Busca em Profundidade

Prof. Andrei Braga

Conteúdo

- Percorrendo um sistema de passagens
- Busca em profundidade
- Exercícios
- Referências

Percorrendo um sistema de passagens

Percorrendo um sistema de passagens

- Em várias situações, temos um sistema de **passagens** e queremos percorrer de maneira eficiente as **junções** e **extremidades** destas passagens

- Exemplo:

Percorrendo um sistema de passagens

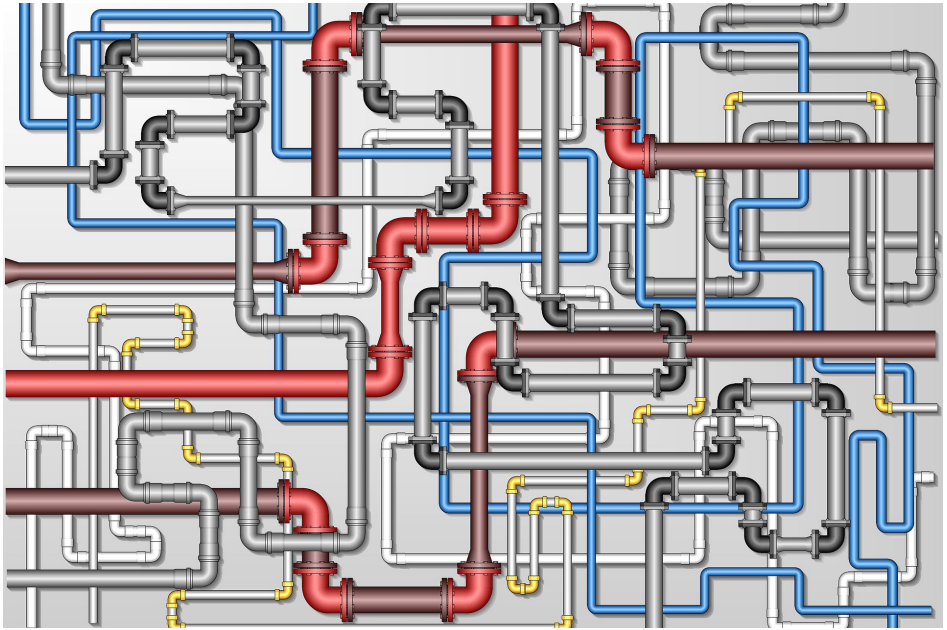
- Em várias situações, temos um sistema de **passagens** e queremos percorrer de maneira eficiente as **junções** e **extremidades** destas passagens

- Exemplo:

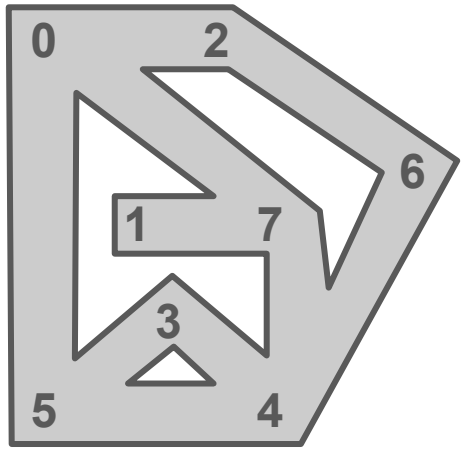
Percorrendo um sistema de passagens

- Em várias situações, temos um sistema de **passagens** e queremos percorrer de maneira eficiente as **junções** e **extremidades** destas passagens

- Exemplo:

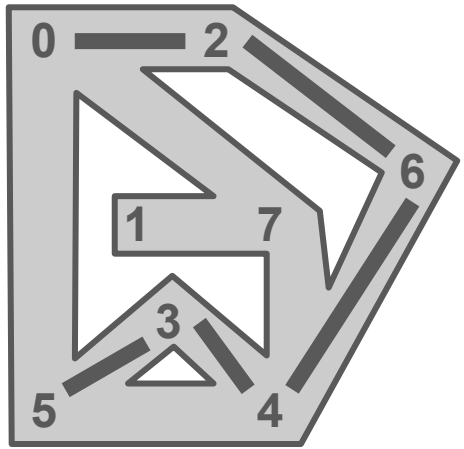


Percorrendo um sistema de passagens



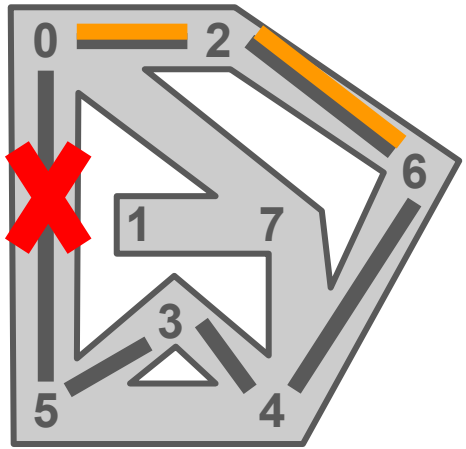
Percorrendo um sistema de passagens

Partindo do **0**



Percorrendo um sistema de passagens

Partindo do **0**

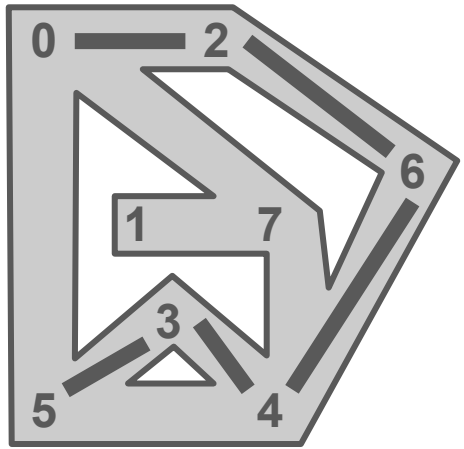


Não vamos visitar novamente pontos já visitados

Para isso, vamos marcar os pontos que vão sendo visitados

Percorrendo um sistema de passagens

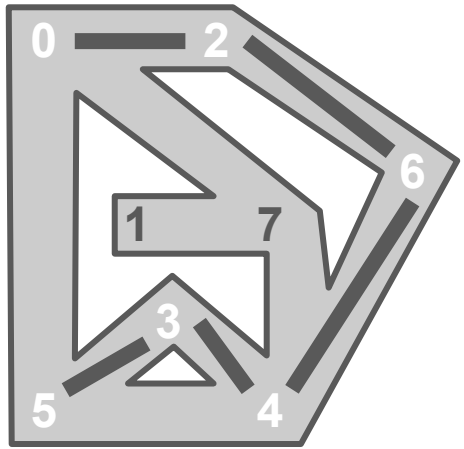
Partindo do **0**



Para isso, vamos marcar os pontos que vão sendo visitados

Percorrendo um sistema de passagens

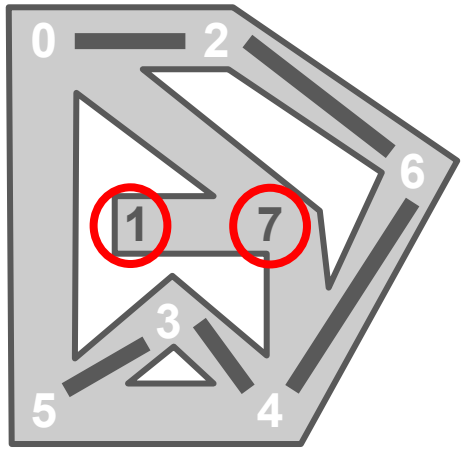
Partindo do **0**



Para isso, vamos marcar os pontos que vão sendo visitados

Percorrendo um sistema de passagens

Partindo do **0**

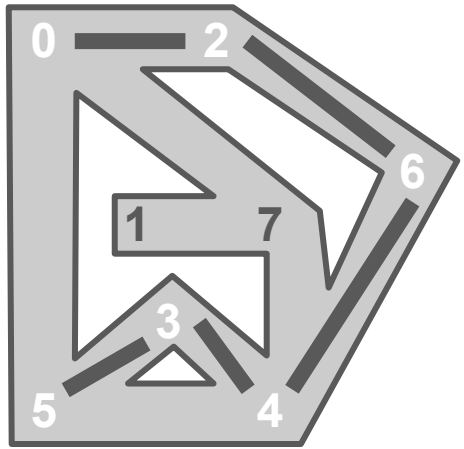


Ainda podem existir pontos não visitados

Por isso, vamos retornar ao ponto de onde viemos e tentar visitar pontos ainda não visitados

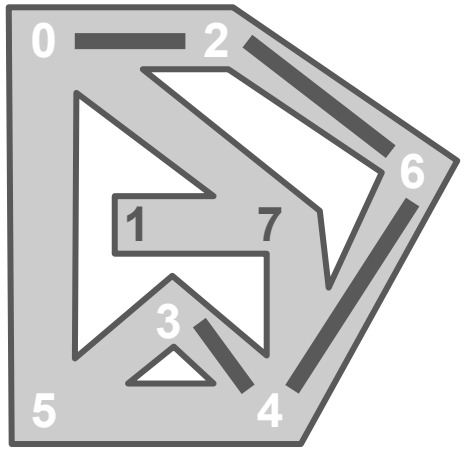
Percorrendo um sistema de passagens

Partindo do **0**



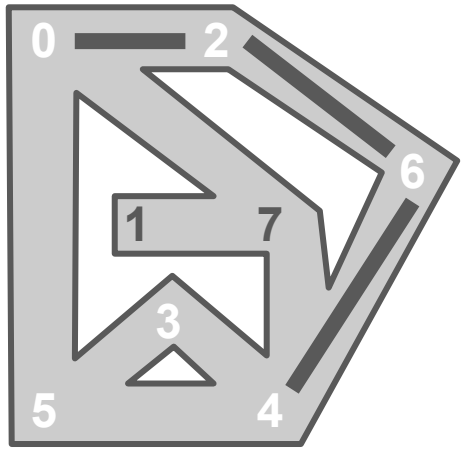
Percorrendo um sistema de passagens

Partindo do **0**



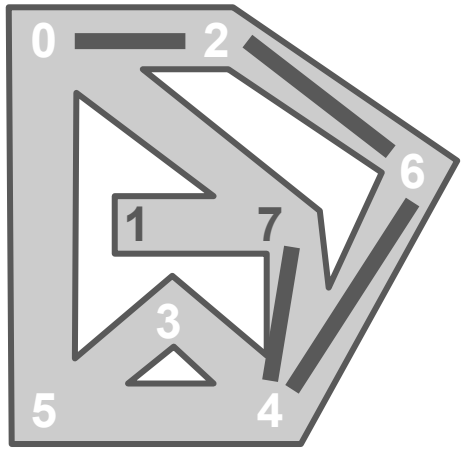
Percorrendo um sistema de passagens

Partindo do **0**



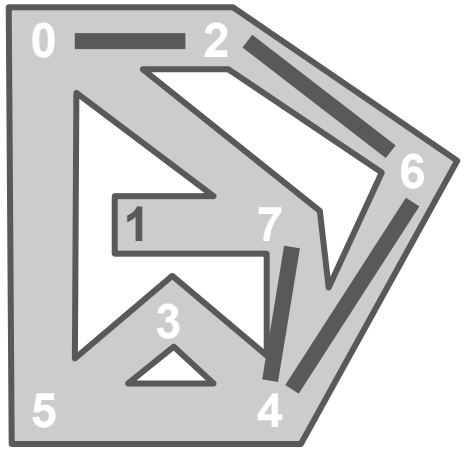
Percorrendo um sistema de passagens

Partindo do **0**



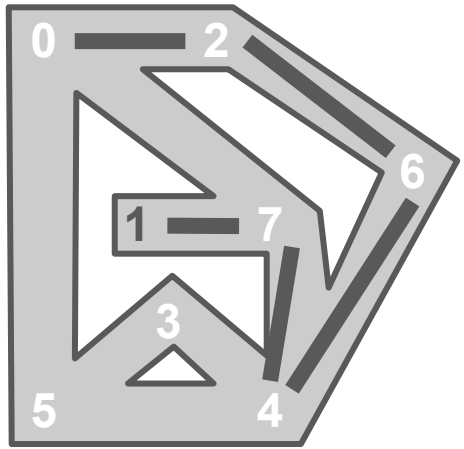
Percorrendo um sistema de passagens

Partindo do **0**



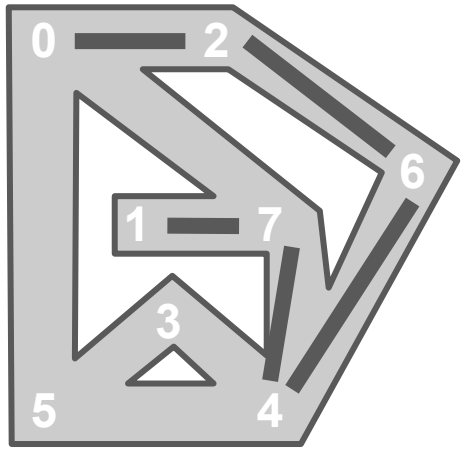
Percorrendo um sistema de passagens

Partindo do **0**



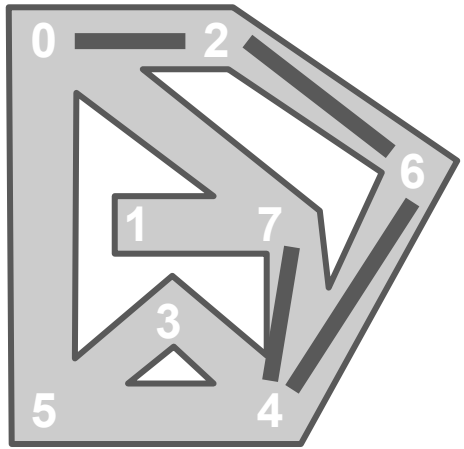
Percorrendo um sistema de passagens

Partindo do **0**



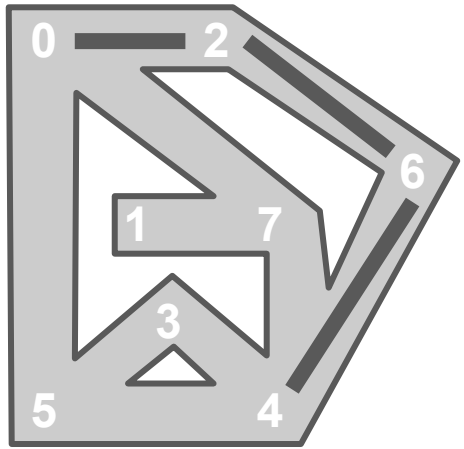
Percorrendo um sistema de passagens

Partindo do **0**



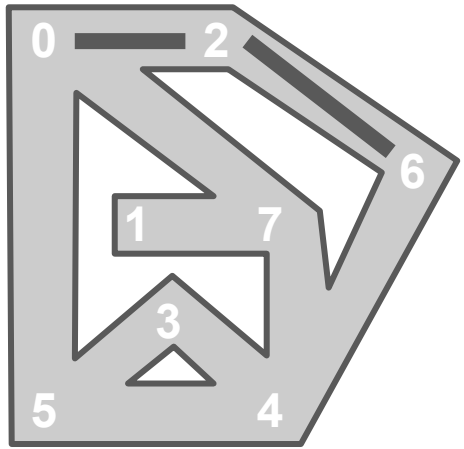
Percorrendo um sistema de passagens

Partindo do **0**



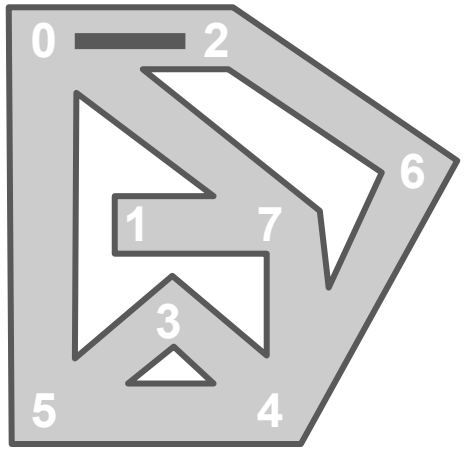
Percorrendo um sistema de passagens

Partindo do **0**



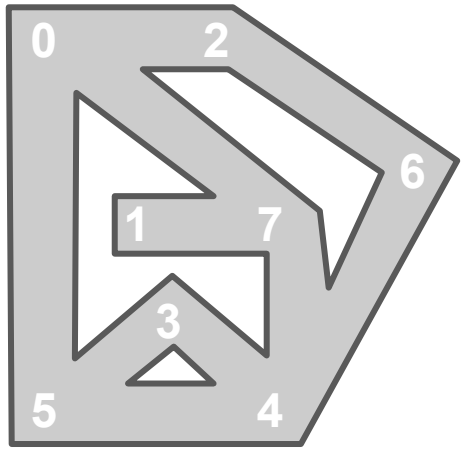
Percorrendo um sistema de passagens

Partindo do **0**

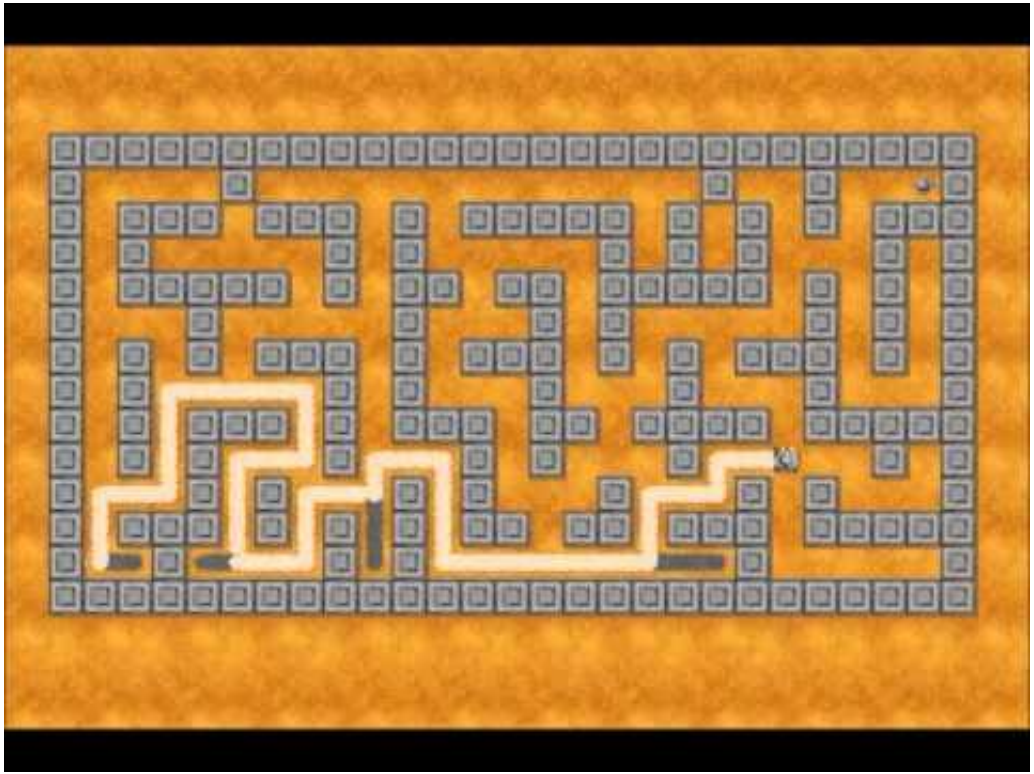


Percorrendo um sistema de passagens

Partindo do **0**



Percorrendo um sistema de passagens

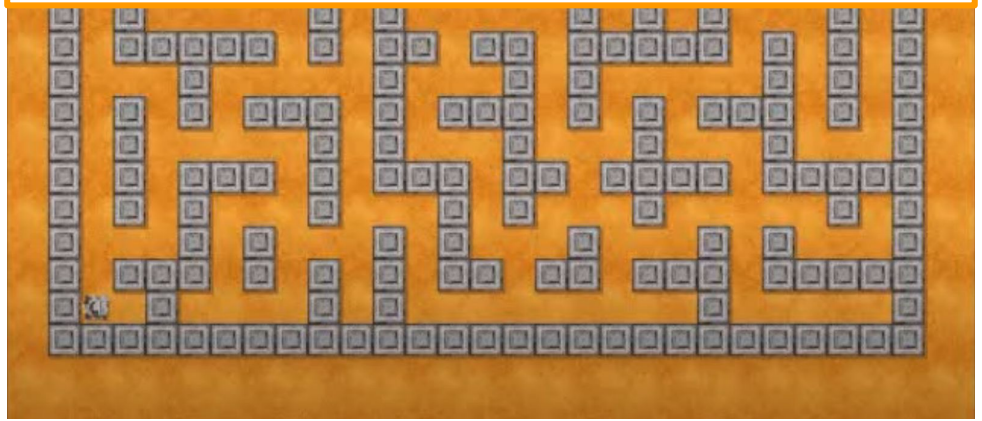


Percorrendo um sistema de passagens

- Em várias situações, temos um sistema de **passagens** e queremos percorrer de maneira eficiente as **junções** e **extremidades** destas passagens

- Exemplo:

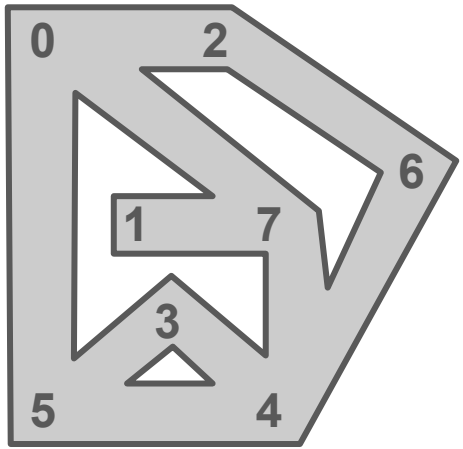
Atenção: queremos **continuar** percorrendo as junções e extremidades **mesmo depois** de ter achado algum ponto de interesse

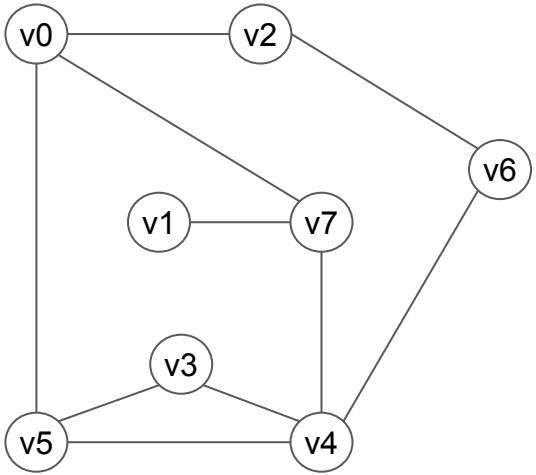


Percorrendo um sistema de passagens

- Vamos representar o sistema de passagens como um grafo: passagens modeladas por arestas; junções e extremidades modeladas por vértices

- Exemplo:

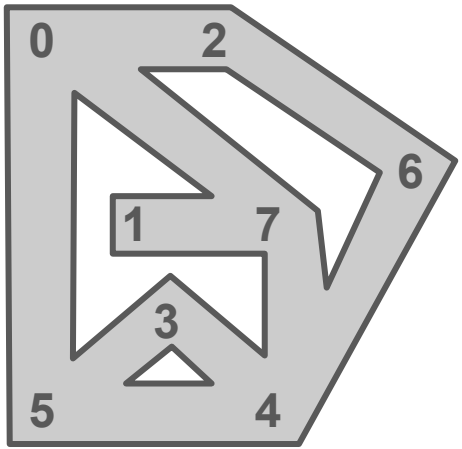


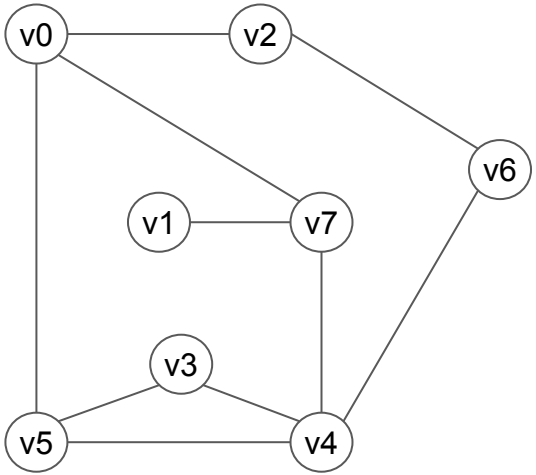


Percorrendo um sistema de passagens

- Vamos representar o sistema de passagens como um grafo: passagens modeladas por arestas; junções e extremidades modeladas por vértices
- Vamos implementar um algoritmo para **percorrer os vértices** do grafo

- Exemplo:





Percorrendo um sistema de passagens

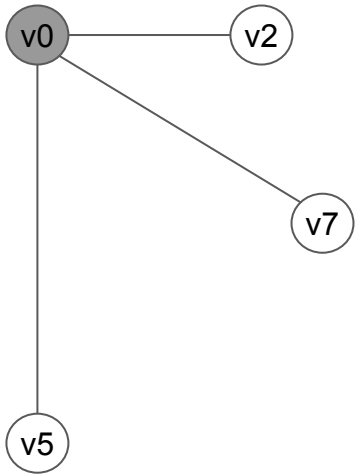
- Estratégia:
  - Vamos percorrer os vértices do grafo partindo de um vértice especificado; por ex., v_0

Percorrendo um sistema de passagens

- Estratégia:
  - Vamos percorrer os vértices do grafo partindo de um vértice especificado; por ex., v_0
  1. Comece em v_0

Percorrendo um sistema de passagens

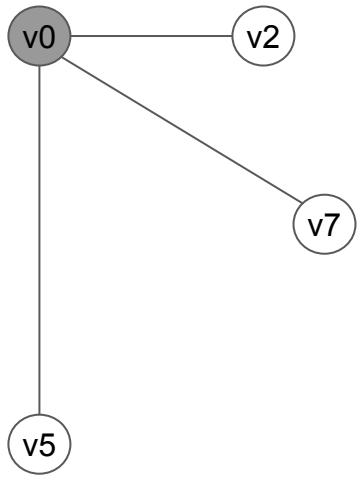
- Estratégia:
  - Vamos percorrer os vértices do grafo partindo de um vértice especificado; por ex., v_0
  1. Comece em v_0
  2. Considere os vizinhos de v_0



Percorrendo um sistema de passagens

- Estratégia:
  - Vamos percorrer os vértices do grafo partindo de um vértice especificado; por ex., v_0
  1. Comece em v_0
  2. Considere os vizinhos de v_0

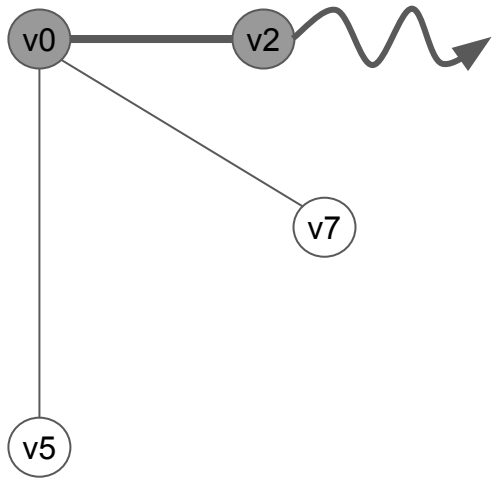
Observe que, para percorrer os demais vértices do grafo, podemos



Percorrendo um sistema de passagens

- Estratégia:
  - Vamos percorrer os vértices do grafo partindo de um vértice especificado; por ex., v_0
  1. Comece em v_0
  2. Considere os vizinhos de v_0

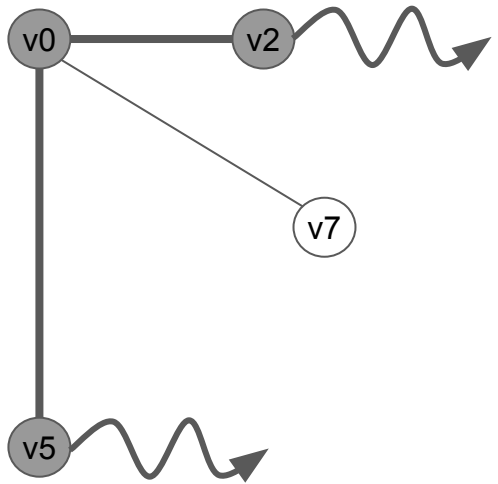
Observe que, para percorrer os demais vértices do grafo, podemos percorrer os vértices partindo de v_2



Percorrendo um sistema de passagens

- Estratégia:
  - Vamos percorrer os vértices do grafo partindo de um vértice especificado; por ex., v_0
  1. Comece em v_0
  2. Considere os vizinhos de v_0

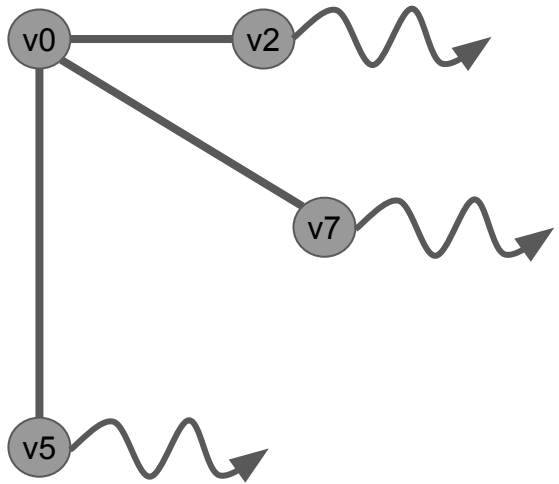
Observe que, para percorrer os demais vértices do grafo, podemos percorrer os vértices partindo de v_2, percorrer os vértices partindo de v_5



Percorrendo um sistema de passagens

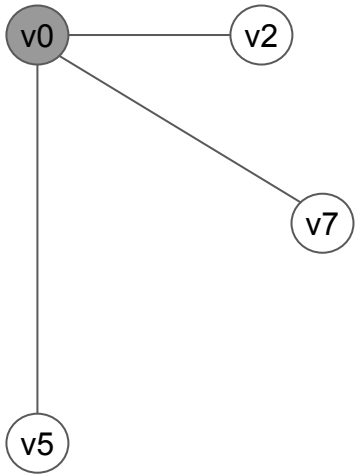
- Estratégia:
  - Vamos percorrer os vértices do grafo partindo de um vértice especificado; por ex., v_0
1. Comece em v_0
2. Considere os vizinhos de v_0

Observe que, para percorrer os demais vértices do grafo, podemos percorrer os vértices partindo de v_2, percorrer os vértices partindo de v_5 e percorrer os vértices partindo de v_7



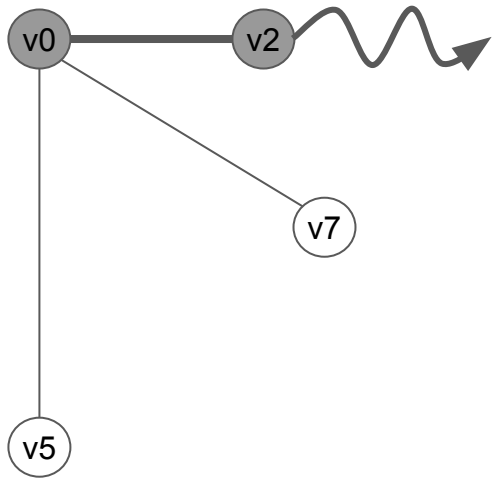
Percorrendo um sistema de passagens

- Estratégia:
  - Vamos percorrer os vértices do grafo partindo de um vértice especificado; por ex., v_0
  1. Comece em v_0
  2. Considere os vizinhos de v_0



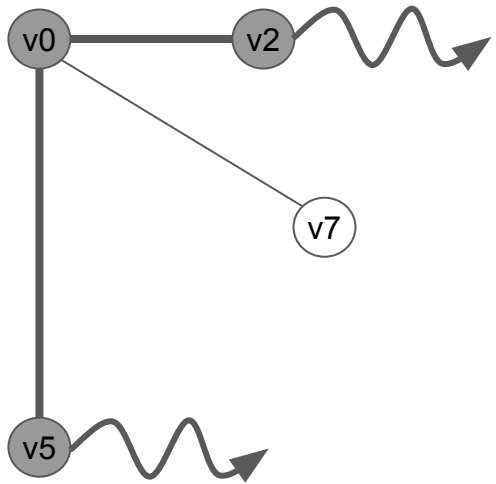
Percorrendo um sistema de passagens

- Estratégia:
  - Vamos percorrer os vértices do grafo partindo de um vértice especificado; por ex., v_0
  1. Comece em v_0
  2. Considere os vizinhos de v_0
  3. Percorra recursivamente os vértices do grafo partindo de v_2



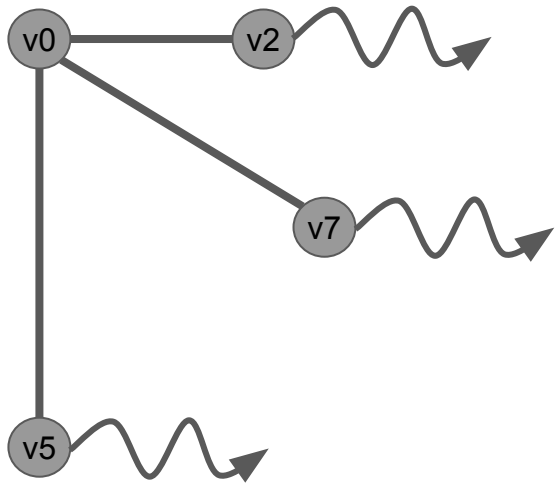
Percorrendo um sistema de passagens

- Estratégia:
  - Vamos percorrer os vértices do grafo partindo de um vértice especificado; por ex., v_0
  1. Comece em v_0
  2. Considere os vizinhos de v_0
  3. Percorra recursivamente os vértices do grafo partindo de v_2
  4. Percorra recursivamente os vértices do grafo partindo de v_5



Percorrendo um sistema de passagens

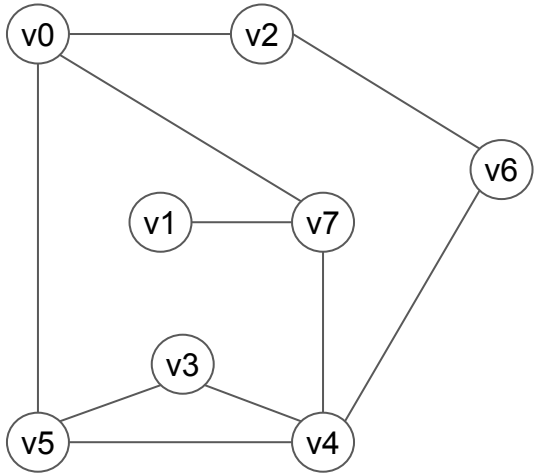
- Estratégia:
  - Vamos percorrer os vértices do grafo partindo de um vértice especificado; por ex., v_0
1. Comece em v_0
2. Considere os vizinhos de v_0
3. Percorra recursivamente os vértices do grafo partindo de v_2
4. Percorra recursivamente os vértices do grafo partindo de v_5 e
5. Percorra recursivamente os vértices do grafo partindo de v_7



Não queremos visitar novamente vértices já visitados. Por isso, vamos marcar os vértices que vão sendo visitados

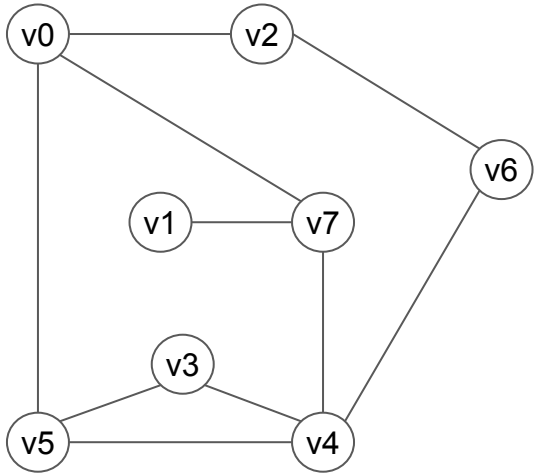
Percorrendo um sistema de passagens - Implementação

```
void Grafo::percorre(int v) {




}
```



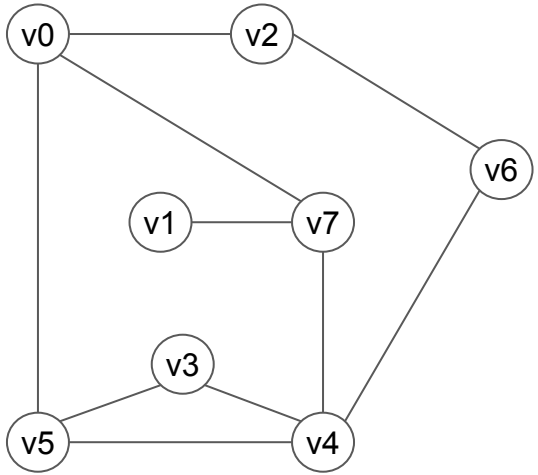
Percorrendo um sistema de passagens - Implementação

```
void Grafo::percorre(int v) {
    printf("%d\n", v);




}
```



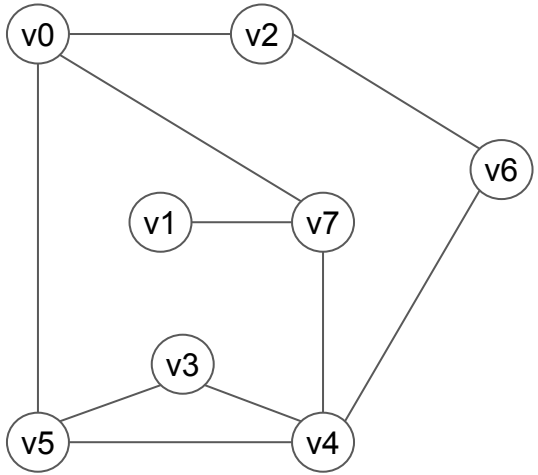
Percorrendo um sistema de passagens - Implementação

```
void Grafo::percorre(int v) {
    printf("%d\n", v);

    for (int u = 0; u < num_vertices_; u++)
        if (matriz_adj_[v][u] != 0)


}
```



Percorrendo um sistema de passagens - Implementação

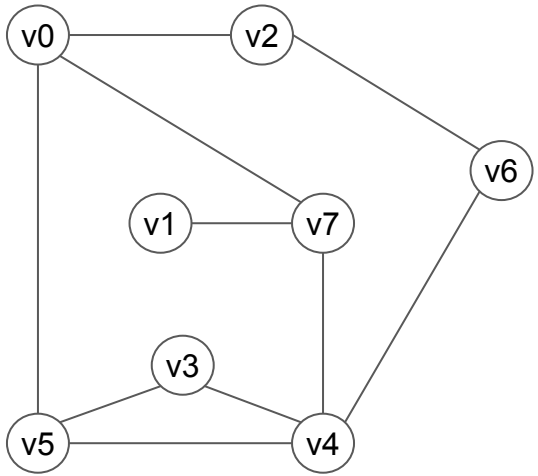
```
void Grafo::percorre(int v) {
    printf("%d\n", v);

    for (int u = 0; u < num_vertices_; u++)
        if (matriz_adj_[v][u] != 0)
            percorre(u);

}
```



Percorrendo um sistema de passagens - Implementação

```
// O vetor marcado eh criado e inicializado antes
// do metodo percorre ser chamado
```

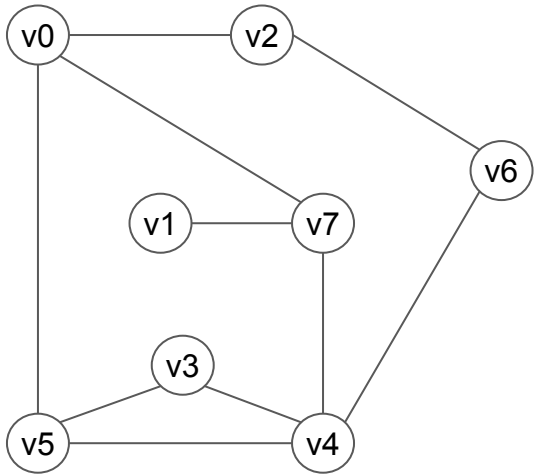
```
void Grafo::percorre(int v, int marcado[]) {
    printf("%d\n", v);

    for (int u = 0; u < num_vertices_; u++)
        if (matriz_adj_[v][u] != 0)
            percorre(u, marcado);

}
```



Percorrendo um sistema de passagens - Implementação

```
// O vetor marcado eh criado e inicializado antes
// do metodo percorre ser chamado
```

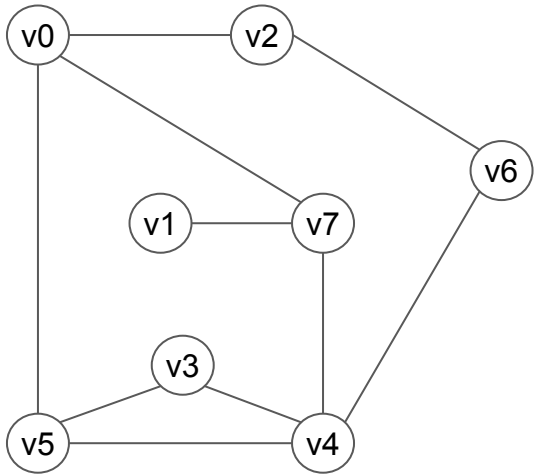
```
void Grafo::percorre(int v, int marcado[]) {
    printf("%d\n", v);
    marcado[v] = 1;
    for (int u = 0; u < num_vertices_; u++)
        if (matriz_adj_[v][u] != 0)
            if (marcado[u] == 0)
                percorre(u, marcado);
}
```



Percorrendo um sistema de passagens - Implementação

```
// O vetor marcado eh criado e inicializado antes
// do metodo percorre ser chamado
```

```
void Grafo::percorre(int v, int marcado[]) {
    printf("%d\n", v);
    marcado[v] = 1;
    for (int u = 0; u < num_vertices_; u++)
        if (matriz_adj_[v][u] != 0)
            if (marcado[u] == 0)
                percorre(u, marcado);
}
```

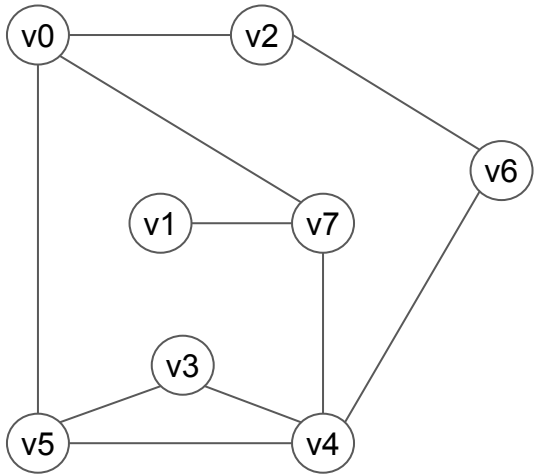


O processo de percorrer um grafo também é chamado de **busca**

Percorrendo um sistema de passagens - Implementação

```
// O vetor marcado eh criado e inicializado antes
// do metodo busca ser chamado
```

```
void Grafo::busca(int v, int marcado[]) {
    printf("%d\n", v);
    marcado[v] = 1;
    for (int u = 0; u < num_vertices_; u++)
        if (matriz_adj_[v][u] != 0)
            if (marcado[u] == 0)
                busca(u, marcado);
}
```

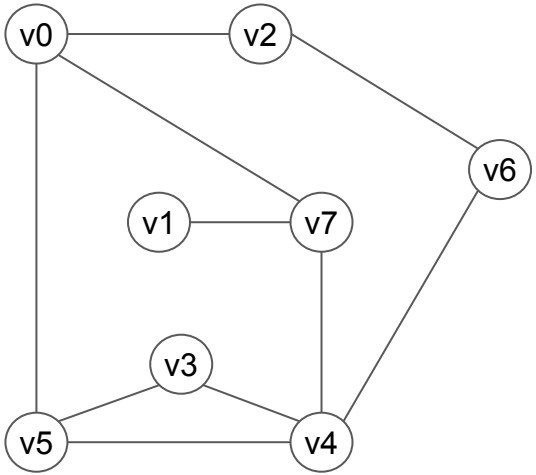


O processo de percorrer um grafo também é chamado de **busca**

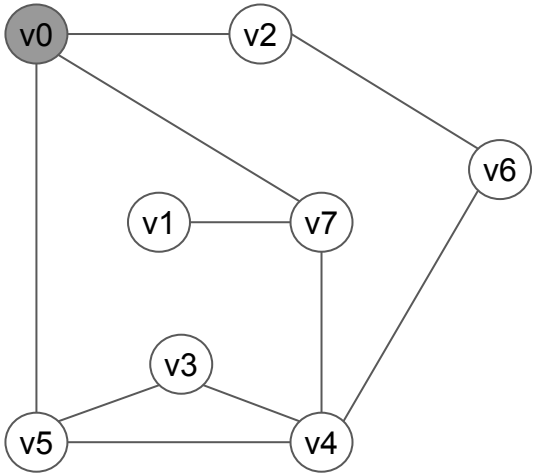
Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica

- Vamos construir um grafo *H* que representa a dinâmica da busca realizada
  - Quando o vértice inicial da busca é visitado, o adicionamos a *H*
  - Quando um novo vértice *v* é visitado, se chegamos a *v* através da aresta *wv*, então adicionamos a *H* a aresta *wv* e o vértice *v*

Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica

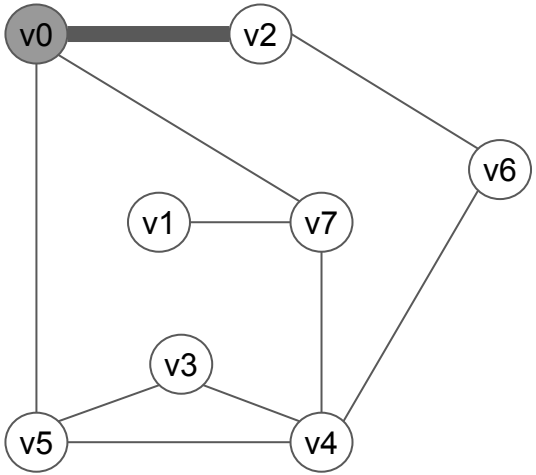


Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica



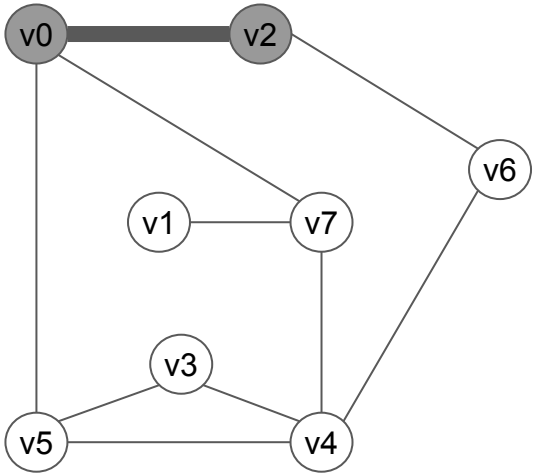
H: v0

Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica

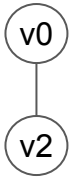


H: v0

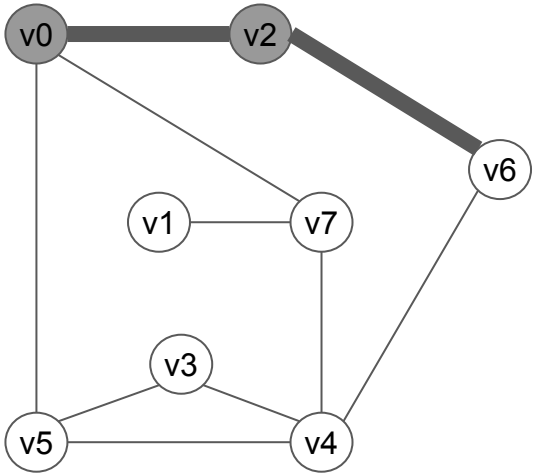
Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica



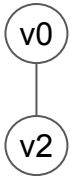
H:



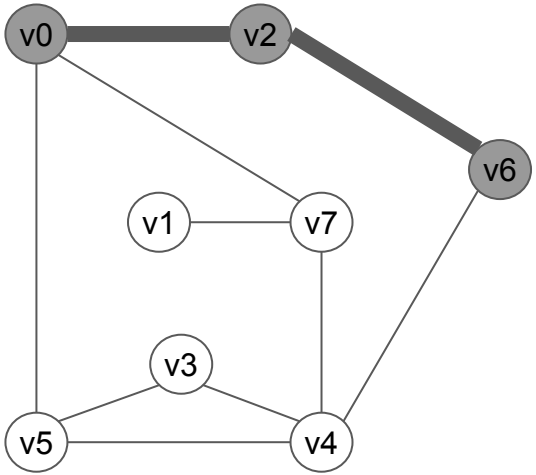
Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica



H:

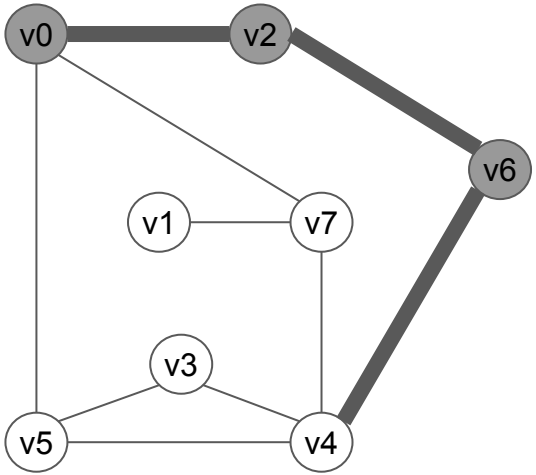


Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica



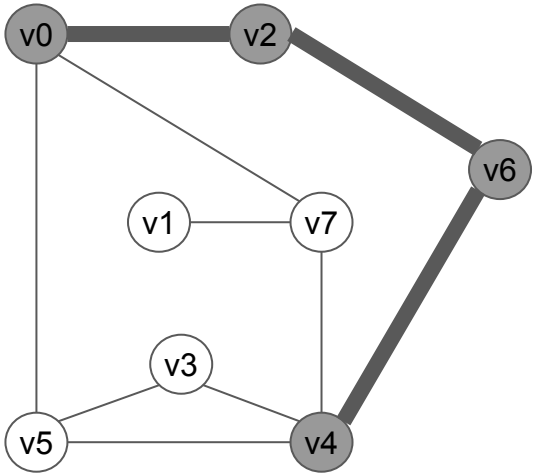
H:

Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica

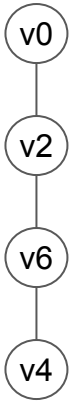


H:

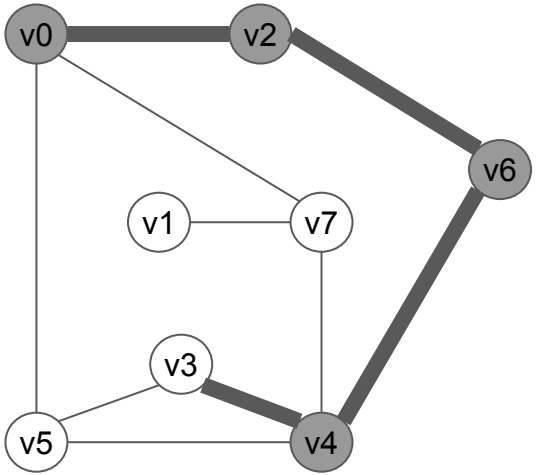
Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica



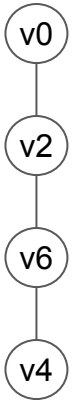
H:



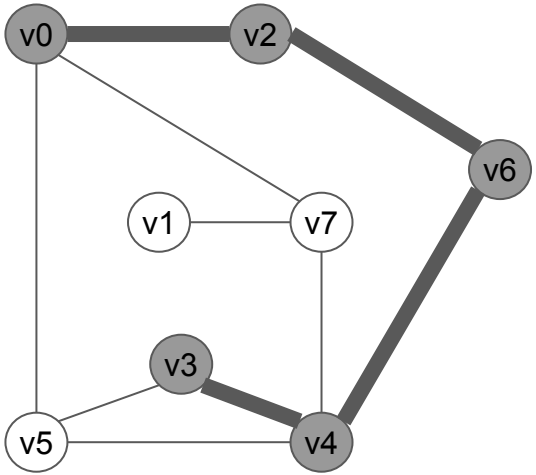
Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica



H:

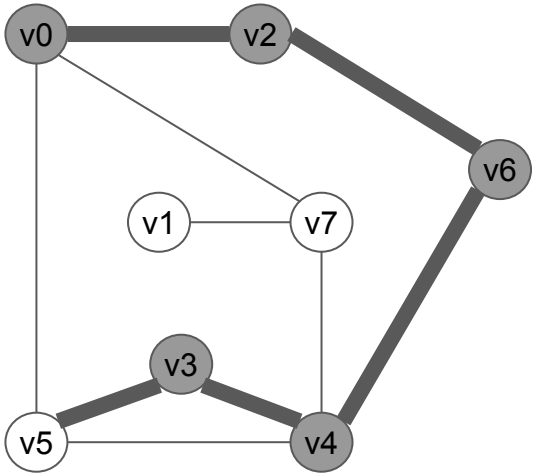


Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica



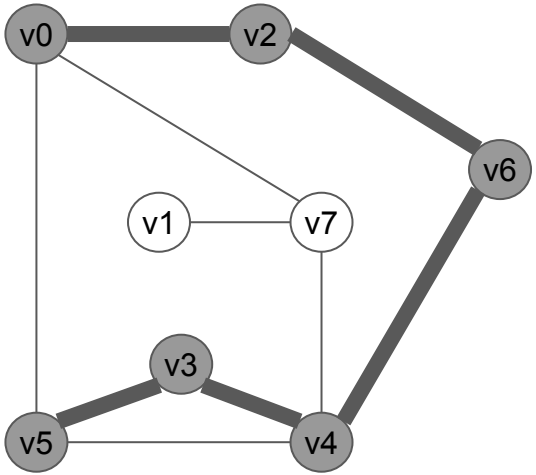
H:

Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica

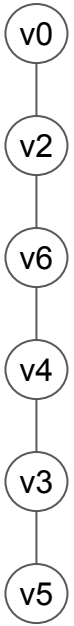


H:

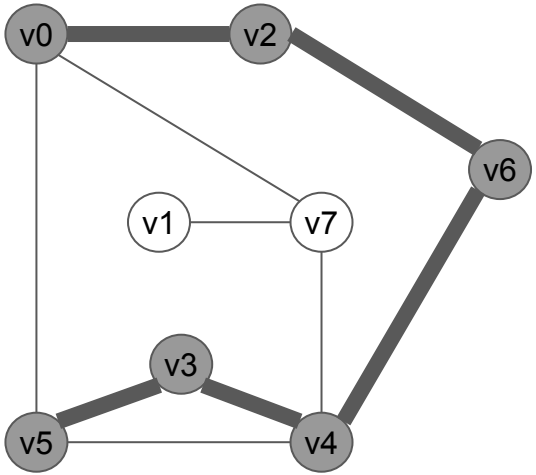
Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica



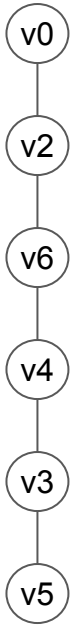
H:



Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica

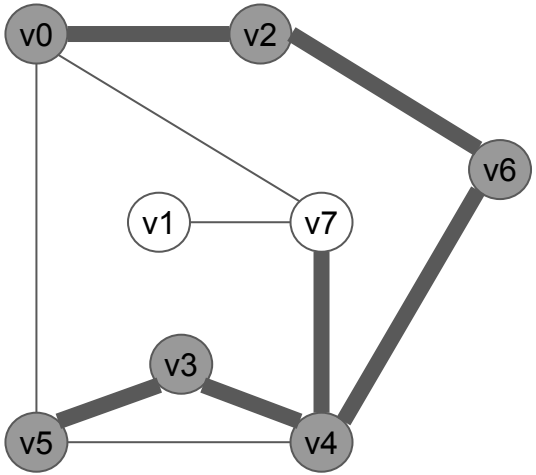


H:

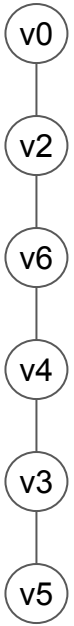


A busca segue em **profundidade** até não ser mais possível, para depois retornar

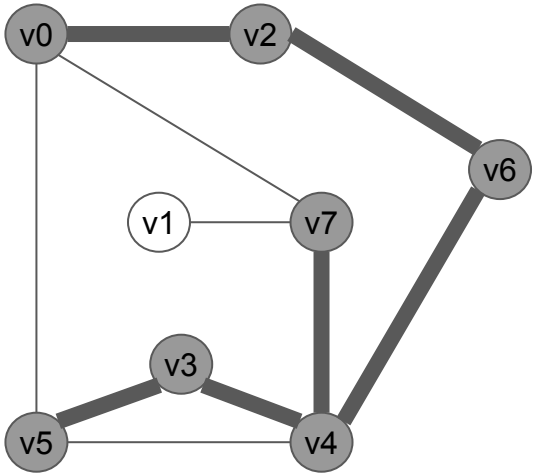
Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica



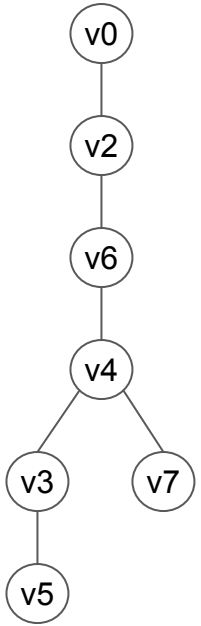
H:



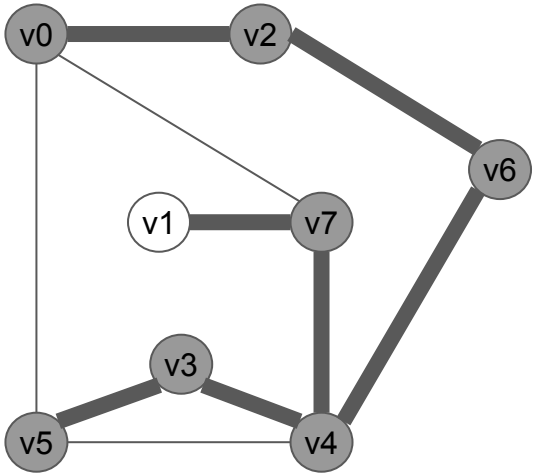
Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica



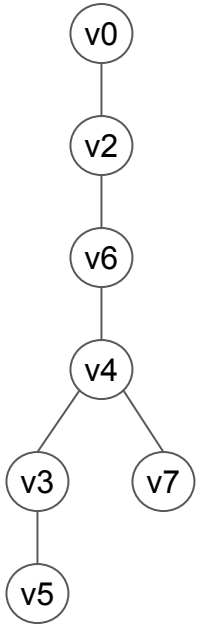
H:



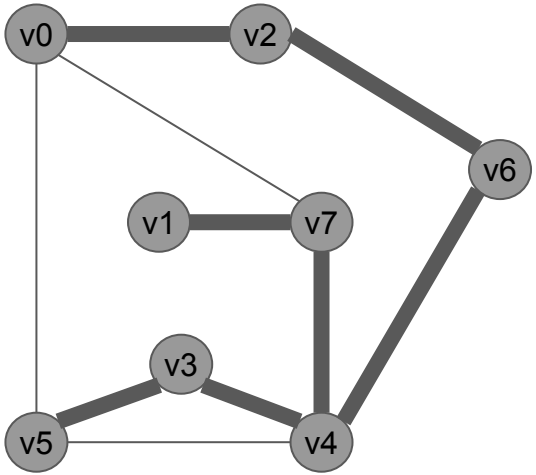
Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica



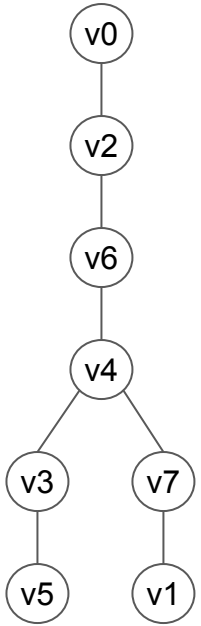
H:



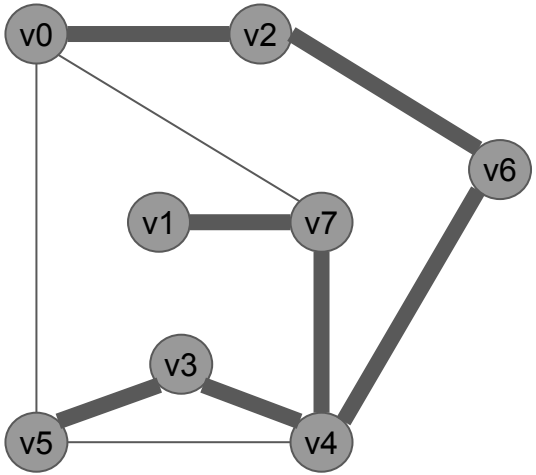
Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica



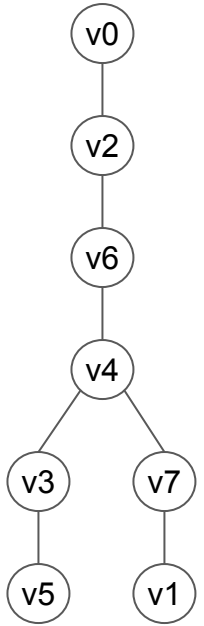
H:



Percorrendo um sistema de passagens - Dinâmica



H:

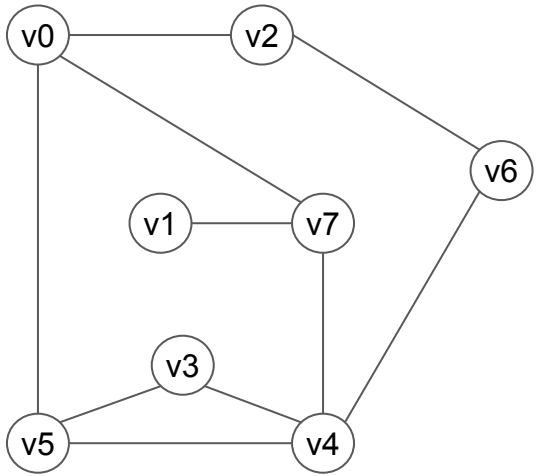


H é uma **árvore**

Percorrendo um sistema de passagens - Implementação

```
// O vetor marcado eh criado e inicializado antes
// do metodo busca ser chamado
```

```
void Grafo::busca(int v, int marcado[]) {
    printf("%d\n", v);
    marcado[v] = 1;
    for (int u = 0; u < num_vertices_; u++)
        if (matriz_adj_[v][u] != 0)
            if (marcado[u] == 0)
                busca(u, marcado);
}
```

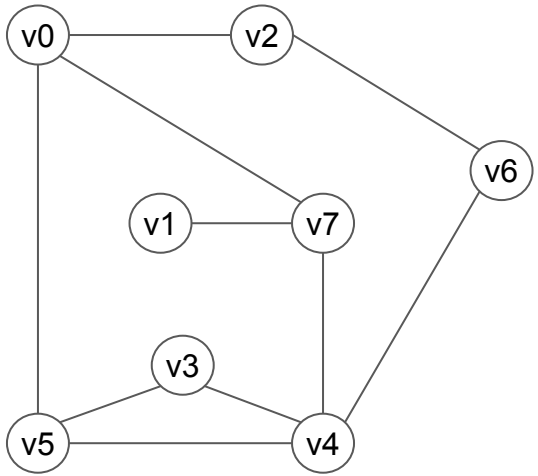


A busca segue em **profundidade** até não ser mais possível, para depois retornar

Percorrendo um sistema de passagens - Implementação

```
// O vetor marcado eh criado e inicializado antes
// do metodo busca_prof ser chamado
```

```
void Grafo::busca_prof(int v, int marcado[]) {
    printf("%d\n", v);
    marcado[v] = 1;
    for (int u = 0; u < num_vertices_; u++)
        if (matriz_adj_[v][u] != 0)
            if (marcado[u] == 0)
                busca_prof(u, marcado);
}
```



A busca segue em **profundidade** até não ser mais possível, para depois retornar

Busca em um grafo

- A estratégia de busca em um grafo vista nos slides anteriores é conhecida como o algoritmo de **busca em profundidade**
- Ao realizar uma busca em um grafo, conseguimos visitar **todo vértice** *w* do grafo tal que existe um **caminho** entre o **vértice inicial** da busca e *w*
- Em outras palavras, conseguimos visitar todos os vértices da **componente conexa** do grafo que contém o vértice inicial da busca
- Se o grafo é conexo, então conseguimos visitar todos os seus vértices

Exercícios

- Exercício 1 da Lista de Exercícios “Busca em profundidade e em largura”.

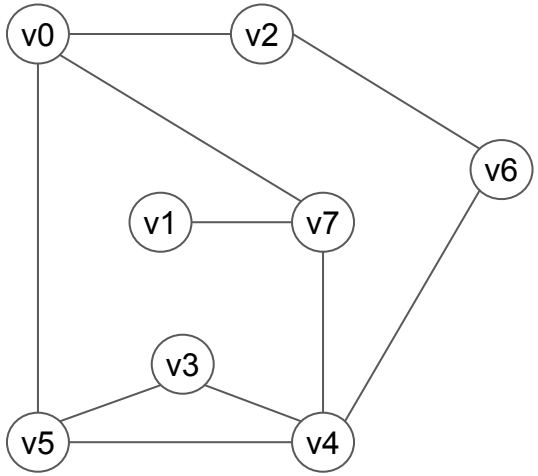
Busca em um grafo

- Considere agora o seguinte objetivo:
  Dado um grafo, queremos determinar um caminho de comprimento mínimo entre um certo vértice e cada um dos vértices do grafo
- Podemos atingir este objetivo através de uma estratégia de busca chamada **busca em largura**
- Para este objetivo, o algoritmo de busca em profundidade não é útil, pois a estratégia utilizada não tem relação com calcular caminhos de comprimento mínimo

- Antes de entender como funciona uma busca em largura, vamos examinar uma maneira alternativa de implementar uma busca em profundidade

Busca em um grafo - Estratégia geral

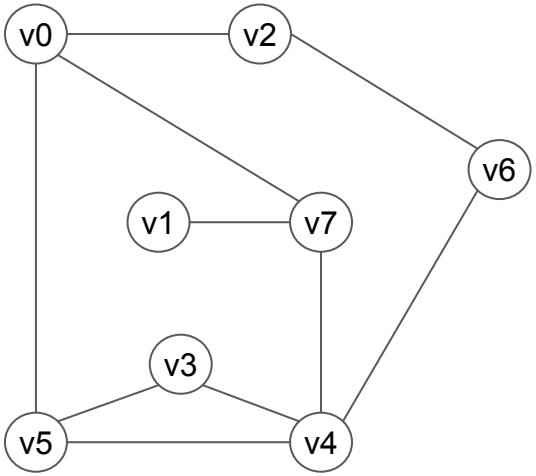
- Estratégia geral:
  1. Agenda o vértice inicial para visitação
  2. Enquanto existe vértice a ser visitado:
  3. Visita o próximo vértice
  4. Para todo vizinho do vértice:
  5. Se o vizinho ainda não foi visitado
  6. Agenda o vizinho para visitação



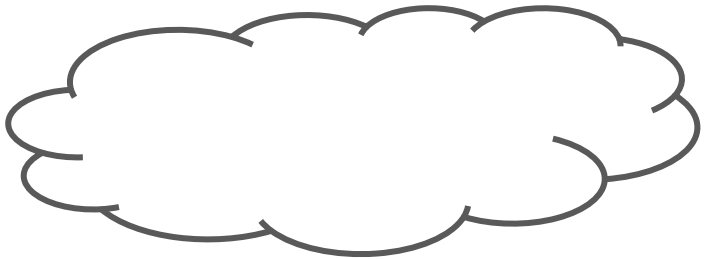
- A estratégia acima pode ser implementada com o uso de uma estrutura de dados

Busca em um grafo - Estratégia geral

- Estratégia geral:
  1. Agenda o vértice inicial para visitação
  2. Enquanto existe vértice a ser visitado:
  3. Visita o próximo vértice
  4. Para todo vizinho do vértice:
  5. Se o vizinho ainda não foi visitado
  6. Agenda o vizinho para visitação

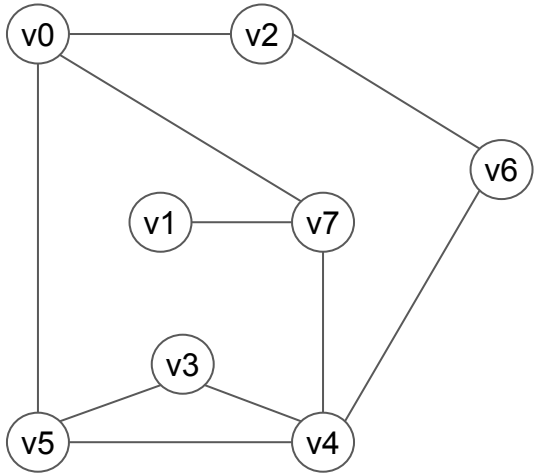


Estrutura de dados:

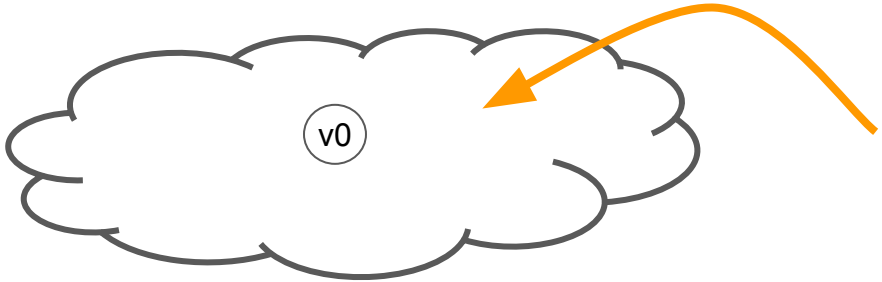


Busca em um grafo - Estratégia geral

- Estratégia geral:
  1. **Agenda** o vértice inicial **para visitação**
  2. Enquanto existe vértice a ser visitado:
  3. Visita o próximo vértice
  4. Para todo vizinho do vértice:
  5. Se o vizinho ainda não foi visitado
  6. Agenda o vizinho para visitação

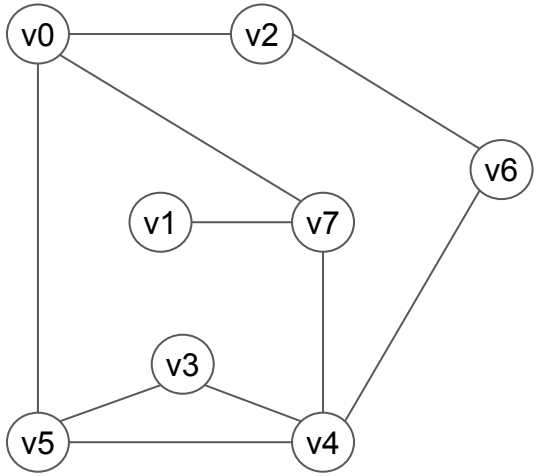


Estrutura de dados:

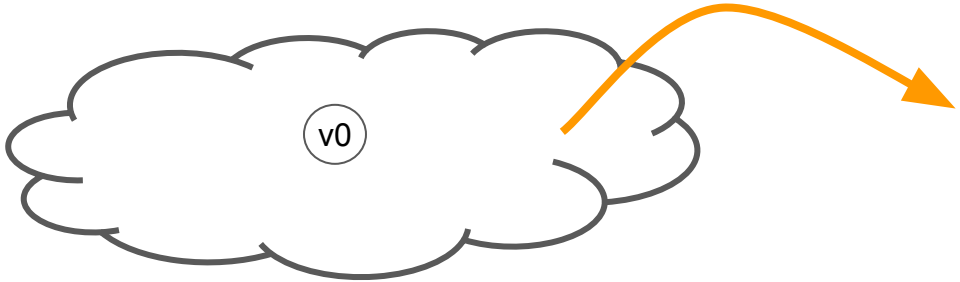


Busca em um grafo - Estratégia geral

- Estratégia geral:
  1. Agenda o vértice inicial para visitação
  2. Enquanto existe vértice a ser visitado:
  3. Visita o **próximo vértice**
  4. Para todo vizinho do vértice:
  5. Se o vizinho ainda não foi visitado
  6. Agenda o vizinho para visitação

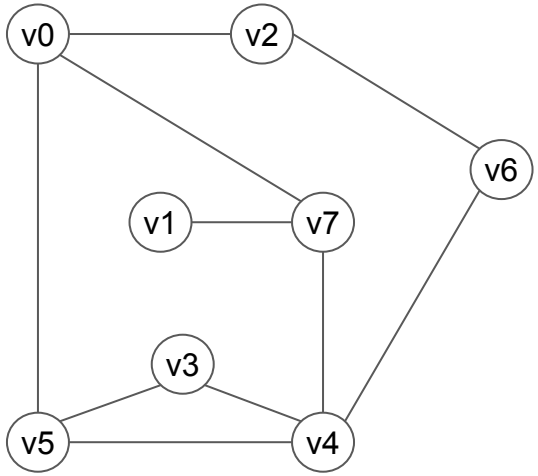


Estrutura de dados:

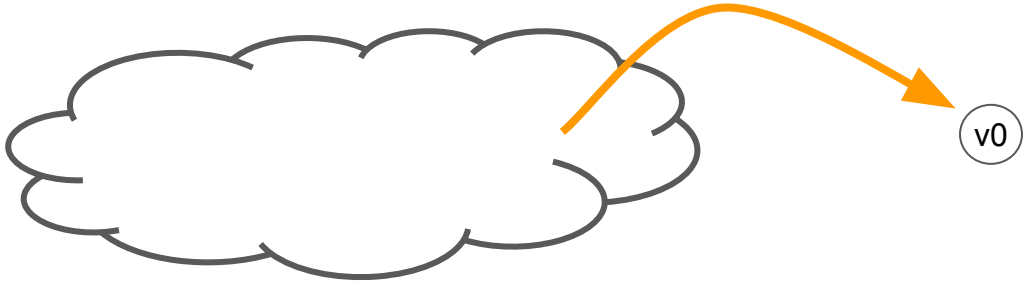


Busca em um grafo - Estratégia geral

- Estratégia geral:
  1. Agenda o vértice inicial para visitação
  2. Enquanto existe vértice a ser visitado:
  3. Visita o **próximo vértice**
  4. Para todo vizinho do vértice:
  5. Se o vizinho ainda não foi visitado
  6. Agenda o vizinho para visitação

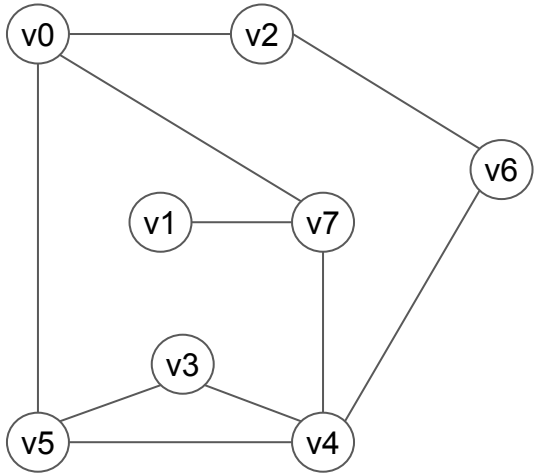


Estrutura de dados:

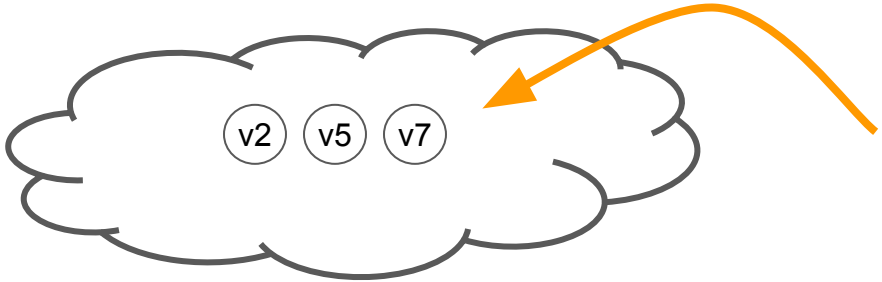


Busca em um grafo - Estratégia geral

- Estratégia geral:
  1. Agenda o vértice inicial para visitação
  2. Enquanto existe vértice a ser visitado:
  3. Visita o próximo vértice
  4. Para todo vizinho do vértice:
  5. Se o vizinho ainda não foi visitado
  6. **Agenda** o vizinho **para visitação**

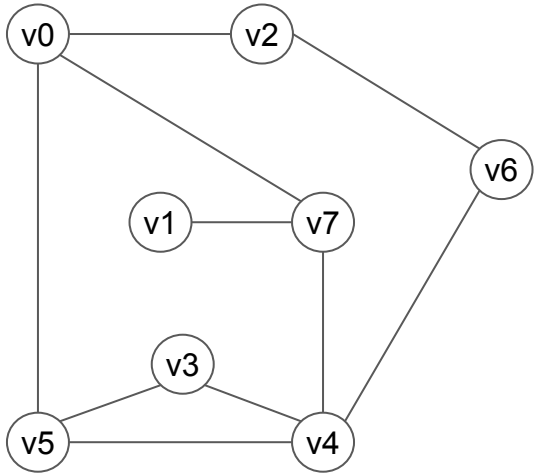


Estrutura de dados:

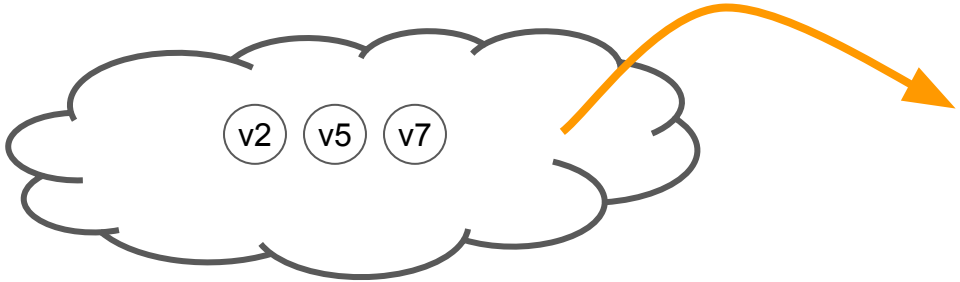


Busca em um grafo - Estratégia geral

- Estratégia geral:
  1. Agenda o vértice inicial para visitação
  2. Enquanto existe vértice a ser visitado:
  3. Visita o **próximo vértice**
  4. Para todo vizinho do vértice:
  5. Se o vizinho ainda não foi visitado
  6. Agenda o vizinho para visitação

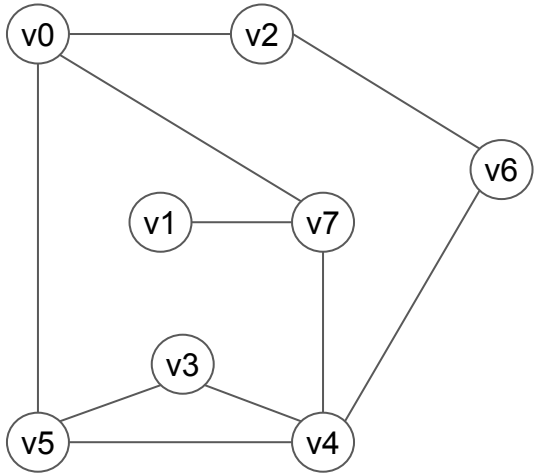


Estrutura de dados:

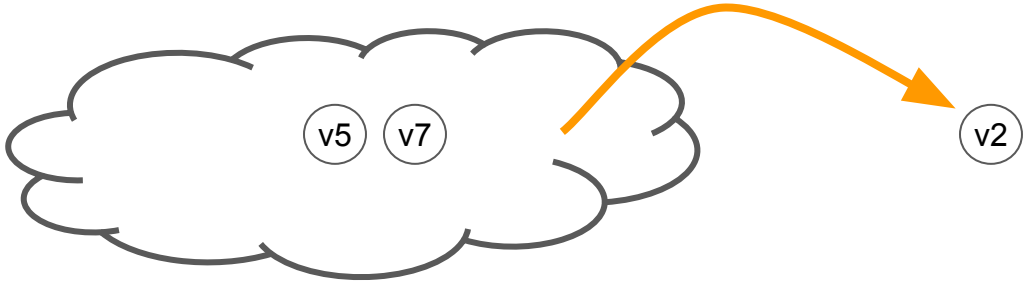


Busca em um grafo - Estratégia geral

- Estratégia geral:
  1. Agenda o vértice inicial para visitação
  2. Enquanto existe vértice a ser visitado:
  3. Visita o **próximo vértice**
  4. Para todo vizinho do vértice:
  5. Se o vizinho ainda não foi visitado
  6. Agenda o vizinho para visitação

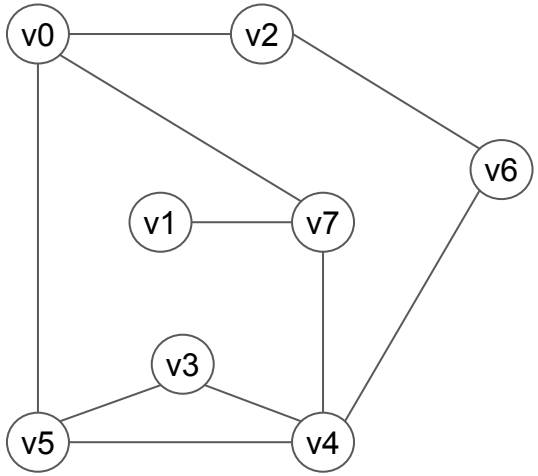


Estrutura de dados:



Busca em um grafo - Estratégia geral

- Estratégia geral:
  1. Agenda o vértice inicial para visitação
  2. Enquanto **existe vértice a ser visitado**:
  3. Visita o próximo vértice
  4. Para todo vizinho do vértice:
  5. Se o vizinho ainda não foi visitado
  6. Agenda o vizinho para visitação



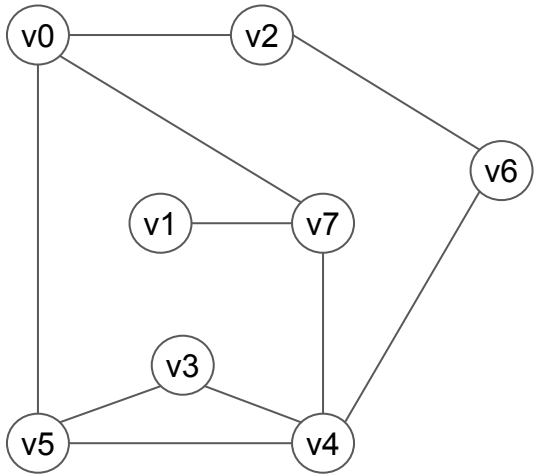
Estrutura de dados:

Busca em profundidade - Implementação alternativa

- Considerando a estratégia geral descrita no slide anterior, o que podemos dizer da lógica através da qual os vértices são visitados no algoritmo de busca em profundidade?
  - É uma lógica de **pilha**
- Vamos implementar este algoritmo usando explicitamente uma pilha

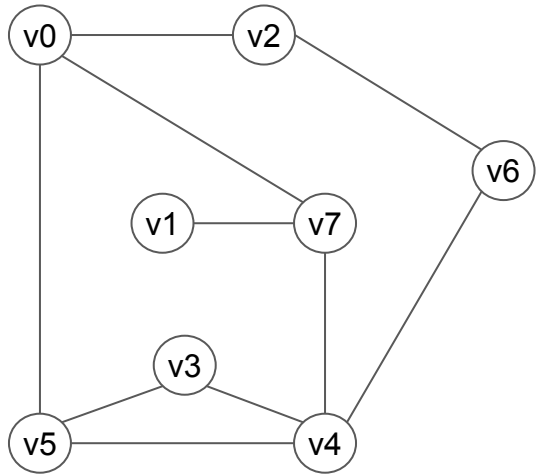
Busca em profundidade - Implementação alternativa

```
void Grafo::busca_prof(int v) {
    // Criacao e inicializacao do vetor marcado


    while () {


        printf("%d\n", w);
        marcado[w] = 1;
        for (int u = 0; u < num_vertices_; u++)
            if (matriz_adj_[w][u] != 0)
                if (marcado[u] == 0)

    }
}
```



Busca em profundidade - Implementação alternativa

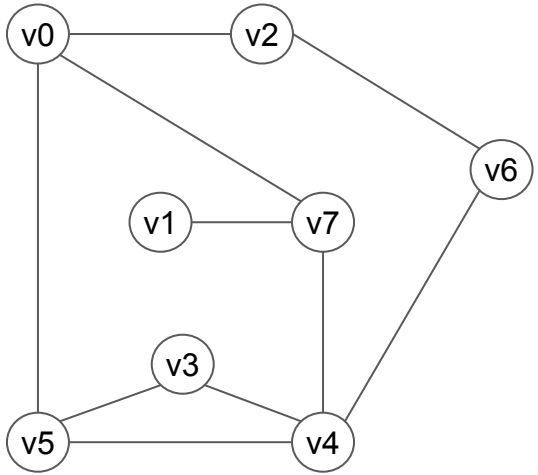
```
void Grafo::busca_prof(int v) {
    // Criacao e inicializacao do vetor marcado
    stack<int> pilha;
    pilha.push(v);
    while (!pilha.empty()) {
        int w = pilha.top();
        pilha.pop();
        printf("%d\n", w);
        marcado[w] = 1;
        for (int u = 0; u < num_vertices_; u++)
            if (matriz_adj_[w][u] != 0)
                if (marcado[u] == 0)
                    pilha.push(u);
    }
}
```



Nesta implementação, o **percurso** realizado pode ser **diferente** do realizado na **versão recursiva**

Busca em profundidade - Implementação alternativa

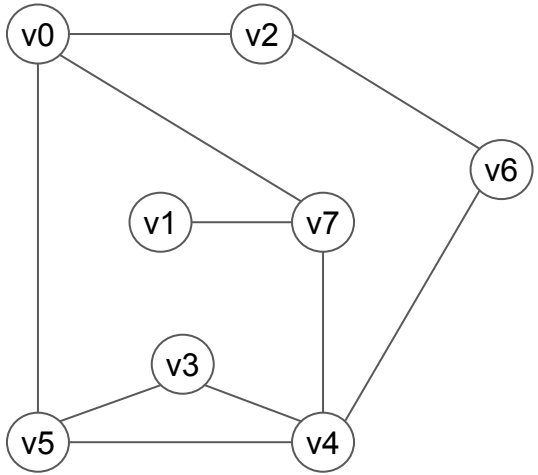
```
void Grafo::busca_prof(int v) {
    // Criacao e inicializacao do vetor marcado
    stack<int> pilha;
    pilha.push(v);
    while (!pilha.empty()) {
        int w = pilha.top();
        pilha.pop();
        printf("%d\n", w);
        marcado[w] = 1;
        for (int u = (num_vertices_ - 1); u >= 0; u--)
            if (matriz_adj_[w][u] != 0)
                if (marcado[u] == 0)
                    pilha.push(u);
    }
}
```



Com a alteração destacada, obtemos o **mesmo percurso** realizado na **versão recursiva**

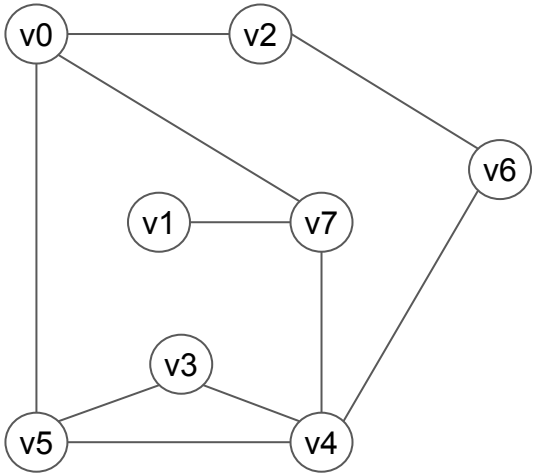
Busca em profundidade - Implementação alternativa

```
void Grafo::busca_prof(int v) {
    // Criacao e inicializacao do vetor marcado
    stack<int> pilha;
    pilha.push(v);
    while (!pilha.empty()) {
        int w = pilha.top();
        pilha.pop();
        printf("%d\n", w);
        marcado[w] = 1;
        for (int u = (num_vertices_ - 1); u >= 0; u--)
            if (matriz_adj_[w][u] != 0)
                if (marcado[u] == 0)
                    pilha.push(u);
    }
}
```

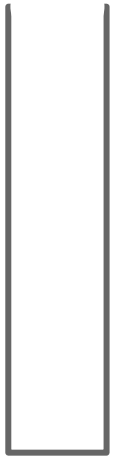


Nesta implementação, um vértice pode ser **visitado mais de uma vez**!

Busca em profundidade - Implementação alternativa

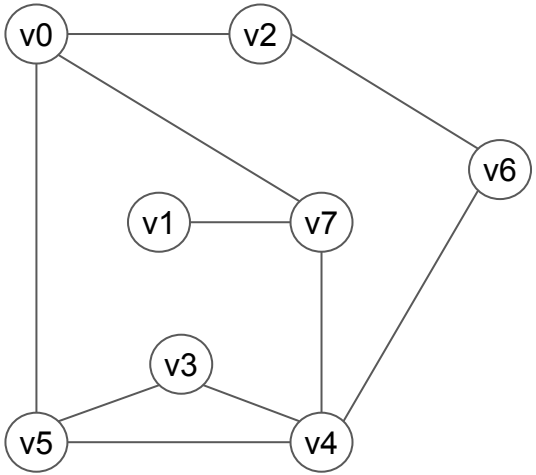


Pilha:

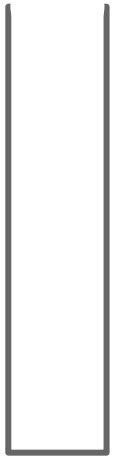


Busca em profundidade - Implementação alternativa

Partindo do **v0**

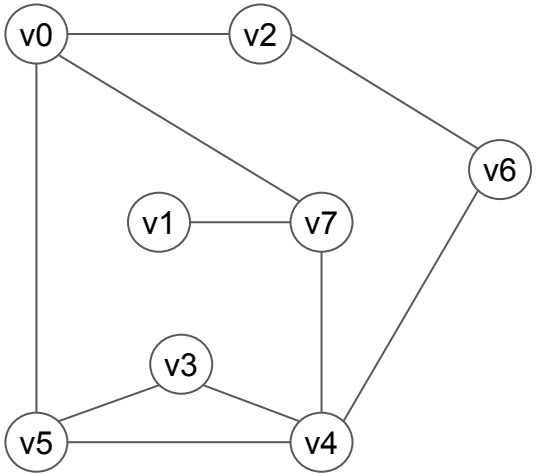


Pilha:

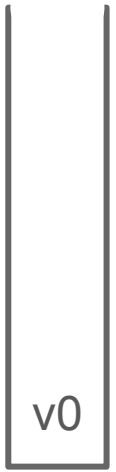


Busca em profundidade - Implementação alternativa

Partindo do **v0**

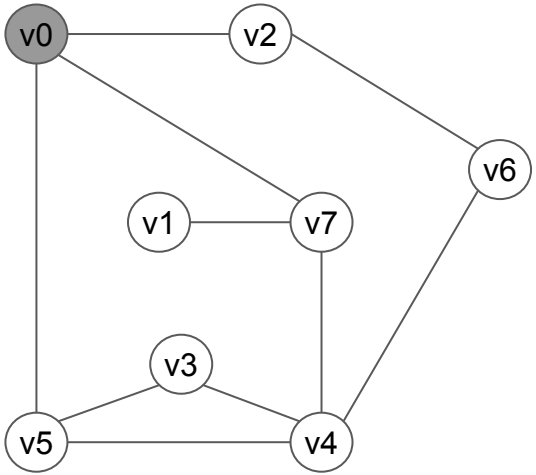


Pilha:

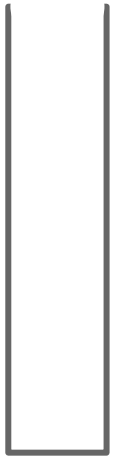


Busca em profundidade - Implementação alternativa

Partindo do **v0**

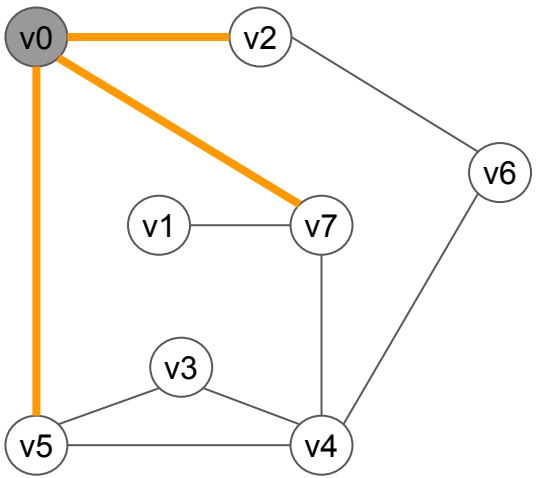


Pilha:

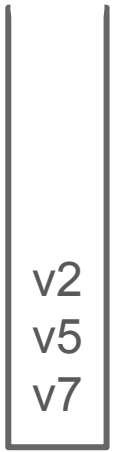


Busca em profundidade - Implementação alternativa

Partindo do **v0**

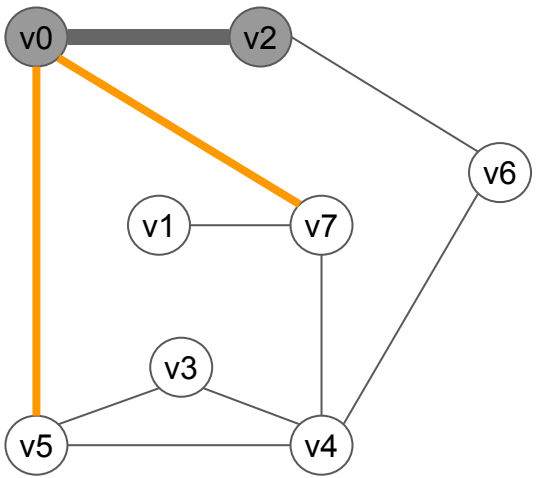


Pilha:

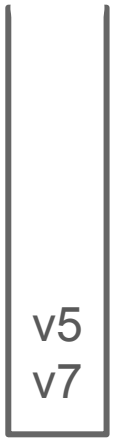


Busca em profundidade - Implementação alternativa

Partindo do **v0**

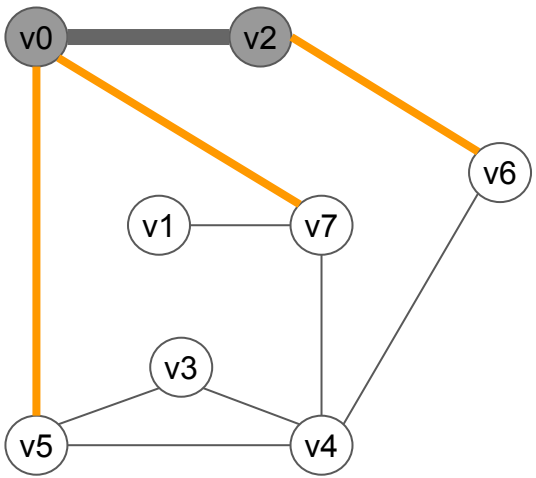


Pilha:



Busca em profundidade - Implementação alternativa

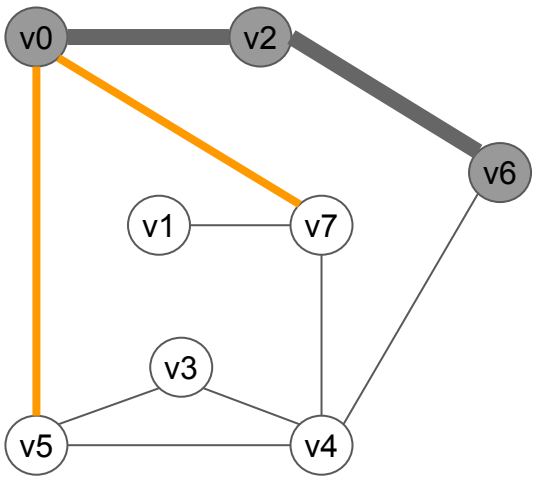
Partindo do **v0**



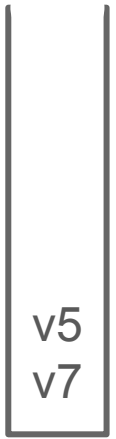
Pilha:

Busca em profundidade - Implementação alternativa

Partindo do **v0**

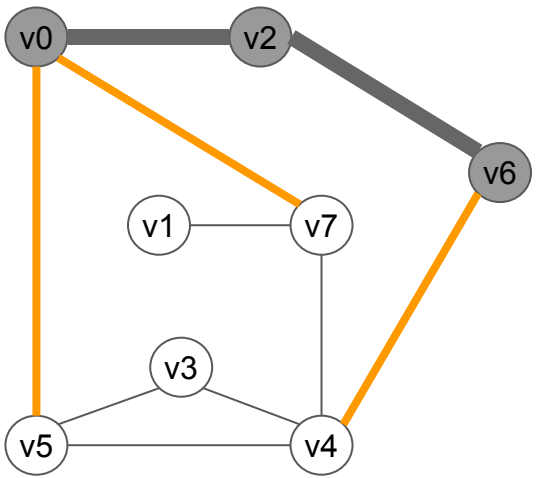


Pilha:



Busca em profundidade - Implementação alternativa

Partindo do **v0**

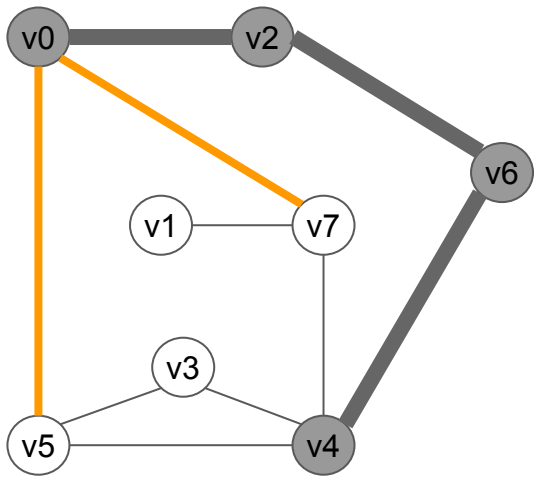


Pilha:

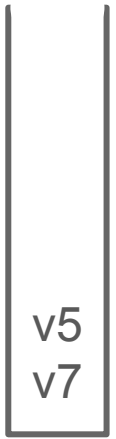
v4
v5
v7

Busca em profundidade - Implementação alternativa

Partindo do **v0**

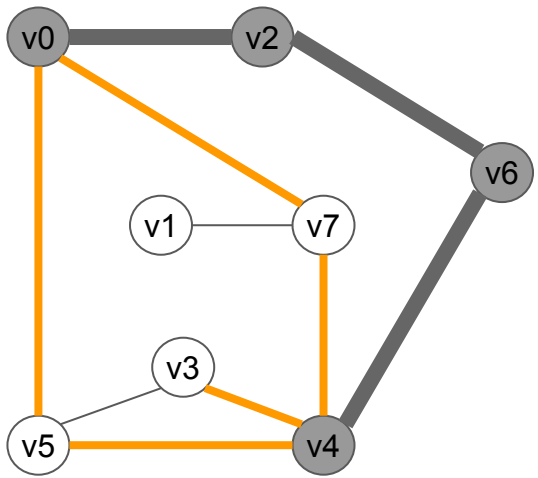


Pilha:



Busca em profundidade - Implementação alternativa

Partindo do **v0**

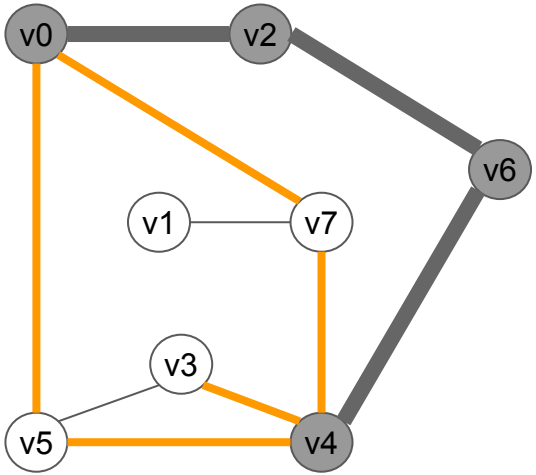


Pilha:

v3
v5
v7
v5
v7

Busca em profundidade - Implementação alternativa

Partindo do **v0**



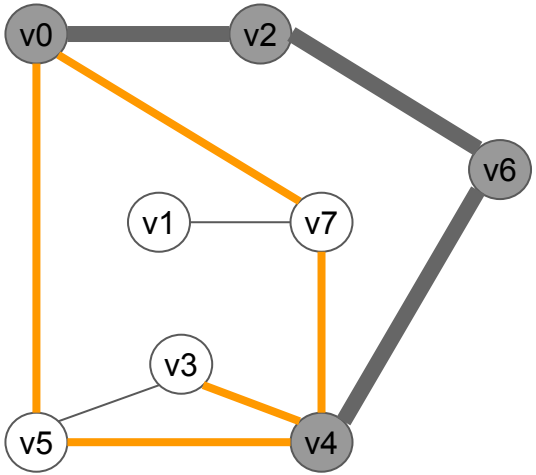
Pilha:

v3
v5
v7
v5
v7

Se não alterarmos a implementação, os vértices **v5** e **v7** vão ser **visitados mais de uma vez**!

Busca em profundidade - Implementação alternativa

Partindo do **v0**



Pilha:

v3
v5
v7
v5
v7

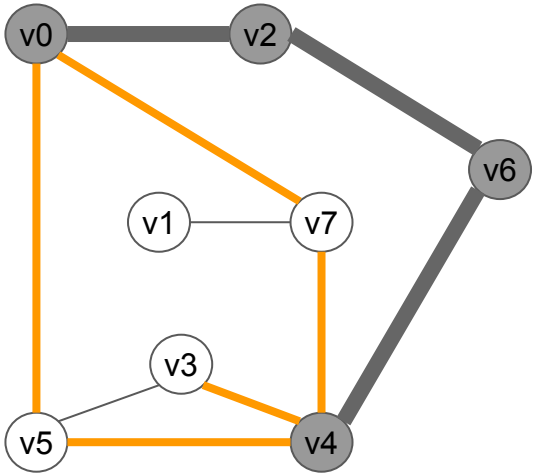
Podemos tratar deste problema em dois momentos:

- **Quando vamos inserir** um vértice na pilha
- **Quando vamos remover** um vértice da pilha

Se não alterarmos a implementação, os vértices **v5** e **v7** vão ser **visitados mais de uma vez**!

Busca em profundidade - Implementação alternativa

Partindo do **v0**

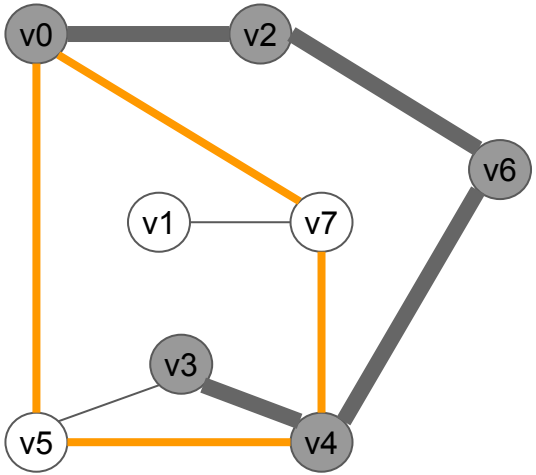


Pilha:

v3
v5
v7
v5
v7

Busca em profundidade - Implementação alternativa

Partindo do **v0**

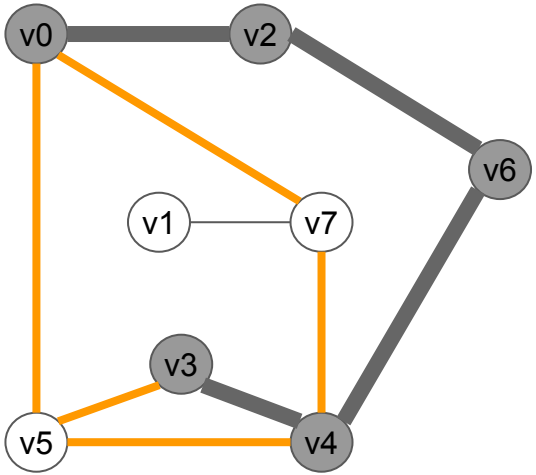


Pilha:

v5
v7
v5
v7

Busca em profundidade - Implementação alternativa

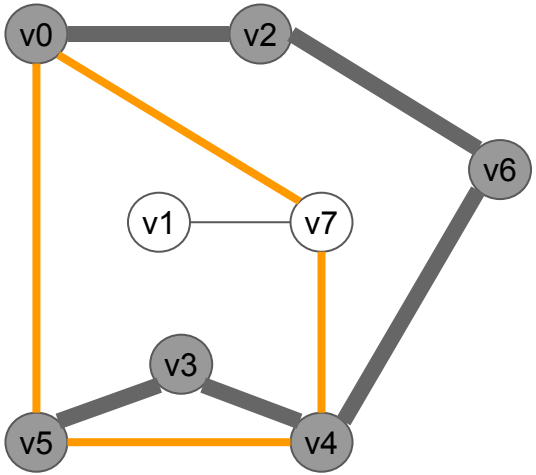
Partindo do **v0**



Pilha:

Busca em profundidade - Implementação alternativa

Partindo do **v0**

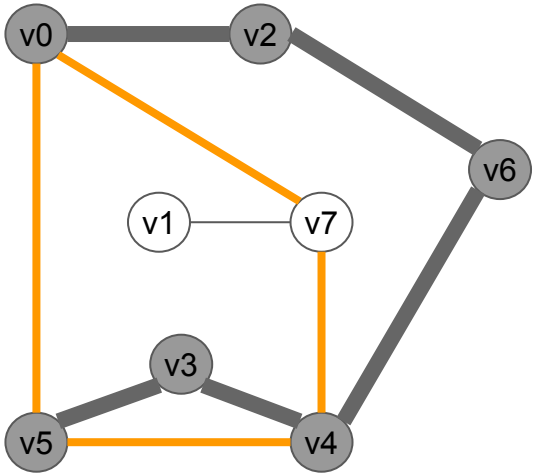


Pilha:

v5
v7
v5
v7

Busca em profundidade - Implementação alternativa

Partindo do **v0**



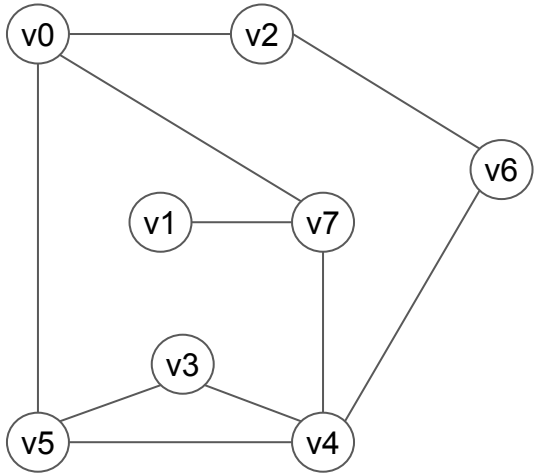
Pilha:

v5
v7
v5
v7

A **primeira vez** que v5 **sai** da pilha corresponde ao **momento correto** em que queremos visitá-lo (o mesmo vale para v7)

Busca em profundidade - Implementação alternativa

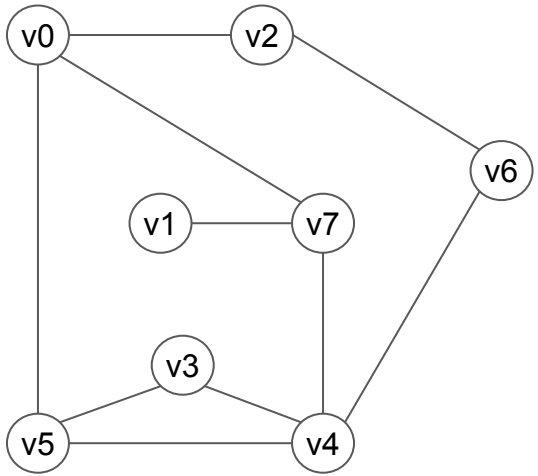
```
void Grafo::busca_prof(int v) {
    // Criacao e inicializacao do vetor marcado
    stack<int> pilha;
    pilha.push(v);
    while (!pilha.empty()) {
        int w = pilha.top();
        pilha.pop();
        printf("%d\n", w);
        marcado[w] = 1;
        for (int u = (num_vertices_ - 1); u >= 0; u--)
            if (matriz_adj_[w][u] != 0)
                if (marcado[u] == 0)
                    pilha.push(u);
    }
}
```



Nesta implementação, um vértice pode ser **visitado mais de uma vez**!

Busca em profundidade - Implementação alternativa

```
void Grafo::busca_prof(int v) {
    // Criacao e inicializacao do vetor marcado
    stack<int> pilha;
    pilha.push(v);
    while (!pilha.empty()) {
        int w = pilha.top();
        pilha.pop();
        if (marcado[w] == 0) {
            printf("%d\n", w);
            marcado[w] = 1;
            for (int u = (num_vertices_ - 1); u >= 0; u--)
                if (matriz_adj_[w][u] != 0)
                    if (marcado[u] == 0)
                        pilha.push(u);
        }
    }
}
```



Exercícios

- Exercício 2 da Lista de Exercícios “Busca em profundidade e em largura”.

Exercícios

- Exercício 3 da Lista de Exercícios “Busca em profundidade e em largura”.

Exercícios

- Exercício 4 da Lista de Exercícios “Busca em profundidade e em largura”.

Referências

- Esta apresentação é baseada nos seguintes materiais:
  - Capítulo 22 do livro
    Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., Stein, C. Introduction to Algorithms. 3rd. ed. MIT Press, 2009.
  - Capítulo 18 do livro
    Sedgewick, R. Algorithms in C++ – Part 5. Graph Algorithms. 3rd. ed. Addison-Wesley, 2002.