



INSTITUTO SUPERIOR DE TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO  
Licenciatura em Engenharia e Ciências de Computação

# Inteligência Artificial

Estratégias de busca sem informação

**Docente:** Erick Mahanjane

Maputo, 14 de Março de 2023

# Conteúdo da aula

1. Introdução
2. Estrutura de dados de algoritmos de busca
3. Estratégias de busca sem informação

# 1. Introdução

- Na aula 3, aprendemos a formular problemas, em que o passo seguinte é resolver, sendo que a solução representa a sequência de acções possíveis.
- As sequências de acções possíveis que começam a partir do estado inicial formam uma árvore de busca com o estado inicial na raiz, em que o ramos são as **acções**, e os **nós** correspondem aos estados no espaço de estados do problema.
- A essência da busca passa por seguir uma opção agora e deixar as outras reservada para mais tarde, no caso da primeira escolha não levar a uma solução.

## 2. Estrutura de dados de algoritmos de busca

- O processo de expansão de nós na borda continua até que uma solução seja encontrada ou não existam mais estados a expandir.
- Todos os algoritmos de busca partilham a estrutura infra apresentada, variando fundamentalmente, de acordo com a forma escolhida para o próximo estado a expandir (**estratégia de busca**)

**função** BUSCA-EM-ÁRVORE(*problema*) **retorna** uma solução ou falha  
inicializar a borda utilizando o estado inicial do *problema*  
**repita**  
**se** *borda vazia* **então retornar** falha

---

escolher um nó folha e o remover da borda  
**se** o nó contém um estado objetivo **então retornar** a solução correspondente  
expandir o nó escolhido, adicionando os nós resultantes à borda

## 2. Estrutura de dados de algoritmos de busca

- Os algoritmos de busca exigem uma estrutura de dados para manter o controlo da árvore de busca que se encontra em construção. Para cada nó  $n$  da árvore, existe a seguinte estrutura com quatro componentes.
  - $n$ .Estado: o estado no espaço de estado a que o nó corresponde;
  - $n$ .Pai: o nó na árvore de busca que gerou esse nó;
  - $n$ .Acção: a acção que foi aplicada ao pai para gerar o nó;
  - $n$ .Custo-do-Caminho: o custo, denotado por  $g(n)$ , do caminho do estado inicial até ao nó, indicado pelos ponteiros para os pais.

## 2. Estrutura de dados de algoritmos de busca

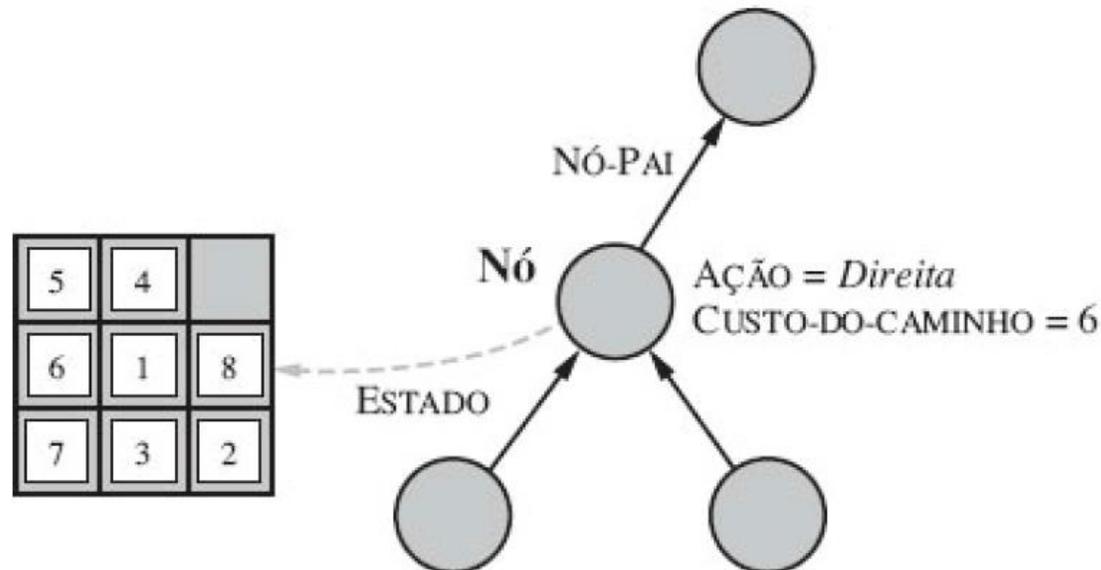
**função** NÓ-FILHO(*problema*, *pai*, *ação*) **retorna** um nó

**retorna** um nó com

ESTADO = *problema*.RESULTADO(*pai*.ESTADO, *ação*),

PAI = *pai*, AÇÃO = *ação*,

CUSTO-DE-CAMINHO = *pai*.CUSTO-DE-CAMINHO + *problema*.CUSTO-DO-PASSO(*pai*.ESTADO, *ação*)



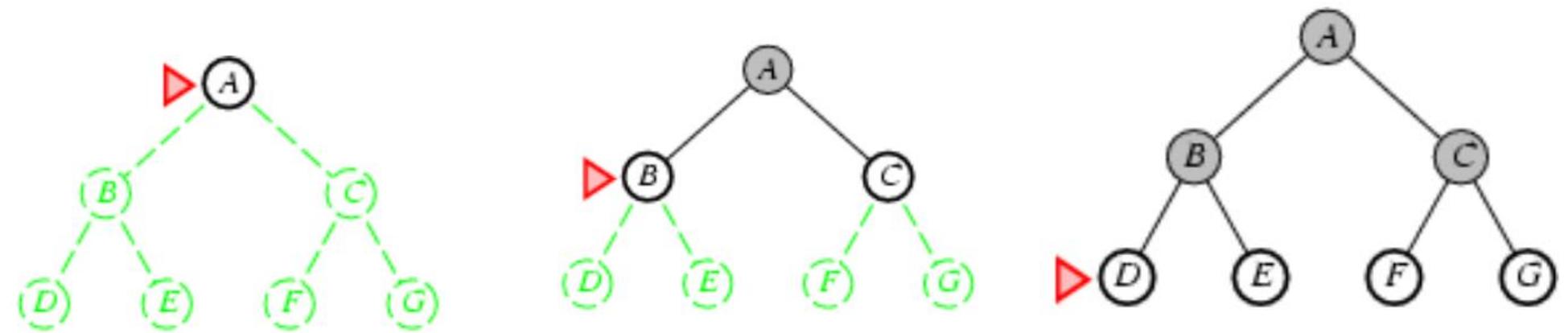
### 3. Estratégias de busca sem informação

- Nessa fase, trataremos o contexto sobre buscas cegas, em que são caracterizadas por não possuir nenhuma informação adicional sobre estados, além daquelas fornecidas na definição do problema.
- A acção dessas é gerar sucessores e distinguir um estado objectivo de um estado não objectivo. Em que todas as estratégias de busca se distinguem pela ordem em que os nós são expandidos.
- As estratégias que sabem se um estado não objectivo é mais promissor para obter a solução, em estado de comparações, são chamadas de busca informada ou heurística.

# 3. Estratégias de busca sem informação

## 1. Busca em largura ou extensão (BFS)

- **Regra:** Expandir o nó não expandido mais perto da raiz. A borda é uma fila FIFO (*first-in, first-out*), em que novos itens entram no final.



### 3. Estratégias de busca sem informação

- **Completa:** sim, se  $b$  é finito;
- **Tempo:**  $O(b^{d+1})$
- **Espaço:**  $O(b^{d+1})$
- **Óptima:** Sim, se todas as acções tiverem o mesmo custo.

# 3. Estratégias de busca sem informação

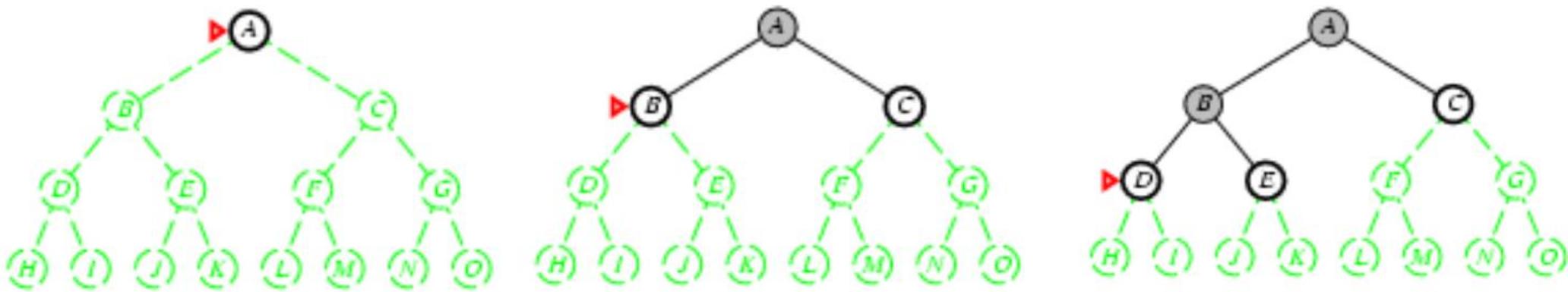
## 2. Busca de custo uniforme

- **Regra:** Expande o nó não expandido que tenha o caminho de custo mais baixo. Em para a borda a fila é ordenada pelo custo do caminho.
- Equivale a busca em extensão ou largura se os custos são todos os iguais.
- **Completa:** sim.
- **Tempo:** número de nós, com o custo da solução óptima.
- **Espaço:** número de nós com o custo da solução óptima.
- **Óptima:** Sim, pois os nós são expandidos em ordem crescente de custo total.

# 3. Estratégias de busca sem informação

## 3. Busca em profundidade

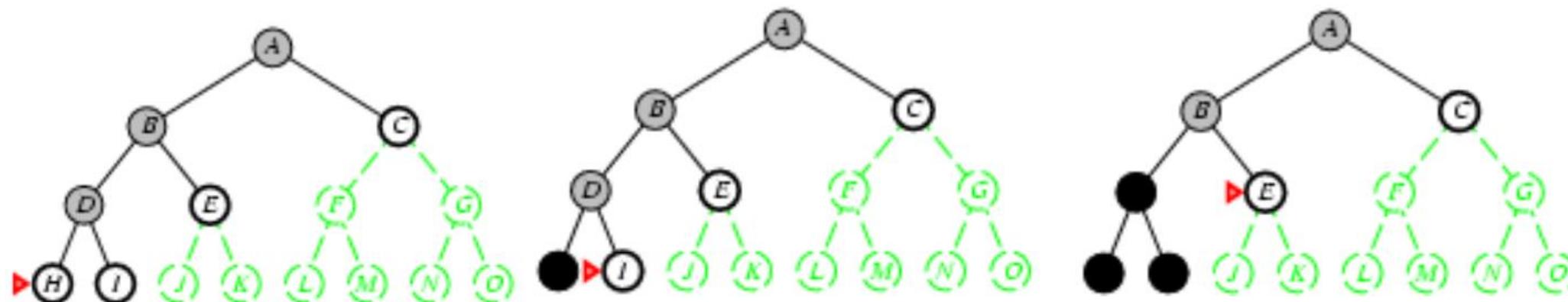
- **Regras:** Expande o nó não expandido mais profundo. Em que a borda= Fila LIFO (*last-in, first-out*) = pilha



# 3. Estratégias de busca sem informação

## 3. Busca em profundidade

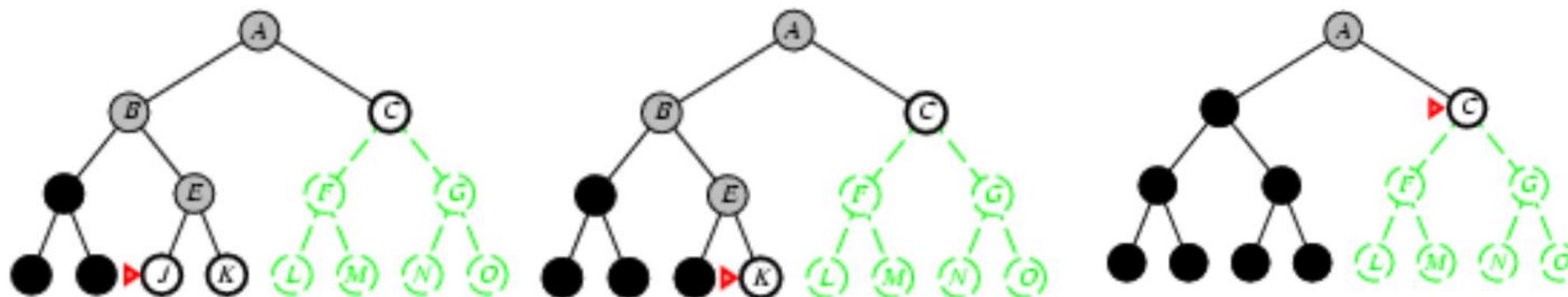
- **Regras:** Expande o nó não expandido mais profundo. Em que a borda= Fila LIFO (*last-in, first-out*) = pilha



# 3. Estratégias de busca sem informação

## 3. Busca em profundidade

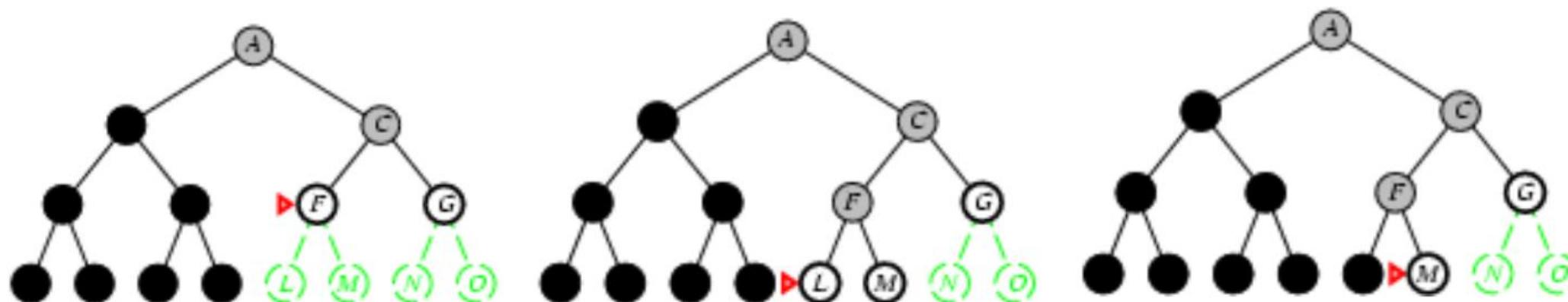
- **Regras:** Expande o nó não expandido mais profundo. Em que a borda= Fila LIFO (*last-in, first-out*) = pilha



# 3. Estratégias de busca sem informação

## 3. Busca em profundidade

- **Regras:** Expande o nó não expandido mais profundo. Em que a borda= Fila LIFO (*last-in, first-out*) = pilha



### 3. Estratégias de busca sem informação

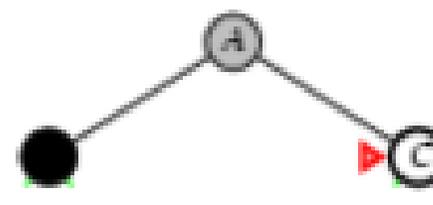
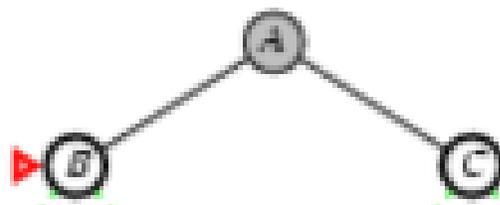
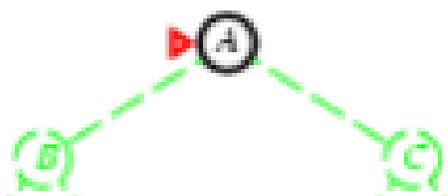
- **Completa:** Não, falha em espaços com profundidade infinita, espaços com *loops*, contudo se modificada para evitar estados repetidos, pode ser completa para espaços finitos.
- **Tempo:**  $O(bm)$ : péssimo quando  $m$  é muito maior que  $d$ , mas se há muitas soluções pode ser mais eficiente que a busca em extensão;
- **Espaço:**  $O(bm)$ , i.e., espaço linear.
- **Óptima:** Não

### 3. Estratégias de busca sem informação

#### 4. Busca em profundidade limitada

- **Regras:** Expande o nó não expandido mais profundo com limite de profundidade “l”, isto é, nós com profundidade “l” não tem sucessores. Em que a borda= Fila LIFO (*last-in, first-out*) = pilha

Se a profundidade a ser considerada é  $l=1$ , então:



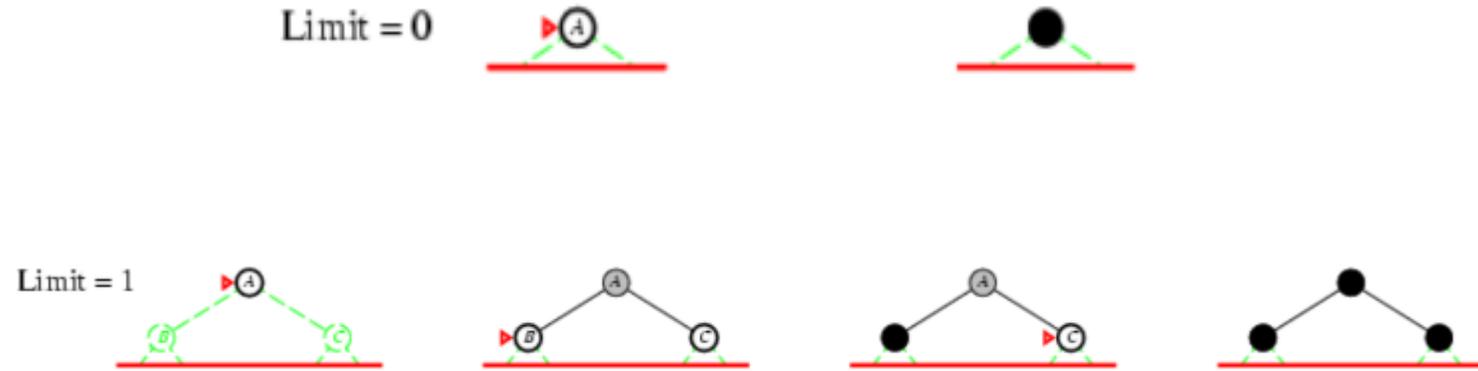
### 3. Estratégias de busca sem informação

- **Completa:** Não, a solução pode estar além do limite;
- **Tempo:**  $O(b^l)$ ;
- **Espaço:**  $O(bl)$ ;
- **Óptima:** Não.

# 3. Estratégias de busca sem informação

## 5. Busca de aprofundamento iterativo em profundidade

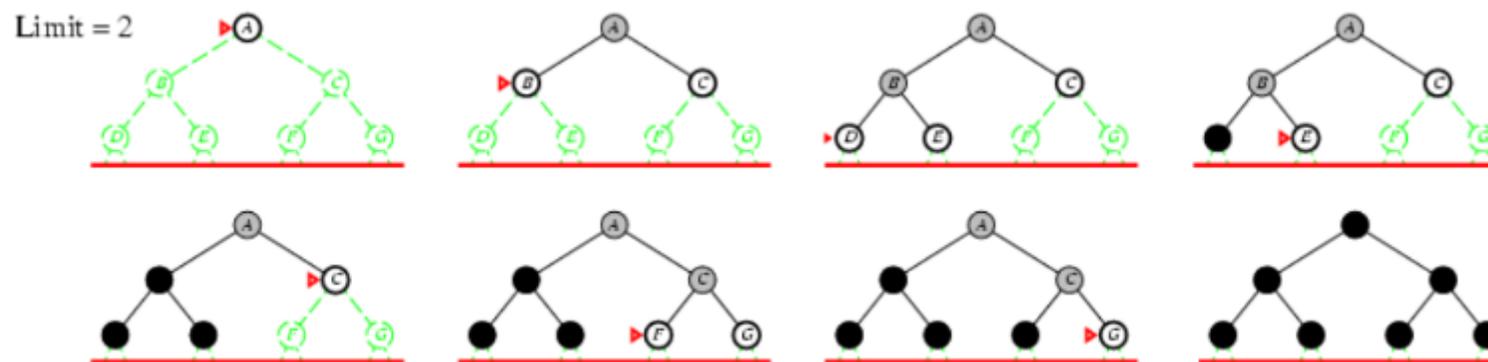
**Regras:** Expande o nó não expandido mais profundo com limite de profundidade "l", e aumenta o limite até encontrar a solução.



# 3. Estratégias de busca sem informação

## 5. Busca de aprofundamento iterativo em profundidade

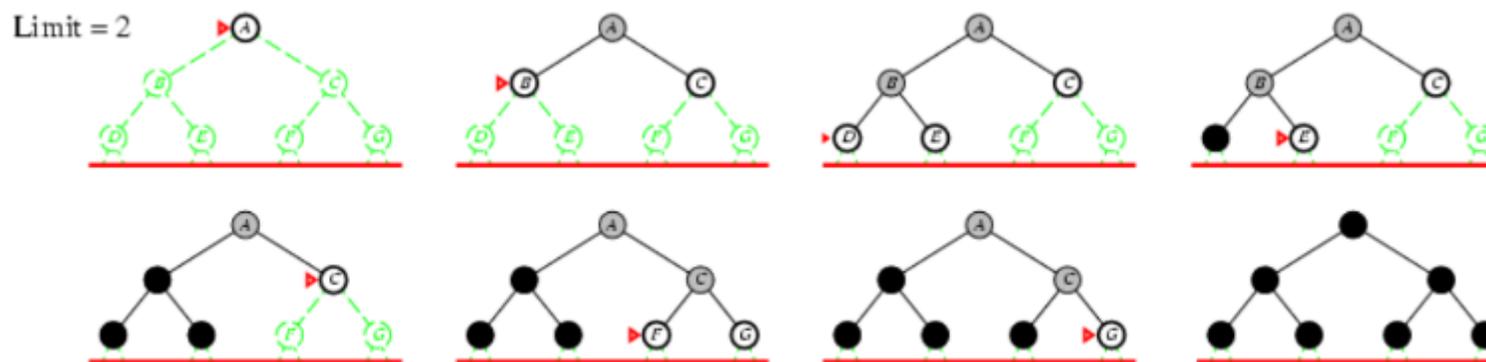
**Regras:** Expande o nó não expandido mais profundo com limite de profundidade “l”, e aumenta o limite até encontrar a solução.



# 3. Estratégias de busca sem informação

## 5. Busca de aprofundamento iterativo em profundidade

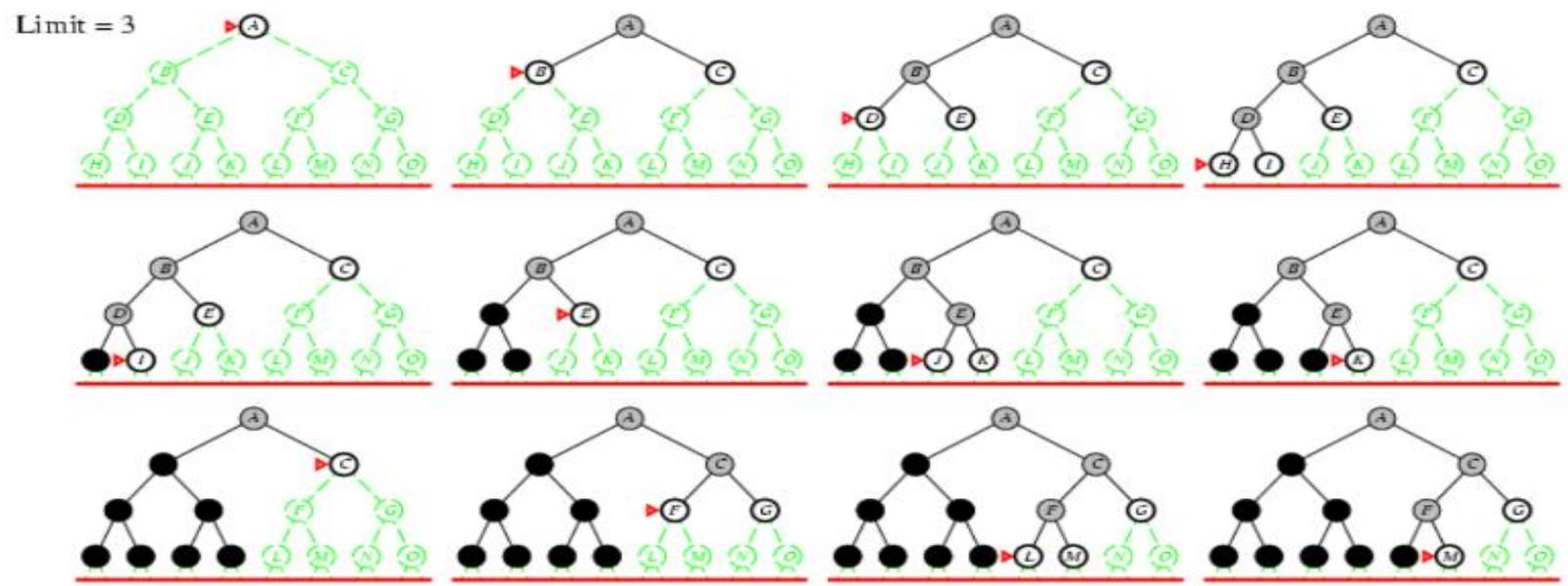
**Regras:** Expande o nó não expandido mais profundo com limite de profundidade “l”, e aumenta o limite até encontrar a solução.



# 3. Estratégias de busca sem informação

## 5. Busca de aprofundamento iterativo em profundidade

**Regras:** Expande o nó não expandido mais profundo com limite de profundidade "l", e aumenta o limite até encontrar a solução.



### 3. Estratégias de busca sem informação

- **Completa:** Sim;
- **Tempo:**  $O(b^d)$ ;
- **Espaço:**  $O(bd)$ ;
- **Óptima:** Sim, se custo de passo = 1.

### 3. Estratégias de busca sem informação

- Resumo das propriedades das estratégias

Critério	Em largura	Custo uniforme	Em profundidade	Em profundidade limitada	Aprofundamento Iterativo
Completa?	Sim <sup>a</sup>	Sim <sup>a,b</sup>	Não	Não	Sim <sup>a</sup>
Tempo	$O(b^d)$	$O(b^{1+\lceil \sigma^*/\epsilon \rceil})$	$O(b^m)$	$O(b^l)$	$O(b^d)$
Espaço	$O(b^d)$	$O(b^{1+\lceil \sigma^*/\epsilon \rceil})$	$O(b^m)$	$O(b^l)$	$O(b^d)$
Ótima?	Sim <sup>c</sup>	Sim	Não	Não	Sim <sup>c</sup>

# Bibliografias

1. Costa, Ernesto, Anabela, Simões (2004). “Inteligência Artificial. Fundamentos e Aplicações”. FCA
2. Luger, George F. (2014). “Inteligência Artificial”. 6.ª edição. Pearson
3. Russell, Stuart, Peter Norvig (2003). “Artificial Intelligence. A Modern Approach”. 2nd Edition, Prentice- Hall, Inc.

DÚVIDAS E/OU QUESTÕES

