



Resolução de Problemas de Busca

Ao final desta aula a gente deve...

- Compreender o que é um problema de busca em IA
- Ser capaz de formulá-lo
- Conhecer algumas aplicações
- Entender como buscar a solução do problema
 - Busca cega
 - Busca heurística

Um problema de busca em IA pode ser definido em termos de... Algumas definições básicas (1/2)

- Um **espaço de estados** possíveis, incluindo:
 - um estado inicial
 - Em (Recife)
 - Estar (pobre)
 - um ou mais estados finais => **objetivo**
 - Em (João Pessoa)
 - Estar (rico)
 - Espaço de Estados:
 - conjunto de todos os estados alcançáveis a partir do estado inicial por qualquer seqüência de ações.
 - pode ser representado como uma **árvore** onde os estados são nós e as operações são arcos.
 - Ex., dirigir de Recife a João Pessoa
 - **Espaço de estados:** todas as cidades da região

Um problema de busca em IA pode ser definido em termos de... Algumas definições básicas(2/2)

- Um conjunto de **ações** (ou **operadores**) que permitem passar de um estado a outro
 - Ex., dirigir de Recife a João Pessoa
 - **Ações:** dirigir de uma cidade a outra na região
 - E.g. Dirigir (Recife, Abreu e Lima)
 - Ficar rico
 - Jogar(megasena).

Um problema de busca em IA pode ser definido em termos de...

- Um estado inicial
- Um conjunto de ações (ou operadores)
 - que permitem passar de um estado a outro
 - os estados podem não “estar lá” concretamente.
 - No caso do problema de dirigir... as cidades estão lá
 - No caso de ficar rico... não necessariamente.
- Um teste de término
 - Verifica se um dado estado é o **objetivo**
 - Objetivo => um ou mais estados finais
 - propriedade abstrata (em intenção)
 - ex., condição de xeque-mate no Xadrez
 - conjunto de estados finais do problema (em extensão)
 - ex., estar em João Pessoa

Um problema de busca em IA pode ser definido em termos de...

- Custo de caminho
 - Função que associa um custo a cada caminho possível
 - Um caminho é uma sequência de estados conectados por ações possíveis.
 - Cada **ação** tem um **custo associado**
 - O custo de dirigir de Recife a Abreu e Lima, por exemplo, poderia ser a distância entre as duas cidades.

Algumas definições

- Solução

- caminho (seqüência de ações) que leva do estado inicial a um estado final (objetivo).
- Cuidado! A solução **não** é o estado final!

Solucionando o problema: formulação, busca e execução

- **Formulação do problema e do objetivo (manual)**
 - quais são os estados e as ações a considerar?
 - qual é (e como representar) o objetivo?
 - Em extensão ou intensão?
- **Busca (processo automático)**
 - processo que gera/analisa seqüências de ações para alcançar um objetivo
 - **solução** = caminho entre estado inicial e estado final.

Custo da Busca

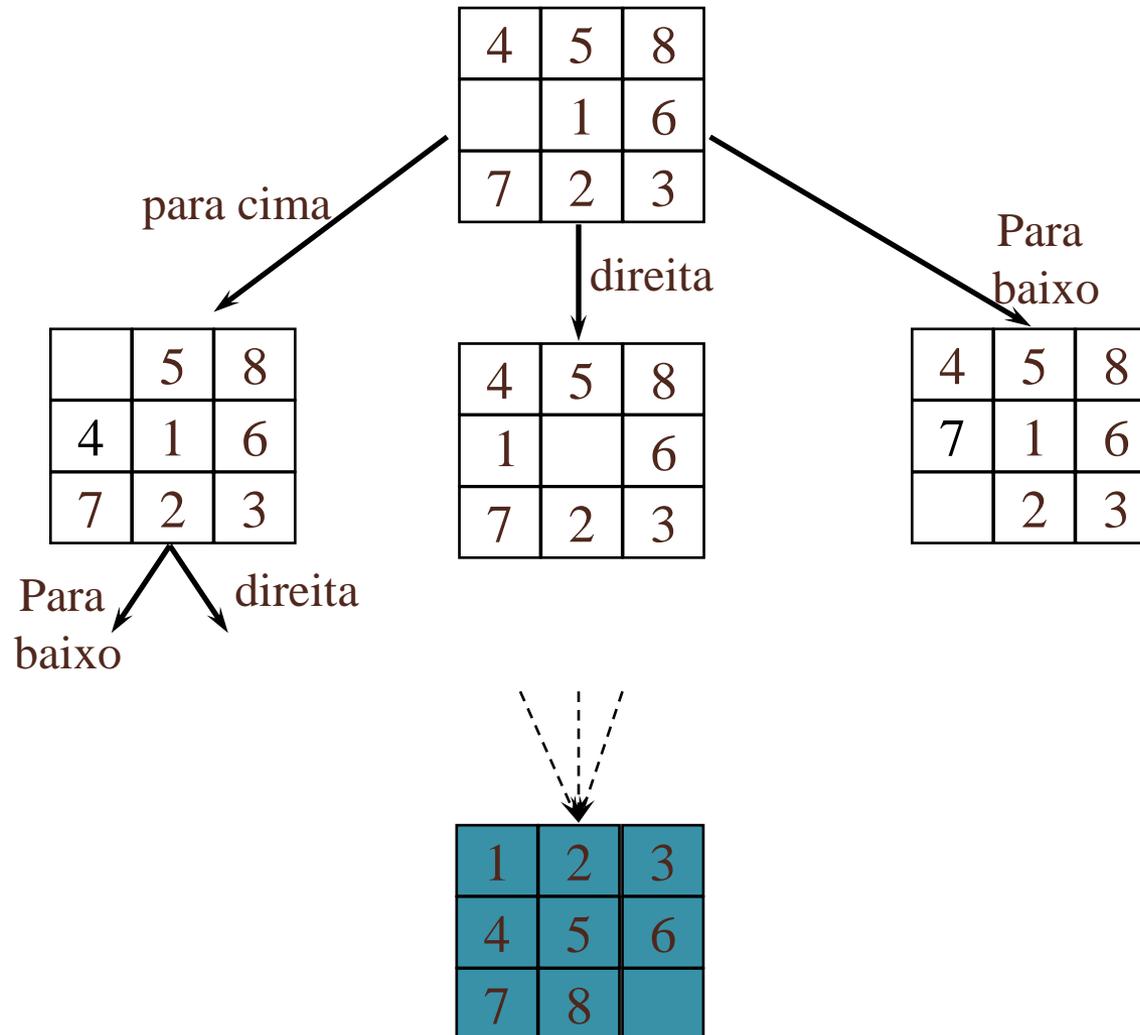
- Custo total da busca =
 - custo de busca (tempo e memória, i.e. custo computacional) -> **busca da solução**
 - + custo do caminho -> **execução da solução**
- Espaço de estados grande
 - compromisso (conflito) entre determinar
 - a **melhor solução** em termos de custo do caminho (é uma boa solução?) e
 - a **melhor solução** em termos de custo computacional (é computacionalmente barata?)

Exemplos de Formulação de problema

Jogo de 8 números

- Espaço de estados = todas as possíveis configurações do tabuleiro
- Estado inicial = qualquer um dos estados possíveis
- Teste de término = tabuleiro ordenado, com branco na posição [3,3]
- Ações/operadores = mover peças numéricas para espaços livres (em branco) (esquerda, direita, para cima e para baixo)
- Custo do caminho = número de passos da solução
- Custo de busca = depende do computador e da estratégia de busca utilizada
 - Próximas aulas

Árvore de busca para o Jogo dos 8 números



Exemplos de formulação de problema

- Dirigir de Recife (PE) a Juazeiro do Norte (CE)
 - Espaço de estados = todas as cidades do mapa alcançáveis a partir do estado inicial
 - Estado inicial = estar em Recife
 - Teste de término (já atingimos o objetivo?) = estar em Juazeiro do Norte
 - Ações/operadores = dirigir de uma cidade para outra (se houver estrada entre elas!)
 - **Função Custo do caminho** = número de cidades visitadas, distância percorrida, tempo de viagem, grau de divertimento, etc



Custo do caminho diferente => Solução diferente

- Função de *custo de caminho*

(1) distância entre as cidades

(2) tempo de viagem, etc.

- Solução mais barata:

(1) Camaragibe, Carpina, Patos, Milagres,...

(2) Moreno, Vitória de S. Antão, Caruaru, Salgueiro,...

apesar de mais longa, pega estradas melhores e evita as cidades.

Recife - Juazeiro do Norte

de Recife - PE a Juazeiro do Norte - CE - Google Maps - Microsoft Internet Explorer pr...
http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&tab=w1
File Edit View Favorites Tools Help
de Recife - PE a Juazeiro do Norte - CE - Go...
Web **Imagens** **Mapas** Notícias Orkut Gmail mais ▾ Login | Ajuda

Google
Maps Brasil
Pesquisar no Mapa
Localize empresas, endereços e locais de seu interesse. Saiba mais.

Como chegar Meus mapas Imprimir Enviar Link

A Recife
B Juazeiro do Norte
[Adicionar destino](#) - [Mostrar opções](#)
De carro Como chegar

Rota de carro para Juazeiro do Norte - CE
622 km - aprox. 8 horas 23 minutos

A Recife - PE

1. Siga na direção sudeste na R. Jorn. Mário Melo em direção à R. São Geraldo 0,3 km
2. Vire à direita na R. da Fundação 0,1 km
3. Vire à direita na R. João Lira 0,3 km

Mapa Satélite Terreno
©2009 MapLink, TeleAtlas, Europa Technologies - [Termos de Uso](#)

Done Internet 100%
Start de Recife - PE... aulas Microsoft Power... PT 15:52

Recife – Juazeiro do Norte

de Recife - PE a Juazeiro do Norte - CE - Google Maps - Microsoft Internet Explorer pr...

http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&tab=wl

File Edit View Favorites Tools Help

de Recife - PE a Juazeiro do Norte - CE - Go...

Web **Imagens** Mapas Notícias Orkut Gmail mais

Login | Ajuda

Google
Maps Brasil

Localize empresas, endereços e locais de seu interesse. [Saiba mais.](#)

Pesquisar no Mapa

Como chegar [Meus mapas](#)

Imprimir Enviar Link

A Recife

B Juazeiro do Norte

[Adicionar destino - Mostrar opções](#)

A pé Como chegar

Também disponível: [De carro](#)

Versão beta da rota a pé.
Seja cuidadoso – Esta rota pode não ter calçadas ou caminhos de pedestres.

Rota a pé para Juazeiro do Norte - CE
606 km – aprox. 5 dias 4 horas

A Recife - PE

Mapa Satélite Terreno

Arraste para dar zoom

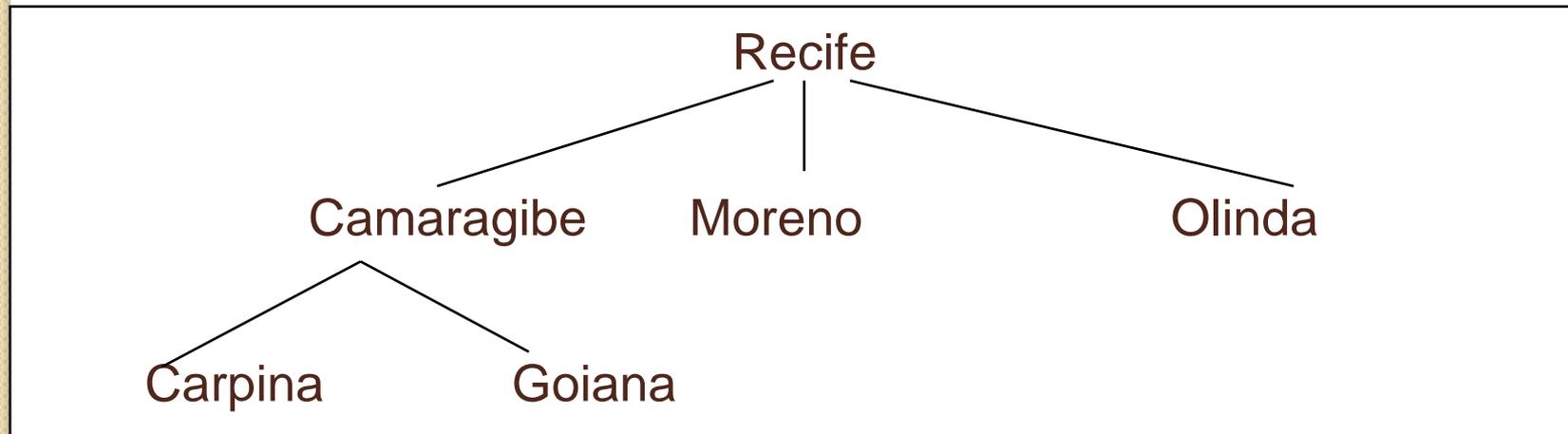
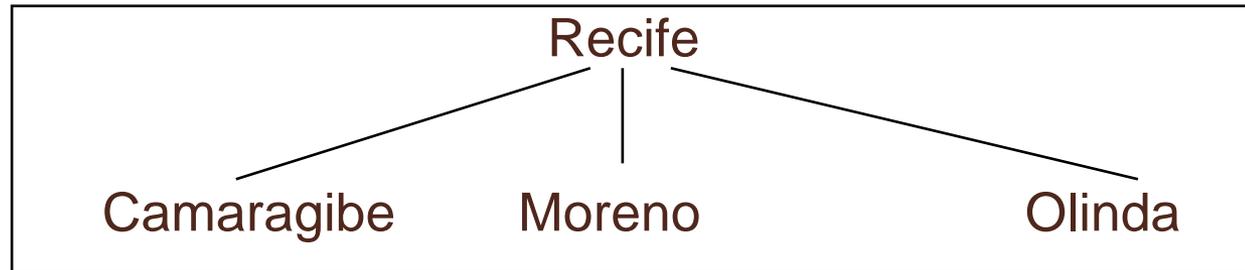
© 2009 Link Tele Atlas, Europa Technologies - [Termos de Uso](#)

Start de Recife - PE... aulas Microsoft Power ... PT 15:55

Exemplo: viajar de Recife a Juazeiro

Estado inicial =>

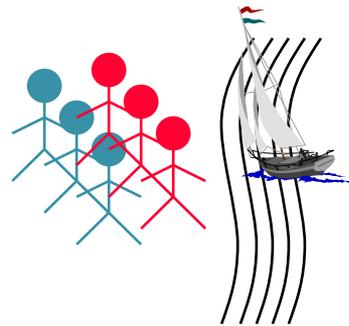
Recife



Aplicações de Busca: “Toy Problems”

- Jogo das 8 rainhas
- Jogo dos n números (*n-puzzle*)
- Criptoaritmética
- Palavras cruzadas
- Canibais e missionários

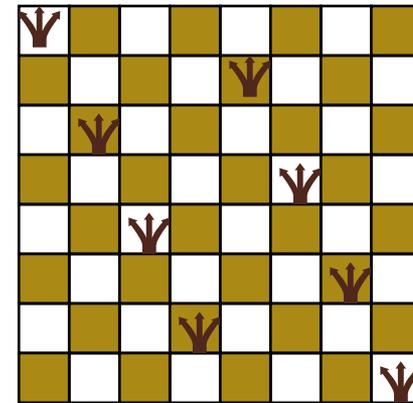
$$\begin{array}{r} \text{send} \\ + \text{more} \\ \hline \text{money} \end{array}$$



Importância da formulação

Ex.: Jogo das 8 Rainhas

- **Objetivo:** dispor 8 rainhas no tabuleiro sem possibilitar “ataques”
 - i.e., não pode haver mais de uma rainha em uma mesma linha, coluna ou diagonal



- Existem diferentes estados e operadores possíveis
 - essa escolha pode ter conseqüências boas ou nefastas na complexidade da busca ou no tamanho do espaço de estados

Formulações para 8 Rainhas

- **Formulação A**

- estados: qualquer disposição com n ($n \leq 8$) rainhas
- operadores: adicionar uma rainha a qualquer quadrado
- $64 \times 63 \times \dots \times 57 = 3 \times 10^{14}$ possibilidades: vai até o fim para testar se dá certo

- **Formulação B**

- estados: disposição com n ($n \leq 8$) rainhas sem ataque mútuo (teste gradual)
- operadores: adicionar uma rainha na coluna vazia mais à direita em que não possa ser atacada
- melhor (2057 possibilidades), mas pode não haver ação possível

- **Formulação C**

- estados: disposição com 8 rainhas, uma em cada coluna
- operadores: mover uma rainha atacada para outra casa na mesma coluna

Aplicações de Busca: Problemas Reais

- Cálculo de rotas
 - rotas em redes de computadores
 - sistemas de planejamento de viagens
 - planejamento de rotas de aviões
 - caixeiro viajante
- Alocação (Scheduling)
 - Salas de aula
 - Máquinas industriais (job shop)
- Projeto de VLSI
 - Cell layout
 - Channel routing

Aplicações de Busca: Problemas Reais

- Navegação de robôs:
 - generalização do problema da navegação
 - robôs movem-se em espaços contínuos, com um conjunto (infinito) de possíveis ações e estados
 - controlar os movimentos do robô no chão, e de seus braços e pernas requer espaço multi-dimensional
- Montagem de objetos complexos por robôs:
 - ordenar a montagem das diversas partes do objeto
- etc...



Problemas de Busca

Formulação, Busca e Execução
Algoritmo de Busca

Solucionando o problema: formulação, busca e execução

- **Formulação do problema e do objetivo** (manual)
 - quais são os estados e as ações a considerar?
 - qual é (e como representar) o objetivo?
- **Busca** (processo automático)
 - processo que gera/analisa seqüências de ações para alcançar um objetivo
 - **solução** = caminho entre estado inicial e estado final.
- **Execução** (manual ou automática)

Busca em Espaço de Estados

- Depois de formular adequadamente o problema, a solução deve ser “buscada” automaticamente
 - **Solução**: caminho (seqüência de ações) que leva do estado inicial a um estado final (objetivo).
- Deve-se usar um **método de busca** para determinar a (melhor) solução para o problema
- Uma vez a busca terminada com sucesso, é só **executar** a solução
 - De forma manual ou automática (ex., um robô)

Busca em Espaço de Estados

Algoritmo de Geração e Teste

- **Fronteira** do espaço de estados
 - Lista contendo os nós (estados) a serem expandidos
 - Inicialmente, a **fronteira** contém apenas o **estado inicial** do problema
- **Algoritmo:**
 1. **Selecionar** o primeiro nó (estado) da **fronteira** do espaço de estados;
 - se a fronteira está vazia, o algoritmo termina com **falha**.
 2. **Testar** se o nó selecionado é um estado final (objetivo):
 - se “sim”, então retornar nó - a busca termina com **sucesso**.
 3. **Gerar** um novo conjunto de estados aplicando ações ao estado selecionado;
 4. **Inserir** os nós gerados na **fronteira**, de acordo com a estratégia de busca usada, e voltar para o passo (1).

Busca em Espaço de Estados

Implementação do Algoritmo

- Os nós da fronteira devem guardar mais informação do que apenas o estado:

→ Na verdade nós são uma **estrutura de dados** com 5 componentes:

1. o estado (configuração) correspondente ao nó atual
2. o seu nó pai – **ou o caminho inteiro para não precisar de operações extras**
3. a ação aplicada ao pai para gerar o nó – **verifica de onde veio para evitar loops**
4. o custo do nó desde a raiz ($g(n)$)
5. a profundidade do nó – **se guardar o caminho não precisa**

Busca em Espaço de Estados

Implementação do Algoritmo

Função-Insere: controla a ordem de inserção de nós na fronteira do espaço de estados.

função **Busca-Genérica** (*problema formulado*, Função-Insere)
retorna **uma solução** ou **falha**

fronteira ← Estado-Inicial (*problema*)

loop do

se *fronteira* está vazia então retorna **falha**

nó ← Remove-Primeiro (*fronteira*)

se Teste-Término (*problema*, *nó*) tiver sucesso

então **retorna nó**

fronteira ← Função-Insere (*fronteira*, Ações (*nó*))

end

Métodos de Busca

- Busca exaustiva (cega)
 - Não sabe qual o melhor nó da fronteira a ser expandido
 - i.e., menor custo de caminho desse nó até um nó final (objetivo).
 - **Estratégias de Busca** (ordem de expansão dos nós):
 - caminhamento em largura
 - caminhamento em profundidade
- Busca heurística (informada)
 - Estima qual o melhor nó da fronteira a ser expandido com base em funções heurísticas => conhecimento
 - **Estratégia de busca:** *best-first search* (melhor

Critérios de Avaliação das Estratégias de Busca

- Completude:
 - a estratégia sempre encontra uma solução quando existe alguma?
- Qualidade (“otimalidade” - *optimality*):
 - a estratégia encontra a melhor solução quando existem diferentes soluções?
 - i.e., solução de menor custo de caminho
- Custo do tempo:
 - quanto tempo gasta para encontrar a 1ª solução?
- Custo de memória:
 - quanta memória é necessária para realizar a busca?

Próxima aula

- Busca Cega e Busca Heurística
- Lembre de imprimir os slides da próxima aula antes dela!
- Just in case... 😊
 - Visite <http://cin.ufpe.br/~if684>