

Colônia de Formigas (ACO) e o Problema do Caixeiro Viajante (PCV)

O objetivo é utilizar o Algoritmo baseado em Colônia de Formigas (técnica de Inteligência Coletiva ou Inteligência de Enxame) para encontrar a solução do problema clássico da computação conhecido por Problema do Caixeiro Viajante (PCV).

O problema do caixeiro viajante (PCV ou TSP – *Traveling Salesman Problem*) é assim definido: dado um número finito de cidades e o custo de viagem entre cada par, deve-se encontrar o caminho que passa por todas as cidades e retorna para o ponto inicial com custo mínimo, passando por cada cidade apenas uma vez. Embora seja simples de definir, o TSP é um problema combinatório clássico comprovadamente NP-Difícil com aplicações nas áreas de logística, genética, telecomunicações e neurociência, entre outras.

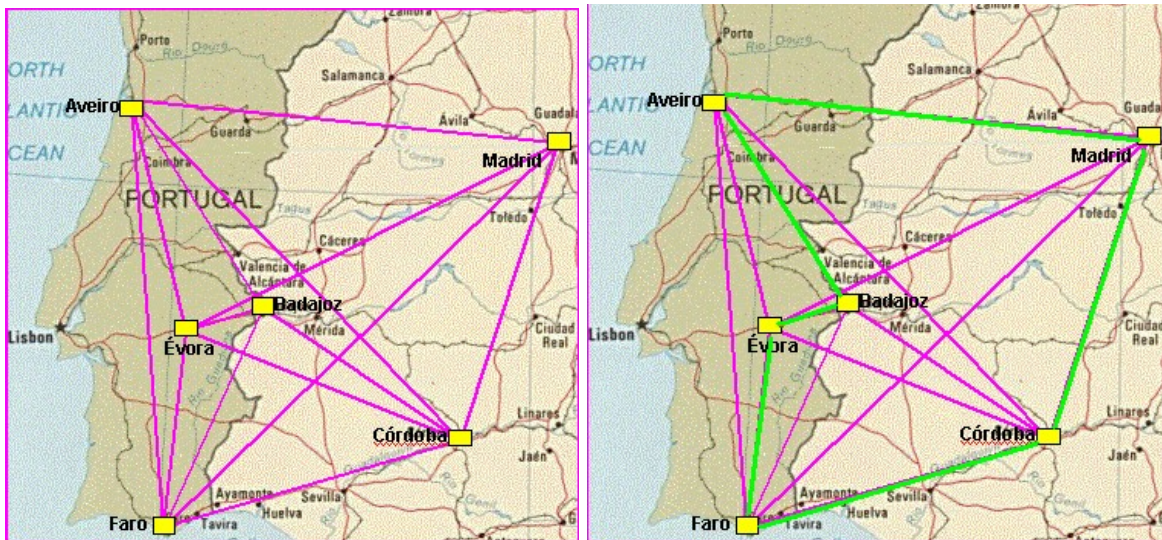
O problema do caixeiro viajante pode ser definido formalmente da seguinte maneira:

Seja $G = (V, A)$ um grafo, onde V é um conjunto de N vértices e A é um conjunto de arestas. Seja C a matriz de distâncias associada com A . O TSP consiste em determinar o menor ciclo hamiltoniano, ou seja, o menor ciclo que passa por todos os vértices somente uma vez. Um caso específico do problema do caixeiro viajante é o simétrico, onde o caminho que leva da cidade i à cidade j é o mesmo que leva da cidade j à cidade i com igual distância.

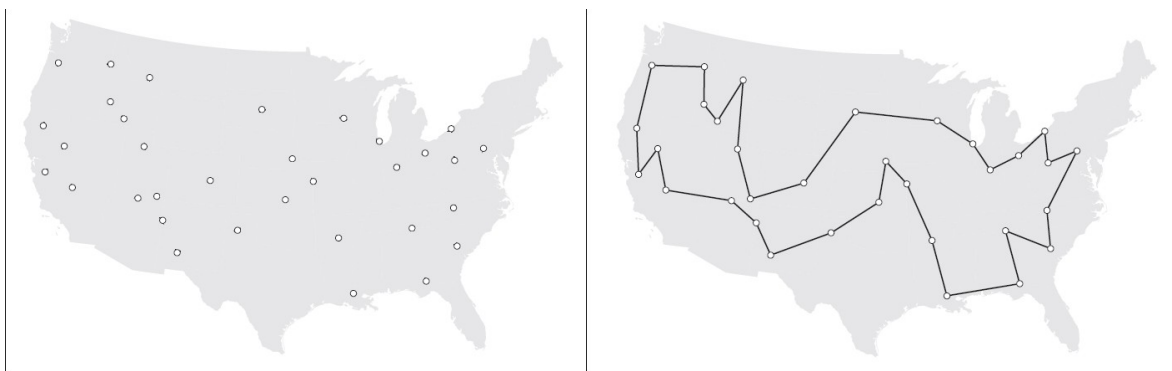
A figura a seguir apresenta uma instância do TSP com 6 cidades da Península Ibérica, sendo que nessa versão os vértices são considerados totalmente conectados e as arestas simétricas. Representa-se abaixo a respectiva rede de cidades e uma tabela das distâncias quilométricas entre elas:

| | Évora | Faro | Badajoz | Córdoba | Madrid |
|---------|-------|------|---------|---------|--------|
| Aveiro | 353 | 582 | 372 | 641 | 559 |
| Évora | | 231 | 99 | 426 | 502 |
| Faro | | | 331 | 326 | 750 |
| Badajoz | | | | 269 | 403 |
| Córdoba | | | | | 424 |

Uma solução possível para esse problema é o circuito que se inicia em Badajoz e segue por Évora, Faro, Córdoba, Madrid, Aveiro regressando a Badajoz, num total de 2011 Km. Esse circuito está representado em verde na figura à direita.



A figura a seguir apresenta uma instância do TSP com 30 cidades, a qual ganhou destaque na década de 1960 ao ser apresentada em uma campanha de publicidade que ofereceu \$10.000 para quem encontrasse o melhor resultado. O problema foi proposto de uma forma que atraiu a atenção do público: o objetivo era ajudar dois policiais a acharem a melhor rota para sua vigília noturna.



Especificação do Trabalho

1ª Parte – Implementação

Para a solução do PCV, os alunos deverão utilizar o algoritmos baseado em colônia de formigas. Deve ser implementado um ambiente computacional que, uma vez especificada a instância do PCV a ser resolvido, busque encontrar a melhor rota possível.

Deverá ser considerada a versão do PCV na qual os vértices são totalmente conectados e as arestas simétricas. Para cada instância do PCV a ser resolvida pelos três métodos bio-inspirados deverão ser fornecidos ao sistema: o número de cidades do grafo (N) e a distância associada a cada par de cidades. Essa distância pode ser fornecida de forma direta como na tabela do exemplo acima, ou através das coordenadas dessas cidades que permitam o cálculo das distâncias euclidianas entre as cidades. Por exemplo, suponha um mapa com 15 cidades que tenham as seguintes coordenadas (X,Y):

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 | C13 | C14 | C15 |
|---|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-----|------|
| X | 200 | 300 | 300 | 1000 | 600 | 1700 | 1400 | 1200 | 200 | 1200 | 500 | 1000 | 1900 | 400 | 1600 |
| Y | 300 | 700 | 1700 | 1900 | 1400 | 1600 | 800 | 500 | 1000 | 1100 | 900 | 900 | 1000 | 500 | 200 |

Para se obter a distancia de cada par de cidades é necessário calcular a distância euclidiana entre as duas cidades. Por exemplo, $d(C1,C2) = 412,31$ km. O ambiente implementado deve prever os dois tipos de entrada:

- (1) valores das distâncias das arestas informados de forma direta,
- (2) valores das coord. (X,Y) das cidades informadas para cálculo das distâncias euclidianas.

Os grupos devem executar 50 execuções de cada algoritmo em cada instância avaliada do PCV para obter uma análise estatística do desempenho dos algoritmos nesse problema, apresentando as conclusões dessa análise em seu relatório.

Quatro instancias do PCV apresentadas no anexo devem ser avaliadas. Outras instâncias (não é obrigatório) podem ser encontradas no TSPLIB, que é um repositório de dados com várias fontes e tipos de exemplos relacionados ao problema do caixeiro viajante (Travel Sallesman Problem) [G. Reinelt. TSPLIB, 1991]. Os arquivos fornecidos seguem uma padronização específica, onde o ótimo global e o melhor caminho é conhecido. Entretanto, é importante observar que o padrão dos dados de entrada varia de exemplo para exemplo, mas está tudo explicado no site.

ANEXO:

As quatro instâncias do PCV obrigatórias são:

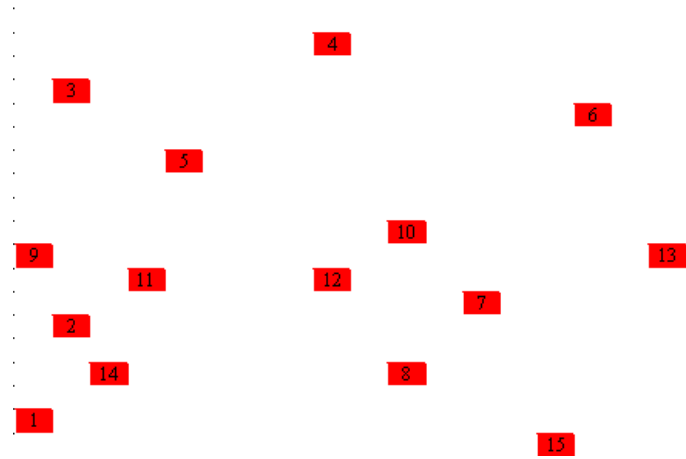
- 1- **M6:** mapa Portugal/Espanha definido acima com 6 cidades onde as distâncias entre as cidades foram fornecidas em tabela. Melhor resultado conhecido: 2011 km.

| | <i>Évora</i> | <i>Faro</i> | <i>Badajoz</i> | <i>Córdoba</i> | <i>Madrid</i> |
|----------------|--------------|-------------|----------------|----------------|---------------|
| <i>Aveiro</i> | 353 | 582 | 372 | 641 | 559 |
| <i>Évora</i> | | 231 | 99 | 426 | 502 |
| <i>Faro</i> | | | 331 | 326 | 750 |
| <i>Badajoz</i> | | | | 269 | 403 |
| <i>Córdoba</i> | | | | | 424 |

- 2- **M15:** mapa hipotético de 15 cidades, com as coordenadas dadas abaixo.

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 | C13 | C14 | C15 |
|---|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-----|------|
| X | 200 | 300 | 300 | 1000 | 600 | 1700 | 1400 | 1200 | 200 | 1200 | 500 | 1000 | 1900 | 400 | 1600 |
| Y | 300 | 700 | 1700 | 1900 | 1400 | 1600 | 800 | 500 | 1000 | 1100 | 900 | 900 | 1000 | 500 | 200 |

Visualmente, esse mapa teria a seguinte forma:



3- **M29:** mapa real com 29 cidades cujas coordenadas (X,Y) são dadas a seguir:

```

1 20833.3333 17100.0000
2 20900.0000 17066.6667
3 21300.0000 13016.6667
4 21600.0000 14150.0000
5 21600.0000 14966.6667
6 21600.0000 16500.0000
7 22183.3333 13133.3333
8 22583.3333 14300.0000
9 22683.3333 12716.6667
10 23616.6667 15866.6667
11 23700.0000 15933.3333
12 23883.3333 14533.3333
13 24166.6667 13250.0000
14 25149.1667 12365.8333
15 26133.3333 14500.0000
16 26150.0000 10550.0000
17 26283.3333 12766.6667
18 26433.3333 13433.3333
19 26550.0000 13850.0000
20 26733.3333 11683.3333
21 27026.1111 13051.9444
22 27096.1111 13415.8333
23 27153.6111 13203.3333
24 27166.6667 9833.3333
25 27233.3333 10450.0000
26 27233.3333 11783.3333
27 27266.6667 10383.3333
28 27433.3333 12400.0000
29 27462.5000 12992.2222

```

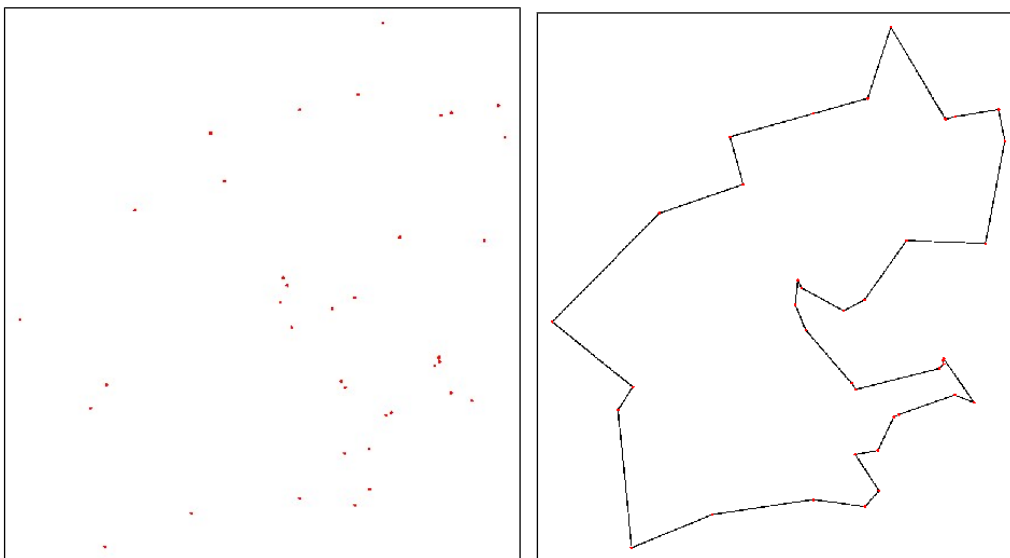


Melhor resultado conhecido para M29: 27603

4- **M38:** mapa real com 38 cidades cujas coordenadas (X,Y) são dadas a seguir:

| | | |
|----|--------------|--------------|
| 1 | 11003.611100 | 42102.500000 |
| 2 | 11108.611100 | 42373.888900 |
| 3 | 11133.333300 | 42885.833300 |
| 4 | 11155.833300 | 42712.500000 |
| 5 | 11183.333300 | 42933.333300 |
| 6 | 11297.500000 | 42853.333300 |
| 7 | 11310.277800 | 42929.444400 |
| 8 | 11416.666700 | 42983.333300 |
| 9 | 11423.888900 | 43000.277800 |
| 10 | 11438.333300 | 42057.222200 |
| 11 | 11461.111100 | 43252.777800 |
| 12 | 11485.555600 | 43187.222200 |
| 13 | 11503.055600 | 42855.277800 |
| 14 | 11511.388900 | 42106.388900 |
| 15 | 11522.222200 | 42841.944400 |
| 16 | 11569.444400 | 43136.666700 |
| 17 | 11583.333300 | 43150.000000 |
| 18 | 11595.000000 | 43148.055600 |
| 19 | 11600.000000 | 43150.000000 |
| 20 | 11690.555600 | 42686.666700 |
| 21 | 11715.833300 | 41836.111100 |
| 22 | 11751.111100 | 42814.444400 |
| 23 | 11770.277800 | 42651.944400 |
| 24 | 11785.277800 | 42884.444400 |
| 25 | 11822.777800 | 42673.611100 |
| 26 | 11846.944400 | 42660.555600 |
| 27 | 11963.055600 | 43290.555600 |
| 28 | 11973.055600 | 43026.111100 |
| 29 | 12058.333300 | 42195.555600 |
| 30 | 12149.444400 | 42477.500000 |
| 31 | 12286.944400 | 43355.555600 |

```
32 12300.000000 42433.333300
33 12355.833300 43156.388900
34 12363.333300 43189.166700
35 12372.777800 42711.388900
36 12386.666700 43334.722200
37 12421.666700 42895.555600
38 12645.000000 42973.333300
```



Melhor resultado conhecido para M38: 6656