

# MC-202

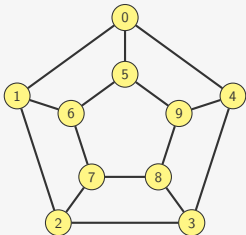
## Percurso em Grafos

Iago A. Carvalho  
iagoac@ic.unicamp.br

Universidade Estadual de Campinas

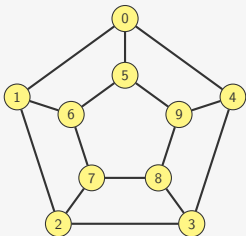
1º semestre/2020

# Caminhos em Grafos



Um caminho de  $s$  para  $t$  em um grafo é:

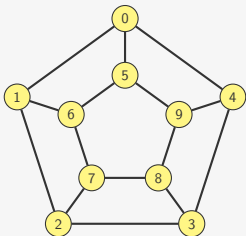
# Caminhos em Grafos



Um caminho de  $s$  para  $t$  em um grafo é:

- Uma sequência sem repetição de vértices vizinhos

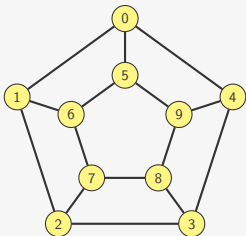
# Caminhos em Grafos



Um caminho de  $s$  para  $t$  em um grafo é:

- Uma sequência sem repetição de vértices vizinhos
- Começando em  $s$  e terminado em  $t$

# Caminhos em Grafos

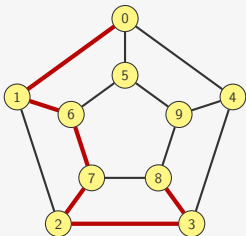


Um caminho de  $s$  para  $t$  em um grafo é:

- Uma sequência sem repetição de vértices vizinhos
- Começando em  $s$  e terminado em  $t$

Por exemplo:

# Caminhos em Grafos



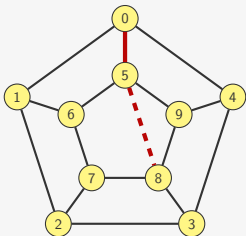
Um caminho de  $s$  para  $t$  em um grafo é:

- Uma sequência sem repetição de vértices vizinhos
- Começando em  $s$  e terminado em  $t$

Por exemplo:

- 0, 1, 6, 7, 2, 3, 8 é um caminho de 0 para 8

# Caminhos em Grafos



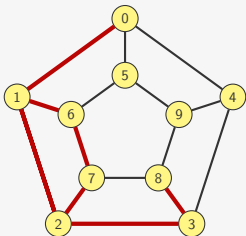
Um caminho de  $s$  para  $t$  em um grafo é:

- Uma sequência sem repetição de vértices vizinhos
- Começando em  $s$  e terminado em  $t$

Por exemplo:

- $0, 1, 6, 7, 2, 3, 8$  é um caminho de  $0$  para  $8$
- $0, 5, 8$  não é um caminho de  $0$  para  $8$

# Caminhos em Grafos



Um caminho de  $s$  para  $t$  em um grafo é:

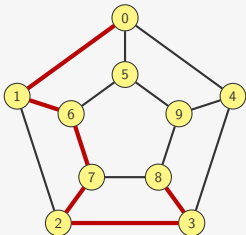
- Uma sequência sem repetição de vértices vizinhos
- Começando em  $s$  e terminado em  $t$

Por exemplo:

- 0, 1, 6, 7, 2, 3, 8 é um caminho de 0 para 8
- 0, 5, 8 não é um caminho de 0 para 8
- 0, 1, 2, 7, 6, 1, 2, 3, 8 não é um caminho de 0 para 8

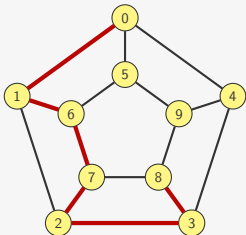


# Caminhos em Grafos



Formalmente, um caminho de  $s$  para  $t$  em um grafo é:

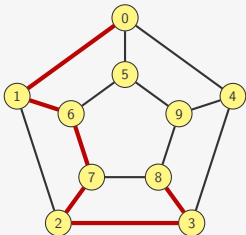
# Caminhos em Grafos



Formalmente, um caminho de  $s$  para  $t$  em um grafo é:

- Uma sequência de vértice  $v_0, v_1, \dots, v_k$  onde

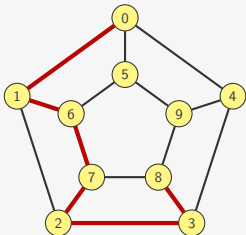
# Caminhos em Grafos



Formalmente, um caminho de  $s$  para  $t$  em um grafo é:

- Uma sequência de vértice  $v_0, v_1, \dots, v_k$  onde
- $v_0 = s$  e  $v_k = t$

# Caminhos em Grafos

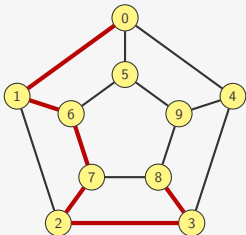


Formalmente, um caminho de  $s$  para  $t$  em um grafo é:

- Uma sequência de vértice  $v_0, v_1, \dots, v_k$  onde
- $v_0 = s$  e  $v_k = t$
- $\{v_i, v_{i+1}\}$  é uma aresta para todo  $0 \leq i \leq k - 1$



# Caminhos em Grafos

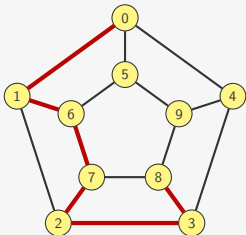


Formalmente, um caminho de  $s$  para  $t$  em um grafo é:

- Uma sequência de vértice  $v_0, v_1, \dots, v_k$  onde
- $v_0 = s$  e  $v_k = t$
- $\{v_i, v_{i+1}\}$  é uma aresta para todo  $0 \leq i \leq k-1$
- $v_i \neq v_j$  para todo  $0 \leq i < j \leq k$

$k$  é o comprimento do caminho

# Caminhos em Grafos



Formalmente, um caminho de  $s$  para  $t$  em um grafo é:

- Uma sequência de vértice  $v_0, v_1, \dots, v_k$  onde
- $v_0 = s$  e  $v_k = t$
- $\{v_i, v_{i+1}\}$  é uma aresta para todo  $0 \leq i \leq k-1$
- $v_i \neq v_j$  para todo  $0 \leq i < j \leq k$

$k$  é o comprimento do caminho

- $k = 0$  se e somente se  $s = t$

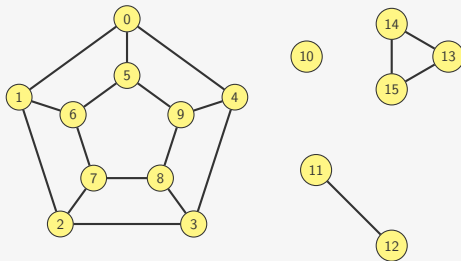
# Componentes Conexas

Um grafo pode ter várias “partes”



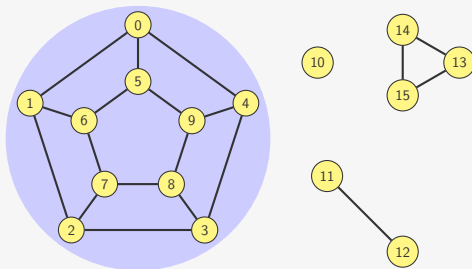
# Componentes Conexas

Um grafo pode ter várias “partes”



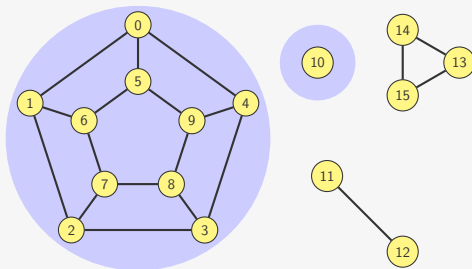
# Componentes Conexas

Um grafo pode ter várias “partes”



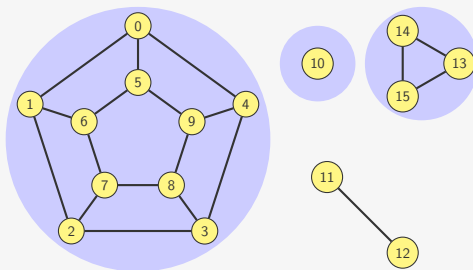
# Componentes Conexas

Um grafo pode ter várias “partes”



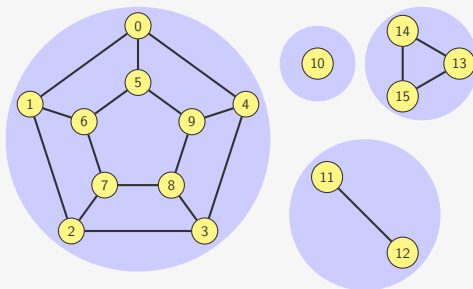
# Componentes Conexas

Um grafo pode ter várias “partes”



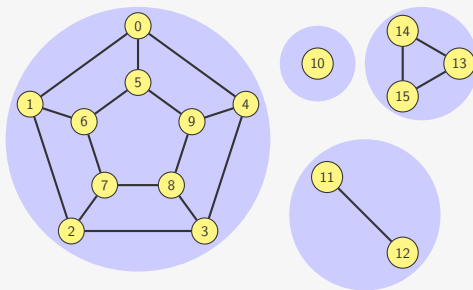
# Componentes Conexas

Um grafo pode ter várias “partes”



# Componentes Conexas

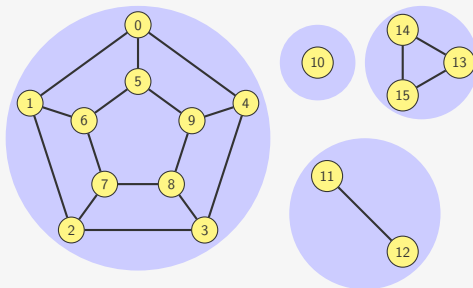
Um grafo pode ter várias “partes”



Chamamos essas partes de **Componentes Conexas**

# Componentes Conexas

Um grafo pode ter várias “partes”

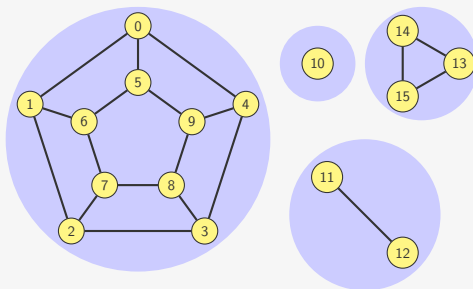


Chamamos essas partes de **Componentes Conexas**

- Um par de vértices está na mesma componente se e somente se existe caminho entre eles

# Componentes Conexas

Um grafo pode ter várias “partes”



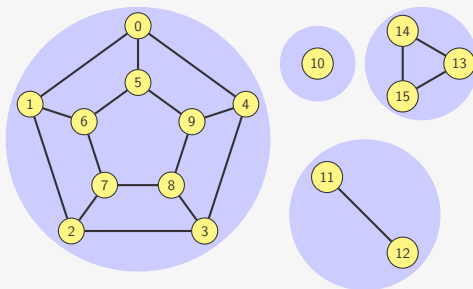
Chamamos essas partes de **Componentes Conexas**

- Um par de vértices está na mesma componente se e somente se existe caminho entre eles
  - Não há caminho entre vértices de componentes distintas



# Componentes Conexas

Um grafo pode ter várias “partes”



Chamamos essas partes de **Componentes Conexas**

- Um par de vértices está na mesma componente se e somente se existe caminho entre eles
  - Não há caminho entre vértices de componentes distintas
- Um grafo **conexo** tem apenas uma componente conexa

## Existe caminho entre $s$ e $t$ ?

Queremos saber se  $s$  e  $t$  estão na mesma componente conexa

## Existe caminho entre $s$ e $t$ ?

Queremos saber se  $s$  e  $t$  estão na mesma componente conexa

Se estiverem, existe algum caminho de  $s$  até  $t$



## Existe caminho entre $s$ e $t$ ?

Queremos saber se  $s$  e  $t$  estão na mesma componente conexa

Se estiverem, existe algum caminho de  $s$  até  $t$



Se existe caminho e  $s \neq t$ , existe um segundo vértice  $v_1$

## Existe caminho entre $s$ e $t$ ?

Queremos saber se  $s$  e  $t$  estão na mesma componente conexa

Se estiverem, existe algum caminho de  $s$  até  $t$



Se existe caminho e  $s \neq t$ , existe um segundo vértice  $v_1$

- E  $v_1$  é vizinho de  $s$

## Existe caminho entre $s$ e $t$ ?

Queremos saber se  $s$  e  $t$  estão na mesma componente conexa

Se estiverem, existe algum caminho de  $s$  até  $t$



Se existe caminho e  $s \neq t$ , existe um segundo vértice  $v_1$

- E  $v_1$  é vizinho de  $s$
- Então, ou  $v_1 = t$ , ou existe um terceiro vértice  $v_2$

## Existe caminho entre $s$ e $t$ ?

Queremos saber se  $s$  e  $t$  estão na mesma componente conexa

Se estiverem, existe algum caminho de  $s$  até  $t$



Se existe caminho e  $s \neq t$ , existe um segundo vértice  $v_1$

- E  $v_1$  é vizinho de  $s$
- Então, ou  $v_1 = t$ , ou existe um terceiro vértice  $v_2$ 
  - E  $v_2$  é vizinho de  $v_1$

## Existe caminho entre $s$ e $t$ ?

Queremos saber se  $s$  e  $t$  estão na mesma componente conexa

Se estiverem, existe algum caminho de  $s$  até  $t$



Se existe caminho e  $s \neq t$ , existe um segundo vértice  $v_1$

- E  $v_1$  é vizinho de  $s$
- Então, ou  $v_1 = t$ , ou existe um terceiro vértice  $v_2$ 
  - E  $v_2$  é vizinho de  $v_1$
- E assim por diante...



## Existe caminho entre $s$ e $t$ ?

Queremos saber se  $s$  e  $t$  estão na mesma componente conexa

Se estiverem, existe algum caminho de  $s$  até  $t$



Se existe caminho e  $s \neq t$ , existe um segundo vértice  $v_1$

- E  $v_1$  é vizinho de  $s$
- Então, ou  $v_1 = t$ , ou existe um terceiro vértice  $v_2$ 
  - E  $v_2$  é vizinho de  $v_1$
- E assim por diante...

A dificuldade é acertar qual vizinho  $v_1$  de  $s$  devemos usar...

## Existe caminho entre $s$ e $t$ ?

Queremos saber se  $s$  e  $t$  estão na mesma componente conexa

Se estiverem, existe algum caminho de  $s$  até  $t$



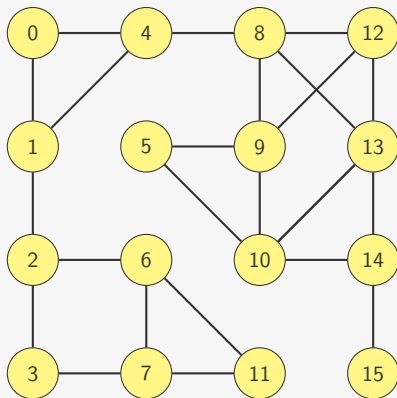
Se existe caminho e  $s \neq t$ , existe um segundo vértice  $v_1$

- E  $v_1$  é vizinho de  $s$
- Então, ou  $v_1 = t$ , ou existe um terceiro vértice  $v_2$ 
  - E  $v_2$  é vizinho de  $v_1$
- E assim por diante...

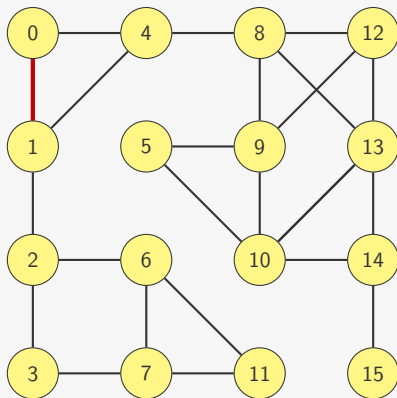
A dificuldade é acertar qual vizinho  $v_1$  de  $s$  devemos usar...

- Solução: testar todos!

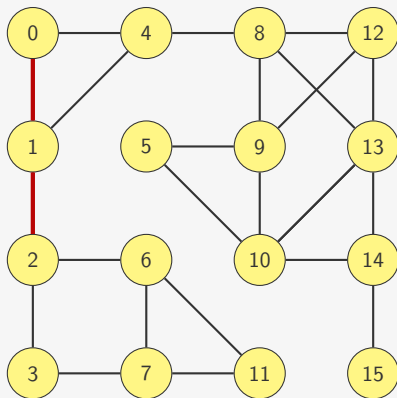
Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



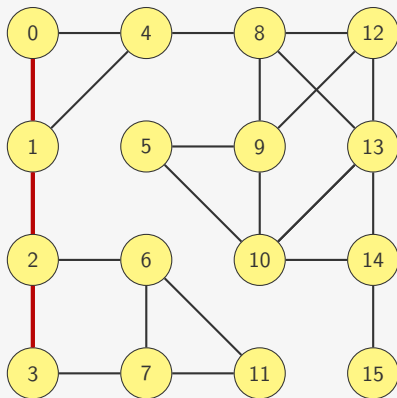
Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



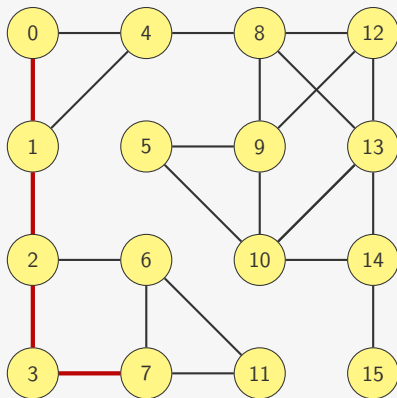
Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



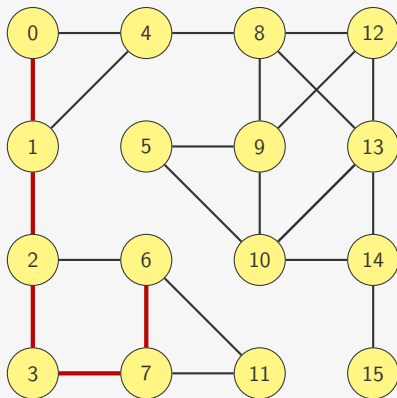
Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?

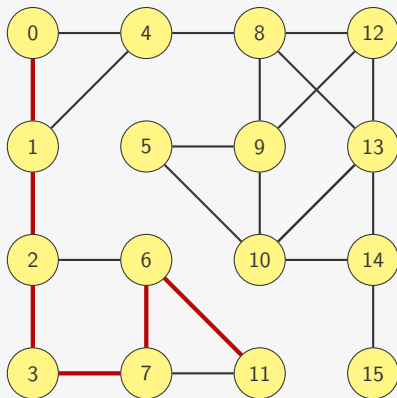


Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?

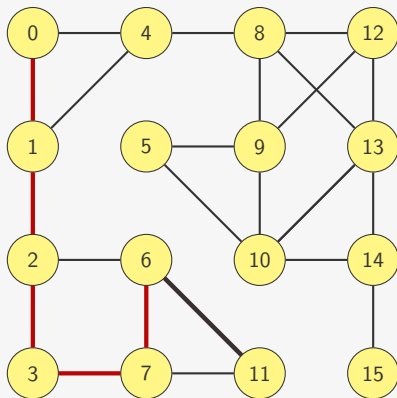




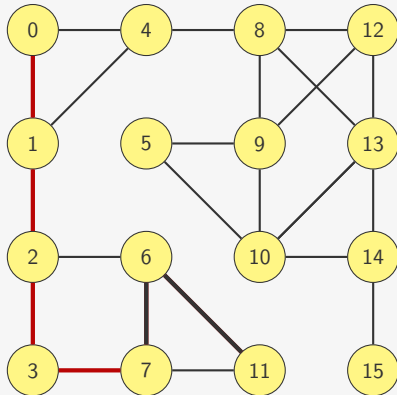
Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



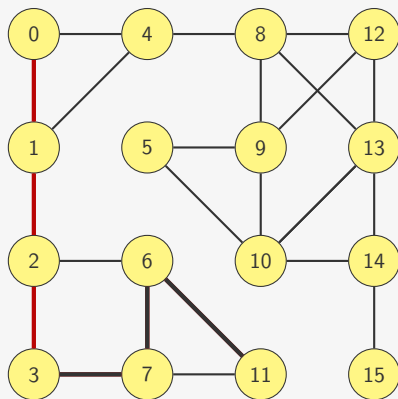
Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



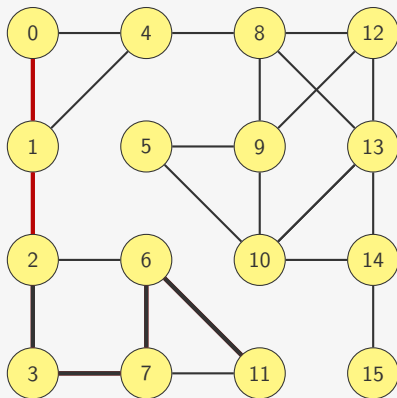
## Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



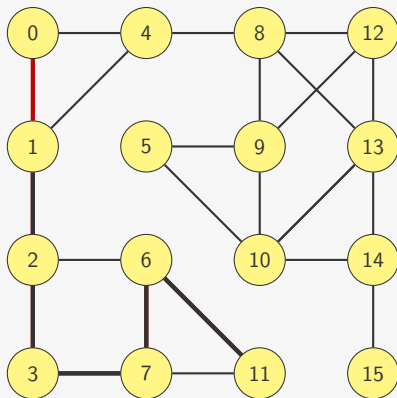
Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



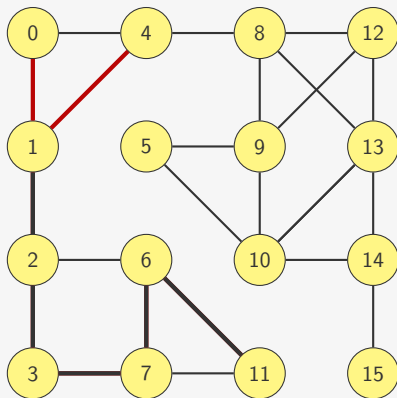
Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



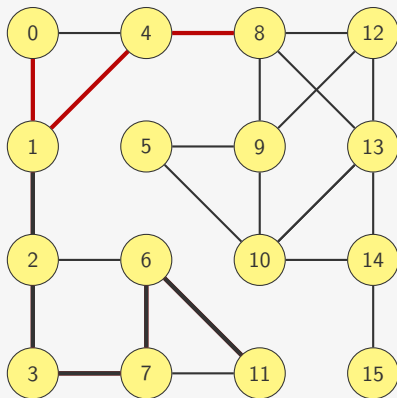
Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?

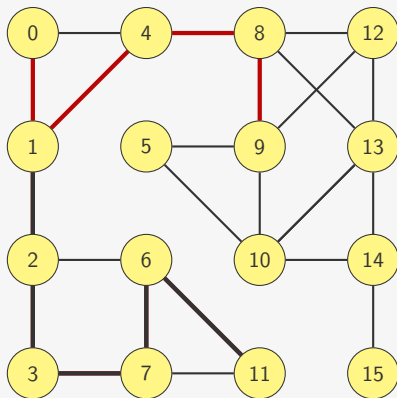


Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?

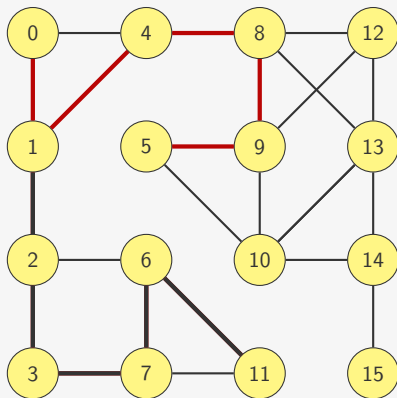




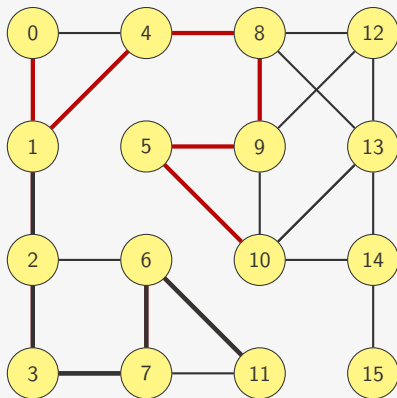
Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



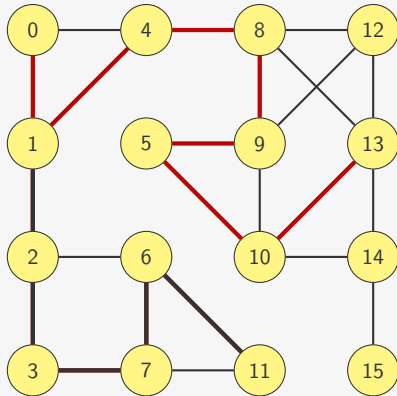
Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



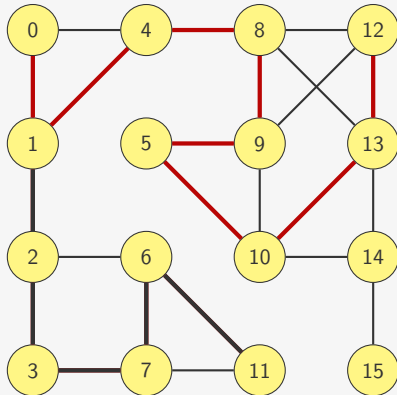
Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



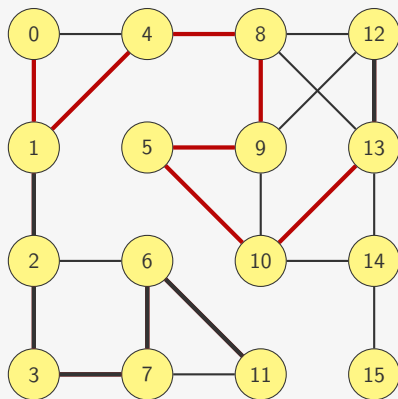
## Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



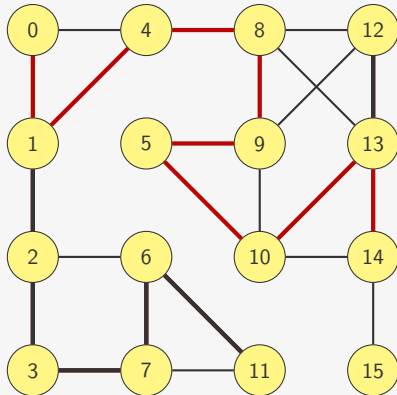
## Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



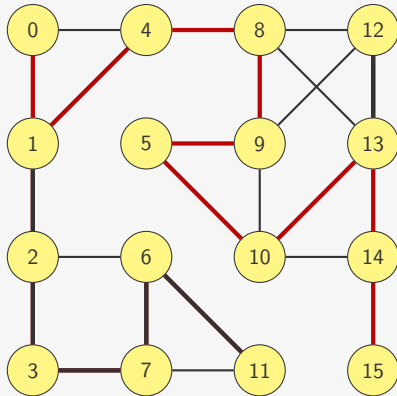
Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



## Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?

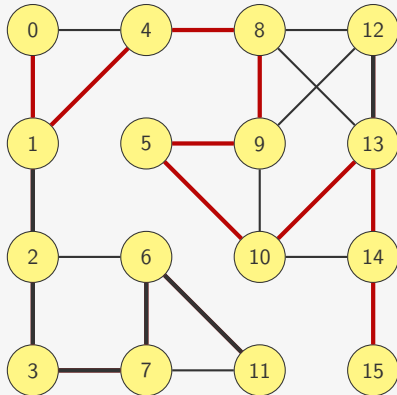


## Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



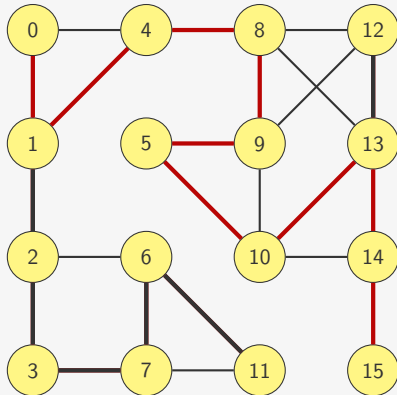


Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



Essa é uma **busca em profundidade**:

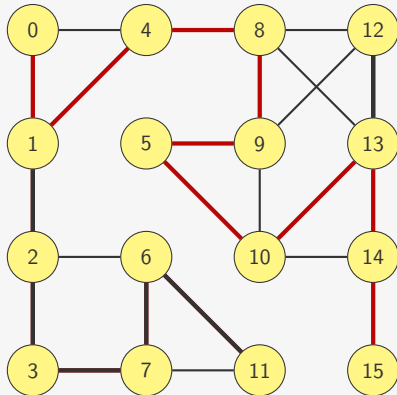
## Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



Essa é uma **busca em profundidade**:

- Vá o máximo possível em uma direção

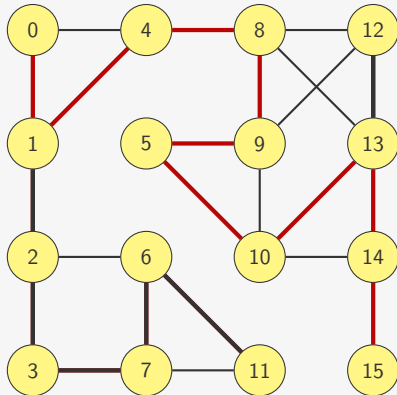
## Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



Essa é uma **busca em profundidade**:

- Vá o máximo possível em uma direção
- Se não encontrarmos o vértice, volte o mínimo possível

## Exemplo - Existe caminho de 0 até 15?



Essa é uma **busca em profundidade**:

- Vá o máximo possível em uma direção
- Se não encontrarmos o vértice, volte o mínimo possível
- E pegue um novo caminho por um vértice não visitado

# Implementação (com Matriz de Adjacências)

```
1 int existe_caminho(p_grafo g, int s, int t) {  
2     int encontrou, i, *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));  
3     for (i = 0; i < g->n; i++)  
4         visitado[i] = 0;  
5     encontrou = busca_rec(g, visitado, s, t);  
6     free(visitado);  
7     return encontrou;  
8 }
```

# Implementação (com Matriz de Adjacências)

```
1 int existe_caminho(p_grafo g, int s, int t) {
2     int encontrou, i, *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
3     for (i = 0; i < g->n; i++)
4         visitado[i] = 0;
5     encontrou = busca_rec(g, visitado, s, t);
6     free(visitado);
7     return encontrou;
8 }
```

```
1 int busca_rec(p_grafo g, int *visitado, int v, int t) {
```

# Implementação (com Matriz de Adjacências)

```
1 int existe_caminho(p_grafo g, int s, int t) {
2     int encontrou, i, *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
3     for (i = 0; i < g->n; i++)
4         visitado[i] = 0;
5     encontrou = busca_rec(g, visitado, s, t);
6     free(visitado);
7     return encontrou;
8 }
```

```
1 int busca_rec(p_grafo g, int *visitado, int v, int t) {
2     int w;
3     if (v == t)
4         return 1; /*sempre existe caminho de t para t*/
```

# Implementação (com Matriz de Adjacências)

```
1 int existe_caminho(p_grafo g, int s, int t) {
2     int encontrou, i, *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
3     for (i = 0; i < g->n; i++)
4         visitado[i] = 0;
5     encontrou = busca_rec(g, visitado, s, t);
6     free(visitado);
7     return encontrou;
8 }
```

```
1 int busca_rec(p_grafo g, int *visitado, int v, int t) {
2     int w;
3     if (v == t)
4         return 1; /*sempre existe caminho de t para t*/
5     visitado[v] = 1;
```



# Implementação (com Matriz de Adjacências)

```
1 int existe_caminho(p_grafo g, int s, int t) {
2     int encontrou, i, *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
3     for (i = 0; i < g->n; i++)
4         visitado[i] = 0;
5     encontrou = busca_rec(g, visitado, s, t);
6     free(visitado);
7     return encontrou;
8 }
```

```
1 int busca_rec(p_grafo g, int *visitado, int v, int t) {
2     int w;
3     if (v == t)
4         return 1; /*sempre existe caminho de t para t*/
5     visitado[v] = 1;
6     for (w = 0; w < g->n; w++)
```

# Implementação (com Matriz de Adjacências)

```
1 int existe_caminho(p_grafo g, int s, int t) {
2     int encontrou, i, *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
3     for (i = 0; i < g->n; i++)
4         visitado[i] = 0;
5     encontrou = busca_rec(g, visitado, s, t);
6     free(visitado);
7     return encontrou;
8 }
```

```
1 int busca_rec(p_grafo g, int *visitado, int v, int t) {
2     int w;
3     if (v == t)
4         return 1; /*sempre existe caminho de t para t*/
5     visitado[v] = 1;
6     for (w = 0; w < g->n; w++)
7         if (g->adj[v][w] && !visitado[w])
```

# Implementação (com Matriz de Adjacências)

```
1 int existe_caminho(p_grafo g, int s, int t) {
2     int encontrou, i, *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
3     for (i = 0; i < g->n; i++)
4         visitado[i] = 0;
5     encontrou = busca_rec(g, visitado, s, t);
6     free(visitado);
7     return encontrou;
8 }
```

```
1 int busca_rec(p_grafo g, int *visitado, int v, int t) {
2     int w;
3     if (v == t)
4         return 1; /*sempre existe caminho de t para t*/
5     visitado[v] = 1;
6     for (w = 0; w < g->n; w++)
7         if (g->adj[v][w] && !visitado[w])
8             if (busca_rec(g, visitado, w, t))
9                 return 1;
```

## Implementação (com Matriz de Adjacências)

```
1 int existe_caminho(p_grafo g, int s, int t) {
2     int encontrou, i, *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
3     for (i = 0; i < g->n; i++)
4         visitado[i] = 0;
5     encontrou = busca_rec(g, visitado, s, t);
6     free(visitado);
7     return encontrou;
8 }
```

```
1 int busca_rec(p_grafo g, int *visitado, int v, int t) {
2     int w;
3     if (v == t)
4         return 1; /*sempre existe caminho de t para t*/
5     visitado[v] = 1;
6     for (w = 0; w < g->n; w++)
7         if (g->adj[v][w] && !visitado[w])
8             if (busca_rec(g, visitado, w, t))
9                 return 1;
10    return 0;
11 }
```

## Implementação (com Matriz de Adjacências)

```
1 int existe_caminho(p_grafo g, int s, int t) {
2     int encontrou, i, *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
3     for (i = 0; i < g->n; i++)
4         visitado[i] = 0;
5     encontrou = busca_rec(g, visitado, s, t);
6     free(visitado);
7     return encontrou;
8 }
```

```
1 int busca_rec(p_grafo g, int *visitado, int v, int t) {
2     int w;
3     if (v == t)
4         return 1; /*sempre existe caminho de t para t*/
5     visitado[v] = 1;
6     for (w = 0; w < g->n; w++)
7         if (g->adj[v][w] && !visitado[w])
8             if (busca_rec(g, visitado, w, t))
9                 return 1;
10    return 0;
11 }
```

E se quisermos saber quais são as componentes conexas?

# Componentes Conexas (Listas de Adjacência)

```
1 int * encontra_componentes(p_grafo g) {
```

# Componentes Conexas (Listas de Adjacência)

```
1 int * encontra_componentes(p_grafo g) {  
2     int s, c = 0, *componentes = malloc(g->n * sizeof(int));
```

# Componentes Conexas (Listas de Adjacência)

```
1 int * encontra_componentes(p_grafo g) {  
2     int s, c = 0, *componentes = malloc(g->n * sizeof(int));  
3     for (s = 0; s < g->n; s++)  
4         componentes[s] = -1;
```



## Componentes Conexas (Listas de Adjacência)

```
1 int * encontra_componentes(p_grafo g) {  
2     int s, c = 0, *componentes = malloc(g->n * sizeof(int));  
3     for (s = 0; s < g->n; s++)  
4         componentes[s] = -1;  
5     for (s = 0; s < g->n; s++)  
6         if (componentes[s] == -1) {
```

# Componentes Conexas (Listas de Adjacência)

```
1 int * encontra_componentes(p_grafo g) {  
2     int s, c = 0, *componentes = malloc(g->n * sizeof(int));  
3     for (s = 0; s < g->n; s++)  
4         componentes[s] = -1;  
5     for (s = 0; s < g->n; s++)  
6         if (componentes[s] == -1) {  
7             visita_rec(g, componentes, c, s);
```

# Componentes Conexas (Listas de Adjacência)

```
1 int * encontra_componentes(p_grafo g) {
2     int s, c = 0, *componentes = malloc(g->n * sizeof(int));
3     for (s = 0; s < g->n; s++)
4         componentes[s] = -1;
5     for (s = 0; s < g->n; s++)
6         if (componentes[s] == -1) {
7             visita_rec(g, componentes, c, s);
8             c++;
9         }
```

# Componentes Conexas (Listas de Adjacência)

```
1 int * encontra_componentes(p_grafo g) {
2     int s, c = 0, *componentes = malloc(g->n * sizeof(int));
3     for (s = 0; s < g->n; s++)
4         componentes[s] = -1;
5     for (s = 0; s < g->n; s++)
6         if (componentes[s] == -1) {
7             visita_rec(g, componentes, c, s);
8             c++;
9         }
10    return componentes;
11 }
```

# Componentes Conexas (Listas de Adjacência)

```
1 int * encontra_componentes(p_grafo g) {
2     int s, c = 0, *componentes = malloc(g->n * sizeof(int));
3     for (s = 0; s < g->n; s++)
4         componentes[s] = -1;
5     for (s = 0; s < g->n; s++)
6         if (componentes[s] == -1) {
7             visita_rec(g, componentes, c, s);
8             c++;
9         }
10    return componentes;
11 }
```

```
1 void visita_rec(p_grafo g, int *componentes, int comp, int v) {
```

# Componentes Conexas (Listas de Adjacência)

```
1 int * encontra_componentes(p_grafo g) {
2     int s, c = 0, *componentes = malloc(g->n * sizeof(int));
3     for (s = 0; s < g->n; s++)
4         componentes[s] = -1;
5     for (s = 0; s < g->n; s++)
6         if (componentes[s] == -1) {
7             visita_rec(g, componentes, c, s);
8             c++;
9         }
10    return componentes;
11 }
```

```
1 void visita_rec(p_grafo g, int *componentes, int comp, int v) {
2     p_no t;
3     componentes[v] = comp;
```

# Componentes Conexas (Listas de Adjacência)

```
1 int * encontra_componentes(p_grafo g) {
2     int s, c = 0, *componentes = malloc(g->n * sizeof(int));
3     for (s = 0; s < g->n; s++)
4         componentes[s] = -1;
5     for (s = 0; s < g->n; s++)
6         if (componentes[s] == -1) {
7             visita_rec(g, componentes, c, s);
8             c++;
9         }
10    return componentes;
11 }
```

```
1 void visita_rec(p_grafo g, int *componentes, int comp, int v) {
2     p_no t;
3     componentes[v] = comp;
4     for (t = g->adj[v]; t != NULL; t = t->prox)
```

## Componentes Conexas (Listas de Adjacência)

```
1 int * encontra_componentes(p_grafo g) {
2     int s, c = 0, *componentes = malloc(g->n * sizeof(int));
3     for (s = 0; s < g->n; s++)
4         componentes[s] = -1;
5     for (s = 0; s < g->n; s++)
6         if (componentes[s] == -1) {
7             visita_rec(g, componentes, c, s);
8             c++;
9         }
10    return componentes;
11 }
```

```
1 void visita_rec(p_grafo g, int *componentes, int comp, int v) {
2     p_no t;
3     componentes[v] = comp;
4     for (t = g->adj[v]; t != NULL; t = t->prox)
5         if (componentes[t->v] == -1)
```

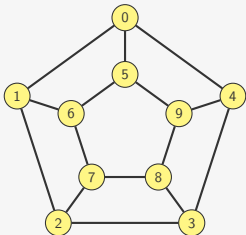


# Componentes Conexas (Listas de Adjacência)

```
1 int * encontra_componentes(p_grafo g) {
2     int s, c = 0, *componentes = malloc(g->n * sizeof(int));
3     for (s = 0; s < g->n; s++)
4         componentes[s] = -1;
5     for (s = 0; s < g->n; s++)
6         if (componentes[s] == -1) {
7             visita_rec(g, componentes, c, s);
8             c++;
9         }
10    return componentes;
11 }
```

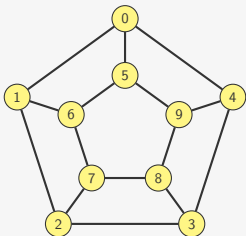
```
1 void visita_rec(p_grafo g, int *componentes, int comp, int v) {
2     p_no t;
3     componentes[v] = comp;
4     for (t = g->adj[v]; t != NULL; t = t->prox)
5         if (componentes[t->v] == -1)
6             visita_rec(g, componentes, comp, t->v);
7 }
```

# Ciclos em Grafos



Um **ciclo** em um grafo é:

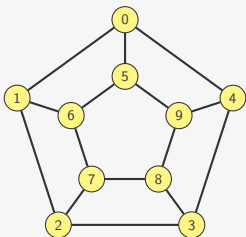
# Ciclos em Grafos



Um **ciclo** em um grafo é:

- Uma sequência de vértices vizinhos sem repetição exceto pelo primeiro e o último vértice que são idênticos

# Ciclos em Grafos

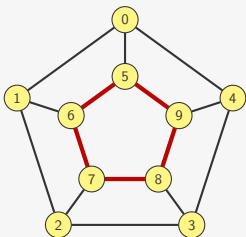


Um **ciclo** em um grafo é:

- Uma sequência de vértices vizinhos sem repetição exceto pelo primeiro e o último vértice que são idênticos

Por exemplo:

# Ciclos em Grafos



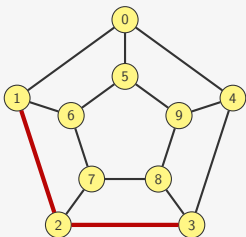
Um **ciclo** em um grafo é:

- Uma sequência de vértices vizinhos sem repetição exceto pelo primeiro e o último vértice que são idênticos

Por exemplo:

- **5, 6, 7, 8, 9, 5** é um ciclo

# Ciclos em Grafos



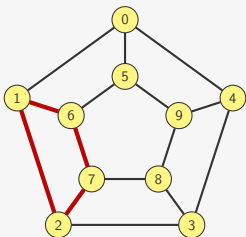
Um **ciclo** em um grafo é:

- Uma sequência de vértices vizinhos sem repetição exceto pelo primeiro e o último vértice que são idênticos

Por exemplo:

- **5, 6, 7, 8, 9, 5** é um ciclo
- **1, 2, 3** não é um ciclo

# Ciclos em Grafos



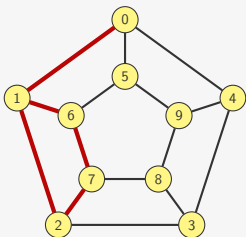
Um **ciclo** em um grafo é:

- Uma sequência de vértices vizinhos sem repetição exceto pelo primeiro e o último vértice que são idênticos

Por exemplo:

- **5, 6, 7, 8, 9, 5** é um ciclo
- **1, 2, 3** não é um ciclo
- **1, 2, 7, 6, 1** é um ciclo

# Ciclos em Grafos



Um **ciclo** em um grafo é:

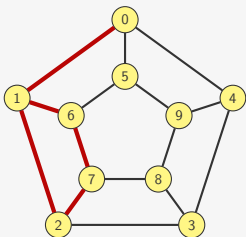
- Uma sequência de vértices vizinhos sem repetição exceto pelo primeiro e o último vértice que são idênticos

Por exemplo:

- 5, 6, 7, 8, 9, 5 é um ciclo
- 1, 2, 3 não é um ciclo
- 1, 2, 7, 6, 1 é um ciclo
- 1, 2, 7, 6, 1, 0 não é um ciclo



# Ciclos em Grafos



Um **ciclo** em um grafo é:

- Uma sequência de vértices vizinhos sem repetição exceto pelo primeiro e o último vértice que são idênticos

Por exemplo:

- 5, 6, 7, 8, 9, 5 é um ciclo
- 1, 2, 3 não é um ciclo
- 1, 2, 7, 6, 1 é um ciclo
- 1, 2, 7, 6, 1, 0 não é um ciclo (mas contém um ciclo)

# Árvores, Florestas e Subgrafos

Uma **árvore** é um grafo **conexo acíclico**

# Árvores, Florestas e Subgrafos

Uma **árvore** é um grafo **conexo acíclico**

- Uma **floresta** é um grafo **acíclico**

# Árvores, Florestas e Subgrafos

Uma **árvore** é um grafo **conexo acíclico**

- Uma **floresta** é um grafo **acíclico**
- Suas componentes conexas são árvores

# Árvores, Florestas e Subgrafos

Uma **árvore** é um grafo **conexo acíclico**

- Uma **floresta** é um grafo **acíclico**
- Suas componentes conexas são árvores

Um **subgrafo** é um grafo obtido a partir da remoção de vértices e arestas

# Árvores, Florestas e Subgrafos

Uma **árvore** é um grafo **conexo acíclico**

- Uma **floresta** é um grafo **acíclico**
- Suas componentes conexas são árvores

Um **subgrafo** é um grafo obtido a partir da remoção de vértices e arestas

- Podemos considerar também árvores/florestas que são subgrafos de um grafo dado

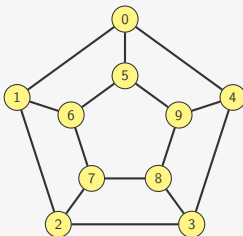
# Árvores, Florestas e Subgrafos

Uma **árvore** é um grafo **conexo acíclico**

- Uma **floresta** é um grafo **acíclico**
- Suas componentes conexas são árvores

Um **subgrafo** é um grafo obtido a partir da remoção de vértices e arestas

- Podemos considerar também árvores/florestas que são subgrafos de um grafo dado



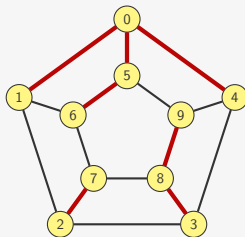
# Árvores, Florestas e Subgrafos

Uma **árvore** é um grafo **conexo acíclico**

- Uma **floresta** é um grafo **acíclico**
- Suas componentes conexas são árvores

Um **subgrafo** é um grafo obtido a partir da remoção de vértices e arestas

- Podemos considerar também árvores/florestas que são subgrafos de um grafo dado



Um subgrafo que é uma floresta



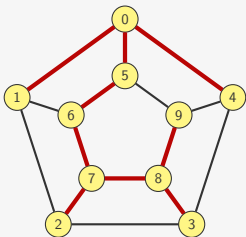
# Árvores, Florestas e Subgrafos

Uma **árvore** é um grafo **conexo acíclico**

- Uma **floresta** é um grafo **acíclico**
- Suas componentes conexas são árvores

Um **subgrafo** é um grafo obtido a partir da remoção de vértices e arestas

- Podemos considerar também árvores/florestas que são subgrafos de um grafo dado



Um subgrafo que é uma árvore

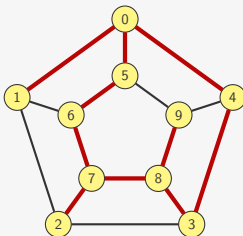
# Árvores, Florestas e Subgrafos

Uma **árvore** é um grafo **conexo acíclico**

- Uma **floresta** é um grafo **acíclico**
- Suas componentes conexas são árvores

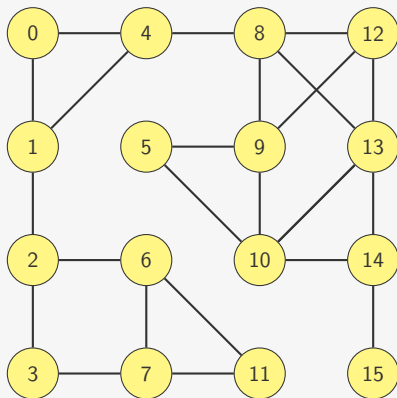
Um **subgrafo** é um grafo obtido a partir da remoção de vértices e arestas

- Podemos considerar também árvores/florestas que são subgrafos de um grafo dado

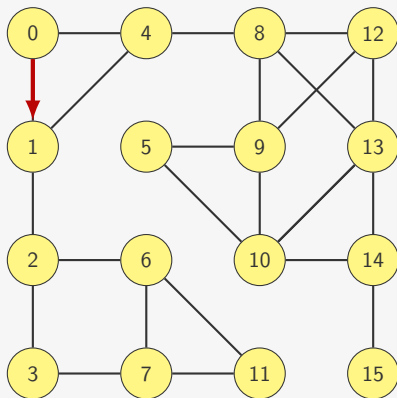


Um subgrafo com ciclo

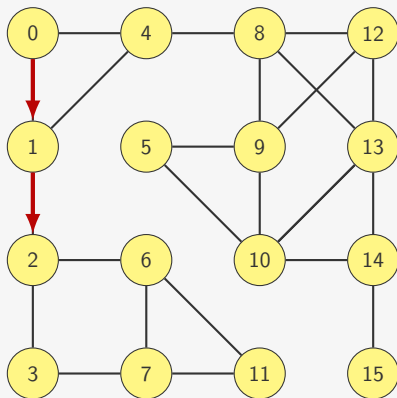
## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



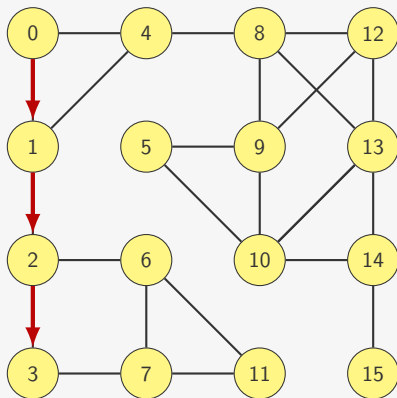
## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



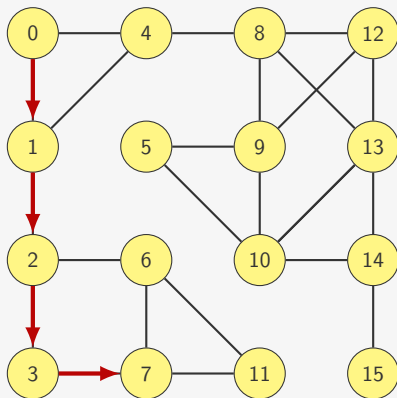
## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



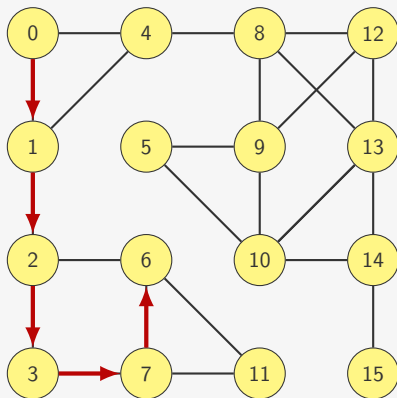
## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente

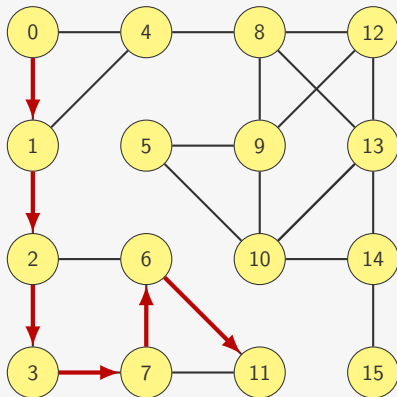


## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente

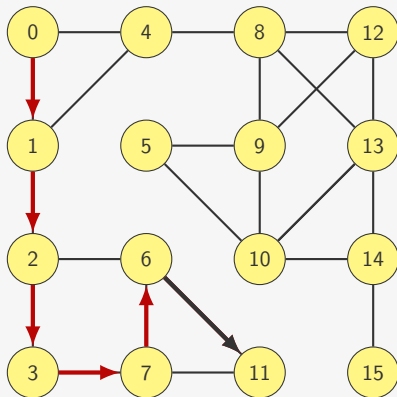




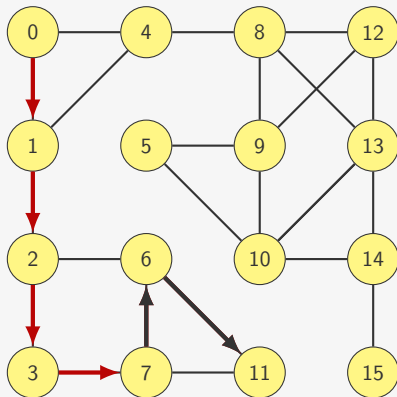
## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



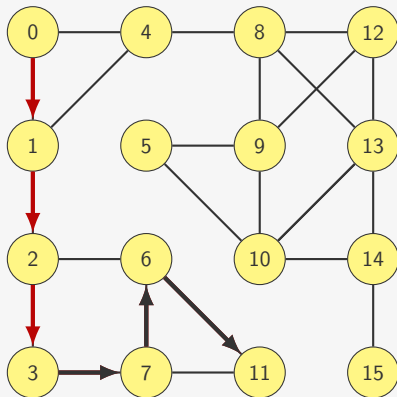
## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



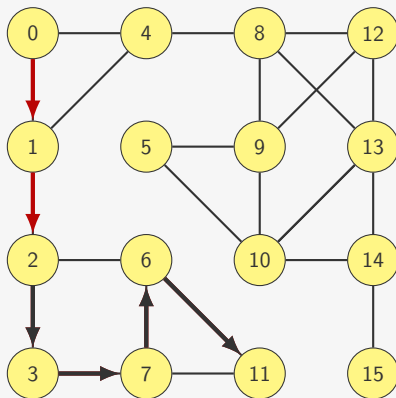
## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



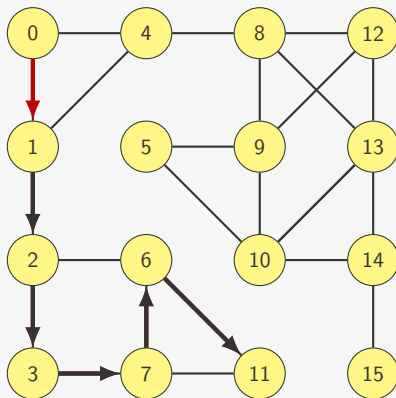
## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



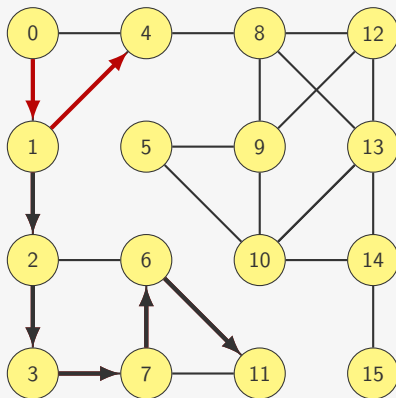
## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



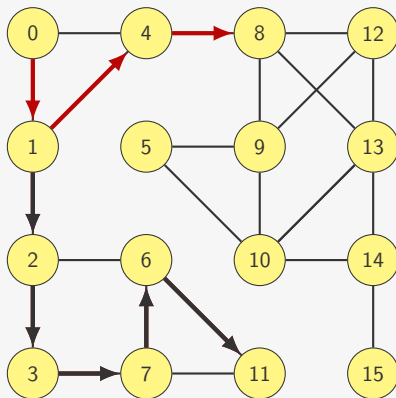
## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente

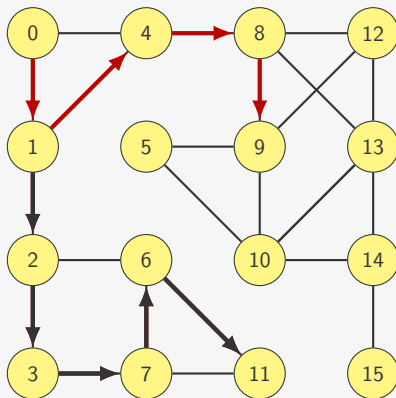


## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente

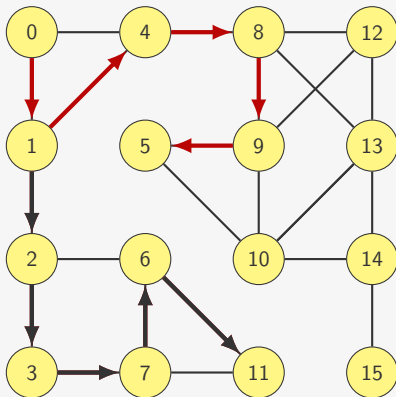




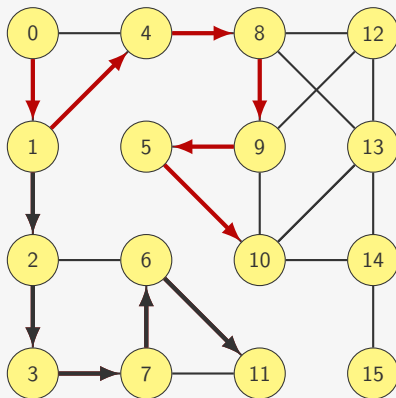
## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



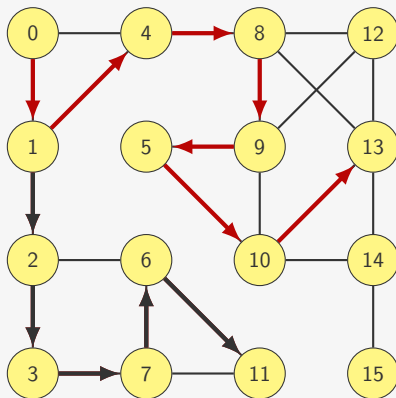
## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



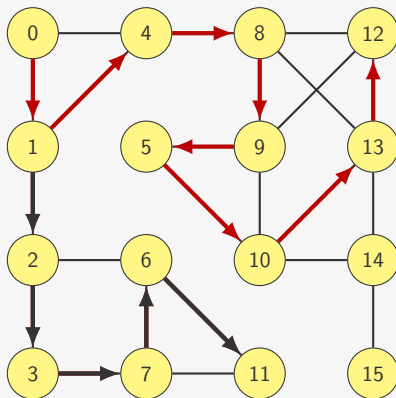
## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



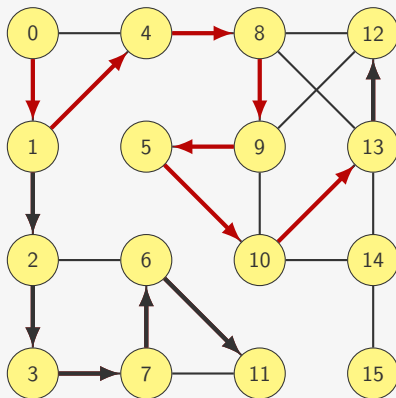
## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



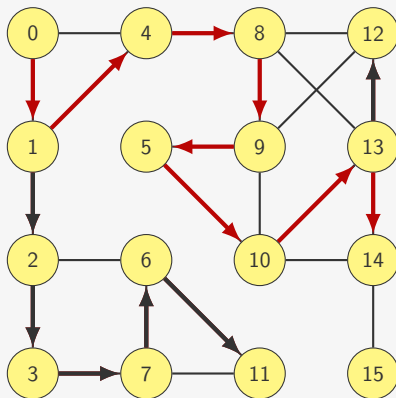
## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



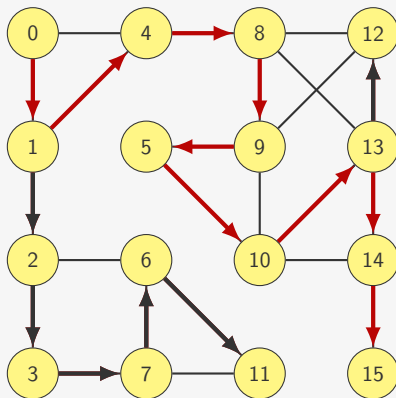
## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente

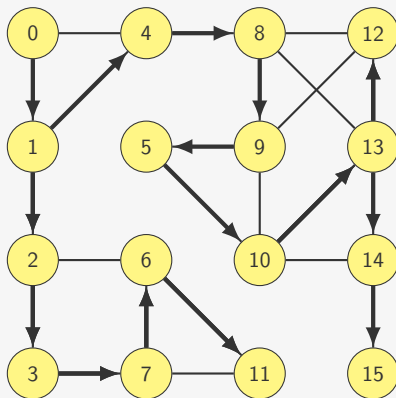


## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente

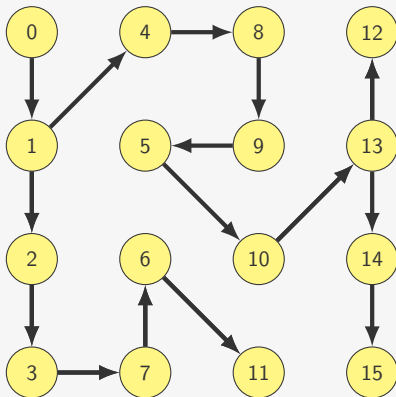




## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente



As arestas usadas formam uma árvore!



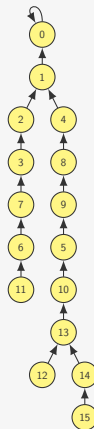


## Caminhos de $s$ para outros vértices da componente

```
1 int * encontra_caminhos(p_grafo g, int s) {  
2     int i, *pai = malloc(g->n * sizeof(int));  
3     for (i = 0; i < g->n; i++)  
4         pai[i] = -1;  
5     busca_em_profundidade(g, pai, s, s);  
6     return pai;  
7 }
```

# Caminhos de $s$ para outros vértices da componente

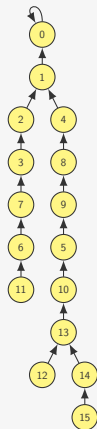
```
1 int * encontra_caminhos(p_grafo g, int s) {  
2     int i, *pai = malloc(g->n * sizeof(int));  
3     for (i = 0; i < g->n; i++)  
4         pai[i] = -1;  
5     busca_em_profundidade(g, pai, s, s);  
6     return pai;  
7 }
```



# Caminhos de $s$ para outros vértices da componente

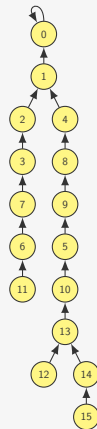
```
1 int * encontra_caminhos(p_grafo g, int s) {  
2     int i, *pai = malloc(g->n * sizeof(int));  
3     for (i = 0; i < g->n; i++)  
4         pai[i] = -1;  
5     busca_em_profundidade(g, pai, s, s);  
6     return pai;  
7 }
```

```
1 void busca_em_profundidade(p_grafo g, int *pai, int p, int v) {  
2     p_no t;  
3     pai[v] = p;  
4     for(t = g->adj[v]; t != NULL; t = t->prox)  
5         if (pai[t->v] == -1)  
6             busca_em_profundidade(g, pai, v, t->v);  
7 }
```



# Imprimindo o caminho

```
1 void imprimi_caminho_reverso(int v, int *pai) {  
2     printf("%d", v);  
3     if(pai[v] != v)  
4         imprimi_caminho_reverso(pai[v], pai);  
5 }
```

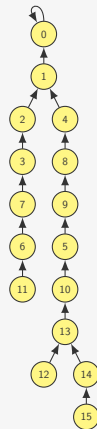




# Imprimindo o caminho

```
1 void imprimi_caminho_reverso(int v, int *pai) {  
2     printf("%d", v);  
3     if(pai[v] != v)  
4         imprimi_caminho_reverso(pai[v], pai);  
5 }
```

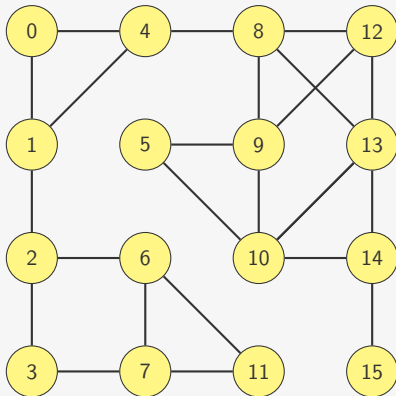
```
1 void imprimi_caminho(int v, int *pai) {  
2     if(pai[v] != v)  
3         imprimi_caminho(pai[v], pai);  
4     printf("%d", v);  
5 }
```



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha

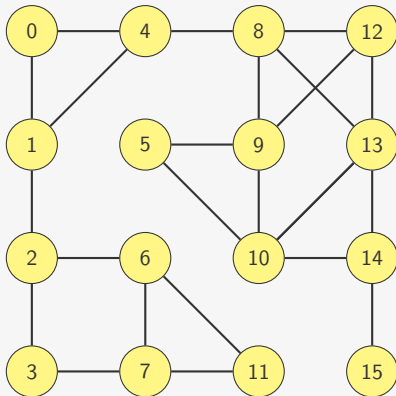


Pilha

# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha

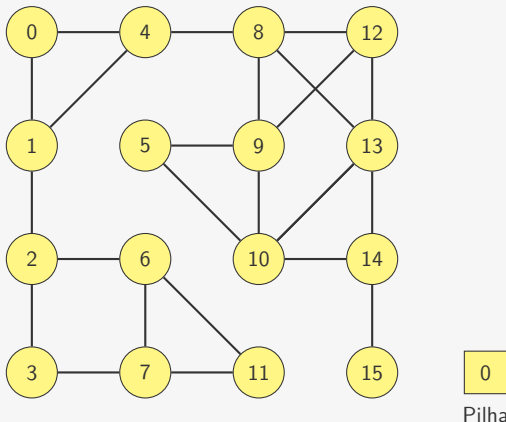


Pilha

# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

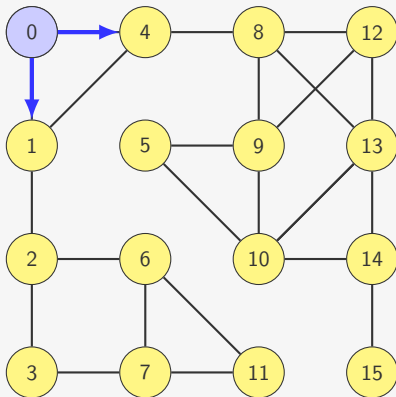
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha

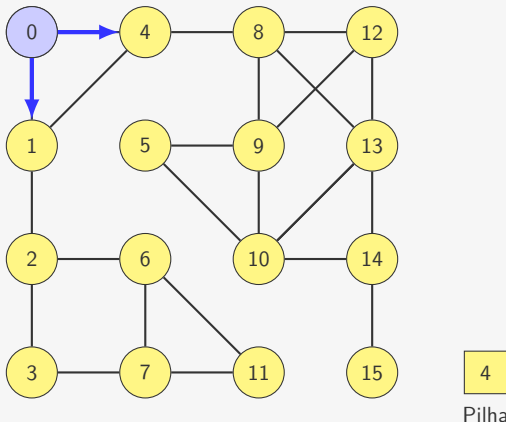


Pilha

# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

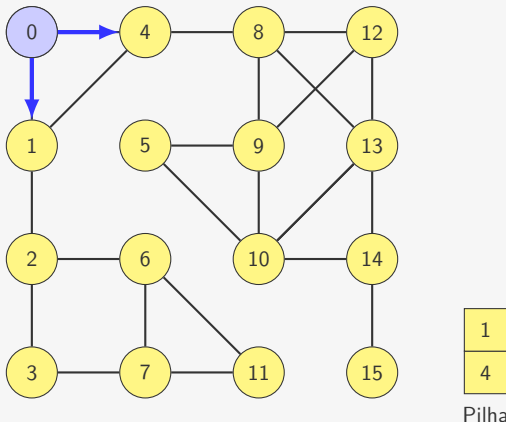
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

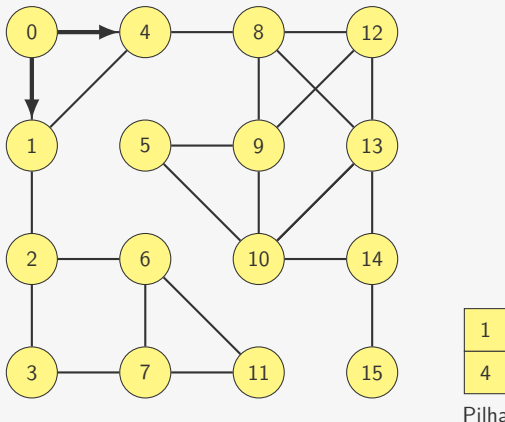
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha

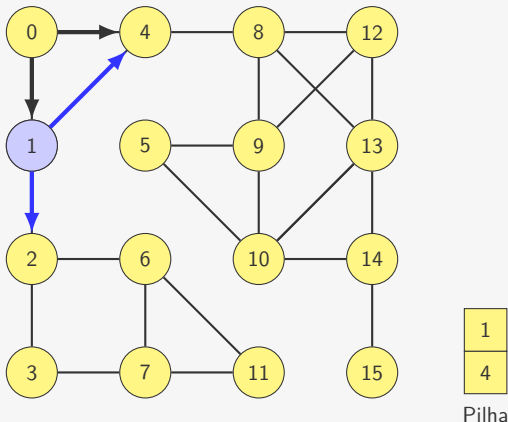




# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

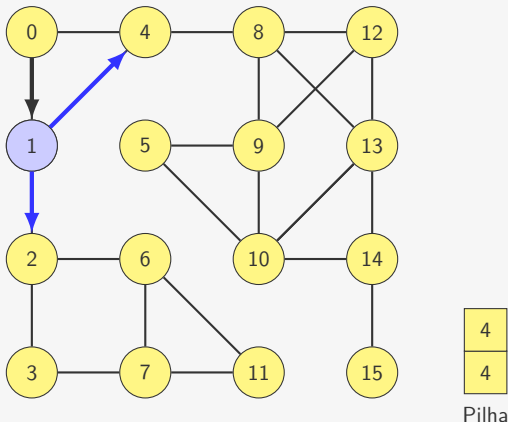
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

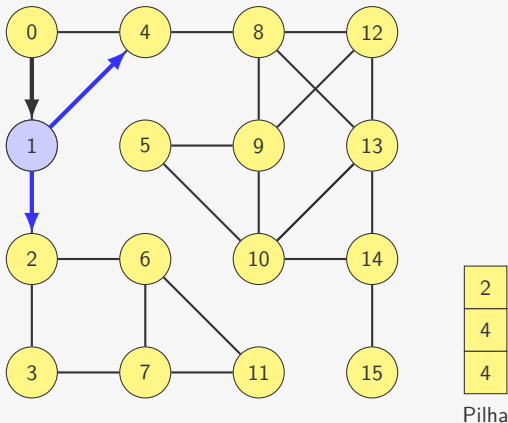
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

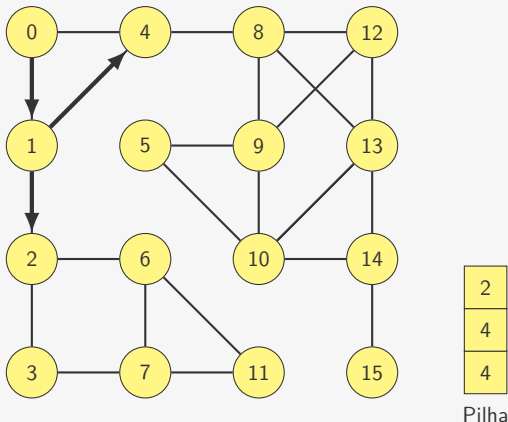
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

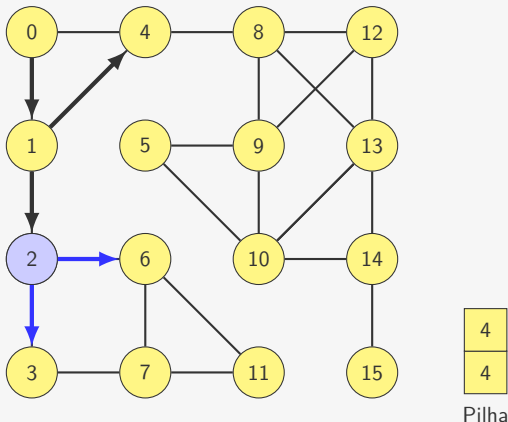
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

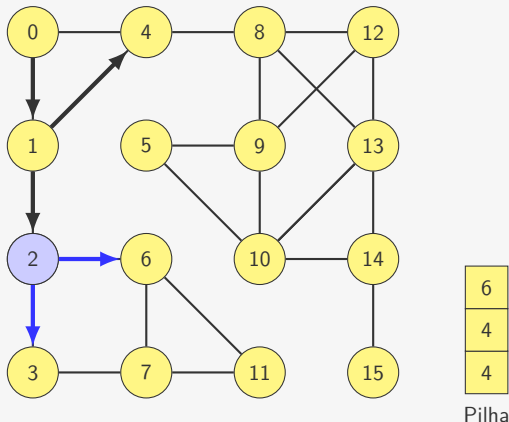
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



## Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

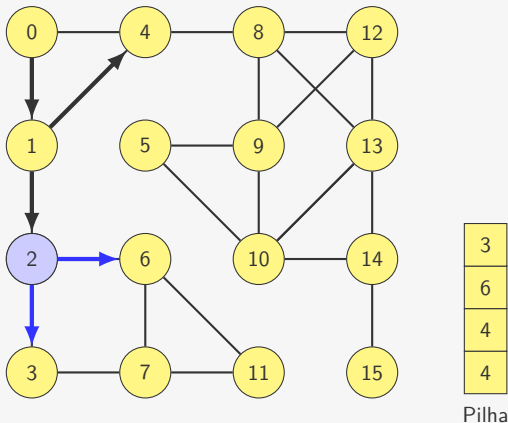
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

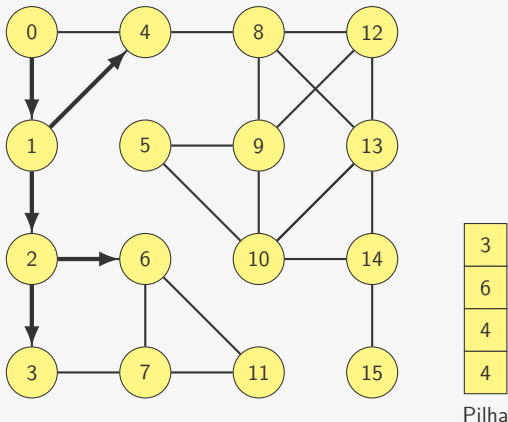
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha

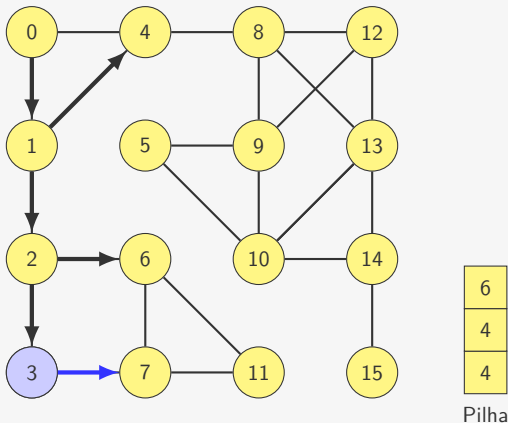




# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

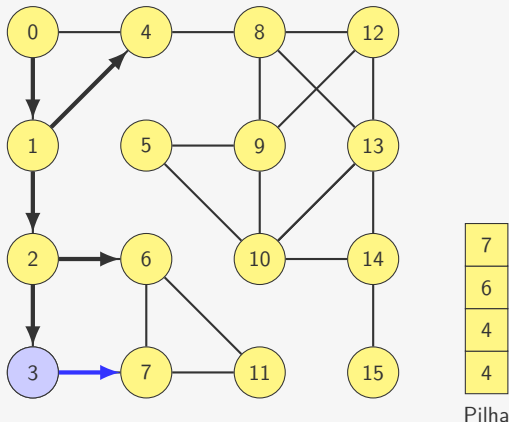
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



## Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

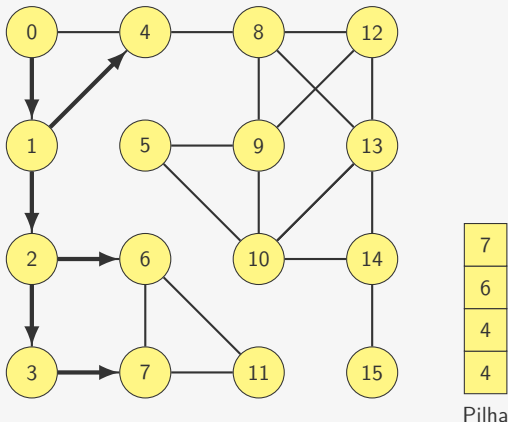
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

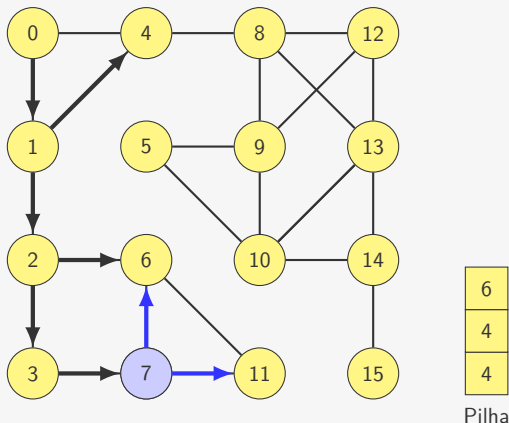
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

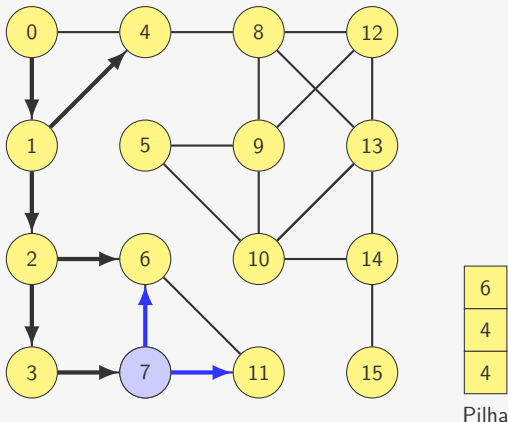
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

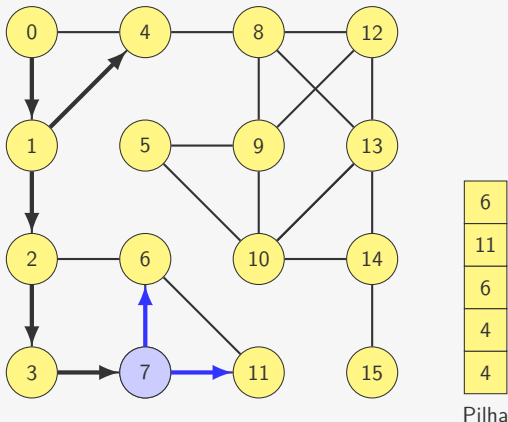
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

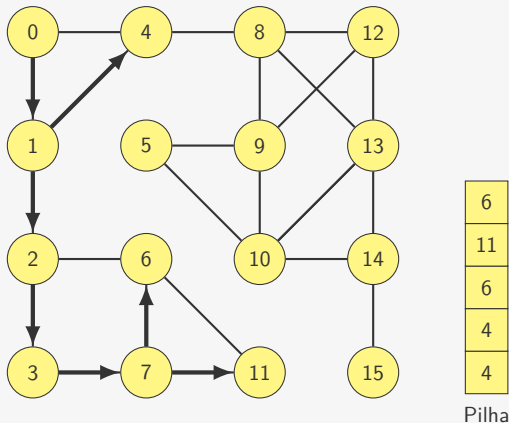
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

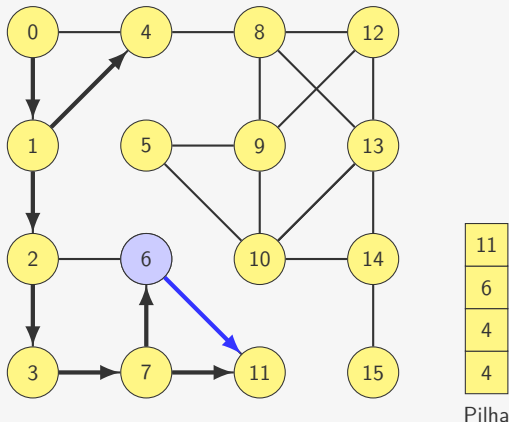
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha

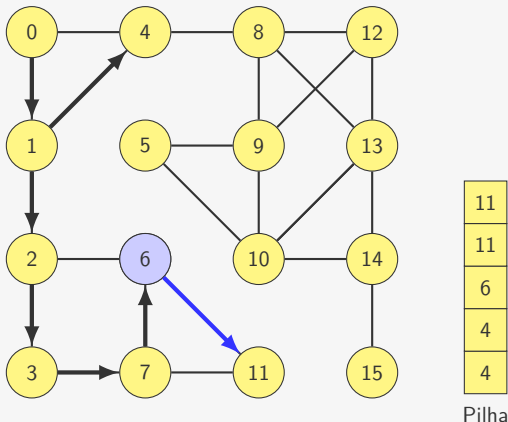




# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

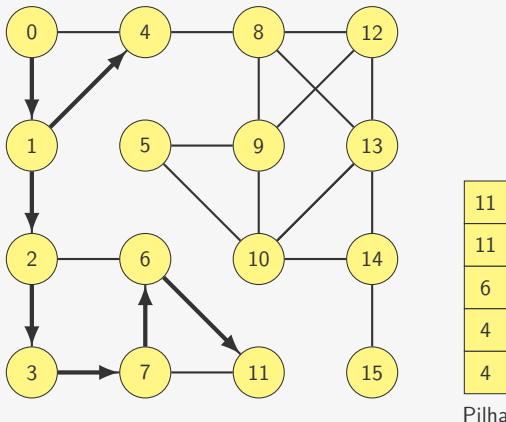
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

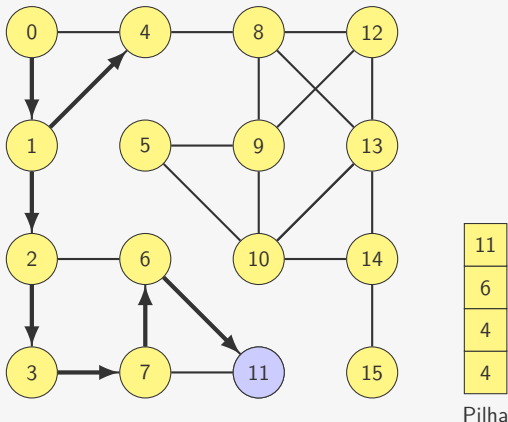
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

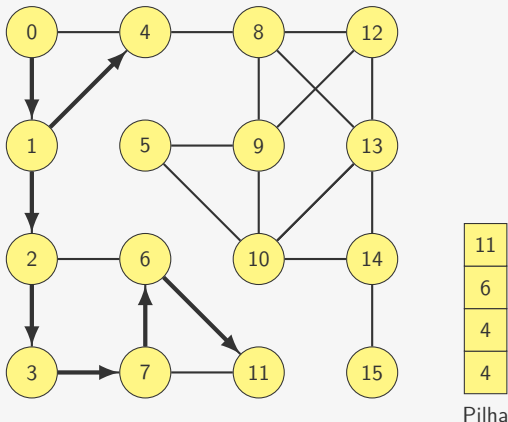
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

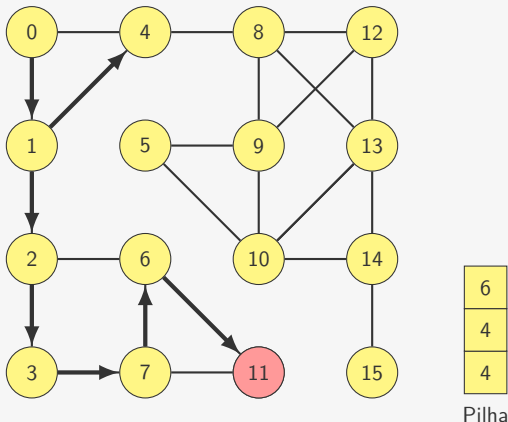
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

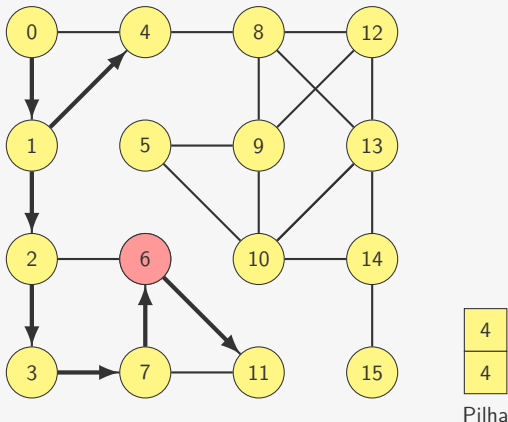
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

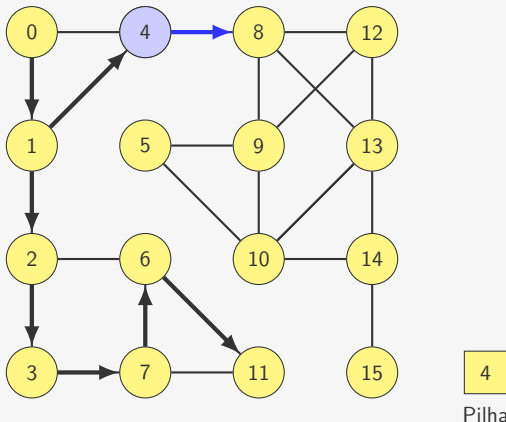
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

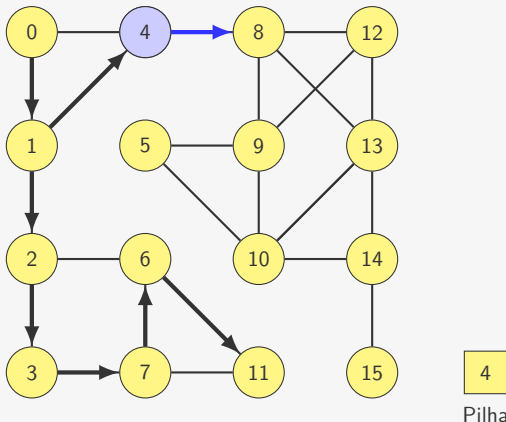
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha

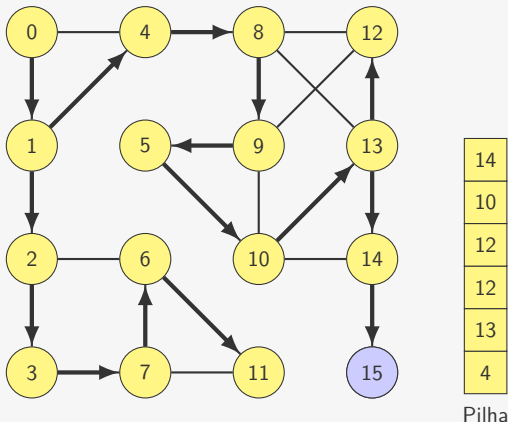




# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

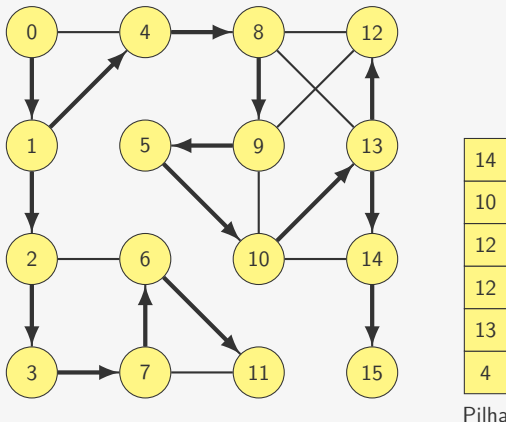
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

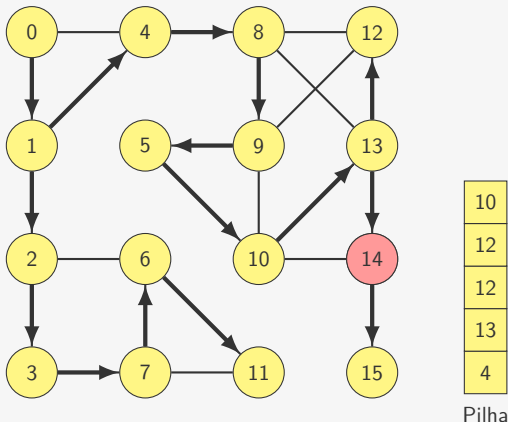
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

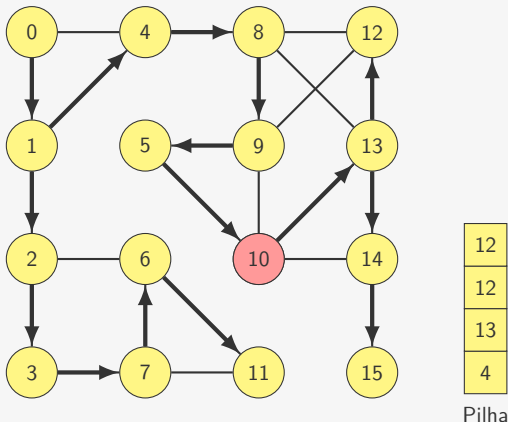
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

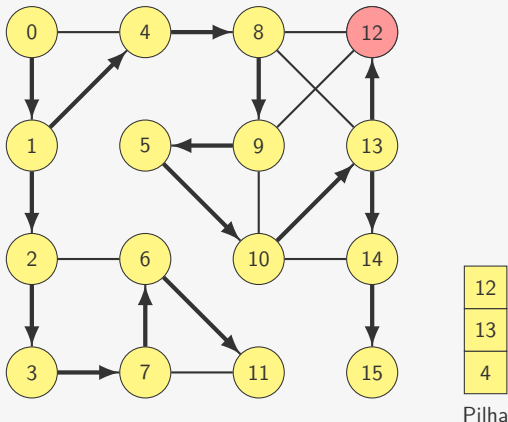
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

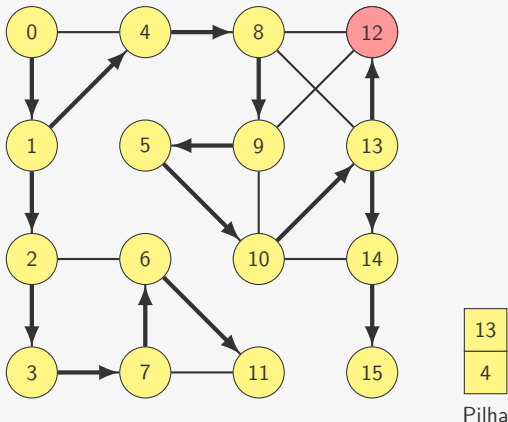
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

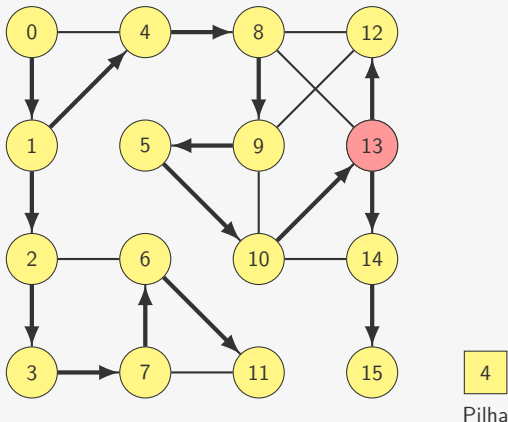
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

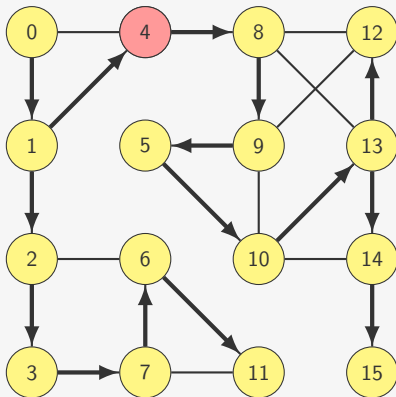
- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



# Busca em Profundidade usando uma Pilha

Podemos fazer uma busca em profundidade usando pilha:

- A cada passo, desempilhamos um vértice não visitado
- E inserimos os seus vizinhos não visitados na pilha



Pilha



# Implementação

```
1 int * busca_em_profundidade(p_grafo g, int s) {
```

# Implementação

```
1 int * busca_em_profundidade(p_grafo g, int s) {  
2     int w, v;  
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));  
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
```

# Implementação

```
1 int * busca_em_profundidade(p_grafo g, int s) {  
2     int w, v;  
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));  
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));  
5     p_pilha p = criar_pilha();
```

# Implementação

```
1 int * busca_em_profundidade(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_pilha p = criar_pilha();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
```

# Implementação

```
1 int * busca_em_profundidade(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_pilha p = criar_pilha();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    empilhar(p,s);
```

# Implementação

```
1 int * busca_em_profundidade(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_pilha p = criar_pilha();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    empilhar(p,s);
11    pai[s] = s;
```

# Implementação

```
1 int * busca_em_profundidade(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_pilha p = criar_pilha();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    empilhar(p,s);
11    pai[s] = s;
12    while(!pilha_vazia(p)) {
```

# Implementação

```
1 int * busca_em_profundidade(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_pilha p = criar_pilha();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    empilhar(p,s);
11    pai[s] = s;
12    while(!pilha_vazia(p)) {
13        v = desempilhar(p);
```



# Implementação

```
1 int * busca_em_profundidade(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_pilha p = criar_pilha();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    empilhar(p,s);
11    pai[s] = s;
12    while(!pilha_vazia(p)) {
13        v = desempilhar(p);
14        visitado[v] = 1;
```

# Implementação

```
1 int * busca_em_profundidade(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_pilha p = criar_pilha();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    empilhar(p,s);
11    pai[s] = s;
12    while(!pilha_vazia(p)) {
13        v = desempilhar(p);
14        visitado[v] = 1;
15        for (w = 0; w < g->n; w++)
```

# Implementação

```
1 int * busca_em_profundidade(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_pilha p = criar_pilha();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    empilhar(p,s);
11    pai[s] = s;
12    while(!pilha_vazia(p)) {
13        v = desempilhar(p);
14        visitado[v] = 1;
15        for (w = 0; w < g->n; w++)
16            if (g->adj[v][w] && !visitado[w]) {
```

# Implementação

```
1 int * busca_em_profundidade(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_pilha p = criar_pilha();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    empilhar(p,s);
11    pai[s] = s;
12    while(!pilha_vazia(p)) {
13        v = desempilhar(p);
14        visitado[v] = 1;
15        for (w = 0; w < g->n; w++)
16            if (g->adj[v][w] && !visitado[w]) {
17                pai[w] = v;
```

# Implementação

```
1 int * busca_em_profundidade(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_pilha p = criar_pilha();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    empilhar(p,s);
11    pai[s] = s;
12    while(!pilha_vazia(p)) {
13        v = desempilhar(p);
14        visitado[v] = 1;
15        for (w = 0; w < g->n; w++)
16            if (g->adj[v][w] && !visitado[w]) {
17                pai[w] = v;
18                empilhar(p, w);
19            }
20    }
```

# Implementação

```
1 int * busca_em_profundidade(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_pilha p = criar_pilha();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    empilhar(p,s);
11    pai[s] = s;
12    while(!pilha_vazia(p)) {
13        v = desempilhar(p);
14        visitado[v] = 1;
15        for (w = 0; w < g->n; w++)
16            if (g->adj[v][w] && !visitado[w]) {
17                pai[w] = v;
18                empilhar(p, w);
19            }
20    }
```

# Implementação

```
1 int * busca_em_profundidade(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_pilha p = criar_pilha();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    empilhar(p,s);
11    pai[s] = s;
12    while(!pilha_vazia(p)) {
13        v = desempilhar(p);
14        visitado[v] = 1;
15        for (w = 0; w < g->n; w++)
16            if (g->adj[v][w] && !visitado[w]) {
17                pai[w] = v;
18                empilhar(p, w);
19            }
20    }
21    destroi_pilha(p);
```

# Implementação

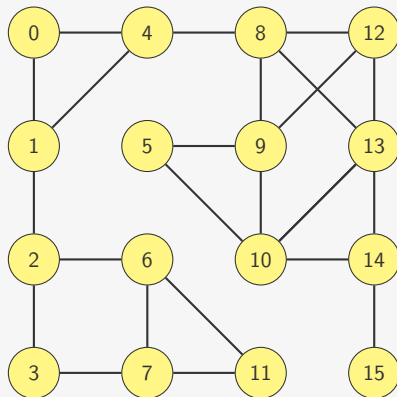
```
1 int * busca_em_profundidade(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_pilha p = criar_pilha();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    empilhar(p,s);
11    pai[s] = s;
12    while(!pilha_vazia(p)) {
13        v = desempilhar(p);
14        visitado[v] = 1;
15        for (w = 0; w < g->n; w++)
16            if (g->adj[v][w] && !visitado[w]) {
17                pai[w] = v;
18                empilhar(p, w);
19            }
20    }
21    destroi_pilha(p);
22    free(visitado);
```



# Implementação

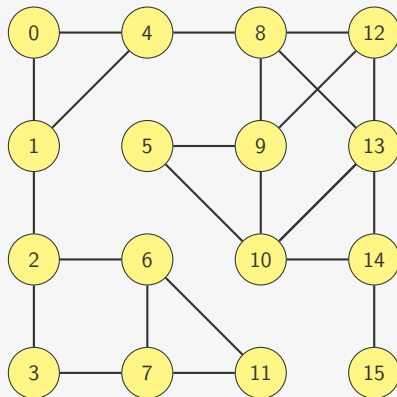
```
1 int * busca_em_profundidade(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_pilha p = criar_pilha();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    empilhar(p,s);
11    pai[s] = s;
12    while(!pilha_vazia(p)) {
13        v = desempilhar(p);
14        visitado[v] = 1;
15        for (w = 0; w < g->n; w++)
16            if (g->adj[v][w] && !visitado[w]) {
17                pai[w] = v;
18                empilhar(p, w);
19            }
20    }
21    destroi_pilha(p);
22    free(visitado);
23    return pai;
24 }
```

E se tivéssemos usando uma Fila?



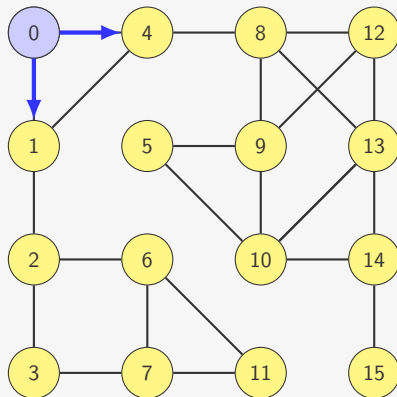
Fila

E se tivéssemos usando uma Fila?



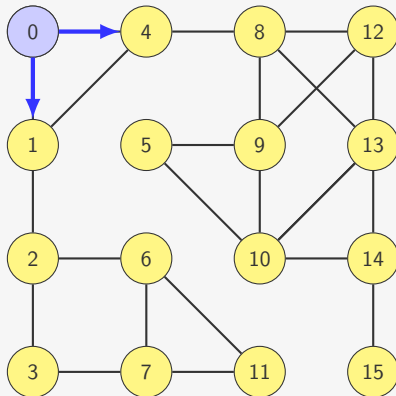
Fila 0

E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

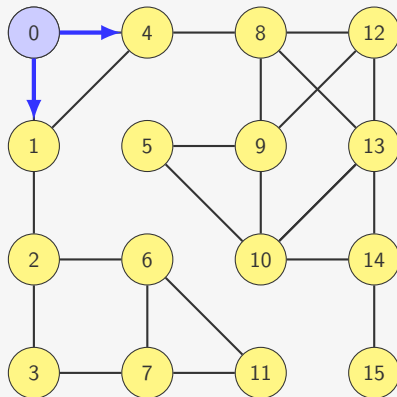
## E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

1

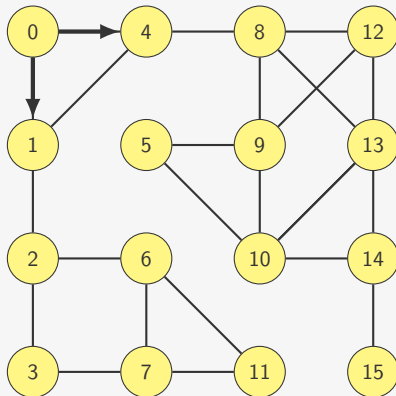
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila 

|   |   |
|---|---|
| 1 | 4 |
|---|---|

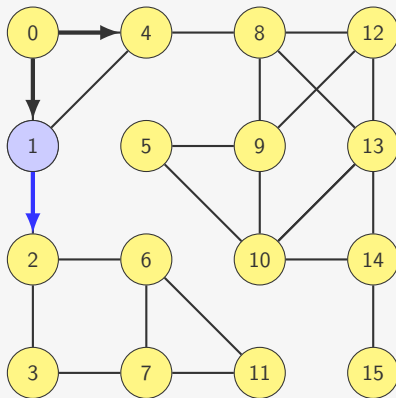
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

|   |   |
|---|---|
| 1 | 4 |
|---|---|

E se tivéssemos usando uma Fila?

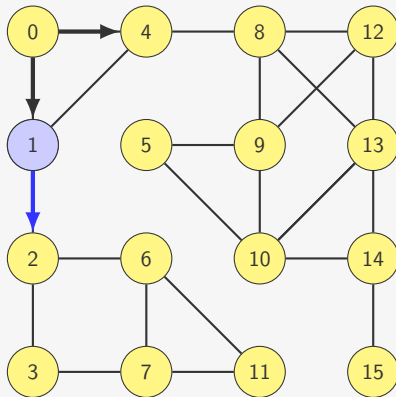


Fila

4



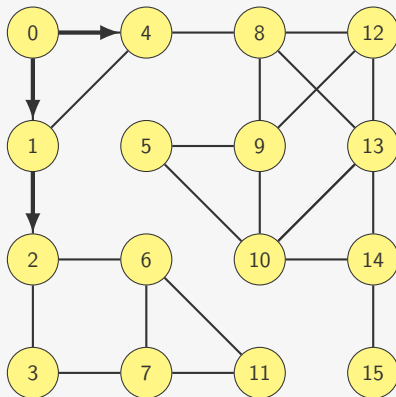
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila 

|   |   |
|---|---|
| 4 | 2 |
|---|---|

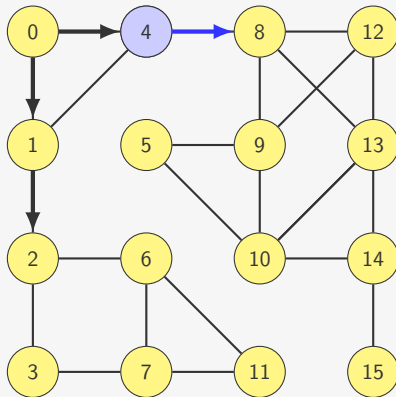
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila 

|   |   |
|---|---|
| 4 | 2 |
|---|---|

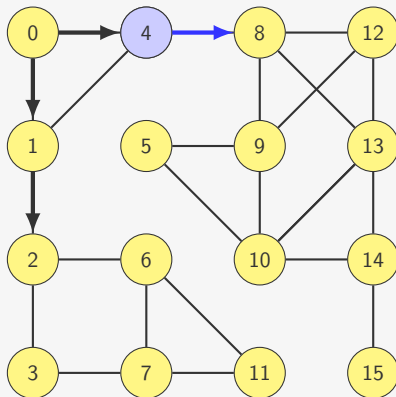
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

2

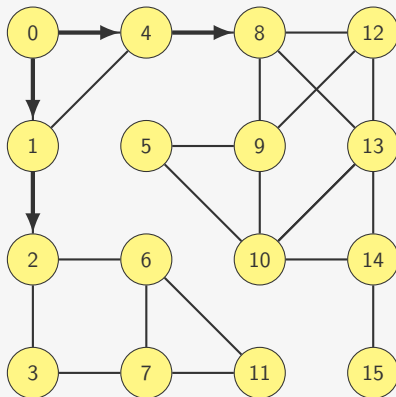
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila 

|   |   |
|---|---|
| 2 | 8 |
|---|---|

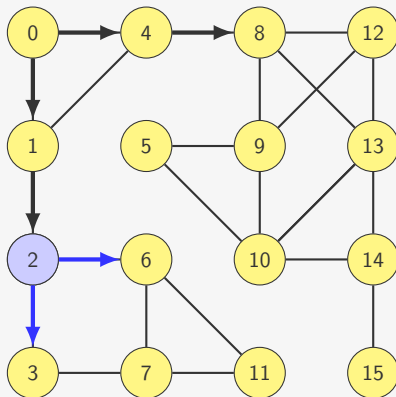
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila 

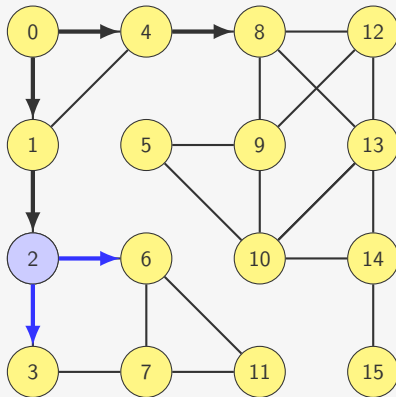
|   |   |
|---|---|
| 2 | 8 |
|---|---|

E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila 8

## E se tivéssemos usando uma Fila?

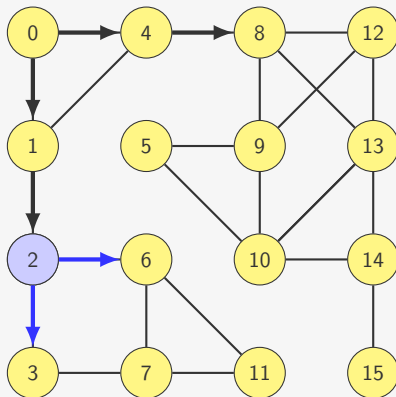


Fila

8

3

E se tivéssemos usando uma Fila?

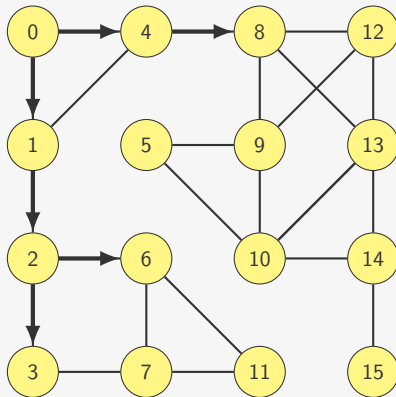


Fila 

|   |   |   |
|---|---|---|
| 8 | 3 | 6 |
|---|---|---|



## E se tivéssemos usando uma Fila?



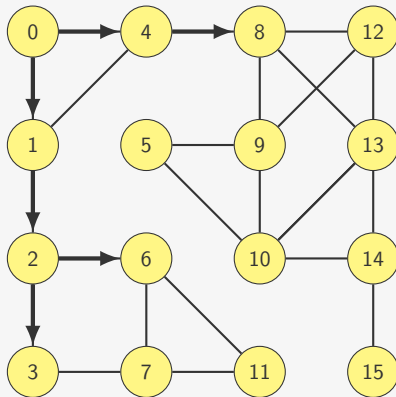
Fila

8

3

6

## E se tivéssemos usando uma Fila?



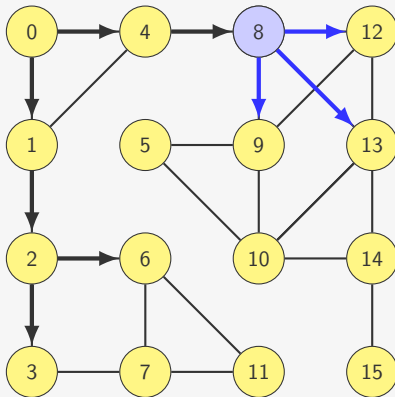
Fila

8

3

6

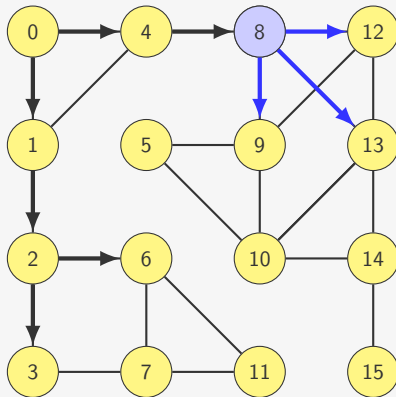
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila 

|   |   |
|---|---|
| 3 | 6 |
|---|---|

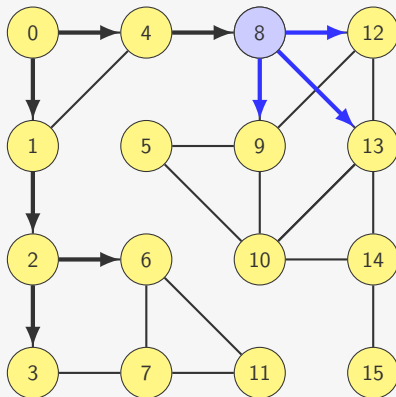
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila 

|   |   |   |
|---|---|---|
| 3 | 6 | 9 |
|---|---|---|

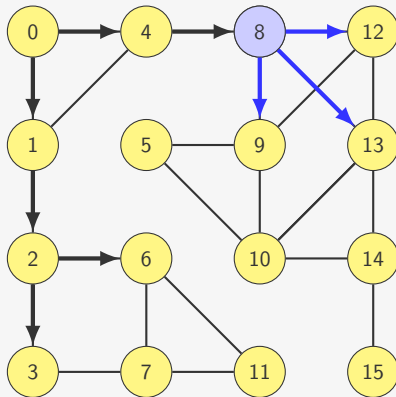
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

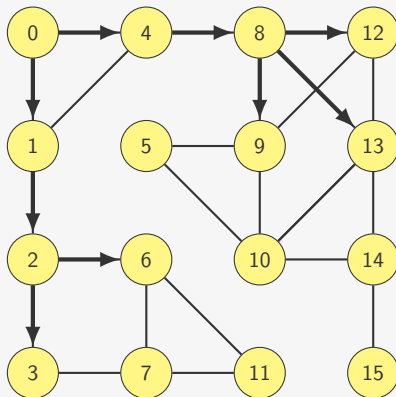
|   |   |   |    |
|---|---|---|----|
| 3 | 6 | 9 | 12 |
|---|---|---|----|

E se tivéssemos usando uma Fila?



|      |   |   |   |    |    |
|------|---|---|---|----|----|
| Fila | 3 | 6 | 9 | 12 | 13 |
|------|---|---|---|----|----|

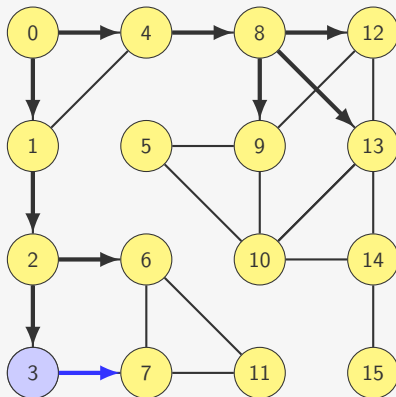
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

|   |   |   |    |    |
|---|---|---|----|----|
| 3 | 6 | 9 | 12 | 13 |
|---|---|---|----|----|

E se tivéssemos usando uma Fila?

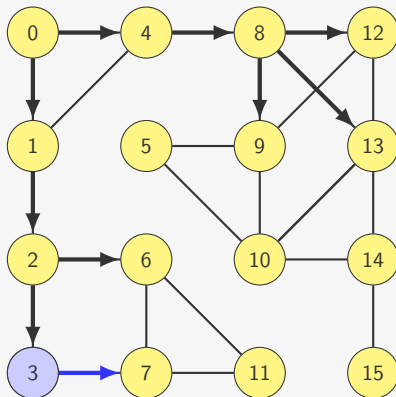


Fila

|   |   |    |    |
|---|---|----|----|
| 6 | 9 | 12 | 13 |
|---|---|----|----|



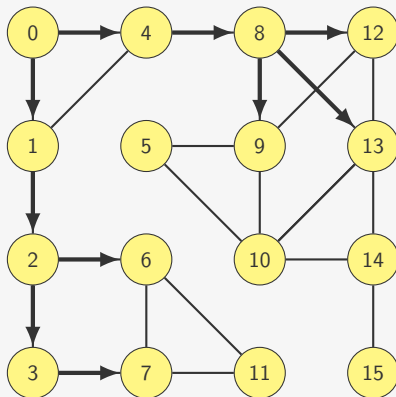
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

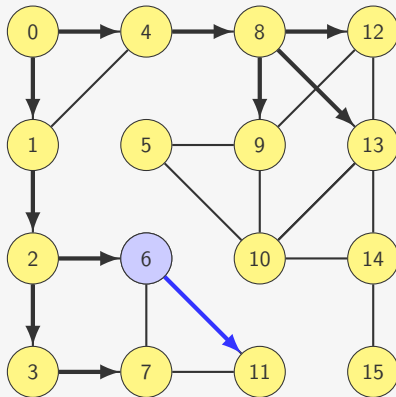
|   |   |    |    |   |
|---|---|----|----|---|
| 6 | 9 | 12 | 13 | 7 |
|---|---|----|----|---|

E se tivéssemos usando uma Fila?



|      |   |   |    |    |   |
|------|---|---|----|----|---|
| Fila | 6 | 9 | 12 | 13 | 7 |
|------|---|---|----|----|---|

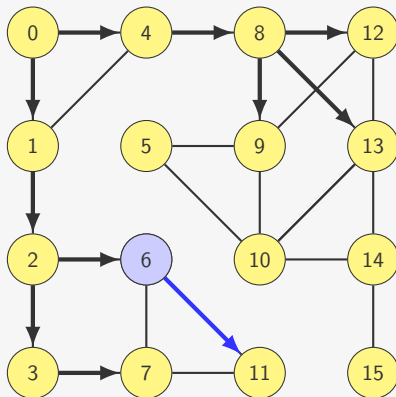
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

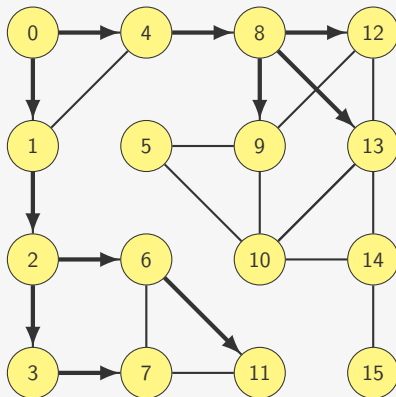
|   |    |    |   |
|---|----|----|---|
| 9 | 12 | 13 | 7 |
|---|----|----|---|

E se tivéssemos usando uma Fila?



|      |   |    |    |   |    |
|------|---|----|----|---|----|
| Fila | 9 | 12 | 13 | 7 | 11 |
|------|---|----|----|---|----|

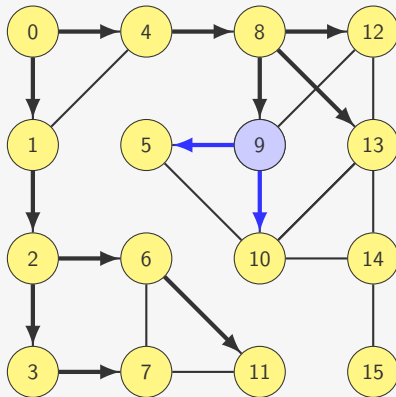
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

|   |    |    |   |    |
|---|----|----|---|----|
| 9 | 12 | 13 | 7 | 11 |
|---|----|----|---|----|

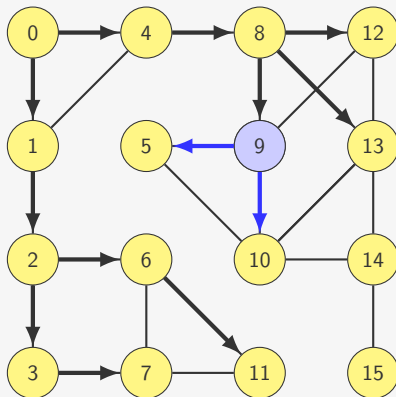
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila 

|    |    |   |    |
|----|----|---|----|
| 12 | 13 | 7 | 11 |
|----|----|---|----|

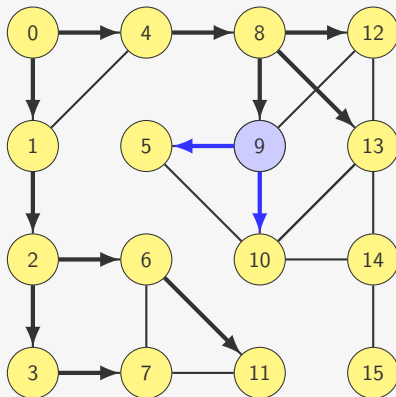
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

|    |    |   |    |   |
|----|----|---|----|---|
| 12 | 13 | 7 | 11 | 5 |
|----|----|---|----|---|

E se tivéssemos usando uma Fila?

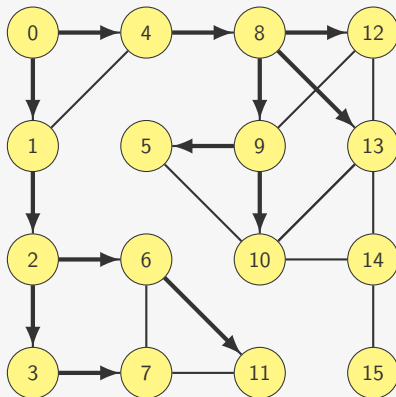


Fila

|    |    |   |    |   |    |
|----|----|---|----|---|----|
| 12 | 13 | 7 | 11 | 5 | 10 |
|----|----|---|----|---|----|



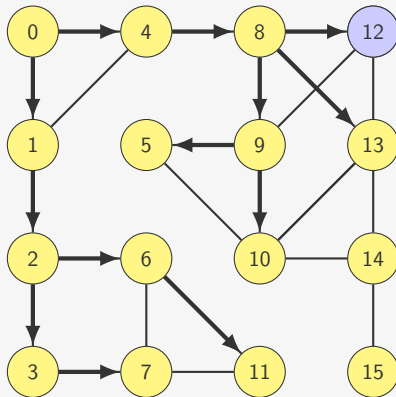
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

|    |    |   |    |   |    |
|----|----|---|----|---|----|
| 12 | 13 | 7 | 11 | 5 | 10 |
|----|----|---|----|---|----|

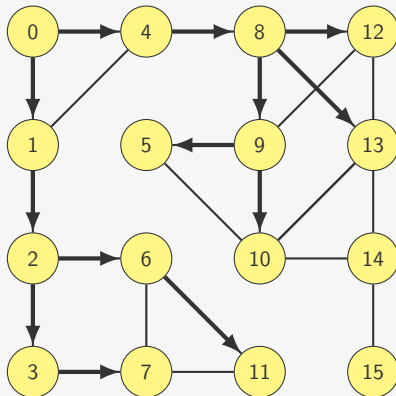
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

|    |   |    |   |    |
|----|---|----|---|----|
| 13 | 7 | 11 | 5 | 10 |
|----|---|----|---|----|

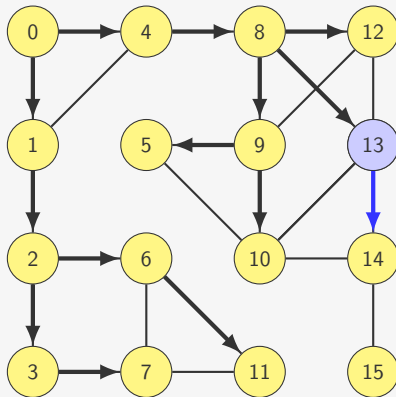
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

|    |   |    |   |    |
|----|---|----|---|----|
| 13 | 7 | 11 | 5 | 10 |
|----|---|----|---|----|

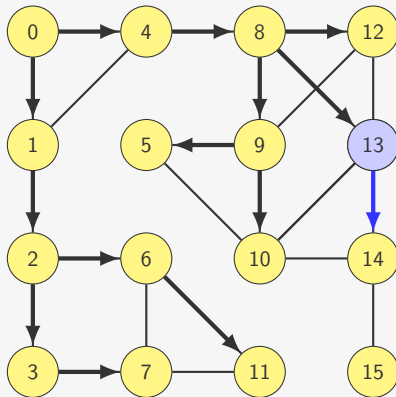
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

|   |    |   |    |
|---|----|---|----|
| 7 | 11 | 5 | 10 |
|---|----|---|----|

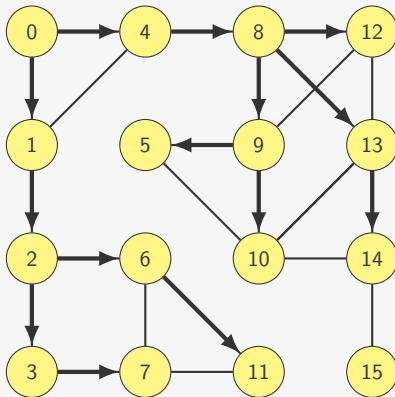
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

|   |    |   |    |    |
|---|----|---|----|----|
| 7 | 11 | 5 | 10 | 14 |
|---|----|---|----|----|

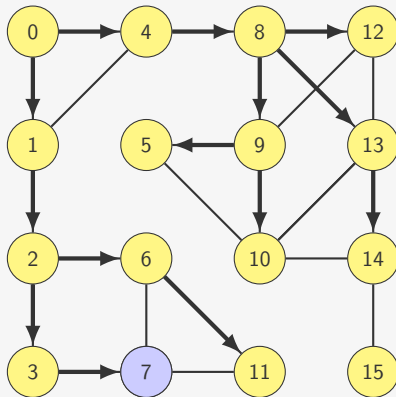
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

|   |    |   |    |    |
|---|----|---|----|----|
| 7 | 11 | 5 | 10 | 14 |
|---|----|---|----|----|

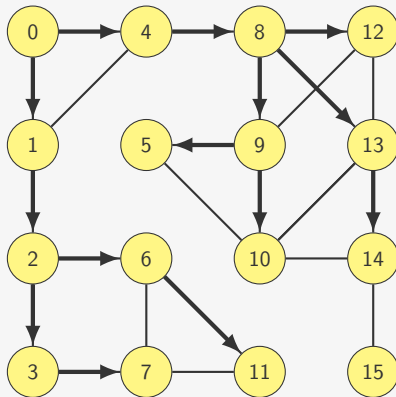
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila 

|    |   |    |    |
|----|---|----|----|
| 11 | 5 | 10 | 14 |
|----|---|----|----|

E se tivéssemos usando uma Fila?

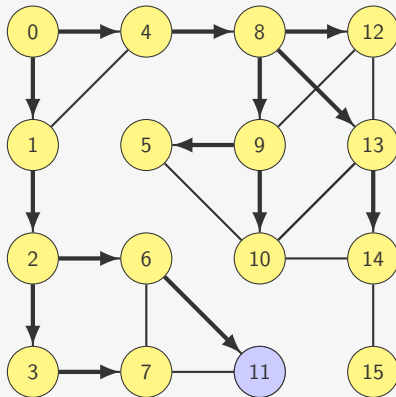


Fila 

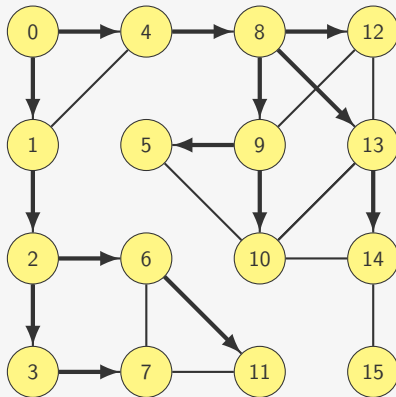
|    |   |    |    |
|----|---|----|----|
| 11 | 5 | 10 | 14 |
|----|---|----|----|



E se tivéssemos usando uma Fila?



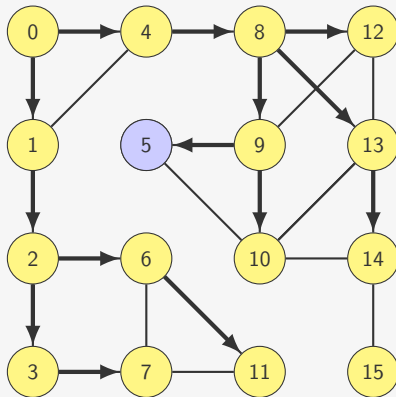
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila 

|   |    |    |
|---|----|----|
| 5 | 10 | 14 |
|---|----|----|

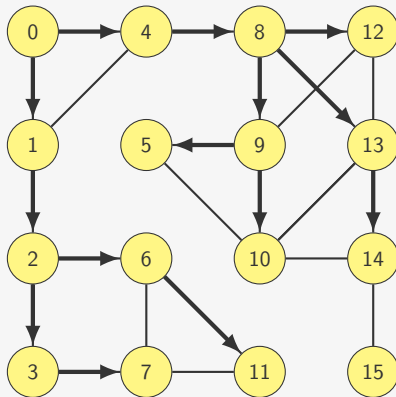
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila 

|    |    |
|----|----|
| 10 | 14 |
|----|----|

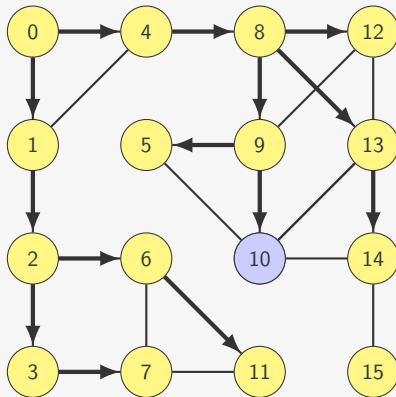
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

|    |    |
|----|----|
| 10 | 14 |
|----|----|

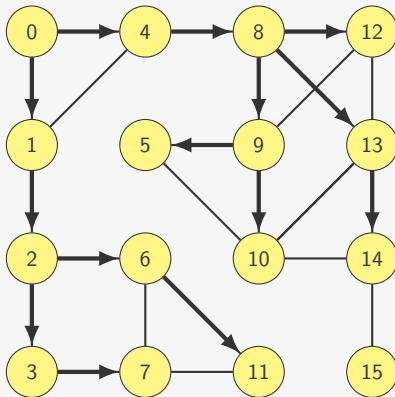
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

14

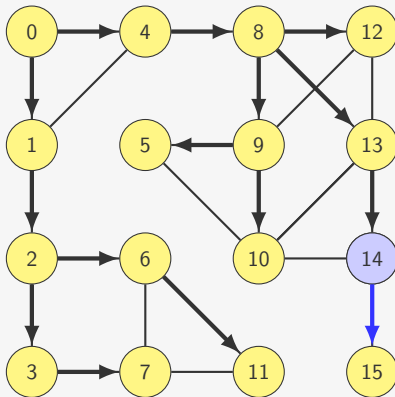
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

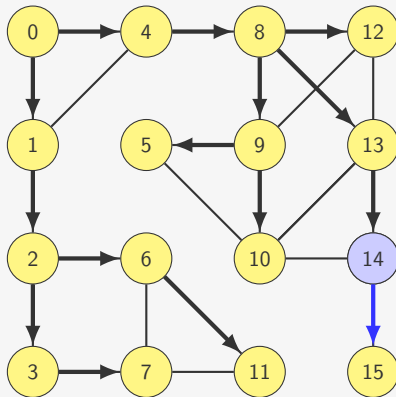
14

E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

E se tivéssemos usando uma Fila?

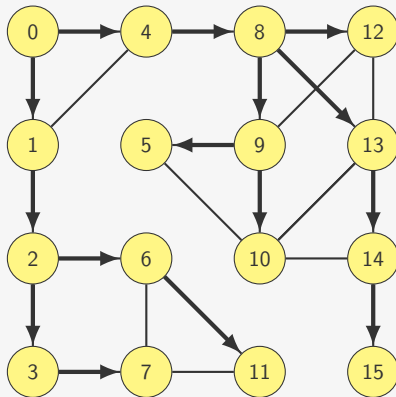


Fila

15



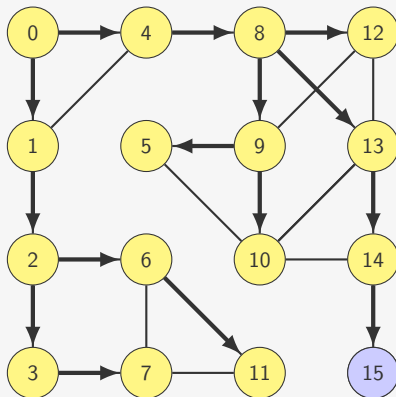
E se tivéssemos usando uma Fila?



Fila

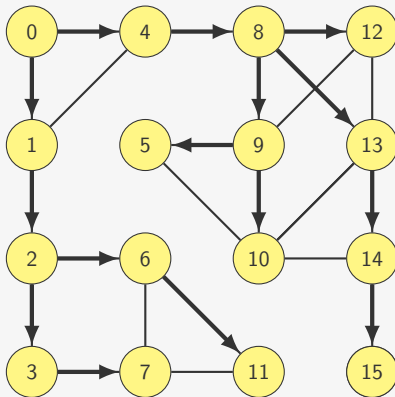
15

E se tivéssemos usando uma Fila?



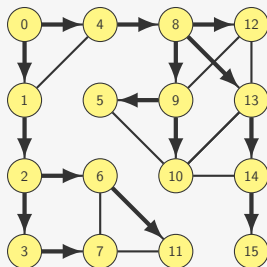
Fila

E se tivéssemos usando uma Fila?

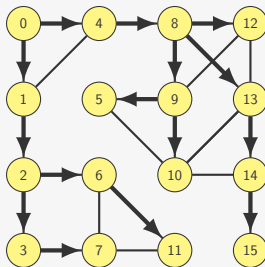


Fila

E se tivéssemos usando uma Fila?

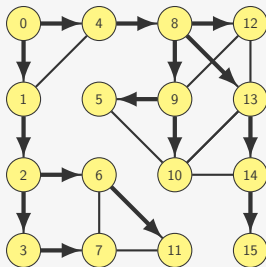


E se tivéssemos usando uma Fila?



Usando uma fila, visitamos primeiro os vértices mais próximos

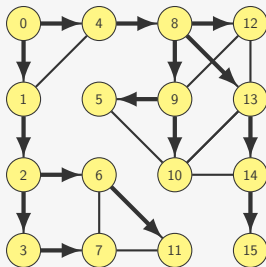
## E se tivéssemos usando uma Fila?



Usando uma fila, visitamos primeiro os vértices mais próximos

- Enfileiramos os vizinhos de 0 (que estão a distância 1)

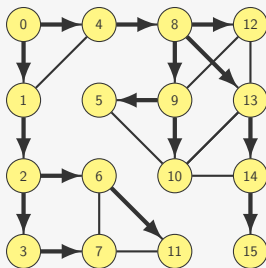
## E se tivéssemos usando uma Fila?



Usando uma fila, visitamos primeiro os vértices mais próximos

- Enfileiramos os vizinhos de **0** (que estão a distância **1**)
- Desenfileiramos um de seus vizinho

## E se tivéssemos usando uma Fila?

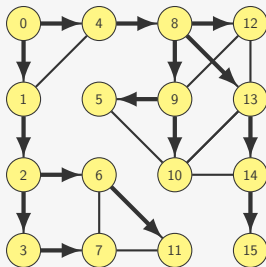


Usando uma fila, visitamos primeiro os vértices mais próximos

- Enfileiramos os vizinhos de **0** (que estão a distância **1**)
- Desenfileiramos um de seus vizinho
- E enfileiramos os vizinhos deste vértice



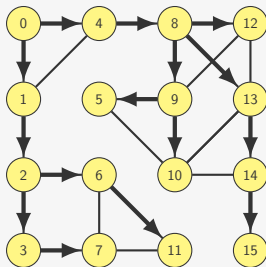
## E se tivéssemos usando uma Fila?



Usando uma fila, visitamos primeiro os vértices mais próximos

- Enfileiramos os vizinhos de 0 (que estão a distância 1)
- Desenfileiramos um de seus vizinho
- E enfileiramos os vizinhos deste vértice
  - que estão a distância 2 de 0

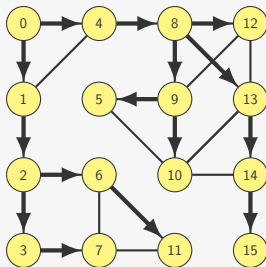
## E se tivéssemos usando uma Fila?



Usando uma fila, visitamos primeiro os vértices mais próximos

- Enfileiramos os vizinhos de **0** (que estão a distância **1**)
- Desenfileiramos um de seus vizinho
- E enfileiramos os vizinhos deste vértice
  - que estão a distância **2** de **0**
- Assim por diante...

## E se tivéssemos usando uma Fila?



Usando uma fila, visitamos primeiro os vértices mais próximos

- Enfileiramos os vizinhos de **0** (que estão a distância **1**)
- Desenfileiramos um de seus vizinho
- E enfileiramos os vizinhos deste vértice
  - que estão a distância **2** de **0**
- Assim por diante...

A árvore nos dá um caminho mínimo entre raiz e vértice

# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {
```

# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {  
2     int w, v;  
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));  
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
```

# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {  
2     int w, v;  
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));  
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));  
5     p_fila f = criar_fila();
```

# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_fila f = criar_fila();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
```

# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_fila f = criar_fila();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    enqueue(f,s);
```



# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_fila f = criar_fila();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    enqueue(f,s);
11    pai[s] = s;
```

# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_fila f = criar_fila();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    enqueue(f,s);
11    pai[s] = s;
12    visitado[s] = 1;
```

# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_fila f = criar_fila();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    enfileira(f,s);
11    pai[s] = s;
12    visitado[s] = 1;
13    while(!fila_vazia(f)) {
```

# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_fila f = criar_fila();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    enfileira(f,s);
11    pai[s] = s;
12    visitado[s] = 1;
13    while(!fila_vazia(f)) {
14        v = desenfileira(f);
```

# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_fila f = criar_fila();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    enfileira(f,s);
11    pai[s] = s;
12    visitado[s] = 1;
13    while(!fila_vazia(f)) {
14        v = desenfileira(f);
15        for (w = 0; w < g->n; w++)
```

# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_fila f = criar_fila();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    enqueue(f,s);
11    pai[s] = s;
12    visitado[s] = 1;
13    while(!fila_vazia(f)) {
14        v = dequeue(f);
15        for (w = 0; w < g->n; w++)
16            if (g->adj[v][w] && !visitado[w]) {
```

# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_fila f = criar_fila();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    enqueue(f,s);
11    pai[s] = s;
12    visitado[s] = 1;
13    while(!fila_vazia(f)) {
14        v = dequeue(f);
15        for (w = 0; w < g->n; w++)
16            if (g->adj[v][w] && !visitado[w]) {
17                visitado[w] = 1; /*evita repetição na fila*/
```

# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_fila f = criar_fila();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    enfileira(f,s);
11    pai[s] = s;
12    visitado[s] = 1;
13    while(!fila_vazia(f)) {
14        v = desenfileira(f);
15        for (w = 0; w < g->n; w++)
16            if (g->adj[v][w] && !visitado[w]) {
17                visitado[w] = 1; /*evita repetição na fila*/
18                pai[w] = v;
```



# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_fila f = criar_fila();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    enfileira(f,s);
11    pai[s] = s;
12    visitado[s] = 1;
13    while(!fila_vazia(f)) {
14        v = desenfileira(f);
15        for (w = 0; w < g->n; w++)
16            if (g->adj[v][w] && !visitado[w]) {
17                visitado[w] = 1; /*evita repetição na fila*/
18                pai[w] = v;
19                enfileira(f, w);
            }
```

# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_fila f = criar_fila();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    enfileira(f,s);
11    pai[s] = s;
12    visitado[s] = 1;
13    while(!fila_vazia(f)) {
14        v = desenfileira(f);
15        for (w = 0; w < g->n; w++)
16            if (g->adj[v][w] && !visitado[w]) {
17                visitado[w] = 1; /*evita repetição na fila*/
18                pai[w] = v;
19                enfileira(f, w);
20            }
21    }
```

# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_fila f = criar_fila();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    enfileira(f,s);
11    pai[s] = s;
12    visitado[s] = 1;
13    while(!fila_vazia(f)) {
14        v = desenfileira(f);
15        for (w = 0; w < g->n; w++)
16            if (g->adj[v][w] && !visitado[w]) {
17                visitado[w] = 1; /*evita repetição na fila*/
18                pai[w] = v;
19                enfileira(f, w);
20            }
21    }
22    destroi_fila(f);
```

# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_fila f = criar_fila();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    enfileira(f,s);
11    pai[s] = s;
12    visitado[s] = 1;
13    while(!fila_vazia(f)) {
14        v = desenfileira(f);
15        for (w = 0; w < g->n; w++)
16            if (g->adj[v][w] && !visitado[w]) {
17                visitado[w] = 1; /*evita repetição na fila*/
18                pai[w] = v;
19                enfileira(f, w);
20            }
21    }
22    destroi_fila(f);
23    free(visitado);
```

# Implementação da Busca em Largura

```
1 int * busca_em_largura(p_grafo g, int s) {
2     int w, v;
3     int *pai = malloc(g->n * sizeof(int));
4     int *visitado = malloc(g->n * sizeof(int));
5     p_fila f = criar_fila();
6     for (v = 0; v < g->n; v++) {
7         pai[v] = -1;
8         visitado[v] = 0;
9     }
10    enfileira(f,s);
11    pai[s] = s;
12    visitado[s] = 1;
13    while(!fila_vazia(f)) {
14        v = desenfileira(f);
15        for (w = 0; w < g->n; w++)
16            if (g->adj[v][w] && !visitado[w]) {
17                visitado[w] = 1; /*evita repetição na fila*/
18                pai[w] = v;
19                enfileira(f, w);
20            }
21    }
22    destroi_fila(f);
23    free(visitado);
24    return pai;
25 }
```

# Tempo para fazer a busca

Quanto tempo demora para fazer uma busca?

# Tempo para fazer a busca

Quanto tempo demora para fazer uma busca?

- em profundidade ou em largura

# Tempo para fazer a busca

Quanto tempo demora para fazer uma busca?

- em profundidade ou em largura
- em um grafo com  $n$  vértices e  $m$  arestas



# Tempo para fazer a busca

Quanto tempo demora para fazer uma busca?

- em profundidade ou em largura
- em um grafo com  $n$  vértices e  $m$  arestas

Suponha que inserir e remover de pilha/fila leva  $O(1)$

# Tempo para fazer a busca

Quanto tempo demora para fazer uma busca?

- em profundidade ou em largura
- em um grafo com  $n$  vértices e  $m$  arestas

Suponha que inserir e remover de pilha/fila leva  $O(1)$

- Podemos usar vetores ou listas ligadas

# Tempo para fazer a busca

Quanto tempo demora para fazer uma busca?

- em profundidade ou em largura
- em um grafo com  $n$  vértices e  $m$  arestas

Suponha que inserir e remover de pilha/fila leva  $O(1)$

- Podemos usar vetores ou listas ligadas

A busca percorre todos os vértices

# Tempo para fazer a busca

Quanto tempo demora para fazer uma busca?

- em profundidade ou em largura
- em um grafo com  $n$  vértices e  $m$  arestas

Suponha que inserir e remover de pilha/fila leva  $O(1)$

- Podemos usar vetores ou listas ligadas

A busca percorre todos os vértices

- E empilha/enfileira seus vizinhos não visitados

# Tempo para fazer a busca

Quanto tempo demora para fazer uma busca?

- em profundidade ou em largura
- em um grafo com  $n$  vértices e  $m$  arestas

Suponha que inserir e remover de pilha/fila leva  $O(1)$

- Podemos usar vetores ou listas ligadas

A busca percorre todos os vértices

- E empilha/enfileira seus vizinhos não visitados
- Se usarmos uma Matriz de Adjacências, leva  $O(n^2)$

## Tempo para fazer a busca

Quanto tempo demora para fazer uma busca?

- em profundidade ou em largura
- em um grafo com  $n$  vértices e  $m$  arestas

Suponha que inserir e remover de pilha/fila leva  $O(1)$

- Podemos usar vetores ou listas ligadas

A busca percorre todos os vértices

- E empilha/enfileira seus vizinhos não visitados
- Se usarmos uma Matriz de Adjacências, leva  $O(n^2)$

E se usarmos Listas de Adjacência?

# Tempo para fazer a busca

Quanto tempo demora para fazer uma busca?

- em profundidade ou em largura
- em um grafo com  $n$  vértices e  $m$  arestas

Suponha que inserir e remover de pilha/fila leva  $O(1)$

- Podemos usar vetores ou listas ligadas

A busca percorre todos os vértices

- E empilha/enfileira seus vizinhos não visitados
- Se usarmos uma Matriz de Adjacências, leva  $O(n^2)$

E se usarmos Listas de Adjacência?

- Cada aresta é analisada apenas duas vezes

# Tempo para fazer a busca

Quanto tempo demora para fazer uma busca?

- em profundidade ou em largura
- em um grafo com  $n$  vértices e  $m$  arestas

Suponha que inserir e remover de pilha/fila leva  $O(1)$

- Podemos usar vetores ou listas ligadas

A busca percorre todos os vértices

- E empilha/enfileira seus vizinhos não visitados
- Se usarmos uma Matriz de Adjacências, leva  $O(n^2)$

E se usarmos Listas de Adjacência?

- Cada aresta é analisada apenas duas vezes
- Gastamos tempo  $O(\max\{n, m\}) = O(n + m)$



# Tempo para fazer a busca

Quanto tempo demora para fazer uma busca?

- em profundidade ou em largura
- em um grafo com  $n$  vértices e  $m$  arestas

Suponha que inserir e remover de pilha/fila leva  $O(1)$

- Podemos usar vetores ou listas ligadas

A busca percorre todos os vértices

- E empilha/enfileira seus vizinhos não visitados
- Se usarmos uma Matriz de Adjacências, leva  $O(n^2)$

E se usarmos Listas de Adjacência?

- Cada aresta é analisada apenas duas vezes
- Gastamos tempo  $O(\max\{n, m\}) = O(n + m)$ 
  - Linear no tamanho do grafo