

Introdução à Inteligência Artificial

Licenciatura em Engenharia Informática, Engenharia Informática – Pós-Laboral e Engenharia Informática – Curso Europeu

2º Ano – 1º semestre

2025/2026

Trabalho Prático nº 2 *Problema de Otimização*

1. Objetivos

Conceber, implementar e testar métodos de otimização que encontrem soluções de boa qualidade para diferentes instâncias do problema a seguir descrito.

2. Descrição do Problema

Uma câmara municipal pretende criar um roteiro turístico sustentável escolhendo vários pontos de interesse de uma lista de candidaturas recebidas.

Não quer que os pontos escolhidos fiquem demasiado próximos uns dos outros, para evitar concentração de visitantes e promover a dispersão do turismo no território. Ou seja, o objetivo é escolher um conjunto de locais turísticos o mais espalhado possível, equilibrando o fluxo de visitantes e incentivando a exploração de zonas diferentes do concelho.

Formulação:

O número de candidaturas será designado por **C** e o número de pontos turísticos a construir será designado por **m**.

Cada ponto turístico é um elemento e_i

A $dist(e_i, e_j)$ é a distância geográfica entre dois locais.

Pretende-se escolher um subconjunto de tamanho **m** da lista de candidaturas **C** recebidas, de forma a **maximizar a distância média entre os m pontos selecionados**.

A distância média de um subconjunto de tamanho **m** de pontos turísticos P é calculada da seguinte forma:

$$DM(P) = \frac{1}{m} \times \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m dist(e_i, e_j)$$

em que $dist(e_i, e_j)$ representa a distância entre os pontos i e j que foram selecionados para a solução. O objetivo da otimização é encontrar a solução que maximiza este valor, mas respeitando o número de pontos turísticos (**m**) a construir. Caso a solução apresentada não escolha um número de locais igual a **m** deve ser considerada uma solução inválida.

De forma a perceber melhor este conceito, suponha que foi usado o exemplo do ficheiro **tourism_5.txt**, que possui $C = 5$ e onde se pretende selecionar apenas $m = 3$ locais para construção.

Na matriz seguinte estão as distâncias entre os 5 pontos, gerada a partir das distâncias que estão guardadas no ficheiro:

	e1	e2	e3	e4	e5
e1	0	50.2	82.4	32.7	33.2
e2	50.2	0	72.6	72.5	17.0
e3	82.4	72.6	0	71.7	70.9
e4	32.7	72.5	71.7	0	56.5
e5	33.2	17.0	70.9	56.5	0

Figura 1 – Matriz de distâncias entre pontos turísticos

Duas soluções possíveis para o problema poderiam ser:

$$S1 = \{e1, e2, e4\}$$

$$S2 = \{e2, e4, e5\}$$

Usando a formula da distância média, descrita acima, a solução S1 teria uma qualidade de **51.8** e a solução S2 teria uma qualidade de **48.7**. Logo, a solução S1 seria uma melhor solução que S2.

Instâncias para teste

Estão disponíveis no *Moodle* algumas instâncias deste problema para teste. O formato dos ficheiros de texto, onde está armazenada a informação de cada uma das instâncias, é o seguinte:

- Na primeira linha encontra-se o número de candidaturas totais recebidas (C) e o número de locais a construir (m).
- Nas linhas seguintes estão as distâncias entre cada par de locais recebidos nas C candidaturas, i.e., a $dist(e_i, e_j)$.

Exemplo:

```

x  tourism_5.txt
5 3
e1 e2 50.171360
e1 e3 82.421549
e1 e4 32.755369
e1 e5 33.198071
e2 e3 72.642889
e2 e4 72.506609
e2 e5 17.058938
e3 e4 71.690251
e3 e5 70.915510
e4 e5 56.557921

```

Além deste ficheiro, existem 5 ficheiros adicionais com diferentes complexidades. Para questões de implementação, pode assumir que o número máximo de candidaturas que pode existir é 500.

3. Métodos de Otimização

Neste trabalho pretende-se que implemente e avalie a capacidade de diferentes algoritmos de otimização para encontrar soluções de boa qualidade para o problema descrito. Sendo assim, no seu estudo deverá implementar os 3 métodos seguintes e efetuar um estudo comparativo aprofundado sobre o desempenho da otimização. No Moodle estão disponibilizados vários ficheiros de instâncias, com complexidades diferentes, para efetuar o estudo experimental dos vários algoritmos.

Os algoritmos a implementar e testar são os seguintes:

1. Algoritmo de pesquisa local (escolha apenas um algoritmo entre, trepa-colinas, recristalização simulada ou outro, desde que aprovado pelo professor que lhe vai fazer a defesa)
 - Escolha uma representação apropriada para as soluções;
 - Implemente a função de avaliação apropriada ao objetivo do problema descrito;
 - Proponha estratégias para lidar com soluções inválidas (penalização, reparação, ...);
 - Devem ser exploradas pelo menos duas vizinhanças diferentes.
2. Algoritmo evolutivo
 - Use a mesma representação e a mesma função de avaliação que utilizou no algoritmo de pesquisa local;
 - Proponha estratégias para lidar com soluções inválidas (penalização, reparação, ...);
 - Devem ser explorados pelo menos dois operadores de recombinação e dois operadores de mutação diferentes;
 - Devem ser explorados dois métodos de seleção diferentes.
3. Método híbrido combinando as duas abordagens anteriores
 - Devem ser exploradas pelo menos duas abordagens híbridas diferentes usando os dois algoritmos implementados nos pontos 1 e 2.

4. Estudo experimental

O estudo experimental deve analisar os parâmetros e componentes de cada algoritmo que podem ter influência no seu desempenho nos 5 ficheiros fornecidos.

No algoritmo de pesquisa local deve realizar o estudo experimental variando:

- Número de iterações
- Se optar pela recristalização simulada: valores de T_{min} , T_{max} , *fator arrefecimento*
- Aceitar soluções de custo igual
- Comparar duas vizinhanças diferentes

No algoritmo evolutivo deve realizar o estudo experimental variando:

- Tamanho da população
- Operadores de recombinação / mutação
- Probabilidades do operador de recombinação / mutação
- Comparar dois métodos de seleção diferentes

Abordagens híbridas

- Escolher os melhores algoritmos encontrados no estudo experimental anterior para construir as abordagens híbridas (melhor pesquisa local + melhor evolutivo)
- Comparar as duas abordagens híbridas

No relatório, após o estudo individual de cada algoritmo deve apresentar uma tabela de comparação com os resultados obtidos por:

- Melhor pesquisa local
- Melhor evolutivo
- Abordagem híbrida 1
- Abordagem híbrida 2

As experiências devem ser repetidas pelo menos 10 vezes e as conclusões do estudo devem ser baseadas na comparação do melhor valor obtido e dos valores médios.

5. Critérios de avaliação

- Originalidade e correção dos algoritmos implementados:
 - Pesquisa local (10%)
 - Algoritmo evolutivo (20%)
 - Abordagens híbridas (10%)
- Experimentação e análise:
 - Pesquisa local (10%)
 - Algoritmo evolutivo (20%)
 - Abordagens híbridas (10%)
- Documentação e defesa (20%)

Nota: os trabalhos onde os alunos tenham um desempenho negativo na defesa e na explicação do trabalho serão fortemente penalizados.

6. Normas de realização do trabalho prático

- O trabalho deve ser realizado em grupos de dois alunos. Em casos excepcionais, com a autorização do docente da turma prática a que assiste, o trabalho poderá ser realizado individualmente. Confirme com o docente da turma prática que frequenta se tal situação é possível.
- Os trabalhos devem preferencialmente ser implementados em linguagem C. Caso pretenda implementar noutra linguagem, devem confirmar essa possibilidade com o professor da aula prática.
- Os trabalhos serão sujeitos a defesa obrigatória, em data a anunciar, com inscrição obrigatória.
- Cotação do trabalho: **6 valores**

7. Entrega e defesa do Trabalho

- Data limite para entrega: **23h59m do dia 14 de dezembro de 2025**
- Será dada uma penalização de **25%** por cada dia de atraso;
- Deverá ser submetido um ficheiro compactado em formato ZIP, devidamente identificado com os nomes e números dos alunos que realizaram o trabalho. Esse ficheiro deverá conter o seguinte:
 - **Relatório** abordando, pelo menos, os seguintes pontos:
 - Representação usada para o problema, descrição da função de avaliação e objetivo da otimização;
 - Descrição dos algoritmos e/ou das heurísticas utilizadas. Explicar quais as vizinhanças, métodos de seleção e operadores genéticos implementados;
 - Justificação das principais opções tomadas;
 - Resultados dos testes efetuados e respetiva análise. Os resultados a mostrar no relatório devem ser apenas um resumo baseado em tabelas/gráficos apresentando médias de várias repetições e respetivas conclusões. O estudo completo deve ser anexado num ficheiro Excel.
 - **Código fonte** do programa, executável e exemplos para teste;
 - **Ficheiro Excel** com os testes realizados para cada algoritmo.
- O trabalho deve ser entregue através da plataforma *Moodle* no link da turma que um dos elementos do grupo frequente.
- Um dos elementos do grupo terá de efetuar a inscrição para a defesa do trabalho no Moodle.
- A inscrição na defesa deve ser feita **no slot da mesma turma** onde foi submetido o trabalho
- As defesas serão realizadas na semana **15 a 19 de dezembro**.
- As defesas são obrigatórias.
- As defesas terão uma duração prevista de 15 min / grupo.