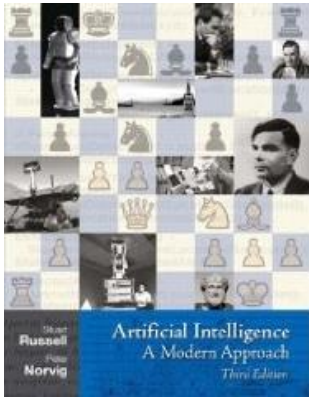
Tópicos Especiais: Inteligência Artificial

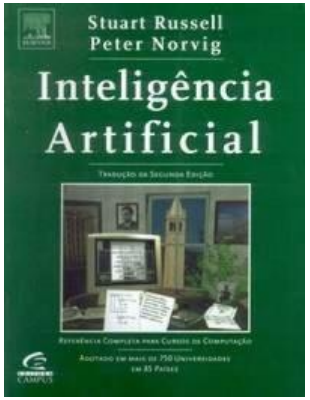
BUSCA COM INFORMAÇÃO E EXPLORAÇÃO

Material baseado e adaptado do Cap. 4 do Livro Inteligência Artificial de Russell & Norvig

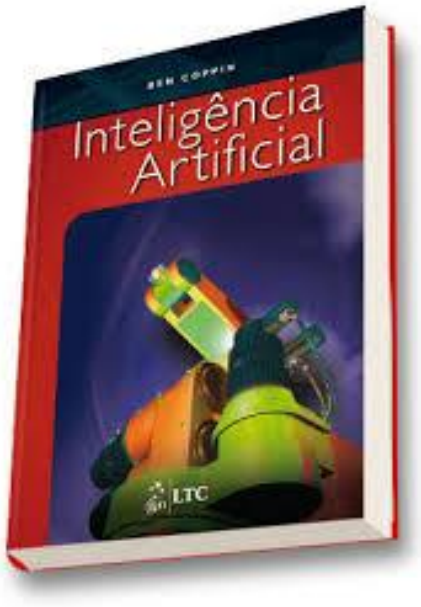
Bibliografia

- Inteligência Artificial
  - Russell & Norvig
  - Site: http://aima.cs.berkeley.edu





- Inteligência Artificial, Ben Coppin.



Inteligência Artificial

Busca com informação e exploração
Parte 1

Capítulo 4 – Russell & Norvig

Seção 4.1

Busca com informação (ou heurística)

- Utiliza conhecimento específico sobre o problema para encontrar soluções de forma mais eficiente do que a busca cega.
  - Conhecimento específico além da definição do problema.
- Abordagem geral: **busca pela melhor escolha**.
  - Utiliza uma função de avaliação para cada nó.
  - Expande o nó que tem a função de avaliação mais baixa.
  - Dependendo da função de avaliação, a estratégia de busca muda.

Busca pela melhor escolha

- Ideia: usar uma **função de avaliação *f(n)*** para cada nó.
  - estimativa do quanto aquele nó é desejável
  - → Expandir nó mais desejável que ainda não foi expandido

- Implementação:

  Ordenar nós na borda em ordem decrescente de acordo com a função de avaliação

- Casos especiais:
  - Busca gulosa pela melhor escolha
  - Busca A*

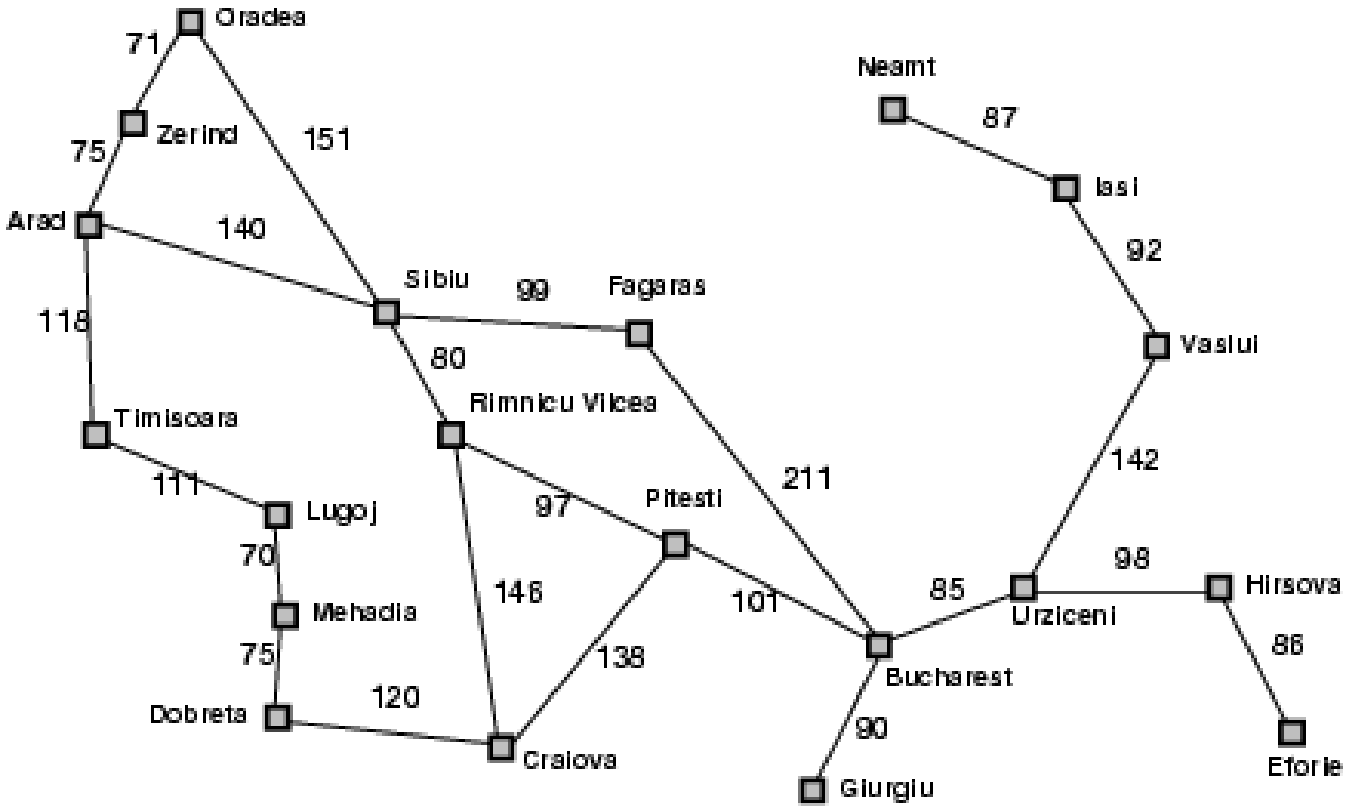
Busca gulosa pela melhor escolha

- Função de avaliação $f(n) = h(n)$ (heurística)

  = estimativa do custo de n até o objetivo

  ex., $h_{DLR}(n)$ = distância em linha reta de n até Bucareste.
- Busca gulosa pela melhor escolha expande o nó que parece mais próximo ao objetivo de acordo com a função heurística.

Romênia com custos em km

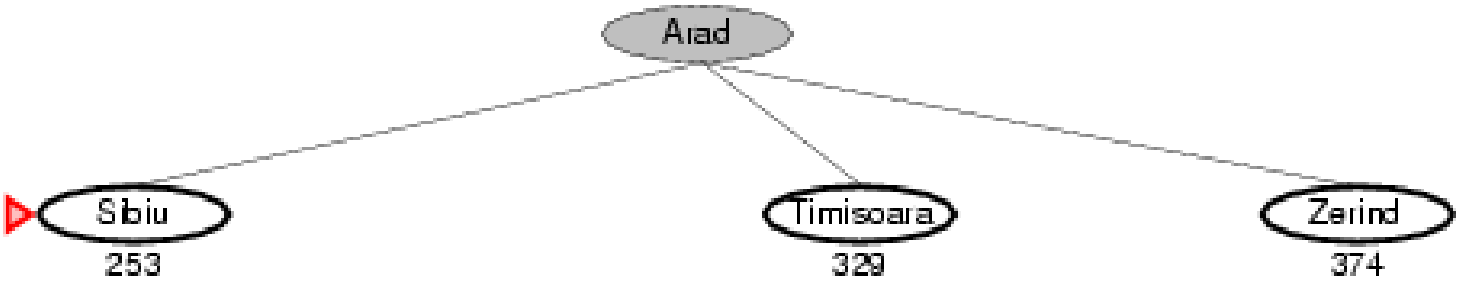


Distância em linha reta para Bucareste

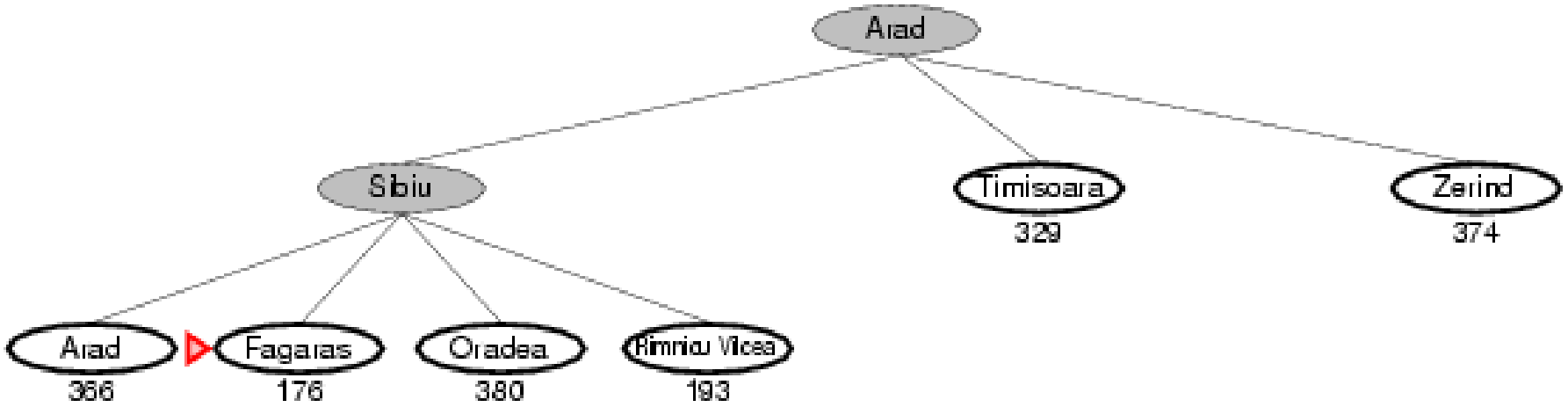
Arad	366
Bucharest	0
Craiova	160
Dobreta	242
Eforie	161
Fagaras	176
Giurgiu	77
Hirsova	151
Iasi	226
Lugoj	244
Mehadia	241
Neamt	234
Oradea	380
Pitesti	10
Rimnicu Vilcea	193
Sibiu	253
Timisoara	329
Urziceni	80
Vaslui	199
Zerind	374

Exemplo de busca gulosa pela melhor escolha

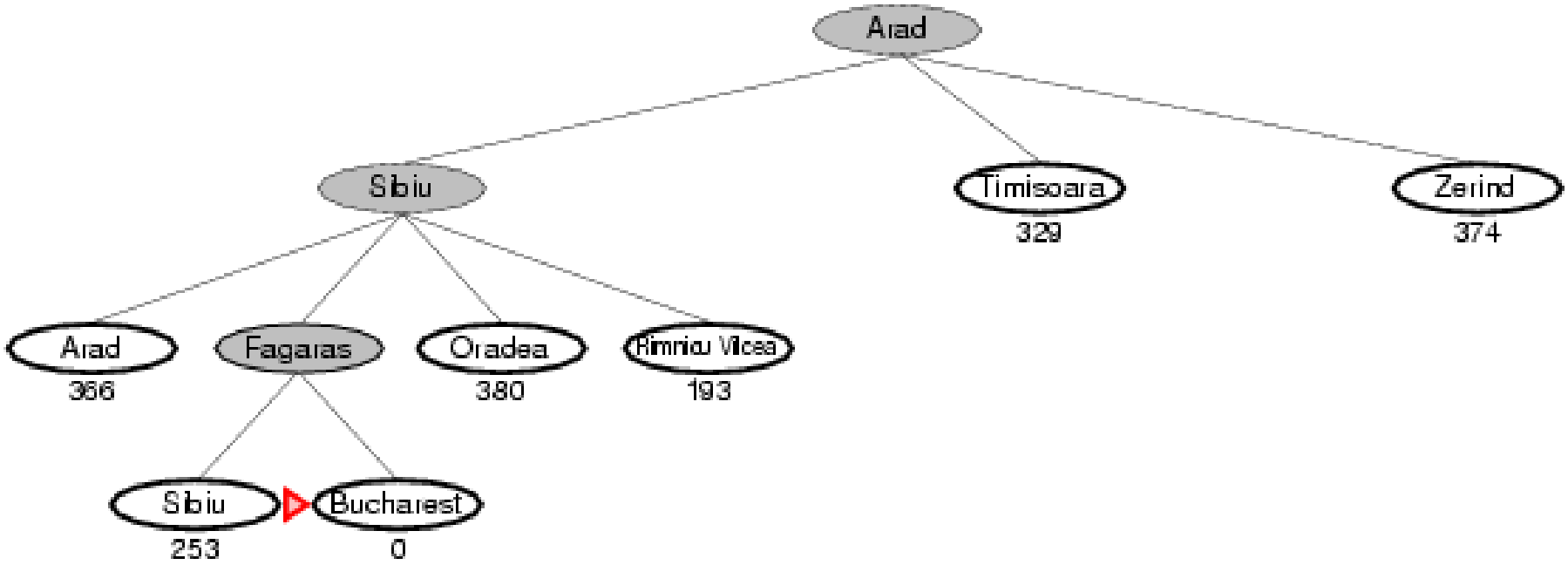
Exemplo de busca gulosa pela melhor escolha



Exemplo de busca gulosa pela melhor escolha



Exemplo de busca gulosa pela melhor escolha



Busca gulosa pela melhor escolha

- Não é ótima, pois segue o melhor passo **considerando somente o estado atual.**
  - Pode haver um caminho melhor seguindo algumas opções piores em alguns pontos da árvore de busca.
- Minimizar h(n) é suscetível a falsos inícios.
  - Ex. Ir de Iasi a Fagaras
    - Heurística sugerirá ir a Neamt, que é um beco sem saída.
    - Se repetições não forem detectadas a busca entrará em loop.

Propriedades da busca gulosa pela melhor escolha

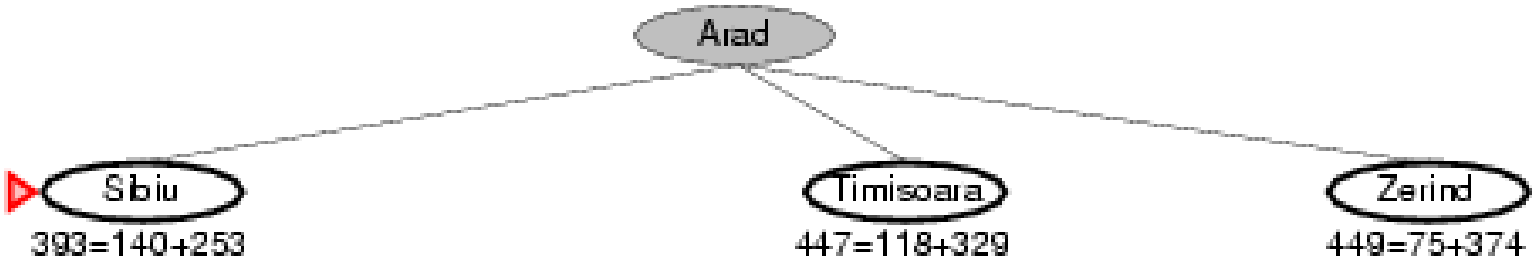
- Completa? Não – pode ficar presa em loops, ex., Iasi → Neamt → Iasi → Neamt
- Tempo? $O(b^m)$ no pior caso, mas uma boa função heurística pode levar a uma redução substancial
- Espaço? $O(b^m)$ – mantém todos os nós na memória
- Ótima? Não

Busca A*

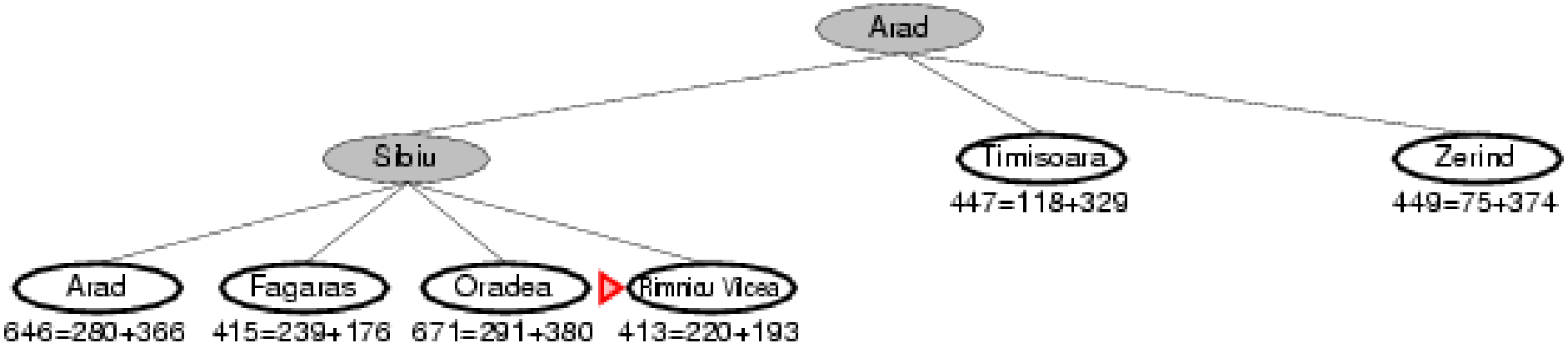
- Idéia: evitar expandir caminhos que já são caros
- Função de avaliação $f(n) = g(n) + h(n)$
  - $g(n)$ = custo até o momento para alcançar n
  - $h(n)$ = custo estimado de n até o objetivo
  - $f(n)$ = custo total estimado do caminho através de n até o objetivo.

Exemplo de busca A*

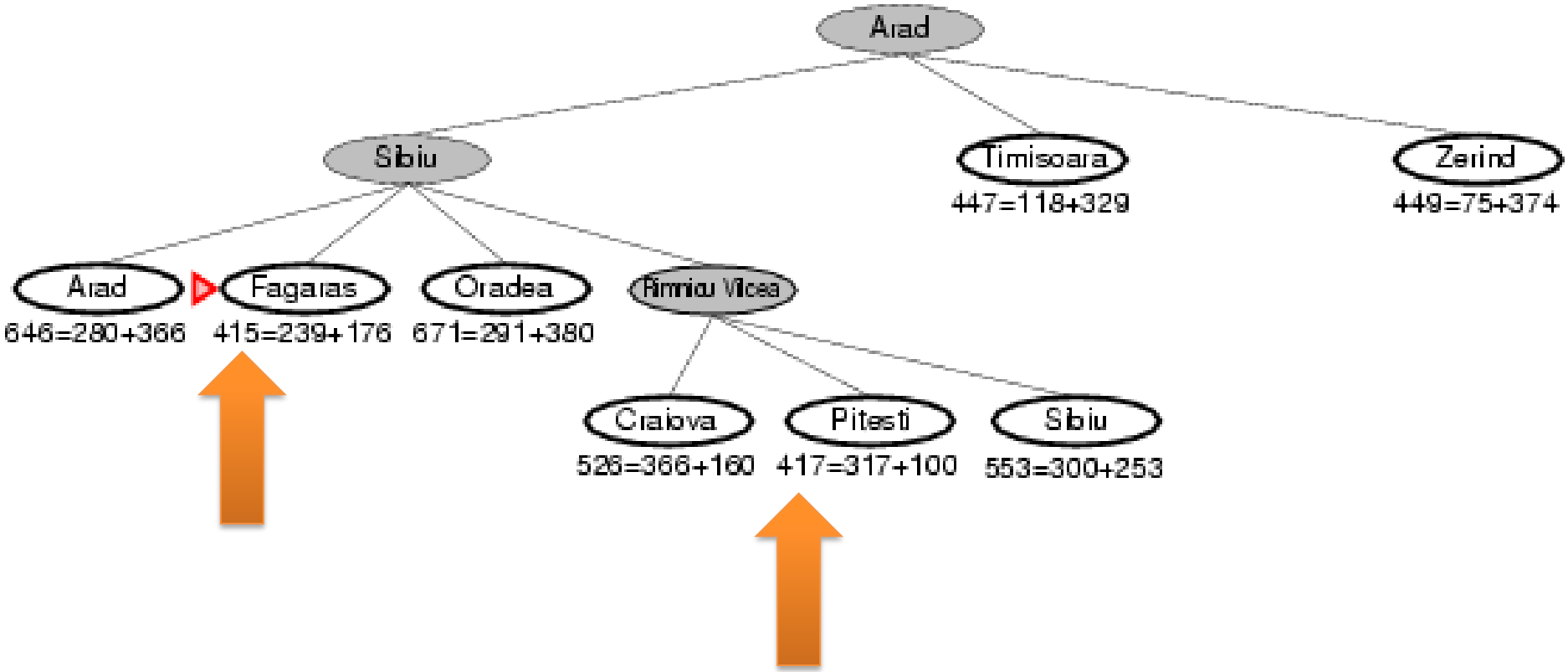
Exemplo de busca A*



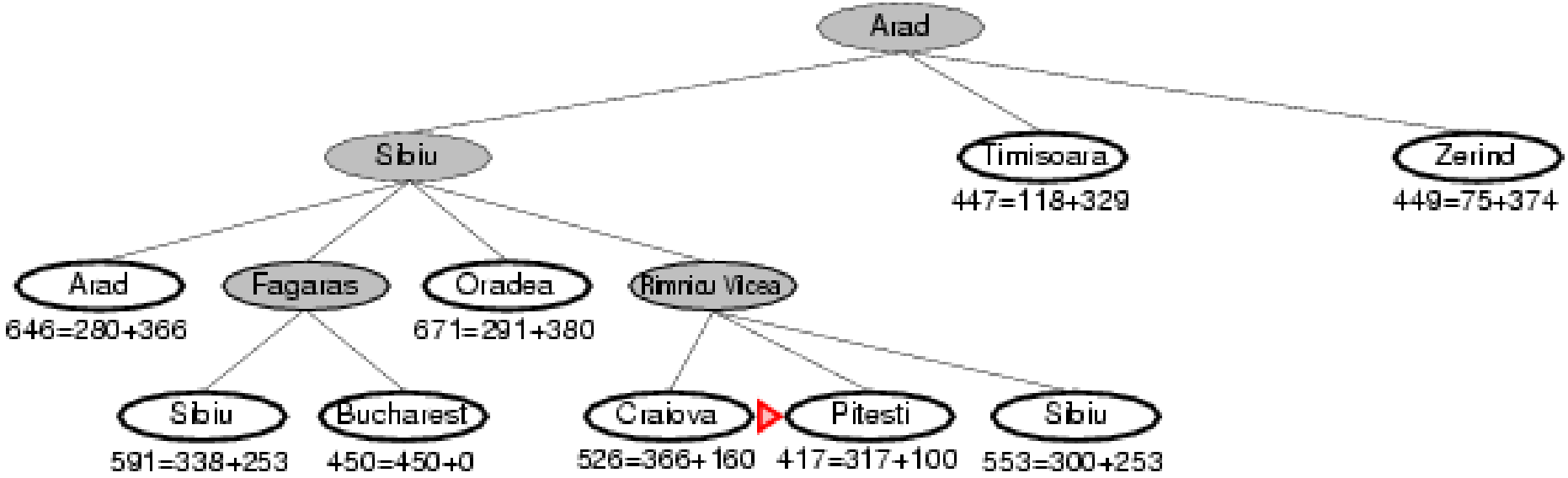
Exemplo de busca A*



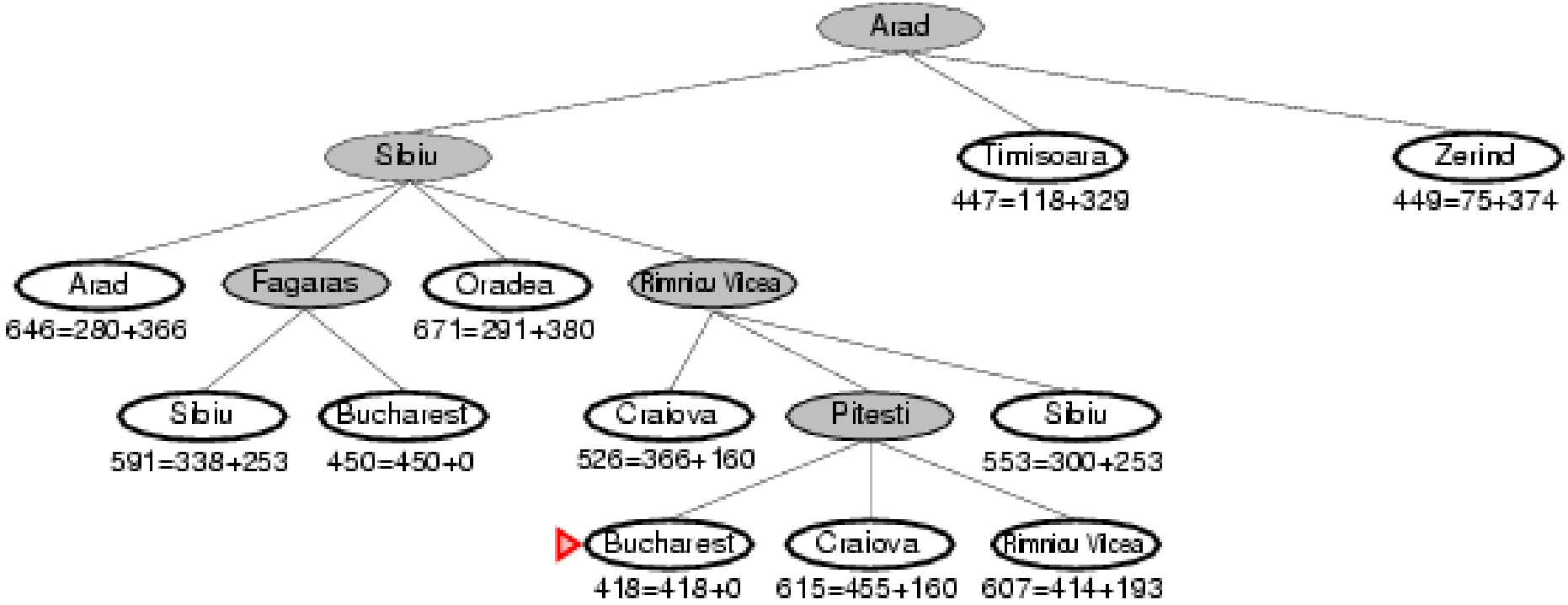
Exemplo de busca A*



Exemplo de busca A*



Exemplo de busca A*



Heurística Admissível

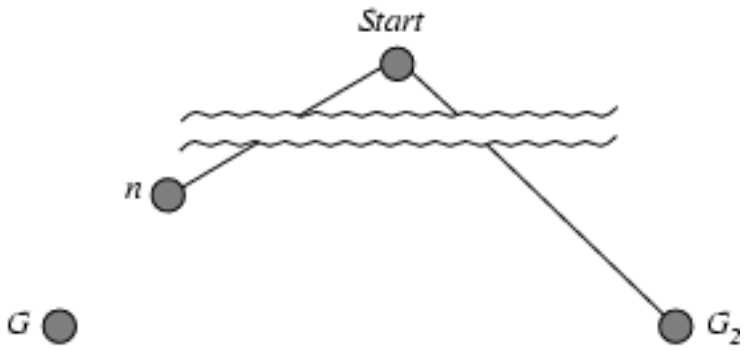
- Uma heurística *h(n)* é **admissível** se para cada nó *n*, $h(n) \leq h^*(n)$, onde $h^*(n)$ é o custo **verdadeiro** de alcançar o estado objetivo a partir de *n*.
- Uma heurística admissível **nunca superestima** o custo de alcançar o objetivo, isto é, ela é **otimista**.
- Exemplo: $h_{DLR}(n)$ (distância em linha reta nunca é maior que distância pela estrada).
- **Teorema**: Se *h(n)* é admissível, A* usando algoritmo `BUSCA-EM-ARVORE` é ótima.

Prova que A* é ótima com heurística admissível

- Assuma um **nó objetivo não-ótimo** G_2, e seja C* o custo da solução ótima. Então, como G_2 não é ótimo e $h(G_2) = 0$, sabemos que:

$$\mathbf{f(G_2) = g(G_2) + h(G_2)}$$
$$\mathbf{= g(G_2) > C^*}$$

- Considere qualquer nó de borda **n** que esteja num caminho de solução ótimo. Se h(n) ***não superestimar o custo de completar o caminho de solução***, então: $\mathbf{f(n) = g(n) + h(n) \leq C^*}$.



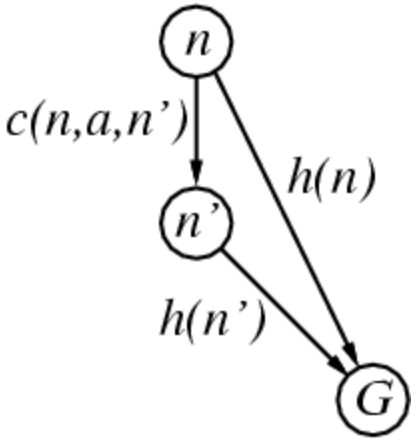
Prova que A^* é ótima com heurística admissível (cont.)

- Logo, se $f(n) \leq C^* < f(G_2)$, G_2 não será expandido e A* deve retornar uma solução ótima.
- Isso vale para busca em árvore, para outras estruturas de busca pode não valer.
- Na busca em grafos temos que assegurar que o caminho ótimo para qualquer estado repetido seja o primeiro a ser seguido.
  - Requisito extra para h(n): consistência

Consistência (ou monotonicidade)

- Uma heurística é **consistente (ou monotônica)** se para cada nó *n*, cada sucessor *n'* de *n* gerado por qualquer ação *a*,

  $h(n) \leq c(n,a,n') + h(n')$



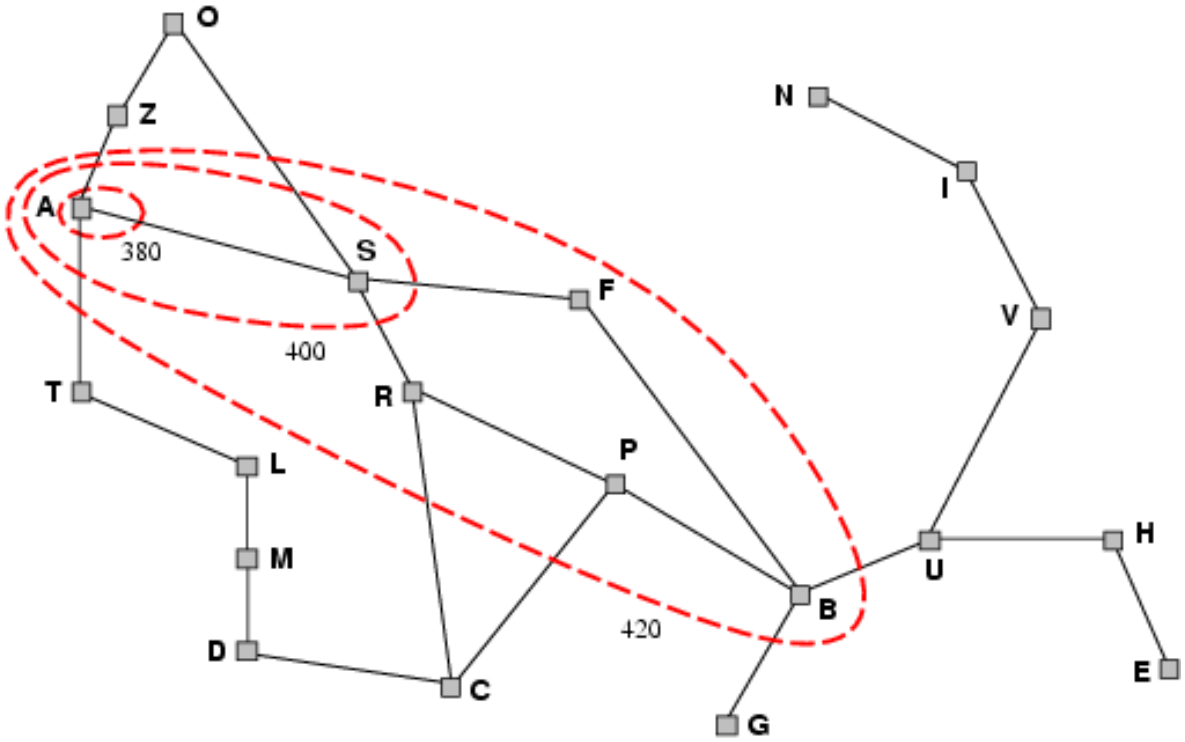
- Se *h* é consistente, temos

  f(n') = g(n') + h(n')
  = g(n) + c(n,a,n') + h(n')
  ≥ g(n) + h(n)
  = f(n)

- Isto é, *f(n)* is não-decrescente ao longo de qualquer caminho.
- **Teorema: Se *h(n)* is consistente, A* usando `BUSCA-EM-GRAFOS` é ótima**.

A* é ótima com heurística consistente

- A* expande nós em ordem crescente de valores de *f*.
- Gradualmente adiciona "*contornos*" de nós.
- Contorno *i* tem todos os nós com $f=f_i$, onde $f_i < f_{i+1}$



Se h(n)=0 temos uma busca de custo uniforme ⇒ círculos concêntricos.

Quanto melhor a heurística mais direcionados ao objetivo serão os círculos

Propriedades da Busca A*

- Completa? Sim (a não ser que exista uma quantidade infinita de nós com f $\leq f(G)$)
- Tempo? Exponencial no pior caso
- Espaço? Mantém todos os nós na memória
- Ótima? Sim
- Otimamente eficiente
  - Nenhum outro algoritmo de busca ótimo tem garantia de expandir um número de nós menor que A*. Isso porque qualquer algoritmo que não expande todos os nós com f(n) < C* corre o risco de omitir uma solução ótima.

Inteligência Artificial

Busca com informação e exploração
Parte 2

Capítulo 4 – Russell & Norvig

Seção 4.2

Resumo da Busca A*

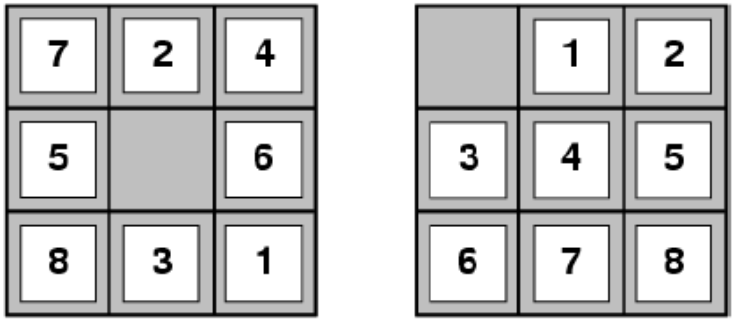
- Idéia: evitar expandir caminhos que já são caros
- Função de avaliação $f(n) = g(n) + h(n)$
  - $g(n)$ = custo até o momento para alcançar n
  - $h(n)$ = custo estimado de n até o objetivo
  - $f(n)$ = custo total estimado do caminho através de n até o objetivo.

Resumo: Heurística Admissível

- Uma heurística *h(n)* é **admissível** se para cada nó *n*, $h(n) \leq h^*(n)$, onde $h^*(n)$ é o custo **verdadeiro** de alcançar o estado objetivo a partir de *n*.
- Uma heurística admissível **nunca superestima** o custo de alcançar o objetivo, isto é, ela é **otimista**.
- Exemplo: $h_{DLR}(n)$ (distância em linha reta nunca é maior que distância pela estrada).
- **Teorema**: Se *h(n)* é admissível, A* usando algoritmo `BUSCA-EM-ARVORE` é ótima.

Exemplo: Heurísticas Admissíveis

- Para o quebra-cabeça de 8 peças:
  - $h_1(n)$ = número de peças fora da posição
  - $h_2(n)$ = distância "Manhattan" total (para cada peça calcular a distância em "quadras" até a sua posição)



- $h_1(S) = ?$ 8
- $h_2(S) = ?$ 3+1+2+2+2+3+3+2 = 18

Medindo a qualidade de uma heurística

- Fator de ramificação efetiva
  - A* gera **N** nós
  - Profundidade da solução é **d**
  - Supondo uma árvore uniforme, podemos calcular o fator de ramificação efetiva b* a partir de

$$N+1 = 1 + b^* + (b^*)^2 + \ldots + (b^*)^d$$

Exemplo:
Quebra-cabeça de 8 peças

	Custo da busca			Fator de ramificação efetiva		
d	BAI	$A^*(h_1)$	$A^*(h_2)$	BAI	$A^*(h_1)$	$A^*(h_2)$
2	10	6	6	2,45	1,79	1,79
4	112	13	12	2,87	1,48	1,45
6	680	20	18	2,73	1,34	1,30
8	6384	39	25	2,80	1,33	1,24
10	47127	93	39	2,79	1,38	1,22
12	3644035	227	73	2,78	1,42	1,24
14	–	539	113	–	1,44	1,23
16	–	1301	211	–	1,45	1,25
18	–	3056	363	–	1,46	1,26
20	–	7276	676	–	1,47	1,27
22	–	18094	1219	–	1,48	1,28
24	–	39135	1641	–	1,48	1,26

Dominância

- h_2 é melhor que h_1 e muito melhor que a busca por aprofundamento iterativo.
- h_2 é sempre melhor que h_1 pois

$$\forall n \; h_2(n) \geq h_1(n)$$

- h_2 **domina** h_1
- Como ambas heurísticas são admissíveis, menos nós serão expandidos pela heurística dominante.
  - Escolhe nós mais próximos da solução.

Como criar heurísticas admissíveis?

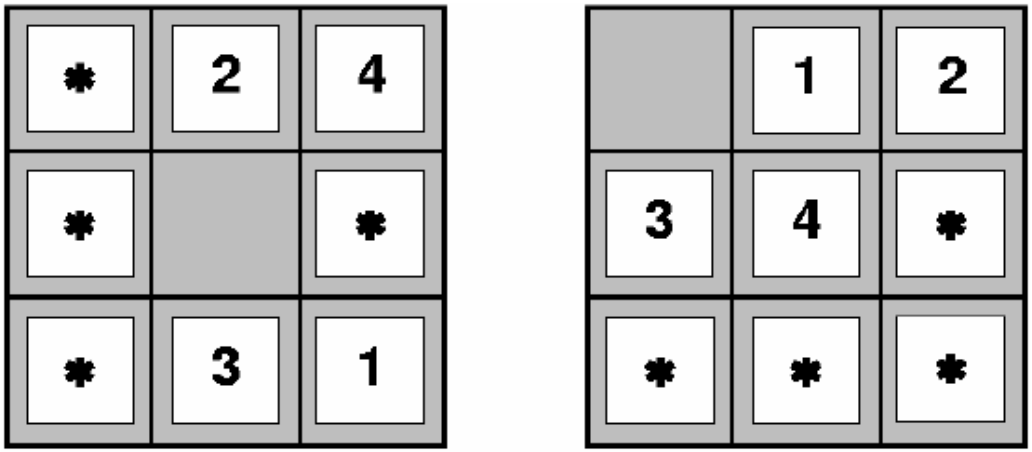
1. A solução de uma simplificação de um problema (problema relaxado) é uma heurística para o problema original.
   - **Admissível**: a solução do problema relaxado não vai superestimar a do problema original.
   - É **consistente** para o problema original se for consistente para o relaxado.

Exemplo:
Quebra-cabeça de 8 peças

- h_1 daria a solução ótima para um problema "relaxado" em que as peças pudessem se deslocar para qualquer lugar.
- h_2 daria a solução ótima para um problema "relaxado" em que as peças pudessem se mover um quadrado por vez em qualquer direção.

Como criar heurísticas admissíveis?

2. Usar o custo da solução de um subproblema do problema original.



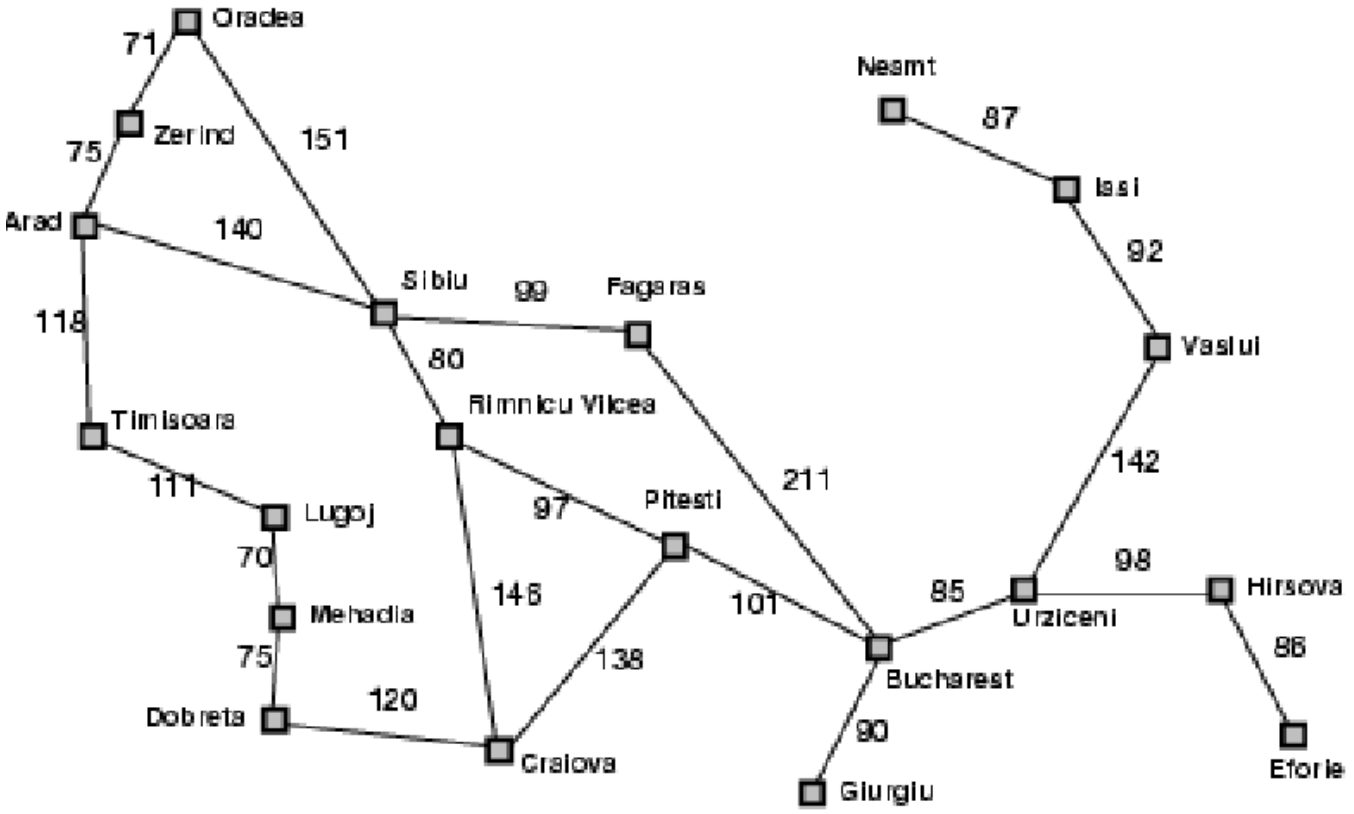
Calcular o custo da solução exata sem se preocupar com os *
Limite inferior do custo do problema completo

Como criar heurísticas admissíveis?

3. Banco de dados de padrões:
   - Armazenar o custo exato das soluções de muitos subproblemas.
   - Para um determinado estado procurar o subproblema referentes àquele estado.
   - Exemplo: todas as configurações das 4 peças na figura anterior.

Enunciados dos Exercícios – Cap. 4 Russell & Norvig

1. **(4.1)** Represente a operação da busca A* aplicada ao problema de ir até Bucareste a partir de Lugoj usando a heurística de distância em linha reta. Isto é, mostre a sequência de nós que o algoritmo irá considerar e a pontuação de *f*, *g* e *h* para cada nó.



Straight-line distance to Bucharest	
Arad	366
Bucharest	0
Craiova	160
Dobreta	242
Eforie	161
Fagaras	176
Giurgiu	77
Hirsova	151
Iasi	226
Lugoj	244
Mehadia	241
Neamt	234
Oradea	380
Pitesti	10
Rimnicu Vilcea	193
Sibiu	253
Timisoara	329
Urziceni	80
Vaslui	199
Zerind	374

Enunciados dos Exercícios – Cap. 4 Russell & Norvig

2. **(4.2)** O algoritmo de caminho heurístico é uma busca pela melhor escolha na qual a função objetivo é $f(n) = (2 - w)g(n) + wh(n)$. Para que valores de w esse algoritmo oferece a garantia de ser ótimo? Que espécie de busca ele executa quando $w = 0$? E quando $w = 1$? E quando $w = 2$?

3. **(4.3)** Prove cada uma das afirmações a seguir:
   a. A busca em extensão e um caso especial de busca de custo uniforme.
   b. A busca em extensão, a busca em profundidade e a busca de custo uniforme são casos especiais da busca pela melhor escolha.
   c. A busca de custo uniforme e um caso especial da busca A*.

Enunciados dos Exercícios – Cap. 4 Russell & Norvig

4. **(4.9)** Na pagina 111, definimos o relaxamento do quebra-cabeça de 8 pecas em que um bloco pode se mover do quadrado A para o quadrado B, se B estiver vazio. A solução exata desse problema define a heurística de Gaschnig. Explique por que a heurística de Gaschnig é pelo menos tão precisa quanto h1 (blocos mal posicionados) e mostre casos em que ela e mais precisa que h1 e h2 (distancia Manhattan). Você poderia sugerir um modo de calcular a heurística de Gaschnig com eficiência?

5. **(4.11)** Forneça o nome do algoritmo que resulta de cada um dos seguintes casos especiais:
    a. Busca em feixe local com k=1.
    b. Busca em feixe local com k=∞.
    c. Tempera simulada com T=0 em todos os momentos.
    d. Algoritmo genético com tamanho da população N=1.

Sugestão de *Toy Application*

- Estudar a Google Maps API
- Sugestão:
  - https://developers.google.com/maps/documentation/webservices/index?hl=pt-br

- Exercício: Criar um sistema capaz de via Google Maps, para ir do Oiapoque ao Chuí utilizando uma Heurística adequada.