**Resolução de problemas através de busca**

Projeto 1 de CTC-17/2019

**Prof. Paulo André Castro**

**Eduardo Alarcon¹, Victor da Rocha Sales¹**

¹Aluno do quarto ano de Graduação em Engenharia da Computação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).

**E-mail:** eduambarbosa@gmail.com

salesrvictor@gmail.com

**Data de entrega:** 02/09/2019

1. **INTRODUÇÃO**

O primeiro projeto do laboratório de CTC-17 consiste de dois exercícios de programação de resolução de problemas através de busca usando os algoritmos greedy e A\* para cada um deles. No primeiro exercício busca-se o menor caminho entre duas cidades obtendo a lista das cidades e a distância do início ao fim. Já o segundo exercício, cria-se um agente capaz de resolver o problema dos blocos deslizantes para nove blocos.

1. **OBJETIVOS**

O objetivo principal do primeiro projeto é exercitar e fixar os conhecimentos adquiridos sobre resolução de provas através de busca. Além disso, pode-se considerar os seguintes objetivos:

* Análise dos tipos de ambientes e busca.
* Utilização e comparação de estratégias de busca informada*.*
* Verificação da importância da consistência da heurística.

Para a elaboração dos exercícios, foi utilizado a linguagem Python.

1. **DESCRIÇÃO**

Para ambos os exercícios foi utilizado uma estrutura de heap para a ordenação dos nós. Os exercícios foram desenvolvidos de forma modular para compartilharem os algoritmos de busca, bem como a estrutura dos nós. Dessa forma, cada exercício é composto por uma classe principal, a qual contém as funções de cálculo de custo e de tomada de ações.

* 1. **Exercício 1: menor caminho entre as cidades Alice Springs e Yulara da Australia**

O mapa com as especificações das cidades (ID, nome, latitude, longitude, estado/território, população) está no arquivo “australia.csv”. A distância em linha reta entre as cidades pode ser calculada a partir das coordenadas cartesianas (latitude, longitude). A conexão entre as cidades é feita da seguinte forma: uma cidade com ID se conecta com as cidades e , se e é par; se é ímpar e , esta cidade se conecta com as cidades e . Neste caso a distância pela estrada é maior que a distância em linha reta.

Tanto para o algoritmo greedy quanto para o A\* utilizou-se como heurística uma aproximação da distância até a cidade final como a distância em linha reta entre as duas cidades. Já para o algoritmo A\*, o custo final considerado é a soma da heurística com o custo da distância a partir do nó inicial.

* 1. **Exercício 2: agente capaz de resolver o problema dos blocos deslizantes para 9 blocos**

O problema consiste de um tabuleiro de tamanho 9x9 com os blocos enumerados e com a última peça faltante. Com o espaço da peça faltante surgem as possibilidades de movimentação entre peças, movendo peças para o local vazio. O estado inicial é aleatório e o objetivo é alcançar o estado final ordenado do tabuleiro em que cada linha contém os valores crescentes da esquerda pra direita, começando pela linha superior e com o último bloco vazio.

Tanto para o algoritmo greedy quanto para o A\* a heurística utilizada para aproximar o número de passos necessários para resolver o problema foi a soma, para cada bloco, da distância Manhattan entre onde este bloco estava e onde ele deveria estar, inclusive para o espaço vazio. Já para o algoritmo A\*, o custo final considerado é a soma da heurística com o custo da distância a partir do nó inicial.

1. **RESULTADOS OBTIDOS**
   1. **Exercício 1: menor caminho entre as cidades Alice Springs e Yulara da Australia**

A comparação entre os resultados obtidos pelo algoritmo greedy e pelo algoritmo A\* podem ser observadas na Tabela 1 a seguir.

**Tabela 1.** Profundidade e custo para o problema da Austrália para os algoritmos greedy e A\*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Algoritmo** | **Profundidade** | **Custo** |
| Greedy | 151 | 2447.38 |
| A\* | 163 | 2177.15 |

Para simplificar a visualização vamos observar a lista de cidades como uma lista das IDs, a lista com o nome das cidades está disponibilizada no arquivo “Exercicio\_1.txt”.

* Solução do algoritmo Greedy:

[5, 6, 8, 7, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 17, 19, 21, 22, 24, 26, 25, 27, 29, 30, 32, 31, 33, 35, 37, 38, 40, 42, 41, 43, 45, 47, 48, 50, 49, 51, 53, 55, 56, 58, 57, 59, 61, 63, 65, 66, 68, 70, 72, 74, 73, 75, 77, 79, 80, 82, 81, 83, 84, 86, 88, 87, 89, 90, 92, 94, 96, 95, 97, 99, 100, 102, 104, 106, 108, 110, 112, 114, 113, 115, 117, 118, 120, 122, 121, 123, 125, 127, 129, 130, 132, 134, 133, 135, 137, 138, 140, 142, 141, 143, 145, 147, 149, 151, 153, 155, 156, 158, 157, 159, 161, 162, 164, 166, 168, 167, 169, 171, 172, 174, 176, 175, 177, 178, 180, 182, 184, 186, 185, 187, 189, 191, 192, 194, 196, 195, 197, 199, 200, 202, 204, 203, 205, 207, 209, 211, 212, 214, 213, 215, 217, 219]

* Solução do algoritmo A\*:

[5, 6, 8, 7, 9, 10, 12, 11, 13, 14, 16, 18, 17, 19, 21, 22, 24, 26, 25, 27, 29, 30, 32, 34, 33, 35, 37, 39, 40, 42, 41, 43, 45, 47, 48, 50, 49, 51, 53, 55, 56, 58, 57, 59, 61, 63, 65, 66, 68, 70, 72, 71, 73, 74, 76, 75, 77, 79, 80, 82, 81, 83, 85, 86, 88, 87, 89, 90, 92, 91, 93, 95, 96, 98, 97, 99, 100, 102, 104, 103, 105, 106, 108, 110, 112, 111, 113, 114, 116, 115, 117, 118, 120, 119, 121, 123, 124, 126, 128, 130, 129, 131, 133, 134, 136, 138, 137, 139, 140, 142, 141, 143, 144, 146, 148, 147, 149, 151, 153, 155, 157, 159, 161, 162, 164, 166, 168, 170, 172, 174, 176, 175, 177, 179, 180, 182, 184, 186, 185, 187, 189, 190, 192, 191, 193, 194, 196, 195, 197, 199, 201, 203, 205, 206, 208, 210, 209, 211, 212, 214, 213, 215, 217, 219]

* 1. **Exercício 2: agente capaz de resolver o problema dos blocos deslizantes para 9 blocos**

Para comparar os desempenhos do algoritmo greedy com o A\* foram feitos três testes aleatórios de complexidades crescentes e dois testes propostos pelo roteiro. A representação é feita como greedy na esquerda e A\* na direita, para poder compará-los de maneira prática.

O primeiro teste está representado a seguir.

========= USING GREEDY =========

Step: 1

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 |  |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 63 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 72 |

Step: 2

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 |  |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 72 |

Step: 3

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 |  |

========= USING A\* =========

Step: 1

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 |  |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 63 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 72 |

Step: 2

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 |  |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 72 |

Step: 3

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 |  |

O segundo teste está representado a seguir.

========= USING GREEDY =========

Step: 1

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 |  | 53 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 54 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 72 | 63 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 71 | 80 |

Step: 2

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 |  |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 54 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 72 | 63 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 71 | 80 |

Step: 3

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 |  |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 72 | 63 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 71 | 80 |

Step: 4

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 72 |  |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 71 | 80 |

========= USING A\* =========

Step: 1

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 |  | 53 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 54 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 72 | 63 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 71 | 80 |

Step: 2

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 |  |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 54 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 72 | 63 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 71 | 80 |

Step: 3

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 |  |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 72 | 63 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 71 | 80 |

Step: 4

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 72 |  |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 71 | 80 |

Step: 5

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 72 | 80 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 71 |  |

Step: 6

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 72 | 80 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 |  | 71 |

Step: 7

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 |  | 80 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 72 | 71 |

Step: 5

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 |  | 72 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 71 | 80 |

Step: 6

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 |  | 80 |

Step: 7

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 |  |

Step: 8

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 80 |  |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 72 | 71 |

Step: 9

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 80 | 71 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 72 |  |

Step: 10

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 80 | 71 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 |  | 72 |

Step: 11

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 |  | 71 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 72 |

Step: 12

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 |  |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 72 |

Step: 13

State:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 |  |

O terceiro teste, e os dois testes propostos pelo roteiro são muito grandes. Dessa forma, podem ser observados nos arquivos “Exercicio\_2\_T3.txt”, “Exercicio\_2\_R1.txt” e “Exercicio\_2\_R2.txt”. Seus resultados estão compilados na Tabela 2 a seguir.

**Tabela 2.** Quantidade de passos para o algoritmo greedy e A\* para o terceiro teste, primeiro do roteiro e segundo do roteiro.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Algoritmo** | **Terceiro teste** | **Primeiro do roteiro** | **Segundo do roteiro** |
| Greedy | 227 | 228 | maximum recursion depth |
| A\* | 11 | 10 | maximum recursion depth |

1. **CONCLUSÃO**

Para o primeiro exercício, apesar da profundidade do algoritmo A\* acabar sendo maior que a profundidade do algoritmo greedy, o custo do A\* é menor. Já para o segundo exercício, percebe-se uma menor profundidade para o algoritmo A\*, sendo ela justamente o tamanho da solução do problema. Dessa forma, pode-se perceber que a adição da distância até o nó inicial contribui com o algoritmo ao evitar expandir caminhos que já ficaram caros, fato ignorado pelo algoritmo greedy (guloso) em ambos os exercícios.