

**Projeto e Análise de Algoritmo**  
**- Trabalho Prático 4 -**  
**Professor: Douglas D. de Castilho Braz**  
**Aluno: Leandro Balbino de Andrade**

## Visão Geral

O objetivo deste trabalho é estudar e comparar diferentes abordagens para resolver o Problema do Caixeiro Viajante. Foram implementados dois algoritmos, um exato e outro heurístico, para avaliar a eficiência e a qualidade das soluções obtidas.

---

## Algoritmo Ótimo

O Algoritmo Ótimo implementado utiliza a técnica de Branch and Bound para encontrar a solução exata do problema, garantindo o menor custo possível para percorrer todas as cidades.

Características: Utiliza estrutura de pilha para armazenar os estados de busca, cada estado representa um nível da busca (com um caminho parcial e um limite inferior de custo) e além disso a poda ocorre sempre que em caminho parcial ultrapassa o custo da melhor solução encontrada até o momento.

---

## Algoritmo Genético

O Algoritmo Genético implementado busca aproximar a solução ótima através da evolução de uma população de rotas, aplicando operadores genéticos como seleção, cruzamento e mutação.

Características: Utiliza um algoritmo evolutivo para encontrar as boas soluções em tempo viável, implementa diferentes técnicas de mutação

(inserção, mistura, troca e inversão), utiliza roleta viciada para escolher os pais para cruzamento e por fim dá a opção da utilização da técnica 2-OPT para refinamento local dos indivíduos.

---

## Testes Realizados

### 1. Algoritmo Ótimo:

O primeiro teste realizado no algoritmo ótimo, foi utilizando um grafo completo de 15 cidades. Com os resultados deste teste podemos perceber logo de cara, a eficiência do algoritmo ao encontrar uma rota válida, com o melhor custo possível nesse grafo com um tempo de execução extremamente satisfatório.

```
--- Resultados do Algoritmo Ótimo ---
Quantidade de Cidades: 15
Rota Encontrada:
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 0
Custo Mínimo: 312.0
Tempo de Execução: 0 minutos, 0 segundos e 629 milissegundos
```

O segundo teste realizado no algoritmo ótimo, foi utilizando um grafo completo de 20 cidades diferentes do anterior. Logo de cara, também podemos perceber que o algoritmo sente muita dificuldade para descobrir uma solução ótima ao aumentar o tempo de execução para mais de 5 minutos.

```
--- Resultados do Algoritmo Otimo ---
Quantidade de Cidades: 20
Rota Encontrada:
0 1 7 11 13 14 6 3 12 10 19 5 15 18 17 2 4 16 8 9 0
Custo Mínimo: 527.0
Tempo de Execução: 5 minutos, 7 segundos e 846 milissegundos
```

Teste com grafos completos com mais de 20 cidades, acabam sendo impossíveis de executar nesse tipo de algoritmo, uma vez que eles acabam tendo uma complexidade exponencial.

## 2. Algoritmo Genético:

O primeiro teste realizado no algoritmo genético, foi também com um grafo completo de 15 cidades. Os resultados são muito parecidos com o algoritmo ótimo, o que podemos notar é em relação a forma com a qual a qualidade dos indivíduos são modificados conforme as gerações vão passando.

```
--- Progresso das Gerações ---
Geração 1 - Média de Custo = 564,34, Melhor Custo Global = 396
Geração 2 - Média de Custo = 492,88, Melhor Custo Global = 360
Geração 3 - Média de Custo = 447,47, Melhor Custo Global = 342
Geração 4 - Média de Custo = 378,27, Melhor Custo Global = 340
Geração 5 - Média de Custo = 353,08, Melhor Custo Global = 330
Geração 6 - Média de Custo = 351,01, Melhor Custo Global = 312
Geração 7 - Média de Custo = 344,72, Melhor Custo Global = 312
Geração 8 - Média de Custo = 320,96, Melhor Custo Global = 312
Geração 9 - Média de Custo = 312,92, Melhor Custo Global = 312
Geração 10 - Média de Custo = 312,41, Melhor Custo Global = 312
Geração 11 - Média de Custo = 312,21, Melhor Custo Global = 312
Geração 12 - Média de Custo = 312,27, Melhor Custo Global = 312
Geração 13 - Média de Custo = 312,41, Melhor Custo Global = 312
Geração 14 - Média de Custo = 312,40, Melhor Custo Global = 312
Geração 15 - Média de Custo = 313,06, Melhor Custo Global = 312

--- Informações Importantes ---
Quantidade de Cidades: 15
Melhor Rota Encontrada:
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 0
Custo Final: 312
Tempo de Execução: 0 minutos, 0 segundos e 693 milissegundos
```

Já o segundo teste realizado no algoritmo genético, foi com o mesmo grafo de 20 cidades diferentes utilizado anteriormente. Com os

resultados obtidos podemos perceber que a aleatória, acaba “atrapalhando” o algoritmo a entregar a melhor solução possível.

```
--- Progresso das Gerações ---
Geração 1 - Média de Custo = 1105,01, Melhor Custo Global = 733
Geração 2 - Média de Custo = 1021,06, Melhor Custo Global = 676
Geração 3 - Média de Custo = 901,68, Melhor Custo Global = 630
Geração 4 - Média de Custo = 819,81, Melhor Custo Global = 602
Geração 5 - Média de Custo = 766,15, Melhor Custo Global = 591
Geração 6 - Média de Custo = 723,07, Melhor Custo Global = 543
Geração 7 - Média de Custo = 710,00, Melhor Custo Global = 543
Geração 8 - Média de Custo = 657,00, Melhor Custo Global = 538
Geração 9 - Média de Custo = 576,69, Melhor Custo Global = 535
Geração 10 - Média de Custo = 549,72, Melhor Custo Global = 535
Geração 11 - Média de Custo = 545,45, Melhor Custo Global = 535
Geração 12 - Média de Custo = 546,67, Melhor Custo Global = 530
Geração 13 - Média de Custo = 548,43, Melhor Custo Global = 530
Geração 14 - Média de Custo = 550,76, Melhor Custo Global = 530
Geração 15 - Média de Custo = 553,38, Melhor Custo Global = 530

--- Informações Importantes ---
Quantidade de Cidades: 20
Melhor Rota Encontrada:
3 6 14 13 0 1 11 7 17 2 4 16 8 9 18 15 5 19 10 12 3
Custo Final: 530
Tempo de Execução: 0 minutos, 21 segundos e 118 milissegundos
```

O teste extra realizado com o algoritmo genético, foi com o mesmo grafo de 20 cidades, entretanto utilizando uma técnica de refinamento chamada 2-OPT que reduz o custo da rota, trocando duas arestas de lugar e verificando se essa mudança resulta em uma solução melhor. Como podemos observar nos resultados obtidos, já na primeira geração encontramos a solução ótima, mostrando a eficiência deste algoritmo com a técnica de refinamento.

```
--- Progresso das Gerações ---
Geração 1 - Média de Custo = 567,62, Melhor Custo Global = 527
Geração 2 - Média de Custo = 553,39, Melhor Custo Global = 527
Geração 3 - Média de Custo = 544,86, Melhor Custo Global = 527
Geração 4 - Média de Custo = 538,69, Melhor Custo Global = 527
Geração 5 - Média de Custo = 533,15, Melhor Custo Global = 527
Geração 6 - Média de Custo = 528,75, Melhor Custo Global = 527
Geração 7 - Média de Custo = 527,44, Melhor Custo Global = 527
Geração 8 - Média de Custo = 527,05, Melhor Custo Global = 527
Geração 9 - Média de Custo = 527,00, Melhor Custo Global = 527
Geração 10 - Média de Custo = 527,00, Melhor Custo Global = 527
Geração 11 - Média de Custo = 527,00, Melhor Custo Global = 527
Geração 12 - Média de Custo = 527,00, Melhor Custo Global = 527
Geração 13 - Média de Custo = 527,00, Melhor Custo Global = 527
Geração 14 - Média de Custo = 527,00, Melhor Custo Global = 527
Geração 15 - Média de Custo = 527,00, Melhor Custo Global = 527

--- Informações Importantes ---
Quantidade de Cidades: 20
Melhor Rota Encontrada:
12 3 6 14 13 11 7 1 0 9 8 16 4 2 17 18 15 5 19 10 12
Custo Final: 527
Tempo de Execução: 0 minutos, 22 segundos e 71 milissegundos
```

---

## Conclusão

Este trabalho explora duas abordagens para resolver o Problema do Caixeiro Viajante, permitindo comparar a eficiência e a qualidade das soluções obtidas. A escolha do melhor método depende da necessidade de precisão versus tempo de execução.

---