal{C}_{ext}(\mathcal{O}_3)$

- $E(\mathcal{O}_3) = \min\{5, 5, 4, 3, 4, 4\} = 3$ .



# Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)

Introdução

Transformada  
Imagem-Floresta  
Orientada (OIFT)

Função de  
conexidade  
(1ª versão)

Propagação dos  
caminhos  
(1ª versão)

Corte interno  
(1ª versão)

Função de  
conexidade  
(2ª versão)

Propagação dos  
caminhos  
(2ª versão)

Corte interno  
(2ª versão)

Polaridade de borda

- Entrada:
  - ◆ Um dígrafo  $G = \langle \mathcal{N}, \mathcal{A}, w \rangle$  simétrico e ponderado nos arcos,
  - ◆ Dois conjuntos de sementes  $\mathcal{S}_o$  e  $\mathcal{S}_b$ , representando respectivamente objeto e fundo (*background*).

- Seja  $\mathcal{X} = \{\mathcal{O} \mid \mathcal{S}_o \subset \mathcal{O} \subset \mathcal{N} \setminus \mathcal{S}_b\}$  o conjunto de todos resultados de segmentação satisfazendo as restrições de sementes.
- A OIFT define um  $\mathcal{C}_{ext}(\mathcal{O}^*)$  corte ótimo que maximiza a energia  $E$  entre todos possíveis resultados de segmentação satisfazendo as restrições de sementes. Isto é,  $E(\mathcal{O}^*) = \max_{\mathcal{O} \in \mathcal{X}} E(\mathcal{O})$ .



# Função de conexão (1ª versão)

Introdução  
Transformada  
Imagem-Floresta  
Orientada (OIFT)

Função de  
conexidade  
(1ª versão)

Propagação dos  
caminhos  
(1ª versão)

Corte interno  
(1ª versão)

Função de  
conexidade  
(2ª versão)

Propagação dos  
caminhos  
(2ª versão)

Corte interno  
(2ª versão)

Polaridade de borda

Em sua primeira versão [Miranda e Mansilla, 2014], a OIFT corresponde a uma instância da Transformada Imagem-Floresta com a seguinte função de conexão:

$$f_{\max}^{\sigma}(\langle t \rangle) = \begin{cases} -\infty & \text{se } t \in \mathcal{S} \\ +\infty & \text{caso contrário} \end{cases}$$
$$f_{\max}^{\sigma}(\pi_{r \rightsquigarrow s} \cdot \langle s, t \rangle) = \begin{cases} \max\{f_{\max}^{\sigma}(\pi_{r \rightsquigarrow s}), 2 \times w(s, t) + 1\} & \text{se } r \in \mathcal{S}_o \\ \max\{f_{\max}^{\sigma}(\pi_{r \rightsquigarrow s}), 2 \times w(t, s)\} & \text{se } r \in \mathcal{S}_b \end{cases}$$

onde  $w(s, t) \in \mathbb{Z}$  é um peso de arco inteiro e  $\mathcal{S} = \mathcal{S}_o \cup \mathcal{S}_b$  é um conjunto de sementes.

*P.A.V. Miranda, L.A.C. Mansilla*

**Oriented Image Foresting Transform Segmentation by Seed Competition,**  
IEEE Transactions on Image Processing.

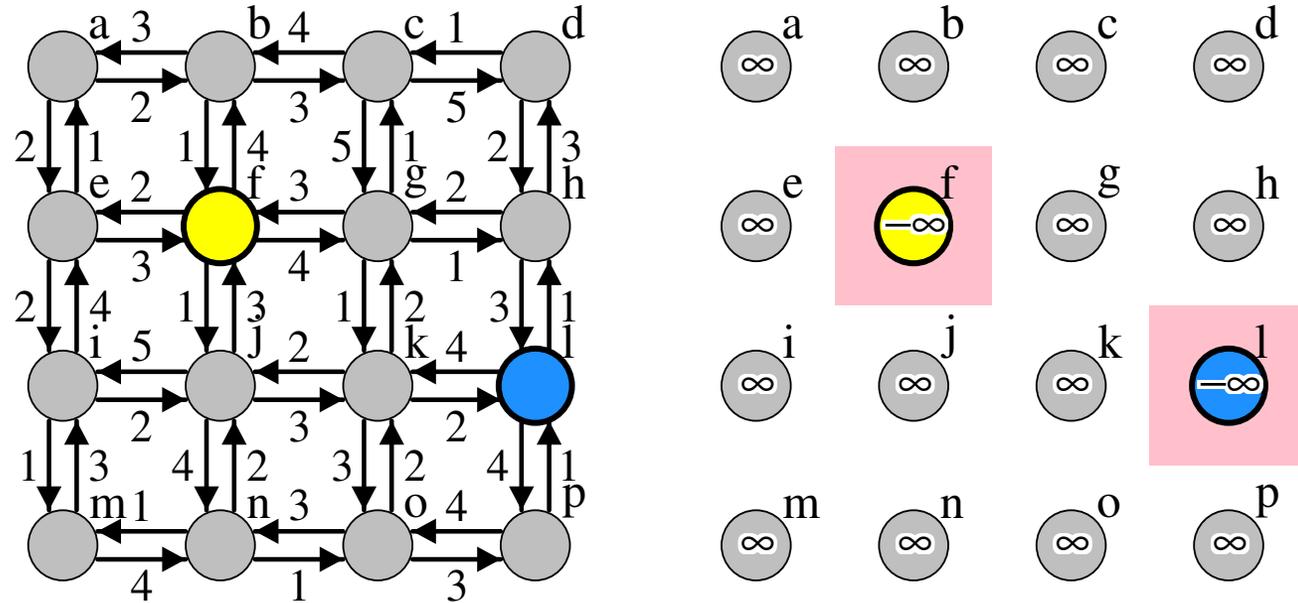
Jan 2014, vol. 23, no. 1, pp. 389-398.



# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :

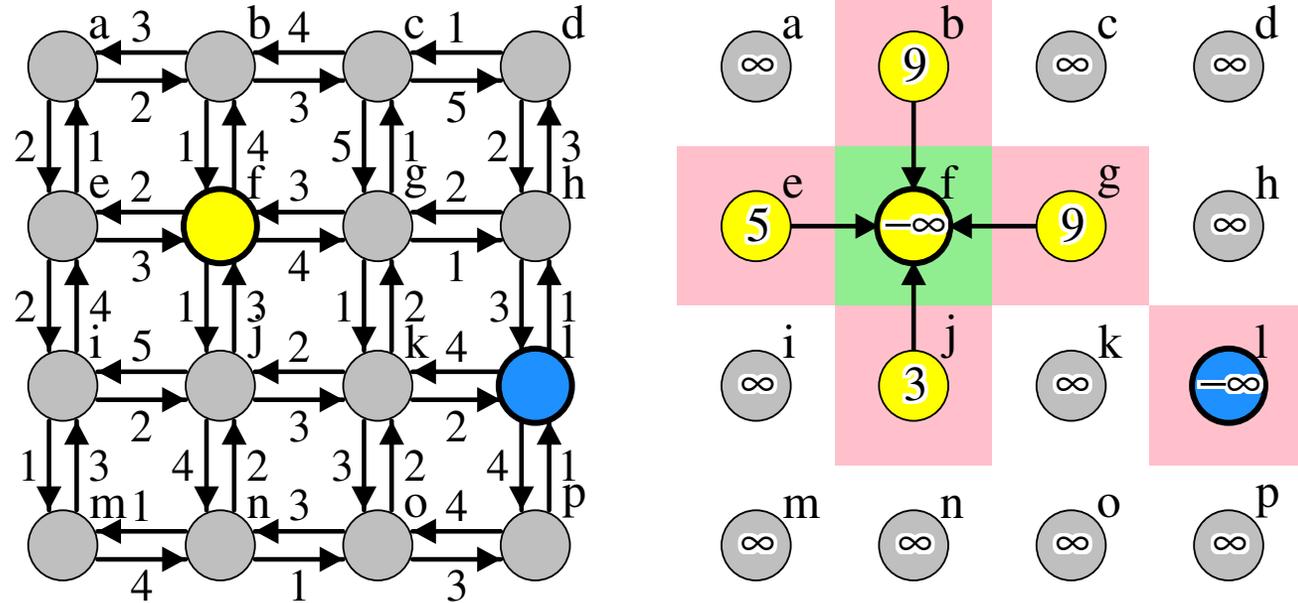




# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



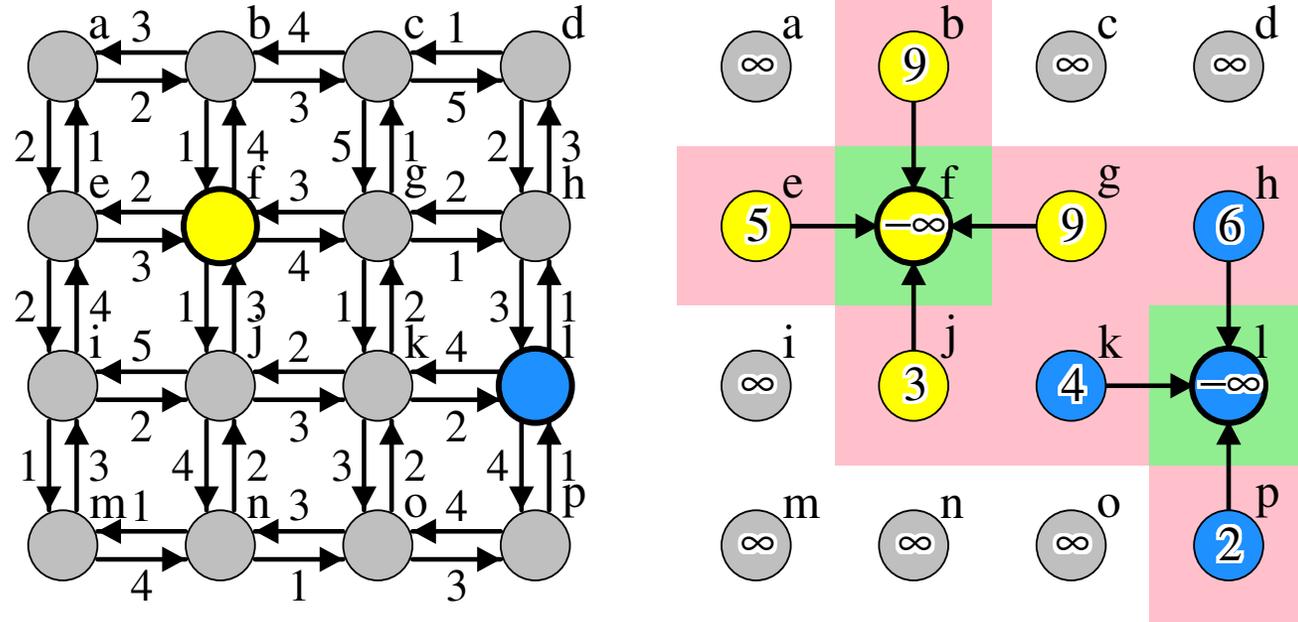
após 1 iteração.



# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



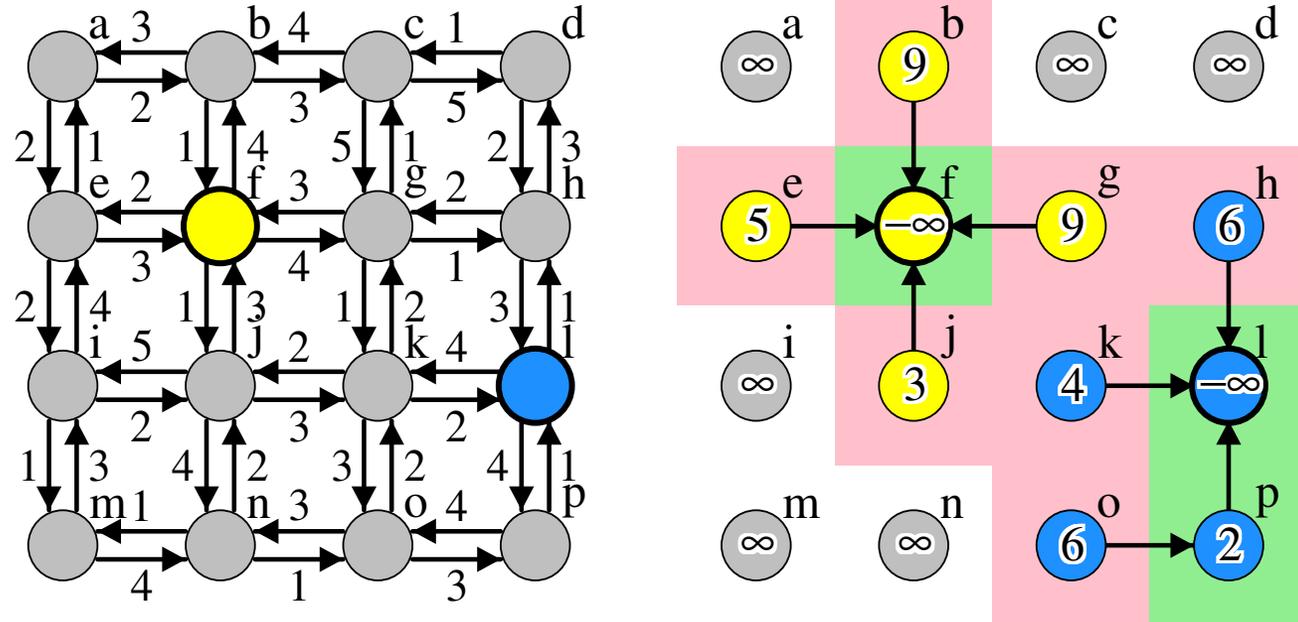
após 2 iterações.



# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



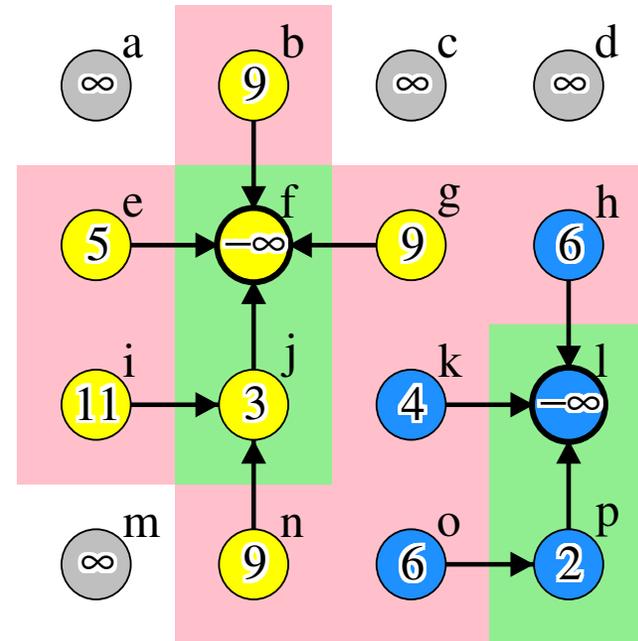
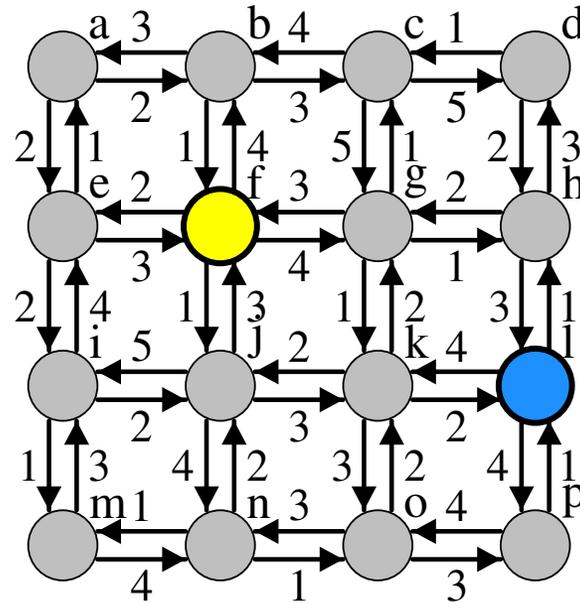
após 3 iterações.



# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



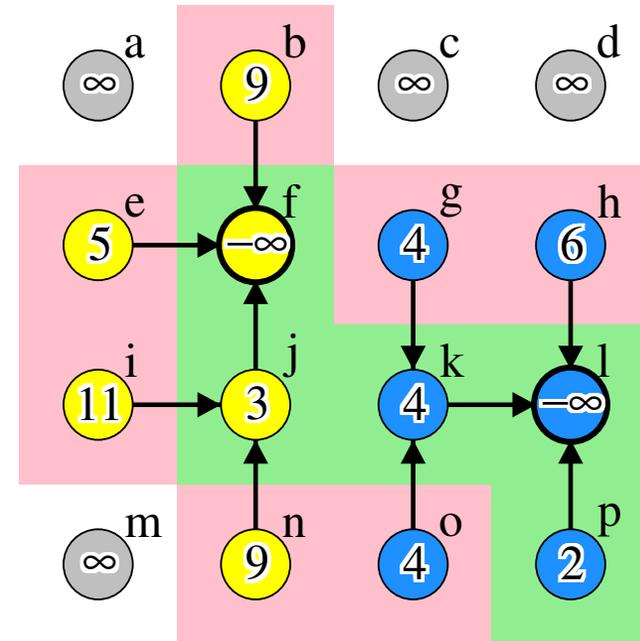
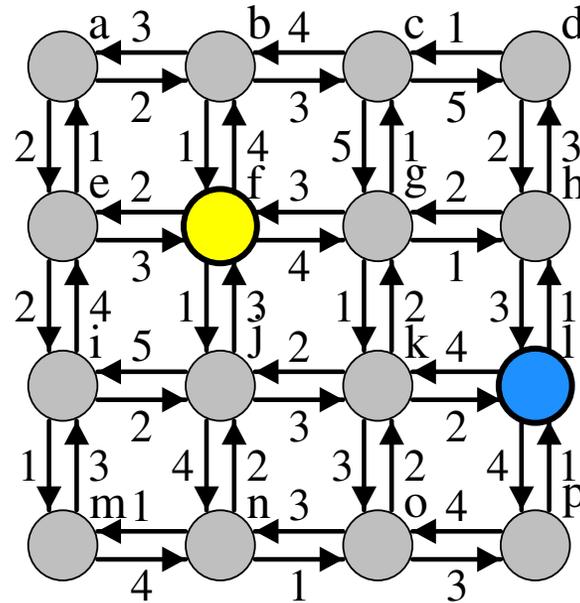
após 4 iterações.



# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



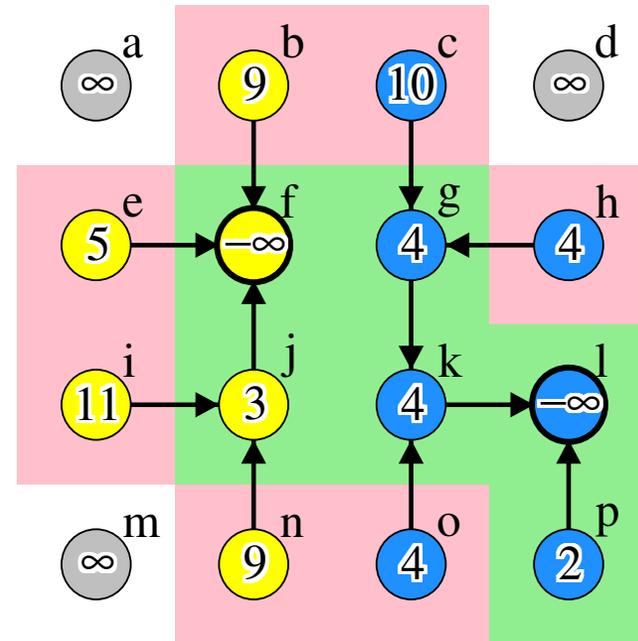
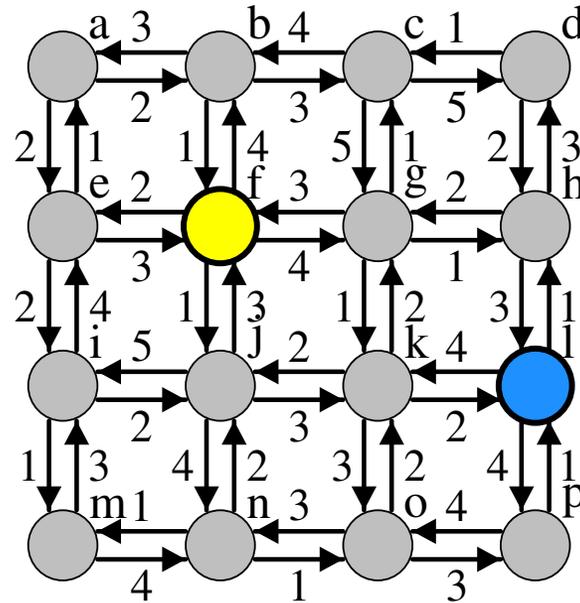
após 5 iterações.



# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



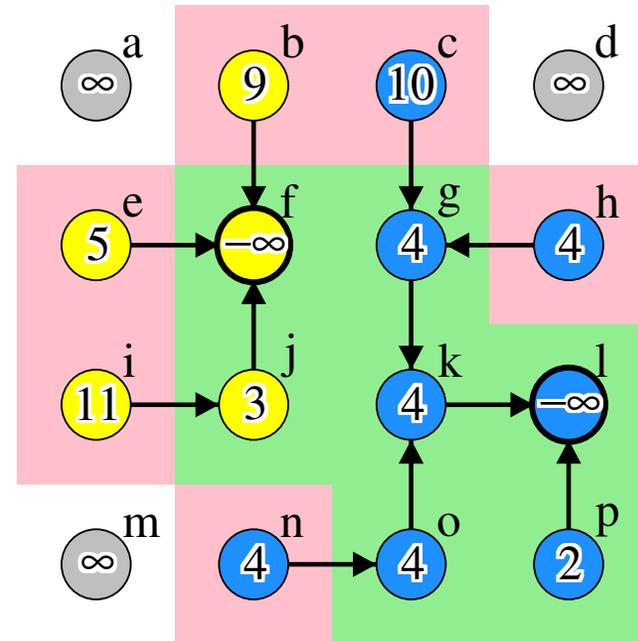
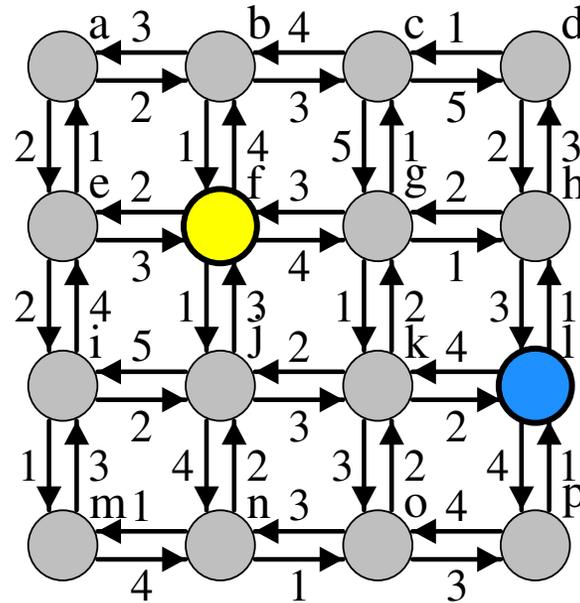
após 6 iterações.



# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



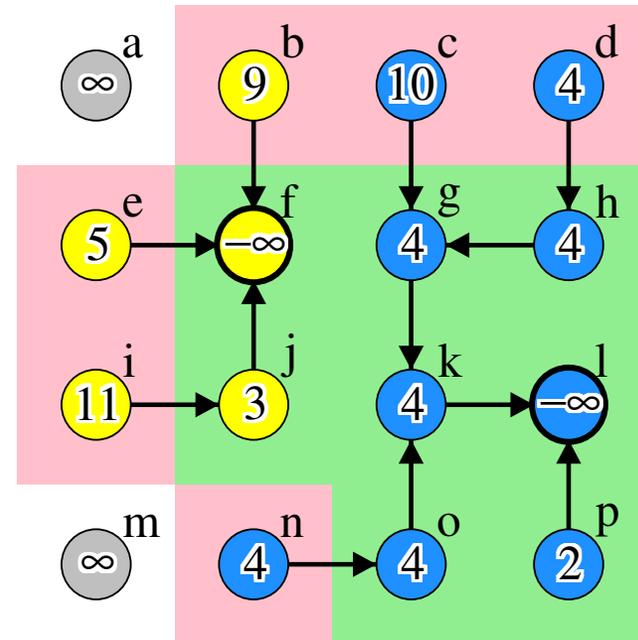
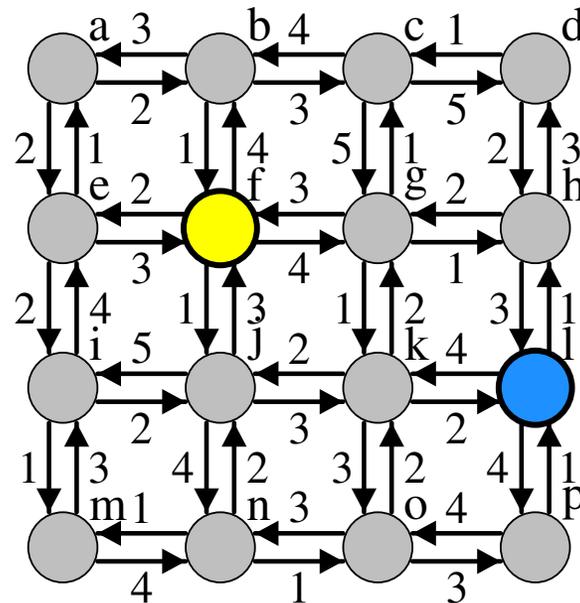
após 7 iterações.



# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



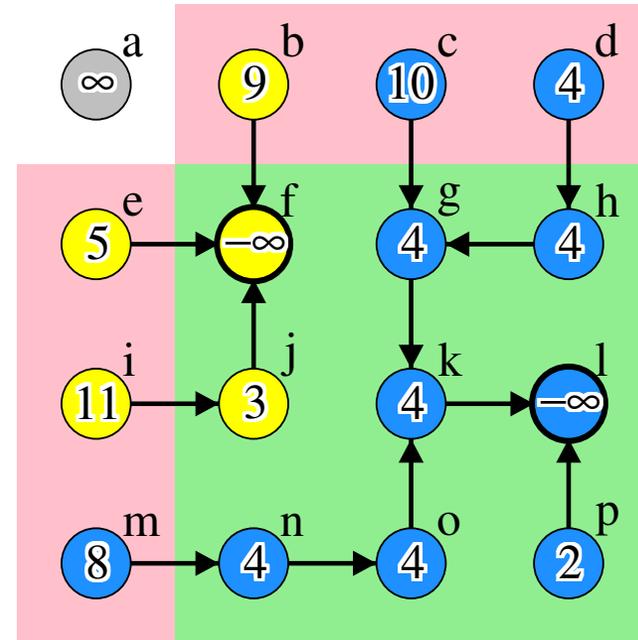
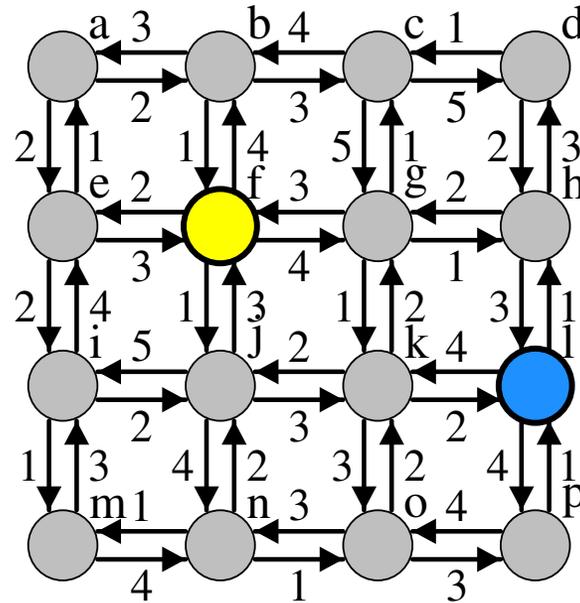
após 8 iterações.



# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



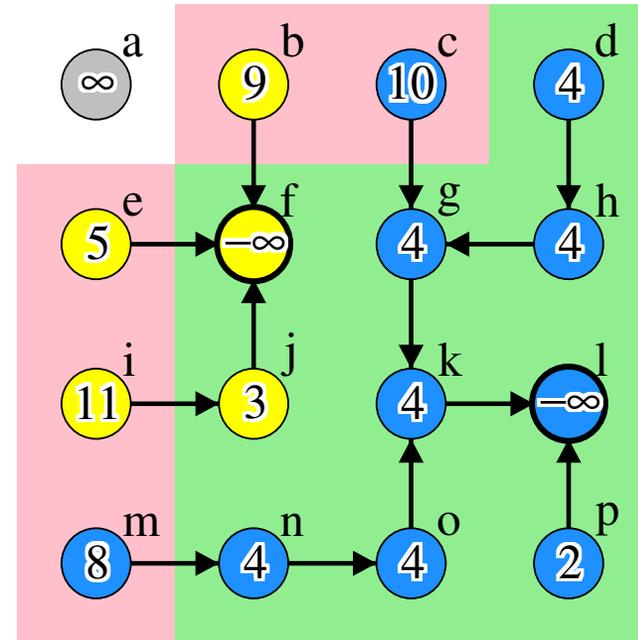
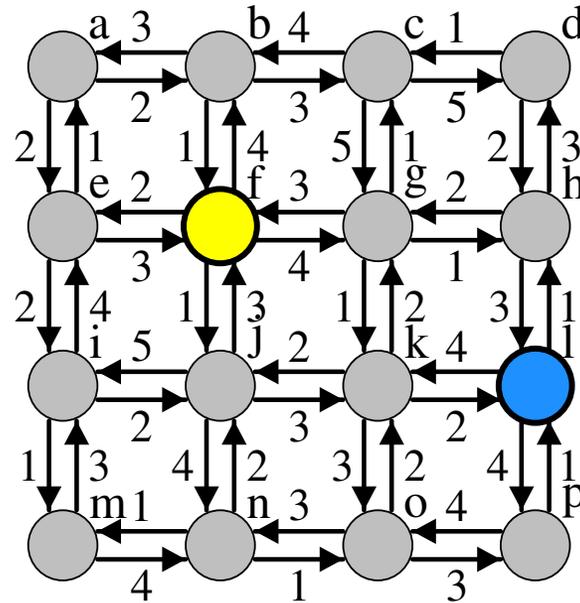
após 9 iterações.



# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



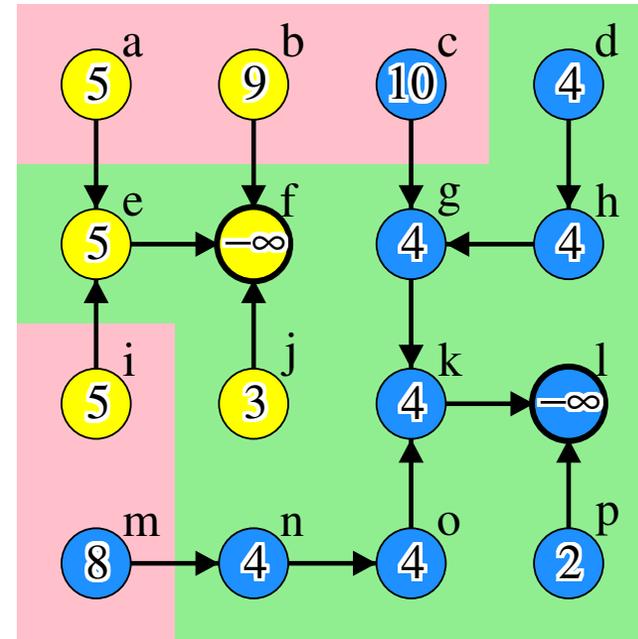
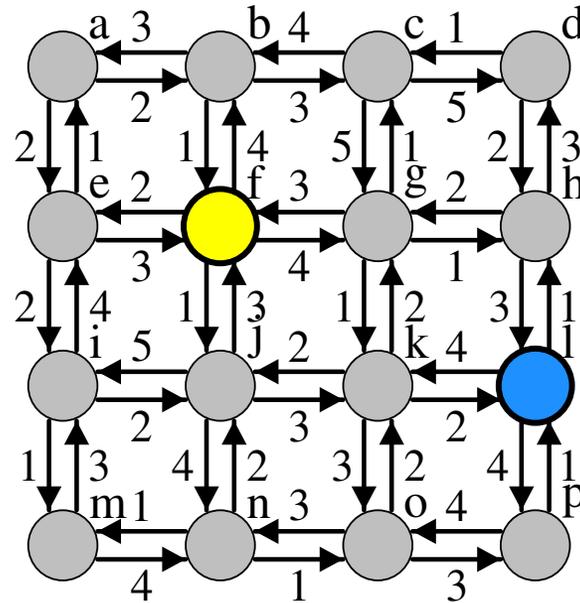
após 10 iterações.



# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



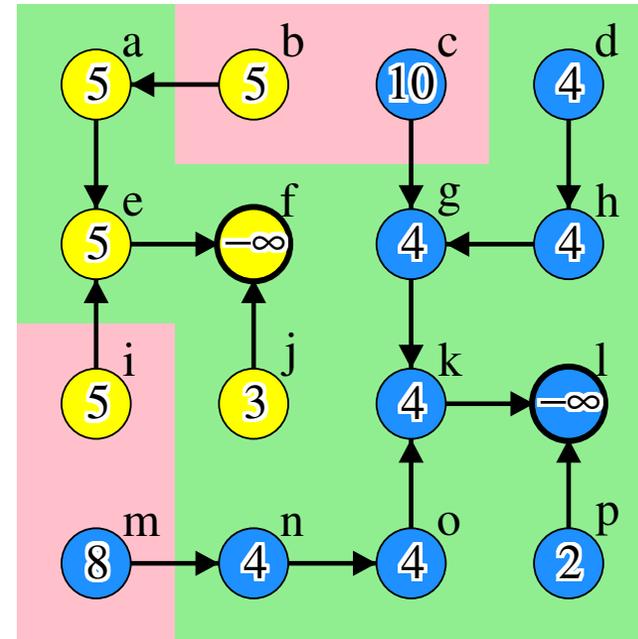
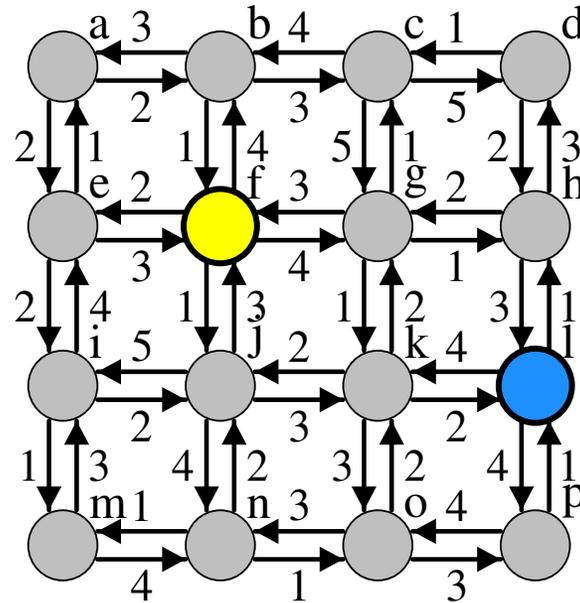
após 11 iterações.



# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



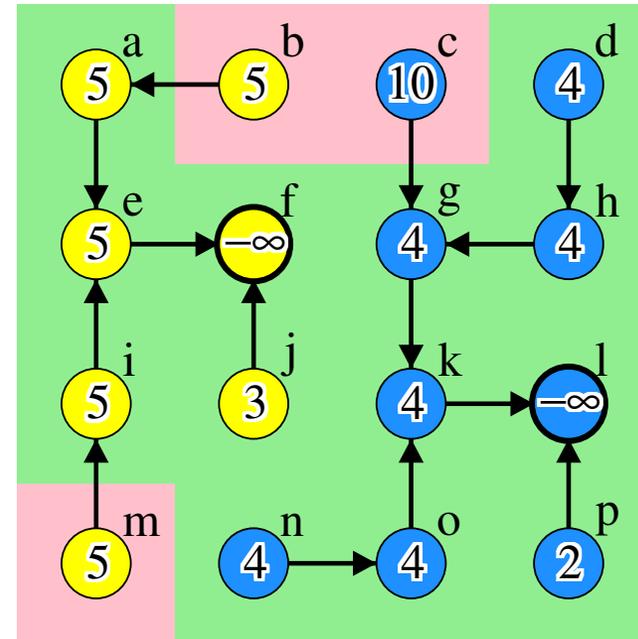
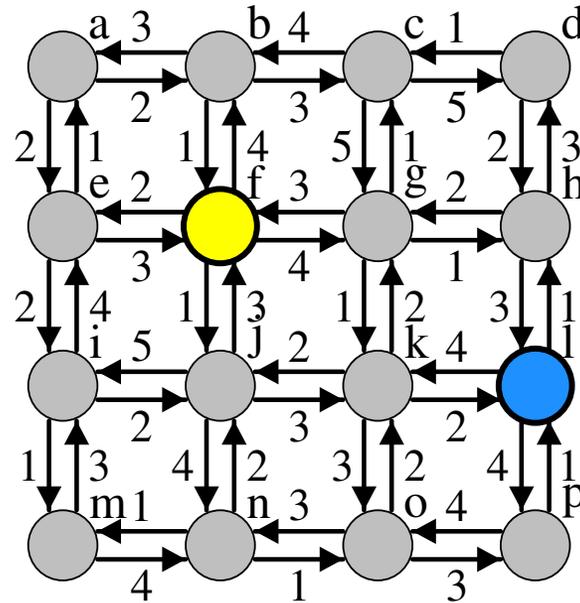
após 12 iterações.



# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



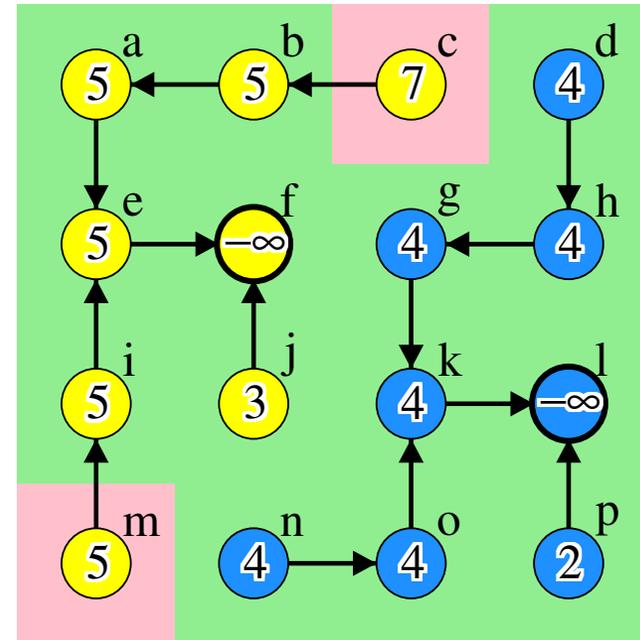
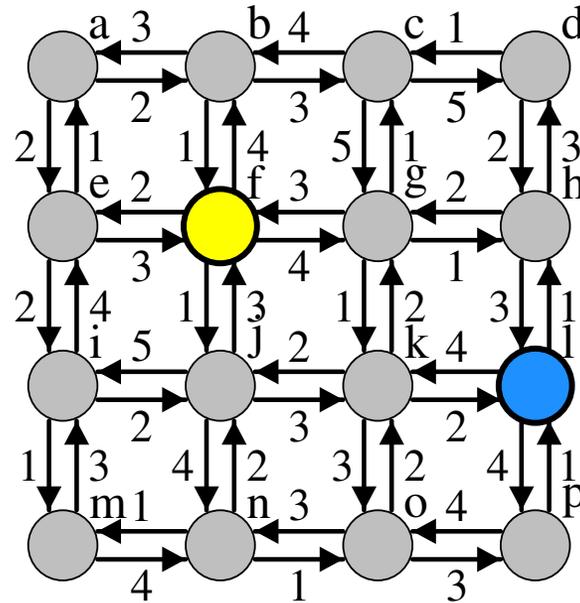
após 13 iterações.



# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



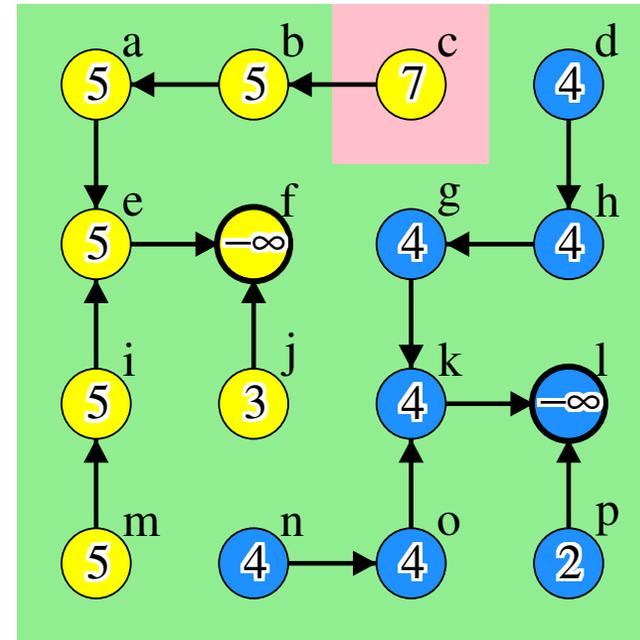
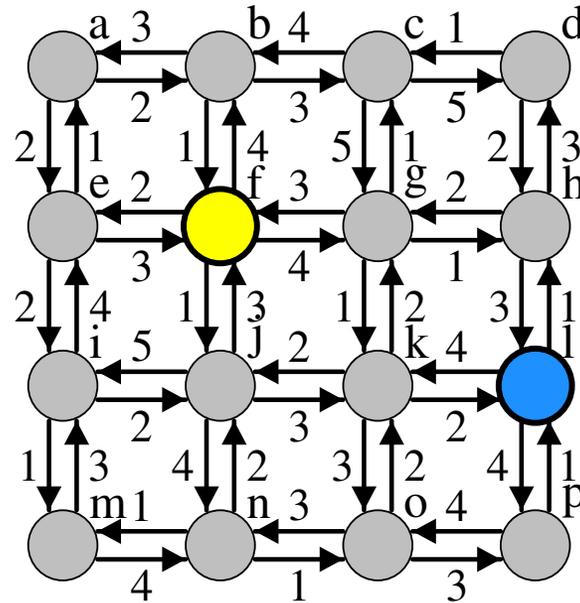
após 14 iterações.



# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



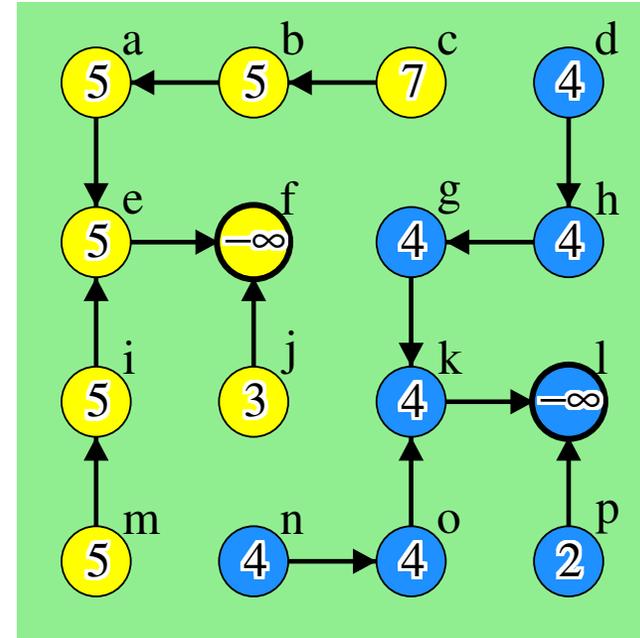
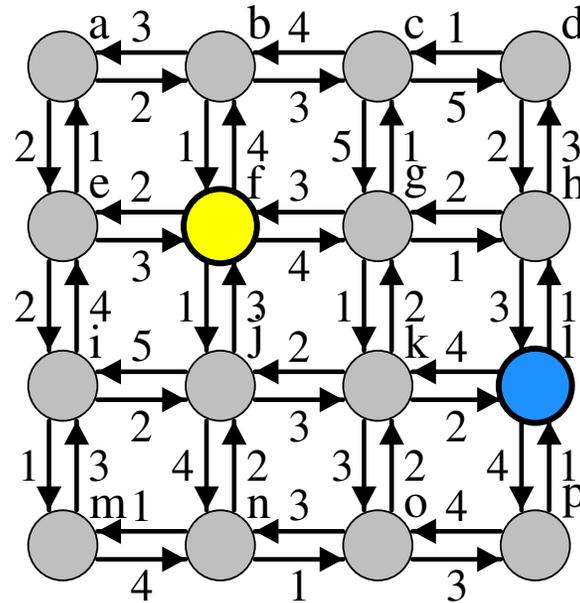
após 15 iterações.



# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



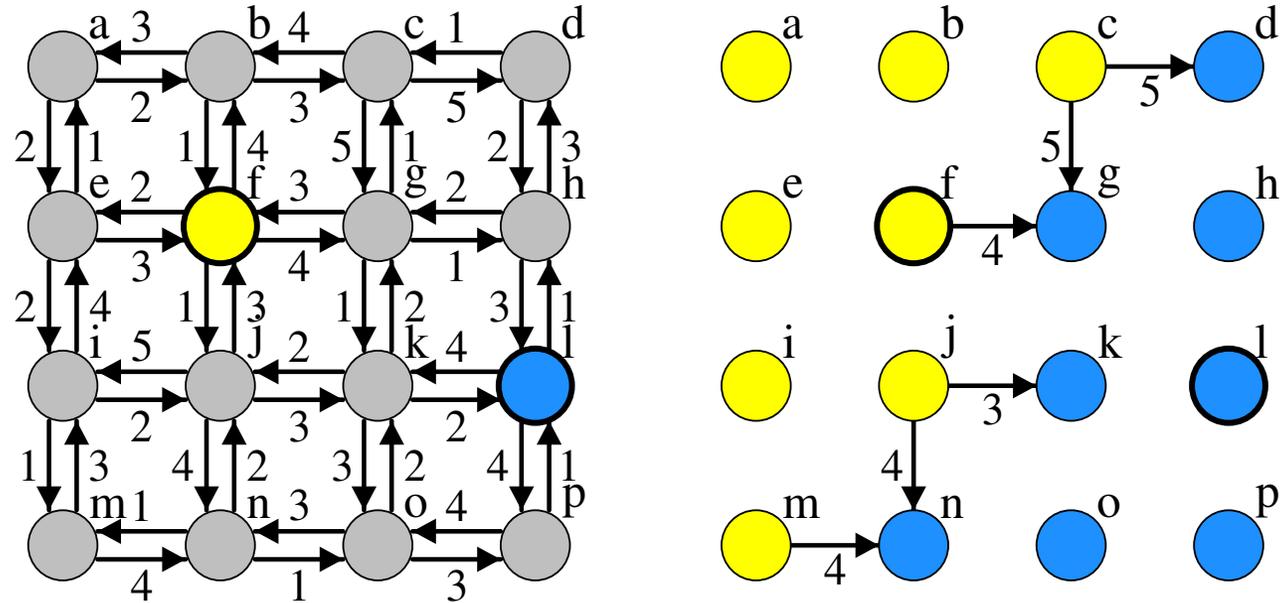
após 16 iterações.



# Propagação dos caminhos (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)**
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



corte ótimo da segmentação resultante.



# Corte interno (1ª versão)

- Introdução
- Transformada  
Imagem-Floresta  
Orientada (OIFT)
- Função de  
conexidade  
(1ª versão)
- Propagação dos  
caminhos  
(1ª versão)
- Corte interno  
(1ª versão)**
- Função de  
conexidade  
(2ª versão)
- Propagação dos  
caminhos  
(2ª versão)
- Corte interno  
(2ª versão)
- Polaridade de borda

Para obter o corte interno ótimo, podemos:

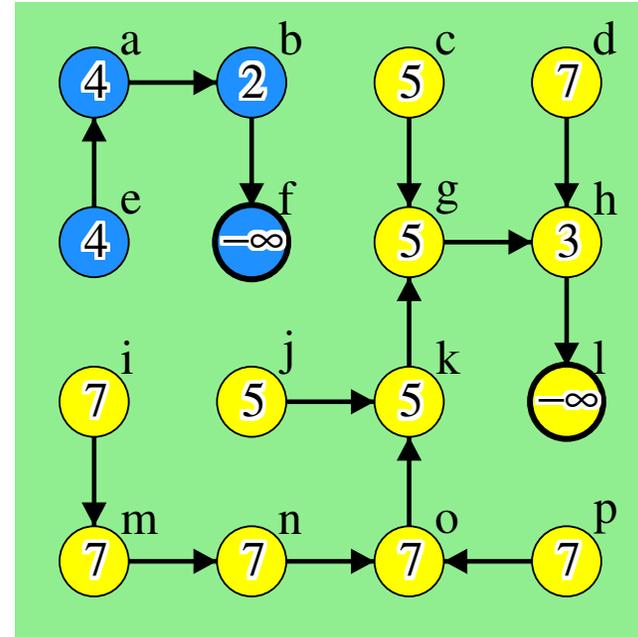
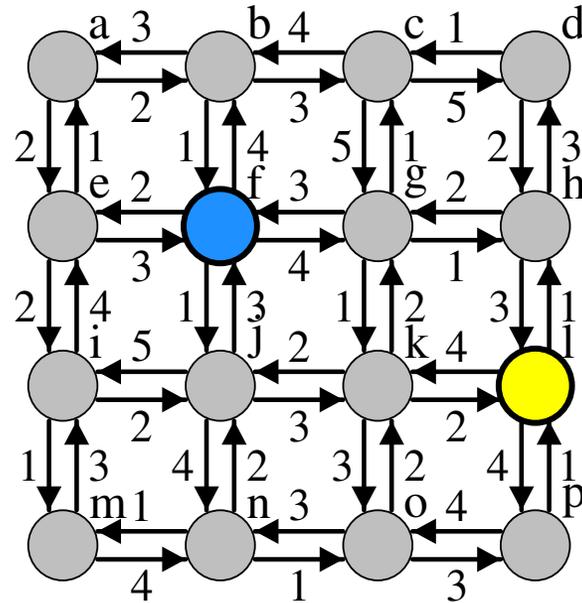
- inverter os rótulos das sementes,
- rodar a OIFT de corte externo,
- inverter os rótulos da segmentação resultante.



# Corte interno (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)**
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



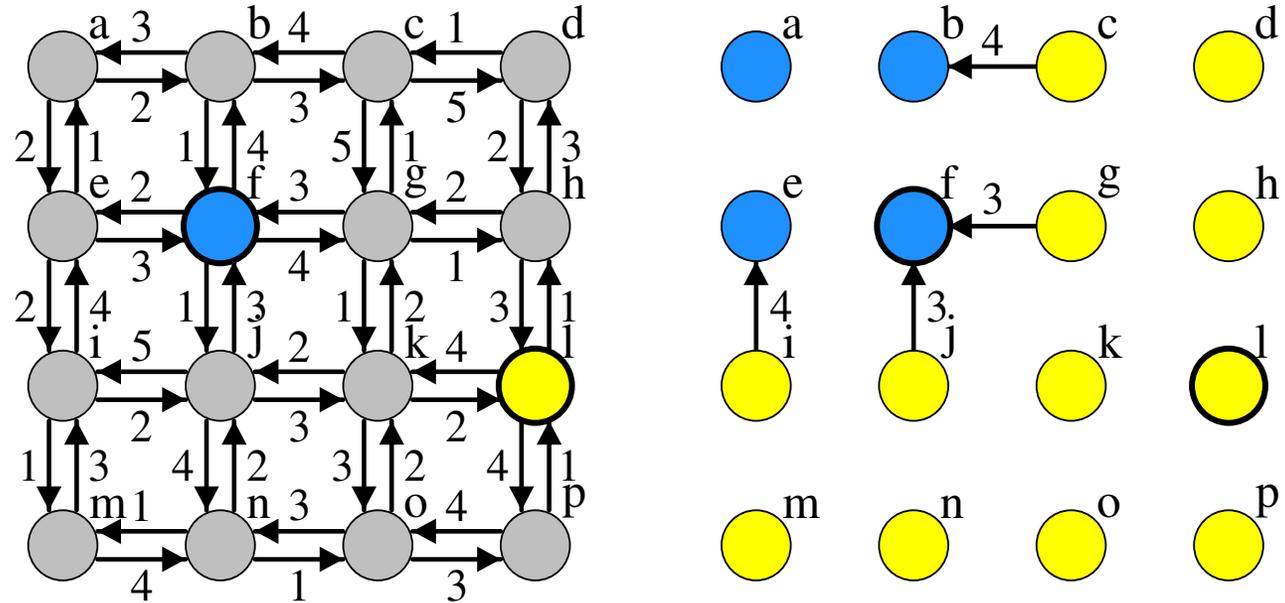
após 16 iterações.



# Corte interno (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)**
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



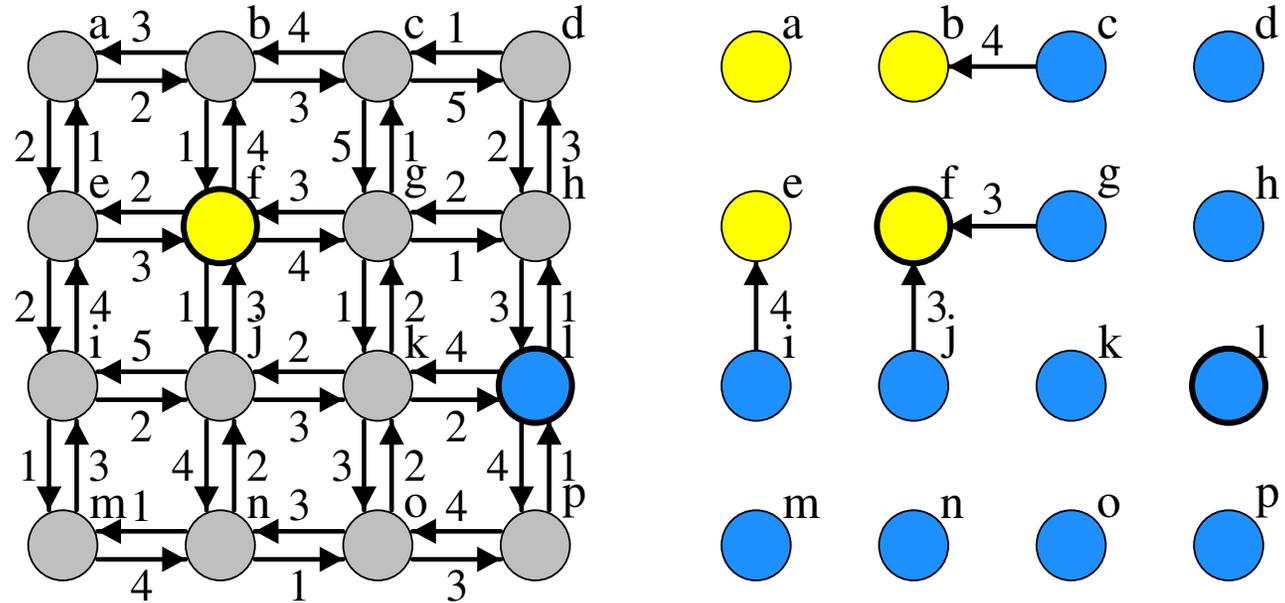
corte ótimo da segmentação resultante.



# Corte interno (1ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)**
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_{\max}^{\sigma}$ :



corte interno ótimo, invertendo os rótulos.



## Função de conexidade (2ª versão)

Introdução  
Transformada  
Imagem-Floresta  
Orientada (OIFT)

Função de  
conexidade  
(1ª versão)  
Propagação dos  
caminhos  
(1ª versão)  
Corte interno  
(1ª versão)

Função de  
conexidade  
(2ª versão)

Propagação dos  
caminhos  
(2ª versão)  
Corte interno  
(2ª versão)

Polaridade de borda

Em sua segunda versão [Mansilla e Miranda, 2013], a OIFT corresponde a uma instância da Transformada Imagem-Floresta com a seguinte função de conexidade:

$$f_w^{\sigma}(\langle t \rangle) = \begin{cases} -\infty & \text{se } t \in \mathcal{S} \\ +\infty & \text{caso contrário} \end{cases}$$
$$f_w^{\sigma}(\pi_{r \rightsquigarrow s} \cdot \langle s, t \rangle) = \begin{cases} w(s, t) & \text{se } r \in \mathcal{S}_o \\ w(t, s) & \text{se } r \in \mathcal{S}_b \end{cases}$$

onde  $w(s, t) \in \mathbb{R}$  é um peso de arco e  $\mathcal{S} = \mathcal{S}_o \cup \mathcal{S}_b$  é um conjunto de sementes.

*L.A.C. Mansilla, P.A.V. Miranda*

**Image Segmentation by Oriented Image Foresting Transform: Handling Ties and Colored Images,**

18th International Conference on Digital Signal Processing (DSP).

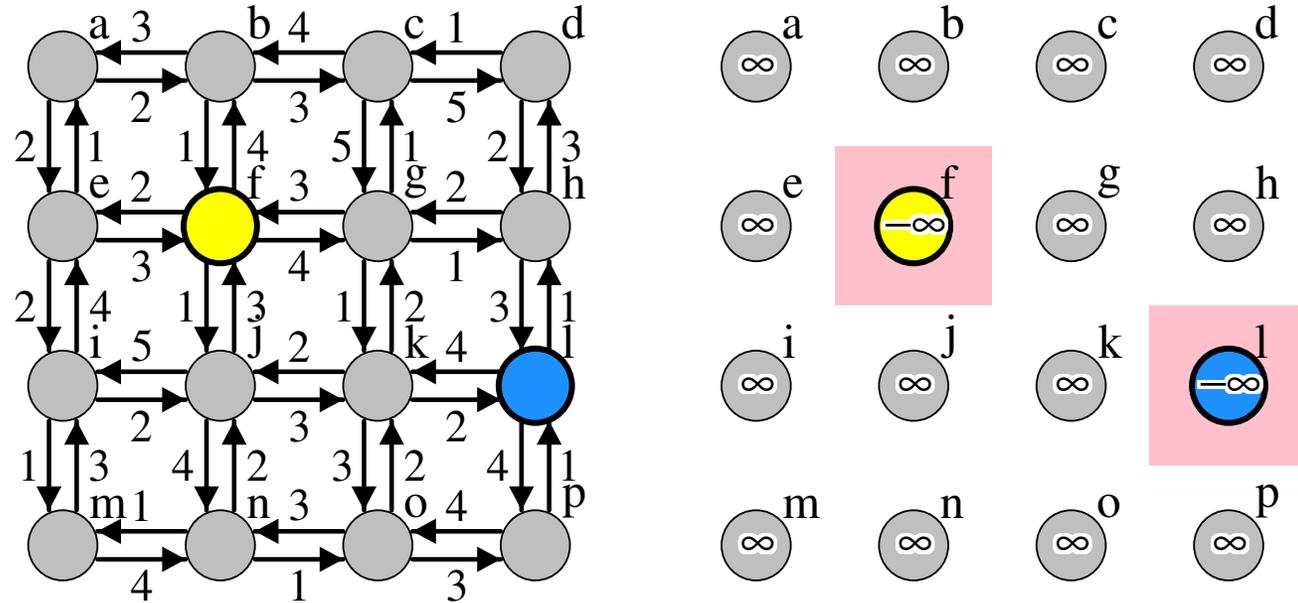
Jul 2013, Santorini, Greece, pp. 1-6.



# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)**
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):

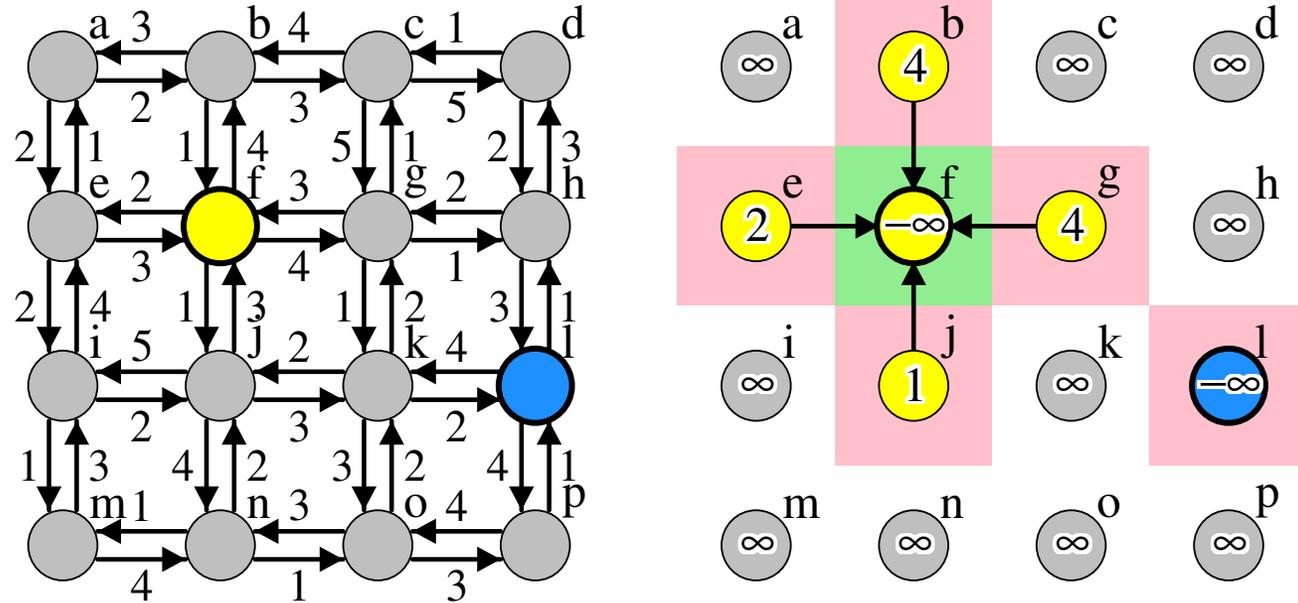




# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)**
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



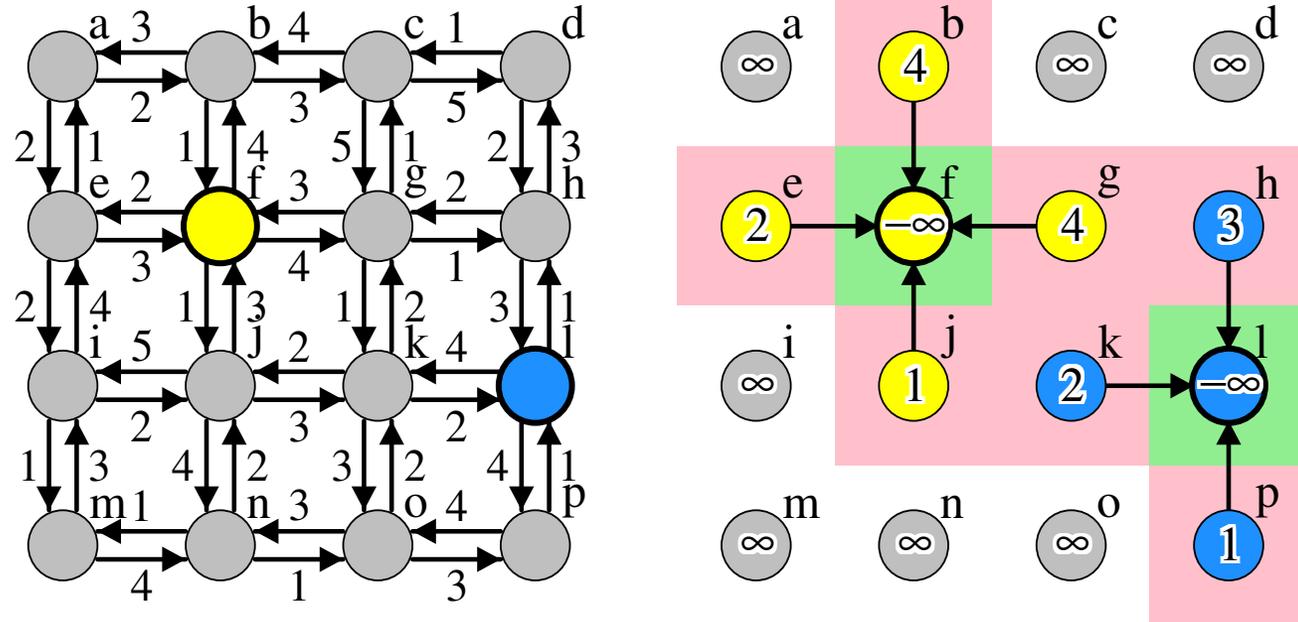
após 1 iteração.



# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)**
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



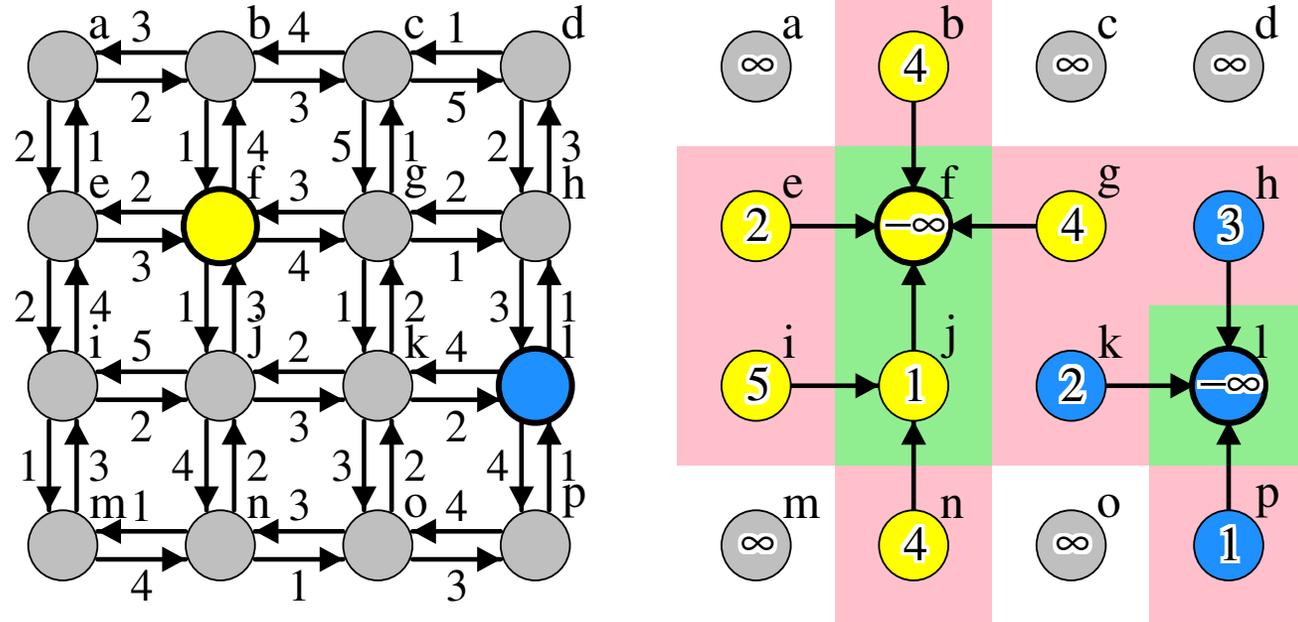
após 2 iterações.



# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)**
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



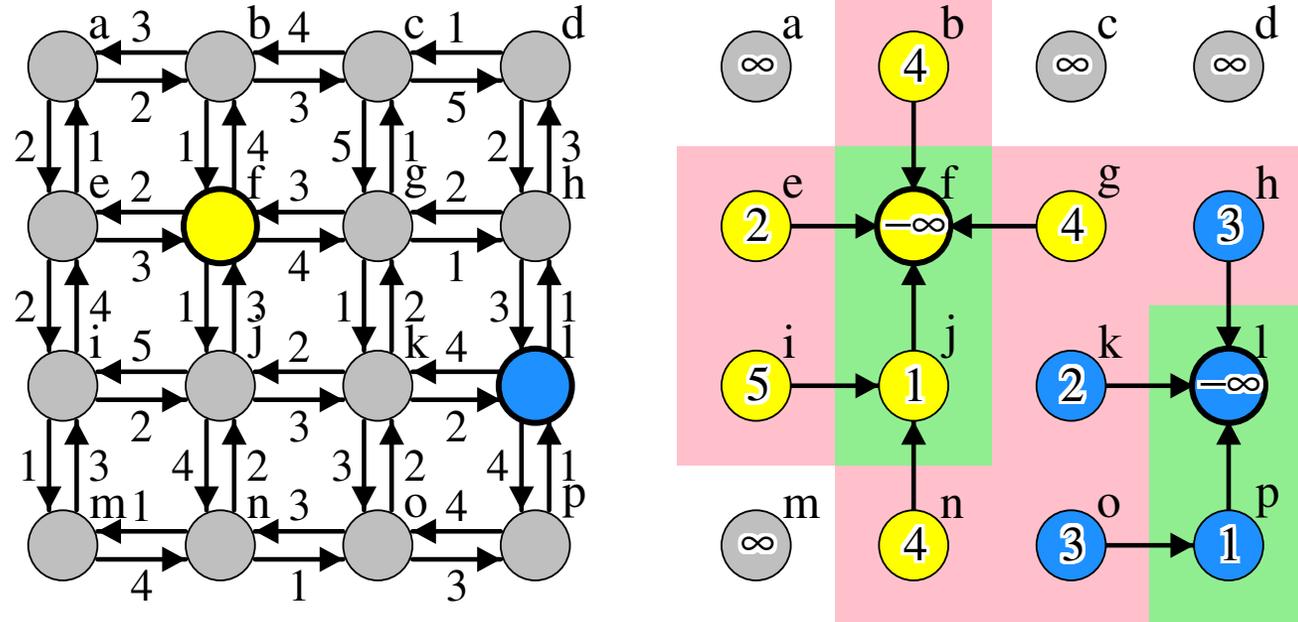
após 3 iterações.



# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)**
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



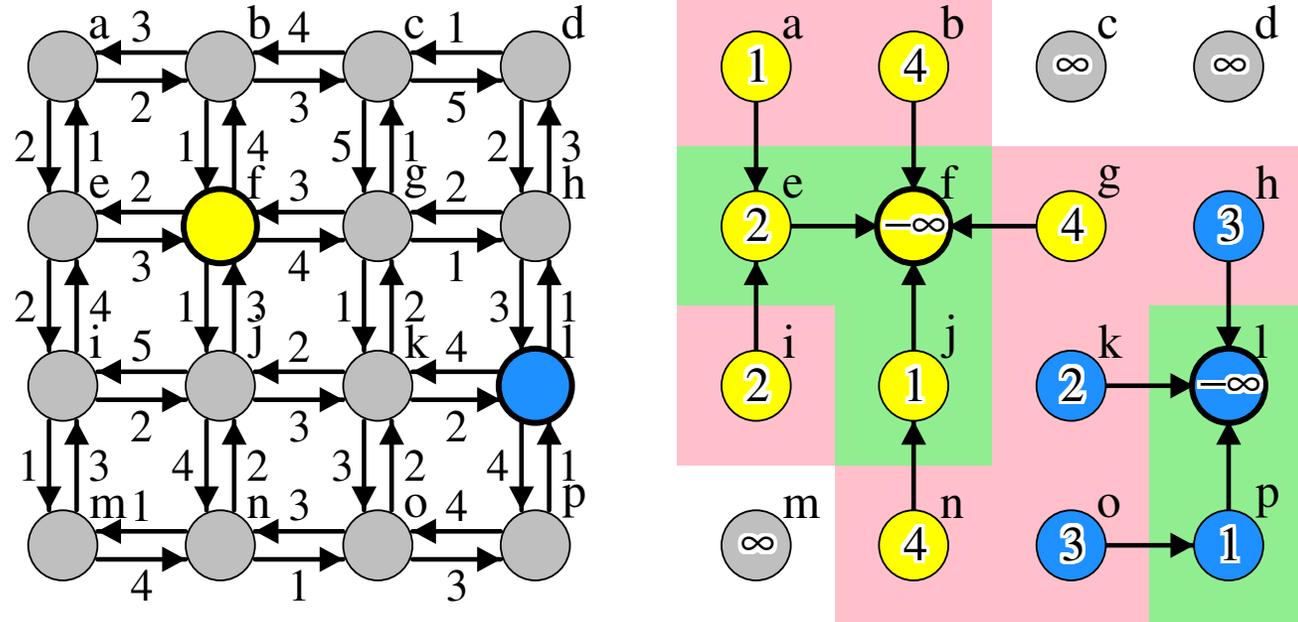
após 4 iterações.



# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)**
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



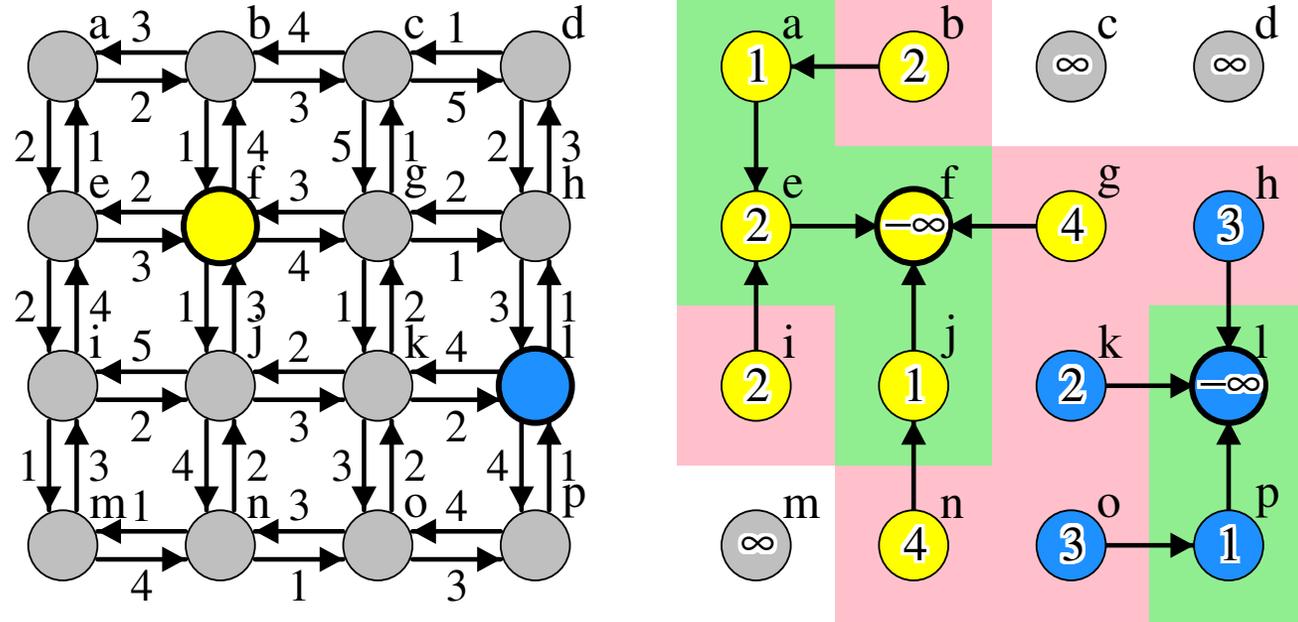
após 5 iterações.



# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)**
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



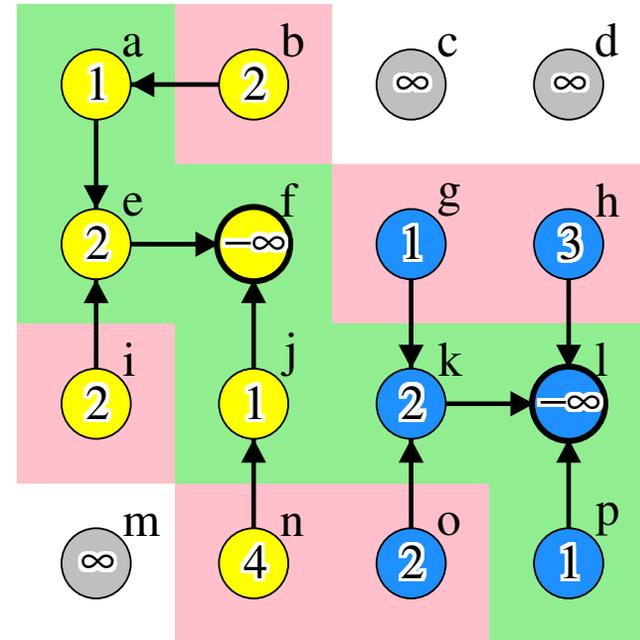
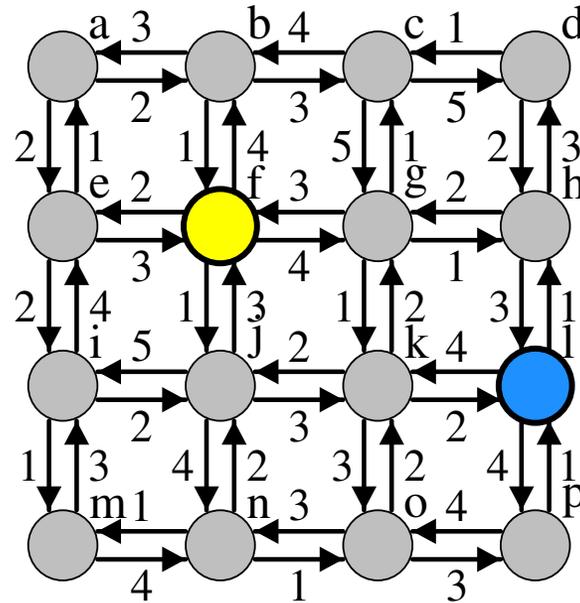
após 6 iterações.



# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)**
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



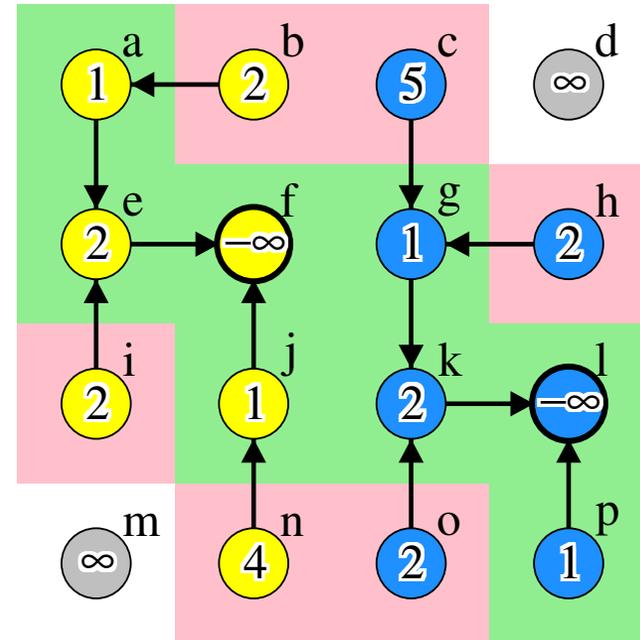
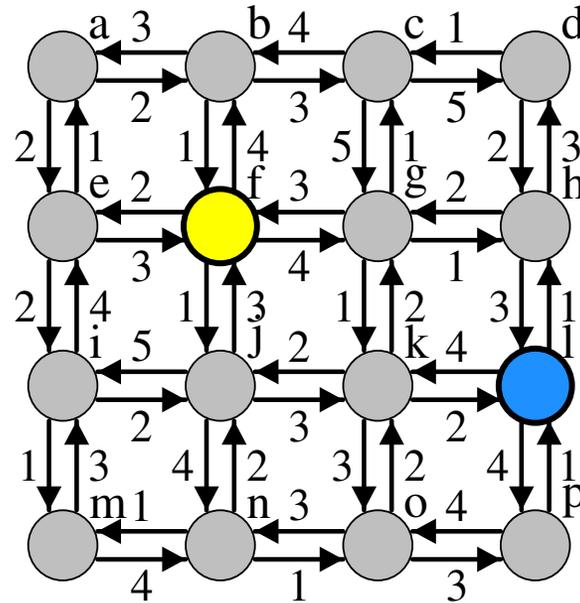
após 7 iterações.



# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)**
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



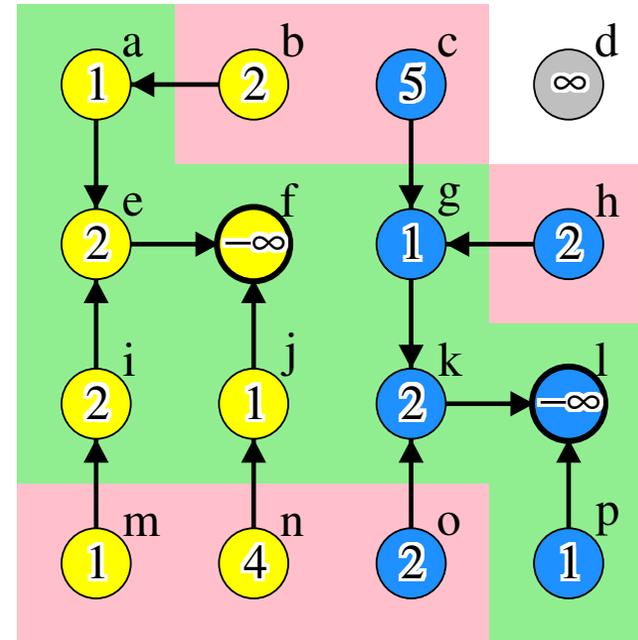
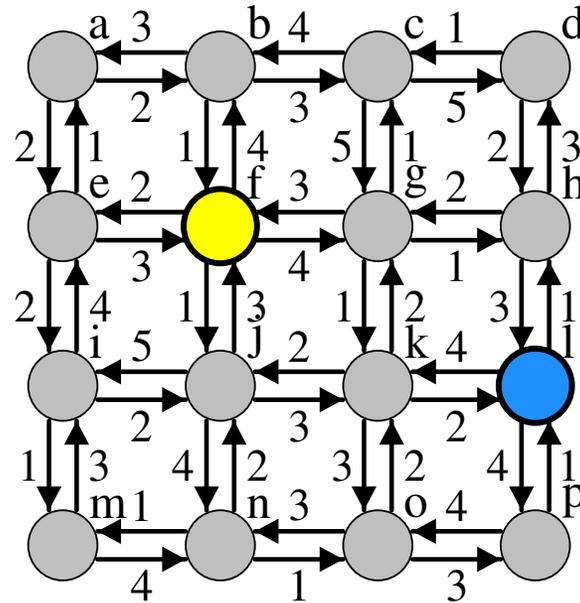
após 8 iterações.



# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)**
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



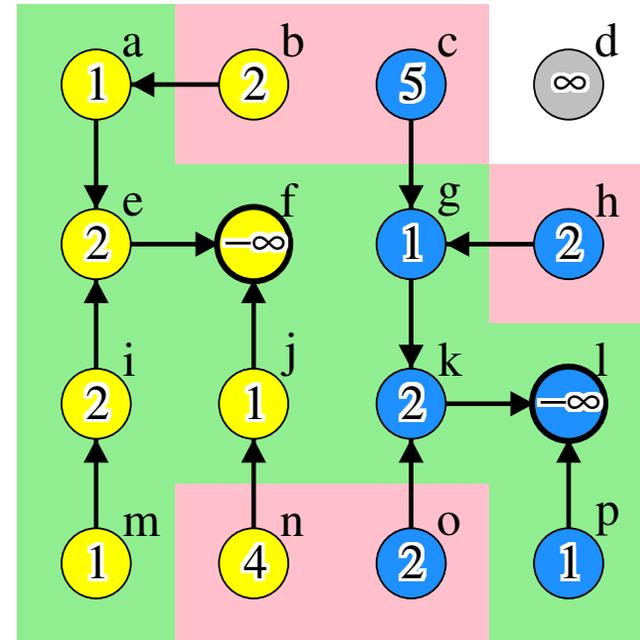
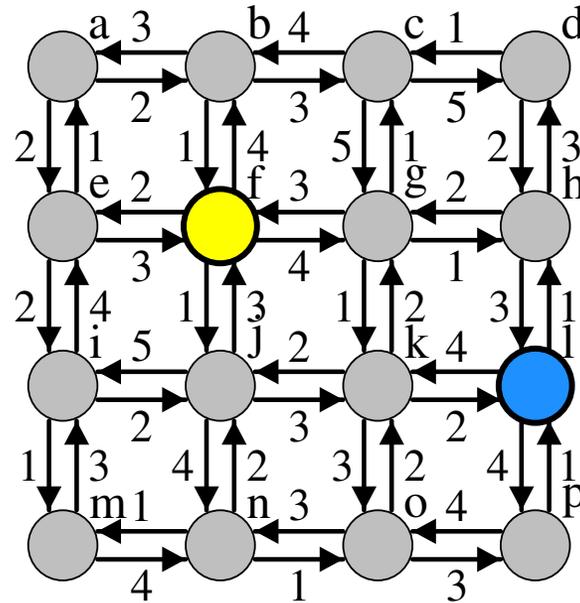
após 9 iterações.



# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)**
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



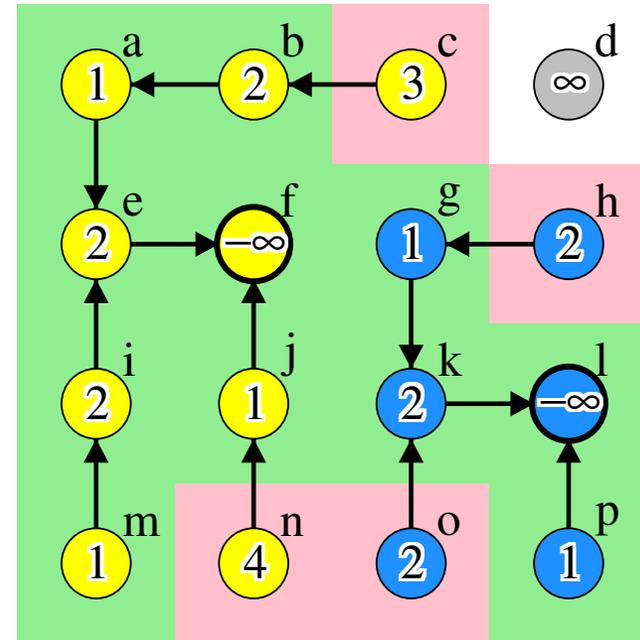
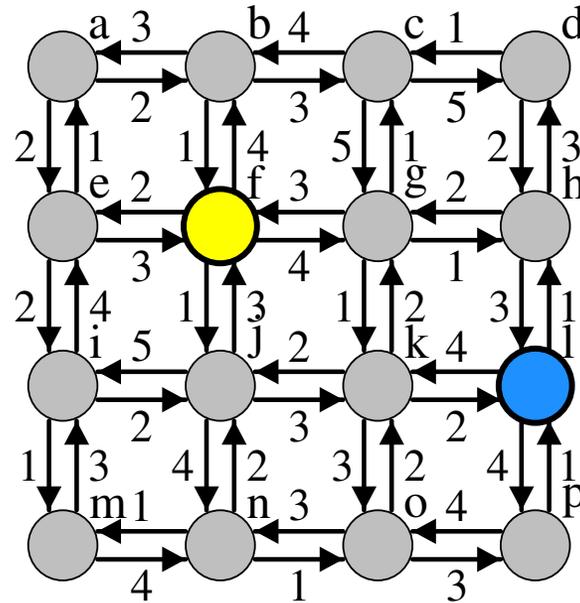
após 10 iterações.



# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)**
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



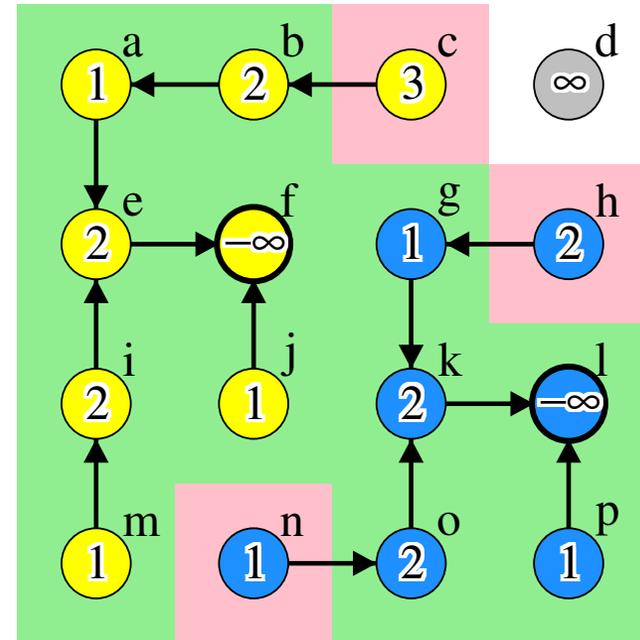
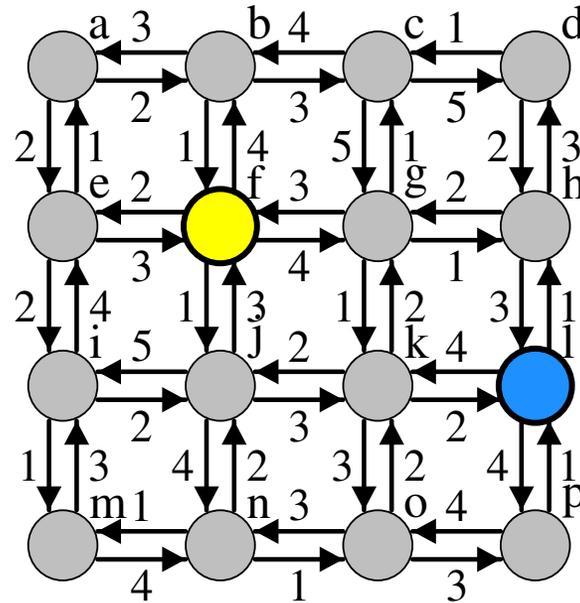
após 11 iterações.



# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)**
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



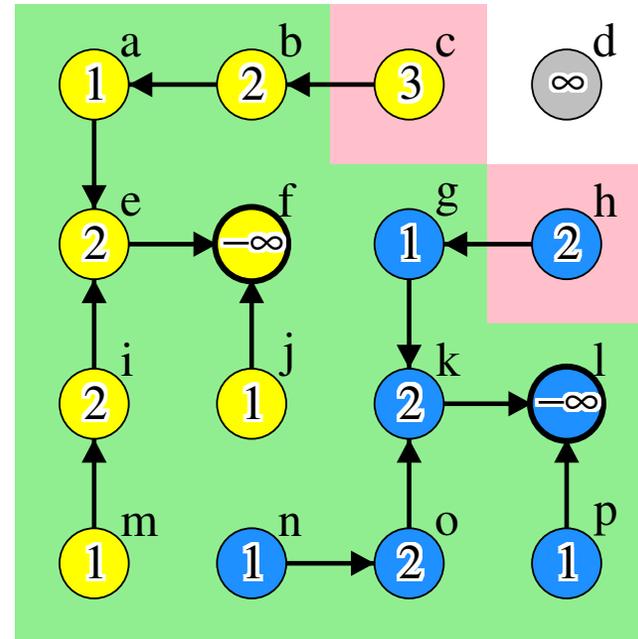
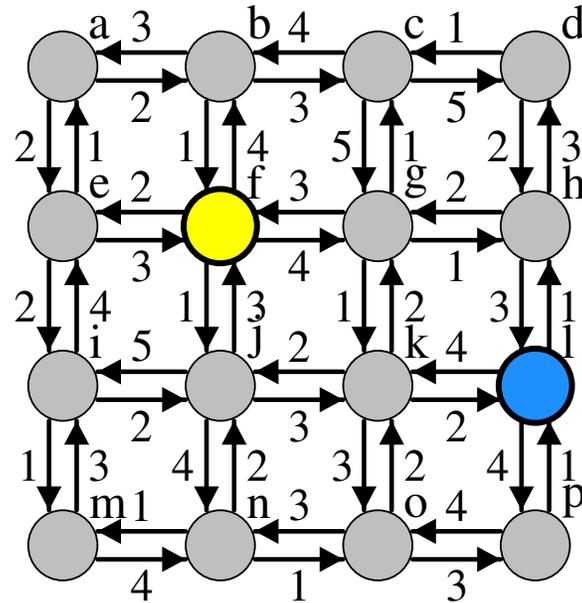
após 12 iterações.



# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)**
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



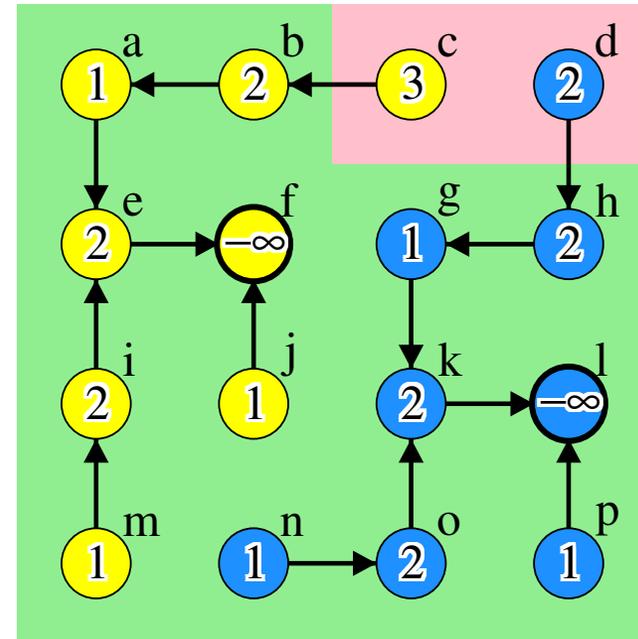
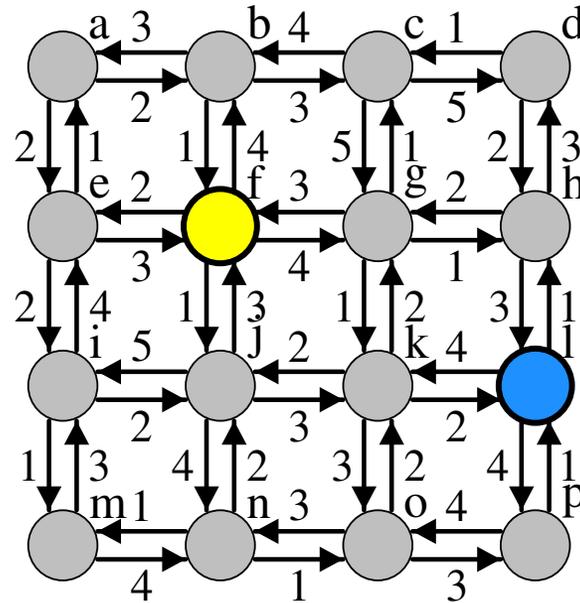
após 13 iterações.



# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)**
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



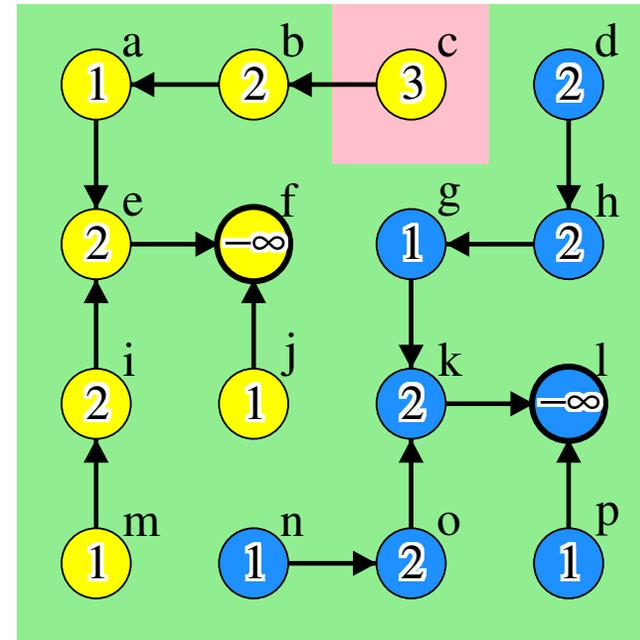
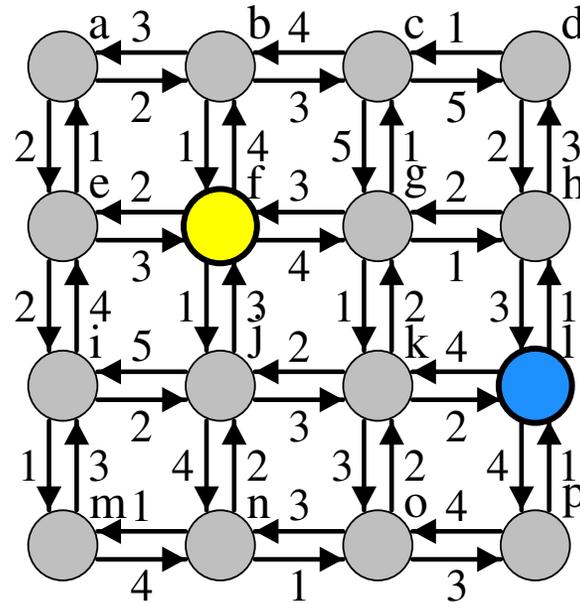
após 14 iterações.



# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)**
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



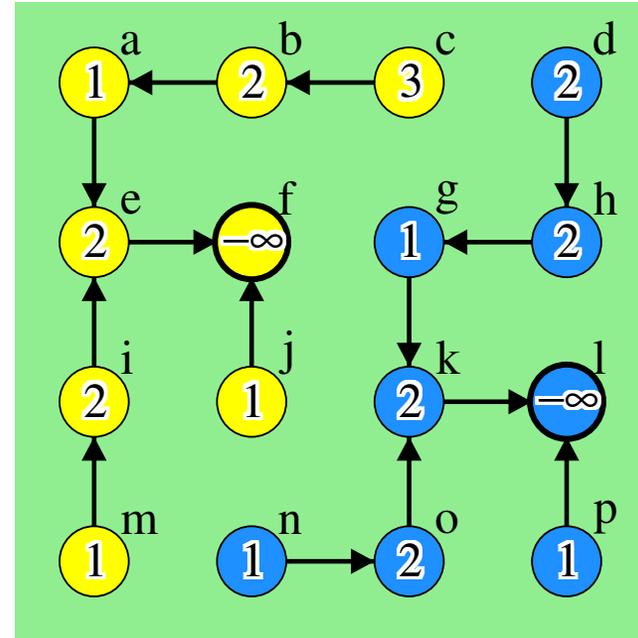
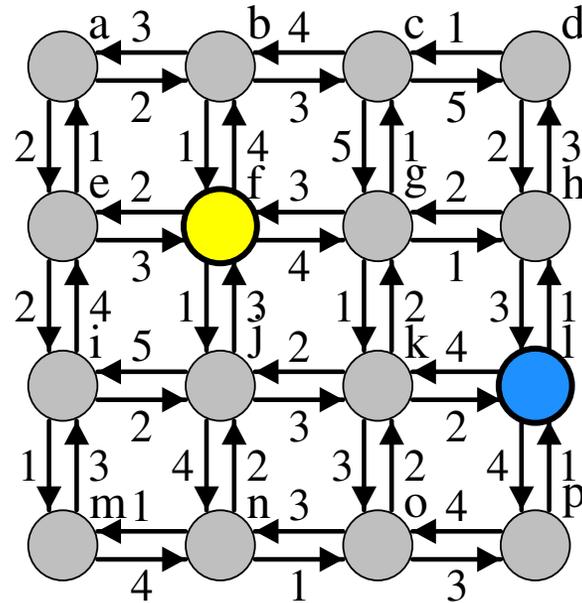
após 15 iterações.



# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



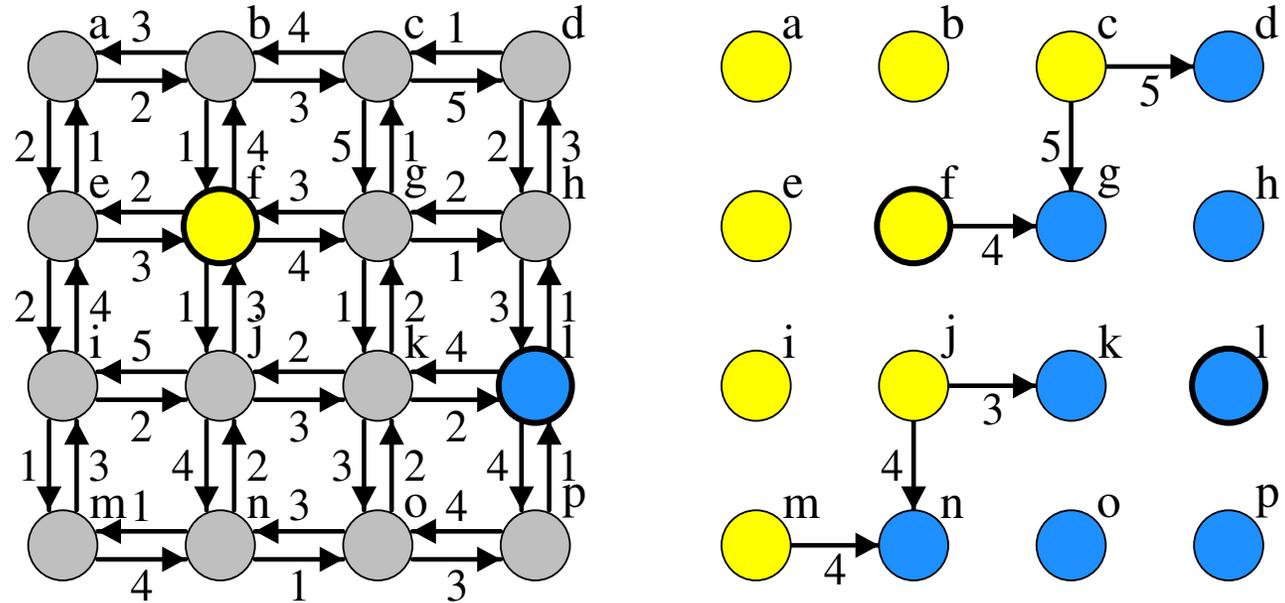
após 16 iterações.



# Propagação dos caminhos (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)**
- Corte interno (2ª versão)
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\nearrow}$  (desempate FIFO):



corte ótimo da segmentação resultante.



## Corte interno (2ª versão)

- Introdução
- Transformada
- Imagem-Floresta
- Orientada (OIFT)
- Função de
- conexidade
- (1ª versão)
- Propagação dos
- caminhos
- (1ª versão)
- Corte interno
- (1ª versão)
- Função de
- conexidade
- (2ª versão)
- Propagação dos
- caminhos
- (2ª versão)
- Corte interno**
- (2ª versão)**
- Polaridade de borda

Para obter o corte interno ótimo, podemos:

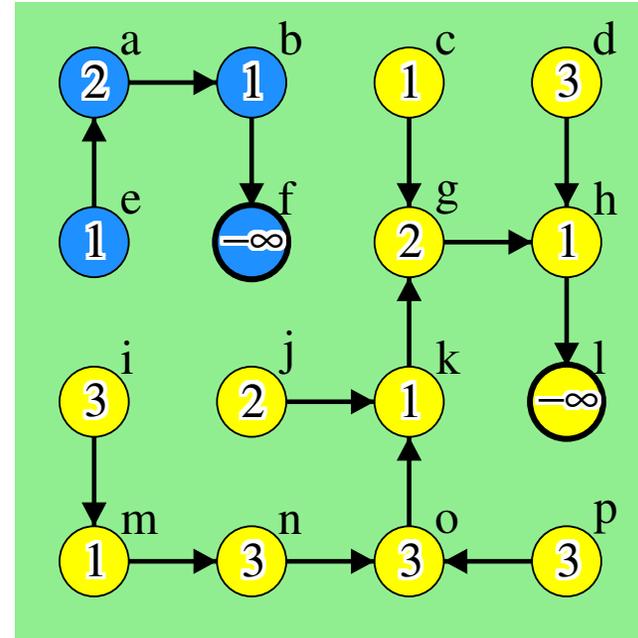
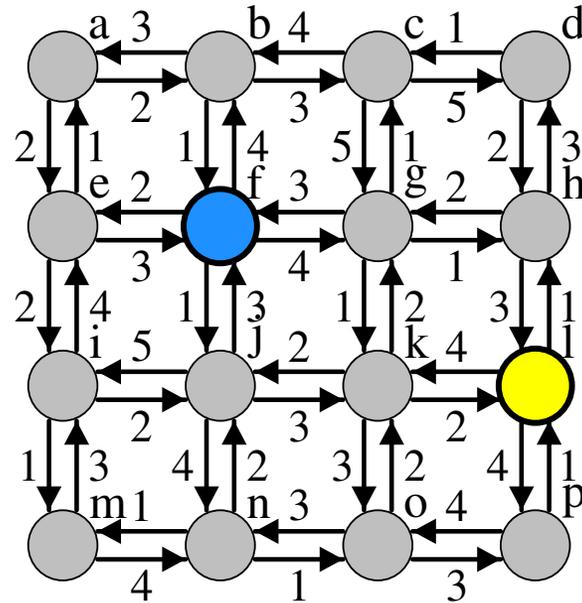
- inverter os rótulos das sementes,
- rodar a OIFT de corte externo,
- inverter os rótulos da segmentação resultante.



# Corte interno (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)**
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



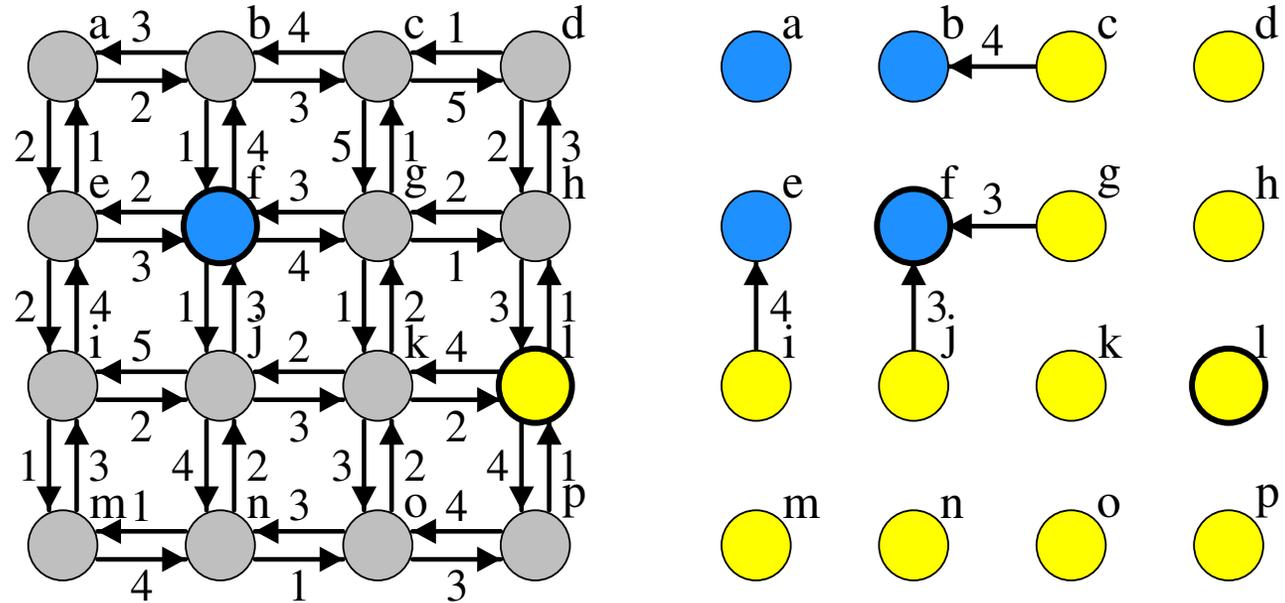
após 16 iterações.



# Corte interno (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)**
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



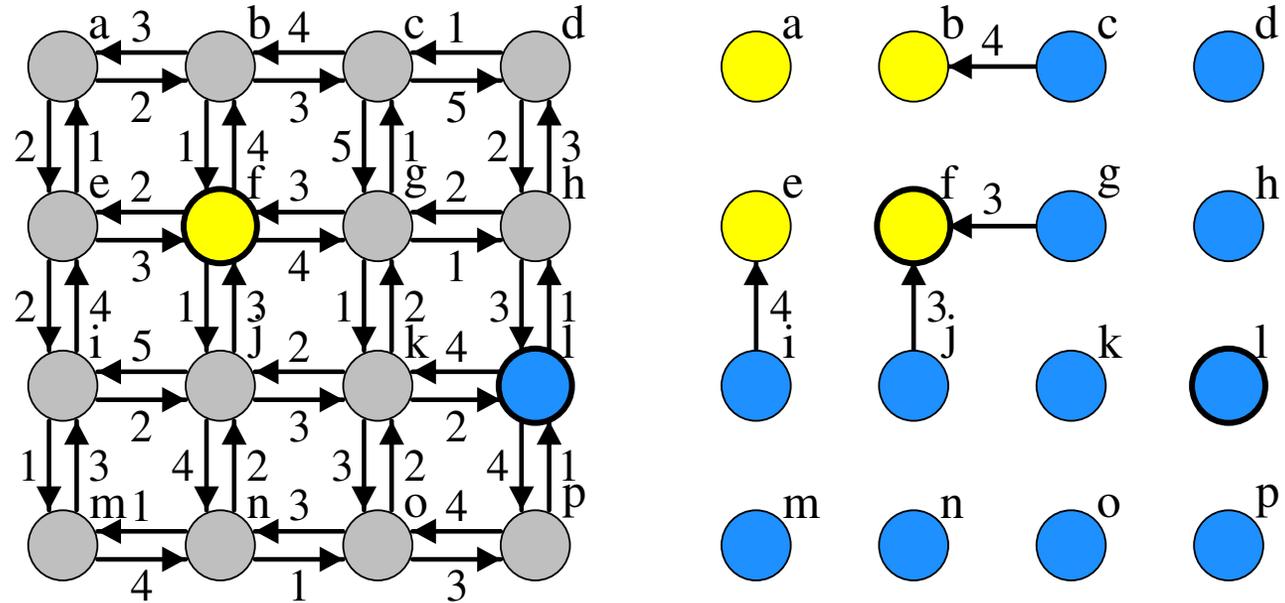
corte ótimo da segmentação resultante.



# Corte interno (2ª versão)

- Introdução
- Transformada Imagem-Floresta Orientada (OIFT)
- Função de conectividade (1ª versão)
- Propagação dos caminhos (1ª versão)
- Corte interno (1ª versão)
- Função de conectividade (2ª versão)
- Propagação dos caminhos (2ª versão)
- Corte interno (2ª versão)**
- Polaridade de borda

IFT com função de conectividade  $f_w^{\circlearrowright}$  (desempate FIFO):



corte interno ótimo, invertendo os rótulos.



# Polaridade de borda

Introdução  
Transformada  
Imagem-Floresta  
Orientada (OIFT)

Função de  
conexidade  
(1ª versão)

Propagação dos  
caminhos  
(1ª versão)

Corte interno  
(1ª versão)

Função de  
conexidade  
(2ª versão)

Propagação dos  
caminhos  
(2ª versão)

Corte interno  
(2ª versão)

**Polaridade de borda**

- Seja  $G = \langle \mathcal{N}, \mathcal{A}, \delta \rangle$  um dígrafo simétrico e com pesos não direcionados ( $\delta(s, t) = \delta(t, s)$ ). Ou seja,  $G$  essencialmente representa um grafo não direcionado. Por exemplo, podemos usar o valor absoluto da diferença de intensidades da imagem  $\delta(s, t) = |I(s) - I(t)|$ , onde  $I(t)$  é a intensidade da imagem no pixel  $t$ .
- Um segundo grafo  $G' = \langle \mathcal{N}, \mathcal{A}, w \rangle$  com pesos direcionados  $w(s, t)$  pode ser obtido via a multiplicação por um fator de orientação, como segue:

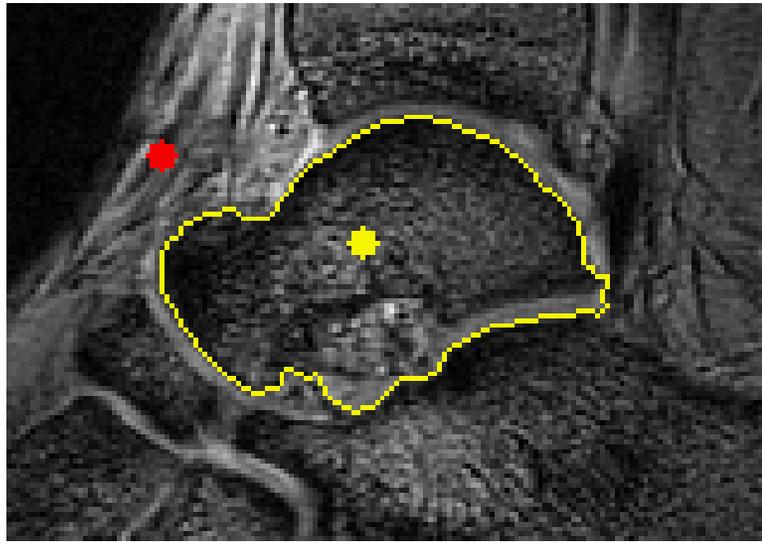
$$w(s, t) = \begin{cases} \delta(s, t) \times (1 + \alpha) & \text{se } I(s) > I(t) \\ \delta(s, t) & \text{se } I(s) = I(t) \\ \delta(s, t) \times (1 - \alpha) & \text{se } I(s) < I(t) \end{cases}$$

onde  $-1 \leq \alpha \leq 1$ . O valor de  $\alpha$  define a polaridade de borda.

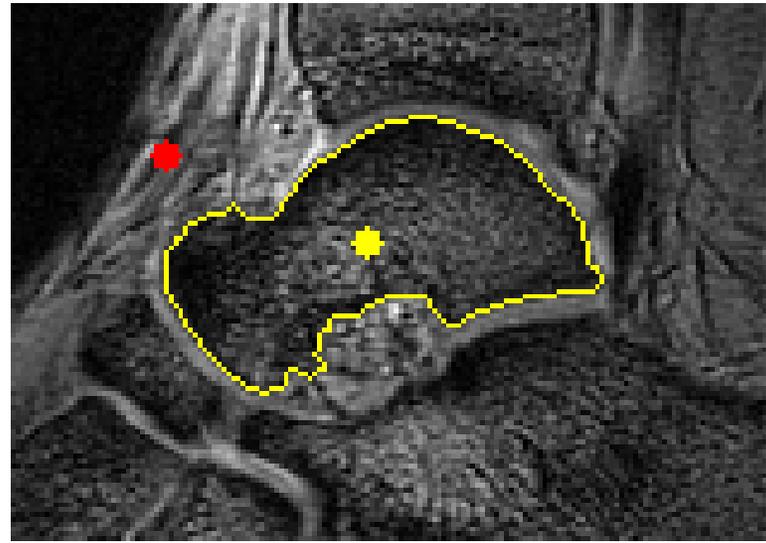


# Polaridade de borda

Exemplo da OIFT no dígrafo  $G'$  para a segmentação do osso tálus em uma fatia de imagem de RM do pé.



(a)  $\alpha = 0$



(b)  $\alpha = -0.5$

- $\alpha = 0$ : Polaridade neutra.
- $\alpha < 0$ : Polaridade favorecendo transições na borda de pixels escuros para fundo mais claro.
- $\alpha > 0$ : Polaridade favorecendo transições na borda de pixels claros para fundo mais escuro.

Introdução  
Transformada  
Imagem-Floresta  
Orientada (OIFT)  
Função de  
conexidade  
(1ª versão)  
Propagação dos  
caminhos  
(1ª versão)  
Corte interno  
(1ª versão)  
Função de  
conexidade  
(2ª versão)  
Propagação dos  
caminhos  
(2ª versão)  
Corte interno  
(2ª versão)

Polaridade de borda