

## Investigação Operacional

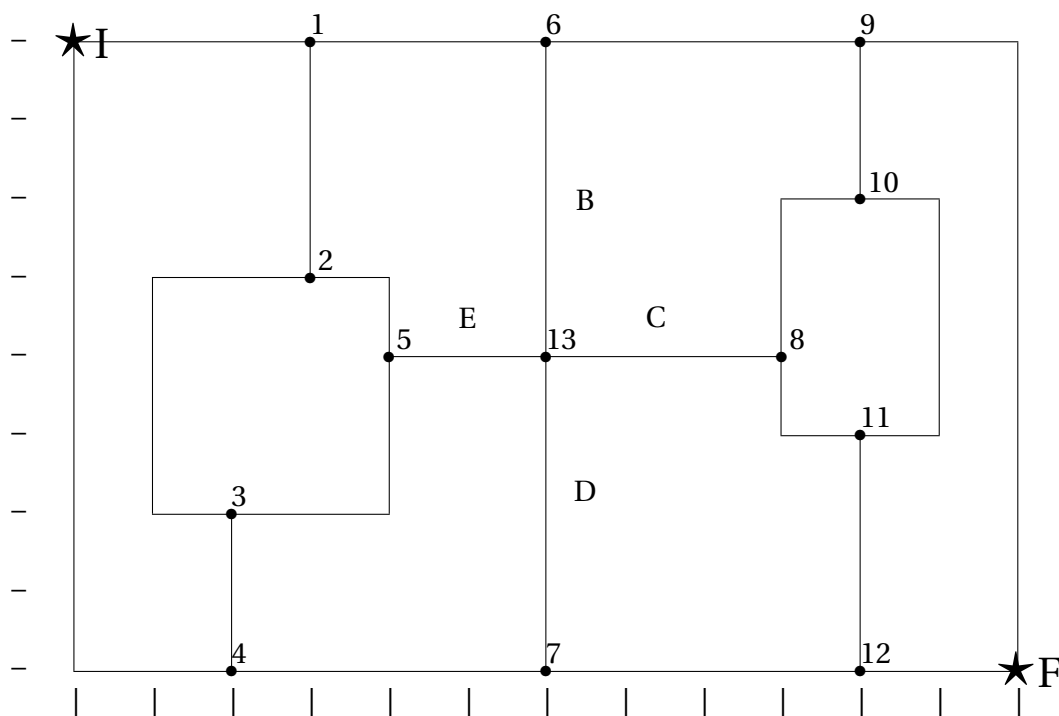
LEI - UMinho

Trabalho 1 (data de entrega: 22 de março)

Há situações em que se pretende determinar o percurso em que todas as arestas<sup>1</sup> de um grafo são percorridas, pelo menos, uma vez, minimizando a distância total percorrida. As arestas podem ser percorridas em qualquer sentido, e pode ser necessário atravessar a mesma aresta mais de uma vez.

### DRONE (com início e fim de percurso diferentes)

Este problema ocorre quando um veículo não tripulado tem de inspecionar linhas de transporte de energia eléctrica em alta tensão para verificar se há vegetação a interferir com as linhas. Para reposicionar o drone para recomençar a inspecção de uma nova linha não é necessário seguir as linhas de alta tensão, bastando **fazer o percurso mais curto** através do ar. A distância associada a esse percurso, dada pelo comprimento do segmento de recta entre dois pontos, é habitualmente designada por **distância euclidiana**. Considere o mapa de linhas de alta tensão apresentado na Figura:



Numa situação real, o drone parte do depósito localizado num ponto e regressa ao mesmo ponto, o local onde normalmente fica estacionado. Um percurso deste tipo corresponde a um **circuito Euleriano**. Neste trabalho, vamos considerar uma situação idealizada em que os pontos de partida e de chegada do drone são os pontos **I** e **F**, respectivamente. Trata-se de um percurso denominado

<sup>1</sup>uma aresta liga um par de vértices e não tem sentido associado

o **caminho Euleriano**. Embora o problema do circuito Euleriano seja mais comum, há situações em que o objectivo é **determinar o caminho Euleriano**.

As linhas de alta tensão (arestas do grafo) podem ser percorridas em qualquer sentido. Considere que as linhas têm um comprimento inteiro, proporcional à dimensão do seu traço em centímetros. E sempre a numeração dos vértices indicada. Deve remover algumas das linhas BCDE de acordo com as regras enunciadas em baixo.

### Remoção de arestas BCDE

Seja ABCDE o número de inscrição do estudante do grupo com maior número de inscrição.

- se B par, remover a aresta B;
- se C par, remover a aresta C;
- se D par, remover a aresta D;
- se E par, remover a aresta E;

O quadro com as distâncias euclidianas entre os vértices é a seguinte:

[illegible]

## PARTE I

0. Indique o valor de ABCDE, e apresente a rede após a devida remoção das arestas.
1. Apresente a formulação deste problema (ver informação no Anexo).
2. Apresente o modelo de programação linear (ver informação no Anexo).
3. Apresente o ficheiro de input (*cut-and-paste*).
4. Apresente o ficheiro de output produzido pelo programa (*cut-and-paste*).
5. Interprete a solução óptima, apresente o percurso que o drone deve efectuar, e calcule a distância total percorrida.
6. Descreva os procedimentos usados para validar o modelo.
7. Faça *upload* no BlackBoard (ver informação adicional no Anexo) dos ficheiros:
  - ABCDE.pdf, com o relatório do trabalho
  - ABCDE.lp, com o ficheiro de input

## ANEXO

### Objectivo

Os trabalhos práticos experimentais visam desenvolver a capacidade de analisar sistemas complexos, de criar modelos para os descrever, de obter soluções para esses modelos utilizando programas computacionais adequados, de validar os modelos obtidos, de interpretar as soluções obtidas, e de elaborar recomendações para o sistema em análise.

### Apresentação da formulação e do modelo

Um dos aspectos mais valorizados é a correcção da apresentação das formulações e dos modelos, que devem ser delineados como se indica de seguida.

Formulação:

- A formulação do problema é a ideia (fórmula) subjacente à construção do modelo.
- Usando linguagem corrente e em linhas gerais, deve conter:
  1. a descrição do problema, indicando aspectos relevantes, como os recursos disponíveis ou regras gerais de funcionamento;
  2. o objectivo;
  3. a escolha das variáveis de decisão e o modo como os valores das variáveis de decisão (ou conjuntos de valores) se traduzem em decisões a implementar no sistema real;
  4. uma apresentação da coerência global do modelo a construir, *i.e.*, como se pretende representar o problema do sistema real através de um modelo com restrições lineares e uma função objectivo linear;
  5. em casos mais complexos em que a formulação não é de todo evidente, por ser justificada por resultados teóricos, estes devem ser apresentados, ou, em alternativa, deve ser fornecida evidência suficiente, complementada por referências bibliográficas.

Modelo:

- Usando linguagem matemática, a apresentação de cada elemento do modelo (eventualmente agrupando elementos) deverá ser justificada e acompanhada de uma explicação com detalhe do seu significado, e de uma identificação da dimensão de cada elemento:
  1. variáveis de decisão (*e.g.*,  $x_i$  : número de artigos de tipo  $i$  a produzir por hora,  $i = 1, 2$ ). Adicionalmente, deverá haver uma declaração do tipo de variável, por exemplo:
    - $x_1, x_2 \geq 0$  (ou  $x_1, x_2 \in \mathbb{R}_{\geq 0}$  ou  $x \in \mathbb{R}_{\geq 0}^2$ );
    - $x_1, x_2 \geq 0$  e inteiros (ou  $x_1, x_2 \in \mathbb{Z}_{\geq 0}$  ou  $x \in \mathbb{Z}_{\geq 0}^2$ ); ou

- $x_1, x_2 \in \{0, 1\}$  (ou  $x_1, x_2 \in \mathbb{B}$  ou  $x \in \mathbb{B}^2$  ou  $x \in \{0, 1\}^2$ ).
  - 2. parâmetros (*e.g.*, número de artigos disponíveis/mês, número de horas da máquina  $j$  disponíveis / dia,  $j = 1, \dots, m$ , etc.);
  - 3. função objectivo (linear) (*e.g.*, lucro diário), explicitando se se trata de um problema de maximização ou minimização;
  - 4. restrições (lineares), eventualmente com uma verificação da coerência dimensional das funções lineares das restrições quando elas se relacionam com dados do problema (*e.g.*, horas da máquina  $j$  / dia,  $j = 1, \dots, m$ , etc.).
- Finalmente, pode justificar-se aprofundar a análise da coerência global do modelo, mostrando que:
    1. as restrições (ou os grupos de restrições) traduzem as regras de funcionamento do sistema e definem um conjunto de soluções que permite obter qualquer decisão admissível no sistema real;
    2. a função objectivo traduz a medida desejada de eficiência do sistema;

Outros aspectos que são também valorizados são os relacionados com a metodologia da Investigação Operacional. Por exemplo, o trabalho de validação do modelo, que deve necessariamente incluir uma verificação de que a solução obtida pelo *solver* é uma decisão admissível e correcta do modelo e que pode ser traduzida numa decisão adequada ao sistema real.

### **Grupos de Trabalho**

- Os trabalhos experimentais devem ser realizados em grupos de 3, 4 ou 5 estudantes.
- Os estudantes de um grupo podem pertencer a turnos TP diferentes.
- A constituição de um grupo de trabalho fica definida através da listagem dos nomes e números mecanográficos dos elementos do grupo, na capa do relatório do trabalho. Antes disso, não é necessário enviar aos docentes da UC qualquer informação.
- Foi criado um forum para ajudar os estudantes interessados a encontrar colegas para formar um grupo de trabalho.

### **Formato do Relatório**

- O relatório deve ser feito em formato A4, ter uma folha de capa com a identificação dos estudantes do grupo, do trabalho e da data.
- O relatório de cada trabalho experimental deve traduzir a experiência de modelação e resolução dos casos propostos e conter as peças requeridas no enunciado do trabalho.

- Não é desejável que o estudante perca muito tempo com a qualidade de "apresentação gráfica", que não é valorizada. O relatório pode incluir texto editado com processador de texto, desenhos e gráficos feitos em computador, e também texto manuscrito legível e desenhos feitos manualmente, fotografados e colados como imagens. É aceitável haver páginas que combinem elementos de todos estes tipos.
- Poderá incluir a discussão de dificuldades surgidas durante a realização do trabalho.

### **Entrega dos Relatórios dos Trabalhos e dos ficheiros associados**

- No Blackboard, na entrada > upload ficheiros de trabalhos (Práticos Experimentais).
- Deve ser feita apenas por um dos elementos do grupo.
- Nomes dos ficheiros:
  - o nome do ficheiro com o Relatório deve ser ABCDE .pdf, um ficheiro do tipo pdf preferencialmente. Caso não disponham de ferramentas para o gerar, poderá ser um ficheiro Word com o nome ABCDE .doc ou de outro tipo convertível para pdf.
  - o nome do ficheiro de input deve ser ABCDE .1p

em que ABCDE é o número de inscrição do aluno do grupo com maior número de inscrição.

### **Outras Informações**

Os trabalhos em que haja conduta académica ilícita serão anulados, de acordo com o definido no Art. 152.º do Regulamento Académico da Universidade do Minho (RAUM), publicado em Diário da República, 2.ª Série, em 20 de janeiro de 2020, e proceder-se-á conforme está definido nesse artigo.

### **Dispensa de realização de Trabalhos Práticos Experimentais**

Aplica-se o que está descrito em baixo, a menos que algum despacho superveniente estabeleça outras regras.

#### **1. Estudantes sem regime especial de frequência**

Um estudante que não tenha obtido aproveitamento na UC num ano lectivo anterior, apesar de ter tido classificação positiva nos trabalhos, não está dispensado da realização dos trabalhos no ano lectivo corrente.

#### **2. Estudantes em regime especial de frequência de estudante-trabalhador**

Segundo está determinado no Artigo 68.º - Frequência e avaliação das aprendizagens - do Regulamento Académico da Universidade do Minho (RAUM):

5 - O estudante trabalhador que obtenha aproveitamento na componente de natureza laboratorial ou componente de trabalho prático num dado ano letivo e não obtenha aproveitamento na respetiva UC fica dispensado de efetuar essa componente no ano letivo seguinte.

Assim, no corrente ano, essa dispensa não é válida para os estudantes trabalhadores que realizaram os trabalhos há dois ou mais anos.

3. Alunos em outros regimes especiais de frequência

Aplica-se o determinado no RAUM. Solicita-se aos alunos nestes regimes que informem o docente caso estejam dispensados da realização dos trabalhos práticos.

4. A verificação do estatuto do aluno é feita à data de emissão das classificações, no final do semestre.