

Aula 4 - Buscas em Grafos e DFS

Luís Felipe

UFF

19 de Março de 2026

Buscas em grafos

- **Busca** é um processo sistemático (**algoritmo**) utilizado para percorrer (**visitar**) os vértices e arestas de um grafo.

Buscas em grafos

- **Busca** é um processo sistemático (**algoritmo**) utilizado para percorrer (**visitar**) os vértices e arestas de um grafo.
- A ideia é explorar o grafo para **resolver um problema** ou **extrair informações** da sua estrutura.

Buscas em grafos

- **Busca** é um processo sistemático (**algoritmo**) utilizado para percorrer (**visitar**) os vértices e arestas de um grafo.
- A ideia é explorar o grafo para **resolver um problema** ou **extrair informações** da sua estrutura.
- Buscas que estudaremos:

Buscas em grafos

- Busca é um processo sistemático (**algoritmo**) utilizado para percorrer (**visitar**) os vértices e arestas de um grafo.
- A ideia é explorar o grafo para **resolver um problema** ou **extrair informações** da sua estrutura.
- Buscas que estudaremos:
 - ▶ Busca em profundidade (*Depth-First Search* – DFS)
 - ▶ Busca em largura (*Breadth-First Search* – BFS)

Um modelo geral de busca

Ideia geral de uma busca em grafos:

- Mantemos uma **estrutura de dados D** contendo vértices a serem explorados.
- Inicialmente inserimos um **vértice raiz** (vértice por onde se inicia a busca).
- A cada passo, **exploramos um vértice e seus vizinhos**.

Um modelo geral de busca

Ideia geral de uma busca em grafos:

- Mantemos uma **estrutura de dados D** contendo vértices a serem explorados.
- Inicialmente inserimos um **vértice raiz** (vértice por onde se inicia a busca).
- A cada passo, **exploramos um vértice e seus vizinhos**.

```
1 funcao busca(v):  
2   marcar v  
3   inserir v em D  
4  
5   enquanto D != {} faca  
6     v <- primeiro elemento de D  
7  
8     se existe w em N(v) nao marcado entao  
9       visitar aresta vw  
10      marcar w  
11      inserir w em D  
12   senao  
13     remover v de D
```

Um modelo geral de busca

Ideia geral de uma busca em grafos:

- Mantemos uma **estrutura de dados D** contendo vértices a serem explorados.
- Inicialmente inserimos um **vértice raiz** (vértice por onde se inicia a busca).
- A cada passo, **exploramos um vértice e seus vizinhos**.

```
1 funcao busca(v):  
2   marcar v  
3   inserir v em D  
4  
5   enquanto D != {} faca  
6     v <- primeiro elemento de D  
7  
8     se existe w em N(v) nao marcado entao  
9       visitar aresta vw  
10      marcar w  
11      inserir w em D  
12   senao  
13     remover v de D
```

A diferença entre DFS e BFS está apenas na estrutura D :

- Se D é uma **pilha** → busca em profundidade (DFS)
- Se D é uma **fila** → busca em largura (BFS)

Um primeiro algoritmo de busca (ideia)

A busca se baseia em:

- **Marcar** o vértice quando ele é visitado (para não repetir visitas);
- **Visitar recursivamente** os vizinhos ainda não marcados.

Pseudocódigo - algoritmo DFS:

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```

O que a busca está fazendo

```
1 funcao visitar(v):  
2     marcar v  
3     para todo vertice w em N(v) faca  
4         se w nao esta marcado entao  
5             visitar(w)  
6     retornar
```

O que a busca está fazendo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```

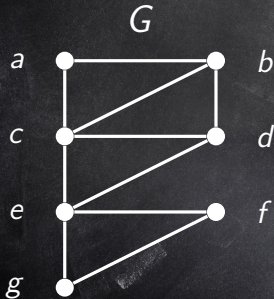
- Começa em um vértice inicial.
- Marca o vértice.
- Percorre os vizinhos:
 - ▶ se já está marcado, ignora (evita laço infinito e repetição);
 - ▶ se não está marcado, entra recursivamente nele.
- Ao final, todos os vértices alcançáveis a partir do inicial estarão marcados.

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```

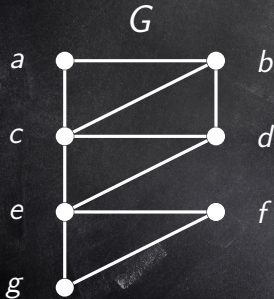
Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



Exemplo

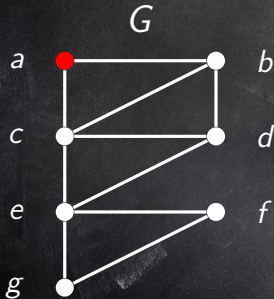
```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



visitar(a)

Exemplo

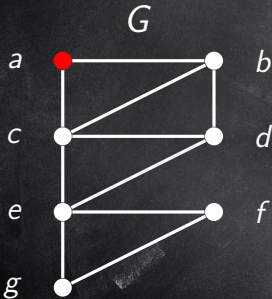
```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

Exemplo

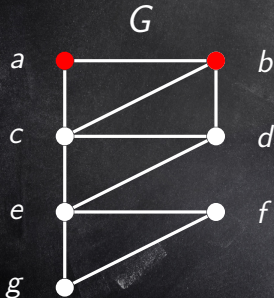
```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```

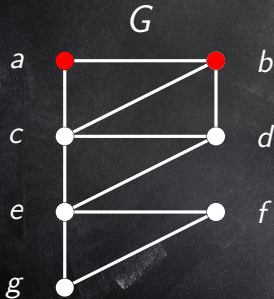


$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b)$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```

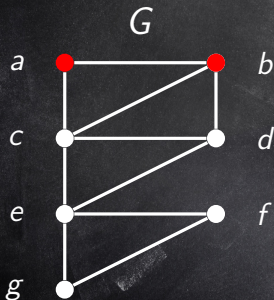


$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```

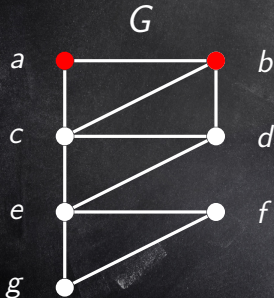


$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```

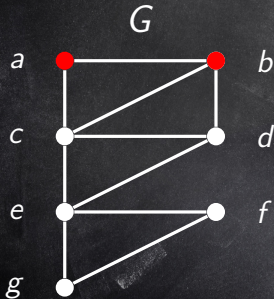


$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



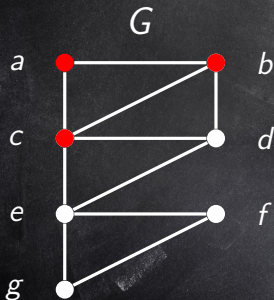
$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c)$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



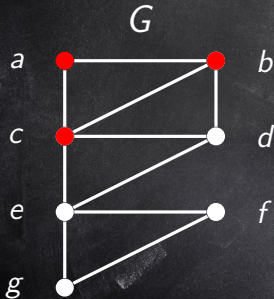
$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



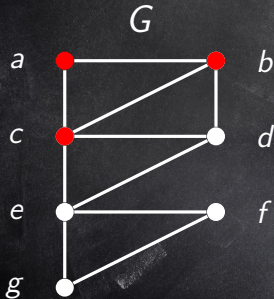
$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



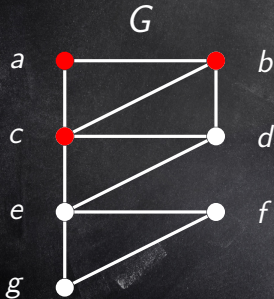
$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



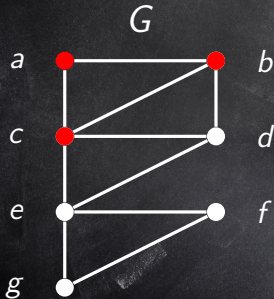
$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

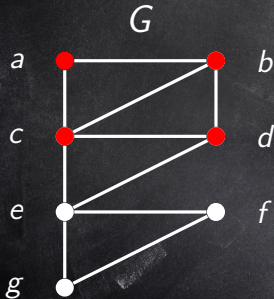
$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d)$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

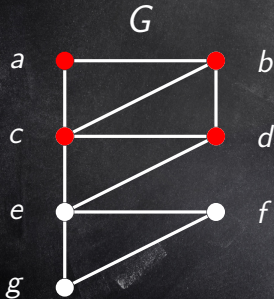
$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d)$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

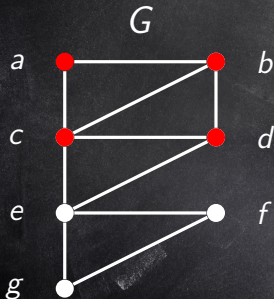
$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

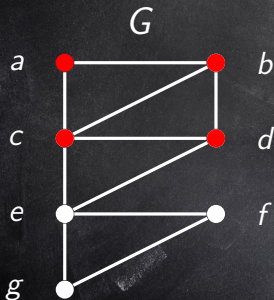
$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

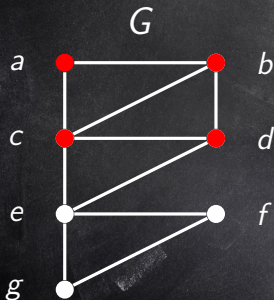
$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

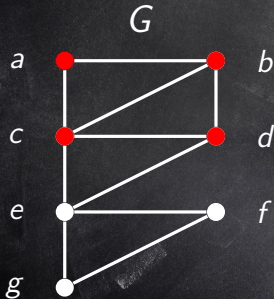
$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

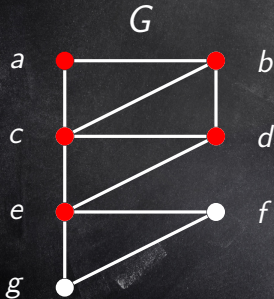
$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

$visitar(e)$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

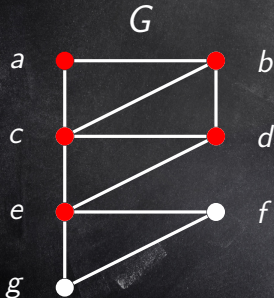
$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

$visitar(e)$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

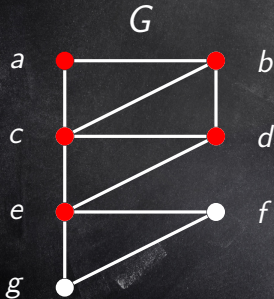
$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

$visitar(e) : N(e) = \{c, d, f, g\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

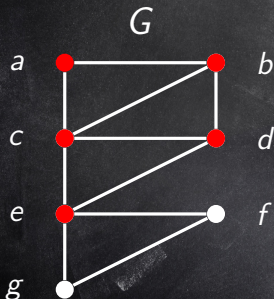
$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

$visitar(e) : N(e) = \{c, d, f, g\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

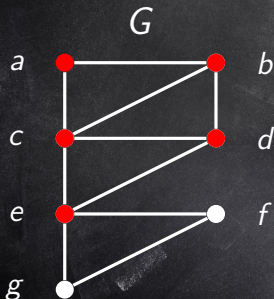
$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

$visitar(e) : N(e) = \{c, d, f, g\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

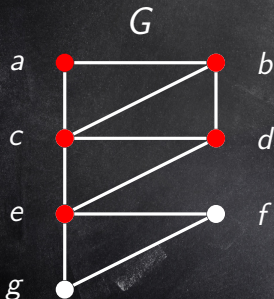
$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

$visitar(e) : N(e) = \{c, d, f, g\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

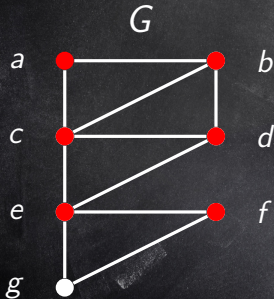
$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

$visitar(e) : N(e) = \{c, d, f, g\}$

$visitar(f)$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

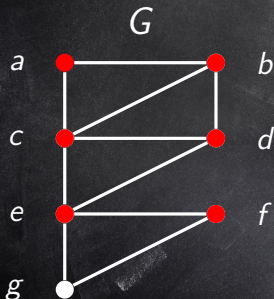
$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

$visitar(e) : N(e) = \{c, d, f, g\}$

$visitar(f)$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

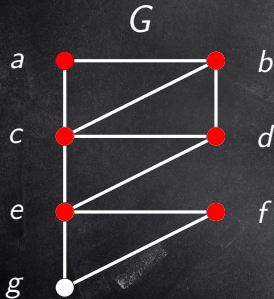
$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

$visitar(e) : N(e) = \{c, d, f, g\}$

$visitar(f) : N(f) = \{e, g\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

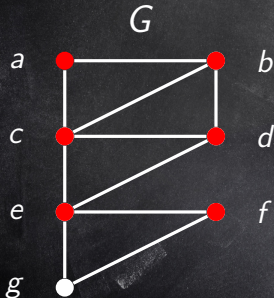
$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

$visitar(e) : N(e) = \{c, d, f, g\}$

$visitar(f) : N(f) = \{e, g\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

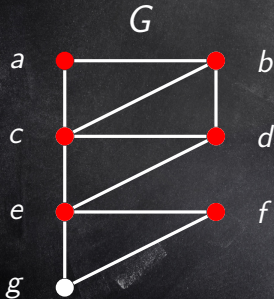
$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

$visitar(e) : N(e) = \{c, d, f, g\}$

$visitar(f) : N(f) = \{e, g\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

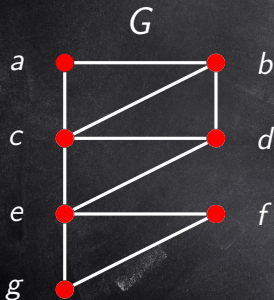
$visitar(e) : N(e) = \{c, d, f, g\}$

$visitar(f) : N(f) = \{e, g\}$

$visitar(g)$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

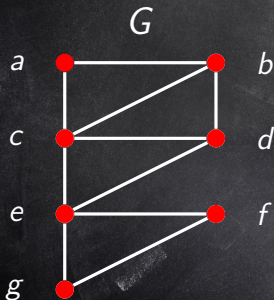
$visitar(e) : N(e) = \{c, d, f, g\}$

$visitar(f) : N(f) = \{e, g\}$

$visitar(g)$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

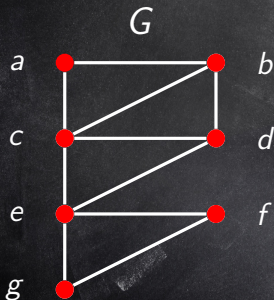
$visitar(e) : N(e) = \{c, d, f, g\}$

$visitar(f) : N(f) = \{e, g\}$

$visitar(g) : N(g) = \{e, f\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

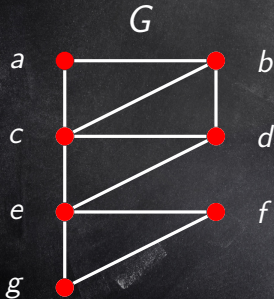
$visitar(e) : N(e) = \{c, d, f, g\}$

$visitar(f) : N(f) = \{e, g\}$

$visitar(g) : N(g) = \{e, f\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

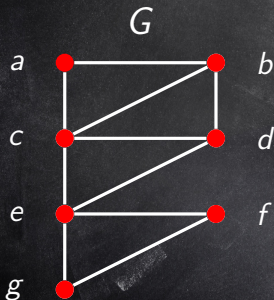
$visitar(e) : N(e) = \{c, d, f, g\}$

$visitar(f) : N(f) = \{e, g\}$

$visitar(g) : N(g) = \{e, f\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

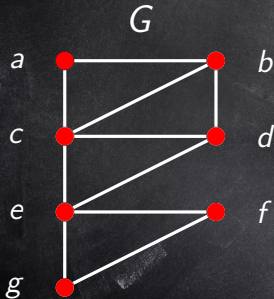
$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

$visitar(e) : N(e) = \{c, d, f, g\}$

$visitar(f) : N(f) = \{e, g\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

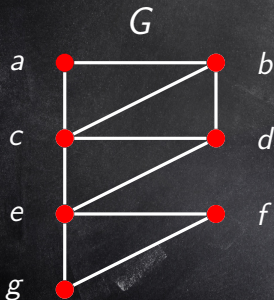
$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

$visitar(e) : N(e) = \{c, d, f, g\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

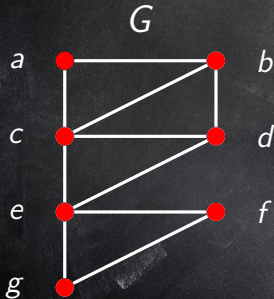
$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

$visitar(e) : N(e) = \{c, d, f, g\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

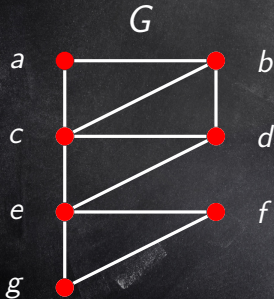
$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

$visitar(d) : N(d) = \{b, c, e\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



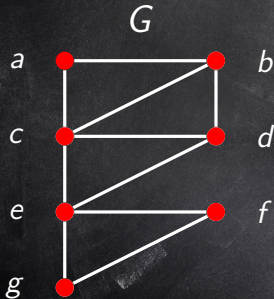
$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



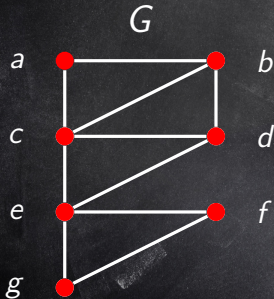
$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

$visitar(c) : N(c) = \{a, b, d, e\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```

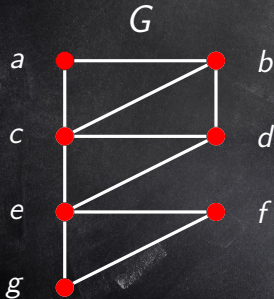


$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```

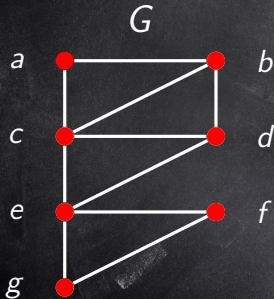


$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

$visitar(b) : N(b) = \{a, c, d\}$

Exemplo

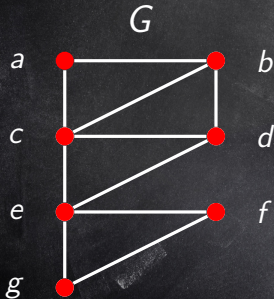
```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

Exemplo

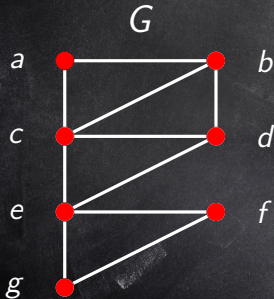
```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



$visitar(a) : N(a) = \{b, c\}$

Exemplo

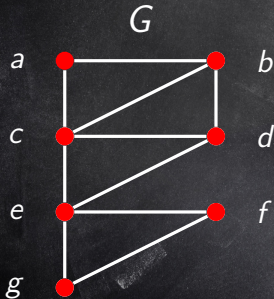
```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



Fim da busca!

Exemplo

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```



Fim da busca! Como implementar?

Como implementar? (marcações)

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```

Como implementar? (marcações)

```
1 funcao visitar(v):  
2   marcar v  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se w nao esta marcado entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```

Uma forma prática é usar um vetor `marca[]`:

- $\text{marca}[v] = 1 \Rightarrow$ vértice visitado
- $\text{marca}[v] = 0 \Rightarrow$ ainda não visitado

Pseudocódigo mais “implementável”:

```
1 funcao visitar(v):  
2   marca[v] = 1  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se marca[w] = 0 entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```

Representação por matriz de adjacências

```
1 funcao visitar(v):  
2   marca[v] = 1  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se marca[w] = 0 entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```

Se o grafo é representado por uma matriz A :

- $A[v, w] = 1$ indica aresta entre v e w (adjacência);
- $A[v, w] = 0$ caso contrário.

Representação por matriz de adjacências

```
1 funcao visitar(v):  
2   marca[v] = 1  
3   para todo vertice w em N(v) faca  
4     se marca[w] = 0 entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```

Se o grafo é representado por uma matriz A :

- $A[v, w] = 1$ indica aresta entre v e w (adjacência);
- $A[v, w] = 0$ caso contrário.

Então, para descobrir os vizinhos de v , varremos $w = 1, \dots, n$:

```
1 funcao visitar(v):  
2   marca[v] = 1  
3   para w na faixa(1, n) faca  
4     se  $A[v, w] = 1$  e  $\text{marca}[w] = 0$  entao  
5       visitar(w)  
6   retornar
```

Implementação em Python (DFS recursiva)

Implementação com:

- contador de tempo `t` (incrementa a cada visita);
- `mat` como matriz de adjacência;
- `marca` como vetor de visitados.

```
1 def visitar(v, mat, marca, t):
2     """
3     DFS recursiva em matriz de adjacência.
4     Retorna o novo tempo 't' após terminar a exploração a partir de v.
5     """
6     t += 1
7     print("visitando o vertice", v, "no tempo", t)
8     marca[v] = 1
9
10    n = len(mat)
11    for w in range(n):
12        if mat[v][w] == 1 and marca[w] == 0:
13            t = visitar(w, mat, marca, t) # atualiza t com o retorno
14    return t
```

Leitura da matriz e inicialização

Código de inicialização (entrada da matriz e variáveis):

```
1 def ler_matriz_adjacencia():
2     n = int(input("Entre com o numero de vertices: "))
3
4     mat = []
5     for i in range(n):
6         print("inserir linha", i, "da matriz:")
7         linha = [int(x) for x in input().split()]
8         if len(linha) != n:
9             raise ValueError(f"Linha {i} tem {len(linha)} elementos; esperado {n}.")
10        mat.append(linha)
11
12    return mat
```

Conexidade do grafo (ideia)

Se chamamos a busca a partir de um vértice (por exemplo, 0):

- se ao final todos os n vértices foram visitados, o grafo é **conexo**;
- caso contrário, é **desconexo**.

Chamada da busca e término

Exemplo de chamada e teste de conexidade:

```
1 def main():
2     mat = ler_matriz_adjacencia()
3     n = len(mat)
4
5     marca = [0] * n
6     t = 0
7
8     t = visitar(0, mat, marca, t)
9
10    if t == n:
11        print("Grafo conexo")
12    else:
13        print("Grafo desconexo")
```

Código completo - conexidade

```
1 def visitar(v, mat, marca, t):
2     t += 1
3     print("visitando o vertice", v, "no tempo", t)
4     marca[v] = 1
5
6     n = len(mat)
7     for w in range(n):
8         if mat[v][w] == 1 and marca[w] == 0:
9             t = visitar(w, mat, marca, t) # atualiza t com o retorno
10    return t
11
12 def ler_matriz_adjacencia():
13     n = int(input("Entre com o numero de vertices: "))
14     mat = []
15     for i in range(n):
16         print("inserir linha", i, "da matriz:")
17         linha = [int(x) for x in input().split()]
18         if len(linha) != n:
19             raise ValueError(f"Linha {i} tem {len(linha)} elementos; esperado {n}.")
20         mat.append(linha)
21     return mat
22
23 def main():
24     mat = ler_matriz_adjacencia()
25     n = len(mat)
26     marca = [0] * n
27     t = 0
28     t = visitar(0, mat, marca, t)
29     if t == n:
30         print("Grafo conexo")
31     else:
32         print("Grafo desconexo")
33
34 if __name__ == "__main__":
35     main()
```

Busca em profundidade

Durante a execução da DFS mantemos algumas informações sobre cada vértice.

Para cada vértice v armazenamos:

- $PE(v)$: **tempo de entrada** de v . Instante em que v é descoberto pela busca
- $PS(v)$: **tempo de saída** de v . Instante em que terminamos de explorar v
- $pai(v)$: vértice a partir do qual v foi descoberto.
 - Se v é descoberto a partir de u , então definimos $pai(v) = u$.

Os ponteiros $pai(v)$ definem a **árvore de profundidade**.

- As arestas $(pai(v), v)$ são as arestas da árvore de profundidade.

Interpretação dos tempos

Obs.: Podemos interpretar a DFS usando uma pilha.

- Quando um vértice v é descoberto: $PE(v)$, v **entra na pilha** de recursão.

Interpretação dos tempos

Obs.: Podemos interpretar a DFS usando uma pilha.

- Quando um vértice v é descoberto: $PE(v)$, v **entra na pilha** de recursão.
- Quando terminamos de explorar todos os vizinhos de v : $PS(v)$, v **sai da pilha** de recursão.

Busca em profundidade — Inicialização

- $t \leftarrow 0$

t é um contador compartilhado entre as chamadas recursivas

Busca em profundidade — Inicialização

- $t \leftarrow 0$
 t é um contador compartilhado entre as chamadas recursivas
- Para todo vértice $v \in V(G)$ faça:
 - ▶ $PE(v) \leftarrow 0$
 $PE(v)$ é o tempo de entrada de v
 - ▶ $PS(v) \leftarrow 0$
 $PS(v)$ é o tempo de saída de v
 - ▶ $pai(v) \leftarrow null$
ponteiros que definem a árvore de profundidade

Busca em profundidade — Inicialização

- $t \leftarrow 0$
 t é um contador compartilhado entre as chamadas recursivas
- Para todo vértice $v \in V(G)$ faça:
 - ▶ $PE(v) \leftarrow 0$
 $PE(v)$ é o tempo de entrada de v
 - ▶ $PS(v) \leftarrow 0$
 $PS(v)$ é o tempo de saída de v
 - ▶ $pai(v) \leftarrow null$
ponteiros que definem a árvore de profundidade
- Escolher um vértice qualquer $v \in V(G)$
este vértice é chamado **raiz da busca**
- Executar o procedimento DFS com raiz v : $P(v)$

Busca em profundidade (DFS) — Procedimento

- Aresta azul (aresta de árvore): aresta usada pela DFS para descobrir um novo vértice.
 - ▶ Se w ainda não foi visitado ($PE(w) = 0$)

Busca em profundidade (DFS) — Procedimento

- **Aresta azul (aresta de árvore)**: aresta usada pela DFS para descobrir um novo vértice.
 - ▶ Se w ainda não foi visitado ($PE(w) = 0$)
- **Aresta de retorno**: aresta que liga um vértice a um ancestral seu na árvore de profundidade.
 - ▶ se w já foi visitado mas ainda está ativo na recursão ($PS(w) = 0$).

Busca em profundidade (DFS) — Procedimento

- **Aresta azul (aresta de árvore)**: aresta usada pela DFS para descobrir um novo vértice.
 - ▶ Se w ainda não foi visitado ($PE(w) = 0$)
- **Aresta de retorno**: aresta que liga um vértice a um ancestral seu na árvore de profundidade.
 - ▶ se w já foi visitado mas ainda está ativo na recursão ($PS(w) = 0$).

```
1  procedimento P(v, t)
2      t <- t + 1
3      PE(v) <- t
4
5      para todo vertice w em N(v) faca
6          se PE(w) = 0 entao
7              visitar aresta vw          // aresta azul (arvore)
8              pai(w) <- v
9              t <- P(w, t)
10
11          senao se PS(w) = 0 e w != pai(v) entao
12              visitar aresta vw          // aresta vermelha (retorno)
13
14      t <- t + 1
15      PS(v) <- t
16
17      retornar t
```

Busca em profundidade (DFS) — Procedimento

- **Aresta azul (aresta de árvore):** aresta usada pela DFS para descobrir um novo vértice.
 - ▶ Se w ainda não foi visitado ($PE(w) = 0$)
- **Aresta de retorno:** aresta que liga um vértice a um ancestral seu na árvore de profundidade.
 - ▶ se w já foi visitado mas ainda está ativo na recursão ($PS(w) = 0$).

```
1  procedimento P(v, t)
2      t <- t + 1
3      PE(v) <- t
4
5      para todo vertice w em N(v) faca
6          se PE(w) = 0 entao
7              visitar aresta vw          // aresta azul (arvore)
8              pai(w) <- v
9              t <- P(w, t)
10
11          senao se PS(w) = 0 e w != pai(v) entao
12              visitar aresta vw          // aresta vermelha (retorno)
13
14      t <- t + 1
15      PS(v) <- t
16
17      retornar t
```

Intuição: Esgotar o filho antes de esgotar o pai.

Busca em profundidade (DFS) — Procedimento

- **Aresta azul (aresta de árvore)**: aresta usada pela DFS para descobrir um novo vértice.
 - ▶ Se w ainda não foi visitado ($PE(w) = 0$)
- **Aresta de retorno**: aresta que liga um vértice a um ancestral seu na árvore de profundidade.
 - ▶ se w já foi visitado mas ainda está ativo na recursão ($PS(w) = 0$).

```
1  procedimento P(v, t)
2      t <- t + 1
3      PE(v) <- t
4
5      para todo vertice w em N(v) faca
6          se PE(w) = 0 entao
7              visitar aresta vw          // aresta azul (arvore)
8              pai(w) <- v
9              t <- P(w, t)
10
11          senao se PS(w) = 0 e w != pai(v) entao
12              visitar aresta vw          // aresta vermelha (retorno)
13
14      t <- t + 1
15      PS(v) <- t
16
17      retornar t
```

Intuição: Esgotar o filho antes de esgotar o pai. A próxima aresta a ser visitada parte sempre do vértice **mais recente** na busca.

Complexidade

Complexidade da DFS: $O(n + m)$, onde $n = |V(G)|$ e $m = |E(G)|$.

Complexidade

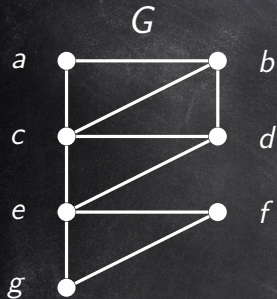
Complexidade da DFS: $O(n + m)$, onde $n = |V(G)|$ e $m = |E(G)|$.

Argumento: Cada vértice executa o corpo de $P(v, t)$ no **máximo uma vez**, pois após a primeira chamada temos $PE(v) \neq 0$, logo o custo associada às ativações é $O(n)$.

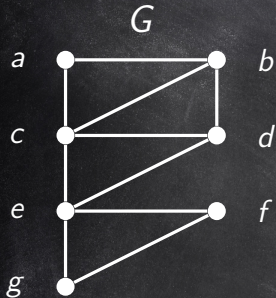
Além disso, o laço “para todo w em $N(v)$ ” percorre cada aresta no **máximo duas vezes** (uma aresta vw é percorrida ao alcançarmos v e ao alcançar w), totalizando $O(m)$.

Portanto, o tempo total é $O(n + m)$.

Execução da DFS

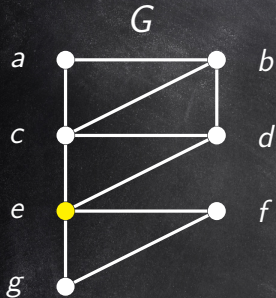


Execução da DFS



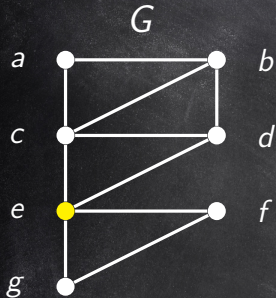
v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	0	0	0	0	0	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	0	0	0	0	0	0	0
$PS(v)$	0	0	0	0	0	0	0

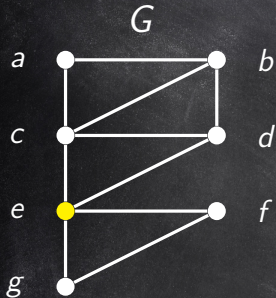
Execução da DFS



$P(e)$

v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	0	0	0	0	0	0	0
$PS(v)$	0	0	0	0	0	0	0

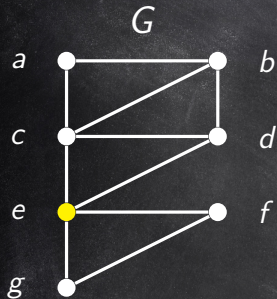
Execução da DFS



$P(e)$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	0	0	0	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS

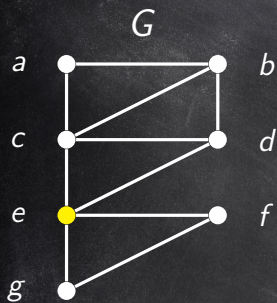


T
 e ●

$P(e)$

v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	0	0	0	0	1	0	0
$PS(v)$	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS

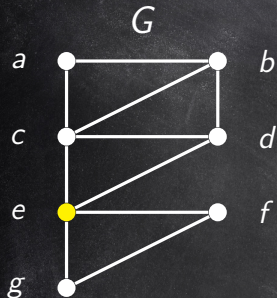


T
 e ●

$$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$$

v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	0	0	0	0	1	0	0
$PS(v)$	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS

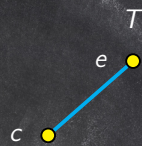
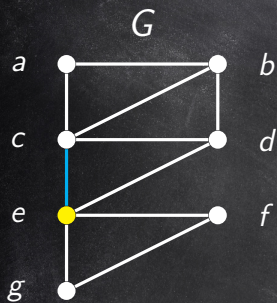


T
 e ●

$$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$$

v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	0	0	0	0	1	0	0
$PS(v)$	0	0	0	0	0	0	0

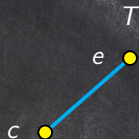
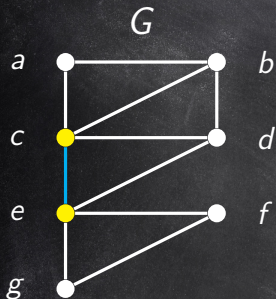
Execução da DFS



$$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$$

v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	0	0	0	0	1	0	0
$PS(v)$	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS

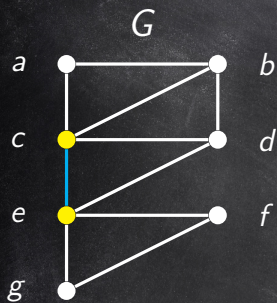


$$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$$

$$P(c)$$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	0	0	0	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

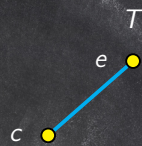
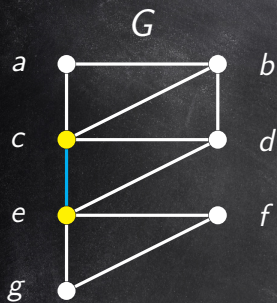
Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$
 $P(c)$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	0	0	2	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS

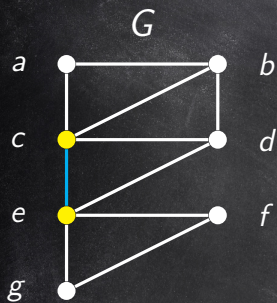


$$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$$

$$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	0	0	2	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS

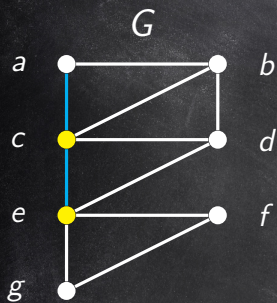


$$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$$

$$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	0	0	2	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS

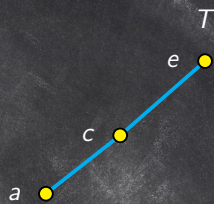
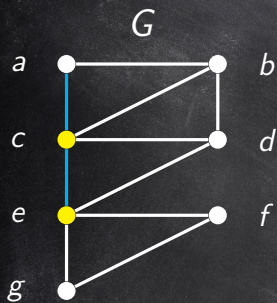


$$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$$

$$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$$

v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	0	0	2	0	1	0	0
$PS(v)$	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS

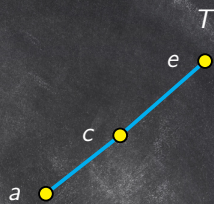
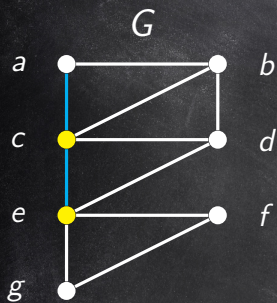


$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	0	0	2	0	1	0	0
$PS(v)$	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



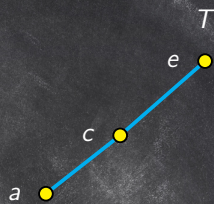
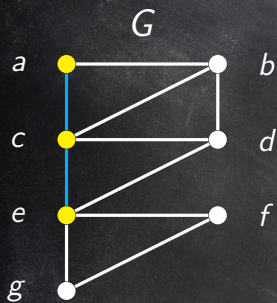
$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a)$

v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	0	0	2	0	1	0	0
$PS(v)$	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



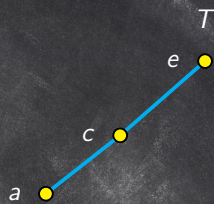
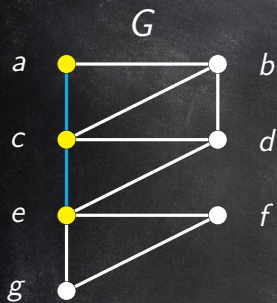
$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a)$

v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	0	0	2	0	1	0	0
$PS(v)$	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



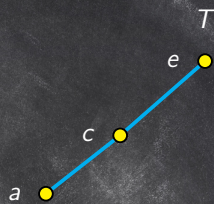
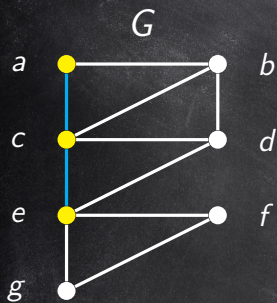
$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a)$

v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	3	0	2	0	1	0	0
$PS(v)$	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



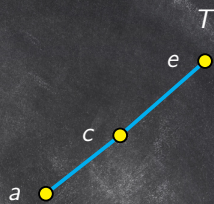
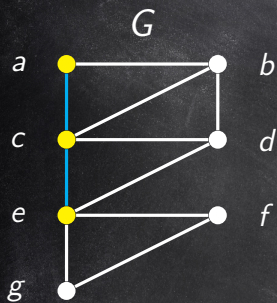
$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	3	0	2	0	1	0	0
$PS(v)$	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



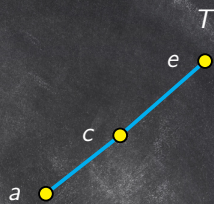
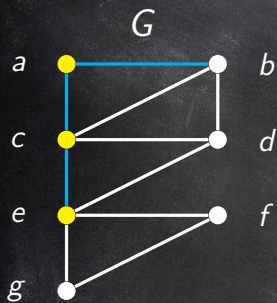
$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	3	0	2	0	1	0	0
$PS(v)$	0	0	0	0	0	0	0

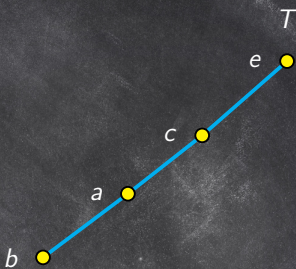
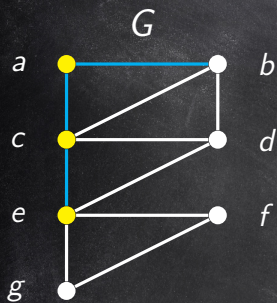
Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$
 $P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$
 $P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	3	0	2	0	1	0	0
$PS(v)$	0	0	0	0	0	0	0

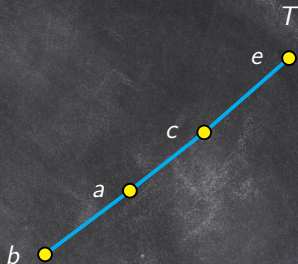
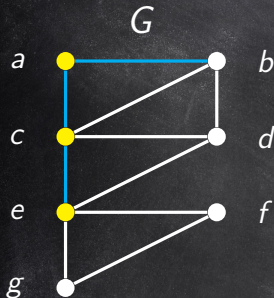
Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$
 $P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$
 $P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	0	2	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$$

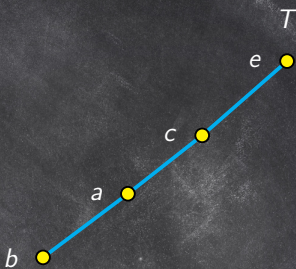
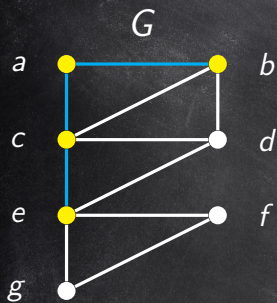
$$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$$

$$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$$

$$P(b)$$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	0	2	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

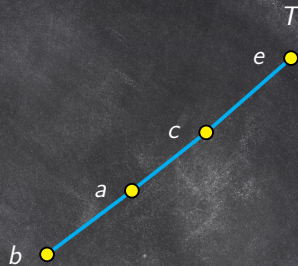
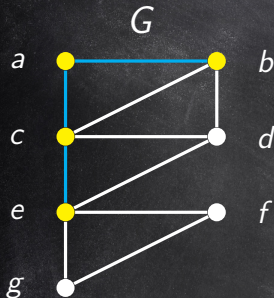
Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$
 $P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$
 $P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$
 $P(b)$

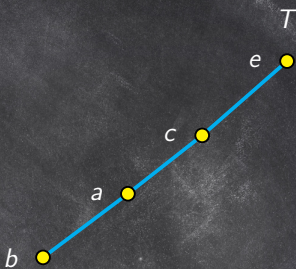
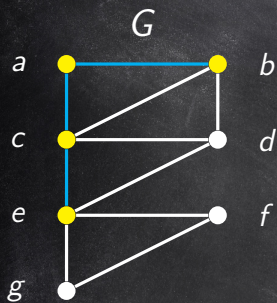
v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	0	2	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS


 $P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$
 $P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$
 $P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$
 $P(b)$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

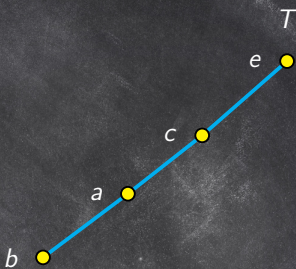
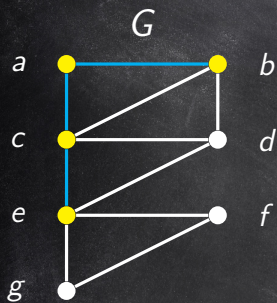
$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

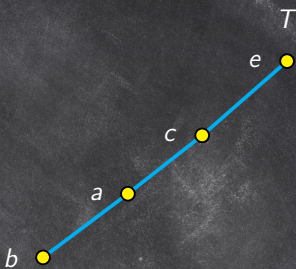
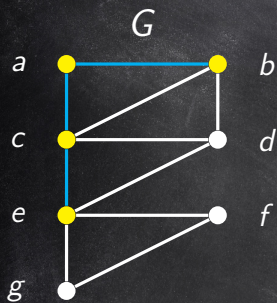
$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

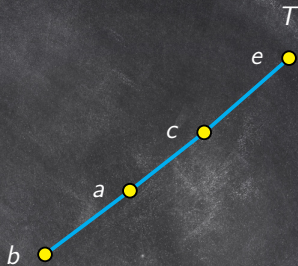
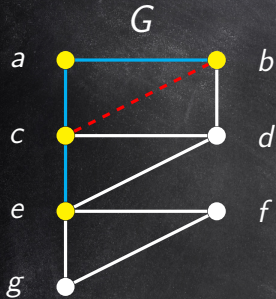
Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$
 $P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$
 $P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$
 $P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

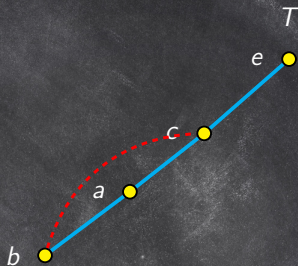
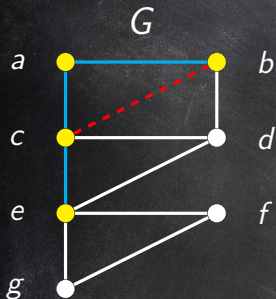
$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

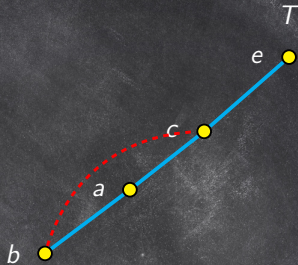
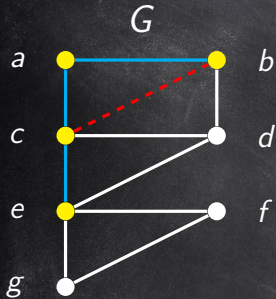
$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

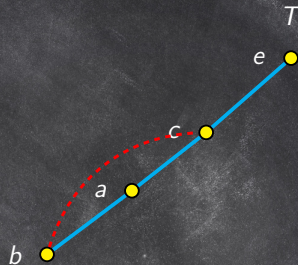
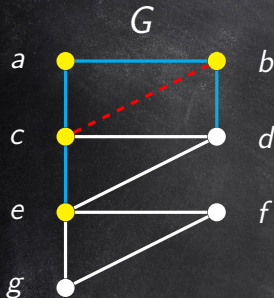
$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

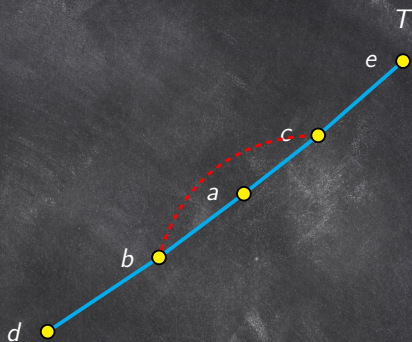
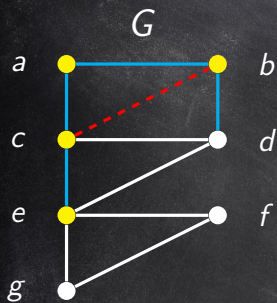
$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

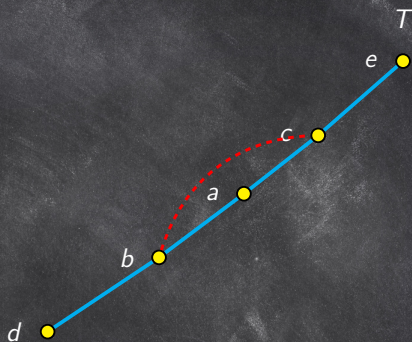
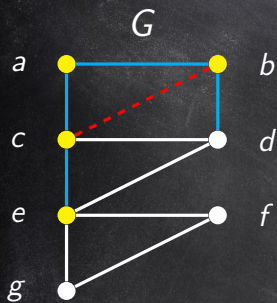
Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$
 $P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$
 $P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$
 $P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

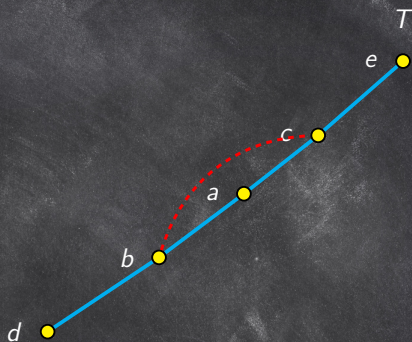
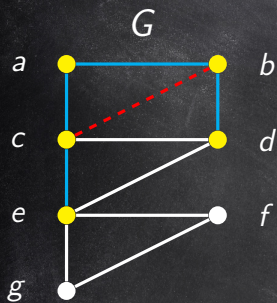
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d)$

v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	3	4	2	0	1	0	0
$PS(v)$	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

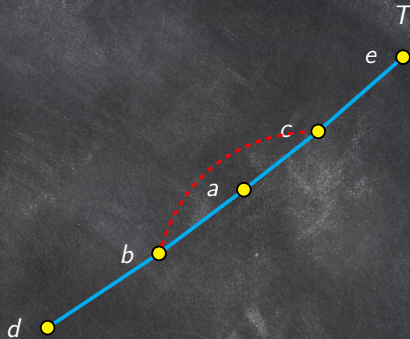
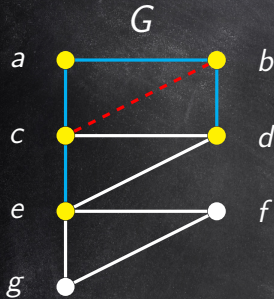
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d)$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	0	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

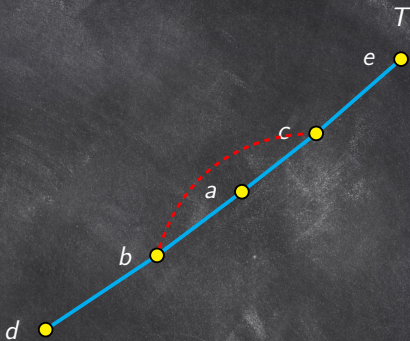
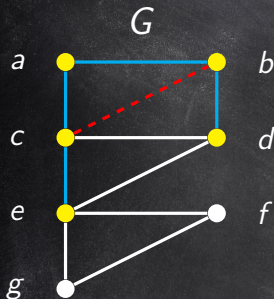
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d)$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

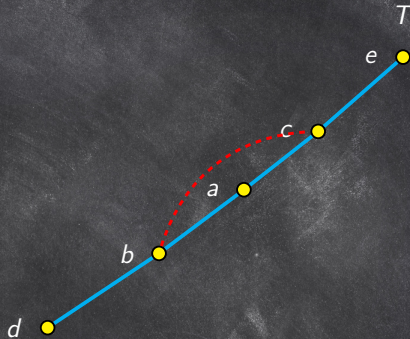
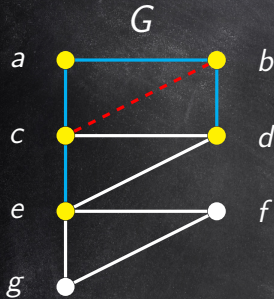
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

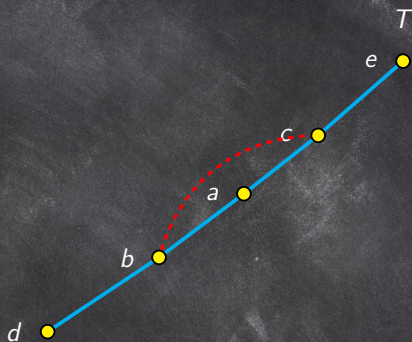
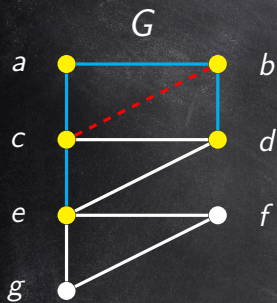
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	3	4	2	5	1	0	0
$PS(v)$	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

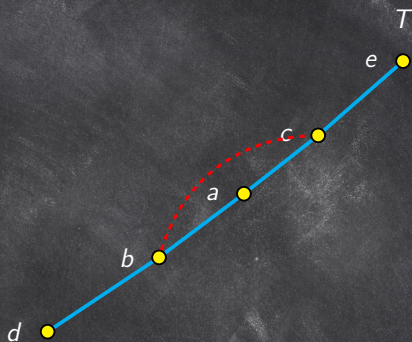
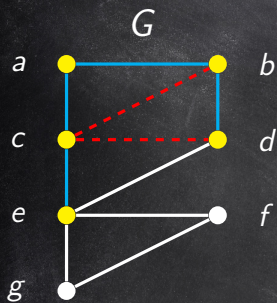
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	3	4	2	5	1	0	0
$PS(v)$	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

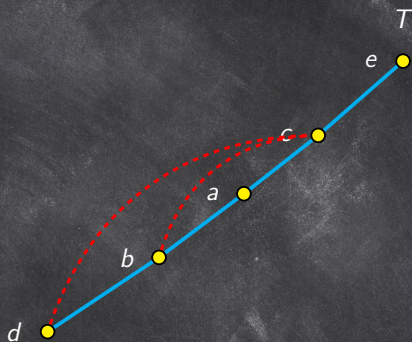
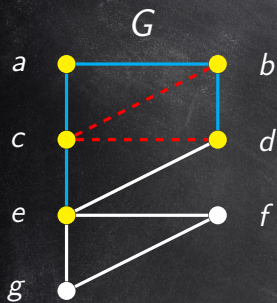
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

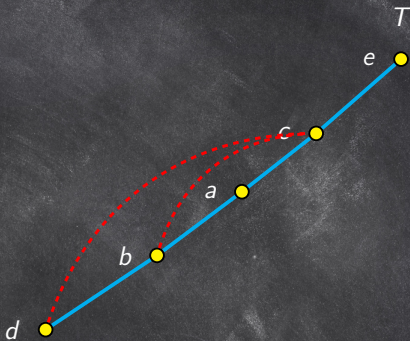
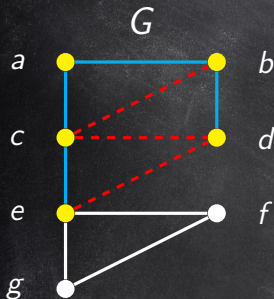
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$$

$$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$$

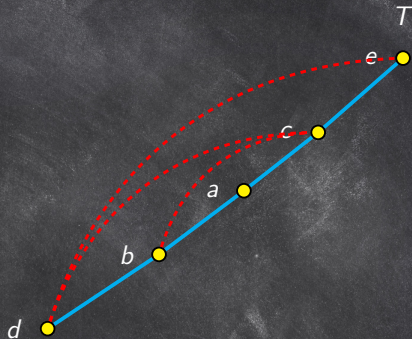
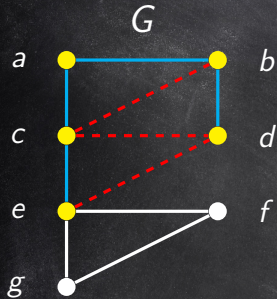
$$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$$

$$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$$

$$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

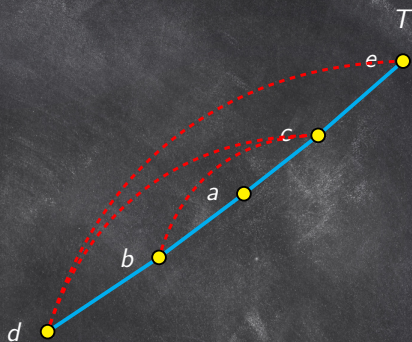
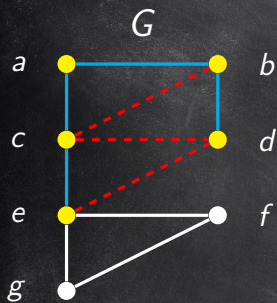
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	0	0	0	0	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

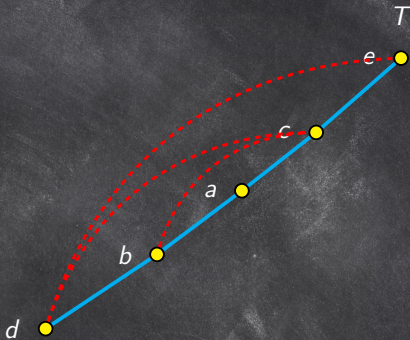
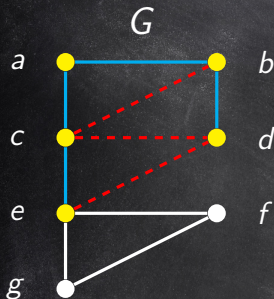
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	0	0	0	6	0	0	0

Execução da DFS



$$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$$

$$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$$

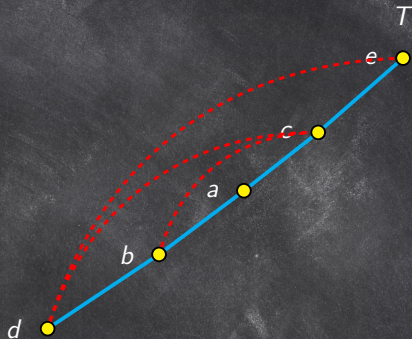
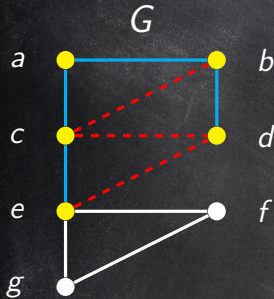
$$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$$

$$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$$

$$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	0	7	0	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

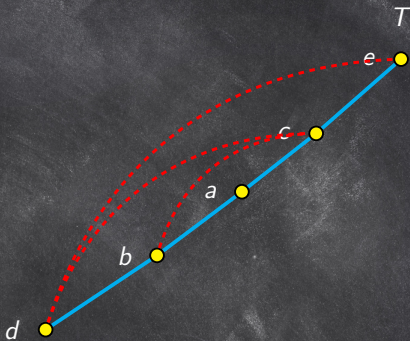
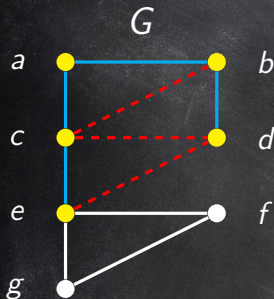
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	0	7	0	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

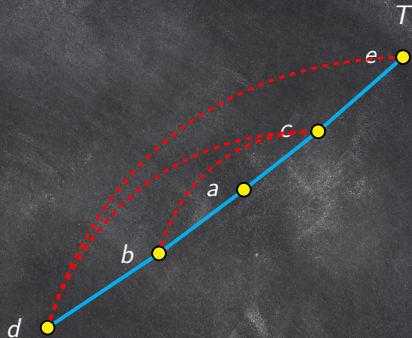
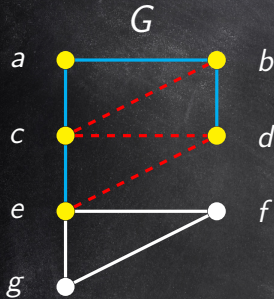
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	8	7	0	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

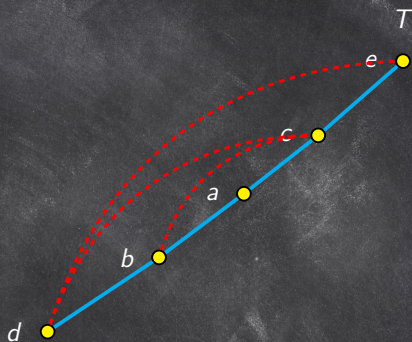
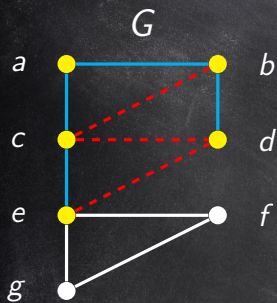
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	8	7	0	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

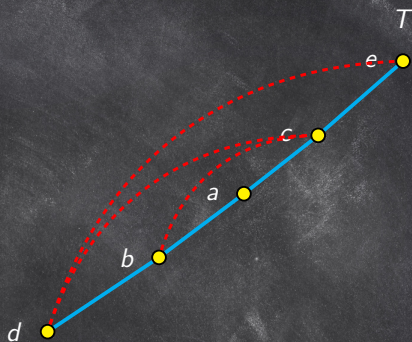
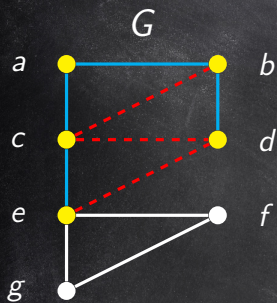
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	8	7	0	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

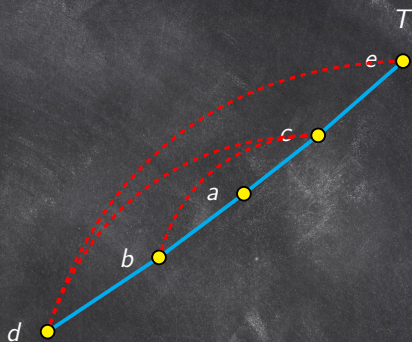
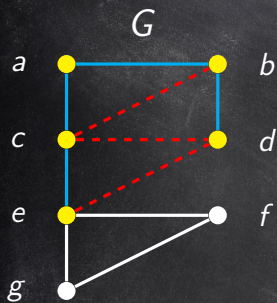
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	8	7	0	6	0	0	0

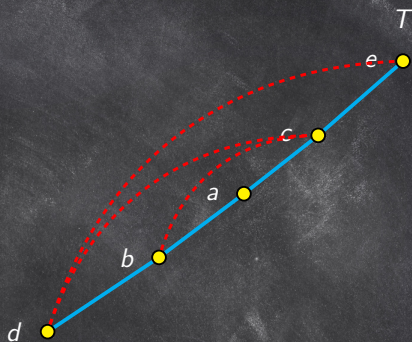
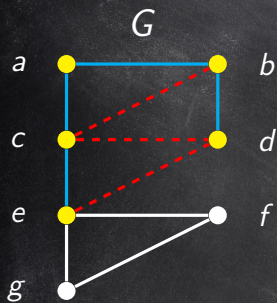
Execução da DFS



- $P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$
 $P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$
 $P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$
 $P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$
 $P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

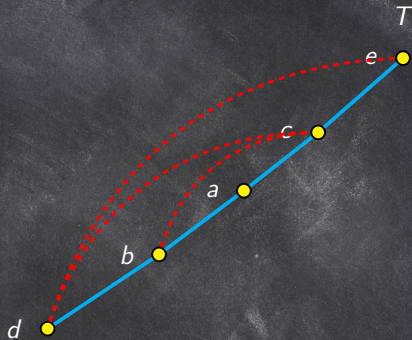
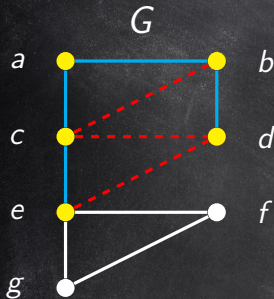
Execução da DFS



- $P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$
 $P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$
 $P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$
 $P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$
 $P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
$PE(v)$	3	4	2	5	1	0	0
$PS(v)$	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

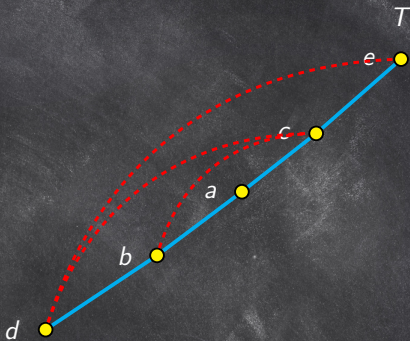
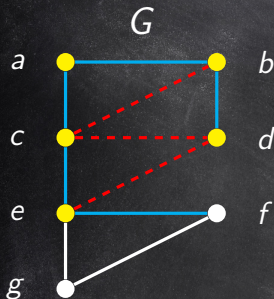
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

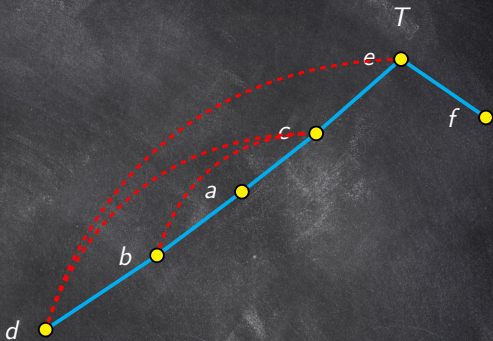
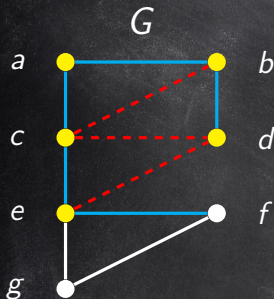
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

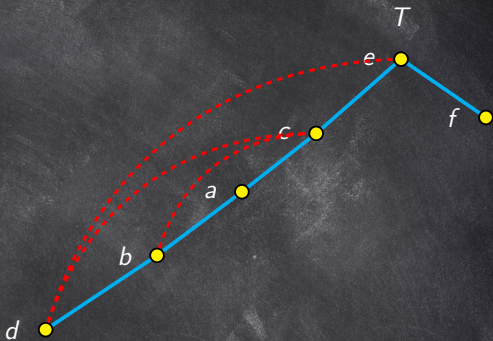
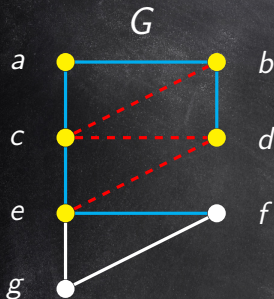
$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

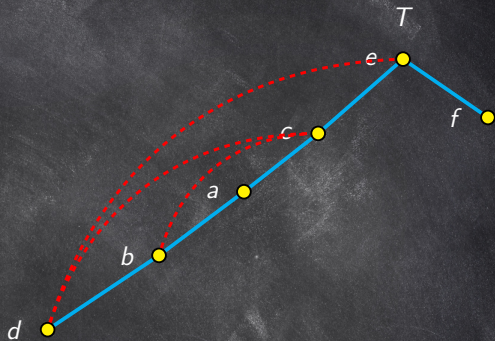
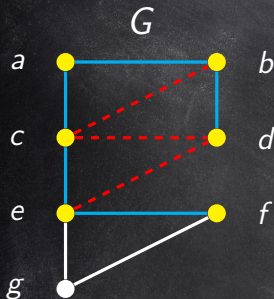
$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

$P(f)$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

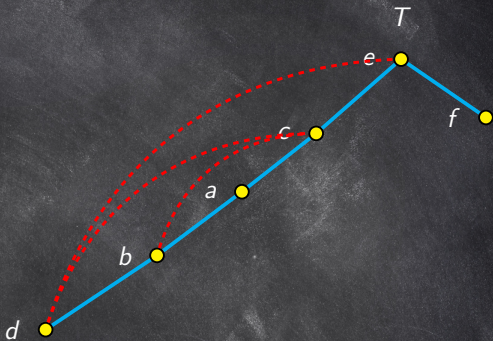
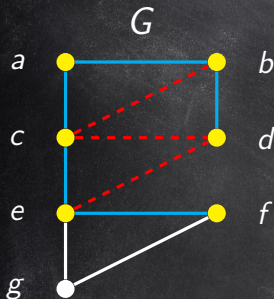
$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

$P(f)$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	0	0
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

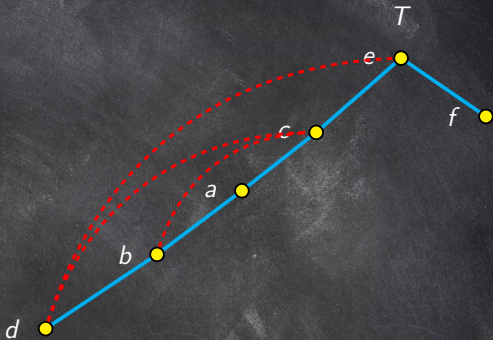
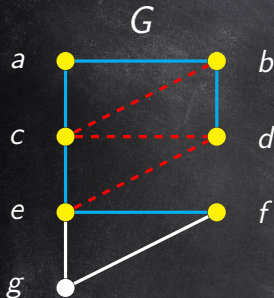
Execução da DFS



- $P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$
 $P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$
 $P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$
 $P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$
 $P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$
 $P(f)$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	0
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

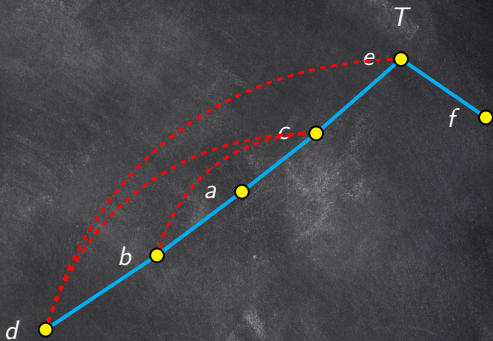
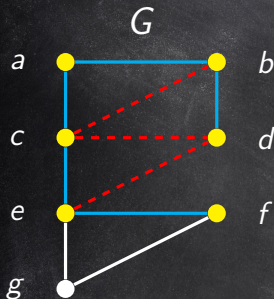
$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

$P(f) \rightarrow N(f) = \{e, g\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	0
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

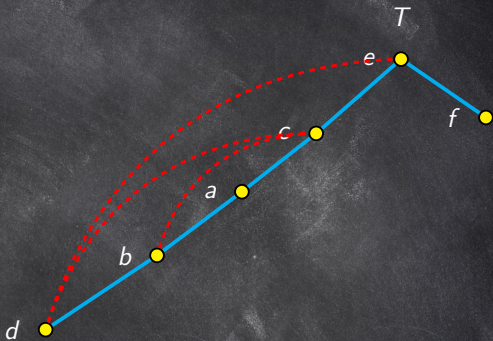
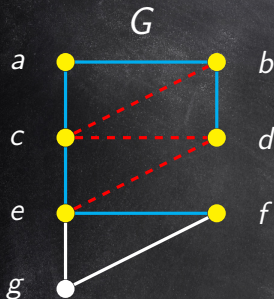
$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

$P(f) \rightarrow N(f) = \{e, g\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	0
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

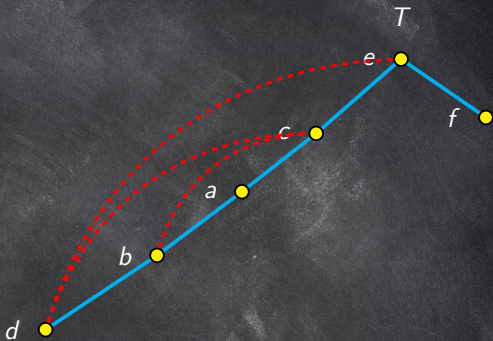
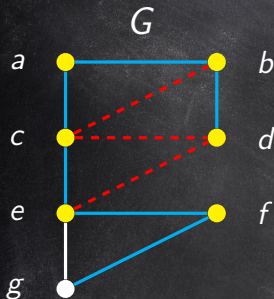
$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

$P(f) \rightarrow N(f) = \{e, g\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	0
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

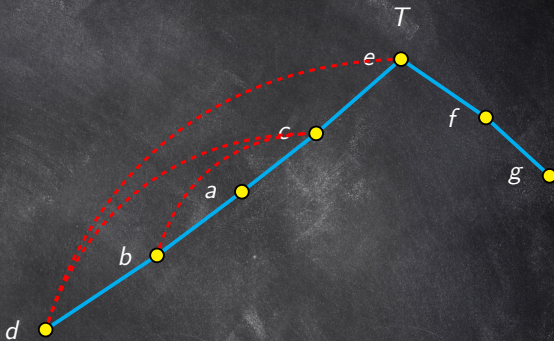
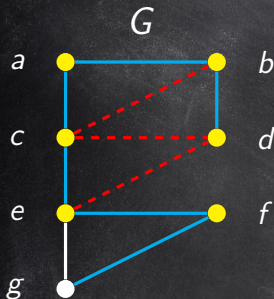
$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

$P(f) \rightarrow N(f) = \{e, g\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	0
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

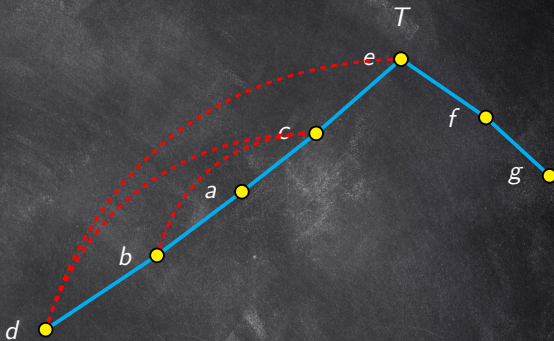
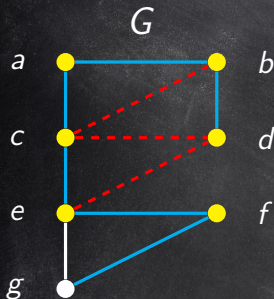
$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

$P(f) \rightarrow N(f) = \{e, g\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	0
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

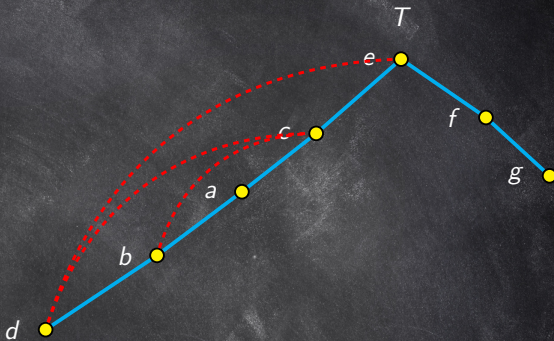
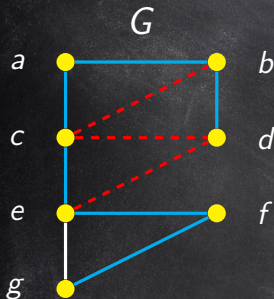
$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

$P(f) \rightarrow N(f) = \{e, g\}$

$P(g)$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	0
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

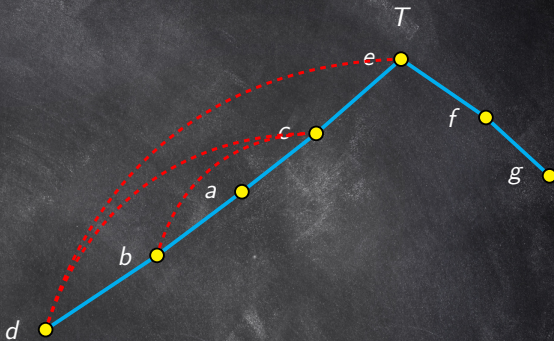
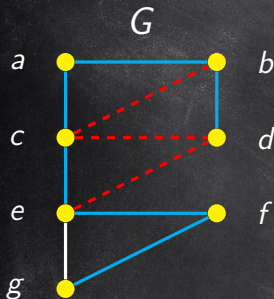
$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

$P(f) \rightarrow N(f) = \{e, g\}$

$P(g)$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	0
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

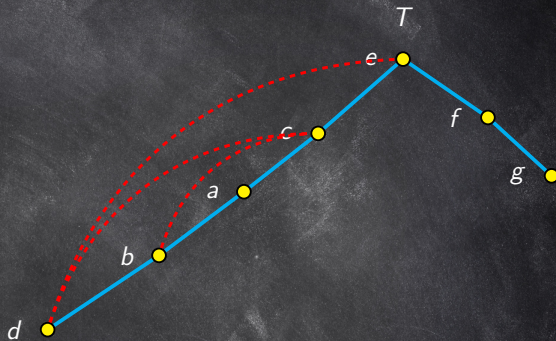
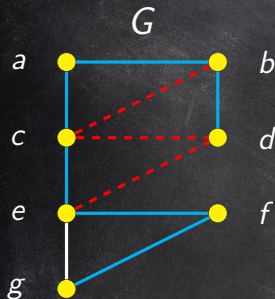
$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

$P(f) \rightarrow N(f) = \{e, g\}$

$P(g)$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	11
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, d\}$

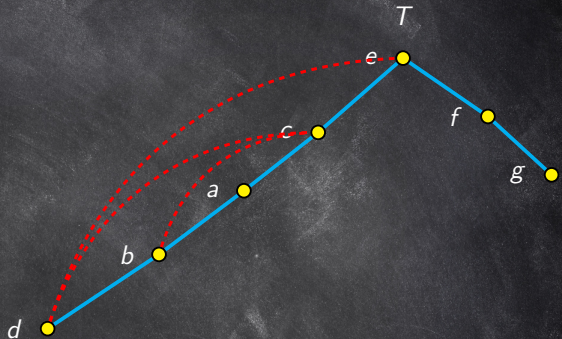
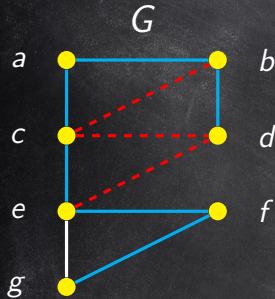
$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

$P(f) \rightarrow N(f) = \{e, g\}$

$P(g) \rightarrow N(g) = \{e, f\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	11
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

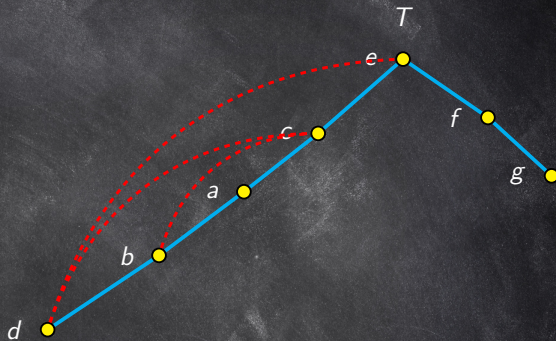
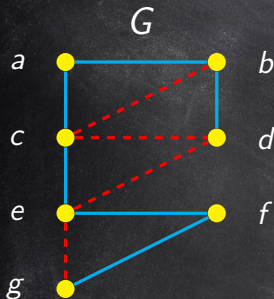
Execução da DFS



- $P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$
 $P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$
 $P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$
 $P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$
 $P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$
 $P(f) \rightarrow N(f) = \{e, g\}$
 $P(g) \rightarrow N(g) = \{e, f\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	11
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

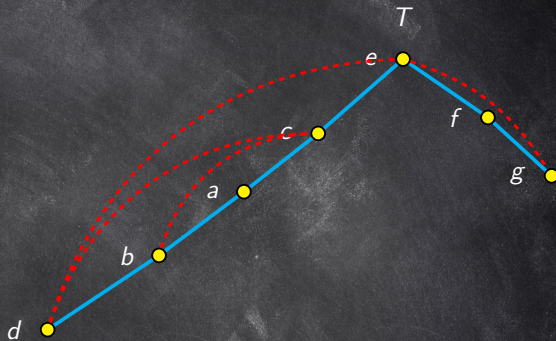
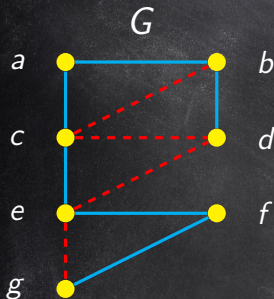
$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

$P(f) \rightarrow N(f) = \{e, g\}$

$P(g) \rightarrow N(g) = \{e, f\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	11
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

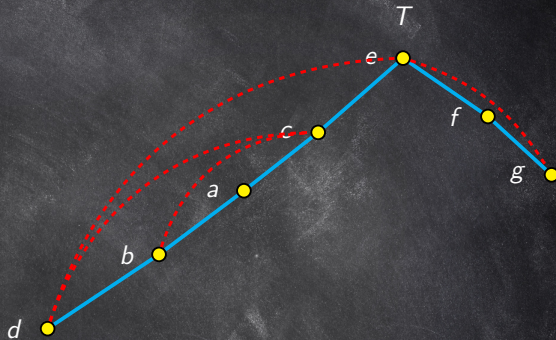
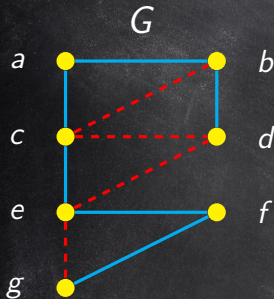
$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

$P(f) \rightarrow N(f) = \{e, g\}$

$P(g) \rightarrow N(g) = \{e, f\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	11
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

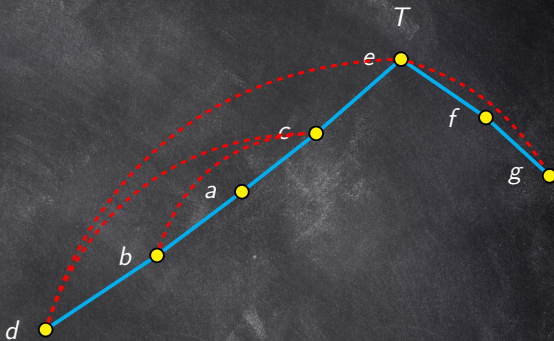
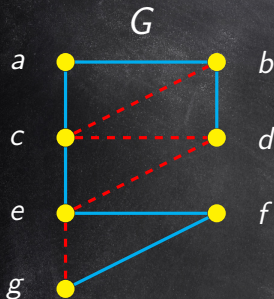
$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

$P(f) \rightarrow N(f) = \{e, g\}$

$P(g) \rightarrow N(g) = \{e, f\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	11
PS(v)	8	7	9	6	0	0	0

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

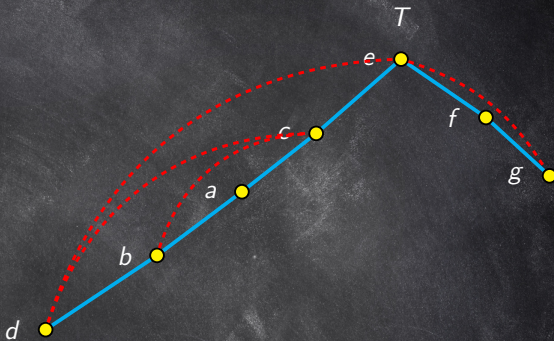
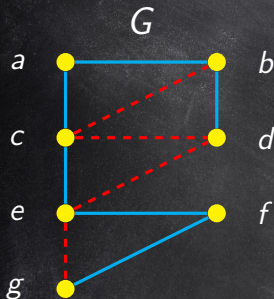
$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

$P(f) \rightarrow N(f) = \{e, g\}$

$P(g) \rightarrow N(g) = \{e, f\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	11
PS(v)	8	7	9	6	0	0	12

Execução da DFS



$P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$

$P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$

$P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$

$P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$

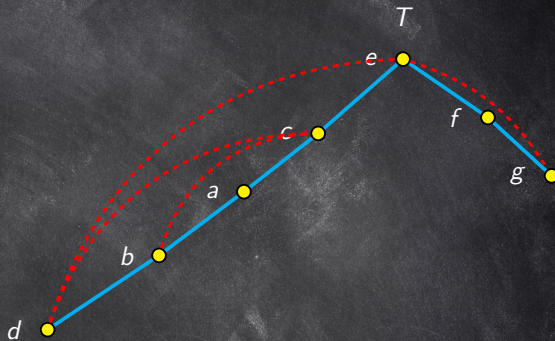
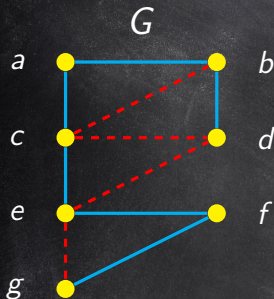
$P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$

$P(f) \rightarrow N(f) = \{e, g\}$

$P(g) \rightarrow N(g) = \{e, f\}$

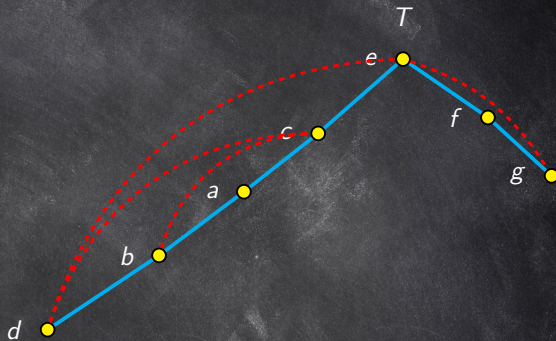
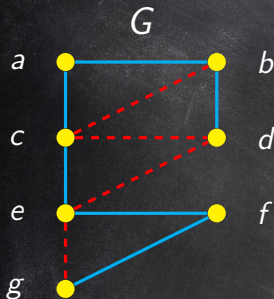
v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	11
PS(v)	8	7	9	6	0	13	12

Execução da DFS


 $P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$
 $P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$
 $P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$
 $P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$
 $P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$
 $P(f) \rightarrow N(f) = \{e, g\}$
 $P(g) \rightarrow N(g) = \{e, f\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	11
PS(v)	8	7	9	6	0	13	12

Execução da DFS


 $P(e) \rightarrow N(e) = \{c, d, f, g\}$
 $P(c) \rightarrow N(c) = \{a, b, d, e\}$
 $P(a) \rightarrow N(a) = \{b, c\}$
 $P(b) \rightarrow N(b) = \{a, c, d\}$
 $P(d) \rightarrow N(d) = \{b, c, e\}$
 $P(f) \rightarrow N(f) = \{e, g\}$
 $P(g) \rightarrow N(g) = \{e, f\}$

v	a	b	c	d	e	f	g
PE(v)	3	4	2	5	1	10	11
PS(v)	8	7	9	6	14	13	12