

Relatório - Inteligência Artificial

Lukas Freitas de Carvalho - 202376033

Descrição do problema:

O **Problema dos Mapas**, no contexto da Inteligência Artificial e da Ciência da Computação, refere-se ao desafio de encontrar **caminhos ótimos** em redes geográficas, como estradas, rotas de transporte ou conexões entre localidades.

Trata-se de uma aplicação clássica da **teoria dos grafos** e de **algoritmos de busca**, com uso prático em sistemas como:

- Aplicativos de GPS (ex.: Google Maps, Waze);
- Logística e entrega de mercadorias (ex.: roteamento de caminhões);
- Jogos digitais (ex.: movimentação de personagens em ambientes virtuais).

Implementação

A linguagem utilizada na implementação foi o **Rust**, escolhida por seu alto desempenho e excelente gerenciamento de memória, características comparáveis às da linguagem C++.

Atualmente, Rust já é adotada em partes do kernel do Linux, o que demonstra sua eficiência e robustez.

O principal foco da implementação foi a estrutura de entrada do programa. As entradas são representadas por duas **strings**, correspondendo às cidades de **origem** e **destino** para a criação do grafo.

Um aspecto importante a ser considerado é que a API **Overpass** é sensível à grafia dos nomes das cidades. Por exemplo, a cidade “Rio de Janeiro” (com letras maiúsculas) é reconhecida pela API, enquanto “rio de janeiro” (em minúsculas) não é.

Estruturas de Dados e Funções

O Rust não segue o paradigma tradicional de orientação a objetos, mas oferece formas eficientes de modelagem de dados.

As principais estruturas utilizadas no programa foram:

- **City**: representa uma cidade (nome, coordenadas, etc.);
- **GraphStructure**: representa o grafo como um todo;
- **Map**: representa o mapa completo;

- **BoundingBox**: representa a área delimitada entre as cidades de origem e destino;
- **SearchResults**: armazena os resultados e métricas retornadas pelos algoritmos.

As principais funções implementadas, além dos algoritmos de busca, foram:

- **calculate_distance_value()**: calcula a distância entre duas cidades;
- **calculate_level()**: determina o "nível" de cada cidade no grafo;
- **get_city_coordinates()**: obtém o nome, latitude e longitude de uma cidade;
- **get_all_cities_from_bounding_box()**: retorna todas as cidades entre a origem e o destino;
- **calculate_path_distance()**: retorna a distância em linha reta de um caminho percorrido.

Para simular com maior fidelidade a distância real entre as cidades, foi adicionada uma **margem de variação** de 6% a 15% sobre a distância em linha reta, representando a imprecisão típica de trajetos reais.

Exemplo de execução:

Cidade de Origem: Juiz de Fora

Cidade de Destino: Rio de Janeiro

Distância em linha reta entre as cidades:

Calcular a distância entre:



Juiz de Fora - MG, Brazil



Rio De Janeiro - , Brazil

calcular distância

Veja também:

[Distância entre Juiz de Fora - MG, Brazil e as capitais brasileiras](#)

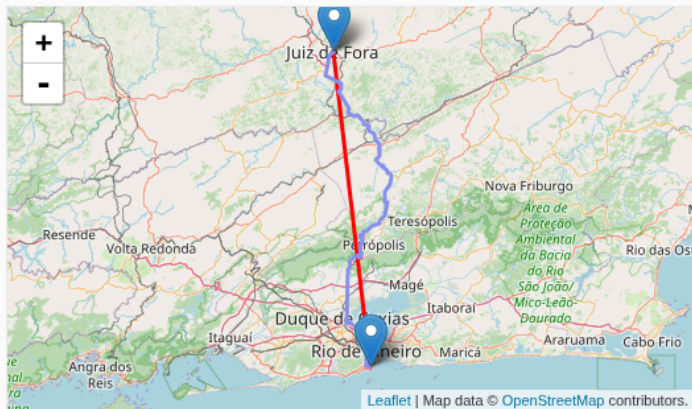
[Distância entre Rio De Janeiro - , Brazil e as capitais brasileiras](#)

[Distância entre Juiz de Fora - MG, Brazil e as principais cidades turísticas brasileiras](#)

[Distância entre Rio De Janeiro - , Brazil e as principais cidades turísticas brasileiras](#)

[Distância entre Juiz de Fora - MG, Brazil e as cidades brasileiras, separadas por estado](#)

[Distância entre Rio De Janeiro - , Brazil e as cidades brasileiras, separadas por estado](#)



Qual é a distância entre Juiz de Fora - MG, Brazil e Rio De Janeiro - , Brazil?

Distância em linha reta: **136 Km**
Distância por estradas: **187 Km**

GOSTOU DESTA FERRAMENTA?

Juiz de Fora - MG, Brazil

Latitude: -21.765320
Longitude: -43.348728

Rio De Janeiro - , Brazil

Latitude: -22.976734
Longitude: -43.195084

```
--- Busca de Caminho entre Cidades ---
Digite 'sair' a qualquer momento para encerrar o programa.
Digite o nome das cidades se atentando à acentuação e ortografia.

Digite a cidade de origem, (ou 'sair' para encerrar): Juiz de Fora
Digite a cidade de destino (ou 'sair' para encerrar): Rio de Janeiro
Obtendo a cidade Juiz de Fora...
Tempo gasto para obter a cidade: 6.78s

Obtendo a cidade Rio de Janeiro...
Tempo gasto para obter a cidade: 7.20s

Obtendo as cidades entre Juiz de Fora e Rio de Janeiro...
Tempo gasto para obter as cidades: 4.51s

Selecione o algoritmo de busca:
1. Backtracking
2. Breadth-first search
3. Ordered search
4. Depth search
5. Greedy search
6. A* search
7. IDA* search
8. Todos os algoritmos
9. Mostrar mapa
10. Mudar cidades
0. Sair
Opção: █
```

```
Opção: 1

--- Backtracking ---
Caminho encontrado:
- "Juiz de Fora" -> "Caetés de Minas" = 12.870085948550427
- "Caetés de Minas" -> "Souza Aguiar" = 27.612415571512397
- "Souza Aguiar" -> "Andrade Costa" = 44.267578687929486
- "Andrade Costa" -> "Arcozelo" = 20.060031295933136
- "Arcozelo" -> "Xerém" = 29.78158720463742
- "Xerém" -> "Rio de Janeiro" = 51.53145967008135

Detalhes sobre as cidades no caminho:
- Cidade: Juiz de Fora, Heurística: 128.6975030210258, Latitude: -21.7609533, Longitude: -43.3501129
- Cidade: Caetés de Minas, Heurística: 123.1825613457589, Latitude: -21.8043004, Longitude: -43.2625977
- Cidade: Souza Aguiar, Heurística: 100.33479809399284, Latitude: -22.0090619, Longitude: -43.2377336
- Cidade: Andrade Costa, Heurística: 73.67174356019191, Latitude: -22.2644557, Longitude: -43.3660648
- Cidade: Arcozelo, Heurística: 60.13282555197654, Latitude: -22.4072264, Longitude: -43.4224122
- Cidade: Xerém, Heurística: 38.35898161537564, Latitude: -22.5782, Longitude: -43.3078
- Cidade: Rio de Janeiro, Heurística: 0, Latitude: -22.9110137, Longitude: -43.2093727

Estatísticas da busca:
- Distância do caminho: 186.12 KM
- Nós visitados: 9
- Nós expandidos: 8
- Profundidade máxima: 6
- Fator de ramificação médio: 3.50
- Tempo de execução: 0.0001 segundos
```

Opção: 2

--- Breadth-first search ---

Caminho encontrado:

- "Juiz de Fora" -> "Caetés de Minas" = 12.870085948550427
- "Caetés de Minas" -> "Souza Aguiar" = 27.612415571512397
- "Souza Aguiar" -> "Andrade Costa" = 44.267578687929486
- "Andrade Costa" -> "Arcozelo" = 20.060031295933136
- "Arcozelo" -> "Xerém" = 29.78158720463742
- "Xerém" -> "Rio de Janeiro" = 51.53145967008135

Detalhes sobre as cidades no caminho:

- Cidade: Juiz de Fora, Heurística: 128.6975030210258, Latitude: -21.7609533, Longitude: -43.3501129
- Cidade: Caetés de Minas, Heurística: 123.1825613457589, Latitude: -21.8043004, Longitude: -43.2625977
- Cidade: Souza Aguiar, Heurística: 100.33479809399284, Latitude: -22.0090619, Longitude: -43.2377336
- Cidade: Andrade Costa, Heurística: 73.67174356019191, Latitude: -22.2644557, Longitude: -43.3660648
- Cidade: Arcozelo, Heurística: 60.13282555197654, Latitude: -22.4072264, Longitude: -43.4224122
- Cidade: Xerém, Heurística: 38.35898161537564, Latitude: -22.5782, Longitude: -43.3078
- Cidade: Rio de Janeiro, Heurística: 0, Latitude: -22.9110137, Longitude: -43.2093727

Estatísticas da busca:

- Distância do caminho: 186.12 KM
- Nós visitados: 29
- Nós expandidos: 28
- Profundidade máxima: 6
- Fator de ramificação médio: 3.96
- Tempo de execução: 0.0003 segundos

Opção: 3

--- Ordered search ---

Caminho encontrado:

- "Juiz de Fora" -> "Belmiro Braga" = 27.08148522981234
- "Belmiro Braga" -> "Afonso Arinos" = 15.446886682866658
- "Afonso Arinos" -> "Avelar" = 41.253356047496915
- "Avelar" -> "Paty do Alferes" = 16.89628068338884
- "Paty do Alferes" -> "Campos Elyseos" = 41.11207082157193
- "Campos Elyseos" -> "Rio de Janeiro" = 27.315402412021974

Detalhes sobre as cidades no caminho:

- Cidade: Juiz de Fora, Heurística: 128.6975030210258, Latitude: -21.7609533, Longitude: -43.3501129
- Cidade: Belmiro Braga, Heurística: 109.0508234278596, Latitude: -21.9486291, Longitude: -43.413564
- Cidade: Afonso Arinos, Heurística: 100.75202350535842, Latitude: -22.0124377, Longitude: -43.3353383
- Cidade: Avelar, Heurística: 68.60876929483955, Latitude: -22.3208596, Longitude: -43.40444
- Cidade: Paty do Alferes, Heurística: 58.04384375614053, Latitude: -22.4272703, Longitude: -43.4219523
- Cidade: Campos Elyseos, Heurística: 23.152839920882965, Latitude: -22.7078, Longitude: -43.2586
- Cidade: Rio de Janeiro, Heurística: 0, Latitude: -22.9110137, Longitude: -43.2093727

Estatísticas da busca:

- Distância do caminho: 169.11 KM
- Nós visitados: 48
- Nós expandidos: 47
- Profundidade máxima: 6
- Fator de ramificação médio: 4.21
- Tempo de execução: 0.0005 segundos

Opção: 4

--- Depth search ---

Caminho encontrado:

- "Juiz de Fora" -> "Caetés de Minas" = 12.870085948550427
- "Caetés de Minas" -> "Souza Aguiar" = 27.612415571512397
- "Souza Aguiar" -> "Andrade Costa" = 44.267578687929486
- "Andrade Costa" -> "Arcozelo" = 20.060031295933136
- "Arcozelo" -> "Xerém" = 29.78158720463742
- "Xerém" -> "Rio de Janeiro" = 51.53145967008135

Detalhes sobre as cidades no caminho:

- Cidade: Juiz de Fora, Heurística: 128.6975030210258, Latitude: -21.7609533, Longitude: -43.3501129
- Cidade: Caetés de Minas, Heurística: 123.1825613457589, Latitude: -21.8043004, Longitude: -43.2625977
- Cidade: Souza Aguiar, Heurística: 100.33479809399284, Latitude: -22.0090619, Longitude: -43.2377336
- Cidade: Andrade Costa, Heurística: 73.67174356019191, Latitude: -22.2644557, Longitude: -43.3660648
- Cidade: Arcozelo, Heurística: 60.13282555197654, Latitude: -22.4072264, Longitude: -43.4224122
- Cidade: Xerém, Heurística: 38.35898161537564, Latitude: -22.5782, Longitude: -43.3078
- Cidade: Rio de Janeiro, Heurística: 0, Latitude: -22.9110137, Longitude: -43.2093727

Estatísticas da busca:

- Distância do caminho: 186.12 KM
- Nós visitados: 9
- Nós expandidos: 8
- Profundidade máxima: 6
- Fator de ramificação médio: 3.50
- Tempo de execução: 0.0002 segundos

Opção: 5

--- Greedy search ---

Caminho encontrado:

- "Juiz de Fora" -> "Belmiro Braga" = 27.08148522981234
- "Belmiro Braga" -> "Souza Aguiar" = 24.90586326045983
- "Souza Aguiar" -> "Avelar" = 49.26340662925173
- "Avelar" -> "Miguel Pereira" = 22.391479910913414
- "Miguel Pereira" -> "São Mateus" = 52.928791790752214
- "São Mateus" -> "Rio de Janeiro" = 30.16675844771898

Detalhes sobre as cidades no caminho:

- Cidade: Juiz de Fora, Heurística: 128.6975030210258, Latitude: -21.7609533, Longitude: -43.3501129
- Cidade: Belmiro Braga, Heurística: 109.0508234278596, Latitude: -21.9486291, Longitude: -43.413564
- Cidade: Souza Aguiar, Heurística: 100.33479809399284, Latitude: -22.0090619, Longitude: -43.2377336
- Cidade: Avelar, Heurística: 68.60876929483955, Latitude: -22.3208596, Longitude: -43.40444
- Cidade: Miguel Pereira, Heurística: 57.390417938707394, Latitude: -22.4539417, Longitude: -43.4691978
- Cidade: São Mateus, Heurística: 22.190208947813822, Latitude: -22.8019, Longitude: -43.3907
- Cidade: Rio de Janeiro, Heurística: 0, Latitude: -22.9110137, Longitude: -43.2093727

Estatísticas da busca:

- Distância do caminho: 206.74 KM
- Nós visitados: 7
- Nós expandidos: 6
- Profundidade máxima: 6
- Fator de ramificação médio: 4.67
- Tempo de execução: 0.0001 segundos

Opção: 6

--- A* search ---

Caminho encontrado:

- "Juiz de Fora" -> "Belmiro Braga" = 27.08148522981234
- "Belmiro Braga" -> "Afonso Arinos" = 15.446886682866658
- "Afonso Arinos" -> "Avelar" = 41.253356047496915
- "Avelar" -> "Paty do Alferes" = 16.89628068338884
- "Paty do Alferes" -> "Campos Elyseos" = 41.11207082157193
- "Campos Elyseos" -> "Rio de Janeiro" = 27.315402412021974

Detalhes sobre as cidades no caminho:

- Cidade: Juiz de Fora, Heurística: 128.6975030210258, Latitude: -21.7609533, Longitude: -43.3501129
- Cidade: Belmiro Braga, Heurística: 109.0508234278596, Latitude: -21.9486291, Longitude: -43.413564
- Cidade: Afonso Arinos, Heurística: 100.75202350535842, Latitude: -22.0124377, Longitude: -43.3353383
- Cidade: Avelar, Heurística: 68.60876929483955, Latitude: -22.3208596, Longitude: -43.40444
- Cidade: Paty do Alferes, Heurística: 58.04384375614053, Latitude: -22.4272703, Longitude: -43.4219523
- Cidade: Campos Elyseos, Heurística: 23.152839920882965, Latitude: -22.7078, Longitude: -43.2586
- Cidade: Rio de Janeiro, Heurística: 0, Latitude: -22.9110137, Longitude: -43.2093727

Estatísticas da busca:

- Distância do caminho: 169.11 KM
- Nós visitados: 115
- Nós expandidos: 114
- Profundidade máxima: 6
- Fator de ramificação médio: 3.82
- Tempo de execução: 0.0009 segundos

Opção: 7

--- IDA* search ---

Caminho encontrado:

- "Juiz de Fora" -> "Belmiro Braga" = 27.08148522981234
- "Belmiro Braga" -> "Simão Pereira" = 14.747394449462414
- "Simão Pereira" -> "Paraíba do Sul" = 34.20686293211697
- "Paraíba do Sul" -> "Paty do Alferes" = 49.50196669610205
- "Paty do Alferes" -> "Nilópolis" = 55.40282645573903
- "Nilópolis" -> "Rio de Janeiro" = 36.6540891491568

Detalhes sobre as cidades no caminho:

- Cidade: Juiz de Fora, Heurística: 128.6975030210258, Latitude: -21.7609533, Longitude: -43.3501129
- Cidade: Belmiro Braga, Heurística: 109.0508234278596, Latitude: -21.9486291, Longitude: -43.413564
- Cidade: Simão Pereira, Heurística: 105.7961626584157, Latitude: -21.9643721, Longitude: -43.3127092
- Cidade: Paraíba do Sul, Heurística: 83.6046440562218, Latitude: -22.1630236, Longitude: -43.2920147
- Cidade: Paty do Alferes, Heurística: 58.04384375614053, Latitude: -22.4272703, Longitude: -43.4219523
- Cidade: Nilópolis, Heurística: 23.874828404271398, Latitude: -22.8080114, Longitude: -43.4138222
- Cidade: Rio de Janeiro, Heurística: 0, Latitude: -22.9110137, Longitude: -43.2093727

Estatísticas da busca:

- Distância do caminho: 217.59 KM
- Nós visitados: 34
- Nós expandidos: 27
- Profundidade máxima: 6
- Fator de ramificação médio: 4.59
- Tempo de execução: 0.0003 segundos


```
Opção: 9

--- Mapa ---
Número de níveis: 6
Nível 0:
  Cidade: Juiz de Fora, Heurística: 128.6975030210258, Latitude: -21.7609533, Longitude: -43.3501129
Nível 1:
  Cidade: Belmiro Braga, Heurística: 109.0508234278596, Latitude: -21.9486291, Longitude: -43.413564
  Cidade: Matias Barbosa, Heurística: 116.3860441211997, Latitude: -21.8691643, Longitude: -43.3180624
  Cidade: Caetés de Minas, Heurística: 123.1825613457589, Latitude: -21.8043004, Longitude: -43.2625977
Nível 2:
  Cidade: Simão Pereira, Heurística: 105.7961626584157, Latitude: -21.9643721, Longitude: -43.3127092
  Cidade: Afonso Arinos, Heurística: 100.75202350535842, Latitude: -22.0124377, Longitude: -43.3353383
  Cidade: São José das Três Ilhas, Heurística: 101.6195243821038, Latitude: -22.0328322, Longitude: -43.4831162
  Cidade: Souza Aguiar, Heurística: 100.33479809399284, Latitude: -22.0090619, Longitude: -43.2377336
Nível 3:
  Cidade: Paraíba do Sul, Heurística: 83.6046440562218, Latitude: -22.1630236, Longitude: -43.2920147
  Cidade: Salutaris, Heurística: 83.35240660442979, Latitude: -22.1648, Longitude: -43.2865
  Cidade: Werneck, Heurística: 78.38000489138551, Latitude: -22.2132183, Longitude: -43.3173858
  Cidade: Avelar, Heurística: 68.60876929483955, Latitude: -22.3208596, Longitude: -43.40444
  Cidade: Andrade Pinto, Heurística: 77.74133869377161, Latitude: -22.2403, Longitude: -43.4231
  Cidade: Andrade Costa, Heurística: 73.67174356019191, Latitude: -22.2644557, Longitude: -43.3660648
Nível 4:
  Cidade: Paty do Alferes, Heurística: 58.04384375614053, Latitude: -22.4272703, Longitude: -43.4219523
  Cidade: Miguel Pereira, Heurística: 57.390417938707394, Latitude: -22.4539417, Longitude: -43.4691978
  Cidade: Arcozelo, Heurística: 60.13282555197654, Latitude: -22.4072264, Longitude: -43.4224122
Nível 5:
  Cidade: Nilópolis, Heurística: 23.874828404271398, Latitude: -22.8080114, Longitude: -43.4138222
  Cidade: Nova Iguaçu, Heurística: 29.956790963090064, Latitude: -22.7592175, Longitude: -43.4508728
  Cidade: Mesquita, Heurística: 26.654928354462335, Latitude: -22.783092, Longitude: -43.4293599
  Cidade: Belford Roxo, Heurística: 25.545843372517076, Latitude: -22.7667284, Longitude: -43.4033603
  Cidade: Imbariê, Heurística: 31.629106637952408, Latitude: -22.6298959, Longitude: -43.2564354
  Cidade: Campos Elyseos, Heurística: 23.152839920882965, Latitude: -22.7078, Longitude: -43.2586
  Cidade: Coelho da Rocha, Heurística: 23.223787282312646, Latitude: -22.7758, Longitude: -43.3821
  Cidade: São Mateus, Heurística: 22.190208947813822, Latitude: -22.8019, Longitude: -43.3907
  Cidade: Xerém, Heurística: 38.35898161537564, Latitude: -22.5782, Longitude: -43.3078
Nível 6:
  Cidade: Rio de Janeiro, Heurística: 0, Latitude: -22.9110137, Longitude: -43.2093727
  Cidade: Duque de Caxias, Heurística: 16.98139856665844, Latitude: -22.7896225, Longitude: -43.309929
  Cidade: São João de Meriti, Heurística: 20.486134684965723, Latitude: -22.8043744, Longitude: -43.3724125
```

Outro exemplo:

Cidade de Origem: São Paulo

Cidade de Destino: Rio de Janeiro

Distância em linha reta entre as cidades:

Calcular a distância entre:



Sao Paulo - SP, Brazil



Rio de Janeiro, Brazil

calcular distância

Veja também:

[Distância entre Sao Paulo - SP, Brazil e as capitais brasileiras](#)

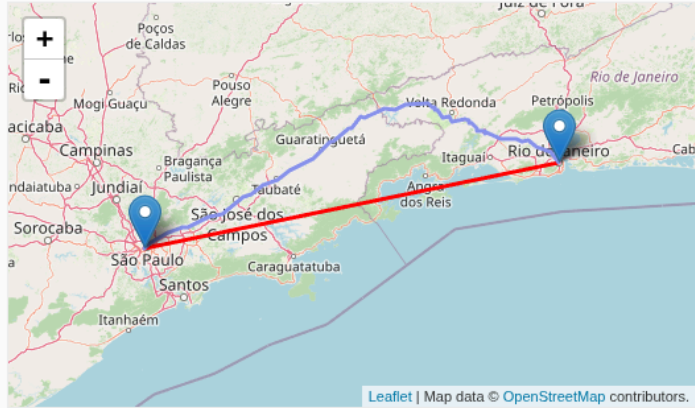
[Distância entre Rio de Janeiro, Brazil e as capitais brasileiras](#)

[Distância entre Sao Paulo - SP, Brazil e as principais cidades turísticas brasileiras](#)

[Distância entre Rio de Janeiro, Brazil e as principais cidades turísticas brasileiras](#)

[Distância entre Sao Paulo - SP, Brazil e as cidades brasileiras, separadas por estado](#)

[Distância entre Rio de Janeiro, Brazil e as cidades brasileiras, separadas por estado](#)



Qual é a distância entre Sao Paulo - SP, Brazil e Rio de Janeiro, Brazil?

Distância em linha reta: **360 Km**

Distância por estradas: **432 Km**

GOSTOU DESTA FERRAMENTA?

Sao Paulo - SP, Brazil

Latitude: -23.562880

Longitude: -46.654659

Rio de Janeiro, Brazil

Latitude: -22.9035393

Longitude: -43.2095869

```
--- Busca de Caminho entre Cidades ---  
Digite 'sair' a qualquer momento para encerrar o programa.  
Digite o nome das cidades se atentando à acentuação e ortografia.  
  
Digite a cidade de origem, (ou 'sair' para encerrar): São Paulo  
Digite a cidade de destino (ou 'sair' para encerrar): Rio de Janeiro  
Obtendo a cidade São Paulo...  
Tempo gasto para obter a cidade: 6.52s  
  
Obtendo a cidade Rio de Janeiro...  
Tempo gasto para obter a cidade: 7.30s  
  
Obtendo as cidades entre São Paulo e Rio de Janeiro...  
Tempo gasto para obter as cidades: 9.21s  
  
Selecione o algoritmo de busca:  
1. Backtracking  
2. Breadth-first search  
3. Ordered search  
4. Depth search  
5. Greedy search  
6. A* search  
7. IDA* search  
8. Todos os algoritmos  
9. Mostrar mapa  
10. Mudar cidades  
0. Sair  
Opção: █
```

Opção: 1

--- Backtracking ---

Caminho encontrado:

- "São Paulo" -> "Terra Preta" = 48.220420790902054
- "Terra Preta" -> "Guararema" = 72.8459431679534
- "Guararema" -> "Monteiro Lobato" = 64.94888858123736
- "Monteiro Lobato" -> "Lagoinha" = 106.76226252012572
- "Lagoinha" -> "Paraty Mirim" = 62.858940794185344
- "Paraty Mirim" -> "Barra Grande" = 30.00562580765776
- "Barra Grande" -> "Matariz" = 71.03272457753395
- "Matariz" -> "Itacuruçá" = 54.52679658794589
- "Itacuruçá" -> "Rio de Janeiro" = 107.30206392275299

Detalhes sobre as cidades no caminho:

- Cidade: São Paulo, Heurística: 357.00954093851504, Latitude: -23.5506507, Longitude: -46.6333824
- Cidade: Terra Preta, Heurística: 347.87813698114803, Latitude: -23.2624311, Longitude: -46.5888475
- Cidade: Guararema, Heurística: 294.55999796666833, Latitude: -23.4136776, Longitude: -46.0383744
- Cidade: Monteiro Lobato, Heurística: 269.3021008621721, Latitude: -22.9553542, Longitude: -45.8387146
- Cidade: Lagoinha, Heurística: 203.73749373545132, Latitude: -23.0898337, Longitude: -45.1903825
- Cidade: Paraty Mirim, Heurística: 160.56670979058046, Latitude: -23.3112, Longitude: -44.7179
- Cidade: Barra Grande, Heurística: 154.8742735835062, Latitude: -23.1006421, Longitude: -44.708458
- Cidade: Matariz, Heurística: 109.78218702995576, Latitude: -23.1161043, Longitude: -44.2586428
- Cidade: Itacuruçá, Heurística: 71.60593940312826, Latitude: -22.9278, Longitude: -43.9083
- Cidade: Rio de Janeiro, Heurística: 0, Latitude: -22.9110137, Longitude: -43.2093727

Estatísticas da busca:

- Distância do caminho: 618.50 KM
- Nós visitados: 10
- Nós expandidos: 9
- Profundidade máxima: 9
- Fator de ramificação médio: 12.33
- Tempo de execução: 0.0002 segundos

Opção: 2

--- Breadth-first search ---

Caminho encontrado:

- "São Paulo" -> "Terra Preta" = 48.220420790902054
- "Terra Preta" -> "Guararema" = 72.8459431679534
- "Guararema" -> "Monteiro Lobato" = 64.94888858123736
- "Monteiro Lobato" -> "Lagoinha" = 106.76226252012572
- "Lagoinha" -> "Paraty Mirim" = 62.858940794185344
- "Paraty Mirim" -> "Barra Grande" = 30.00562580765776
- "Barra Grande" -> "Matariz" = 71.03272457753395
- "Matariz" -> "Itacuruçá" = 54.52679658794589
- "Itacuruçá" -> "Rio de Janeiro" = 107.30206392275299

Detalhes sobre as cidades no caminho:

- Cidade: São Paulo, Heurística: 357.00954093851504, Latitude: -23.5506507, Longitude: -46.6333824
- Cidade: Terra Preta, Heurística: 347.87813698114803, Latitude: -23.2624311, Longitude: -46.5888475
- Cidade: Guararema, Heurística: 294.55999796666833, Latitude: -23.4136776, Longitude: -46.0383744
- Cidade: Monteiro Lobato, Heurística: 269.3021008621721, Latitude: -22.9553542, Longitude: -45.8387146
- Cidade: Lagoinha, Heurística: 203.73749373545132, Latitude: -23.0898337, Longitude: -45.1903825
- Cidade: Paraty Mirim, Heurística: 160.56670979058046, Latitude: -23.3112, Longitude: -44.7179
- Cidade: Barra Grande, Heurística: 154.8742735835062, Latitude: -23.1006421, Longitude: -44.708458
- Cidade: Matariz, Heurística: 109.78218702995576, Latitude: -23.1161043, Longitude: -44.2586428
- Cidade: Itacuruçá, Heurística: 71.60593940312826, Latitude: -22.9278, Longitude: -43.9083
- Cidade: Rio de Janeiro, Heurística: 0, Latitude: -22.9110137, Longitude: -43.2093727

Estatísticas da busca:

- Distância do caminho: 618.50 KM
- Nós visitados: 112
- Nós expandidos: 111
- Profundidade máxima: 9
- Fator de ramificação médio: 12.06
- Tempo de execução: 0.0013 segundos

Opção: 3

--- Ordered search ---

Caminho encontrado:

- "São Paulo" -> "Itaquaquecetuba" = 36.632546891931746
- "Itaquaquecetuba" -> "Jacareí" = 52.201851307226995
- "Jacareí" -> "Redenção da Serra" = 52.284814876348854
- "Redenção da Serra" -> "Lagoinha" = 47.540490266317555
- "Lagoinha" -> "Cunha" = 31.29156708843355
- "Cunha" -> "Provetá" = 74.00979504899271
- "Provetá" -> "Praia de Araçatiba" = 4.701158846668013
- "Praia de Araçatiba" -> "Itacuruçá" = 59.449438297912096
- "Itacuruçá" -> "Rio de Janeiro" = 107.30206392275299

Detalhes sobre as cidades no caminho:

- Cidade: São Paulo, Heurística: 357.00954093851504, Latitude: -23.5506507, Longitude: -46.6333824
- Cidade: Itaquaquecetuba, Heurística: 327.20920641056, Latitude: -23.4754492, Longitude: -46.3514033
- Cidade: Jacareí, Heurística: 285.94661469628585, Latitude: -23.3050682, Longitude: -45.9723075
- Cidade: Redenção da Serra, Heurística: 241.3450841783566, Latitude: -23.2803652, Longitude: -45.5345747
- Cidade: Lagoinha, Heurística: 203.73749373545132, Latitude: -23.0898337, Longitude: -45.1903825
- Cidade: Cunha, Heurística: 179.81523809103197, Latitude: -23.07753, Longitude: -44.9567436
- Cidade: Provetá, Heurística: 119.81771104990348, Latitude: -23.1801715, Longitude: -44.343257
- Cidade: Praia de Araçatiba, Heurística: 117.21384582367929, Latitude: -23.1536625, Longitude: -44.324056
- Cidade: Itacuruçá, Heurística: 71.60593940312826, Latitude: -22.9278, Longitude: -43.9083
- Cidade: Rio de Janeiro, Heurística: 0, Latitude: -22.9110137, Longitude: -43.2093727

Estatísticas da busca:

- Distância do caminho: 465.41 KM
- Nós visitados: 243
- Nós expandidos: 242
- Profundidade máxima: 9
- Fator de ramificação médio: 11.88
- Tempo de execução: 0.0078 segundos

Opção: 4

--- Depth search ---

Caminho encontrado:

- "São Paulo" -> "Terra Preta" = 48.220420790902054
- "Terra Preta" -> "Guararema" = 72.8459431679534
- "Guararema" -> "Monteiro Lobato" = 64.94888858123736
- "Monteiro Lobato" -> "Lagoinha" = 106.76226252012572
- "Lagoinha" -> "Paraty Mirim" = 62.858940794185344
- "Paraty Mirim" -> "Barra Grande" = 30.00562580765776
- "Barra Grande" -> "Matariz" = 71.03272457753395
- "Matariz" -> "Itacuruçá" = 54.52679658794589
- "Itacuruçá" -> "Rio de Janeiro" = 107.30206392275299

Detalhes sobre as cidades no caminho:

- Cidade: São Paulo, Heurística: 357.00954093851504, Latitude: -23.5506507, Longitude: -46.6333824
- Cidade: Terra Preta, Heurística: 347.87813698114803, Latitude: -23.2624311, Longitude: -46.5888475
- Cidade: Guararema, Heurística: 294.55999796666833, Latitude: -23.4136776, Longitude: -46.0383744
- Cidade: Monteiro Lobato, Heurística: 269.3021008621721, Latitude: -22.9553542, Longitude: -45.8387146
- Cidade: Lagoinha, Heurística: 203.73749373545132, Latitude: -23.0898337, Longitude: -45.1903825
- Cidade: Paraty Mirim, Heurística: 160.56670979058046, Latitude: -23.3112, Longitude: -44.7179
- Cidade: Barra Grande, Heurística: 154.8742735835062, Latitude: -23.1006421, Longitude: -44.708458
- Cidade: Matariz, Heurística: 109.78218702995576, Latitude: -23.1161043, Longitude: -44.2586428
- Cidade: Itacuruçá, Heurística: 71.60593940312826, Latitude: -22.9278, Longitude: -43.9083
- Cidade: Rio de Janeiro, Heurística: 0, Latitude: -22.9110137, Longitude: -43.2093727

Estatísticas da busca:

- Distância do caminho: 618.50 KM
- Nós visitados: 10
- Nós expandidos: 9
- Profundidade máxima: 9
- Fator de ramificação médio: 12.33
- Tempo de execução: 0.0005 segundos

Opção: 5

--- Greedy search ---

Caminho encontrado:

- "São Paulo" -> "Arujá" = 53.310261118343576
- "Arujá" -> "Salesópolis" = 61.10725636493461
- "Salesópolis" -> "Caraguatatuba" = 55.5698984487595
- "Caraguatatuba" -> "Ubatuba" = 63.182383111873044
- "Ubatuba" -> "Paraty Mirim" = 53.382296873587926
- "Paraty Mirim" -> "Provetá" = 52.11396863673662
- "Provetá" -> "Mangaratiba" = 56.43626879154462
- "Mangaratiba" -> "Itacuruçá" = 18.272851232411323
- "Itacuruçá" -> "Rio de Janeiro" = 107.30206392275299

Detalhes sobre as cidades no caminho:

- Cidade: São Paulo, Heurística: 357.00954093851504, Latitude: -23.5506507, Longitude: -46.6333824
- Cidade: Arujá, Heurística: 322.316169036385, Latitude: -23.396266, Longitude: -46.3175449
- Cidade: Salesópolis, Heurística: 278.0980182166677, Latitude: -23.528805, Longitude: -45.84653
- Cidade: Caraguatatuba, Heurística: 238.52443986820654, Latitude: -23.62028, Longitude: -45.41306
- Cidade: Ubatuba, Heurística: 200.17574814004536, Latitude: -23.433162, Longitude: -45.083415
- Cidade: Paraty Mirim, Heurística: 160.56670979058046, Latitude: -23.3112, Longitude: -44.7179
- Cidade: Provetá, Heurística: 119.81771104990348, Latitude: -23.1801715, Longitude: -44.343257
- Cidade: Mangaratiba, Heurística: 85.34749468801512, Latitude: -22.9600193, Longitude: -44.04111
- Cidade: Itacuruçá, Heurística: 71.60593940312826, Latitude: -22.9278, Longitude: -43.9083
- Cidade: Rio de Janeiro, Heurística: 0, Latitude: -22.9110137, Longitude: -43.2093727

Estatísticas da busca:

- Distância do caminho: 520.68 KM
- Nós visitados: 10
- Nós expandidos: 9
- Profundidade máxima: 9
- Fator de ramificação médio: 12.33
- Tempo de execução: 0.0002 segundos

Opção: 6

--- A* search ---

Caminho encontrado:

- "São Paulo" -> "Itaquaquecetuba" = 36.632546891931746
- "Itaquaquecetuba" -> "Jacareí" = 52.201851307226995
- "Jacareí" -> "Redenção da Serra" = 52.284814876348854
- "Redenção da Serra" -> "Lagoinha" = 47.540490266317555
- "Lagoinha" -> "Cunha" = 31.29156708843355
- "Cunha" -> "Provetá" = 74.00979504899271
- "Provetá" -> "Praia de Araçatiba" = 4.701158846668013
- "Praia de Araçatiba" -> "Itacuruçá" = 59.449438297912096
- "Itacuruçá" -> "Rio de Janeiro" = 107.30206392275299

Detalhes sobre as cidades no caminho:

- Cidade: São Paulo, Heurística: 357.00954093851504, Latitude: -23.5506507, Longitude: -46.6333824
- Cidade: Itaquaquecetuba, Heurística: 327.20920641056, Latitude: -23.4754492, Longitude: -46.3514033
- Cidade: Jacareí, Heurística: 285.94661469628585, Latitude: -23.3050682, Longitude: -45.9723075
- Cidade: Redenção da Serra, Heurística: 241.3450841783566, Latitude: -23.2803652, Longitude: -45.5345747
- Cidade: Lagoinha, Heurística: 203.73749373545132, Latitude: -23.0898337, Longitude: -45.1903825
- Cidade: Cunha, Heurística: 179.81523809103197, Latitude: -23.07753, Longitude: -44.9567436
- Cidade: Provetá, Heurística: 119.81771104990348, Latitude: -23.1801715, Longitude: -44.343257
- Cidade: Praia de Araçatiba, Heurística: 117.21384582367929, Latitude: -23.1536625, Longitude: -44.324056
- Cidade: Itacuruçá, Heurística: 71.60593940312826, Latitude: -22.9278, Longitude: -43.9083
- Cidade: Rio de Janeiro, Heurística: 0, Latitude: -22.9110137, Longitude: -43.2093727

Estatísticas da busca:

- Distância do caminho: 465.41 KM
- Nós visitados: 813
- Nós expandidos: 812
- Profundidade máxima: 9
- Fator de ramificação médio: 8.44
- Tempo de execução: 0.0169 segundos


```

Opção: 7

--- IDA* search ---
Caminho encontrado:
- "São Paulo" -> "São Bernardo do Campo" = 25.644524373157942
- "São Bernardo do Campo" -> "Jacareí" = 108.15376671324903
- "Jacareí" -> "Caraguatatuba" = 103.612428785229
- "Caraguatatuba" -> "Pindamonhangaba" = 90.2410855592839
- "Pindamonhangaba" -> "Cunha" = 73.03784677606916
- "Cunha" -> "Paraty" = 46.0190773815252
- "Paraty" -> "Angra dos Reis" = 64.52832074944189
- "Angra dos Reis" -> "Vila Muriqui" = 61.40349889830521
- "Vila Muriqui" -> "Rio de Janeiro" = 115.94066739464755

Detalhes sobre as cidades no caminho:
- Cidade: São Paulo, Heurística: 357.00954093851504, Latitude: -23.5506507, Longitude: -46.6333824
- Cidade: São Bernardo do Campo, Heurística: 352.5214836650858, Latitude: -23.7080345, Longitude: -46.5506
- Cidade: Jacareí, Heurística: 285.94661469628585, Latitude: -23.3050682, Longitude: -45.9723075
- Cidade: Caraguatatuba, Heurística: 238.52443986820654, Latitude: -23.62028, Longitude: -45.41306
- Cidade: Pindamonhangaba, Heurística: 230.74049937009048, Latitude: -22.9364, Longitude: -45.4622602
- Cidade: Cunha, Heurística: 179.81523809103197, Latitude: -23.07753, Longitude: -44.9567436
- Cidade: Paraty, Heurística: 157.85216249808727, Latitude: -23.2196461, Longitude: -44.7154196
- Cidade: Angra dos Reis, Heurística: 113.83224806066876, Latitude: -23.0063966, Longitude: -44.316326
- Cidade: Vila Muriqui, Heurística: 75.24690860339811, Latitude: -22.9202, Longitude: -43.944
- Cidade: Rio de Janeiro, Heurística: 0, Latitude: -22.9110137, Longitude: -43.2093727

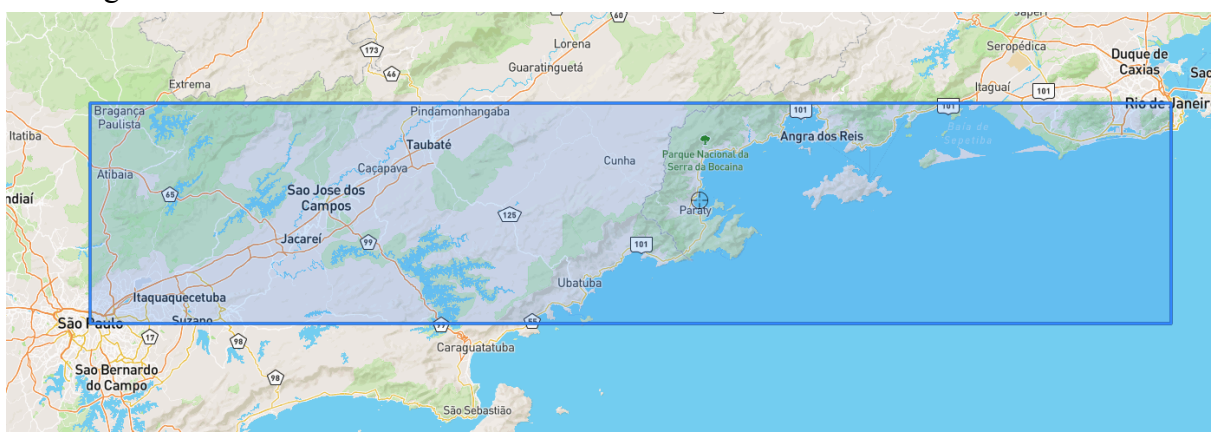
Estatísticas da busca:
- Distância do caminho: 688.58 KM
- Nós visitados: 64
- Nós expandidos: 54
- Profundidade máxima: 9
- Fator de ramificação médio: 11.61
- Tempo de execução: 0.0006 segundos

```

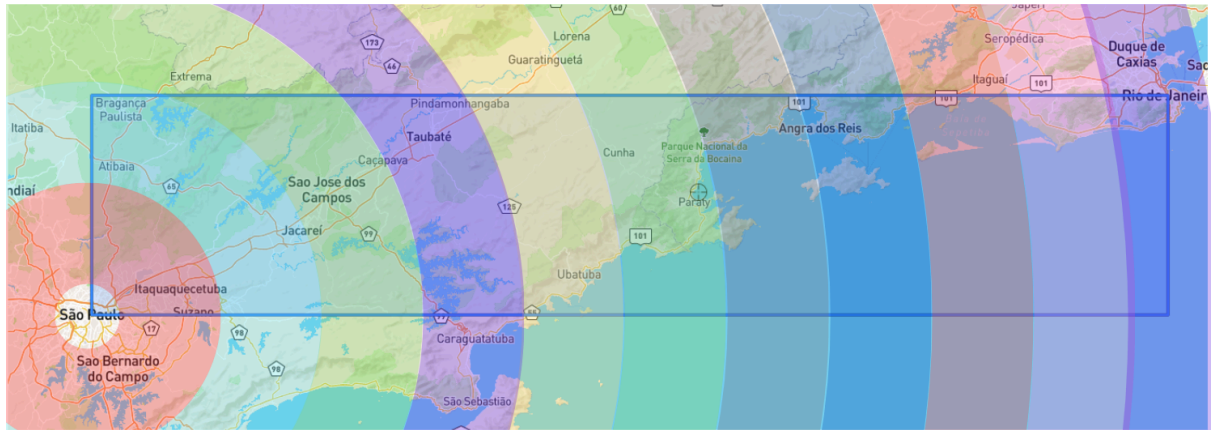
Dificuldades Encontradas

O principal desafio foi definir uma forma eficaz de **construir o grafo com cidades reais** mantendo-o **conexo**. Em um mapa real, é possível se deslocar entre quaisquer cidades por terra, água ou ar.

Assim, a solução adotada foi **delimitar uma área** entre as cidades de origem e destino (via bounding box), com uma **margem de erro controlada**, e capturar todas as cidades dentro dessa região.



Em seguida, as cidades foram organizadas em **níveis de proximidade**, a partir da cidade de origem até a cidade de destino. Cada cidade de um determinado nível é conectada a todas as cidades do **nível seguinte**, formando um grafo acíclico e conexo, conforme ilustrado na imagem abaixo:



Links e sites utilizados:

[bboxfinder](#)

[Distância entre duas cidades](#)

[Documentação do código](#)

[Repositório do github](#)